



— Universidad —
Inca Garcilaso de la Vega
Nuevos Tiempos. Nuevas Ideas

Facultad de Ingeniería de Sistemas, Cómputo y Telecomunicaciones

**Diseño de una estación base 4G LTE para la mejora de los
servicios multimedia del distrito de Huanza provincia de
Huarochirí**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de Telecomunicaciones

Presentado por:

Charles Arturo Tafur Arenazas

Asesor

MSc. Juan Carlos Rodríguez Sulca

Lima – Perú
Octubre del 2017

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios como mi Padre, a mi Madre Mercedes, a mi esposa María y a mis dos hijas Shellsy Y Rashel que son la luz de mi camino, las cuales Motivaron mi superación personal y profesional, como también a mi asesor por su tiempo y comprensión.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
Capítulo 1: Planteamiento del Problema	11
1.1. Situación Problemática.....	11
1.2. Problema de la investigación	11
- Problema General	
- Problemas Específicos	
1.3. Objetivos	13
- Objetivo General	
- Objetivos Específicos	
1.4. Justificación.....	13
1.5. Alcances	15
Capítulo 2: Marco Teórico	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.2. Bases teóricas	19
2.3. Glosario de términos.....	49
Capítulo 3: Variables e Hipótesis	50
3.1. Variables e Indicadores	50
3.2. Hipótesis	50
- Hipótesis General	
- Hipótesis Específicas	
Capítulo 4: Metodología de Desarrollo	51
Capítulo 5: Solución Tecnológica	58
Capítulo 6: Resultados	110
Conclusiones	113
Recomendaciones	114
Referencias Bibliográficas	115
Anexo 1	118
Anexo 2	120
Anexo 3	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Arquitectura LTE	20
Figura 2.2 Núcleo de la red LTE.....	21
Figura 2.3 Procedimiento de autenticación de usuario.....	22
Figura 2.4 Conexiones MME, nodos lógicos y funciones principales	23
Figura 2.5 Conexiones S-GW a otros nodos lógicos.....	24
Figura 2.6 Conexiones P-GW a otros nodos lógicos.....	25
Figura 2.7 Conexiones PCRF a otros nodos lógicos	25
Figura 2.8 Conexiones eNodeB a otros nodos lógicos.....	27
Figura 2.9 Establecimiento de llamada CS Fallback.....	28
Figura 2.10 Arquitectura CS Fallback.....	29
Figura 2.11 Transmisor de portadora única.....	30
Figura 2.12 Transmisor basado en concepto FDMA.....	31
Figura 2.13 Transmisor basado en concepto de Multiportadora	31
Figura 2.14 Espectro correspondiente a 4 subportadoras OFDM	32
Figura 2.15 Esquemas de los modos de funcionamiento FDD y TDD	33
Figura 2.16 Perfil vertical de una celda de sistema punto a multipunto.....	37
Figura 2.17 Diseño de ganancia normalizada con y sin compensación de lluvia	38
Figura 2.18 Factores a tener en cuenta para aplicar los modelos de propagación.....	38
Figura 2.19 Parámetros de QoS.....	42
Figura 2.20 Asignación de recursos utilizando diversidad multiusuario.....	46
Figura 4.1 Diagrama de Gantt	57
Figura 5.1 Ubicación del punto de Emplazamiento	60
Figura 5.2 Mapa del punto de Emplazamiento.....	60
Figura 5.3 Gráfico de alcance para frecuencia de 900 MHz	64
Figura 5.4 Link Budget en el enlace Downlink.....	65
Figura 5.5 Link Budget en el enlace Uplink.....	66
Figura 5.6 Población al 2015.....	69
Figura 5.7 Throughput máximo en enlace ascendente para FDD	71
Figura 5.8 Throughput máximo en enlace descendente para FDD	71
Figura 5.9 Formula de la capacidad de Hora pico del EnodoB	72
Figura 5.10 Zona elegida para simular cobertura LTE.....	74
Figura 5.11 Estudio de cobertura LTE	75
Figura 5.12 Creación nuevo del nombre del estudio LTE.....	75
Figura 5.13 Ubicación exacta del proyecto LTE.....	76
Figura 5.14 Sectorización LTE	76

Figura 5.15 Modificar propiedades en la antena transmisora LTE	77
Figura 5.16 Parámetros del Sector	78
Figura 5.17 Planificador.....	79
Figura 5.18 Parámetros LTE	79
Figura 5.19 Configuración del Terminal.....	80
Figura 5.20 Parámetros del terminal	81
Figura 5.21 Elección método de cálculo	81
Figura 5.22 Método de cálculo	82
Figura 5.23 Definición del área de cobertura	82
Figura 5.24 Rango de colores establecido.....	83
Figura 5.25 Sectores definidos	84
Figura 5.26 Cobertura desde la EB Huanza al Equipo Terminal	85
Figura 5.27 Perfil Orográfico	85
Figura 5.28 Mapa de RF en Huanza en la cual se verifica el nivel de señal.	86
Figura 5.29 Señal RSRP obtenida en nuestra planificación.....	87
Figura 5.30 Análisis del Troughput teórico en Downlink.....	88
Figura 5.31 Análisis del Troughput teórico en uplink.....	89
Figura 5.32 Torre de Celosía de 30 Mts	92
Figura 5.33 Shellter de comunicaciones.....	93
Figura 5.34 Equipó de Aire Acondicionado en gabinete de energía.	94
Figura 5.35 Rectificador Eltek Flat pack v2.....	95
Figura 5.36 Batería de 12V - 155AH.	96
Figura 5.37 Pararrayos Tetrapuntual.....	97
Figura 5.38 Case BBU3900.....	99
Figura 5.39 Configuración típica de la BBU3900.....	99
Figura 5.40 Puertos en el panel de la RRU.....	102
Figura 5.41 Las dimensiones del IDU.....	104
Figura 5.42 El equipamiento IDU RTN 910.....	104
Figura 5.43 La ODU.....	106
Figura 5.44 Acoplador Híbrido del soporte.....	106
Figura 5.45 Antenas tetra y Hexa dual band.....	108
Figura 5.46 Cable coaxial de 7/8 pulgadas.....	108
Figura 5.47 Conector macho 7/16" para cable 7/8"	109
Figura 5.48 Kit de Aterramiento.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación entre LTE-FDD y LTE-TDD	35
Tabla 5.1 Factores típicos de ganancia debida a la altura	62
Tabla 5.2 Resultados del enlace link Budget en la zona de Huanza	68
Tabla 5.3 Valor promedio de la celda en Throughput.....	71
Tabla 5.4 Suscriptores que soporta un EnodoB LTE	72
Tabla 5.5 Resumen de bandas de frecuencias LTE.....	78
Tabla 5.6 Especificaciones técnicas de la BBU3900.....	100
Tabla 5.7 Alimentación de entrada de BBU3900.....	100
Tabla 5.8 Especificaciones físicas de BBU3900.....	101
Tabla 5.9 Indicadores y puertos en el panel de la RRU.....	102
Tabla 5.10 Detalles del equipamiento IDU RTN 910.....	104
Tabla 5.11 Especificaciones de tarjeta CSHA.....	105
Tabla 5.12 Especificaciones de equipamiento ODU.....	106
Tabla 5.13 Descripción de los interfaces del acoplador híbrido.....	107

RESUMEN

Esta Tesis muestra la mejor solución tecnológica con respecto a la problemática de los escasos recursos multimedia que presenta el distrito de Huanza departamento de Lima, por temas contingentes a la zona geográfica. Basándonos a una red móvil con tecnología 4G LTE con las mismas prestaciones que sus características lo ameritan, veremos una explicación clara de dicha arquitectura 4G LTE con respecto a sus predecesoras usando una correcta metodología de diseño en ingeniería, que nos dará la solución tecnológica para empezar la búsqueda de emplazamiento seguido de una planificación y dimensionamiento que nos determinará la capacidad de nuestro diseño. Para luego seguir con los Resultados como el nivel de cumplimiento de una cobertura con una probabilidad 95% que se traduce en la aplicación de unos márgenes de desvanecimiento sobre los valores medianos de señal, así también la funcionalidad dadas por la 3GGP y supervisadas por la ITU con niveles de RSRP desde -44 a -140 dm, como también el nivel de eficiencia que nos muestra la capacidad que tiene nuestro diseño en lo que refiere a cobertura para poder cubrir todo el perímetro del distrito de Huanca sin ninguna perdida. Y así acabar con el nivel de disponibilidad que en nuestro diseño podemos afirmar que la disponibilidad del Servicio, se va dar en un 96%, que son los 350 días del año que vendrían hacer las 8400 horas dispuestos a ser usados, debido a que se definió un valor adecuado del umbral RSRP el cual es -120 dm. Dichos resultados fueron plasmados en el Software de simulación de la cobertura, llamado “XIRIO Online “el cual es una herramienta que nos brinda este tipo de desarrollo de radiofrecuencia para tener una cobertura 100% funcional en base a un estudio de radio, el cual será mostrado en este diseño, para la puesta de servicio de la BTS 4G LTE y a la frecuencia de 900 MHZ la cual nos dará el medio para poder llegar a establecer las comunicaciones e información multimedia de manera fiable a todo el distrito de Huanza.

Palabras Clave: LTE, Fibra óptica, Transmisión, Radiofrecuencia, Simulación, RSRP.

ABSTRACT

This thesis shows the best technological solution regarding the problem of the scarce multimedia resources presented by the district of Huanza department of Lima, by subject's contingent to the geographical area. Based on a mobile network with 4G LTE technology with the same features as its features warrant, we will see a clear explanation of the 4G LTE architecture with respect to its predecessors using a correct design methodology in engineering, which will give us the technological solution to start The search for site followed by planning and sizing that will determine the capacity of our design. In order to continue with the Results as the level of compliance of a coverage with a 95% probability that results in the application of margins of fading over the median values of signal, as well as the functionality given by the 3GGP and supervised by the ITU with RSRP levels from -44 to -140 dBm, as well as the level of efficiency shown by our design capacity in terms of coverage to be able to cover the entire perimeter of the district of Huanza without any loss. And so ending the level of availability that in our design we can say that the availability of the Service, will be given in 96%, which are the 350 days of the year that would come to do the 8400 hours ready to be used, defined an appropriate RSRP threshold value which is -120 dBm. These results were captured in the Simulation Software of the coverage, called "XIRIO Online" which is a tool that gives us this type of development of radiofrequency to have a 100% functional coverage based on a radio study, which will be Shown in this design, for the service of the BTS 4G LTE and the frequency of 900 MHZ which will give us the means to get to establish the communications and multimedia information in a reliable way to all the district of Huanza.

Keywords: LTE, Fiber Optic, Transmission, Radiofrequency, Simulation, RSRP.

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en nuestra sociedad sigue dando pasos muy escalonados, siendo el sector de las telecomunicaciones uno de los que generan mayor PBI, por lo cual es de necesidad en diferentes tipos de provincias el estar comunicado del día a día para la toma de decisiones y del avance sustancial de la información y de esta manera lograr mayor productividad en diferentes áreas empresarial y personal. La presente tesis está centrada en el diseño de una estación base 4G LTE la cual llevará una revolución tecnológica al distrito de Huanza departamento de Lima, a continuación, se dará una breve explicación de cada capítulo abarcado en este proyecto.

Capítulo 1:” **Planteamiento del problema**”, en dicho capítulo se explica la situación problemática que está viviendo Huanza en estos momentos como es la carencia de servicios multimedia producto de la compleja geografía, como también explicaremos debido a ello, el problema de investigación juntamente con sus objetivos que vendrán de un marco general hasta uno específico, para dar así una justificación viable para la puesta en marcha de este diseño, terminado así con los alcances de la presente tesis.

Capítulo 2:” **Marco teórico**”, dentro de dicho capítulo tendremos los antecedentes de la investigación los cuales son una referencia de tesis antes desarrollados, para dar a conocer un camino hacia el desarrollo de nuestro diseño, como también las bases teóricas las cuales son el fundamento de la solución tecnológica para el distrito de Huanza y finalizando con un glosario de terminología.

Capítulo 3:” **Variables e hipótesis**”, en este capítulo se identificará las variables como también los indicadores de ellas misma, que dieron origen a nuestro título de tesis y para finalizar con la hipótesis planteada de acuerdo dichos indicadores.

Capítulo 4:” **Metodología de desarrollo**”, en dicho capítulo describiremos un conjunto de buenas prácticas y métodos desarrolladas por profesionales altamente calificados en base a la experiencia en telecomunicaciones y siguiendo como referencia la Guía de PMBOK, la cual es un estándar aprobado por la denominación ANSI/PMI 99-001-2004, para el desarrollo de la presente tesis.

Capítulo 5:” **Solución tecnológica**”, en este capítulo se desarrolla mediante una planificación y dimensionamiento de la señal de radiofrecuencia producida por nuestro diseño de la BTS 4G LTE, se verán aspectos de cálculos relacionados Link Budget (Presupuesto de enlace), Modelos de propagación, cálculo de canales de voz y datos en base a la zona elegida, para así poder llevar todo el diseño a un software de simulación que evidencie el óptimo funcionamiento con los resultados obtenidos y terminar con la selección del diseño de infraestructura y equipamiento que tendría nuestro proyecto.

Capítulo 6:” **Resultados**”, dado todo el trabajo de investigación, diseño y culminando así con el resultado provisto por el software de Simulación “Xirio Online”, evidenciamos de acuerdo a cada indicador de la variable independiente de qué manera se cumple el contraste de este diseño con lo simulado.

Y de esta manera terminar nuestra Tesis con las **conclusiones y recomendaciones** del tema.

Capítulo 1: Planteamiento del Problema

1.1. Situación Problemática

El Distrito de Huanza es uno de los treinta y dos distritos de la Provincia de Huarochirí en el Departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima-Provincias, Perú. Abarca una superficie de 227,01 km² y tiene una población aproximada de 2674 habitantes. Su capital es la ciudad de Huanza, ubicada sobre los 3 352 msnm. Debido a su compleja Zona Geográfica, es que le dan mayor preferencia de inversión a los lugares más accesibles por ello,

La cantidad de proyectos sumergidos en todo este ámbito global en zonas relativamente más pudientes y accesibles deja en descuido totalmente las zonas rurales como Huanza, el cual muy aparte de necesitarlo se ve alejado de las probabilidades de un desarrollo tecnológico por parte de los operadores dado esto, el Estado Peruano desarrollo un ente llamado “FITEL” (El Fondo de Inversión en Telecomunicaciones) el cual provee un fondo para el desarrollo de los proyectos rurales.

Pese a los costos que son demasiado altos para este tipo de inversión, con dicho fondo se podría equiparar en gastos y de esta forma ser más rentable para el operador, los cuales hoy en día solo uno de los cuatro tiene su red móvil de tecnología 2G, la cual brinda únicamente señal de voz y mensajes de texto. Es así la Empresa “América Móvil SAC - CLARO”, del cual hasta la fecha únicamente han estado invirtiendo en mantenimiento preventivo y correctivo de dicha BTS 2G, con la deficiencia de no poder brindar el servicio de “INTERNET”.

Por consiguiente, dicha Empresa como también las otras operadoras ven demasiado dificultoso la geografía compleja de esta zona debido a que implicaría un mayor gasto, que por el momento están siendo invertidas en las migraciones de su red de 3G a 4G, pero en zonas más pudientes y capitales de mayor auge económico.

Por lo cual cabe resaltar las diferentes problemáticas antes dadas, tanto como “el nulo uso” de servicios multimedia a causa de no contar con una estación base 4G LTE, que provea video y audio en tiempo real (Streaming) para el tema de las video llamadas, Iptv como complementario del CATV, también para la educación y comercio volviéndolos así Teleducación y Telecomercio, son estas bondades entre otras que son más que necesarias en este Distrito.

Ya que los insuficientes recursos multimedia llevan a Huanza a un estado de inmersión tecnológica que no deja un desarrollo masivo entre todos sus habitantes el cual implica mayor pobreza y poca retribución salarial, ya que afecta directamente a la economía de Huanza. Con esta tesis se le brindara más apoyo a esta comunidad ya que Huanza es un distrito en pleno crecimiento, se fortalecerá tanto el agro como la Ganadería mejorándolos en base a este avance tecnológico como en este caso sería, el telemarketing para la línea de negocios propiamente dichas y colocando al

distrito de Huanza como una pieza principal en el comercio del Agro y la ganadería, que son sus dos activos con mayor presencia en este distrito, abriéndoles paso a un mercado internacional que le bridara mayor sostenibilidad económica y por ende desarrollo.

1.2. Problema de la investigación

- Problema General:

- ¿En qué medida el Diseño de una estación base 4G LTE, influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?

- Problemas Específicos:

- Problema específico N°1

- ¿En qué medida el cumplimiento del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?

- Problema específico N°2

- ¿En qué medida la funcionalidad del Diseño de una estación base 4G LTE influye en de la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?

- Problema específico N°3

- ¿En qué medida la eficiencia del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?

- Problema específico N°4

- ¿En qué medida la disponibilidad del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?

1.3. Objetivos

- Objetivo General:

Determinar la influencia del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.

- Objetivos Específicos:

Objetivo específico N°1

Determinar la influencia del Cumplimiento en el Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.

Objetivo específico N°2

Determinar la influencia de la funcionalidad del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.

Objetivo específico N°3

Determinar la influencia de la eficiencia del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.

Objetivo específico N°4

Determinar la influencia de la disponibilidad del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.

1.4. Justificación

Debido a los escasos recursos multimedia en la ciudad de Huanza, nos vemos en la necesidad de suplir esta carencia que lleva ya muchos años de atraso tecnológico en dicho distrito, dentro de todas las operadoras ya conocidas la única que tiene una estación en dicho lugar es la Empresa CLARO, la cual tiene su servicio de 2G a través de equipamiento Nokia ultraradio. Teniendo una tecnología que les brinda únicamente voz y mensajes de texto, En base a lo estudiado y mediante lo requerido es más que evidente la oportunidad de llevar la convergencia de los servicios Multimedia a ese distrito, siendo completamente potencial por un tema de negocios y desarrollo tecnológico en dicha zona.

El desarrollo de este proyecto, tiene como finalidad dar mayor eficiencia en los recursos multimedia que implicaría también, llevar al distrito de Huanza a un mayor crecimiento económico, potenciando la globalización que se vive en estos momentos. Haciéndola participe de innumerables mercados

tanto nacionales como extranjeros, aportando de esa manera una mayor educación con excelencia al conocimiento, dando mayor valor agregado a diferentes negocios y creando mayor trabajo en dicha zona. Mediante una tecnología mucho más avanzada llamada redes de cuarta generación LTE (Long Term Evolution), la cual favorecerá en gran manera el desarrollo completo tanto comercial como educativo en el distrito de Huanza, abriéndole paso a un mundo de telecomercio en base a su sector fuerte laboral; como lo son la agricultura y la ganadería, Entre los beneficios que puede generar el uso de esta estación 4G LTE en base a su convergencia multimedia, tenemos lo siguiente:

- Asegura a los usuarios soporte necesario para la movilidad y compatibilidad entre los sistemas, (conectividad con otras redes), con lo cual se podrá utilizar el servicio de banda ancha en cualquier momento y lugar.
- LTE proporciona velocidades máximas de bajada alrededor de 100 megabytes por segundo, mientras de subida anda por los 50 Mbps
- Capacidad para efectuar, sin ningún tipo de cortes, videoconferencias y video llamadas con imagen y sonido de alta calidad, así como también realizar transmisiones en vivo y directo.
- Ver televisión en Ultra High Definition y en 3D es otra posibilidad cierta con las LTE 4G.
- Esta tecnología también permite hacer streaming en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones ni tiempo de espera por el buffer. Como ejemplo te podemos citar los videos de YouTube, los cuales visualizarás con mayor calidad.
- Los Smartphone compatibles con LTE 4G te permiten compartir datos multimedia de alta definición. Podrás descargar un video de 700 MB en sólo 90 segundos.
- La velocidad tampoco te impondrá límites para tener en tu Smartphone el mayor número de aplicaciones
- Podrás subir fotos y videos de una cámara digital en tiempo real desde cualquier lugar.

1.5. Alcance

- El Diseño de una estación base 4G LTE, se basó a un adecuado dimensionamiento y planificación que implicó el análisis tanto de la cobertura de la red como de la capacidad del sistema ante la demanda de tráfico de los usuarios.
- El diseño de la Simulación del espectro Radioeléctrico incidido en el distrito de Huanza, Este apartado presento algunos de los aspectos específicos vinculados a la planificación de redes celulares de LTE mediante el Software Xirio-Online. Las características de LTE y la complejidad de su interfaz radio requirió afrontar la planificación de este tipo de sistemas de modo diferente a otros sistemas móviles, para así terminar con los resultados.
- La Selección del equipamiento necesario para nuestro Diseño en base sus características puestas por el fabricante e idóneas en su posterior implementación.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Vera, R. E. (2014). Con la Tesis “Análisis y definiciones equipos Flexi WCDMA, Multiradio, Flexiedge en la instalación de una estación base 4G”, Chile.

Nos indica; Tras una experiencia como ingeniero RF realizando TSS (Técnica Site Survey), analizando terrenos para la construcción de sitios de telefonía móvil en el proyecto 4G LTE, nace la motivación de este trabajo de titulación, con el objetivo general de analizar y describir la instalación de equipos que conforman una estación base LTE (eNodoB). En ese contexto los equipos Flexi desarrollados por Nokia Siemens Networks, fueron los elegidos para implementar las redes 4G en nuestro país. Por ello se propuso un estudio teórico del desarrollo de las tecnologías móviles, extendiéndose en la cuarta generación y que introduzca al tema LTE, así abordar de mejor forma la instalación y funcionamiento del equipo utilizado. La metodología con que se llevó a cabo el estudio de instalación de los módulos Flexi, consistió en recopilar información de manera práctica, analizando manuales, estándares de instalación, entre otros y que puedan describir en forma real y en terreno lo que sucede con estos sitios actualmente. A modo de discutir el estudio, se analiza una red 4G, que pudo concluir que la banda de los 2600 MHz, que es la que se abarca en este escrito y los 700 MHz son bloques de frecuencias complementarios en la cobertura LTE de nuestro país, que conjuntamente pueden dar una experiencia real 4G.

Núñez, J. A. (2013). Con la tesis: **Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una Zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457, Colombia**

Con el Estudio: La industria de las telecomunicaciones, a nivel mundial y vista desde la perspectiva sus principales actores, operadores, fabricantes y distribuidores, atraviesa por una serie de cambios relacionados con el despliegue de la banda ancha inalámbrica y la entrada del All IP y muchos servicios embebidos tras estos desarrollos tecnológicos. Estos cambios implican desafíos y aplican a cualquier mercado, donde esté establecido un operador móvil o un prestador de servicios móvil. Siendo el reto más importante migrar sus redes basadas en circuitos conmutados a redes All IP, el uso masificado de terminales Móviles cada vez más sofisticadas y robustas hacen que el usuario demande más servicios. Por ende, la implantación de la tecnología LTE hace que cubra todas las expectativas de velocidad tanto para los usuarios como para los operadores móviles.

Vidaurre, E. P. (2014). Con la tesis “Propuesta de instalación de una estación repetidora celular para mejorar la comunicación en el campamento puente JME, Ancash “, Perú.

Con la Tesis; En este informe se presenta cual es el equipamiento más apropiado para dar cobertura de telefonía móvil celular a la Empresa JME, la cual posee zonas de trabajo donde se dificulta el acceso a

la telefonía móvil; como mención tenemos al Campamento Puente JME, ubicado en el distrito de Huallanca, provincia de Huaylas departamento de Ancash, donde su ubicación **se encuentra en una zona difícil a 3200 msnm**, principalmente por tener condiciones climáticas y geográficas desfavorables que influye de manera directa en la cobertura que un sistema de telecomunicaciones puede ofrecer, dificultando así que los servicios de telefonía móvil lleguen de manera eficiente, por tal motivo se tiene muchas deficiencias en la comunicación para los trabajadores en sus actividades laborales. Por lo cual, surge esta Investigación de tipo cuantitativa descriptiva, cuyo objetivo principal es mejorar la comunicación en Campamento Puente JME con la propuesta de una estación repetidora celular. Las técnicas aplicadas fueron el análisis documental, la observación el cuestionario, a través de instrumentos como guías de observación cuestionario, para evaluar todo lo necesario para solucionar la necesidad de los trabajadores, así mismo, para evaluar las necesidades de los trabajadores se recurrió a cuestionario dirigido a 250 trabajadores tomándose en cuenta los principios éticos de beneficencia, justicia y respeto a la dignidad humana. Los resultados revelan que a pesar de las limitaciones que se han encontrado en esta investigación, es posible la implementación de una estación repetidora celular. En conclusión, la implementación de una estación repetidora celular sea optada en cualquier lugar de nuestro país facilita el desarrollo de actividades laborales ya que es indispensable para el crecimiento de muchas personas, empresas y así mismo aportan al sector de las Telecomunicaciones ya que es un insumo básico mejorar las comunicaciones en zonas rurales.

Gómez, P. R. (2013). Con la tesis “Diseño de una Red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para tener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CENT E.P provincia de Santa Elena”. Libertad – Ecuador.

Con la Tesis; El presente proyecto abarca el diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) en los cantones Santa Elena (cabecera cantonal), La Libertad y Salinas de la provincia de Santa Elena para obtener la actualización tecnológica de telefonía e internet. Se realiza un análisis de cobertura radioeléctrica, transferencia de datos, latencia de la transmisión, potencia de recepción, pérdidas de propagación, cálculo de tráfico, servicios ofertados, estrategia de despliegue, encuesta de aceptación de dispositivos móviles con tecnología de cuarta generación y comparación de tecnología actual con la cuarta generación para conocer la factibilidad del proyecto. El análisis es realizado utilizando los métodos analítico-sintético, deductivo - inductivo, observación en el estudio de la geografía de los terrenos, modelación para diseñar la red en software Radio Mobile e investigativo para conocer como fue la evolución de la tecnología para llegar a 4G. Debido a que las exigencias del usuario de telefonía celular son cada vez mayores, en la actualidad se necesita más ancho de banda y a esto se suma la aparición de nuevos dispositivos móviles que salen al mercado, con nuevas aplicaciones, todo esto genera que las redes móviles sean actualizadas. La provincia de Santa Elena aún no cuenta con tecnología de cuarta generación, aunque los dispositivos 4G ya se comercializan en el mercado local. En el capítulo 1 se presenta la problemática del proyecto, la situación actual del

problema y la justificación del mismo, debido a que las redes actuales no cuentan con tecnología de cuarta generación provocando el colapso de las redes en fines de semana y feriados.

Fernández, I. (2014). Con la tesis “Planificación y dimensionamiento de una red LTE”. Barcelona– España.

Con la Tesis; Long Term Evolution (LTE) es la tecnología de acceso inalámbrica de banda ancha más reciente, denominada a nivel de usuario y comercialmente sistema de comunicación móvil de cuarta generación (4G). Es el último estándar, comercializado, de tecnología de red móvil del 3rd Generation Partnership Project (3GPP), que previamente desarrolló las tecnologías GSM/GPRS/EDGE (2G), UMTS/HSPA (3G) y que posteriormente ha desarrollado el estándar Long Term Evolution Advanced (LTE). Pese a que comercialmente LTE es llamado sistema 4G, técnicamente esto no es correcto debido a que LTE no cumple todos los requisitos que fijó la International Telecommunication Unión (ITU) para considerar que un sistema es 4G y, por lo tanto, se puede encontrar literatura denominándola red 3.9G. Sin embargo, LTE-A sí es 4G.

El proceso de despliegue de redes LTE en España está en sus inicios, dado que solo se han creado “islas” de esta tecnología, es decir, su uso solo es posible en determinadas ciudades. Por lo tanto, una mayoría del territorio queda por planificar.

Cada vez que una nueva tecnología móvil se está considerando para su despliegue a gran escala, cientos de sus parámetros de radio frecuencia pasan por un proceso de ajuste con el fin de averiguar su valor óptimo. Sin embargo, esta fase requiere mucho tiempo y es muy laboriosa. Por lo tanto, antes de su despliegue comercial se hace una extensa simulación de la red y se ajustan, en primera aproximación, sus parámetros. Con ello se pretende desplegar una red optimizada y con un menor coste.

La planificación de la red radio es un paso fundamental para la tecnología de comunicación inalámbrica. En LTE, al igual que otras tecnologías celulares, la planificación inicial normalmente se rige por varias operadoras, que son las que decidirán cómo será la red. Estas no son propensas a revelar sus estrategias, avances y resultados. Por lo tanto, la planificación de una red LTE es un desafío bien elegido y un tema poco tratado en el campo académico actual. En este proyecto se pretende desarrollar, a nivel cualitativo, una guía eficiente de planificación de redes LTE.

La metodología utilizada en este proyecto consiste en una primera fase de investigación teórica, tanto a nivel de especificaciones técnicas del sistema LTE como de técnicas y estrategias de planificación y dimensionado de redes de acceso radio, especialmente GSM, para extrapolarlas al sistema LTE. Por otra parte, también se realizó un estudio de la herramienta de simulación Atoll mediante un tutorial inicial y consultas a su manual previas a la realización de la planificación y dimensionado de la red de estudio con esta herramienta profesional.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Definición de LTE (Long Term Evolution)

La tecnología móvil de cuarta generación tiene su origen inspirado en el usuario abonado, el cual desea obtener el máximo beneficio respecto a las capacidades de la red de acceso y el equipo terminal utilizado.

La 3GPP fue el organismo encargado de la estandarización de éste nuevo sistema, el mismo que lo denominó Long Term Evolution al proceso de transición en el tiempo de los diferentes estándares correspondientes a diversas tecnologías móviles. Es así que 3GPP realizó un análisis de los requisitos clave para el nuevo sistema LTE, con el fin de garantizar la competitividad de esta nueva tecnología en un tiempo de 10 años. (3GPP, TS 36.300 V9.7.0. 2011)

2.2.2 La arquitectura de la Tecnología 4G LTE

Agustí Comes, Bernardo Álvarez, Casadevall Palacio, Ferrus Ferre, Pérez Romero & Sallent Roig (2010) Afirma:

Atendiendo a la arquitectura general de los sistemas 3GPP, en la Figura 2.1 se ilustra de forma simplificada la arquitectura completa del sistema LTE, denominado formalmente en las especificaciones como Evolved Packet System (EPS). Los componentes fundamentales del sistema LTE son, por un lado, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal (denominado en adelante simplemente como red troncal EPC), y por otro, la evolución del subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS. Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito (en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes). En este sentido, EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS. (p.60).

Viéndolo de ese modo podemos decir que la Arquitectura es un avance gradual con respecto a lo ya conocido.

En la Figura 2.1 se muestran las principales interfaces de E-UTRAN y EPC. Tal como se verá en el apartado 2.1, la interfaz entre E-UTRAN y EPC se denomina S1 y proporciona a la EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso de los terminales móviles a través de E-UTRAN. (Agustí Comes et al. 2010)

La interfaz radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina E-UTRAN UU. Por otro lado, las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP se llevan a cabo

mediante la interfaz SGi de la EPC. La interfaz SGi es análoga a la interfaz Gi definida en las redes GPRS/UMTS y constituye el punto de entrada/salida al servicio de conectividad IP (Agustí Comes et al. 2010)

Proporcionado por la red LTE (los terminales conectados a la red LTE son “visibles” a las redes externas a través de esta interfaz mediante su dirección IP). Los mecanismos de control de los servicios de transporte ofrecidos por EPC se sustentan en información proporcionada por otros Elementos de la red troncal que no son exclusivos del sistema LTE, sino que pueden dar soporte también a otros dominios de los sistemas 3GPP. (Agustí Comes et al. 2010)

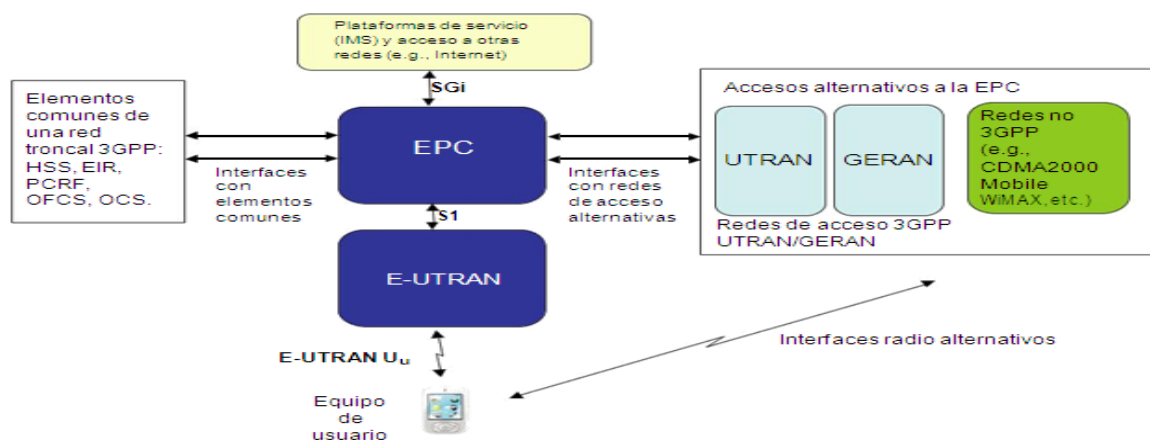


Figura 2.1 Arquitectura de LTE (Agustí Comes et al. 2010)

En la Figura 2.2 se mencionan algunos de estos elementos comunes entre los que, a modo de ejemplo, se encuentra la base de datos del sistema con la información de suscriptores de sus usuarios (HSS). Otra característica fundamental del sistema LTE es que contempla también el acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN, así como mediante la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP (e.g., CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.). La interconexión de las redes de acceso alternativas, tanto 3GPP como no, se soporta a través de un conjunto de interfaces de la EPC. (Agustí Comes et al. 2010)

LTE ha sido diseñado para soportar únicamente los servicios de conmutación de paquetes, en contraste con el modelo de conmutación de circuitos de los sistemas celulares anteriores. Su objetivo es ofrecer una plataforma basada totalmente en el protocolo IP, Conectividad sin fisuras entre el equipo de usuario UE y disponibilidad de la red de paquetes de datos PDN, sin ningún tipo de interrupción a los usuarios como podemos ver en la figura 2.2. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2010)

La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el equipo de usuario UE y por una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una red de acceso E-UTRAN y una de red de Core

o Núcleo EPC, las cuales serán detalladamente explicadas a continuación. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2010)

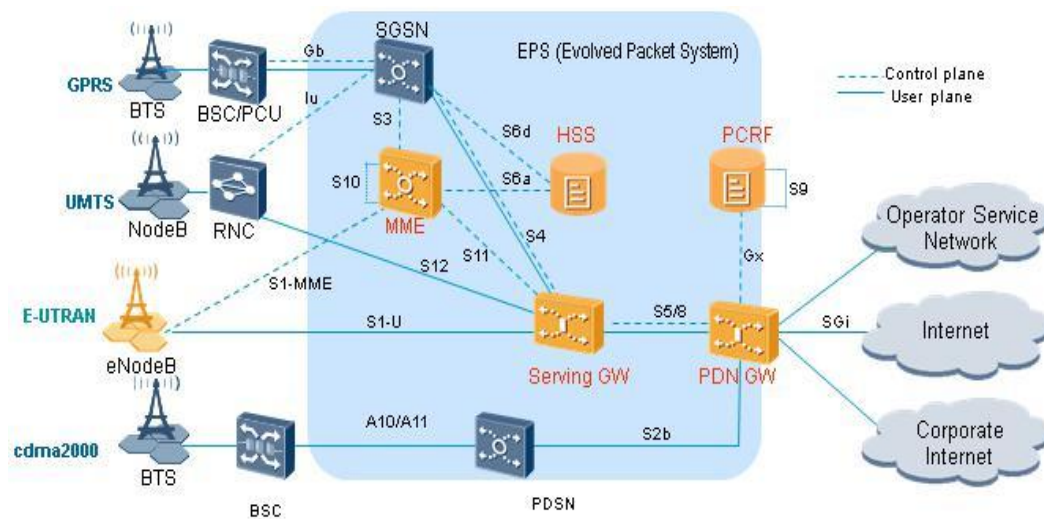


Figura 2.2: Núcleo de la red LTE (Huawei Technologies Co, Ltd © 2010)

Evolved Packet Core (EPC)

El núcleo de red o red troncal, es la parte del sistema encargado de realizar el control de acceso a la red celular, autenticación de usuarios, gestión de movilidad de usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, así como también control de servicios de usuario final. Sus principales nodos lógicos son: (Adaptado de Rumney M. 2010)

Mobility Management Entity (MME)

La entidad de gestión de movilidad de la red LTE, es la encargada de gestionar el acceso de los terminales de usuario a través de la red de E-UTRAN, su funcionamiento se basa en que a cada usuario registrado en la red E-UTRAN se le asigna una entidad MME la misma que cumple las siguientes funciones: (Ver Figura 2.3) (Adaptado de Rumney M. 2010)

Autenticación y seguridad: Cuando un equipo de usuario se registra a la red por primera vez, MME inicia la autenticación mediante la realización del siguiente proceso:

Conocer la identidad permanente del UE desde la red visitada previamente a través de una solicitud de autenticación al UE, esta función es necesaria para asegurar que el UE es quien dice ser, MME puede repetir la autenticación cuando sea necesario periódicamente, de igual manera calculará los equipos de usuario cifrados y claves de protección recibida en el vector de autenticación inicial. Estas funciones se utilizan para proteger la comunicación y evitar la alteración por terceros no autorizados. (Adaptado de Rumney M. 2010)



Figura 2.3 Procedimiento de autenticación de usuario (Adaptado de: Rumney, M. 2010)

Gestión de la movilidad: MME realiza un seguimiento de la ubicación de todos los UE en su área de servicio, cuando un UE hace su primer registro en la red, MME crea una entrada para el UE y señala la ubicación al HSS19. (Toskala, H. H. 2009)

Posteriormente MME solicita los recursos adecuados para ser instalados en el eNodeB, así como en el S-GW20, a continuación mantiene el seguimiento de la ubicación del UE, si éste se encuentra dentro del área del eNodeB quiere decir que el UE permanece conectado, por lo tanto está en comunicación activa, en caso de que el UE va al modo inactivo, y el mantenimiento de la ruta de datos ya no es necesaria, entonces MME controla la creación y la liberación de recursos en función de los cambios, así mismo los UE reportarán su ubicación ya sea periódicamente o cuando se mueve a otra área de seguimiento en la cual se encuentre registrado. (Toskala, H. H. 2009)

En principio MME puede estar conectado a cualquier otro MME en el sistema, pero típicamente la conectividad es limitada a un solo operador de red. La conectividad remota entre MMEs puede ser usado cuando un UE se encuentre en un punto lejano, también puede ser posible la conexión con varios HSSs, cada MME será configurado para controlar un conjunto de S-GWs y eNodeBs. (Toskala, H. H. 2009)

MME puede servir a un número de UE al mismo tiempo, mientras que cada UE sólo se conectará a un MME a la vez. La figura 2.4 muestra las conexiones que MME tiene para los nodos lógicos circundantes, y resume las principales funciones de estas interfaces. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

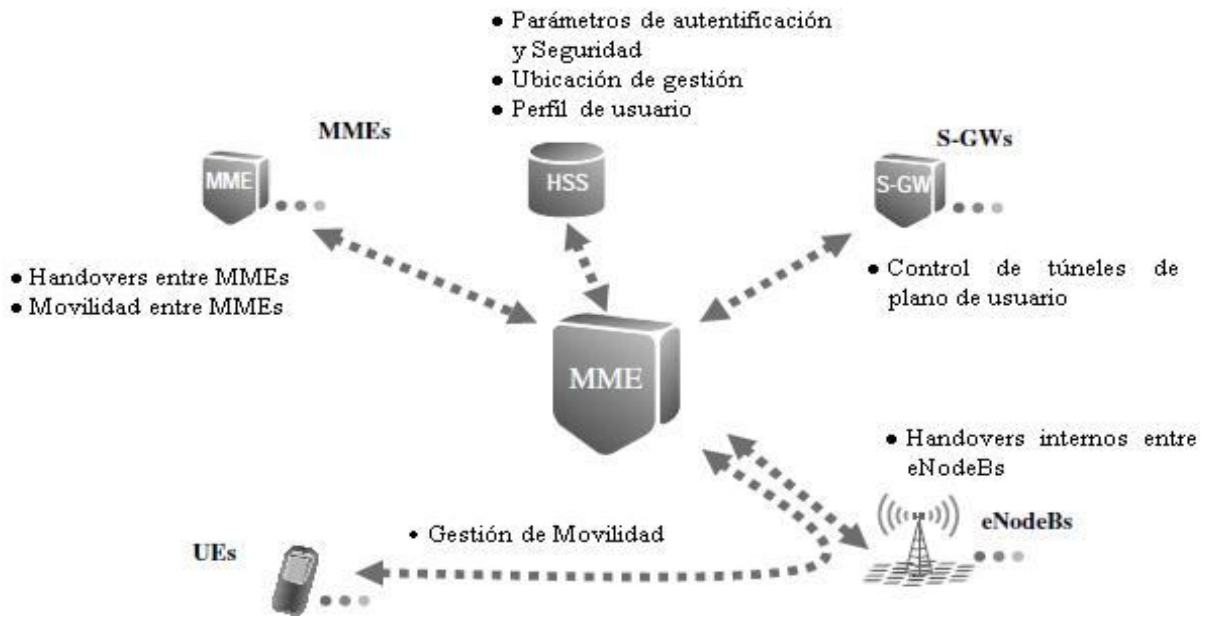


Figura 2.4 Conexiones MME, nodos lógicos y funciones principales (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Serving Gateway (S-GW)

El servicio de puerta de enlace S-GW, es el responsable de la organización del tráfico de paquetes en enlace descendente, ya que por su parte el eNodeB es responsable del tráfico de los paquetes en enlace ascendente. Todos los paquetes IP de usuario se transfieren a través de S-GW, que sirve como el punto local de movilidad de los portadores de datos cuando el UE se mueve entre eNodeB; también conserva la información sobre las portadoras cuando el UE está en estado de reposo. S-GW realiza algunas funciones administrativas en la red visitada, como la recopilación de información para la carga (por ejemplo, el volumen de datos enviados o recibidos por parte del usuario). (Toskala, H. H. 2009)

En la figura 2.5 se puede observar como MME puede recurrir a S-GW para proporcionar recursos de túneles para el reenvío de datos entre eNodeB origen al eNodeB destino. Los escenarios de movilidad también incluyen cambiar de un S-GW a otro, siendo MME quien controla estos cambios. Además se muestra como S-GW está conectado a otros nodos lógicos, todas las interfaces tienen que ser configuradas con razón de uno a muchos, desde el punto de vista de S-GW. (Toskala, H. H. 2009)

Un S-GW puede dar servicio sólo a una zona geográfica determinada con un conjunto limitado de eNodeBs, e igualmente puede haber un conjunto limitado de MMEs que controlan esa zona. El S-GW debe ser capaz de conectarse a cualquier P-GW21 en toda la red, ya que éste no cambiará durante la movilidad, mientras que S-GW puede ser reubicado cuando se mueve el UE. (Toskala, H. H. 2009)

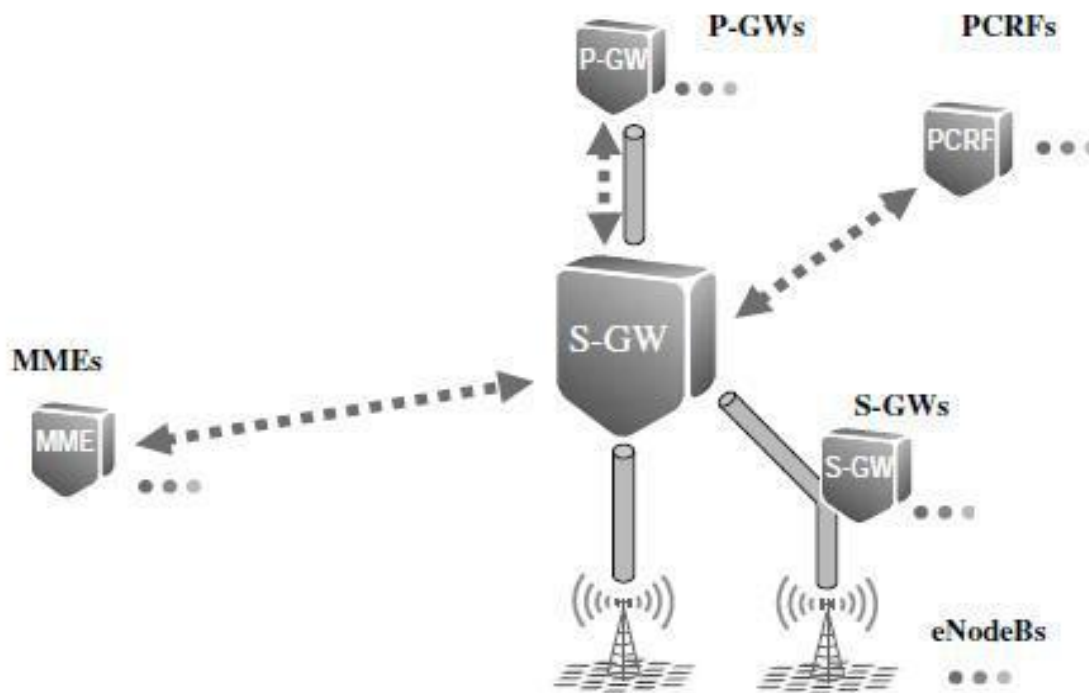


Figura 2.5 Conexiones S-GW a otros nodos lógicos (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Packet Data Network Gateway (P-GW)

P-GW es el router de borde entre el núcleo de red y las redes de paquetes de datos externas; es decir funciona como una pasarela entre una red y otra, al igual que S-GW, P-GW se mantiene en las instalaciones del operador en una ubicación centralizada, en la cual cada usuario desde que se registra en la red LTE se le asigna como mínimo un P-WG. (Toskala, H. H. 2009)

Su función principal es la asignación de la dirección IP al UE, el cual la utiliza para comunicarse con otros hosts IP en redes externas, por ejemplo la Internet. La dirección IP se asigna cuando el UE solicita una conexión a la red de datos por paquetes, esta conexión se lleva a cabo siempre y cuando el UE se conecte a la red LTE y puede ocurrir posteriormente cuando se necesita una nueva conectividad. El P-GW entrega la dirección IP al UE mediante el protocolo DHCP22. (Toskala, H. H. 2009)

La figura 2.6 muestra las conexiones que P-GW tiene a los nodos lógicos circundantes, se puede observar que cada P-GW puede estar conectado a uno o más de PCRF, S-GW y a la red externa. (Toskala, H. H. 2009)

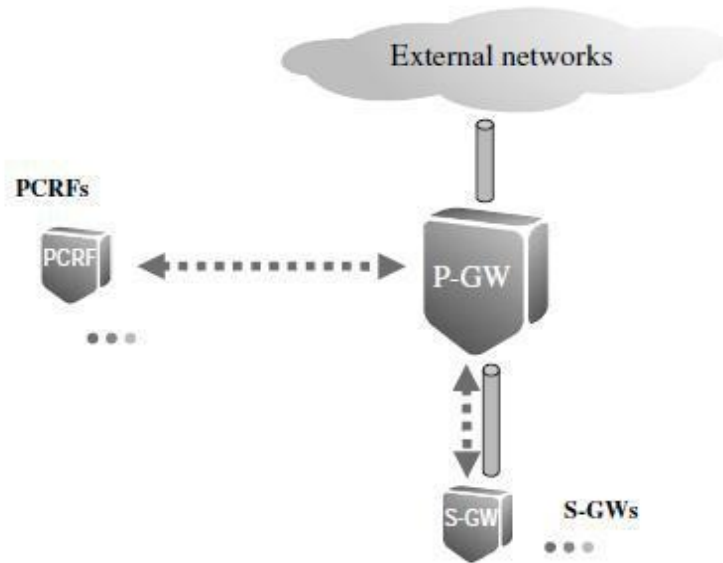


Figura 2.6 Conexiones P-GW a otros nodos lógicos (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

PCRF es el elemento de red responsable de las políticas y normas de la función de carga, toma decisiones sobre cómo manejar los servicios en términos de calidad de los mismos, y proporciona control de políticas y de carga basado en decisiones de control de flujo de información provenientes del P-GW y en su caso también del S-GW.

En la figura 2.7 se muestra las conexiones entre PCRF y otros nodos, cada PCRF puede estar asociado con uno o más P-GW, S-GW y redes externas. (Toskala, H. H. 2009)

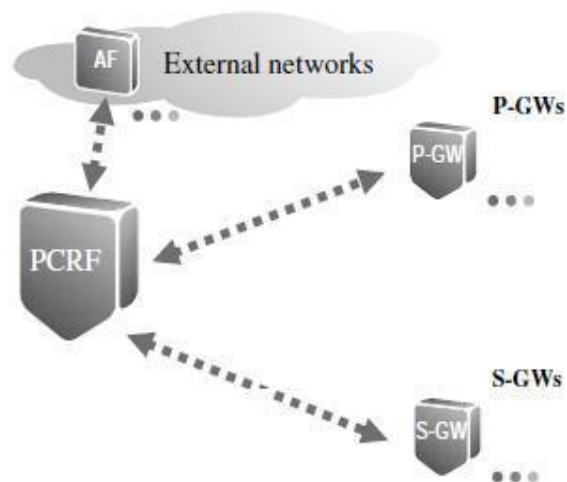


Figura 2.7 Conexiones PCRF a otros nodos lógicos (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Evolved NodeB (eNB)

Tal como se ha comentado en la descripción general de la arquitectura de E-UTRAN, el eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (Radio Bearer, RB). El eNB mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.). (Agustí et al., 2010, p.65)

Home Subscription Server (HSS)

El servidor de abonado HSS es el repositorio de datos de suscripción para todos los usuarios de la red, registra la ubicación del usuario a nivel de nodo de control de la red visitada. Se trata de un servidor de base de datos que se mantiene en el centro de las instalaciones del operador de origen y que puede ser consultado o modificado desde cualquiera de las entidades de control y gestión tales como MME; también almacena la identidad de cada uno de los P-GW que se encuentran activos. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Esencialmente la información almacenada en la HSS que podemos encontrar es: información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Access Network – EUTRAN

En LTE la red de acceso es conocida como E-UTRAN, que no es otra cosa que el eNB, en pocas palabras la red de acceso está conformada únicamente por el Nodo B, el cual es una estación de radio base que está en control de todas las funciones de radio en la parte fija del sistema. Comúnmente los eNB se distribuyen a lo largo del área de cobertura de la red LTE, manteniéndose cerca de las antenas de radio. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

En la arquitectura de red LTE, el eNB, trabaja como un puente entre UE y EPC, es decir entre el equipo de usuario y la red de núcleo, con el fin de transmitir los protocolos de radio hacia UE y mantener una conectividad totalmente IP hacia EPC, en este caso el eNB realiza el cifrado/descifrado de los datos. A

continuación, se describen las principales operaciones que se realiza en el eNB: (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

- Es el responsable de la Gestión de Recursos de Radio RRM23, es decir se encarga de controlar el uso de la interfaz de radio, lo que incluye por ejemplo la asignación de recursos en función de las solicitudes, priorización y programación de tráfico de acuerdo a la calidad requerida de servicio, y el monitoreo constante del recurso en uso. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)
- Tiene un papel importante en la gestión de la movilidad, mediante el análisis de las mediciones de nivel de señal del UE se toma decisiones y se hace el traspaso de UE entre celdas; esto incluye también la señalización de traspaso entre otros eNB y MME. (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)
- Cuando un UE se activa bajo la gestión del eNB y solicita la conexión a la red, el eNB es el principal responsable de encaminar esta solicitud hacia MME. La Figura 2.8 muestra las conexiones que el eNB tiene con los otros nodos lógicos circundantes, y resume las principales funciones de estas interfaces; estas conexiones pueden ser de uno a varios, o tener una relación de muchos a muchos. El eNB puede estar sirviendo a múltiples UE en su área de cobertura (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

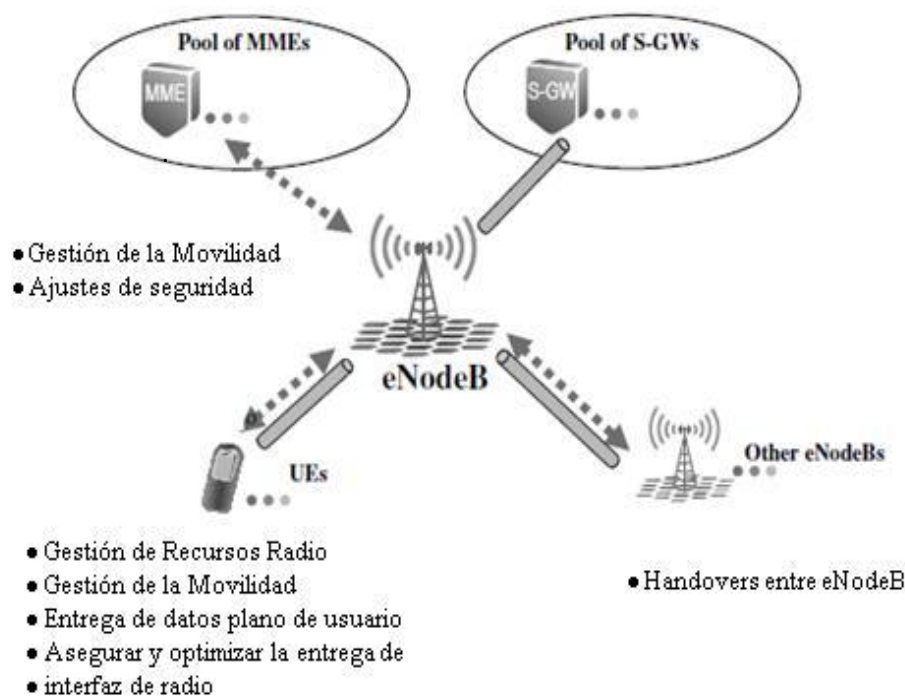


Figura 2.8 Conexiones eNodeB a otros nodos lógicos (Adaptado de: Toskala, H. H. 2009)

Circuit Switched Fallback (CSFB)

Puede ser considerado como la primera fase para brindar servicios de voz en LTE, para este proceso los terminales de usuario acceden a servicios 2G/3G como por ejemplo GSM o UMTS. Para que este procedimiento pueda ser llevado a cabo es necesario que elementos de red como el MSC (Mobile Switching Center)/VLR (Visiting Location Register) y el MME (Mobility Management Entity), tengan capacidad de interconexión (Holman & Toskala, 2009).

Cuando el usuario se comunica con una red LTE, la red se encarga de hacer una transferencia de posición a la red de conmutación de circuitos, que anuncia la presencia de un terminal en la red de conmutación de circuitos a través de la red LTE (Holman & Toskala, 2009).

El terminal de usuario envía un indicador CS FallBack a MME, el cual se encarga de realizar una actualización de posición a la MSC/VLR utilizando la interfaz SGs. El usuario realiza una petición de acceso al servicio de voz al eNodeB, el cual realiza el traspaso a la red de destino lo que permite al usuario establecer la llamada. Una vez el usuario finaliza la llamada puede acceder nuevamente a la red LTE, este proceso se puede observar en la Fig. 2.9 (Holman & Toskala, 2009).

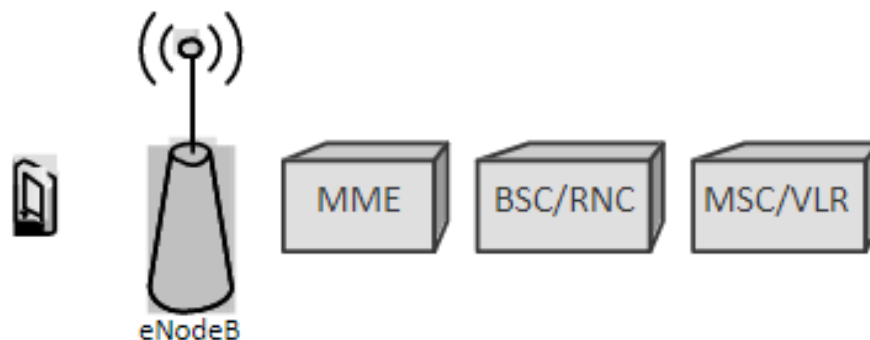


Figura 2.9 Establecimiento de llamada CS Fallback. Fuente (Holman & Toskala, 2009)

Si durante una sesión de paquetes se presenta una llamada y el sistema CS es capaz de mantener sesiones de datos, es esta la que soporta la transferencia de paquetes. Si el sistema destino no es capaz de soportar sesiones de voz y datos simultáneamente, la sesión de datos es suspendida dando continuidad a la sesión de voz, este escenario se da cuando un usuario LTE se traslada a una GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) que no soporta ambas sesiones, este modo se denomina DTM (Dual Transfer Mode). Entre las ventajas de implementar CSFB se pueden enumerar las siguientes: Debido a que la QoS se encuentra establecida en las redes 2G/3G no es necesario implementar QoS en LTE, por otro lado no sería necesario implementar una red IMS para ofrecer servicios de voz debido a que este tipo de servicio es

ofrecido por las redes 2G/3G, por últimos Los operadores pueden utilizar la infraestructura de las tecnologías 2G/3G para realizar una llamada de voz sobre LTE (Holman & Toskala, 2009).

Para ofrecer servicios de voz utilizando la técnica CS Fallback es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos: Los operado- res deben comercializar dispositivos móviles que soporten este tipo de tecnología, también deben actualizar sus MSC (Mobile Switching Center) para que soporten la interfaz SGs utilizada para realizar la interconexión lógica entre el MSC y el MME de LTE, finalmente es necesario que implementen una nueva interfaz en SAE denominada SGs, la cual es el punto de referencia entre la MME y el servidor MSC. Esta interfaz es utilizada para la gestión de la movilidad y los procedimientos de Paging entre EPS y CS, basado en los procedimientos de interfaz Gs como se aprecia en la Figura. 2.10.

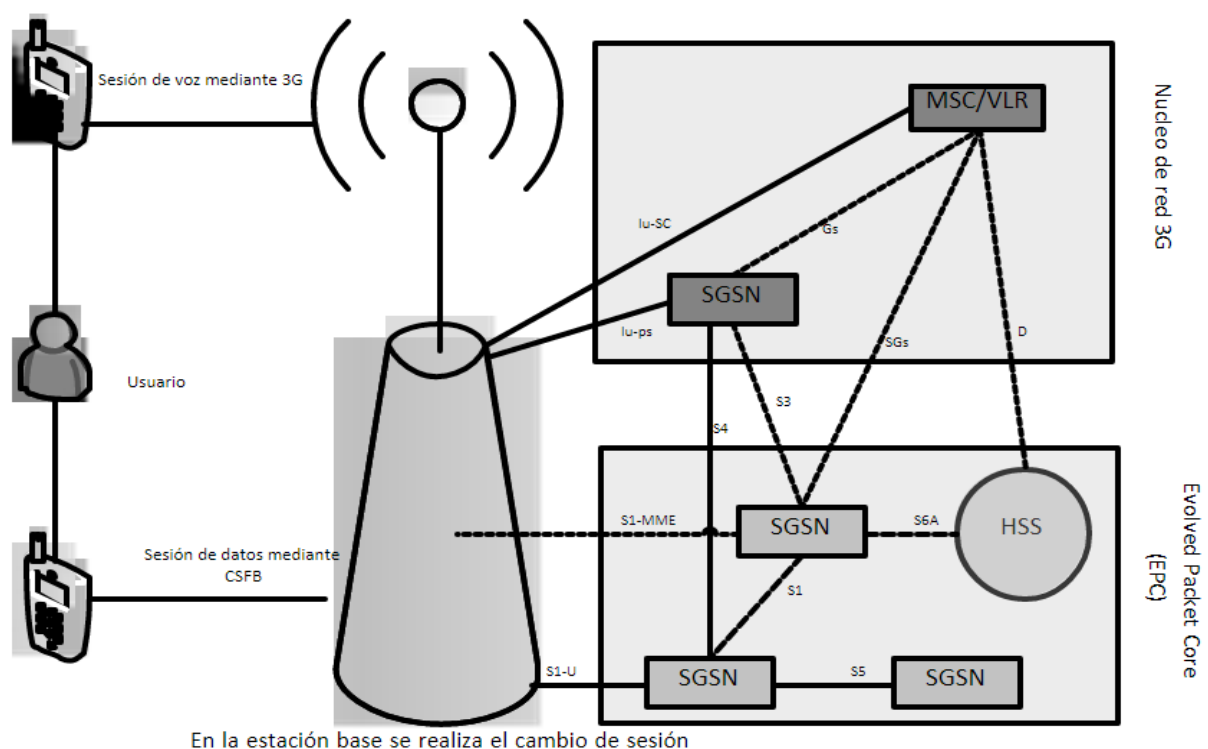


Figura 2.10 Arquitectura CS Fallback. Fuente (Holman & Toskala, 2009)

En forma general, CS Fallback presenta una nueva interfaz SGs, entre la unidad de manejo de movilidad (MME) de LTE y el centro de conmutación móvil (MSC) en 2G/3G. El punto de referencia SGs se utiliza para el manejo de la movilidad y para el proceso de Paging entre el sistema de paquetes mejorado (EPS) y el dominio CS, es basado en la interfaz denominada en este caso Gs, entre el nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN) y el MSC (Holman & Toskala, 2009). Para una llamada realizada desde un móvil, el UE solicita al MME la realización de CS Fallback, que a su vez envía la solicitud al eNodeB para realizar la llamada enviándole una señal de mensaje apropiado. El equipo de usuario inicia la llamada de voz, cuyo destino es una red de acceso de radio terrestre (UTRAN) o bien una red de acceso de radio GPRS-EDGE

(GERAN). Entre tanto, si el terminal tiene como fuente de tecnología LTE, este puede tener otras conexiones PS en curso, esas conexiones PS son suspendidas o continuadas basadas en la capacidad de la celda. En cualquiera de los casos, el usuario experimenta una degradación de QoS (Holman & Toskala, 2009).

Para una llamada que termina en un dominio CS, el MSC recibe el mensaje para una llamada entrante y envía una solicitud de paging al MME, que a su vez envía la paging al eNodeB, quien inicia el procedimiento para la entrega al UE, quien recibe la llamada después de trasladarse al destino 2G/3G (Holman & Toskala, 2009).

Este método tiene repercusiones sobre el UE (Equipo de Usuario), el eNodeB, el MME y el MSC. En el caso del UE este debe ser capaz de acceder a las redes LTE y al mismo tiempo acceder a las redes 2G o 3G y debe ser capaz de realizar una conexión combinada EPS/IMSI, es decir, conectar MME a la red LTE, así como la MSC a la red 2G/3G (Holman & Toskala, 2009).

CS Fallback es un método que permitiría proporcionar el servicio de voz sobre LTE combinando el manejo de 3G y el bloque EPC durante el despliegue inicial de LTE, antes de la prestación del servicio de voz como VoIP, permitiendo el pronto despliegue de servicio en terminales de voz a través de los servicios LTE sin tener que esperar la implementación de toda una infraestructura VoIP/IMS (Holman & Toskala, 2009).

2.2.3 Técnicas de Acceso Múltiple en LTE (OFDMA y SC-FDMA)

LTE implementa a nivel físico una tecnología que permite utilizar de forma más eficiente los recursos radio disponibles si lo comparamos con sistemas anteriores. LTE utiliza las técnicas de acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA para los enlaces descendente y ascendente respectivamente, ambas basadas en la técnica de transmisión OFDM. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

Una transmisión de portadora única “Single Carrier” (SC) se traduce en que toda la información está modulada y contenida en una sola portadora (Ver Figura 2.11), que ocupa una banda de frecuencia definida como se muestra en la Figura 2.11 cuyas características como fase, frecuencia y amplitud pueden ser ajustadas por un transmisor que tenga las capacidades adecuadas. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

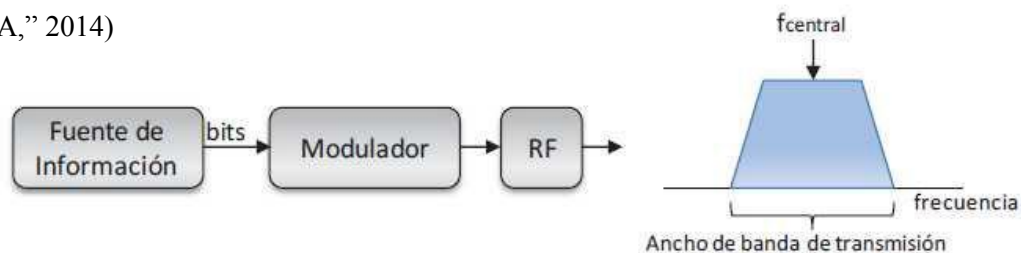


Figura 2.11 Transmisor de portadora única (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

En el concepto de FDMA, cada usuario utiliza una frecuencia porta distinta como se muestra en la Figura 2.12. Con el fin de acceder al sistema de forma simultánea, dichas portadoras han de estar lo suficientemente separadas y sus formas de onda han de ser adecuadas como para no causar una excesiva interferencia entre sí, pero que tampoco estén demasiado separadas ya que se estaría haciendo un mal uso del espectro. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

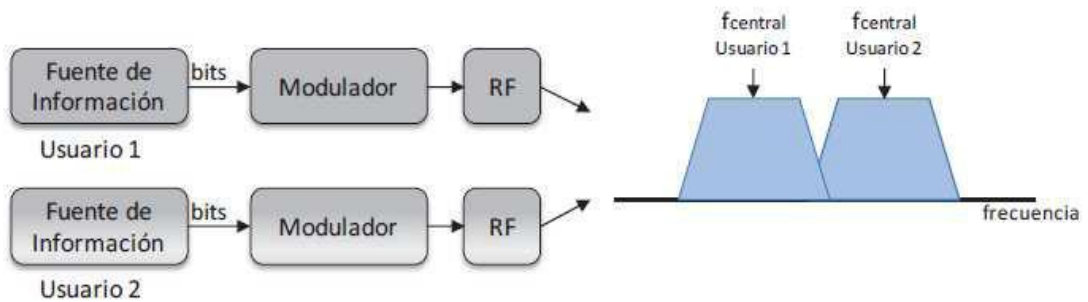


Figura 2.12 Transmisor basado en concepto FDMA (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

El concepto de señal multi-portadora se muestra en la Figura 2.13 que se muestra a continuación. Los bits de información son repartidos sobre las distintas subportadoras de un mismo transmisor utilizando un banco de filtros y con igual separación entre subportadoras. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

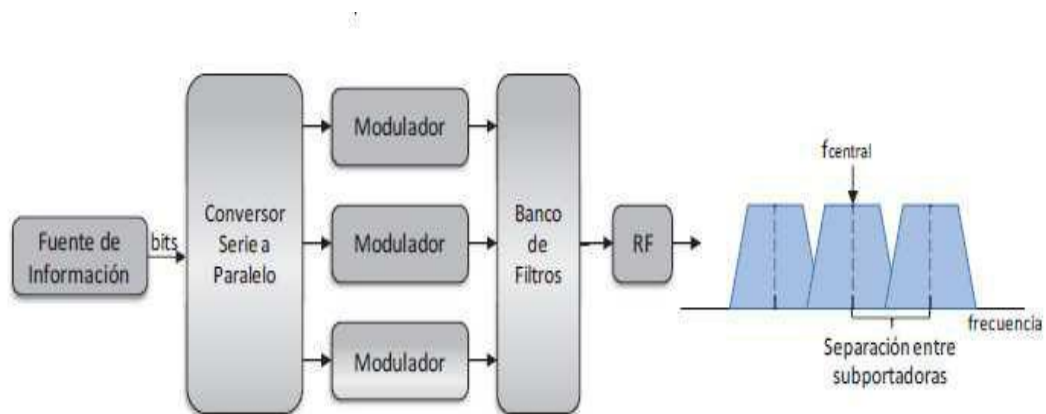


Figura 2.13 Transmisor basado en concepto de Multiportadora (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

La técnica de transmisión OFDM constituye un mecanismo de transmisión multi-portadora basado en multiplexar un conjunto de símbolos sobre un conjunto de subportadoras ortogonales entre sí. Las propiedades de ortogonalidad permiten, a pesar de que los espectros de las subportadoras estén superpuestos, que no sea un impedimento para la separación en recepción y posterior recuperación de los símbolos transmitidos. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

En la Figura 2.14 se observa un ejemplo de una señal OFDM en frecuencia formada por 4 subportadoras y en donde se indica el punto de muestreo óptimo de una subportadora y el valor nulo del resto para este punto. (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

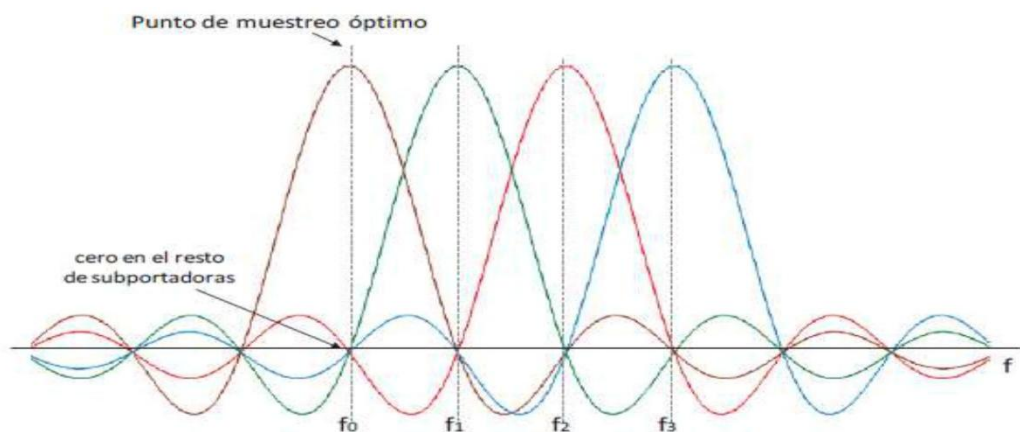


Figura 2.14 Espectro correspondiente a 4 sub portadoras OFDM (OFDMA y SC-FDMA,” 2014)

2.2.4 Modos de funcionamiento: TDD y FDD

Se define TDD (time-division duplexing) como duplexación por división en el tiempo, y consiste en una técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempo diferentes sobre el mismo canal usando acceso múltiple por división en el tiempo. En FDD (Frequency-division duplexing) el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras. La estación debe ser capaz de enviar y recibir al mismo tiempo, y hace esto alterando ligeramente la frecuencia a la que envía y recibe. Este modo de operación es referido como modo dúplex o modo complemento. Los esquemas de ambos modos de funcionamiento se representan en la Fig. 2.15 (R. Herradón Díez.2014)

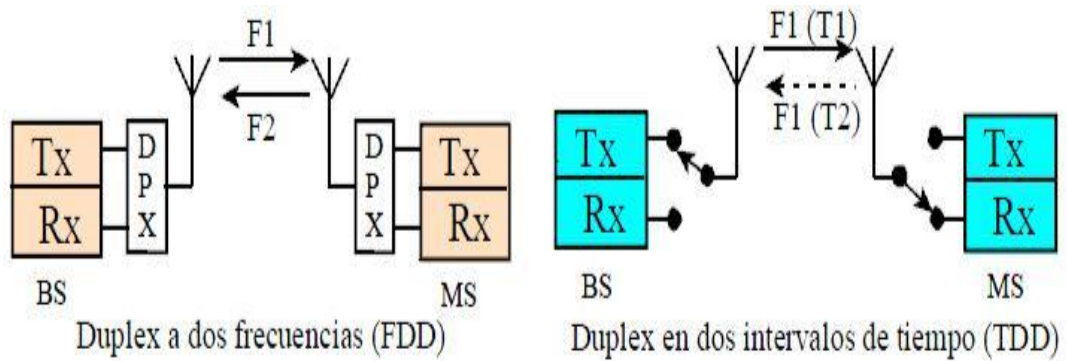


Figura 2.15 Esquemas de los modos de funcionamiento FDD y TDD. (R. Herradón Díez.2014)

En LTE se han definido estos dos modos de funcionamiento que permiten el uso de frecuencias pareadas y no pareadas. FDD proporciona mayor eficiencia espectral pero por otro lado, TDD tiene la aplicación adicional de poder ser usado como tecnología de transmisión de acceso (blackhaul). FDD y TDD tienen sus propias fortalezas y debilidades. FDD es generalmente más apropiado para aplicaciones como llamadas de voz, que tienen un tráfico simétrico. Esto se debe a que el tráfico en ambas direcciones es siempre constante y emplear TDD sería desperdiciar ancho de banda en constante cambio de uno a otro sentido. Por tanto TDD es mejor en las aplicaciones que tienen el tráfico asimétrico, por ejemplo, la navegación vía Internet; TDD es capaz de dar un equilibrio dinámico a la carga de datos si esto fuese necesario. Otra de las ventajas que tiene FDD consiste en la planificación de sitios para las estaciones base, pues en el caso de FDD, al usar distintas bandas de frecuencias para los enlaces ascendentes y descendentes, no se requiere una planificación espacial entre estaciones base; sin embargo, en el caso de TDD deben de ser tomadas en cuenta consideraciones espaciales con el fin de evitar que las estaciones vecinas interfieran unas con otras. En la Tabla 1.1, queda resumida esta comparación. (J. M. Huidobro 2012.)

Parámetro	LTE-FDD	LTE-TDD
Reciprocidad de canal	Las características del canal son diferentes en ambos sentidos	Es la misma en ambos sentidos, lo que permite TX y RX con un único conjunto de parámetros
Coste del hardware	Es necesario un duplexor para aislar TX de RX, lo que implica mayor coste	Menor coste del hardware al no requerir duplexor

Espectro	Requiere espectro pareado con separación de frecuencia suficiente para permitir full dúplex	No requiere espectro pareado. La TX y RX se llevan a cabo en la misma banda
Periodo / Banda de guarda	Banda de seguridad necesaria Para aislar UL y DL. Bandas de guarda grandes no influyen en la capacidad	Banda de guarda necesaria. El período de protección limita la capacidad
Transmisión discontinua	Se requiere transmisión continua	La transmisión discontinua es necesaria para permitir transmisiones en UL y DL, lo que puede degradar el rendimiento
Asimetría UL/DL	La capacidad UL/DL se determina por la asignación de frecuencias, que es fija y no hace posible realizar cambios dinámicos	La relación UL/DL se puede cambiar dinámicamente en función de la demanda

Tabla 1.1 Comparación entre LTE-FDD y LTE-TDD. (J.Moya.2012)

2.2.5 Interfaz de Radio

La interfaz radio soporta básicamente dos tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal radio: difusión de señalización de control, envío de paquetes IP y transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB. Los Dos mecanismos se describen a continuación:

- **Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal radio.** Tal como se ha comentado anteriormente, los servicios de transferencia entre un eNodoB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores radio (Radio Bearers, RB). Es importante destacar que los servicios portadores radio de E-UTRAN han sido diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (X.25, tramas Ethernet, etc.). Por ello, de cara a la optimización del envío de tráfico IP a través de la interfaz radio, los servicios portadores albergan funciones como la compresión de cabeceras de los paquetes IP que permiten reducir el número de bytes enviados por la interfaz radio (las cabeceras de los paquetes IP pertenecientes a un mismo tipo de tráfico contienen un gran número de parámetros idénticos, p. ej., direcciones origen y destino, por lo que no resulta necesario enviar todos los bytes de la cabecera IP en cada uno de los paquetes). (Agustí et al., 2010, p.66).

- **Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNodoB y un equipo de usuario (UE).** El establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores radio así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal (registro del terminal en la red). La conexión de control se soporta mediante el protocolo Radio Resource Control (RRC). A través de dicho protocolo se gestionan, además del establecimiento, modificación y liberación de los servicios portadores radio entre el eNodoB y el equipo de usuario, otros mecanismos claves para la gestión eficiente de los recursos radio. Entre dichos mecanismos cabe citar el control y envío de medidas radio desde los terminales hacia el eNodoB y el mecanismo de handover, que permite que un equipo de usuario cambie de celda manteniendo activos tanto la conexión de control como los posibles servicios portadores radio que esté utilizando. Los terminales que mantienen una conexión de control con E-UTRAN se dice que se encuentran en modo conectado o activo, en contraposición al denominado modo idle en que el terminal no tiene una conexión RRC y básicamente se encuentra monitorizando la información de control difundida por la red (Agustí et al., 2010, p.66).

2.2.6 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Es otra de las principales innovaciones de la tecnología LTE que se utilizan para mejorar el rendimiento del sistema. Esta tecnología le proporciona a LTE la capacidad de mejorar aún más su rendimiento de datos y la eficiencia espectral por encima de la obtenida por el uso de OFDM. (Agustí et al., 2010, p.215)

Aunque MIMO añade complejidad al sistema en términos de procesamiento y el número de antenas necesarias, permite ahora altas tasas de datos a conseguir junto con gran eficiencia espectral mejorada. (Agustí et al., 2010, p.215)

- **Diversidad en transmisión:** Consiste en transmitir el mismo flujo de información por las múltiples antenas. Busca mejorar la relación señal a ruido de recepción, aprovechando los múltiples caminos de propagación (independientes entre sí) del entorno. (Agustí et al., 2010, p.215)
- **Multiplexación Espacial:** Consiste en transmitir distintos flujos de información por las antenas. Busca incrementar la velocidad de transmisión percibida, aunque depende de qué tan dispersivo sea el canal. (Agustí et al., 2010, p.215)

- **Beamforming:** consiste en utilizar antenas inteligentes para lograr una conformación de haz buscando eliminar las interferencias. (Agustí et al., 2010, p.215)

La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación; esto favorece, según el medio, hasta cuatro veces la capacidad de transmisión de datos.

El detonante para que el 3GPP comenzase a trabajar en el desarrollo de LTE fue reconocer la necesidad de dar respuesta a la demanda en banda ancha móvil, mejorando el servicio prestado hasta el momento y reduciendo el coste por bit. (Agustí et al., 2010, p.215)

Caracterización de las estructuras MIMO

La introducción de las estructuras de antena MIMO levantó grandes expectativas que se han visto confirmadas en los últimos años por la multitud de publicaciones en este campo], y su implementación en sistemas concretos de comunicaciones móviles, como es el LTE, objeto de este libro. Es por ello que a continuación capturaremos los aspectos más relevantes de los MIMO necesarios para su comprensión, intentándolo conjuntar con una

Exposición detallada de sus particularidades técnicas más relevantes. (Agustí et al., 2010, p.215)

Capacidad de las Estructuras MIMO

La capacidad de un canal de comunicaciones que contemple estructuras con varias antenas transmisoras y receptoras se puede obtener generalizando la expresión clásica de la capacidad de un canal C de ancho de banda B y relación señal a ruido γ introducida por primera vez por Shannon y ya mencionada anteriormente. (Agustí et al., 2010, p.216)

$$C = B \log_2 (1 + \gamma) .$$

Como El hecho de que las modernas técnicas de codificación y modulación permitan ya alcanzar velocidades de transmisión muy próximas al límite establecido por la capacidad de un canal de comunicaciones, otorgan ‘si cabe’ un mayor interés al conocimiento de esta expresión. (Agustí et al., 2010, p.216)

2.2.7 Sistema de Radiación.

El sistema de radiación nos permitirá llegar eficientemente en donde realmente lo necesitemos previo estudio y diseño.

(Ramos, 2012) lo define:

Para que los distintos usuarios de un sistema celular de banda ancha punto a multipunto reciban un nivel de señal comparable independientemente de su distancia a la estación base, es necesario conformar un cierto diagrama de radiación en el plano vertical. La forma que debe adquirir este diagrama es del tipo cosecante al cuadrado (csc^2), tal y como se explicará en este artículo.

Considérese la geometría del enlace representada en la figura 2.16, donde se ha tomado una celda de 3 km de radio y dos usuarios situados en el borde de la celda y a una distancia de 100 m de la estación base. De acuerdo con las distancias indicadas, se obtienen unos ángulos de elevación para las antenas de los usuarios 1 y 2 de $16,7^\circ$ y $0,6^\circ$ respectivamente.” (p.1)

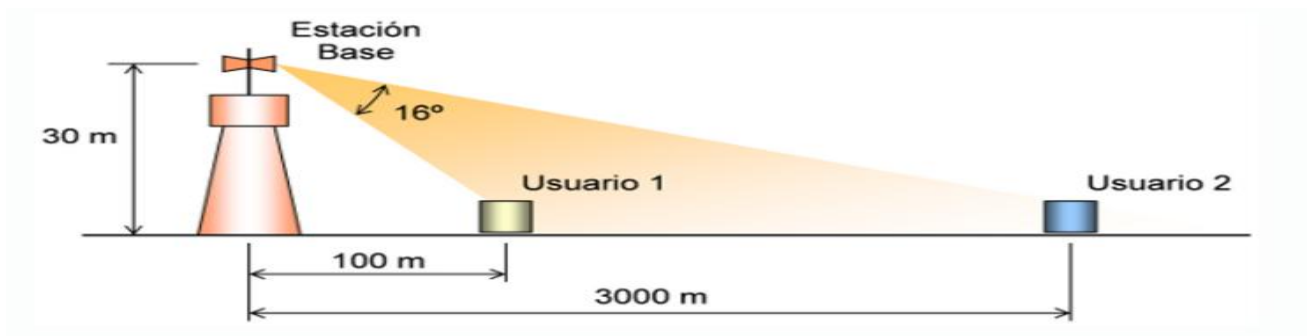


Figura 2.16 Perfil vertical de una celda de sistema punto a multipunto (Ramos, 2012)

Listo en esta figura 2.17 indicamos que la potencia de señal recibida por cada uno de estos usuarios es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida por las ondas radioeléctricas. La cual a su vez puede obtenerse que sea inversamente proporcional al seno del ángulo de elevación. Por lo tanto, la potencia recibida es directamente proporcional al cuadrado del seno (sen^2) del ángulo de elevación. Es decir, para que ambos usuarios reciban la misma potencia es necesario colocar una antena en la estación base con un diagrama de radiación en el plano vertical del tipo csc^2 (inverso del sen^2). Así, normalizando la ganancia de la antena con respecto al usuario 2, el usuario 1 requiere una ganancia relativa de aproximadamente -29 dB. En la figura 2 se representa la ganancia normalizada en función del ángulo de elevación. (Curva azul). (Ramos, 2012, p.2).

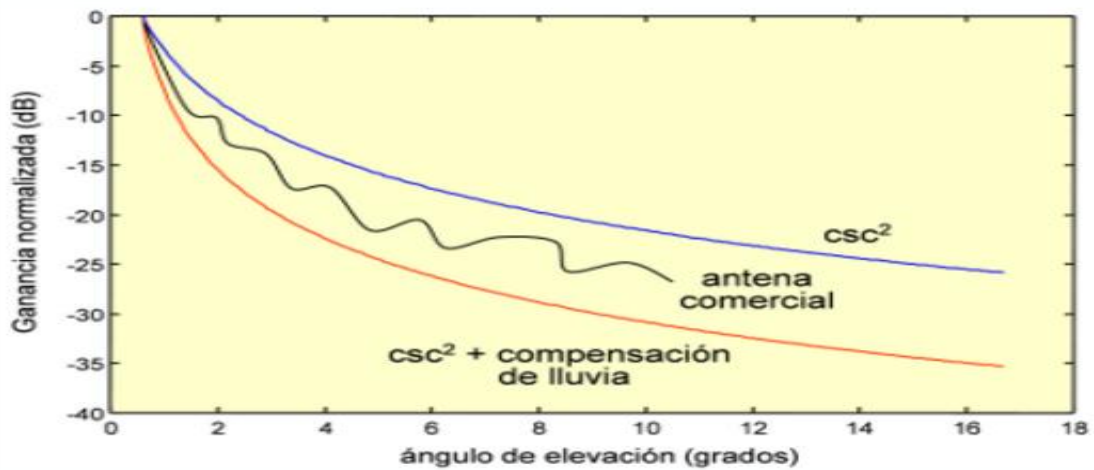


Figura 2.17 Diseño de ganancia normalizada con y sin compensación de lluvia. (Ramos, 2012)

2.2.8 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y Algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado. Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos). (Quintana, R., López, R., & Montejo, S., 2011.)

Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor móvil o fijo. La ventaja de modelar radiocanales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos. (Quintana, R., López, R., & Montejo, S., 2011.)

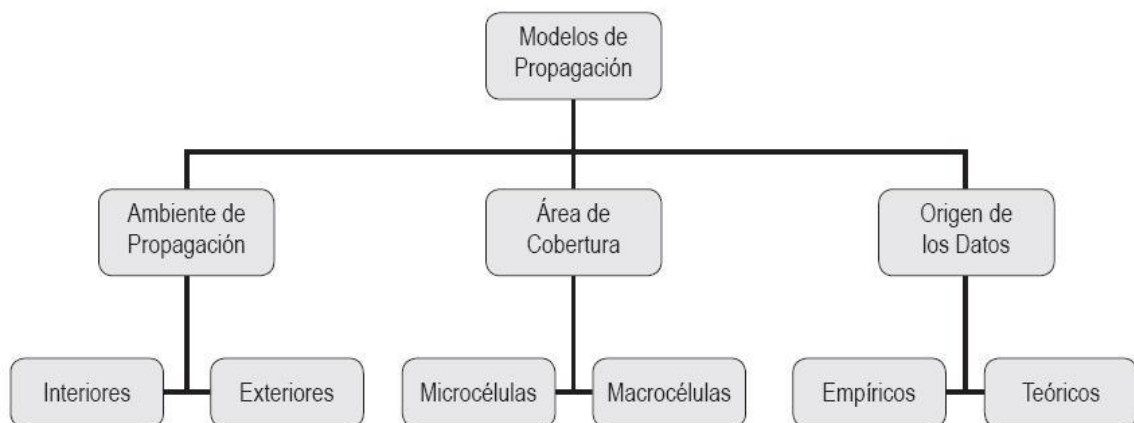


Figura 2.18 Factores a tener en cuenta para aplicar los modelos de propagación (Fuente: Fuente propia)

OKUMURA – HATA.

Es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150 MHz a los 1500 MHz. Aunque Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar. (Quintana, R., López, R., & Montejó, S., 2011.)

El modelo de Okumura-Hata está restringido a los siguientes límites:

- f : 150 a 1500 MHz (por tanto, se incluye la banda de 900 MHz que estamos utilizando)
- hb: 30 a 200 m
- hm: 1 a 10 m
- d : 1 a 20 km

MODELO COST-231

El modelo COST-231 es un modelo semi-empírico de predicción de las pérdidas en un trayecto, extensión en frecuencia de modelo de propagación Okumura – Hata. Se utiliza para frecuencias menores a 2000MHz, aunque también es utilizado en predicciones para frecuencias de 2,5GHz y asumiendo una menor precisión de resultados se puede considerar como válido hasta 3,5GHz. (Quintana, R., López, R., & Montejó, S., 2011.)

MODELO LONGLEY AND RICE

El modelo Longley-Rice predice la posible propagación a larga-media distancia sobre terreno irregular. Fue diseñado para frecuencias entre los 20MHz y 20GHz, para longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km. (Quintana, R., López, R., & Montejó, S., 2011.)

También es un modelo estadístico pero toma en cuenta muchos más parámetros para el cálculo de las pérdidas:

- Altura media del terreno (ondulación)
- Refracción de la troposfera
- Perfiles del terreno
- Conductividad y permitividad del suelo
- Clima

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley y-Rice tiene los siguientes parámetros comunes al de otros modelos de propagación; Frecuencia, el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 20GHz (Quintana, R., López, R., & Montejó, S., 2011.)

2.2.9 REQUISITOS DEFINIDOS POR LA ITU PARA LTE

TASA BINARIA DE PICO

El sistema debe tener una tasa binaria objetivo en DL de 100 Mbps y una tasa binaria de pico en UL de 50 Mbps en caso de utilizar antenas 2x2. (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

LATENCIA

Plano de control: el objetivo de tiempo de transición desde modo idle (con dirección IP asignada) a modo conectado debe ser menos de 50 ms, incluyendo el establecimiento del plano de usuario (excluyendo el retardo de transferencia del interfaz S1). El objetivo para la transición desde un estado dormido a un modo conectado, Discontinuous Reception (DRX), es decir, substrato de recepción discontinuo en modo conectado, debe ser menos de 10 ms (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

Plano de usuario: Tiempo tránsito unidireccional entre el instante en que un paquete está disponible en la capa IP del nodo equipo de usuario (UE) y el instante en que lo está en el nodo frontera. La latencia será inferior a 5 ms en condición descargada: un único usuario y un solo flujo de datos, para un paquete IP mínimo: Cabecera IP + carga útil de 0 bytes. (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

EFICIENCIA ESPECTRAL

LTE tiene como objetivo soportar en el canal descendente, con una configuración de antena 8x8, una eficiencia espectral de pico de 30 bps/Hz y en ascendente, configuración de antena 4x4, una eficiencia espectral de pico de 15 bps/Hz. Adicionalmente se han fijado objetivos de eficiencia espectral media, esta eficiencia espectral media se define como la agregación del “throughput” de todos los usuarios (el número de bits recibidos correctamente en un periodo concreto de tiempo) normalizado por el ancho de banda de las celdas dividido por el número de celdas (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

“THROUGHPUT” DE USUARIO EN EL BORDE DE LA CÉLULA

LTE debe permitir que el flujo de datos, de usuario en el borde de la célula sea el más alto posible. El “throughput” de usuario en el borde de la célula se define como el punto del 5% de la función acumulativa de distribución del “throughput” de usuario normalizado por el ancho de banda total de la célula. Permite una velocidad de 20Mbps para UL y 100Mbps para DL que se corresponderían con el 100% (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

MOVILIDAD

El sistema debe soportar movilidad a lo largo de la red celular para velocidades hasta 350 km/h (o hasta 500 Km/h dependiendo de la banda de frecuencia). Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), está optimizada para velocidades de vehículos reducidas, de 0-15km/h, con buena calidad, entre 15 y 120 km/h (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

COBERTURA

Los objetivos básicos deben alcanzarse en células de hasta 5km de radio con ligera degradación, hasta 30km de radio. (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

FLEXIBILIDAD ESPECTRAL

Las bandas de frecuencia identificadas aparte de las ya fijadas en LTE release 8 son las siguientes:

- Banda 450-470 MHz
- Banda 698-862 MHz
- Banda 790-862 MHz
- Banda 889-960 MHz
- Banda 2,3-2,4 GHz
- Banda 3,4-4,2 GHz
- Banda 4,4-4,99 GHz

LTE puede operar en espectros de diferentes tamaños, incluyendo espacios espectrales más grandes que aquellos definidos en LTE release 8. El principal objetivo para soluciones más anchas que 20 MHz debe ser en espectro consecutivo. Aun así, la agregación de espectro para LTE debe tener en cuenta una complejidad de UE razonable. Se debe soportar tanto Frequency Division Duplexing (FDD) como Time Division Duplexing (TDD) para bandas emparejadas y sin emparejar, respectivamente (ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT. 2012)

2.2.10 CALIDAD DE SERVICIO

En la fase de planificación se realizan simulaciones para comprobar que la red LTE diseñada cumple los requisitos de QoS, deseados. (Ver Figura 2.19)

La ITU define la QoS como:

“Efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción del usuario”.

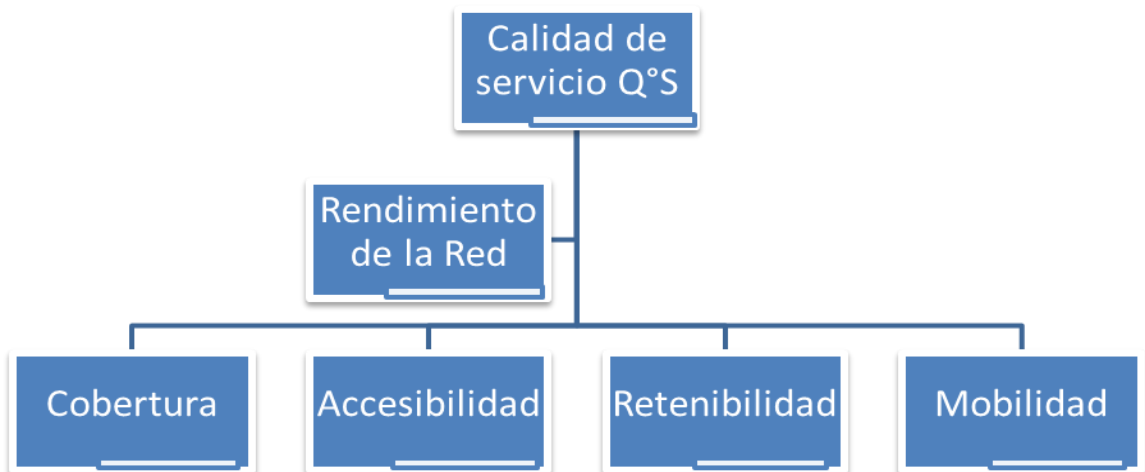


Figura 2.19 Parámetros de QoS (Fuente; Elaboración Propia)

Los parámetros de calidad para LTE fueron definidos a partir del Release 8 de la 3GPP donde se definió que estos parámetros están basados por bearer para el caso de Gateway en GTP o por servicio, basados en los gateways basados en PMIP. (ITU-R, Revisión 1 to Document IMT-ADV/2-E, 2012)

Los parámetros de QoS son los siguientes:

- Quality Class Identifier (QCI).
- Allocation and Retention Priority (ARP).
- Guaranteed Bit Rate (GBR).
- Maximum Bit Rate (MBR).

QCI. Es un identificador que diferencia los servicios o tipos de tráfico por medio de un identificador. Este es el concepto clave para entender la calidad de servicio en LTE, ya que a todos los bearers de un UE se le asigna un QCI.

En total son 9 diferentes QCI, estos QCI se dividen en 2 grupos principales: GBR y non-GBR, donde GBR asegura que van a tener cierto ancho de banda garantizado, y non-GBR puede ser cualquier velocidad, ya que no tiene ancho de banda reservado. (ITU-R, Revisión 1 to Document IMT-ADV/2-E, 2012)

Disponibilidad de cobertura

La definición de un requisito técnico de cobertura lleva asociado el establecimiento de unos niveles de cumplimiento. En general, estos niveles de cumplimiento se definen como un porcentaje de ubicaciones o tiempo en los que se satisfacen los objetivos establecidos. Sin embargo, estos niveles pueden hacer referencia a diferentes conceptos que conviene distinguir: (3GPP, TR 36.942 V12.0.0. 2014).

Disponibilidad temporal

Los valores de tráfico soportado por cada emplazamiento varían a lo largo del día según el perfil de uso del servicio. Los recursos son compartidos entre todos los usuarios, lo que implica que las condiciones de servicio que alcanza cada usuario variarán a lo largo del día. En algunos países se define una disponibilidad, definiéndose porcentajes de tiempo o número de horas con alta carga en las que se miden las velocidades alcanzadas. Sin embargo, en el modelo que se incluye en este informe se trabaja con un balance de enlace basado en velocidades de pico. De este modo, el concepto de disponibilidad temporal queda englobado en cómo esta velocidad de pico se traduce en la velocidad media diaria, y no se empleará explícitamente como requisito técnico (3GPP, TR 36.942 V12.0.0. 2014).

Probabilidad de cobertura

Los modelos de cobertura establecen un nivel medio en cada ubicación de acuerdo a los modelos de propagación. Estos niveles están sujetos a una variabilidad estadística debido a la variabilidad intrínseca a la propagación radioeléctrica y a que la adecuación de las medidas reales a los modelos teóricos nunca es perfecta. Por esta razón, es imposible asegurar un nivel de cumplimiento total y se define un porcentaje de cumplimiento, aplicable a ubicaciones y tiempo en los que se miden unos niveles de señal superiores a los umbrales definidos. Este es el concepto de nivel de cumplimiento que se utilizará en el presente documento. El cumplimiento de una cobertura con una probabilidad determinada se traduce en la aplicación de unos márgenes de desvanecimiento sobre los valores medianos de señal. (3GPP, TR 36.942 V12.0.0. 2014).

Factibilidad Técnica

Con el pasar del tiempo y la apresurada evolución de las comunicaciones móviles, el gran riesgo de las operadoras ha sido el factor inversión, el cual ha obligado a los fabricantes de equipos de telecomunicaciones a crear soluciones escalables y con miras al futuro, con la finalidad de permitir que una fuerte inversión inicial de infraestructura en determinada tecnología pueda ser reutilizada según los nuevos avances y requerimientos de los usuarios. Esta fue la principal razón por la cual Huawei en el año 2008 decidió crear una solución denominada Single RAN, la misma

que permite reducir el coste de construcción y operación de la red (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)

SINGLE RAN HUAWEI

Como se mencionó anteriormente la nueva tecnología LTE será instalada sobre la solución Single Ran de Huawei, la misma que permite a los operadores de red incorporar varias tecnologías móviles en una sola infraestructura, haciendo posible que puedan co-existir tanto redes 2G -3G y permitir a la vez la evolución hacia la red de cuarta generación LTE de manera sencilla y sin precisar un mayor cambio en la topología. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)

El principal objetivo de Single RAN es ofrecer una red de acceso móvil de múltiple tecnología, garantizando la evolución de la red sin que esto implique una fuerte inversión en nueva infraestructura, es decir la inversión inicial es proyectada al futuro. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)

- **Evolución transparente.** Las estaciones base permiten la implementación de una red orientada al futuro y la evolución transparente hacia una red LTE. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)
- **Flexibilidad.** El diseño innovador y las combinaciones flexibles de los módulos funcionales y dispositivos auxiliares son el principal atractivo de esta solución, especialmente porque los operadores pueden instalar módulos en diferentes modos dentro del gabinete para formar distintos escenarios según las nuevas exigencias. Esto acelera la introducción de nuevas bandas de frecuencia y nuevas tecnologías de radio, abordando de manera eficiente los requisitos de una red móvil. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)
- **Banda ancha.** Al estar basada en una tecnología multiportadora y totalmente IP, soporta un ancho de banda de más de 100 Mbps en los puertos de transmisión. Esto asegura la compatibilidad con el crecimiento de los servicios de datos móviles, y asegura mayores velocidades de transmisión de datos para los usuarios. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)
- **Tecnología Verde.** Los equipos y la arquitectura optimizada del sistema en conjunto con las tecnologías innovadoras para la gestión de los amplificadores de potencia y el consumo de energía, permiten a los operadores implementar un ahorro energético, Reducción de emisiones y construir una red ecológica de comunicación a través del control de temperatura y la utilización de energía ecológica. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)
- **Reducción de costos.** La presente solución adopta un diseño modular de vanguardia combinando modos múltiples y usando los mismos tipos de módulo para diferentes modelos de estaciones base. Las estaciones base son aplicables a diversos escenarios de instalación. Además, los tres

módulos básicos de la serie Single BTS (RRU, RFU y BBU) se caracterizan por su pequeño tamaño, su alta integración, su bajo consumo de energía y su despliegue fácil y rápido. Esto reduce significativamente los costos de construcción de la red y los gastos operativos de los operadores en términos de adquisición de sitios, expansión en la capacidad y protección al medio ambiente. (Huawei Technologies Co, Ltd © 2016)

2.2.11 Funcionalidad de la Red Móvil

Uno de los aspectos más importantes para los operadores de cualquier sistema de comunicaciones móviles es la gestión de recursos radio y del espectro radio eléctrico. La gestión eficiente de los recursos permite ofrecer cierta QoS (CALIDAD DE SERVICIO). En las redes LTE la parte encargada de estas funciones se llama Radio Resource Management (RRM). Es muy importante resaltar que en el estándar LTE están definidas una serie de funciones y conceptos de gestión de recursos, especificando qué interfaces y qué tipo de señales realizan determinadas funciones pero no se especifican algoritmos para llevar a cabo la implementación, quedando así a decisión de los proveedores del servicio la elección de qué estrategias se implementan. Esta característica tiene un aspecto muy positivo porque los algoritmos se escogerán en función del nivel de adaptación a cada red. (Ghosh, A., Zhang, J., Andrews, J., & Muhamed, R, “Fundamentals of LTE” (2011))

Entre las funciones más relevantes de la Gestión de Recursos Radio destacan:

- **Control de Admisión Radio (RAC):** se encarga de decidir si una nueva petición de servicio para un usuario es aceptada o no. (Ghosh et al., (2011))
- **Control de Servicios Portadores Radio (RBC):** se encarga de establecer el RB correspondiente a un servicio basándose en los requerimientos de QoS una vez que haya sido aceptado por el RAC. Además mantiene la QoS del servicio a lo largo de la sesión y la liberación de RB's. (Ghosh et al., (2011))
- **Scheduling de Paquetes y Estrategias:** esta función es de las más importantes. Se realiza en el eNB tanto para el enlace ascendente como para el descendente. Su función consiste en asignar los recursos radio de forma dinámica, indicando qué usuarios van a transmitir, qué recursos de la interfaz radio van a utilizar y qué esquema de modulación van a emplear.

El recurso mínimo que se asigna a un usuario son 2RB's de 180KHz cada uno, en una subtrama de 1ms. (Ver figura 2.20) El canal se puede asignar en cada subtrama al usuario que presente mejor calidad de canal, aprovechándose así mejor los recursos radio. (Ghosh et al., (2011))

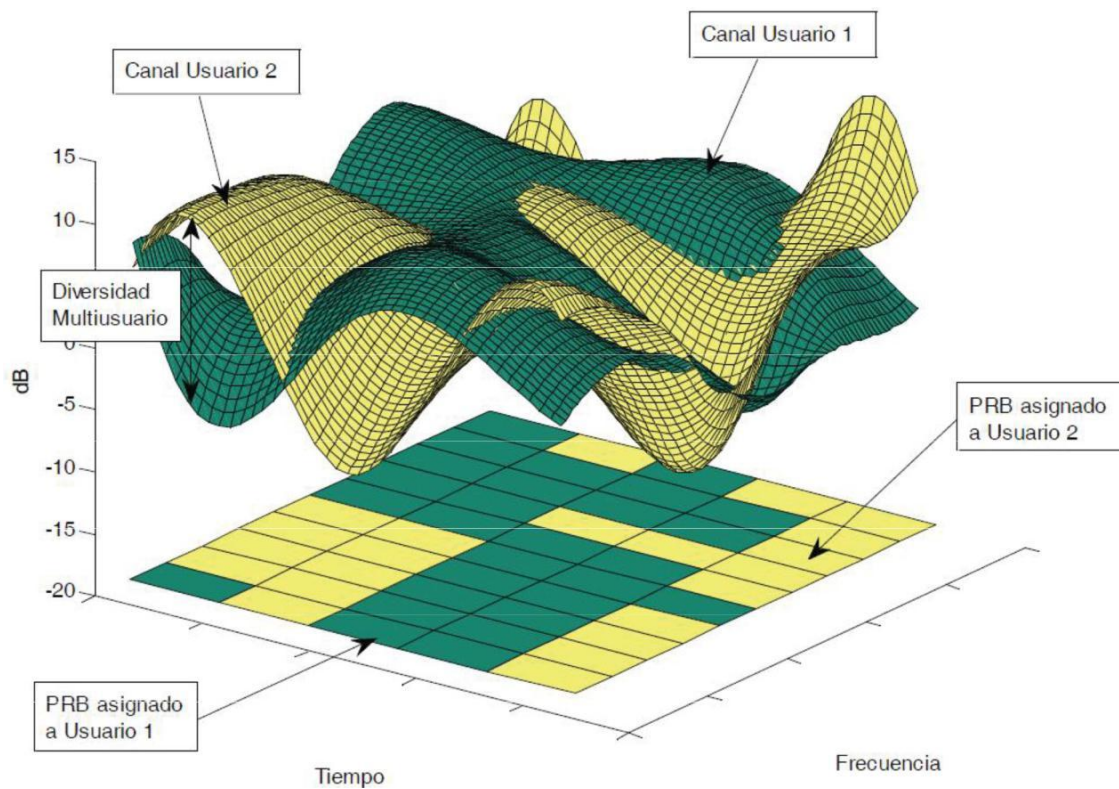


Figura 2.20 Asignación de recursos utilizando diversidad multiusuario (Agustí et al., 2010)

Se vuelve a mencionar porque resulta de especial interés que las estrategias sobre los criterios que debe seguir el scheduler para decidir qué usuarios transmiten y que recursos se asignan a cada uno NO están definidas por el estándar. (Agustí et al., 2010)

Dos de estas estrategias son:

- **Round Robín (RR):** asigna el canal a los usuarios de forma equitativa sin tener en cuenta la calidad de canal percibida por ellos. (Agustí et al., 2010)
- **Proportional Fair (PF):** se obtiene la máxima capacidad del canal mientras se hace un reparto justo de los recursos entre los usuarios. Asigna a cada usuario un nivel de prioridad inversamente proporcional al que sería su consumo de recursos en caso de que sea elegido. (Agustí et al., 2010)

En los sistemas celulares se pueden clasificar dos tipos de interferencia, intracelular cuando es causada por las transmisiones de/para los usuarios dentro de una misma celda, e intercelular cuando afecta a transmisiones de/para usuarios de otras celdas. (Agustí et al., 2010)

El sistema LTE, gracias a la función de "scheduling", no presenta interferencia intracelular, ya que el "scheduler" define qué RBs serán utilizados para cada usuario en cada subtrama evitando de esta forma colisiones. Sin embargo, en LTE si existe la interferencia intercelular, (Agustí et al., 2010)

La cual ocurre cuando usuarios de distintas celdas tienen asignado el mismo RB de la misma subtrama; el impacto es mayor a medida que las celdas donde ocurra esta situación sean más cercanas. Dicha interferencia es capaz de causar los siguientes efectos: (Agustí et al., 2010)

- **Disminución de la SINR**, dado que se incrementa el valor de interferencia. Para combatirlo es necesario seleccionar esquemas de modulación y codificación más robustos y por lo tanto de menor eficiencia espectral, reduciendo así la cantidad de bits por RB. (Agustí et al., 2010)
- **Reducción de la duración de la batería del terminal**, dada la necesidad de aumentar la potencia de transmisión en el enlace ascendente para lograr la correcta comunicación. (Agustí et al., 2010)
- **Reducción de las capacidades de la celda**, dado el incremento de mensajes de señalización debido a retransmisiones HARQ. (Agustí et al., 2010)

2.2.12 Análisis del RSRP

En las redes LTE el terminal mide dos señales de referencia: el RSRP y el RSRQ. El RSRP, que es un tipo de medida RSSI, es la potencia de las señales de referencia de LTE repartidas en todo el ancho de banda y en banda estrecha. En cualquier caso, se necesita un mínimo de -20 dB de SINR (del canal S-Synch) para detectar el RSRP y el RSRQ. (Agustí et al., 2010)

- Si hacemos uso del 3GPP, podemos obtener información que puede ser de gran ayuda para entender un poco mejor lo que representa esta señal. La señal RSRP (Reference Signal Received Power), se define como el promedio lineal de las contribuciones de energía, medida en Vatios, de los recursos elementales (RE) que llevan señales de referencia específicas (RS) de la célula, medidas dentro del ancho de banda de frecuencia de medición determinado. Por ello, el RSRP solo se mide en los símbolos que llevan RS. Para poder tomar esta medida, el terminal debe estar sincronizado con la celda objetivo, es decir, debe adquirir los canales P-SCH y S-SCH descritos por el autor, R. Agustí Comes, F. Bernardo Álvarez, F. Casadevall
- Realmente, como idea principal de lo que representa el RSRP, podemos decir que esta medida proporciona una estimación de la potencia de la señal recibida a nivel de celda. Los terminales UE miden la potencia de múltiples recursos elementales usados para transferir la señal de referencia, pero posteriormente se realiza un promedio de todos

ellos en lugar de sumarlos. El punto de referencia para el RSRP debe de ser el conector de la antena del terminal UE. (Agustí et al., 2010).

- Para la determinación del RSRP se deben de usar el flag de referencia de la célula del tipo T0, según el TS 36.211. Pero si, el terminal UE detecta que el flag R1 está disponible, también se puede utilizar junto al R0 para determinar el RSRP. (Agustí et al., 2010).
- La señal RSRP es realmente útil para medir la potencia de la señal de un sector, ya que, excluye el ruido y la interferencia de otros sectores. El rango de valores entre los que se puede encontrar esta señal, según el 3GPP, van desde -44 a -140 dBm. Pero los valores típicos que podemos encontrarnos van desde unos -75 dBm en zonas próximas al núcleo de la célula, a unos -120 dBm en el borde del área de cobertura LTE (Agustí et al., 2010).

2.2. Glosario de términos

- **THROUGHPUT:** Es definido como la velocidad real de transporte de datos a través de una red telemática, el cual normalmente se mide en Mbit/s y siempre será inferior al ancho de banda o bandwidth.
- **RSRP:** (Señal de referencia de potencia recibida) Es la más simple de las medidas de la capa física del UE y es un promedio línea en Watts de la señal de referencia del enlace descendente a través del ancho de banda del canal. El RSRP provee al equipo de usuario con información esencial acerca de la potencia de la celda medida que es usada en los algoritmos para determinar la potencia máxima para la operación de la red.
- **RFT:** Es un dispositivo electrónico (por lo general) pequeño utilizado para transmitir y / o recibir señales de radio entre dos dispositivos. En un sistema integrado es a menudo deseable para comunicarse con otro dispositivo de forma inalámbrica . Esta comunicación inalámbrica puede lograrse a través de la comunicación óptica o por medio de la radio de comunicación de frecuencia (RF). Para muchas aplicaciones el medio de elección es RF, ya que no requiere línea de visión. Comunicaciones de RF incorporan un transmisor y / o receptor .
- **E-UTRAN:** **E-UTRA** es la interfaz de aire del 3GPP 's Long Term Evolution ruta de actualización (LTE) para las redes móviles. Es un acrónimo de evolución de UMTS Terrestrial Radio Access, también conocido como el 3GPP elemento de trabajo en el Long Term Evolution (LTE)
- **EPC:** Evolved Packet Core (EPC), Es la red principal del sistema LTE, que ofrece una visión general de la arquitectura de la red central.
- **LTE:** Long Term Evolution. (LTE, por sus siglas en inglés, lo que en español se traduce como Evolución a largo plazo), en telecomunicaciones, es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos
- **EQUIPO INDOOR:** Se trata de equipos interiores, por lo que es necesario que estén protegidos de la intemperie. Este equipo es necesario que cuenten con sistemas de alimentación independiente y refrigeración independiente para su correcto funcionamiento. Lo normal para estos equipos es la instalación de casetas de diferentes tipos, tanto sobre suelo como sobre terraza. Más información en la definición de Rack.
- **EQUIPO OUTDOOR:** Se trata de equipos exteriores. Estos equipos pueden estar expuestos a la intemperie, aunque es recomendable cubrirlos con algún tipo de tejadillo para una mayor conservación. Estos equipos deben llevar su propio sistema de alimentación y refrigeración. Más información en la definición de Rack.
- **PAGING:** (Mecanismo de aviso) El Paging en un sistema que tiene como meta principal la transmisión inalámbrica de breves mensajes a un terminal portátil.

Capítulo 3: Variables e Hipótesis

3.1. Variables e Indicadores

a. Identificación de Variables

- Variable Independiente: Diseño de una Estación Base 4G LTE.
- Variable Dependiente: Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza.

b. Operacionalización de Variables

Indicadores Variable Independiente

- Nivel de Cumplimiento
- Nivel de Funcionalidad
- Nivel de Eficiencia
- Nivel de Disponibilidad

Indicadores Variable Dependiente:

- Cantidad de tráfico
- Calidad de Servicio

3.2. Hipótesis

- **Hipótesis General:**

El diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza

- **Hipótesis Específicas:**

Hipótesis Específica N° 1

El cumplimiento del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza

Hipótesis Específica N° 2

La funcionalidad del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza

Hipótesis Específica N° 3

La eficiencia del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza

Hipótesis Específica N° 4

La disponibilidad del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza.

Capítulo 4: Metodología de Desarrollo

Esta Metodología está basada al seguimiento de las buenas prácticas realizadas por la experiencia en campo, como también tomando cierta referencia del estándar Utilizado dentro de la ingeniería tal como podemos indicar la guía del PMBOK. (La cual es una Guía de dirección de proyectos estandarizada por la ANSI/PMI 99-001-2004, PMBOK; describe los métodos y prácticas que deben tenerse en consideración desde que se inicia un proyecto hasta su finalización)

El siguiente capítulo nos indica las fases de la Metodología, como también un **Diagrama de Gantt** en Figura 4.1 (Ver pag.57), el cual nos servirá como un cuadro resumen para el seguimiento de esta tesis, del cual está basado al diseño que es el objetivo de este proyecto.

Las fases que se poseen proyectadas para el ciclo de vida de este proyecto son:

4.1 Fase Inicial

En esta fase damos inicio a la actividad de adquisición de sitio la cual es el primer paso al diseño de nuestra BTS 4G LTE.

4.1.1 Actividad de la Adquisición del Sitio:

Se evalúa el proceso de búsqueda y adquisición del sitio para el emplazamiento de equipamiento celular para el diseño de nuestra estación 4G LTE con las siguientes Tareas,

- **Búsqueda de emplazamiento;** la adquisición de sitios y la obtención de permisos siempre se realiza en estrecha colaboración con los aliados locales, cuyas ideas y conocimiento de la burocracia local, y las conexiones confidenciales, nos permite por lo general acelerar el proceso de obtención de permisos. El camino para descubrir las ubicaciones ideales para las torres celulares
- **Selección de las coordenadas de emplazamiento;** Habiendo ya encontrado el sitio potencial para hacer el diseño, previamente se hace uso de toma de coordenadas satelitales las cuales son reflejadas en archivos KML, los cuales nos ayudan a tener una visión del lugar con la herramienta Google Eart.
- **Selección del entorno físico;** Se describe uso dotacional del sitio para lo cual ha sido contratado y se hace énfasis al uso del servicio público para proveer de la energía comercial que necesitara la futura estación 4G LTE
- **Selección de la clasificación urbanística;** Se describe las características Urbanísticas del diseño indicando claramente que no es del tipo” inmueble” ya que sus equipos son desmontables de esta manera ubicándolas de manera transitorias.
- **Selección de los Datos del sitio de la estación Base;** Se da conocer físicamente mediante un el plano catastral y satelital ubicándolas de manera optimas con las coordenadas definidas anteriormente, para así tener un punto fijo de trabajo en dicha zona.

4.2 Fase del Diseño de Ingeniería

Se diseña la BTS 4G LTE en base a una correcta planificación y dimensionamiento de la red de los cuales describiremos para así tener una mayor cobertura y disponer de las capacidades de tráfico sin tener ningún tipo de sobre saturación.

Dentro de esta fase de se definieron los siguientes Actividades:

4.2.1 Actividad de planificación de la estación Base 4G LTE: La Actividad de Planificación de la estación base 4G LTE, Comienza con las siguientes tareas;

- **Selección del Modelo de propagación;** El cual mediante una serie de cálculos ya estudiados nos dará las pérdidas de propagación, dicho modelo va ser escogido de una serie de autores que han calculado para diferentes lugares geográficos.
- **Calculo del Presupuesto de enlace (Link Budget);** el cual es necesario para saber a qué distancia el transmisor y el receptor pueden estar ubicados, como se verifica la pérdida máxima permitida en el trayecto ya que por sí sola no puede definir el radio de la celda, necesitando lo anteriormente dicho como base.
- **Determinación de la cobertura;** El radio de la celda nos dará la ubicación que tendría un UE (Equipo Terminal) con el EnodoB para así formar el hexágono de cobertura celular.

4.2.2 Actividad del dimensionamiento de la estación Base 4G LTE: La actividad del dimensionamiento de la estación base 4G LTE, da lugar a tres tareas importantes que son los Siguietes;

- **Calculo de predicción de tráfico de voz esperada de la estación base 4G LTE;** El cual nos dará la capacidad de nuestro EnodoB en canales de voz para no tener ningún inconveniente en el establecimiento de llamadas.
- **Calculo de la capacidad Troughput esperada en la estación base 4G LTE;** El cual nos dará la capacidad de nuestro EnodoB en Tráfico de Datos en base a la cantidad de usuarios potenciales.
- **Determinación de la capacidad del EnodoB;** El cual no dará la capacidad que tendrá nuestro EnodoB en base a la cantidad de usuarios en hora pico para así no tener una sobresaturación.

4.2.3 Actividad de Simulación de la estación base 4G LTE: Se realiza la Simulación del diseño mediante la herramienta Xirio Online, con el uso metódico, iremos colocando todos los datos que tendremos de los parámetros ya estudiados en la fase de planificación para de esta manera tener los resultados tanto en cobertura y tráfico incidido en el distrito de Huanza

Se definen las siguientes tareas en la Simulación con el Software Xirio Online:

- **Creación del estudio**

Un estudio es la unidad básica de trabajo de *XIRIO*, formado por distintos elementos radioeléctricos, siendo la unidad mínima sobre la cual se puede realizar un cálculo.

- **Nombre de coberturas y sectores**

Por medio del **modo asistente** se irán introduciendo distintos parámetros de una forma muy intuitiva, primero se da nombre a la cobertura y se especifican las características de los sectores que va a tener nuestro nodo.

- **Configuración de parámetros del sector**

En el siguiente paso se pueden personalizar algunos parámetros del sector. Escogemos **polarización vertical**, potencia de 32W (de forma provisional) y una altura de la antena de 40 metros sobre el nivel del terreno.

- **Configuración de los parámetros del terminal**

En el siguiente punto se pueden modificar los **parámetros del terminal**. Entre ellos es posible cambiar algunos parámetros de la antena.

- **Fijación del RSRP threshold**

Se fija el RSRP threshold, que es el valor de la sensibilidad del teléfono móvil del usuario, ya que por debajo de este umbral de cobertura el terminal móvil no funcionará correctamente.

- **Selección de cartografía y método de calculo**

Ahora XIRIO permite la opción de elegir el método de cálculo y la selección de cartografía. La **cartografía** viene dada por capas, en este caso, la única cartografía que podemos elegir es la **Altimetría Mundial**.

- **Definición del área de calculo**

Se define el **área de cobertura** en el que se va a realizar el cálculo de cobertura. Estos valores no tienen por qué ser exactos, ya que cuando se acabe de crear la cobertura individual, se podrá elegir de forma manual el área exacta

- **Selección del rango de colores**
Con esta opción se permite establecer diferentes rangos de nivel de señal recibida. A cada intervalo se le asigna un color para la posterior visualización de los resultados, Para hacerlo más intuitivo.
- **Finalización de coberturas individuales**
Llegados a este punto, el **modo asistente** de *XIRIO* finaliza su trabajo y crea automáticamente los **tres sectores** en los que hemos decidido dividir nuestra antena transmisora.
- **Análisis de resultados de los parámetros de cobertura y tráfico**
Basado a los datos del Diseño se procederá a simular dicha tesis para mostrar los resultados que a continuación describiremos;
 - **Analizando la cobertura con la Herramienta Xirio Online**
 - **Analizando la Señal RSRP en diferentes puntos de la cobertura**
 - **Analizando la capacidad de tráfico en DL y UL en el throughput**

4.3 Fase de Infraestructura

Habiendo ya establecido la planificación en base al diseño de la estación base procederemos a escoger el equipamiento adecuado en base a lo requerido.

4.3.1 Selección del Diseño de Infraestructura de la Estación base 4G LTE: Tendremos las siguientes tareas que se van desarrollar en base al diseño de este proyecto.

- **Diseño del Cerco Perimétrico en el Terreno de la estación**
Consiste en la descripción del terreno a utilizar como también los diseños tanto del cerco perimétrico y sus niveles de seguridad
- **Selección del Diseño de la Torre ventada**
Consiste en los requerimientos según diseño de la torre a escoger en base a la carga de la torre que soportara sus vientos.
- **Selección del Diseño de la Sala para equipos**
Consiste en el espacio que tendremos necesario para albergar todos nuestros equipos de conectividad.

- **Selección del Sistema de Aclimatación**

Consiste en el equipamiento de aire Acondicionado necesario para nuestro gabinete de comunicaciones.

4.3.2 Selección de la Energía eléctrica de la Estación base 4G LTE: En la parte de energía tendremos las siguientes tareas muy importantes;

- **Selección de la Energía en AC**

Consiste en el cálculo del cuadro de cargas óptimo para nuestro BTS 4G LTE en base al equipamiento Utilizado

- **Selección de la Energía en DC**

En base a la normativa de instalaciones de cada equipamiento se trabaja con -48 Voltios en DC los cuales se van desarrollar con estas dos tareas necesarias;

- **Selección del Diseño de Rectificador**

Consiste en el cálculo necesario en base a la carga asumir para definir la potencia del rectificador adecuado.

- **Selección del Banco de baterías**

Consiste en la selección del fabricante idóneo en base a requerimientos y fiabilidad de autonomía que tendremos en nuestros bancos.

4.3.3 Selección del Sistema de protección eléctrica de la Estación base 4G LTE: En la parte de protección contra riesgo eléctrico tenemos lo siguiente;

- **Selección del Sistema para rayos**

Consiste en dar seguridad a nuestro EB, para que de esa forma tenga un funcionamiento prolongado con la selección del fabricante del cual nos dará la fiabilidad de un sistema óptimo de protección.

- **Selección del diseño de Sistema a Tierra**

Consiste en escoger el más factible sistema contra rayos determinado según la localidad

- **Selección de los Supresores de picos**

Consiste en el sistema de seguridad contra riesgos eléctricos de sobre voltajes para la conservación del equipamiento tecnológico.

4.4 Fase de Selección del Equipamiento de la BTS 4G LTE

En esta Fase veremos la selección del equipamiento basado al diseño propuesto, el cual se escogió a la empresa Huawei Technology como empresa proveedora de todo el equipamiento dentro de la BTS 4G LTE

- **Selección de la BBU**

Consiste en la selección adecuada del equipo BBU (unidad de banda base) para nuestro diseño con referencia su fabricante y sus especificaciones técnicas.

- **Selección de la RRU**

Consiste en la selección del equipamiento RRU (unidad de radio remota) para nuestro diseño con referencia su fabricante y sus especificaciones técnicas.

- **Selección de Medio de transporte**

Consiste en el medio de transporte de nuestra señal para la cobertura zonal en lo que refiere a escoger la IDU (Indoor Unit) y la ODU (Outdoor Unit) que serán usadas para el radio enlace que alimentará nuestra BTS 4G LTE con la red principal que a continuación las siguientes tareas las dará a conocer:

- **Selección de la IDU:** Consiste en los requerimientos necesarios en base al diseño de este proyecto más adecuado respecto al fabricante para tener una mayor fiabilidad de la gestión del enlace.

- **Selección de la ODU:** Consiste en los requerimientos necesarios en base al diseño de este proyecto con respecto al fabricante para tener una mayor fiabilidad de la gestión del enlace.

- **Selección del Arreglo de Antenas**

Consiste en el requerimiento necesario según diseño con las ganancias debidas para que la señal no se aleje de lo simulado con respecto al fabricante para tener una mayor fiabilidad de la cobertura para nuestra zona indicada.

- **Selección de los Cables y conectores**

Consiste en el cableado que vincula a todos los equipos del sistema Indoor y Outdoor de la Estación base 4G LTE con respecto al fabricante para tener una mayor fiabilidad de conexionado.

Diagrama de Gantt

	Nombre	Duracion
1	Fase Inicial	15 days
2	Actividad de la Adquisición del Sitio:	15 days
3	Busqueda de emplazamiento	15 days
4	Selección de las Coordenadas de Emplazamiento	1 day
5	Selección del entorno físico	1 day
6	Selección de la clasificación urbanística	1 day
7	Selección de los Datos del sitio de la Estación Base	1 day
8	Fase del Diseño de Ingeniería	2 days?
9	Actividad de planificación de la estación Base 4G LTE:	2 days
10	Selección del Modelo de propagación	1 day
11	Calculo del Presupuesto de enlace (Link Budget)	2 days
12	Determinación de la cobertura	1 day
13	Actividad del dimensionamiento de la estación Base 4G LTE	2 days
14	Calculo de predicción de tráfico de voz esperada de la estación base 4G LTE	2 days
15	Calculo de la capacidad throughput esperada en la estación base 4G LTE	2 days
16	Determinación de la capacidad del EnodoB	1 day
17	Actividad de Simulación de la estación base 4G LTE:	1 day?
18	Creación del estudio	1 day
19	Nombre de cobertura y sectores	1 day
20	configuración del parámetro del sector	1 day
21	Configuración de los parámetros del terminal	1 day
22	Fijación del RSRP threshold	1 day
23	Selección de cartografía y método de cálculo	1 day
24	Definición del área de cálculo	1 day
25	Selección del rango de colores	1 day
26	Finalización de coberturas individuales	1 day
27	Análisis de resultados de los parámetros de cobertura y tráfico	1 day?
28	Analizando la cobertura en la herramienta Xirio online	1 day?
29	Analizando la Señal RSRP en diferentes puntos de la cobertura	1 day?
30	Analizando la capacidad de tráfico en DL y UL en el throughput	1 day?
31	Fase de Infraestructura	8 days
32	Selección del Diseño de Infraestructura de la Estación base 4G LTE:	8 days
33	Diseño del Cerco Perimétrico en el Terreno de la estación	8 days
34	Selección del Diseño de la Torre ventada	5 days
35	Selección del Diseño de la Sala para equipos	5 days
36	Selección del Sistema de Aclimatación	5 days
37	Selección de la Energía Eléctrica de la Estación base 4G LTE: :	2 days
38	Selección de la Energía en AC	2 days
39	Selección de la Energía en DC	1 day
40	Selección del Diseño de Rectificador	1 day
41	Selección del Banco de baterías	1 day
42	Selección del Sistema de protección eléctrica de la Estación base 4G LTE:	2 days
43	Selección del Sistema para rayos	2 days
44	Selección del diseño de Sistema a Tierra	2 days
45	Selección de los Supresores de picos	1 day
46	Fase del equipamiento de la BTS 4G LTE	2 days?
47	Selección de la BBU	2 days
48	Selección de la RRU	2 days
49	Selección de Medio de transporte	1 day?
50	Selección de la IDU:	1 day?
51	Selección de la ODU:	1 day?
52	Selección del Arreglo de Antenas	2 days
53	Selección de los Cables y conectores	2 days

Figura 4.1 Diagrama de Gantt (Fuente; Fuente Propia)

CAPÍTULO 5: SOLUCIÓN TECNOLÓGICA

5.1 Fase Inicial

Se describe la actividad principal de esta fase la cual dará comienzo al proyecto dentro del diseño en infraestructura y de tecnología Móvil.

- **Actividad de la Adquisición del Sitio:**

Dado que la zona de intervención corresponde a una parcela sin uso determinado y suelo sin edificar, será necesario realizar todas las obras precisas para la adecuación de la Estación Base (BTS) de Telefonía Móvil, que comprende en la fase de diseño de ingeniería, la fase del diseño de infraestructura, instalación de equipos, sistema radiante y acondicionamiento de las instalaciones de electricidad, tierra y transmisión para el correcto funcionamiento de la BTS. De esta actividad tenemos las siguientes tareas;

- **Búsqueda de emplazamiento**

Mediante una mezcla especial de ingenio, persuasión y habilidades técnicas inteligentes. Los equipos de búsqueda también deben tener en cuenta consideraciones de calidad ambiental, y en este sentido, los equipos trabajan con profesionales locales cuidadosamente seleccionados en la búsqueda para obtener acceso a las ubicaciones altamente opcionadas. Una vez que la ubicación perfecta para la torre celular ha sido encontrada, nuestro equipo lleva a cabo mayores investigaciones y evaluación respecto a su idoneidad. Se crean y comprueban informes de adquisición de sitio, de forma en que se encuentre la ruta más fácil para hacer operacional la red del sitio de acuerdo con la clasificación Suelo No urbanizable que se encuentra sin edificar y la instalación futura corresponden a un uso compatible.

- Dirección: Polígono 20 Parcela 16
- Municipio: Huanza
- Provincia: Huarochirí

- **Selección de las Coordenadas de Emplazamiento**

Habiendo ya encontrado el sitio potencial para hacer el diseño, previamente se hace uso de toma de coordenadas satelitales las cuales son reflejadas en archivos KML, los cuales

Nos ayudan a tener una visión del lugar con la herramienta Google Eart.

- Latitud = -11.648816
- Longitud = -76.496497

○ **Selección del Entorno Físico**

Se trata de una zona rural sin uso específico por lo que se compatibilizará con el uso dotacional de servicio público en base a un requerimiento por escrito a la empresa proveedora de energía eléctrica ya que el servicio de agua potable no es necesario para este fin del diseño de la estación base 4G LTE.

○ **Selección de la Clasificación Urbanística**

Se tiene las siguientes características en base a su clasificación;

- La Estación Base objeto del presente proyecto se ubica dentro de suelo calificado como suelo No Urbanizable y clasificado según ordenanza sobre clasificación del suelo metropolitano por condiciones generales de uso ORDENANZA N° 228.
- Las Estaciones Base son emplazamientos de tipo transitorio y tanto sus equipos como sus elementos radiantes son desmontables
- Las estaciones base no pueden considerarse emplazamientos de tipo “inmuebles” dado que tanto sus equipos como sistemas radiantes son desmontables. En este sentido la estación base no agrega mejoras al terreno, ni aumenta su volumen edificable, no modificándose, por tanto, los parámetros urbanísticos del emplazamiento.

○ **Selección de los Datos del sitio de la Estación Base**

La parcela en la que se ubica el emplazamiento objeto del presente proyecto, pertenece a una parcela de suelo sin edificar, según levantamiento de Datos catastrales (El catastro rural es el inventario actualizado y clasificado de bienes inmuebles existente en un ámbito geográfico para lograr su identificación física, económica, jurídica, fiscal, social y medio ambiental) de los cuales se definió en los puntos anteriores.



Figura 5.1 Ubicación del punto de Emplazamiento 3D (Fuente; Google Eart)

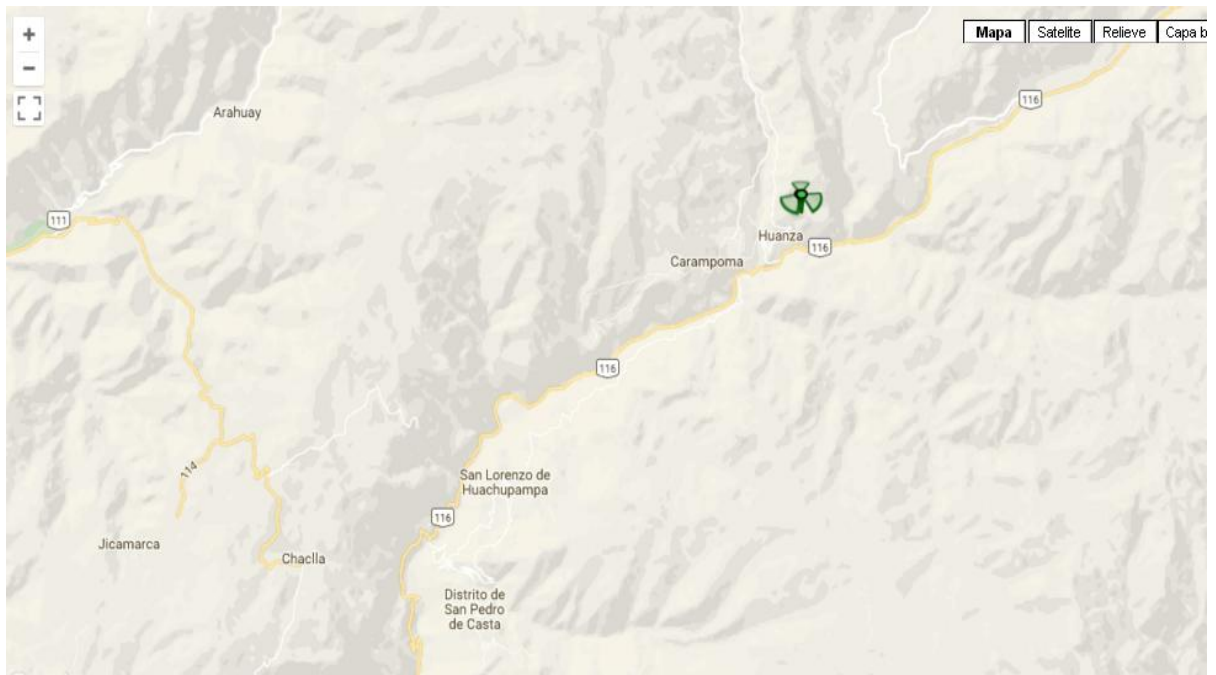


Figura 5.2 Mapa del punto de Emplazamiento (Fuente; Programa Xirio Online)

5.2 Fase del Diseño de Ingeniería

Se diseña la BTS 4G LTE en base a una correcta planificación y dimensionamiento de la red de los cuales describiremos para así tener una mayor cobertura y disponer de las capacidades de tráfico sin tener ningún tipo de sobre saturación.

Dentro de esta fase de se definieron los siguientes Actividades:

5.2.1 Actividad de planificación de la estación Base 4G LTE:

La Planificación comienza con las siguientes tareas para su desarrollo efectivo;

○ Selección del Modelo de propagación

La comunicación celular se ve comprometida por ciertas condiciones físicas que se dan cuando las ondas electromagnéticas se propagan a través del aire, como son la pérdida en espacio libre, pérdidas por las ondas que llegan al receptor, debido a la reflexión, refracción y difracción, desvanecimiento por movimiento; los cuales no permiten garantizar un 100% de cobertura a los abonados. En un ambiente móvil la calidad de servicio debe garantizar cobertura en 95 % del área y el 95% del tiempo.

Se han realizado diferentes estudios para predecir la cobertura de RF en ambientes abiertos. Entre los más usados tenemos a los estudios de Okumara, Hata, Longley-Rice, Durkin, Walfish y Bertoni, etc.

Para lo cual en esta Tesis se tomó como Modelo de propagación el de Okumara - Hata por tener su estudio ligado al tema Rural. A continuación, veremos de que trata el cálculo: Es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150 MHz a los 1500 MHz. Aunque Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar

La Ecuación:

$$L(\text{urbano}) (\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Tomando en cuenta que:

- $150 \text{ MHz} < f_c < 1500 \text{ MHz}$
- $30 \text{ m} < h_{te} < 200 \text{ m}$
- $1 \text{ m} < h_{re} < 10 \text{ m}$

Se debe considerar que las definiciones son las mismas que para el modelo de Okumura, incluyendo:

- f_c : frecuencia portadora [MHz]
 h_{te} : altura de antena transmisora en [m] en rango 30 a 200 metros
 h_{re} : altura de antena receptora en [m] en rango 1 a 10 metros.

Zona $a(h_{re})$	Ondas métricas (dB)	Ondas decimétricas (dB)
Rural	4	4
Suburbana	5	6
Urbana	6	8

Tabla 5.1 Factores típicos de ganancia debida a la altura (Neil J. Boucher.2007)

$a(h_{re})$: factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio.

d : distancia entre transmisor y receptor [km]

Como se puede observar, involucra una nueva variable que es el factor de corrección de la antena del móvil y se define según el tamaño de la ciudad (Ver tabla 5.1).

Para ciudades pequeñas y medianas:

Ecuación 5.15:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB}$$

Para ciudades grandes:

Ecuación 5.16:

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1 \text{ dB} \text{ para } f_c < 300 \text{ MHz}$$

Ecuación 5.17

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75h_{re})^2 - 4.97 \text{ dB} \text{ para } f_c > 300 \text{ MHz}$$

Para utilizar la misma fórmula en un ambiente suburbano se utiliza como:

Ecuación 5.18:

$$L(\text{dB}) = L(\text{urbano}) - 2[\log (f_c/28)]^2 - 5.4$$

Para áreas rurales:

Ecuación 5.19:

$$L(\text{dB}) = L(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33\log f_c - 40.94$$

De esta manera para poder tener el cálculo resuelto procederemos aplicando la gráfica por espacio Libre

El uso de estos gráficos es como sigue: Se necesita saber el PIRE de la estación base; tomando la potencia nominal de piloto de una estación BBU Huawei de 32 Watts y teniendo una antena de 17.5 dBi de ganancia y asumiendo pérdidas de 1dB en cables y conectores tenemos un PIRE de 45 dBm ó 32 Watts.

Teniendo como PIRE el siguiente resultado:

$$\text{PIRE} = P_t - L_c + G_{\text{ant}} = 45\text{dBm}$$

Del cual viene del factor de conversión:

$$X \text{ dBm} = 10 \log (P_t/1\text{mW})$$

$$10 \log (32 \times 1000) = 45\text{dBm}$$

Como la gráfica está dada para 1 KW de PIRE de una estación se debe adaptar el nivel al cual tomar como límite de borde inferior para un PIRE de 32W

$$\text{Factor} = 10 \log (1000/32) = 15 \text{ dB} \dots \dots \dots (1)$$

Para un móvil 4G se asume una sensibilidad de 48 dBuV/m (48 dBu + 15 dB (De la ecuación 1)) entonces tenemos el valor de 63 dBuV/m como límite inferior. Trazando la recta para 63 dBuV/m en la Figura 5.3 se concluye que con una altura de antenas de 30 Mts se tendrá una cobertura de 2 Km que es suficiente para el radio de HUANZA que cuenta con 1.5 Km de largo y las antenas instaladas en la parte superior se podría llegar a localidades a un radio de 3 Km de la localidad principal.

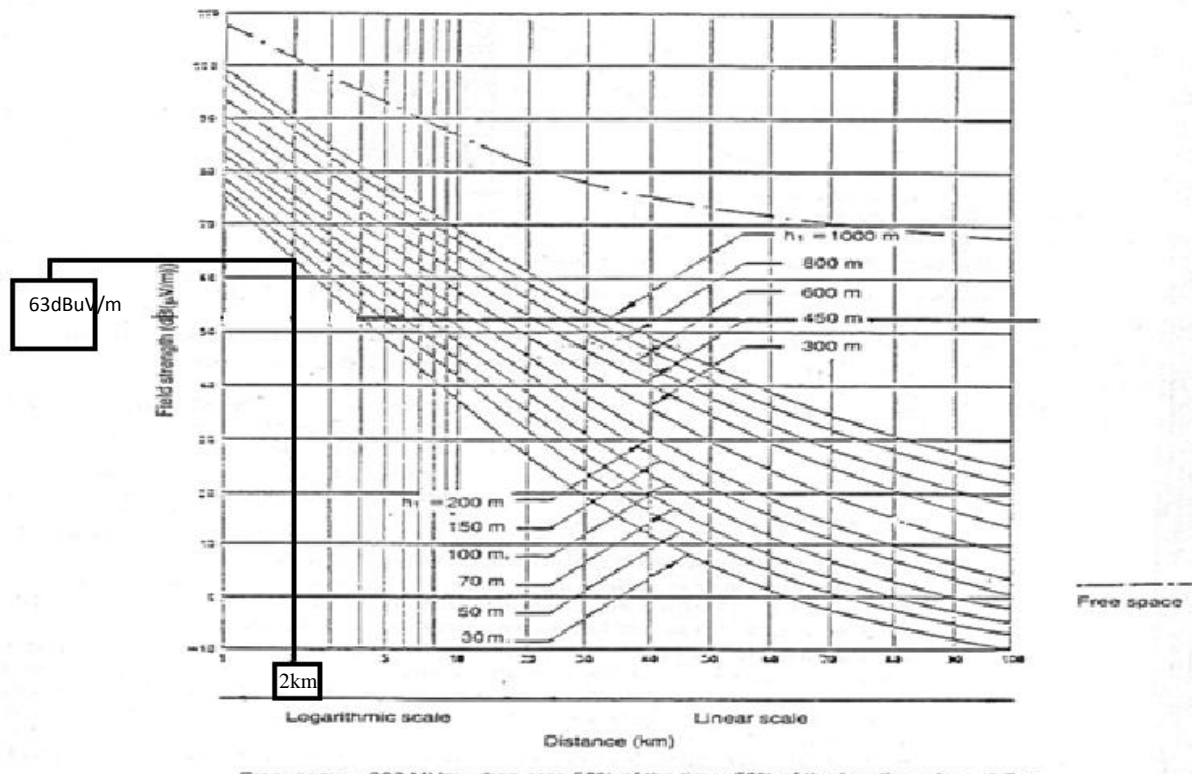


Figura 5.3 Gráfico de alcance para frecuencia de 900 MHz (Neil J. Boucher.2007)

De esta forma tendríamos ya la altura de la antena (h_{te}) la cual sería de 30 metros, sabiendo que la altura del móvil (h_{re}) por temas de diseño será de 1.5m, como también la f_c que vendría hacer el 900 MHz y el factor de corrección dado por tabla para temas Rurales de 4 DB, con todo ello pasaríamos hacer el cálculo para definir las pérdidas de propagación.

En la ecuación para un tema rural que es lo que se tiene en este diseño:

$$L \text{ (dB)} = L \text{ (urbano)} - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.$$

Como;

$$L \text{ (urbano)} \text{ (dB)} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Entonces será;

$$L \text{ (dB)} = L \text{ (urbano)} - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.$$

$$L \text{ (dB)} = 73.65 \text{ dB}$$

- **Calculo del presupuesto del enlace (Link Budget).**

El Link Budget ayuda a determinar la pérdida de trayectoria del enlace Uplink y Down link presente en una celda para un servicio dado, con una requerida calidad de la cobertura, en un ambiente dado, para una capacidad dada, Dentro del Link Budget tenemos los siguientes parámetros analizar

- Ganancia de la antena
- Margen de desvanecimiento por sombra (shadonwing)
- Pérdida de penetración
- Pérdida de alimentación
- Ganancia de la antena
- Margen de interferencia de radio
- Perdidas por el cuerpo

- **Parámetros Link Budget Para enlace Uplink/Downlink**

A continuación, en la figura 5.4 y 5.5 respectivamente, se muestran los parámetros Involucrados para cada sentido de transmisión

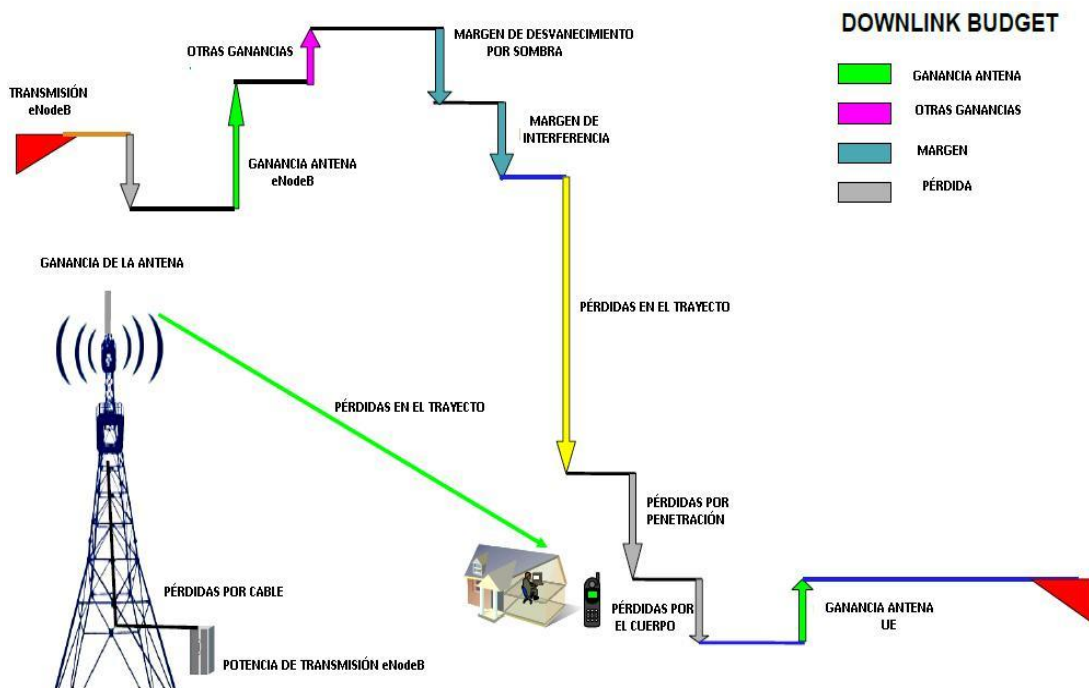


Figura 5.4 Link Budget en el enlace Downlink (Lin Guangpu. 2011)

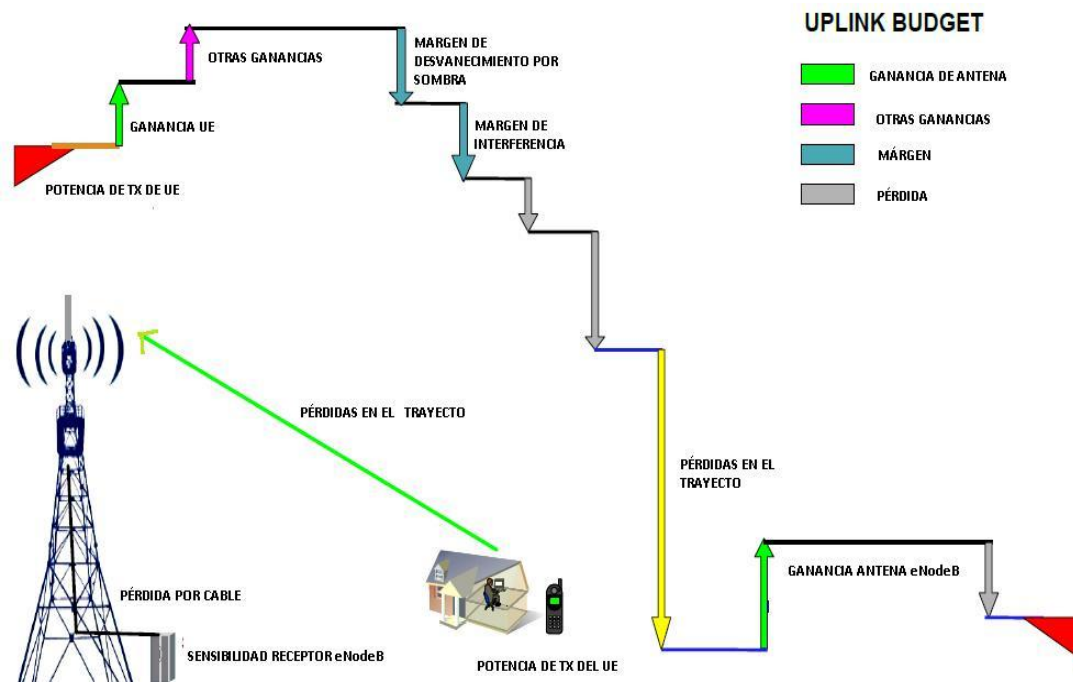


Figura 5.5 Link Budget en el enlace Uplink (Lin Guangpu. 2011)

○ **Determinación de la Cobertura**

Se obtendrá mediante tabla los diferentes factores del Presupuesto de enlace (link Budget) para una geografía Rural Por tema del diseño Determinando de esta manera el radio de la celda de la Estación base y con ello su cobertura es así que tendremos lo siguiente:

▪ **Resultados Link Budget**

En la tabla 5.2 se muestran los resultados del Link Budget, que dentro del desarrollo del presente capítulo, se procederá a ingresar dichos datos a la herramienta de Simulación llamada Xirio Online la cual aprovechará dichos parámetros para plasmarlo en la zona de cobertura.

LTE LINK BUDGET	UPLINK	DOWNLINK
Escenario		Rural
Tecnología		LTE FDD
Tipo de Ambiente		Tipo Indoor
Ancho de banda (MHz)		10.0
Modelo de Canal		ETU-3
Esquema MIMO	1x2	2X2
MCS	16QAM	16QAM
TRANSMISIÓN		
Max Tx tota (dBm)	23.00	45.00
Ganancia de la antena (dB)	0	17.5
Pérdida del cable (dB)	0	0.5
Pérdida del cuerpo (dB)	0	0
RECEPCIÓN		
SINR (dB)	-2.39	-3.42
Ruido (dB)	2.30	7.00
Sensibilidad del receptor (dB)	-132.33	-128.66
Ganancia de la antena (dB)	17.5	0
Pérdida del cable (dB)	0.5	0.00
Pérdida del cuerpo (dB)	0.00	0.00
Carga target	75.00%	100.00%
Márgen de interferencia (dB)	1.22	3.41

Potencia de recepción de la señal mínima (dBm)	-148.61	-125.25
PÉRDIDAS EN EL TRAYECTO Y RADIO DE CELDA		
Pérdida de penetración (dB)	15	16
Desvanecimiento por sombra (dB)	9.40	9.40
Probabilidad del área de cobertura	96.00%	96.00%
Modelo de Propagación	Okumura hata	
ENodeB/UE Altura de la antena (m)	30	1.5
Frecuencia (MHz)	894	944
Radio de la celda (Km)	2km	2.km
Radio de la celda balanceado (Km)	2km	

Tabla 5.2 Resultados del enlace link Budget en la zona de Huanza (Fuente; Elaboración Propia)

5.2.2 Actividad del dimensionamiento de la estación Base 4G LTE

Debido a la complejidad que resulta hacer un estudio del tráfico tanto en voz como en datos en lo que refiere a LTE ya que es una red “ALL IP”, y el poder hacerla implicaría que el presupuesto para este sitio sea muy elevado, se basó indistintamente en la solución dada por la 3GPP la cual facilito un protocolo que nos ayude a conmutar el 4G con las anteriores tecnologías de esta forma a través del “CSFB” abrir paso a una LTE llamada “4G inicial” debido a que a través de este protocolo, la voz se dará por la 3G y los datos serán puro 4G para alcanzar las velocidades dadas por esta arquitectura. Por ello el tráfico de voz se manejará por 3G y el de Datos lo manejaremos con el **throughput** para de esa forma hacer un dimensionamiento más objetivo.

○ **Calculo de predicción de tráfico de voz esperada de la estación base 4G LTE**

La capacidad de tráfico de voz esperada para una estación base es difícil de predecir porque no solo depende de la cantidad de clientes en la zona si no de las características que tengan:

- Tipo de tráfico de voz entrante o saliente: mayor incidencia en recepción de llamadas que en llamadas salientes o viceversa.
- Tipos de clientes en la zona de Huanza: convencionales con minutos libres, o abonados con límite de minutos ya sea con tarjeta o tarifas fijas.

Actividad comercial de Huanza: las zonas con mayor actividad general presentan mayor carga de tráfico que las zonas residenciales

Estas características definirán la duración de las llamadas y el tráfico de la zona de Huanza. Realizaremos un ejercicio para estimar el posible tráfico en la hora cargada de la ciudad, tomando como base los valores obtenidos del Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda da lo siguiente: Habitantes en el Distrito de HUANZA 1900 habitantes como también tomando una cifra actual de la cantidad de personas gracias a una herramienta del mismo INEI tenemos la figura 5.6 la cual muestra el crecimiento en dicho distrito que Hasta el 2015 son 2674 habitantes.



Figura 5.6 Población al 2015 (Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática – INEI)

Asumiendo que en un año se tengan 1000 abonados; este valor es referencial y tendrá que ser conversado con el área comercial de la empresa cuando se tome la decisión económica en la cual tal vez se requiera una mayor cantidad de teléfonos vendidos. En el libro *The Cellular Radio Handbook* indica que se puede asumir para un mercado nuevo una carga de 50% de los usuarios en la hora cargada, para el mercado peruano en una zona rural vamos a asumir un 30% del cual es una referencia por la experiencia en campo de todos los diseños implantado en zonas rurales en el Perú, gracias al sondeo del estudio comercial. Si tenemos 1000 posibles usuarios, y asumimos que el 30% hablará al mismo tiempo en la hora pico del sistema, con lo cual tenemos 300 llamadas de voz en total (llamadas entrantes más salientes), asumiendo la duración promedio de las llamadas en 2.5 minutos, tenemos:

Flujo llamadas en hora pico = $300 \times 2.5 = 750$ llamadas –minuto Erlangs = $750/60 = 12.5$ Erlangs

12.5 Erlangs equivale a 24 Canales usados por sector, según tabla Erlang B a 2% de pérdida de bloqueo.

La tabla Erlang B a 2% es usada para calcular la cantidad de canales que se necesitan en una estación base y saber si la estación base puede soportar ese tráfico.

- **Calculo de la capacidad Throughputs esperada de la estación base 4G LTE**

Para dicho cálculo se aplicará una fórmula de throughputs, del cual sus resultados los plasmaremos mediante una tabla verificada por la 3GPP como ayuda de cálculos para este tipo de problemas.

$$\textit{Throughput [bps]} = (RE_{TOTALS} - RE_{CONTROL}) * 100 * m * cr$$

El valor RE_{TOTALS} dependerá de la cantidad de subtramas asignadas para los enlaces ascendente y descendente así como de la cantidad de símbolos que ocupe el campo DwPTS (Downlink pilot time slot) en la subtrama especial. Si dicha cantidad es de 3 (índices 0 y 5),

no existe aportación de Resource Elements (RE) para datos por parte de las subtramas especiales. La ecuación se aplica al enlace ascendente y descendente tomando para cada caso las subtramas dedicadas a cada enlace. Para fines del diseño a continuación se presentan los throughputs alcanzados por LTE, desarrollados de anterior fórmula para explicar su comportamiento según el cambio de BW (Ancho de banda) ver Figura 5.7 y 5.8.

Channel bandwidth, MHz		1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks		6	15	25	50	75	100
Modulation	MIMO	Data Rate ^{max} , Mb/s					
QPSK	Not Used	1.728	4.32	7.2	14.4	21.6	28.8
16 QAM	Not Used	3.456	8.64	14.4	28.8	43.2	57.6
64 QAM	Not Used	5.184	12.96	21.6	43.2	64.8	86.4
64 QAM	2x2	10.368	25.92	43.2	86.4	129.6	172.8
64 QAM	4x4	20.736	51.84	86.4	172.8	259.2	345.6

Figura 5.7 Throughput máximo en enlace descendente para FDD (Ivanov Ángel, 2012)

Channel bandwidth, MHz		1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks		6	15	25	50	75	100
Modulation	MIMO	Data Rate ^{max} , Mb/s					
QPSK	Not Used	1.8	4.5	7.5	15	22.5	30
16 QAM	Not Used	3.45	8.64	14.4	28.8	43.2	57.6
64 QAM	Not Used	5.184	12.96	21.6	43.2	64.8	86.4

Figura 5.8 Throughput máximo en enlace ascendente para FDD (Ivanov Ángel, 2012)

- Capacidad por Celda.

Para calcular la capacidad de usuarios que puede soportar una celda, se tomará los siguientes valores que se muestran en la Tabla 5.3.

LTE valor promedio de la celda en Throughput			
Frecuencia	Ancho de banda (MHz)	DL (Mbps)	UL (Mbps)
900	10	28.8	28.8

Tabla 5.3 Valor promedio de la celda en Throughput (Fuente; Elaboración Propia)

En la Tabla 5.4, se puede ver el cálculo del número de usuarios que puede soportar una Celda en LTE:

Calculo de usuario por celda		
a	Capacidad promedio de la celda en el DL	a=28.80 Mbps
b	Diseño de la celda en el DL con usuarios	b=30%
c	Capacidad de la celda diseñada	c=a * b=8.64 Mbps
d	Relación del pico promedio	20%
e	Promedio del DL en B del Troughput/sub	20 Kbps
f	Número de celdas por sitio	3 sectores
g	Suscriptores que soporta la celda	$g=(c*f)/(1+d)/e$ g=1080

Tabla 5.4 Suscriptores que soporta un EnodoB LTE (Fuente; Elaboración Propia)

Como se observa en la Tabla 5.4, se muestra el valor de 1080 usuarios que podrían conectarse a un EnodoB. Tomando este valor se puede verificar que estaría dentro de la capacidad de la estación base para este tipo de Distrito y con su cobertura adecuada

○ **Determinación de la capacidad del EnodoB**

La capacidad de tráfico esperada para una estación es difícil de predecir porque no solo depende de la cantidad de abonados en la zona si no de las características que tengan, según el investigador Diógenes Marcano nos indica:

• **Cálculo de la capacidad de Hora pico**

La Capacidad es la cantidad de bits transmitidos, divididos entre el tiempo de transmisión. En el caso del UL la cantidad de bits que se transmiten durante 14 símbolos SC-FDMA, dividido entre el tiempo de transmisión

$$\text{Capacidad} = \left[\frac{(N_{RE_s})(N_{RB_s})(N_{bit_symbol})}{1ms} \right]$$

Figura 5.9 Formula de la capacidad de Hora pico del EnodoB (Diógenes Marcano, 2013)

Dónde:

- NREs: Número de Resources Elements.
- NRBs: Número de Resources Blocks.
- Nbitsimbol: Número de bits por símbolo.

Las señales de referencia en el UL toma 1 de 7 símbolos que resulta en un overhead del $1/7 = 14,3\%$

Del cual los resultados serían los siguientes;

Teniendo un BW=10 MHz, podremos tener NRBs=50, y con el NREs=144 por ser una trama LTE con Nbitssimbol= $3(1-7)$ tendremos el siguiente resultado.

Capacidad de nuestro EnodoB en Hora pico sería de 21.6 Mbps.

5.2.3 Actividad de Simulación de la estación base 4G LTE:

Tener en cuenta que en el **ANEXO 1** daremos a conocer el funcionamiento de la herramienta de trabajo Xirio online.

- **Creación del estudio**

Para comenzar a utilizar la herramienta, primero se debe de elegir la zona a simular. En este caso se ha elegido una zona de interés, distrito de Huanza provincia de Huarochirí, que incluye un pueblo y carreteras, además de una central hidroeléctrica y grandes zonas de ganado. Por otro lado, se ha considerado oportuno ya que, al no ser una zona altamente poblada, actualmente no tiene instalada una red de comunicaciones LTE. Podemos ver el área elegida con un círculo rojo y la ubicación de antena con un aspa roja en la Figura 5.9.



Figura 5.10 Zona elegida para simular cobertura LTE (Fuente; Xirio online)

Un estudio es la unidad básica de trabajo de *XIRIO*, formado por distintos elementos radioeléctricos, siendo la unidad mínima sobre la cual se puede realizar un cálculo. El estudio que se va a realizar es de tipo **Cobertura**, que es un estudio basado en el que el resultado es una mancha de colores que representa en cada punto la mejor señal entre las señales de las coberturas individuales, además de resultados de *solapamiento*.

En los estudios de **Cobertura**, intervienen un transmisor y un receptor. El receptor, en este caso, no tiene una situación geográfica fija, este receptor se va desplazando por toda el área de cálculo seleccionada. El resultado final de cada estudio de cobertura es una mancha de colores que representa la cobertura radioeléctrica del transmisor, indicando las zonas en las que el nivel de

señal en el receptor se encuentra por encima de su umbral de recepción. Una vez decidido el tipo de cobertura, comenzamos con su creación en *XIRIO*. Se eligen las opciones: **Servicio Móvil** y un servicio de **LTE-FDD** (duplexación por división de frecuencias) con frecuencia de canalización de *10 MHz*, un caso muy comúnmente utilizado por las operadoras. Podemos ver este comienzo en la Figura 5.10.

Crear nuevo estudio

Seleccione un tipo de estudio

Enlace

Cobertura

Cobertura multitransmisor

Red de transporte

Altura efectiva

Estudio de cobertura:
Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario.
[Leer más](#)

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría: Servicio Móvil ▼

Subcategoría: LTE - FDD ▼

Servicio: LTE - FDD 10 MHz ▼

Modo asistente Aceptar

Figura 5.11 Estudio de cobertura LTE (Fuente; Xirio online)

- **Nombre de la cobertura y sectores**

Por medio del modo asistente se irán introduciendo distintos parámetros de una forma muy intuitiva, primero se da nombre a la cobertura y se especifican las características de los sectores que va a tener nuestro nodo. Se puede ver en la Figura 5.11.

Nombre y descripción

Estudio

Nombre: Diseño de BTS 4G Huanza

Identifica el estudio en el gestor de estudios de Xirio-Online.

Servicio: LTE - TDD 10 MHz

XIRIO Online configura automáticamente parámetros por defecto para todos los elementos del estudio de acuerdo al servicio radioeléctrico seleccionado. Aun así, será necesario que Ud. personalice algunos de ellos.

Descripción:
Estudio de cobertura...

Esta información adicional aparecerá vinculada al estudio y a los resultados del mismo cuando sean publicados.

> Siguiente > Cancelar

Figura 5.12 Creación nuevo del nombre del estudio LTE (Fuente; Xirio online)

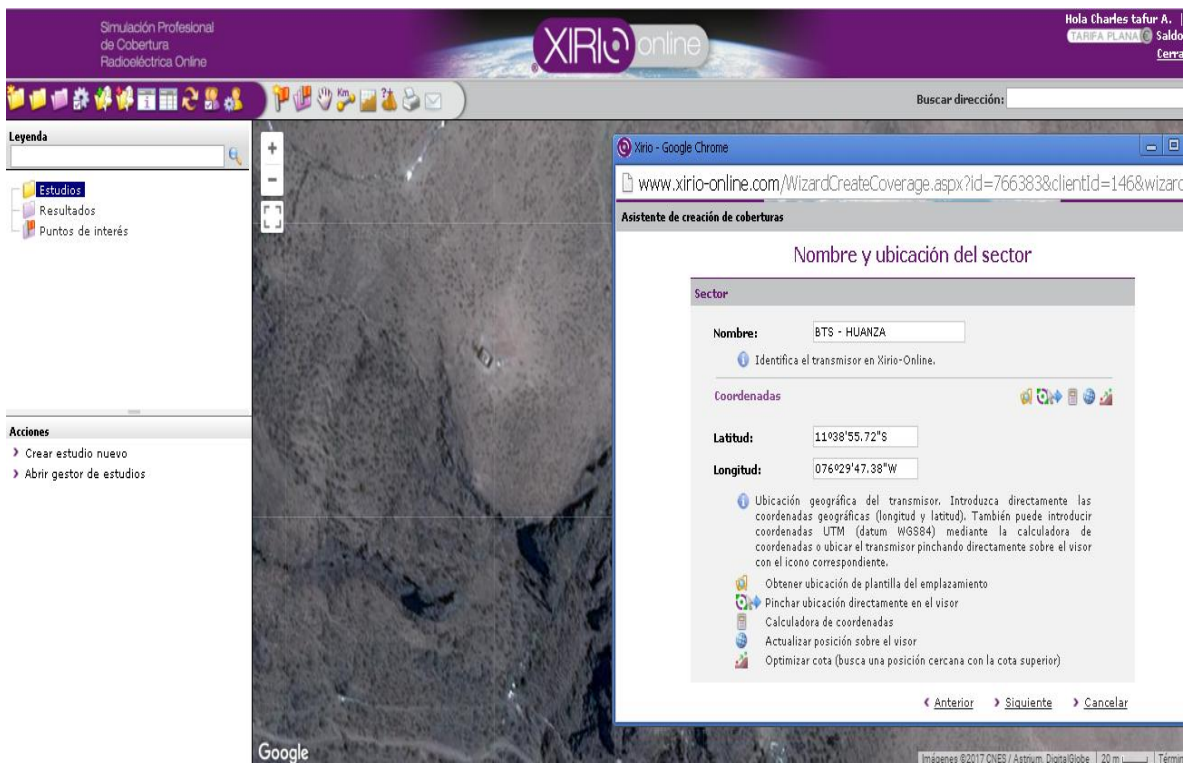


Figura 5.13 Ubicación exacta del proyecto LTE (Fuente; Xirio online)

Se elige la opción de sectorizar el estudio, como vemos en la Figura 5.13. Las antenas en comunicaciones móviles obtienen un gran rendimiento dividiendo la cobertura de la antena en tres sectores de 120° cada uno, evitando así mejor las interferencias como también procederemos a darle el grado de inclinación adecuado (TILT) de acuerdo a los valores del diseño en la herramienta XIRIO



Figura 5.14 Sectorización LTE (Fuente; Xirio online)

En la Figura 5.14 se puede ver la opción de modificar los parámetros de la antena transmisora. En este caso se ha modificado según el diseño previsto colocando en la ganancia de antena los datos de nuestros cálculos que para efecto sería 17.5 dBi, emitiendo de esta manera el diagrama horizontal el cual refleja la incidencia de nuestro ovulo de cobertura espectral.

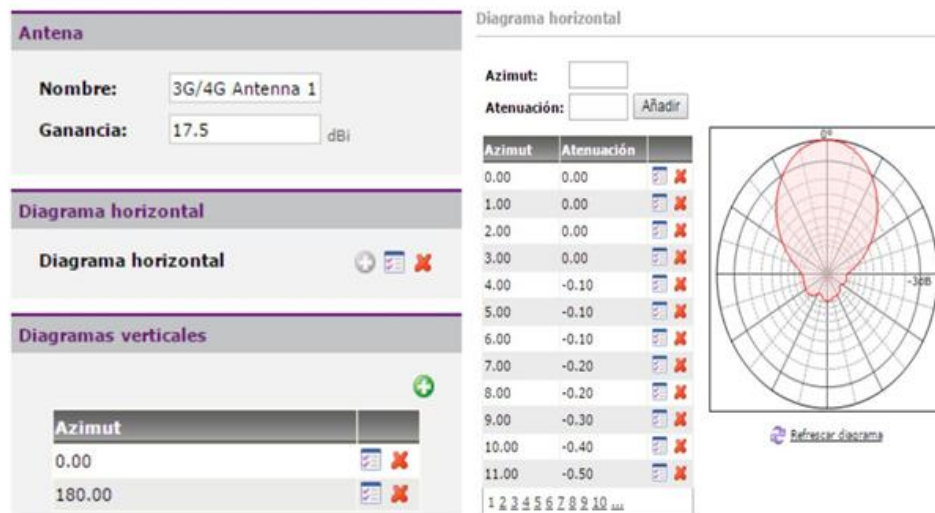


Figura 5.15 Modificar propiedades en la antena transmisora LTE (Fuente; Xirio online)

- **Configuración de parámetros del sector**

En el siguiente paso (Figura 5.15) se pueden personalizar algunos parámetros del sector. Escogemos polarización vertical, potencia de 32W (de forma provisional) y una altura de la antena de 30 metros sobre el nivel del terreno. En cuanto a la frecuencia de transmisión del sector (Down link) escogemos un valor dentro de la banda de 900 MHz, perteneciente a la banda UHF, que irá asociada a su correspondiente frecuencia de transmisión del terminal (uplink). La utilización de esta banda de 900 MHz está recientemente asignada al uso de móviles de cuarta generación, su uso proporciona mayor penetración dentro de edificios (debido a que la frecuencia es más baja que en las otras bandas utilizadas para 4G) y además, su implantación proporciona una mayor cobertura geográfica. Utilizaremos esta banda de frecuencias en las simulaciones posteriores para ver cómo funciona en el ámbito rural. Se ha resumido en la Tabla 5.5 la distribución de bandas de frecuencias y se ha tomado la decisión de escoger como frecuencia de transmisión del sector, 894 MHz, y como frecuencia de transmisión del terminal, 944 MHz, siendo estas las pertenecientes a la banda D. En la Figura 5.15, puede verse como quedan configurados los parámetros del sector.

Guarda	790	791	790,5	1	
A	791	801	796	10	LTE-DL
B	801	811	806	10	LTE-DL
C	811	821	816	10	LTE-DL
D	934	980	944 (escogido)	10	LTE-DL
Dúplex Gap	821	832	826,5	11	
A	832	842	837	10	LTE-UL
B	842	852	847	10	LTE-UL
C	852	862	857	10	LTE-UL
D	889	915	894 (escogido)	10	LTE-UL

Tabla 5.5 Resumen de bandas de frecuencias LTE (Fuente: Fuente propia)

Emplazamiento

Emplazamiento:

Coordenadas

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena:

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Frecuencias de transmisión

Frecuencias:

Polarización:

Feeder:

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB

Pérdidas: dB

Potencia: W

Figura 5.16 Parámetros del Sector (Fuente; Xirio online)

Por otro lado, nos encontramos con los parámetros LTE. Primero se ha de elegir el tipo de planificador, para ello entramos en la opción Modificar Planificador, como podemos ver en la Figura 5.16 la primera opción que permite utilizar las curvas de eficiencia espectral definidas por el terminal de usuario, podemos seleccionar el tipo de planificador. Podemos optar por utilizar tres tipos de planificadores: Round Robin, Máximo Rate y Proportional Fair. En este caso elegimos la opción de Proportional Fair (PF) con una ganancia típica del PF scheduler de 6 dB.

Figura 5.17 Planificador (Fuente; Xirio online)

Si volvemos al apartado de parámetros LTE, se pueden configurar más cosas. En cuanto al ICIC se configura de forma que sea dinámico, aunque también existe la posibilidad de que sea estático. Los parámetros de Down link se configuran como se puede ver en la Figura 5.17, con una configuración de MIMO 2x2 y una ganancia MIMO de 1,7 dB; y los de uplink se configuran con valores típicos de incremento de ruido, control de potencia y factor de ruido.

Figura 5.18 Parámetros LTE (Fuente; Xirio online)

- **Configuración de los parámetros del terminal**

En el siguiente punto se pueden modificar los parámetros del terminal. Entre ellos es posible cambiar algunos parámetros de la antena copolar, como vemos en la Figura 5.18, se eligen esos valores típicos por el momento. Lo más normal es tomar la altura de la antena a 1.5 metros del suelo, siendo ésta la altura “media” de un ser humano a la que podría encontrarse el terminal móvil (UE). La frecuencia del terminal, como ya hemos mencionado, se corresponderá con 900 MHz.

Propiedades de parámetros de recepción del terminal

Propiedades de parámetros de recepción del terminal

Antena: 3G/4G Antenna 2 dBi Or

Altura antena: 1.5 m

Frecuencias de transmisión:

Frecuencias: 900.000 MHz

Polarización: Vertical

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0 dB

Pérdidas: 3 dB

Potencia de transmisión: 23 dBm

Parámetros LTE

Los siguientes parámetros son específicos para la realización de la estimación individual de cobertura. No se aplicarán al realizar un análisis detallado de capacidad/coertura de toda la red LTE

Parámetros Downlink:

Factor de ruido: 7 dB

MIMO activo: Si

Sensibilidad: -112 dBm

Figura 5.19 Configuración del Terminal (Fuente: Xirio online)

- **Fijación del RSRP Threshold**

Por último, podemos fijar el RSRP threshold, que es el valor de la sensibilidad del teléfono móvil del usuario, por debajo de este umbral de cobertura el terminal móvil no funcionará correctamente. Este valor es utilizado por la señal Mejor Servidor para determinar si un sector determinado sobrepasa el nivel mínimo configurado para optar a ser el transmisor deseado, como veremos en los siguientes apartados. Este valor de referencia se define por el 3GPP en el “3GPP TR 36.942” con un valor aconsejable por encima de los -128 dBm, fijaremos este valor a **-120 dBm** como vemos en la Figura 5.19.

Parámetros LTE

Los siguientes parámetros son específicos para la realización de la estimación individual de cobertura. No se aplicarán al realizar un análisis detallado de capacidad/coertura de toda la red LTE

Parámetros Downlink:

Factor de ruido: 7 dB

MIMO activo: Si

Sensibilidad: -120 dBm

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Figura 5.20 Parámetros del terminal (Fuente; Xirio online)

- **Selección de cartografía y método de cálculo**

Entre los pocos pasos que quedan por dar, ahora XIRIO permite la opción de elegir el método de cálculo y la selección de cartografía. La **cartografía** viene dada por capas, en este caso, la única cartografía que podemos elegir es la Altimetría Mundial con una resolución de 100 metros; las capas de cartografía dependerán de la tarifa que tengamos contratada o del tipo de cuenta que utilicemos en XIRIO. En cuanto al **método de cálculo**, hay varios entre los que se pueden elegir (como vemos en la Figura 5.20), dependiendo de la zona en la que vayamos a

Realizar nuestras simulaciones, los rangos de frecuencia que se van a utilizar en nuestros terminales y el tipo de cartografía que utilicemos (*rural*).

Okumura-Hata ▼

Rec. ITU-R P. 526-11

Deygout

Línea de vista

Okumura-Hata

Xia-Bertoni

Editable Ampliado

COST 231 Walfish-Ikegami

Rec. ITU-R P. 1411

Okumura-Hata Modulado

Stanford University Interim

Figura 5.21 Elección método de cálculo (Fuente; Xirio online)

Se tomará como método válido para nuestras simulaciones el método de **Okumura-Hata**, ya que es un “**Método empírico válido en la gama 150MHz a 2GHz.Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y Urbanos**” cuando no se disponga de cartografía de alta resolución”, características que se ajustan perfectamente a nuestras necesidades. En la Figura 5.21 podemos ver la configuración aplicada:

Propiedades del Método de Cálculo

Método de cálculo	
Nombre:	Okumura
Método de propagación:	Okumura-Hata
<input type="checkbox"/> Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.	
Resolución:	100 m/pixel

Parámetros básicos	
<input type="checkbox"/> Cálculo automático de factor K	
Factor K:	1.333
Margen de desvanecimiento:	10 dB

Propiedades Okumura-Hata	
Medio:	Rural
Tipo ciudad:	Pequeña

Figura 5.22 Método de cálculo (Fuente; Xirio online)

- **Definición del área de cálculo**

Se define el **área de cobertura** en el que se va a realizar el cálculo de cobertura. Estos valores no tienen por qué ser exactos, ya que cuando se acabe de crear la cobertura individual, se podrá elegir de forma manual el área exacta en el que nos interesa realizar los cálculos y así podremos ver en el mapa exactamente en qué área queremos simular el cálculo de cobertura. Se han elegido los valores de la Figura 5.22 como referencia.

Configuración de área de cálculo		
Área de cálculo		
<p>i El área de cálculo define los puntos donde se va a realizar el cálculo de señal recibida. Defina el área de cálculo basándose en la dirección de máxima radiación de la antena. Indique las distancias d1, d2 y d3.</p>		
Distancia en la dirección del azimut (d1)	10000	m
Distancia en dirección opuesta al azimut (d2)	10000	m
Distancia en dirección perpendicular al azimut (d3)	10000	m

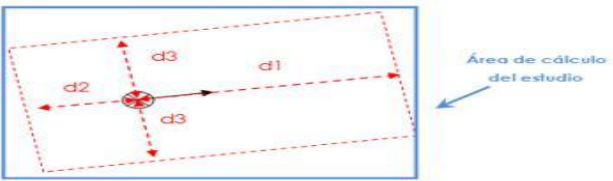


Figura 5.23 Definición del área de cobertura (Fuente; Xirio online)

- **Selección del rango de colores**

Con esta opción se permite establecer diferentes rangos de nivel de señal recibida. A cada intervalo se le asigna un color para la posterior visualización de los resultados. Para hacerlo más intuitivo, inicialmente vamos a crear una plantilla con un rango de colores con una separación de 5 dB entre cada intervalo. Aunque durante el desarrollo se modificarán algunos rangos para ajustar más a los resultados obtenidos.

Para asegurarnos de que las señales están por encima del mínimo de la sensibilidad establecida por el 3GPP, creamos un rango de colores que va desde -120 dBm hasta el infinito (positivo). Utilizaremos el mismo rango de colores en todas las señales para evitar cualquier tipo de confusión, aunque esta primera definición del rango se refiere solo a la señal RSRP. Por tanto, toda señal que, según el rango de colores, esté por encima de los umbrales establecidos, cumplirá las especificaciones y posibilitará la comunicación entre los elementos de las redes LTE mediante un correcto funcionamiento. Para que quede más claro, se muestra en la Figura 5.23 como queda definido este rango de colores:

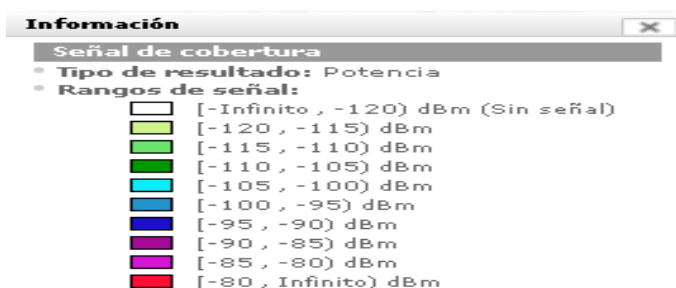


Figura 5.24 Rango de colores establecido Fuente de Xirio online.

- **Finalización de la creación de coberturas individuales**

Llegados a este punto, el modo asistente de XIRIO finaliza su trabajo y crea automáticamente los tres sectores en los que hemos decidido dividir nuestra antena transmisora, lo podemos encontrar a la izquierda de la pantalla principal del simulador. Se puede ver en la Figura 5.24.

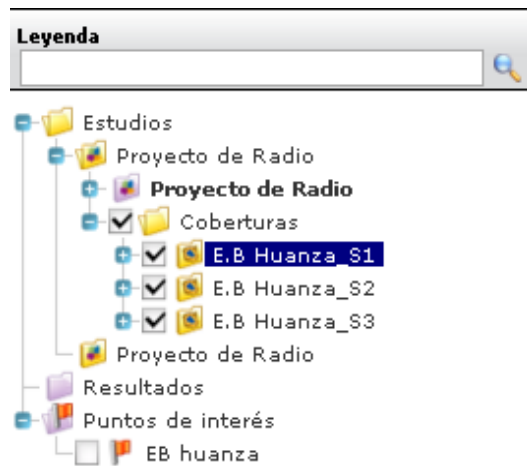


Figura 5.25 Sectores definidos (Fuente; Xirio online)

- **Análisis de resultados de los parámetros de cobertura y tráfico**

Una vez realizada la planificación, se procederá a analizar los resultados obtenidos en la herramienta. Por tanto, en este apartado se analizarán una a una todas las señales piloto que puedan ser útiles en cualquier planificación de una Estación base 4G LTE

. Se comenzarán analizando la cobertura en espacio libre haciendo uso de la herramienta de simulación para luego seguir analizando las señales que tengan que ver con el umbral mínimo de recepción en dicha cobertura, estamos hablando de la señal RSRP, luego acabaremos analizando la capacidad de tráfico en DL y UL en el **throughput**, de esta forma daremos por viable nuestro diseño según lo calculado y lo simulado.

- **Analizando la cobertura en la herramienta Xirio online**

Se decide utilizar un nivel de potencia de 32 W, que corresponden exactamente a 45dBm, un valor recomendado que se encuentra dentro de lo estipulado para la banda UHF. Además, con este nivel de potencia se mantiene un margen para no interferir con la TDT (Televisión Digital Terrestre).

En la figura 5.25 podemos ver claramente el pueblo de Huanza como también en lugar donde está situado nuestra BTS 4G LTE a 3800 msnm, observemos la línea azul que tiene como punto inicial la estación base y como punto final el borde de la celda por cubrir, con el cual damos por afirmado que no existe ninguna obstrucción en nuestra línea de vista, ya que estratégicamente y con la potencia adecuada podremos llegar sin ningún inconveniente hasta el borde de la cobertura que por los calculo ya hechos tenemos cubierto en teoría 2 KM que son los que se cumplen en la simulación pero en la realidad

con 1.5 KM estaríamos cubriendo todo el pueblo de Huanza esto equivale a un 33% más del cumplimiento en la cobertura requerida.

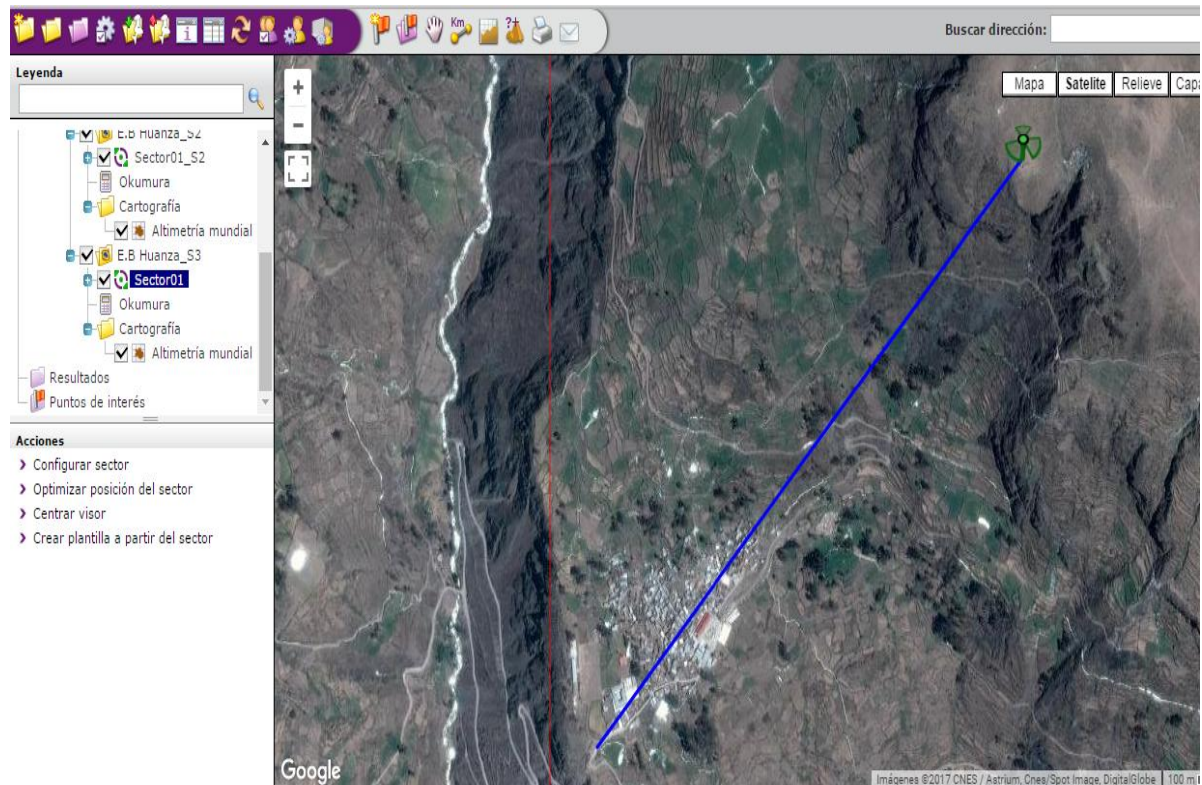


Figura 5.26 Cobertura desde la EB Huanza al Equipo Terminal (Fuente; Xirio online)

Analizando el terreno en la Figura 5.26, vemos que el perfil orográfico determina que prácticamente no hay grandes cambios de altitud, por lo que la cobertura está dentro de lo planificado.

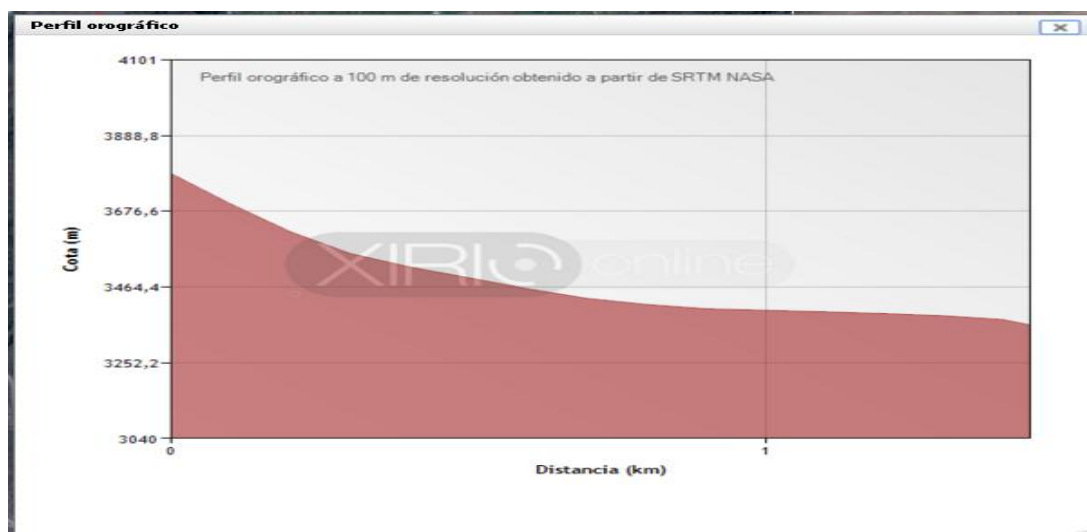


Figura 5.27 Perfil Orográfico (Fuente; Xirio online)

- Analizando la Señal RSRP en diferentes puntos de la cobertura

De acuerdo con la recomendación de la 3GPP; La señal RSRP es realmente útil para medir la potencia de la señal de un sector, ya que, **excluye el ruido y la interferencia de otros sectores**. El rango de valores entre los que se puede encontrar esta señal, según el 3GPP, van desde -44 a -140 dBm. Pero los valores típicos que podemos encontrarnos van desde unos -75 dBm en zonas próximas al núcleo de la célula, a unos -120 dBm en el borde del área de cobertura LTE

Aplicación a la planificación

Por tanto, se definió un valor adecuado del **RSRP threshold** en apartados anteriores, siendo este exactamente -120 dBm, que es un valor típico que podemos encontrar en los bordes de la célula. Para hacerlo más fácil, las manchas de colores se definieron a partir de -120 dBm (color verde claro en este caso), por lo que, toda nuestra zona cubierta cumple los valores teóricos establecidos por el 3GPP.

Si queremos verlo gráficamente en la herramienta, solo basta con situarnos en varios puntos aleatorios situados en los bordes de nuestra cobertura. En la Figura 5.27, se puede observar cómo se cumplen los requisitos establecidos. Situando en el borde de la cobertura a pesar de estar en la zona morada con un valor de -118 dBm no superamos los -120 dBm.

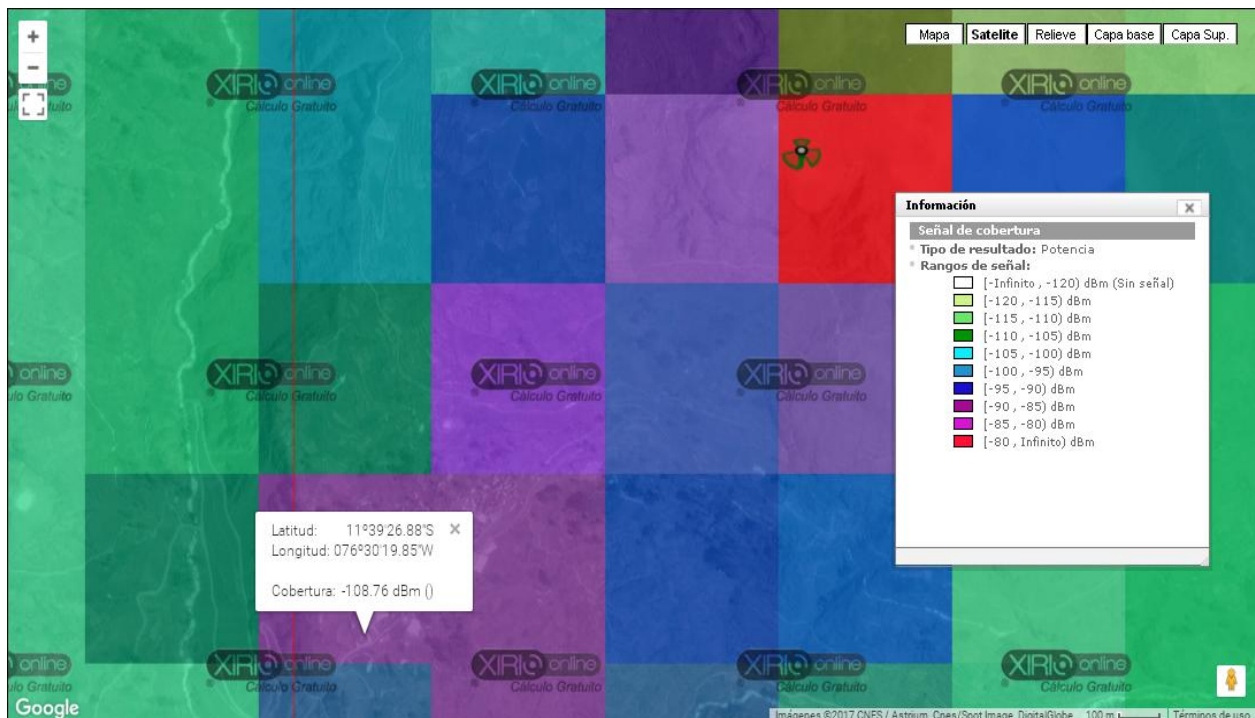


Figura 5.28 Mapa de RF en Huanza en la cual se verifica el nivel de señal (Fuente; Xirio online)

Esta ha sido la señal utilizada para ajustar bien los niveles de cobertura y así optimizar la zona. Haciendo buen uso de esta señal obtenemos valores correctos de los demás tipos de señales, por lo que en cualquier simulación de una planificación radioeléctrica se deben de utilizar las señales RSRP y las SINR para optimizar el ajuste. El estado final del RSRP es el siguiente:

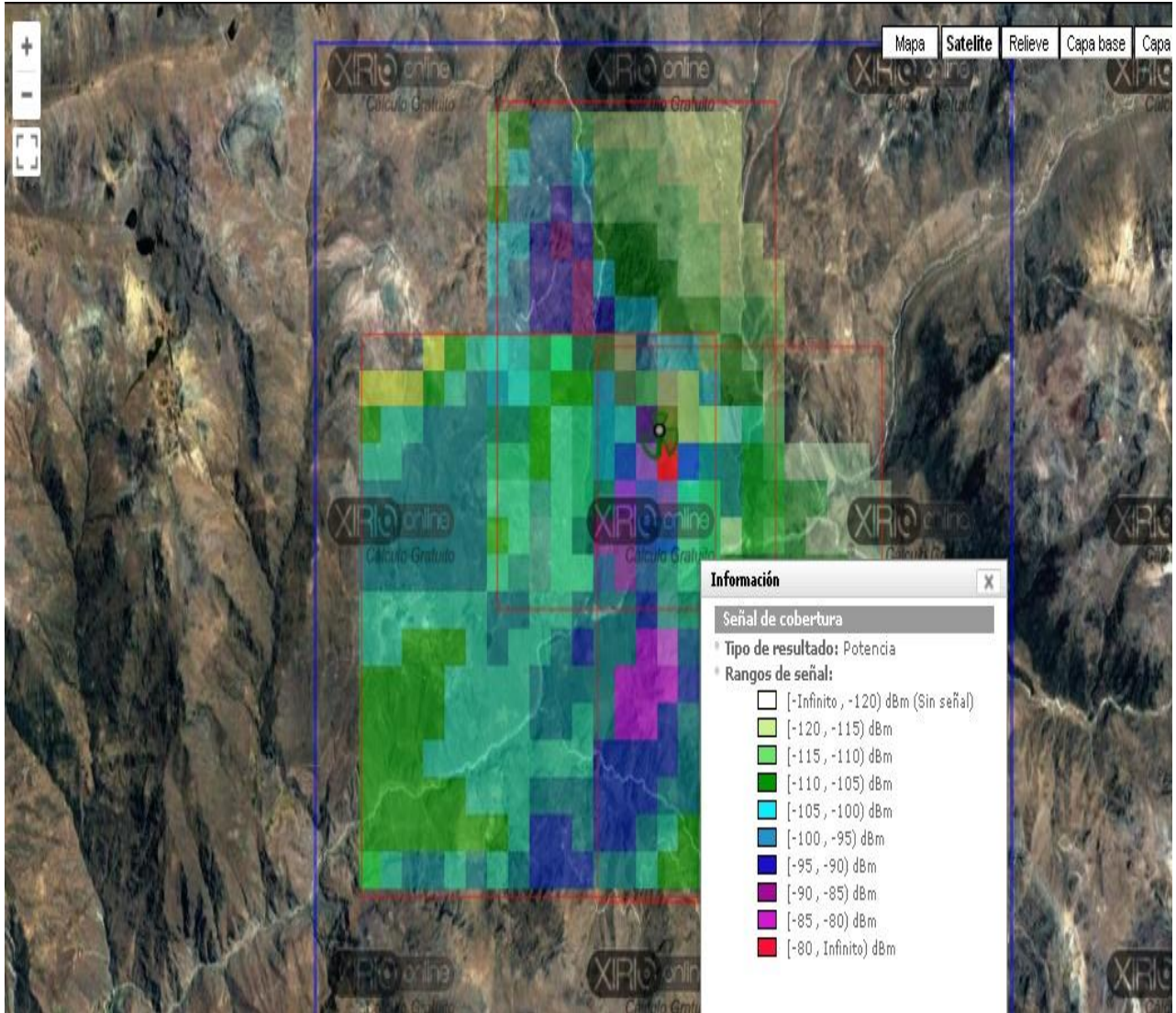


Figura 5.29 Señal RSRP obtenida en nuestra planificación (Fuente; Xirio online)

- **Analizando la capacidad de tráfico en DL y UL en el throughput**

De acuerdo con la norma de la 3GPP; LTE debe permitir que el flujo de datos, de usuario en el borde de la célula sea el más alto posible. El “throughput” de usuario en el borde de la célula se define como el punto del 5% de la función acumulativa de distribución del “throughput” de usuario normalizado por el ancho de banda total de la célula. Permite una velocidad de 20Mbps para UL y 75 Mbps para DL que se corresponderían con el 100%.

Aplicación a la planificación

○ Análisis del throughput teórico DL

Analizando el tráfico teórico en Downlink, que debe de ser mayor en comparación con el de Uplink en este caso, se puede observar como mantenemos un rango variado, entre unos 5 y 45 Mbps en los casos más privilegiados. En la Figura 5.29, podemos observar las diferentes zonas relativas al tráfico en enlace descendente.

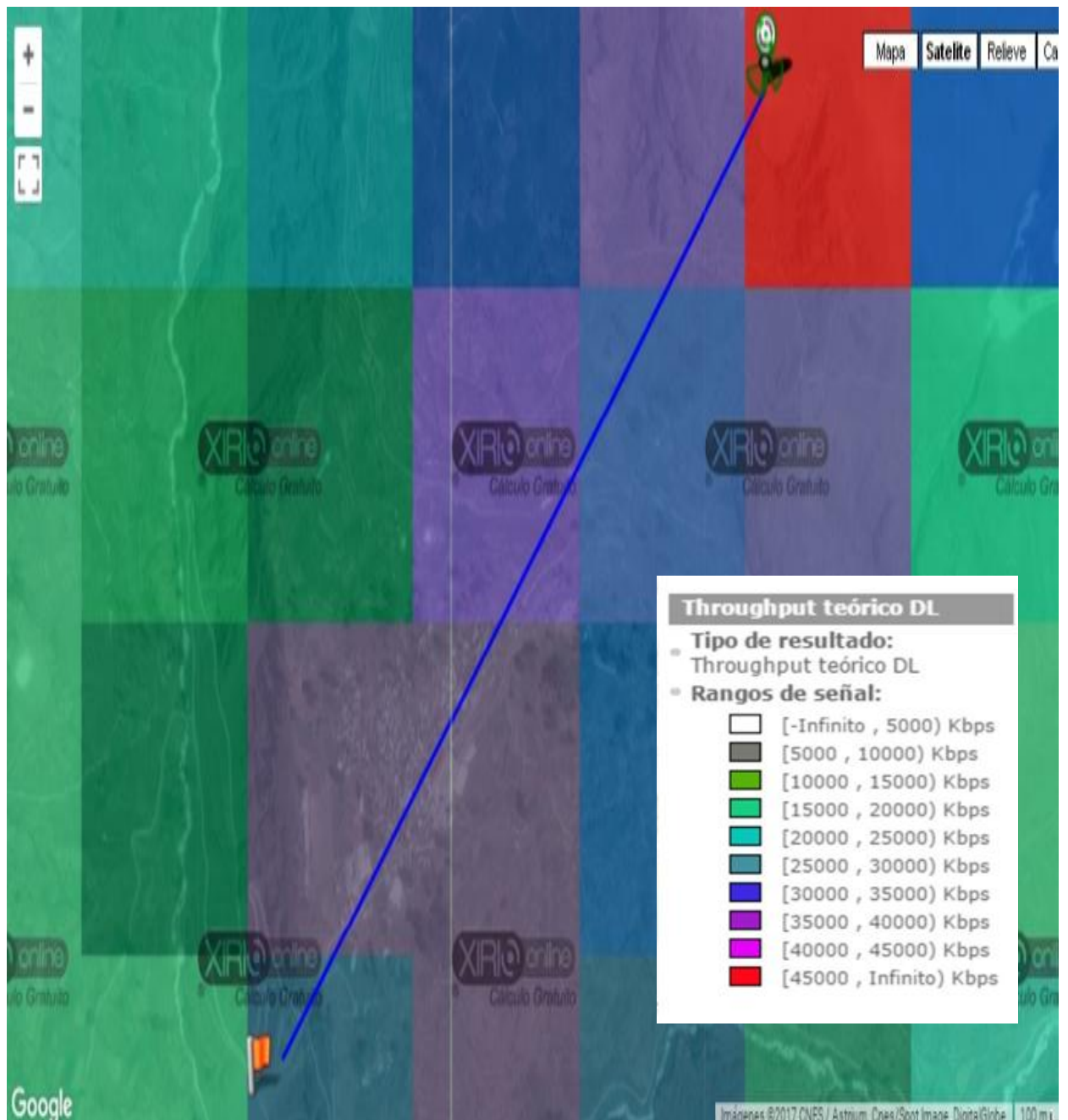


Figura 5.30 Análisis del troughput teórico en Downlink (Fuente; Xirio online)

○ Análisis del Throughput teórico UL

Analizando la carga de tráfico teórico en Uplink, observamos que la velocidad es menor, en este caso no se consigue llegar ni a 20 Mbps. Pero según se puede ver muy bien diferenciado en la Figura 5.30, el tráfico es mucho más uniforme, y en casi toda la zona escogida solo varía entre unos 5 y 10 Mbps.

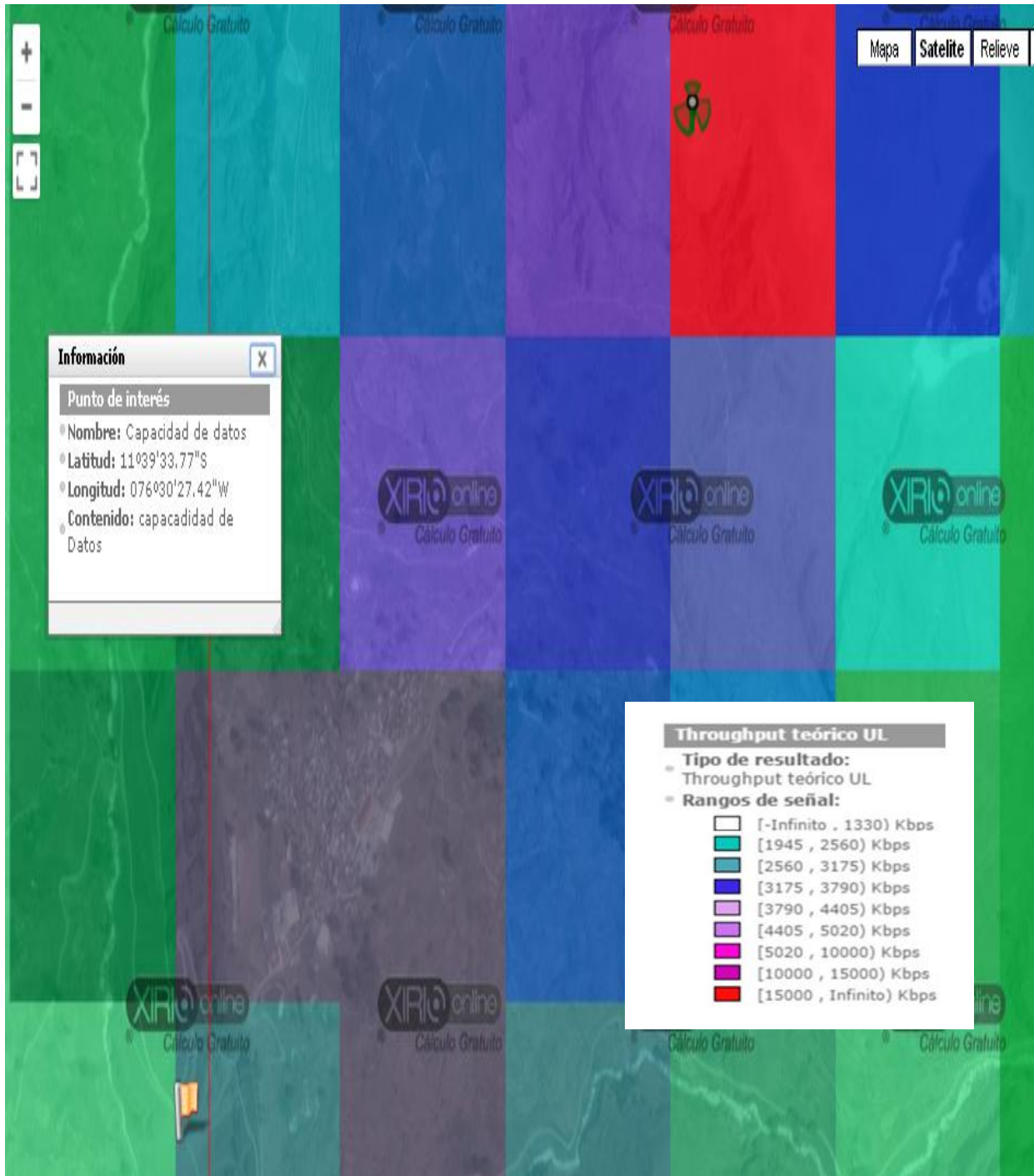


Figura 5.31 Análisis del troughput teórico en Uplink (Fuente; Xirio online)

5.3 Fase de Infraestructura

Teniendo ya la planificación y dimensionamiento como también la simulación de nuestra BTS procederemos a seleccionar el diseño de infraestructura para nuestro proyecto con las Sigüientes actividades;

- **Selección del Diseño de Infraestructura:** En lo que se refiere a infraestructura se requiere:
 - **Diseño del Cerco Perimétrico en el Terreno de la estación**

Se Utilizó un terreno de un área de 50m², donde se colocó la torre y la sala de equipos. Si se hubiera decidido comprar se puede obtener por \$185 000 incluido los trámites que se tienen que realizar, incluyendo la licencia de funcionamiento y el cerco perimétrico del terreno.
 - **Requerimientos:**
 - Excavación de cimentación para torre ventada y cerco perimétrico de concreto.
 - Construcción de fundaciones, losas para equipos.
 - Construcción, vigas columnas, cerco perimétrico.
 - Construcción de Sala de Equipos, G.E, Vigilante.
 - **Diseño del Cerco Perimétrico:**
 - **El Cerco perimetral;** cercará toda la superficie contratada por 50 m² Cerco perimetral en concreto armado de $\rho_c=210 \text{ kg/}$ con vigas y columnas y losa maciza con acero corrugado de ASTM A-615 $Y=4200\text{kg/cm}^2$

Dados de cimentación de 30x30x50 cms, con hormigón en masa H-200, incluso excavación, remachada en su parte superior con tres alambres de espino. Opcionalmente entre los dados de cimentación se podrá disponer de bordillos, bloques de hormigón, que impidan la entrada de agua al recinto.
 - **Puerta Metálica;** en acero galvanizado en caliente con triple zincado, de dimensiones 1.20x2.00, plancha de Fe 4 doblada $e=1.5\text{mm}''$ con, tirador de Fe 4'' con acero liso diámetro = $\frac{1}{2}''$
 - **Concertina;** de acero diámetro =450mm, con su soporte de concertina en embebido en viga a construir, sujeto al muro perimetral.
- Ambos diseños podrán verlo en su detalle digital en el Anexo 2 con sus respectivos títulos.**

○ **Selección del Diseño de la Torre ventada**

▪ **Requerimientos;**

De los cálculos obtenidos, se debe tener una torre de 30m, con ese tamaño de torre se llegará a completar toda la cobertura en Huanza. En la torre se instalará la luz de balizaje, descansos, cable de vida, canastilla para antenas. La carga de la torre para vientos debe ser de 80 Km/h, carga esperada de vientos en el Distrito de Huanza; se propone una torre ventada, por ser la que mejor soporta esta carga de vientos.

En dicha torre se instalarán unas nuevas antenas de panel tribanda (válidas para tecnologías diferentes), para una orientación/sector, situada a unos 20 m. de altura y el sistema de radioenlace de la estación estará integrado por parábola de 0.6-1m de diámetro situada a pata de torre a una altura de 20m.

▪ **Diseño de la Torre;**

A continuación, daremos a conocer el diseño final en base a los requerimientos antes mencionados.

Los datos la torre de celosía son:

Fabricante; MADE

Tipo; Celosía

Altura; 30 Metros

Dimensiones de cimentación; 2x2x2.90

Este proyecto de exposición al viento y carga se basará en las siguientes hipótesis:

- Para velocidades de viento de hasta 150 km/h no se produzca vuelco ni deformación permanente, y el acero no sobrepase el límite elástico de 3600 kg/cm² para el acero tipo AE-355. Se establece un coeficiente de ponderación de las cargas.
- Para velocidades de viento 150 km/h la deformación máx. en cabeza no será superior a 3°.
- Para velocidades de viento de 100 km/h la deformación de la torre a 2/3 de la altura nominal, la deformación máxima no sea superior a 0, 7°.

Se diseñará una Torre celosía construido con perfiles de acero galvanizado en caliente, calidad AE-275, 2.600 Kg/cm² de límite elástico. La tornillería de la torre es del tipo DIN-7990 calidad 5.6, provista de arandela plana y grover con métrica mínima $\phi = 12$ mm, siendo dos el número mínimo de tornillos en cada barra de trabajo.

Las estructuras que soportan las antenas y todas las piezas accesorias de ensamblaje y fijación serán de acero A-42 galvanizadas.

Las estructuras que soportan cada una de las antenas irán fijadas, según el caso, mediante tornillos de métrica 16 a la estructura de perfiles angulares de acero si hubiere.

El acceso a la torre de celosía se realiza por su exterior, mediante una escalera de pates de 400 mm de anchura.

Es necesario indicar que los planos en su extensión se mostraran en la parte de Anexo 2 de la presente tesis, a continuación, se muestra el diseño de la torre de celosía en la figura 5.31

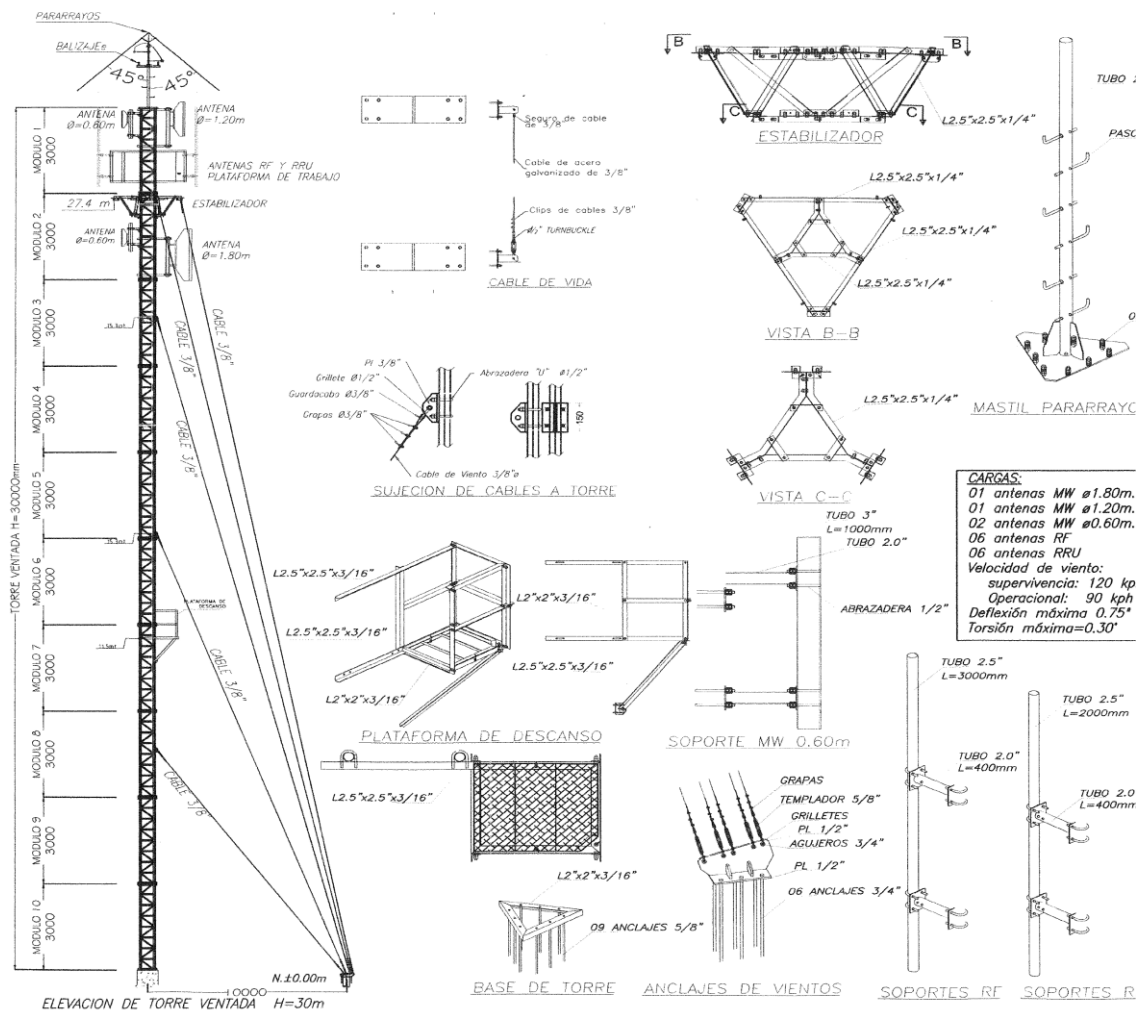


Figura 5.32 Torre de Celosia de 30 Mts (Fuente Bitel Perú)

- **Selección del Diseño de la Sala para equipos**

- **Requerimientos;**

Se está utilizando shelters (gabinetes) debido a que se han reducido los tamaños de los equipos de telecomunicaciones y pueden tener un área de 7 m², reservando un espacio para futuras ampliaciones de acuerdo a datos de fabricante de equipos instalados y/o nuevo equipamiento, la instalación de los equipos es siguiendo las normas recomendadas del fabricante. El shelter debe ser acústico

Para cumplir las normas ambientales de ruido requeridas por las municipalidades (la Comisión Nacional del Ambiente CONAM, da las pautas para que las municipalidades dicten esas normas); contar con vigas para sostener escalerillas ventana pasa muros y con las instalaciones eléctricas necesarias, tablero de distribución, iluminación adecuada (680 lux a nivel de piso), tomacorrientes, por lo general un tomacorriente doble por pared; también se está usando material

Alternativo al convencional como es el drywall (nombre común por su origen americano que significa muro seco, porque los materiales que lo conforman no requieren mezclas húmedas), para la construcción de sala de equipos.

- **Diseño de la Sala para equipos:**

Diseño de sala de equipos digitalizado, previo a su instalación. El diseño en su amplitud se verá en el anexo 2 de la presente tesis

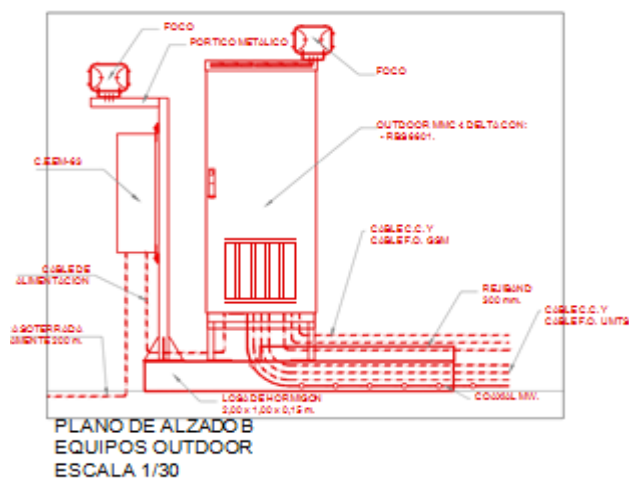


Figura 5.33 Shelter de comunicaciones (Fuente Bitel Perú)

- **Selección del Sistema de Aclimatación**

- **Requerimientos:**

Los equipos instalados en una sala de un sistema de telefonía móvil celular (estación base celular, equipo de transporte, rectificador, baterías) necesitan una temperatura adecuada para su normal funcionamiento, por lo general 25° C. Además, estos equipos disipan calor, principalmente los amplificadores de potencia de la estación base celular, por lo que se hace necesario el uso de equipos de aire acondicionado para lograr la temperatura de funcionamiento óptima. Según los equipos instalados la disipación de calor puede llegar a 10000 BTU/H, siendo necesario instalar dos equipos de aire acondicionado de 16000 BTU/H, cada uno, para redundancia. (1 BTU: British Termic Unit= 1,05506 KJoule)

- **Selección del Sistema de Aclimatación:**

Se hace la elección del fabricante Sanda el cual nos brinda todo lo necesario para poder tener nuestros equipos trabajando a temperatura adecuada fuera de humedad y con alta precisión. (Ver Figura 5.33)



Figura 5.34 Equipó de Aire Acondicionado en gabinete de energía (Fuente; Fabricante Sanda)

- **Selección de la Energía Eléctrica:**

- Selección de la Energía en AC**

- **Requerimientos:**

Se necesita una potencia de 30 KW en tarifa MT3 (media tensión trifásica), esta tarifa es la más adecuada para el tipo de carga de las estaciones base celular que casi no cuenta con potencia reactiva, esto incluye transformador de media a baja tensión, transformix (transformador para medidor de corriente), y postes en caso ser necesario.

- **Diseño del cuadro de cargas de Energía en AC:**

Consiste en el cálculo del cuadro de cargas según la potencia consumida por cada equipo.

Cuadro de Cargas se verá en el apartado del Anexo 2 con su respectivo título.

- **Selección de la Energía en DC**

Se requiere de un rectificador y de 01 banco de baterías para una carga de equipos de 200 Amps aproximadamente, tomando en cuenta los datos del fabricante de la estación base celular y equipo de transporte, En base a la normativa de instalaciones de cada equipamiento se trabaja con -48 Voltios en DC los cuales se van desarrollar con estas dos actividades necesarias;

- **Selección del Diseño de Rectificador**

- **Requerimientos:**

La carga del rectificador es la carga de los equipos cuya capacidad se determina de los datos del fabricante, más la corriente durante la carga de baterías que según datos de fabricantes debe ser el 10% de la capacidad nominal del banco; en la siguiente sección de baterías se indica que se necesita un banco de 1500 Ah.

- **Selección del Rectificador:**

Los cálculos estimados son:

$200\text{Amp de equipo} + 150\text{Amp carga de baterías} = 350\text{ Ampo}$ En Datos es $350\text{Amp} \times 24\text{ V nominal} = 8.5\text{KW}$.

El rectificador debe soportar la capacidad de 8.5 KW.

Por lo cual para nuestro diseño usaremos la marca conocida Eltek Flat pack v2. con una potencia de 3KW, pero debido a que se necesita 8.5 Kw se tendrá que usar tres rectificadores Eltek de 3KW para llegar a soportar la carga requerida (Ver figura 5.34)



Figura 5.35 Rectificador Eltek Flat pack v2 (Fuente; Eltek Australia Pty Ltd.)

- **Selección del Banco de baterías**

- **Requerimientos:**

Debe ser de tracción y de libre mantenimiento (baterías de tracción son baterías que pueden soportar varias descargas profundas hasta 20% de su capacidad nominal unas 100 veces sin perder su capacidad) para que pueda soportar los cortes de fluido eléctrico, un banco de 155 Ah nos brinda una autonomía de 6 h aproximadamente, y por tratarse de una sola estación para una localidad lo justifica.

- **Selección del Banco de baterías:**

En base a estos requerimientos se hace selección del fabricante de baterías “NARADA” el cual por sus años en el mercado y experiencia nos aseguran una fiabilidad en sus bancos y con los requerimientos necesarios que necesitamos para una autonomía correcta.

Características de Fabrica

- Batería Polímero-Gel de ácido-plomo regulada por válvula
- Diseño del Terminal Frontal apropiado para racks 19” /21”
- Asas resistentes para fácil manejo
- Sellamiento del terminal y acceso frontal
- Válvula de presión autorregulada con supresor de llama
- Tapa aislante y flexible para Terminal
- Funda ABS ignífuga (UL94 V-0, opcional)
- Kit de ventilación de gas H2 centralizado
- Cumple con las normas IEC, IEEE, UL, EN, CE, etc.
- Vida de diseño de 25°C (77°F): 12+ años



Figura 5.36 Batería de 12V - 155AH (Fuente; Eltek Australia Pty Ltd.)

- **Selección del sistema de protección eléctrica**

- **Selección del Sistema para rayos**

- **Requerimientos:**

Una estación de telecomunicaciones debe contar con un sistema de protección eléctrico para proteger a los equipos de ruido y darles mayor tiempo de vida, además de protegerlos contra sobre voltajes;

las fluctuaciones en los niveles de voltaje pueden deberse a variaciones propias del origen de la fuente de energía, a variaciones inducidas por arranques de motores y/o compresores; es el caso de aires acondicionados o a factores externos como puede ser la caída de un poste de la línea de acometida por causas externas y/o causas atmosféricas, el sistema de protección eléctrico está conformado por Sistema de pararrayos, sistema de tierra, supresores de pico, los cuales se detallan a continuación.

- **Selección del Sistema para rayos**

El más usado es el captador tetra puntal que da un cono de protección de 45° con bajada de cable de cobre desnudo 1/0 al sistema de tierra.



Figura 5.37 Pararrayos Tetra puntal (Fuente; Marca, MAGNET-WELD)

- **Selección del diseño de Sistema a Tierra**

- **Requerimientos:**

Se recomienda tener un sistema de 5 ohmios, para lo cual se usa por lo general un sistema de mallas y sistema de platinas de tierra conectadas a está para conexión de tierra de equipos, aterramiento de cables coaxiales.

- **Diseño del Sistema a Tierra:**

Se diseña un sistema a tierra y se digitaliza para su mejor apreciación, el cual se puede ver en el **Anexo 2** en su diseño original como también los cálculos para sus respectivos electrodos.

- **Selección de los Supresores de picos**

Los sistemas de protección contra picos protegen a los equipos de las altas tensiones producidas por rayos, variaciones en la energía comercial AC, etc. Se colocan a la entrada de la energía comercial AC y luego se van distribuyendo hacia la entrada del distribuidor de energía y la toma de energía AC del rectificador. El dimensionamiento de la capacidad de supresores de picos viene dado por la capacidad de la tolerancia de picos del rectificador que es un dato del fabricante. Por lo menos debe considerar el de primera protección para picos mayores de 800V y debe estar junto al tablero de distribución eléctrica.

5.4 Fase del equipamiento de la BTS 4G LTE

En esta Actividad veremos la selección del equipamiento basado al diseño propuesto, el cual se escogió a la empresa Huawei Technology como empresa proveedora de todo el equipamiento dentro de la BTS 4G LTE, a continuación, tendremos las siguientes Actividades.

- **Selección de la BBU**

- **Requerimientos:**

Se requiere de una estación base celular Huawei con la BBU que es la que nos proveerá el 4G LTE en base a su capacidad para poder procesar dicha tecnología para interiores, con estas características mínimas respecto al diseño;

- Frecuencia de trabajo de 918 a 925 MHz
- Una BBU admite seis RRU como mínimo
- El arreglo de antenas en 2 x 2 MIMO: 18 celdas con BW; 10MHz
- Potencia de tx en 918 MHz a 925 MHz: 2 x 60 W

- **Selección de la BBU:**

Según lo anteriormente requerido tenemos según el fabricante lo siguiente;

○ **BBU 3900 de Huawei:**

Esta unidad modular ha sido diseñada para ser instalada lejos de otras unidades, lo que acelera la selección del sitio y la construcción de la red, a la vez que permite reducir la inversión en repetidores. Permite lograr cobertura flexible a lo largo de líneas ferroviarias, especialmente en túneles y puentes. Está compuesta por una unidad de banda base (BBU) y una cierta cantidad de unidades de radio remotas (RRU), lo que permite crear una sola celda poderosa para múltiples sitios, se aprecia en la Figura 5.37.

Las siguientes tarjetas serán instaladas en la BBU3900:

- LMPT and UMPT
- LBBP
- UTRP
- USCU
- UELP and UFLP
- UPEU
- UEIU
- FAN

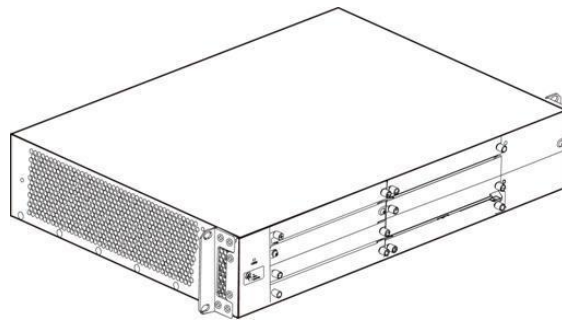


Figura 5.38 Case BBU3900 (Fuentes; Huawei technology)

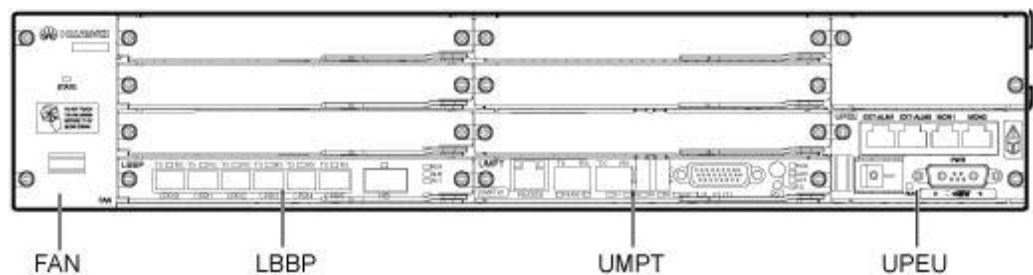


Figura 5.39 Configuración típica de la BBU3900 (Fuentes; Huawei technology)

○ **Capacidad**

Ahora veamos la capacidad que tiene nuestro equipamiento BBU3900 según fabricante las cuales son las más idóneas respecto a lo requerido:

Ítem	Especificaciones
Máximo number of cells	4T4R beamforming: 18 cells with a bandwidth of 10 MHz or 20 MHz for each cell 4 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell 2 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell
Maximum throughput per cell with the 20 MHz bandwidth	Downlink data rate at the Media Access Control (MAC) layer: 130 Mbit/s (4 x 2 MIMO and 2 x 2 MIMO)
Maximum throughput per eNodeB	Sum of uplink and downlink data rates at the MAC layer: 1500 Mbit/s
Maximum number of UEs in RRC_CONNECTED mode in an eNodeB	10,800
Data radio bearer (DRB)	Eight DRBs per user equipment (UE)

Tabla 5.6 Especificaciones técnicas de la BBU3900 (Fuentes: Huawei Technology)

○ **Alimentación de entrada:**

Ítem	Especificaciones
Input power	-48 V DC (voltage range: -38.4V DC to -57V DC)

Tabla 5.7 Alimentación de entrada de BBU3900 (Fuentes: Huawei Technology)

○ **Especificaciones físicas.**

Se muestra en la siguiente tabla 5.8 las especificaciones físicas de dicho equipo.

Ítem	Especificaciones
Dimensions (height x width x depth)	86 mm x 442 mm x 310 mm (3.46 in. x 17.40 in. x 12.20 in.)
Weight	≤ 12 kg (26.46 lb) (in full configuration)

Tabla 5.8 Especificaciones físicas de BBU3900 (Fuentes: Huawei Technology)

• **Selección de la RRU:**

• **Requerimientos:**

Se requiere de una RRU (unida de radio remota) que es la que nos proveerá la conectividad entre la BBU en base a su capacidad para poder procesar dicha tecnología para interiores, con estas características mínimas respecto al diseño;

- Frecuencia de trabajo de 918 a 925 MHz como mínimo
- Una RRU Multibanda 900M -1800M
- Multisectorial 1,2,3
- El arreglo de antenas en 2 x 2 MIMO: 18 celdas con BW; 10MHz
- Potencia de tx en 918 MHz a 925 MHz: 2 x 60 W

• **Selección de la RRU:**

Usaremos en este diseño 06 RRU (03 RRU para 4G y 03 RRU para el 3G) para el desarrollo del protocolo CSFB sin ningún inconveniente, la RRU elegida para este caso es la de 3953 de Huawei. (Ver figura 5.39)

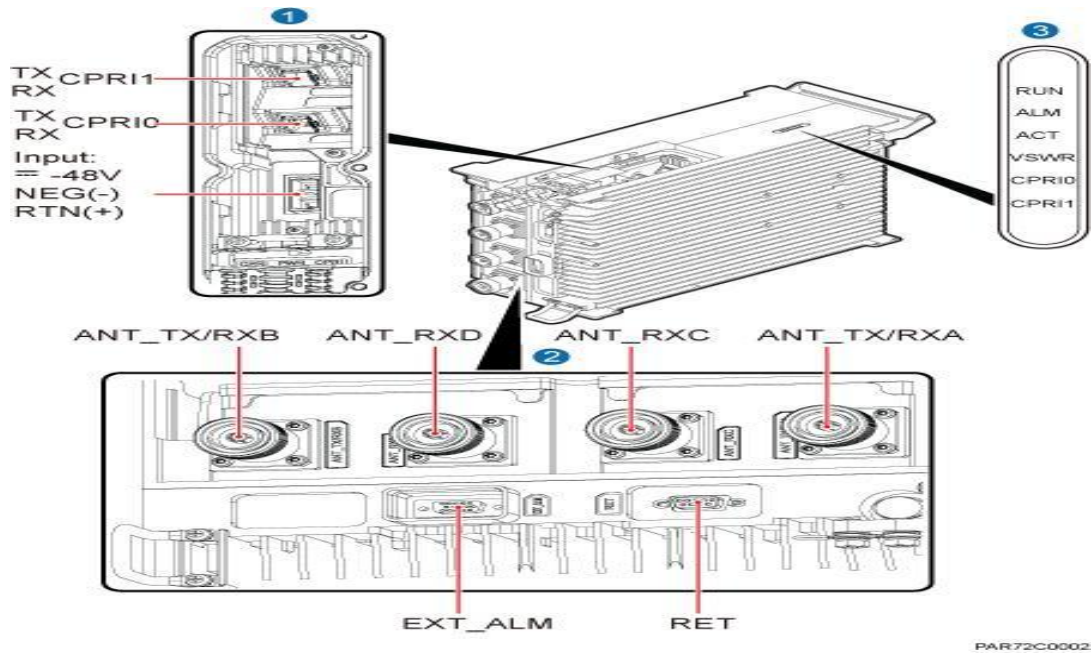


Figura 5.40 Puertos en el panel de la RRU (Fuentes; Huawei Technology 2013)

o **Capacidad**

En la siguiente tabla 5.9 se verán los indicadores y puertos de la RRU

Item	Silkscreen	Remarks
(1) Ports in the cabling cavity	RTN(+)	Power supply socket, for details about RRU power cable experience and specifications,
	NEG(-)	see RRU Power Cable.
	CPRI0	Optical/electrical port 0, connected to the BBU

Tabla 5.9 Indicadores y puertos en el panel de la RRU (Fuentes: Huawei Technology 2016)

- **Selección de Medio de transporte**

La red backhaul es el medio de transporte dentro de la RAN (Radio Access Network), entre las estaciones base y los controladores necesarios. El término controlador engloba a los elementos frontera de la red EPC (Evolved Packet Core), como son los MME, SGW y PDN GW en las redes 4G. Que para nuestro caso sería de media milla (midmile) desde los agregadores de tráfico hasta los RNC, Mediante SDH (Synchronous Digital Hierarchy) con enlaces STM-1, STM-4, a continuación, las siguientes actividades las dará a conocer:

- **Selección de la IDU:**

- **Requerimientos;**

Se requiere de una IDU (Indoor Unit) es una unidad externa moduladora/demoduladora de señal, con estas características mínimas respecto al diseño;

- Frecuencia de trabajo de 6/7/13/42 GHz
- Espaciamiento entre canales; 3,5/7/14/28 MHz
- Direcciones de RF; 1U / 3RF
- Capacidad de conmutación; 10GBtis
- Modulación; QPSK, 16QAM
- Configuración 1+1

- **Selección de la IDU:**

IDU 910 es la unidad interior de un sistema OptiX RTN 910. Sus servicios de acceso, realizan multiplexación/demultiplexación y procesamiento IF de los servicios, y proporcionan un control del sistema y una función de comunicación.

Detalle IDU 910.	Característica
Altura del chasis	1U
Enchufable	Soportado
Número microondas de direcciones	1-2
Modo de configuración RF	1+0 configuración no protegida 2+0 configuración no protegida 1+1 configuración protegida

Tabla 5.10 Detalles del equipamiento IDU RTN 910 (Fuentes: Huawei Technology)

Las dimensiones del IDU 910 son 442 mm (ancho) x 220 mm (profundidad) x 1 U (altura, 1 U= 44.45 mm). La Figura 5.40 muestra la asignación en ranura del IDU

Slot 5 (PIU)	Slot 6 (FAN)	Slot 3 (EXT)	Slot 4 (EXT)
Slot 1 (CSTA/CSHA/CSHB/CSHC)			

Figura 5.41 Las dimensiones del IDU (Fuentes; Huawei Technology)

El IDU 910 puede ser instalado en: Bastidor ETSI (300 mm profundidad) Bastidor ETSI (600 mm profundidad) Bastidor de 19 pulgadas (450 mm profundidad) Bastidor de 19 pulgadas (600 mm profundidad) Bastidor abierto

Muro Mesa



Figura 5.42 El equipamiento IDU RTN 910 (Fuentes; Huawei Technology)

○ Tarjetas

Las tarjetas son los componentes clave del hardware del equipo. Dependiendo del tipo de equipo, híbrido o de paquete completo, soportarán distintas tarjetas.

- **Solución híbrida**

La siguiente Tabla 5.11 muestra las tarjetas soportadas para la solución híbrida del IDU 910 y sus ranuras válidas.

tarjeta	Nombre completo	Ranura	Descripción
CSHA	Control híbrido, conmutación, y tarjeta temporizadora	Ranura 1	Proporciona conexiones cruzadas de intervalo de tiempo completas para los servicios VC-12/VC-3/VC-4 equivalentes a 8x8 VC-4s. Proporciona capacidades de conmutación de paquetes de 4.2 Gbit/s.

Tabla 5.11 Especificaciones de tarjeta CSHA (Fuentes: Huawei Technology)

- **Selección de la ODU:**

- **Requerimientos;**

El ODU es la unidad externa del equipo. Realiza conversión de frecuencia y amplificación para señales. Está conectado al IDU a través de un cable coaxial. Este cable coaxial no solo transporta la señal full dúplex del IF para ser convertida en señal RF, sino también el tráfico O&M y la alimentación DC.

- Convertir la frecuencia de IF a RF y viceversa
 - Amplificar la RF (en TX y RX)
 - Bandas de frecuencia mínima: 26W/15GHZ
 - Modulación; QPSK, 16QAM
 - Configuración 1+1

- **Selección de la ODU:**

SE hace la Selección de la ODU disponible por el fabricante Huawei Technology la cual según sus especificaciones técnicas es la ideal. Se dan en tres series: Potencia Estándar, Potencia Alta, y Potencia Baja para PDH. Tiene el interfaz de antena, interfaz IF, interfaz RSSI, y tornillos de toma de tierra.

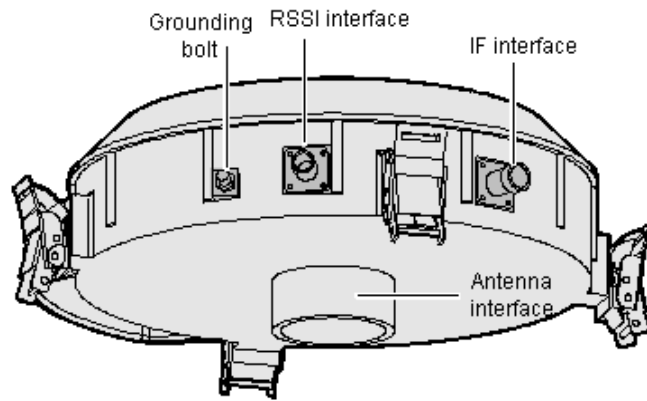


Figura 5.43 La ODU (Fuentes; Huawei Technology)

▪ **Interfaces del ODU con el interfaz guía onda**

Interfaz	Función	Tipo de conector
Interfaz IF	Conecta al cable IF.	Tipo-N (hembra)
Interfaz RSSI	Conecta al multímetro durante la prueba RSSI.	BNC (hembra)
Tornillos de toma de tierra	Conecta a la protección de toma de tierra.	Tornillo de 5 mm
Interfaz	Función	Tipo de conector
Interfaz de antena	Conecta a la antena o al acoplador híbrido.	1.025" día (banda 7/8 GHz) 153IEC-R120 (banda 11/13 GHz) 153IEC-R140 (banda 15 GHz) 153IEC-R220 (banda 18/23/26 GHz)

Tabla 5.12 Especificaciones de equipamiento ODU (Fuentes: Huawei Technology)

El acoplador híbrido; tiene tres tipos de interfaces: interfaz de antena, interfaz de rama primaria, e interfaz de rama secundaria.

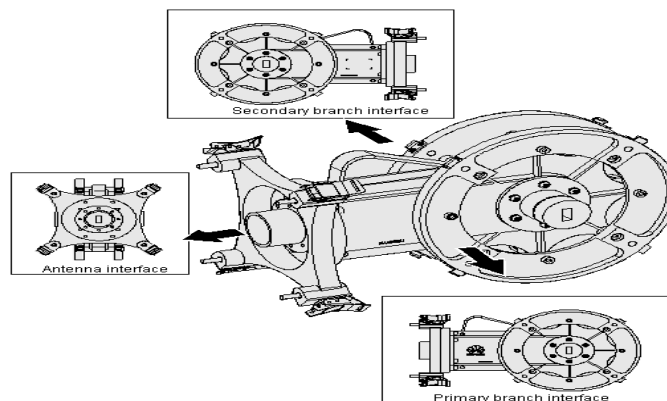


Figura 5.44 Acoplador Híbrido del soporte (Fuentes; Huawei Technology)

Interfaz	Marca	Función	Tipo de conector
Interfaz de antena	-Huawei	Conecta a la antena.	1.025" dia de frecuencia 7/8 GHz)
Interfaz de rama primaria	MAIN	Conecta al ODU activo.	153IEC-R120 De frecuencia 11/13 GHz)
Interfaz secundaria de rama	STD BY	Conecta al ODU de standby.	153IEC-R140 de frecuencia 15 GHz) 153IEC-R220 de frecuencia 18/23/26 GHz) 153IEC-R320 de frecuencia 32 GHz)

Tabla 5.13 Descripción de los interfaces del acoplador híbrido (Fuentes: Huawei Technology)

- **Selección del Arreglo de Antenas**

- **Requerimientos:**

De acuerdo a cálculos indicados, se usarán tres antenas duales (para ahorrar espacio en la torre) de 17.5 dBi de Ganancia y con apertura horizontal de 60° para evitar el softerhandoff entre los sectores y obtener el mayor rendimiento en manejo de tráfico; las antenas tendrán conectores tipo N de entrada.

- **Selección del Arreglo de Antenas:**

Se selecciona El sistema radiante de la estación base estará formada por antenas instaladas sobre los soportes (satélites) instalados en La torre celosía para tal fin.

Sistema radiante Banda 900-BB K 742265 por el fabricante KATHREIN y sus especificaciones descritas.

65° Dualband Directional Antenna

General specifications:

Frequency range	824–960 MHz 1710–2180 MHz
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3:< -150 dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	4 x 7/16 DIN female
Isolation intrasystem	>30 dB
intersystem	>50 dB (824–960 // 1710–2180 MHz)
Weight	50.7 lb (23 kg)
Dimensions	75.4 x 10.3 x 5.5 inches (1916 x 262 x 139 mm)
Equivalent flat plate area	6.16 ft ² (0.572 m ²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	87.2 x 11.9 x 7.6 inches (2215 x 302 x 192 mm)
Shipping weight	62 lb (28 kg)
Mounting	Fixed mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.
<i>See reverse for order information.</i>	

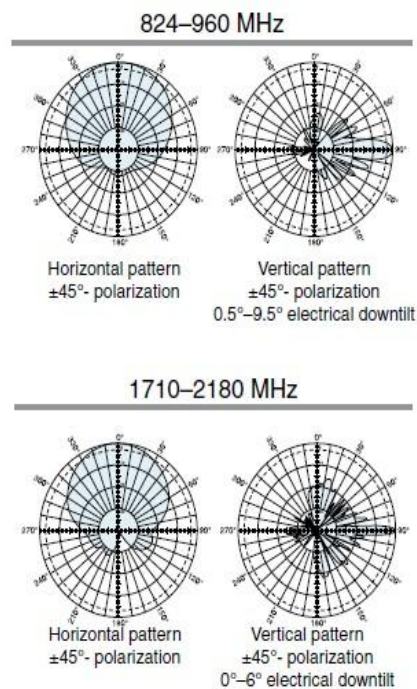


Figura 5.45 Antenas tetra y Hexa dual band (Fuente: Fabricante de antenas Kathrein)

▪ **Selección de los Cables y conectores**

▪ **Requerimientos;**

Se necesitan 96m (12 cables o tiradas de 8m cada una, para cada RRU habrá dos tiradas de cable unos de TX y otro de RX) de cable coaxial de 7/8 pulgadas, con sus respectivos accesorios de instalación y 12 kits de aterramiento y 24 conectores DIN-M 7/16 pulgadas.

▪ **Selección de los Cables y conectores:**

Se Selección el cable Cable coaxial de 7/8 pulgadas con 50 ohmios de bajas pérdidas. Ideal para instalaciones de VHF y UHF. Atenuación en 100 metros a 500MHz de 2.65dBs. Conductor central de tubo de cobre liso, de 9mm. Blindaje Tubo de cobre corrugado de 25mm de diámetro. Cubierta exterior Polietileno negro 27,50mm de diámetro exterior. Radio mínimo de curvatura 90mm (Ver Figura 5.45)



Figura 5.46 Cable coaxial de 7/8 pulgadas (Fuente; Marca CellFlex)

- **Conector Din - M 7/16 Marca Andrew:**

Tipo de conector usualmente usado para la conexión de los cables superflex y latiguillos que conectan a la RRU y a las Antenas. (Ver Figura 5.46)



Figura 5.47 Conector macho 7/16” para cable 7/8” (Fuente; Marca Andrew)

- **Kit de Aterramiento para cable coaxial:**

Se trata de un kit de puesta a tierra para ser utilizado en el aterramiento de cables coaxiales y guías de ondas. Se entrega provisto con los materiales de aislación y fijación



Figura 5.48 Kit de Aterramiento (Fuente; Marca Hiqual)

CAPITULO 6: RESULTADOS Y ANALISIS DEL PROYECTO:

En este capítulo se sustentará el cumplimiento de los objetivos plasmados en los indicadores.

6.1 Resultados con respecto al Cumplimiento.

La Real Academia Española (2014) define “Cumplimiento” es un término que tiene su origen en vocablo latino complementum y que hace mención a la **acción y efecto de cumplir o cumplirse**.

De acuerdo con la recomendación de la 3GPP; Define un porcentaje de cumplimiento, aplicable a ubicaciones y tiempo en los que se miden unos niveles de señal superiores a los umbrales definidos. Este es el concepto de nivel de cumplimiento que se utilizará en el presente documento. El cumplimiento de una cobertura con una probabilidad 95% se traduce en la aplicación de unos márgenes de desvanecimiento sobre los valores medianos de señal.

- Este Diseño de la Estación Base 4G LTE nos asegura un buen nivel de cumplimiento en cobertura, en base al estudio del Link Budget y como también en el modelo de propagación escogido, el cual mediante una serie de cálculos hemos podido comprobar que cumple con las probabilidades de cobertura para la zona de Huanza distrito de Huarochirí en un 33% más que supera al límite requerido. (Visto en la Pp. 84)
- Este Diseño se optó por elegir como modelo de propagación el de Akumura-hata el cual mediante un estudio define las pérdidas de propagación que se verán reflejadas en el medio de transmisión inalámbrico, las cuales fueron las más favorables por este diseño gracias a que cumple con la cobertura predecida teóricamente.
- Este Diseño gracias al presupuesto de enlace (Link Budget) se pudo verificar los factores como el margen de desvanecimiento, pérdida por el cuerpo, pérdida de penetración, ganancia de la antena, que estuvieron dentro del margen permitido para juntamente con el modelo de propagación poder definir el radio de cobertura óptimo para el Distrito de Huanza, la cual se pudo demostrar a través del software de simulación

6.2 Resultados con respecto a la Funcionalidad

La Real Academia Española (2014) define “Funcionalidad”; Como lo que un producto puede hacer o funcionar basado tal como ha estado especificado.

De acuerdo con su creadora la 3GPP; LTE es la evolución de los estándares GSM/UMTS, algo con lo que estamos un poco más relacionados, y su función es la de aumentar la capacidad y velocidad de las redes de datos inalámbricas haciendo uso de un nuevo procesamiento de señal digital (DSP, por sus siglas en inglés).

- De acuerdo a sus especificaciones de funcionalidad dadas por la 3GPP y supervisadas por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) podemos afirmar que en nuestro diseño si cumple tanto en cobertura con niveles de RSRP siguientes; desde -44 a -140 dBm. Pero los valores típicos que podemos encontrarnos van desde unos -75 dBm en zonas próximas al núcleo de la célula, a unos -120 dBm en el borde del área,

la cual nos brinda la capacidad de uso de voz y Datos con un throughput aceptable para el comienzo de este proyecto que permite una velocidad de 15 Mbps para UL y 45 Mbps para DL que se corresponderían con el 60% comparado con la teoría de 75 Mbps al 100%, demostrada en nuestro software de simulación. (Visto en la Pp. 87)

- Indicando también que en base al protocolo CSFB (Circuit switched fallback), el cual también fue creado por la 3GPP en beneficio de poder convivir con las anteriores tecnologías y poder enviar voz a través de CS (Circuit switching) con la tecnología 3G y la data por el PS (packet switching) con la tecnología 4G

6.3 Resultados con respecto a la Eficiencia

La Real Academia Española (2014) define “Eficiencia”; Como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado, por el cual en este contexto se refiere a la capacidad de realizar o cumplir una determinada función.

La BTS 4G LTE tiene la capacidad de Analizar los niveles de señal óptimos de recepción en diferentes puntos de la zona a cubrir, para dar una correcta cobertura demostrada con el Software de simulación Xirio Online.

- Dentro de dichos niveles tenemos la señal RSRP la cual es realmente útil para medir la potencia de la señal de un sector, ya que, excluye el ruido y la interferencia de otros sectores. El rango de valores entre los que se puede encontrar esta señal, según el 3GPP,

van desde -44 a -140 dBm. Pero los valores típicos que podemos encontrarnos van desde unos -75 dBm en zonas próximas al núcleo de la célula, a unos -120 dBm en el borde del área de cobertura LTE, a través de la herramienta Xirio Online verificaremos los niveles de RSRP los cuales muestra claramente la capacidad de poder cubrir todo el perímetro de cobertura del distrito de Huanza sin ninguna pérdida. (Visto en la Pp. 86)

6.4 Resultados con respecto a la Disponibilidad.

La Real Academia Española (2014) define Como el concepto de “disponibilidad” el cual se utiliza en diversos ámbitos y esferas para hacer referencia a la posibilidad de que algo, un producto o un fenómeno, esté disponible de ser realizado, encontrado o utilizado.

- En nuestro diseño de la BTS 4G LTE podemos afirmar que la disponibilidad del Servicio, se va dar en un 96%, que son los 350 días del año que vendrían hacer las 8400 horas dispuestos a ser usados. Debido a que se definió un valor adecuado del RSRP threshold en apartados anteriores, siendo este exactamente -120 dBm, que es un valor típico que podemos encontrar en los bordes de la célula. Para hacerlo más fácil, las manchas de colores se definieron a partir de -120 dBm (color gris en este caso), la diferencia del 4 % es debido a los desastres naturales y factores externo como accidentes directos o indirectos a nuestra estación tecnológica pero aun así toda nuestra zona cubierta cumple los valores teóricos establecidos por el 3GPP. (Visto en la Pp. 85)
- Si queremos verlo gráficamente en la herramienta, solo basta con situarnos en varios puntos aleatorios situados en los bordes de nuestra cobertura. En la Figura 5.28, se puede observar cómo se cumplen los requisitos establecidos. En ambos puntos no superamos los -120 dBm.

CONCLUSIONES

Una vez se ha finalizado el desarrollo del proyecto, cabe mencionar varias **conclusiones** principales que se han ido obteniendo en base a los objetivos planteados de la presente Tesis;

- La conclusión principal y más importante es que el diseño de la BTS 4G LTE se va dar mediante una planificación radioeléctrica y un dimensionamiento de sus capacidades la cual nos proveerá la cobertura necesaria a niveles de potencias optimas que darán paso a comunicaciones 98 % fiables y servicios multimedia en transferencia de datos de 30 Mbps en promedio que vendría ser el 40% inicialmente con respecto a lo teórico, pero suficientes para aprovechar varias oportunidades de negocio.
- Como se ha podido comprobar según la 3GPP, el porcentaje de cumplimiento en cobertura no debe bajar del 95% pero gracias a este diseño de la BTS 4G LTE podremos tener, mediante los cálculos correspondientes que nos dan altura de la torre como también pérdidas desvanecimientos tanto en Uplink como en Downlink una cobertura del 100% plasmada en nuestro simulador, que es más que ideal para este tipo de terreno rural que nos asegura una conexión completamente fiable.
- Mediante este diseño podemos concluir que la función específica de LTE 4G es aumentar la capacidad y velocidad de la trasferencia de datos los cuales han sido evidentes a través del software de simulación que no han dado como logro principal el proveer a Huanza de servicios multimedia a una velocidad aceptable, con niveles de RSRP de -120 y un throughput de 15 Mbps para UpLink y 45 Mbps para DownLink
- Se ha tenido un contacto más directo con la dificultad que implica realizar una planificación radioeléctrica, conociendo así más a fondo señales como es el RSRP y de esta manera asegurar eficientemente un nivel promedio de señal RSRP del 97.5 dBm el cual mejora rotundamente la cobertura en sitio para así tener mejor velocidad de trasferencia de datos que se corresponderían con el 40% comparado con la teoría de 75 Mbps y por ende servicios multimedia.
- El uso de una de las mejoras que incluye este diseño 4G LTE respecto a sus antecesores, como es la tecnología de antenas MIMO, es muy beneficiosa con respecto a la disponibilidad del servicio ya que nos asegura un 96% de disponibilidad dando lugar al 4% como aquellos fenómenos atmosféricos y de factor social que lamentablemente no se puede manejar.

RECOMENDACIONES

- Es de mucha importancia que se revisen las condiciones Ambientales como del entorno en las que se desarrollará el proyecto, los accidentes geográficos y obstáculos como la climatización que se presentan en el camino de propagación tales como lluvias torrenciales, edificios y árboles deben ser considerados, ya que de estos factores depende la selección del modelo de canal y de propagación dentro de la planeación de cobertura.
- Se debe tomar en cuenta los resultados del Link Budget ya que cada uno de sus parámetros califica de cierta forma el rendimiento de la transmisión a través del sistema de radio.
- Dentro de los principales aspectos que se debe tener presente en cuanto a la configuración del sistema radiante son los parámetros de radio frecuencia, ya que su correcta configuración en el diseño, permitirá que al momento de ser implementado se aproveche al máximo la capacidad de las antenas, evitando que se produzcan interferencias con otros sectores.
- Se recomienda una avanzada configuración de la planificación de la celda, tomando en cuenta las áreas de seguimiento y relación de vecindades; parámetros los cuales permiten que se diferencien las distintas señales de radio unas de otras y que se mantenga un seguimiento de los equipos de usuario durante su conexión, una mala configuración de estos parámetros sería crucial dentro de la red, ya que se producirían interferencias y el rendimiento de la señal sería nefasto.
- Si bien es cierto el software de predicción Xirio online, es una herramienta completa que brinda múltiples aplicaciones, en el presente proyecto se centró en el diseño de la BTS 4G LTE en cobertura y capacidad pudiendo también hacer uso de otras herramientas como la del mejor servidor y cálculo de solapamiento, esto se ve en un futuro cuando se requiera tener otro nodo más por tema de capacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustí, Bernardo, Casadevall, Ferrus, Pérez y Sallent (2010,). LTE: Nuevas tendencias en Comunicaciones Móviles, España: Fundación Vodafone España

ITU-R, Revision 1 to Document IMT-ADV/2-E, “Submission and evaluation process and consensus building”. (2012). Disponible en: <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-adv/Pages/submission-eval.aspx>.

ITU-R Revision 1 to Document ITU-R-FAQ-IMT on “INTERNATIONAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS (IMT)”. (2012) Disponible: <http://www.itu.int/en/ITU-R/Documents/ITU-R-FAQ-IMT.pdf>

3GPP TR 36.902, (2010). Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions. Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136902/09.02.00_60/tr_136902v090200p.pdf

3GPP TR 36.913, (2011). “Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)”. Disponible en: http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/36_series/36.913/

Ghosh, A., Zhang, J., Andrews, J., & Muhamed, R (2011). Fundamentals of LTE. Boston: Prentice Hall.

3GPP TS 22.173, (2011). “IP Multimedia Core Network Subsystem (IMS) Multimedia Telephony Service and supplementary services; Stage 1”. Disponible en: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=620>

Huawei Technologies Co, Ltd © 2010, “LTE Architecture” Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/113075865/OEA000000-LTE-Principle-Fundamental-ISSUE-1-01>

3GPP TSG-RAN WG2, “LTE-Advanced Radio Layer 2 and RRC aspects”. Disponible en: ftp://www.3gpp.org/workshop/2009-12-17_ITU-R_IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090004%20Radio%20layer%20%20and%20RRC%20aspects.pdf

3GPP TS 36.300 V9.7.0 (2011-03), “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, Overall description”. Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/09.07.00_60/ts_136300v090700p.pdf

3GPP TS 36.300 V10.1.0 (2010-09), “Evolved Universal Terrestrial Radios Access (EUTRAN): Overall description”. Disponible en: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36300-a10.pdf>

O. Sallent, J. L. Valenzuela, R. Agustí, Principios de Comunicaciones Móviles, Ediciones UPC, 2003

Huawei Technologies Co, Ltd. © 2016, “Tecnología SINGLE RAN en las redes de acceso E-UTRAN” Disponible en: <http://www.huawei.com/ar/products/radio-access/signleran/>

R. Herradón Díez, Comunicaciones Móviles Digitales. Sistemas GSM, First Edit. Madrid, 2008.

Diógenes Marcano. Capítulo 3: Aspectos generales de LTE. In LTE 4G - IMS - SON, First Edit. Caracas, Venezuela, Agosto, 2013

Quintana, R., López, R., & Montejo, S., (2011). “Estudio comparativo de los modelos de propagación de canal inalámbrico”. EAC vol.34 no.1 La Habana ene.-abr. 2013 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000100002

Francisco Ramos, (2012) “Diagrama de radiación de una antena de estación base”, Disponible en: <http://www.radioenlaces.es/articulos/diagrama-de-radiacion-de-una-antena-de-estacion-base/>

Hernández J, Antenas: Principios básicos, análisis y diseño, primera edición. 2010.

J. M. Huidobro Moya, Comunicaciones Móviles. Sistemas UMTS, GSM y LTE, First Edit. Madrid, 2012.

Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. *Long Term Evolution (LTE)*, Singapore, 2011

Rumney, M.,” Lte and the evolution to 4g wireless: Design and measurement challenges”, Wiley publishing edition, 2010

H. Holma and A. Toskala, *LTE for UMTS. Evolution to LTE-Advanced*, Second Edi. 2011.

Neil J. Boucher, “The Cellular Radio Handbook” copyright. Second edi.2007

E. Dahlman, J. Sköld, and S. Parkvall, *4G. LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband*, First Edit. United Kingdom, 2011.

N. Cardona, *3GPP LTE: Hacia la 4G movil*, First Edit. Barcelona España, 2011.

F. J. Valera Sánchez (2012) con la tesis; “OFDMA y SC-FDMA en la Interfaz de Radio LTE,”

Disponible en:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12081/fichero/OFDMA+y+SCFDMA+en+la+Interfaz+Radi>

R. Herradón Díez, *Transparencias Comunicaciones Móviles*, Second. Edi. 2014.

IEEE Communications Magazine (Volume: 50, Issue: 2, February 2012)” Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6146493/>

“3GPP SP-140762, Carrier Aggregation for LTE.” Disponible en:

http://www.5gamericas.org/files/8414/1471/2230/4G_Americas_Carrier_Aggregation_FINALv1_0_3.pdf

XIRIO, “Ayuda XIRIO Online PlanningTool. ¿Qué es un estudio?,” 2015. Disponible en:

<https://www.xirio-online.com/help/es/studies.html>.

“3GPP “TR 36.942 V12.0.0. Technical Specification Group Radio Access. Disponible en:

http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STDT63V12_00/5_Appendix/Rel12/36/36942-c00.pdf

3GPP TR 36.942 version 12.0.0 Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 12).” 2014. Disponible en:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136942/12.00.00_60/tr_136942v120000p.pdf

“Plañen Tol XIRIO. Creación de Cobertura,” 2016. Disponible en: <http://www.xirio-online.com/Main.aspx> [Fecha de consulta: 7 de febrero del 2017].

Ivanov, Angel. TDD-LTE & FDD LTE, a basic comparison”. Ascón. 2012. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/138306626/TDD-LTE-vs-FDD-LTE>

XIRIO, “Ayuda XIRIO Online Planning Tool. Rangos de Señal,” 2015. Disponible en:

http://www.xirio-online.com/help/es/signal_ranges.html.

XIRIO, “Ayuda XIRIO Plañen Tool. Resultado Nivel de Señal,” 2015. Disponible en:

http://www.xirio-online.com/help/es/signal_result.html.

ANEXO 1

Conociendo la herramienta de trabajo Xirio online.

Xirio Online es un software para planificación y optimización radio que permite a los operadores de comunicaciones móviles realizar el diseño y planificación de sus redes y estudiar el comportamiento de las mismas para optimizarlas de la mejor manera posible. A continuación, se ha creído conveniente elaborar una breve descripción de algunos términos referentes a XIRIO ONLINE con la finalidad de introducir al lector en dicha terminología y facilitar la comprensión del actual proyecto:

- **Cobertura.** Intervienen un transmisor y un receptor, pero en este caso el receptor no tiene unas coordenadas fijas, sino que se va desplazando a lo largo de un área de cálculo seleccionada. El resultado final es una mancha de colores que representa la cobertura radioeléctrica del transmisor, indicando las zonas en las que el nivel de señal en el receptor se encuentra por encima de su umbral de recepción o de un determinado valor.



Figura A.1.- Mancha Radioeléctrica (Fuente; Xirio Online)

- **Visor cartográfico** Elemento principal de la ventana del navegador. Sobre él se representan los distintos elementos de los estudios (transmisores, receptores, extremos, puntos de interés, etc.), así como las manchas de cobertura radioeléctrica. Podrá situar transmisores, extremos y receptores haciendo clic directamente sobre el visor, definir áreas de cálculo en los estudios de cobertura y multitransmisor, o desplazar elementos mediante su selección.



Figura A.2 Ventana de tareas. (Fuente de Xirio online)

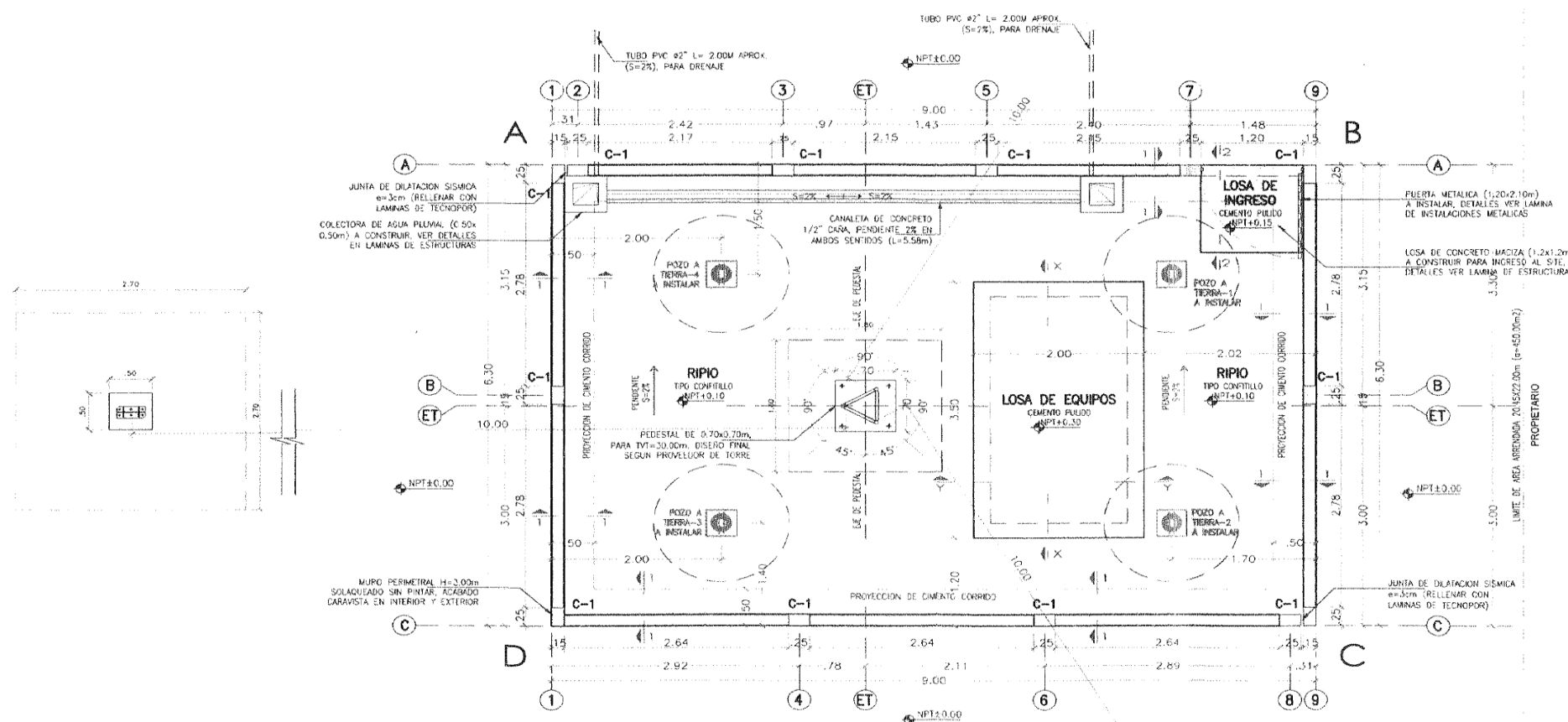
- **Barra de Herramientas.** Se encuentra en la parte superior de la ventana de Xirio. En ella se encuentra la funcionalidad relacionada con la gestión de estudios, resultados, usuarios de visualización, plantillas, etc. A través de ella también se accede a funcionalidades cartográficas básicas, como son el trazado de perfiles orográficos, cálculo de distancias y azimuts o la consulta de la cota altimétrica en un punto. En el siguiente enlace puede encontrar una descripción más detallada de los botones de la barra de herramientas.
- **Panel de Leyenda.** En él se muestran todos los elementos que se han abierto durante la sesión actual, ordenados en una estructura de árbol. Este árbol está formado por estudios, resultados, puntos de interés, transmisores, receptores, métodos de cálculo, etc.
- **Panel de Acciones.** En él se muestran las acciones que se pueden realizar, asociadas al elemento (transmisor, estudio, resultado, etc.) que se encuentre seleccionado en ese momento en el panel de leyenda.
- **Panel de Información.** Se trata de una ventana emergente que ofrece información del elemento seleccionado en el panel de leyenda. Puede cerrar este panel de información y hacer que vuelva a aparecer pulsando sobre en la barra de herramientas.
- **Panel de Tareas.** Muestra la información del estado y el progreso de los cálculos lanzados y que aún siguen ejecutándose. Esta ventana aparece cuando se lanza un cálculo. Puede cerrar este panel de tareas y hacer que vuelva a aparecer pulsando sobre en la barra de herramientas.
- **Buscar Dirección.** Permite realizar búsquedas geográficas de direcciones o términos ubicando el resultado de las mismas sobre el visor. Para ello utiliza el motor de búsqueda que implementa el conocido visor Google Maps.

ANEXO 2

Diseño del Cerco Perimétrico en el Terreno de la estación

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
CONCRETO ARMADO		
- VISAS, COLUMNAS Y LOSA MACIZA	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	
- ACERO CORRUGADO	ASTM A-615 $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	
- RECUBRIMIENTO	COLUMNAS : 4 cm.	
	VIGAS : 3 cm.	
	LOSAS : 2 cm.	

TRASLAPES Y EMPALMES					ESTRIBOS		
ϕ	LOSAS VIGAS (cm)	COLUM. (cm)	LOSAS Y VIGAS	EN COLUMNAS	ϕ	L	R min.
6 mm	30				6 mm	10cm	1.5cm
3/8"	40	30			3/8"	15cm	2.0cm
1/2"	50	40					
5/8"	65	55					
3/4"	80	70					
1"	110	100					



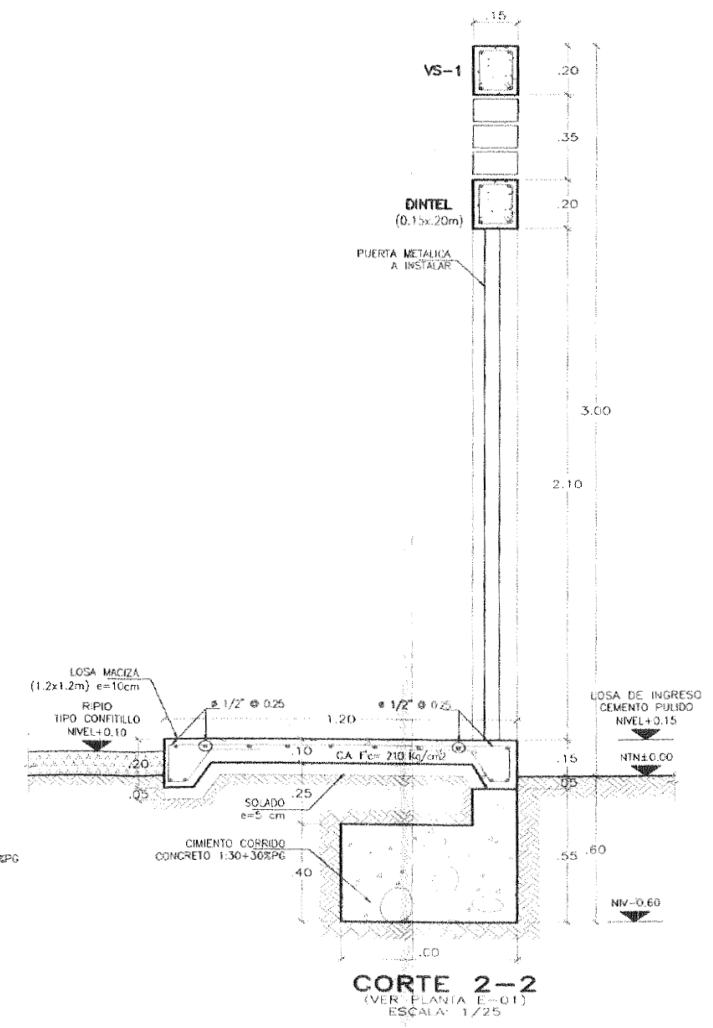
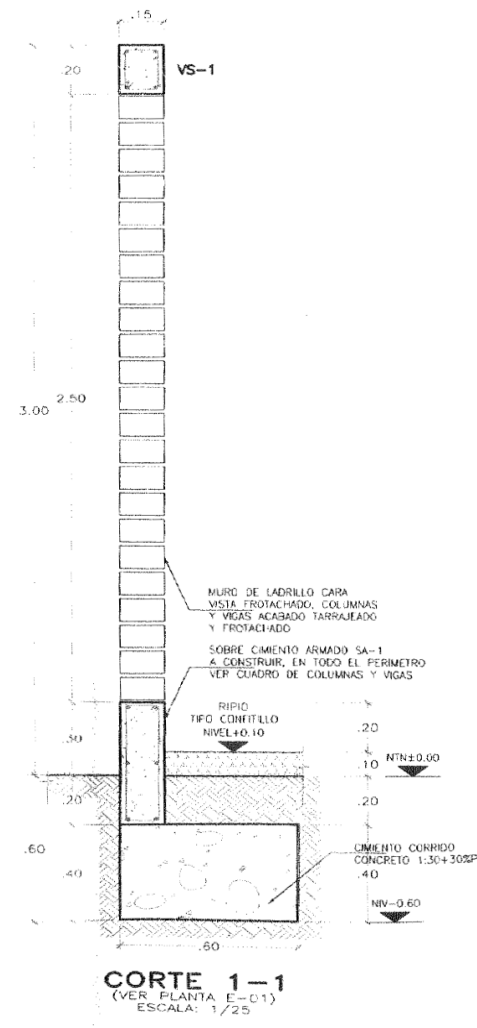
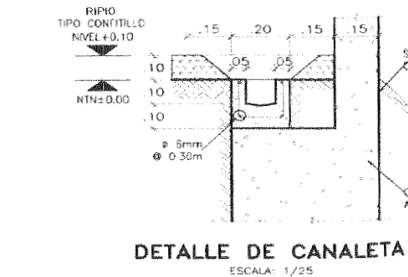
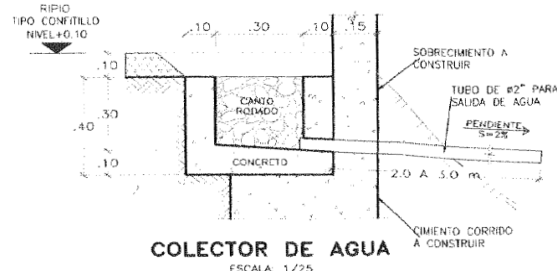
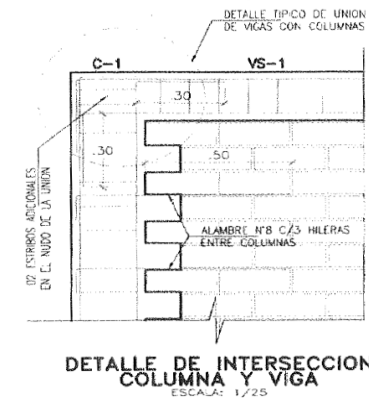
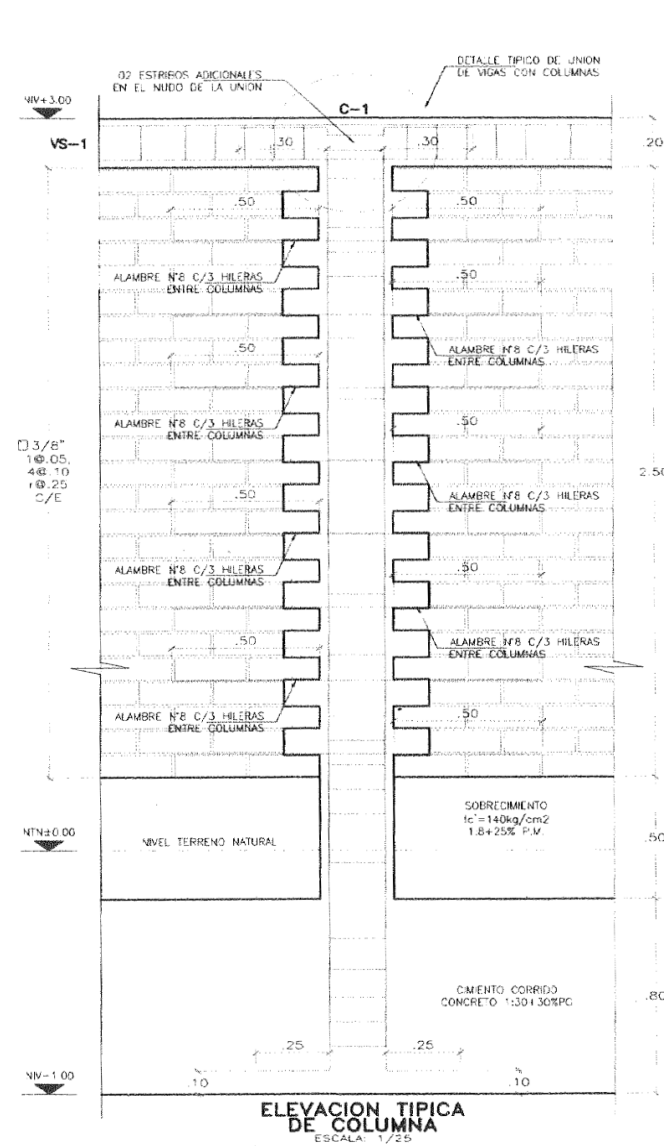
PLANTA DE CIMENTACION
ESC. 1:50

ANEXO 2 Diseño del Cerco Perimétrico en el Terreno de la estación

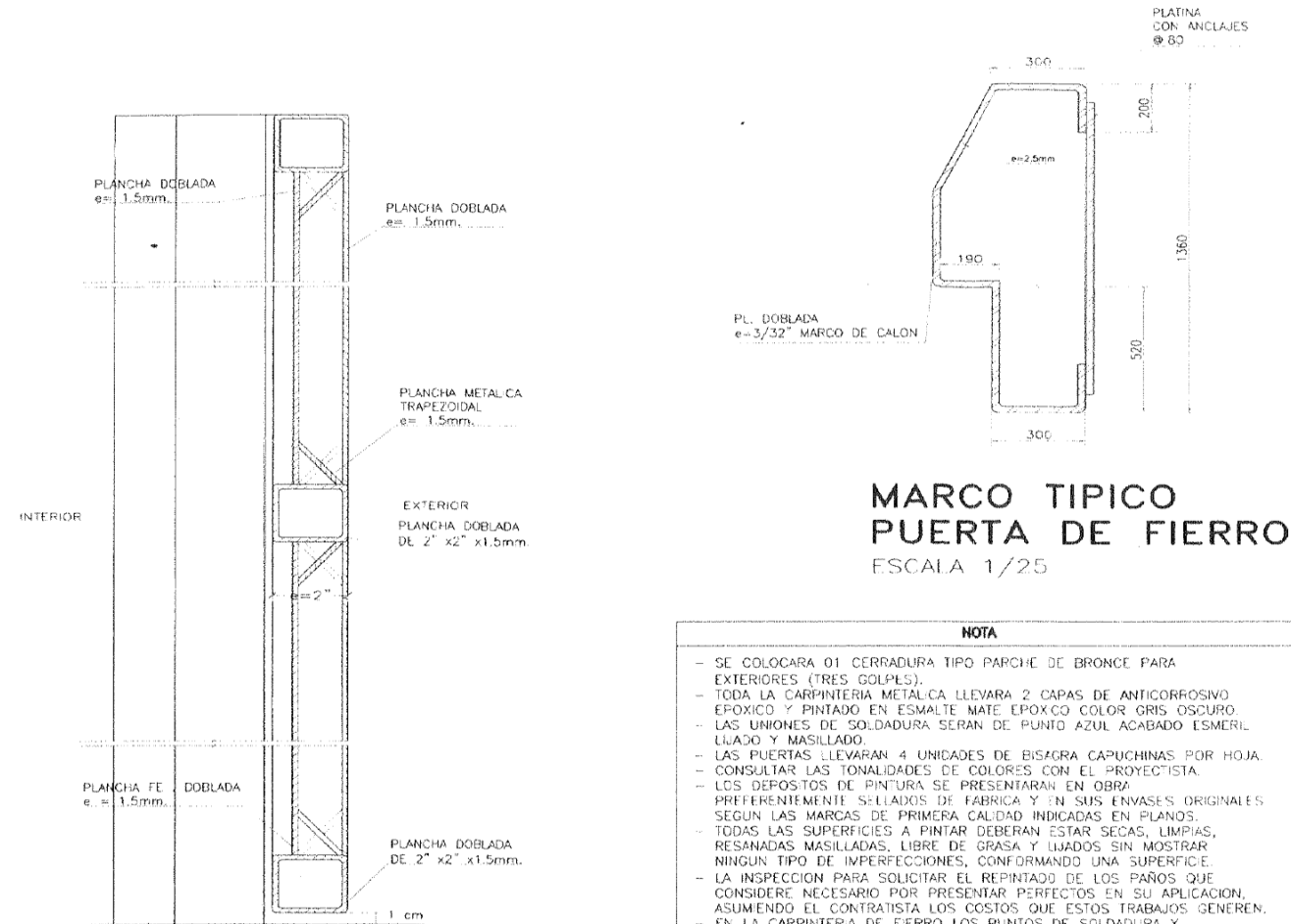
CUADRO DE COLUMNAS Y VIGAS				
TIPO	C-1	VS-01	DINTEL	SA-1
SECCION				
ACERO	4#1/2"	4#1/2"	4#1/2"	4#1/2"+2#3/8"
ESTRIBOS	□ #3/8" 10.05, 4#10, Rto #20	□ #3/8" 10.05, 4#10, Rto #20	□ #3/8" 10.05, 4#10, Rto #20	□ #3/8" 10.05, 4#10, Rto #20

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CONCRETO ARMADO	f'c=210 kg/cm ²
VIGAS, COLUMNAS Y LOSA MACIZA	ASIM A=615 fy=4200 kg/cm ²
ACERO CORRUGADO	COLUMNAS : 4 cm
RECUBRIMIENTO	VIGAS : 3 cm
	LOSAS : 2 cm

TRASLAPES Y EMPALMES				ESTRIBOS		
Ø	LOSAS VIGAS (cm)	COLUM (cm)	LOSAS Y VIGAS	EN COLUMNAS		
5 mm	30					
3/8"	40	30				Ø L R min
1/2"	50	40				6 mm 15cm 1.5cm
5/8"	65	55				3/8" 15cm 2.0cm
3/4"	80	70				
1"	110	100				



ANEXO 2
Diseño de la Puerta Metálica;

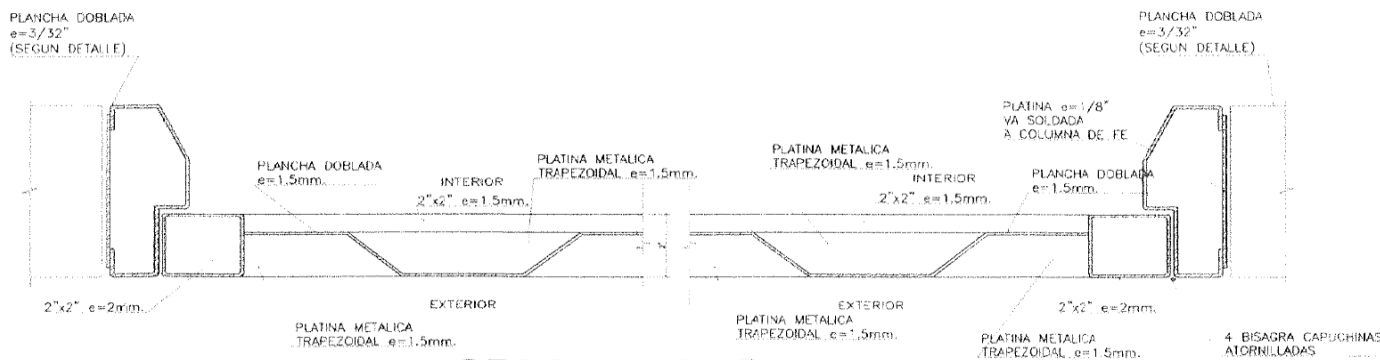


**MARCO TIPICO
PUERTA DE FIERRO**
ESCALA 1/25

**SECCION A-A
PUERTA DE INGRESO**
ESCALA 1/50

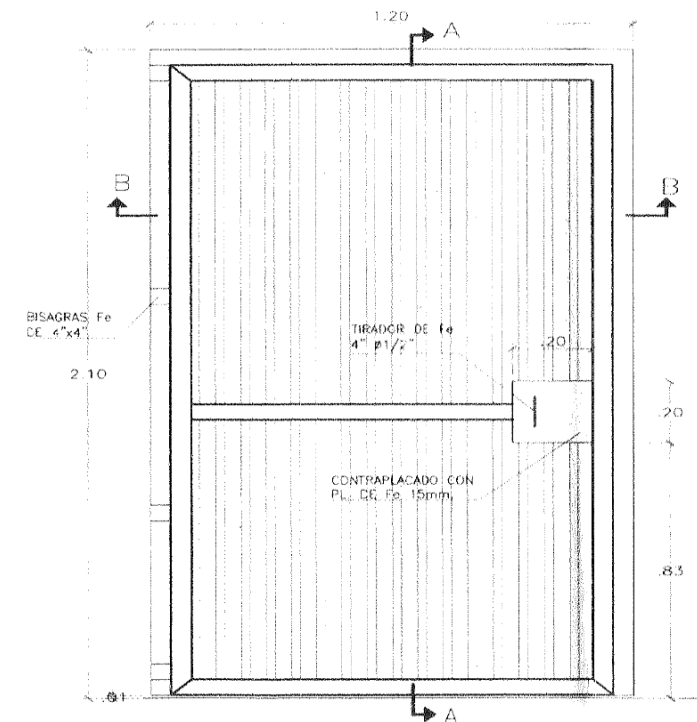
NOTA

- SE COLOCARA 01 CERRADURA TIPO PARCHÉ DE BRONCE PARA EXTERIORES (TRES GOLPES).
- TODA LA CARPINTERIA METALICA LLEVARA 2 CAPAS DE ANTICORROSIVO EPOXICO Y PINTADO EN ESMALTE MATE EPOXICO COLOR GRIS OSCURO.
- LAS UNIONES DE SOLDADURA SERAN DE PUNTO AZUL ACABADO ESMERILADO Y MASILLADO.
- LAS PUERTAS LLEVARAN 4 UNIDADES DE BISAGRA CAPUCHINAS POR HOJA.
- CONSULTAR LAS TONALIDADES DE COLORES CON EL PROYECTISTA.
- LOS DEPOSITOS DE PINTURA SE PRESENTARAN EN OBRA PREFERENTEMENTE SELLADOS DE FABRICA Y EN SUS ENVASES ORIGINALES SEGUN LAS MARCAS DE PRIMERA CALIDAD INDICADAS EN PLANOS.
- TODAS LAS SUPERFICIES A PINTAR DEBERAN ESTAR SECAS, LIMPIAS, RESANADAS MASILLADAS, LIBRE DE GRASA Y LIJADOS SIN MOSTRAR NINGUN TIPO DE IMPERFECCIONES, CONFORMANDO UNA SUPERFICIE.
- LA INSPECCION PARA SOLICITAR EL REPINTADO DE LOS PAÑOS QUE CONSIDERE NECESARIO POR PRESENTAR PERFECTOS EN SU APLICACION, ASUMIENDO EL CONTRATISTA LOS COSTOS QUE ESTOS TRABAJOS GENEREN.
- EN LA CARPINTERIA DE FIERRO LOS PUNTOS DE SOLDADURA Y EMPALMES DEBEN SER PRECISOS, EVITANDO JUNTAS CON DEFECTOS DE CORTE, TANTO EN ANGULO DE 45° COMO EN ANGULO DE 90°.
- NO SE PERMITIRA ELEMENTOS DEFORMADOS POR GOLPES O DETERIORO EN EL TRANSPORTE O COLOCACION QUE AFECTEN SU APARIENCIA ASIMISMO SE ESMERILARA, PULIRA Y MASILLARA EN FORMA ADECUADA PARA EL ACABADO.
- TODA LA CARPINTERIA METALICA DEBE SER GALVANIZADA X INMERSION EN CALIENTE.



**SECCION B-B
PUERTA DE INGRESO**
ESCALA 1/50

CUADRO GENERAL DE PUERTAS					
AMBIENTES	DIMENSIONES			CANTIDAD	
	E	ANCHO (A)	ALTURA (H)	ALFEIZAR	UNIDAD
INGRESO PRINCIPAL	2"	1.20	2.00	--	1
●	BISAGRAS CAPUCHINAS ATORNILLADAS 4 UNID./HOJAS				ACCESORIOS
●	CERRADURA TIPO PARCHÉ DE BRONCE PARA EXTERIORES (TRES GOLPES) MARCA YALE.				
●	TIRADOR DE Fe. 4" CON ACERO LISO Ø1/2"				MATERIALES
●	PLANCHA DE Fe. DOBLADA e=1.5mm. SEGUN DETALLE				
●	PINTURA ANTICORROSIVO EPOXICO Y ESMALTE EPOXICO COLOR GRIS OSCURO PARA CARPINTERIA DE FIERRO.				



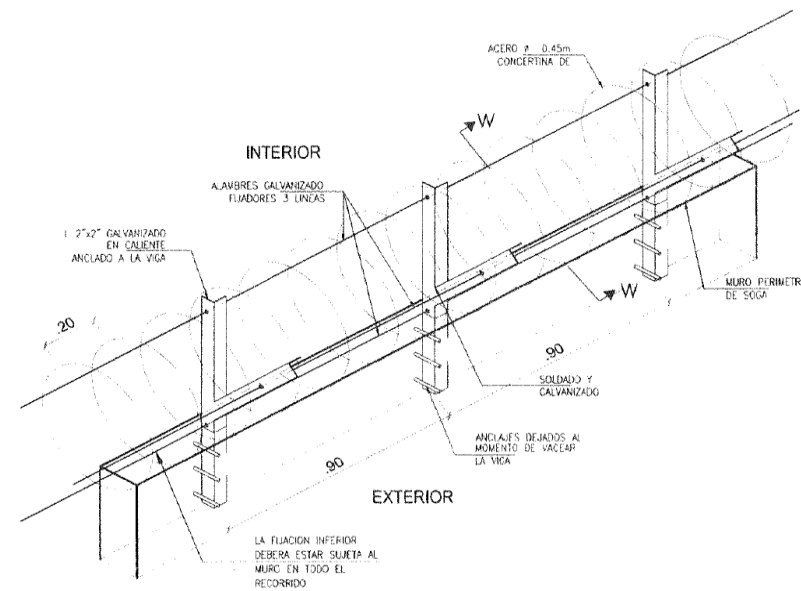
**ELEVACION PUERTA ACANALADA
INGRESO A ESTACION**
ESCALA 1/20

ANEXO 2
Diseño de la Concertina del cerco perimétrico

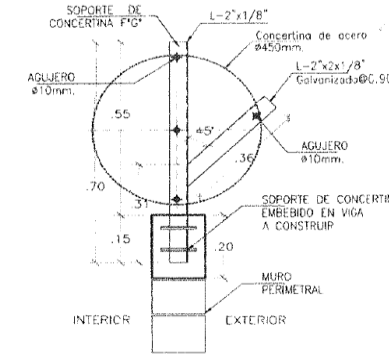
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CONCRETO ARMADO	
- VIGAS, COLUMNAS Y LOSA MACIZA	$f'_{cm}=210 \text{ kg/cm}^2$
- ACERO CORRUGADO	ASIM A-615 $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
- RECUBRIMIENTO	COLUMNAS : 4 cm. VIGAS : 3 cm. LOSAS : 2 cm.

Ø	TRASLAPES Y EMPALMES		LOSAS Y VIGAS	EN COLUMNAS	ESTRIBOS
	LOSAS VIGAS (cm)	COLUM. (cm)			
6 mm	30				
3/8"	40	30			
1/2"	50	40			
5/8"	65	55			
3/4"	80	70			
1"	110	100			

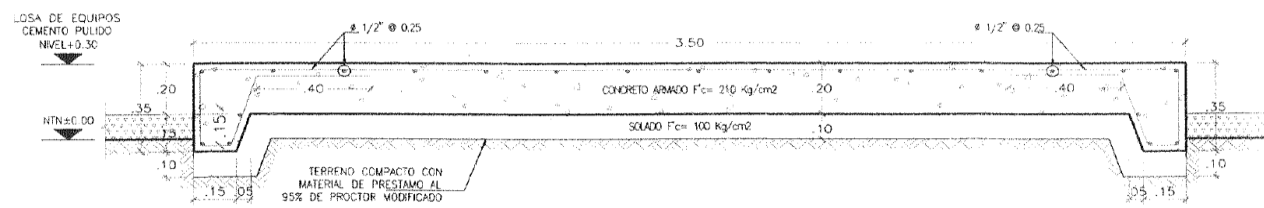
No se permitirán empalmes de refuerzo superior (negativo) en una longitud de 1/4 de luz de la losa o viga a cada lado de la columna o apoyo.
Los empalmes L se ubicarán en el tercio central. No se empalmarán más del 50% de la armadura en una misma sección.



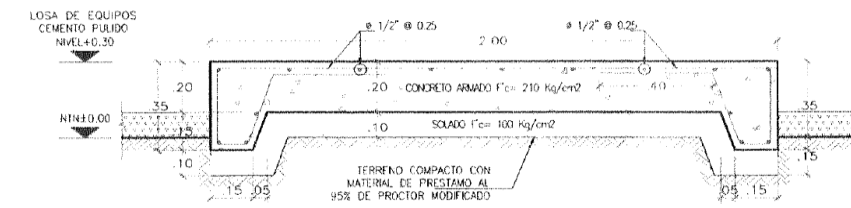
DETALLE DE CONCERTINA
ESCALA: 1/20



CORTE W-W
ESCALA: 1/20

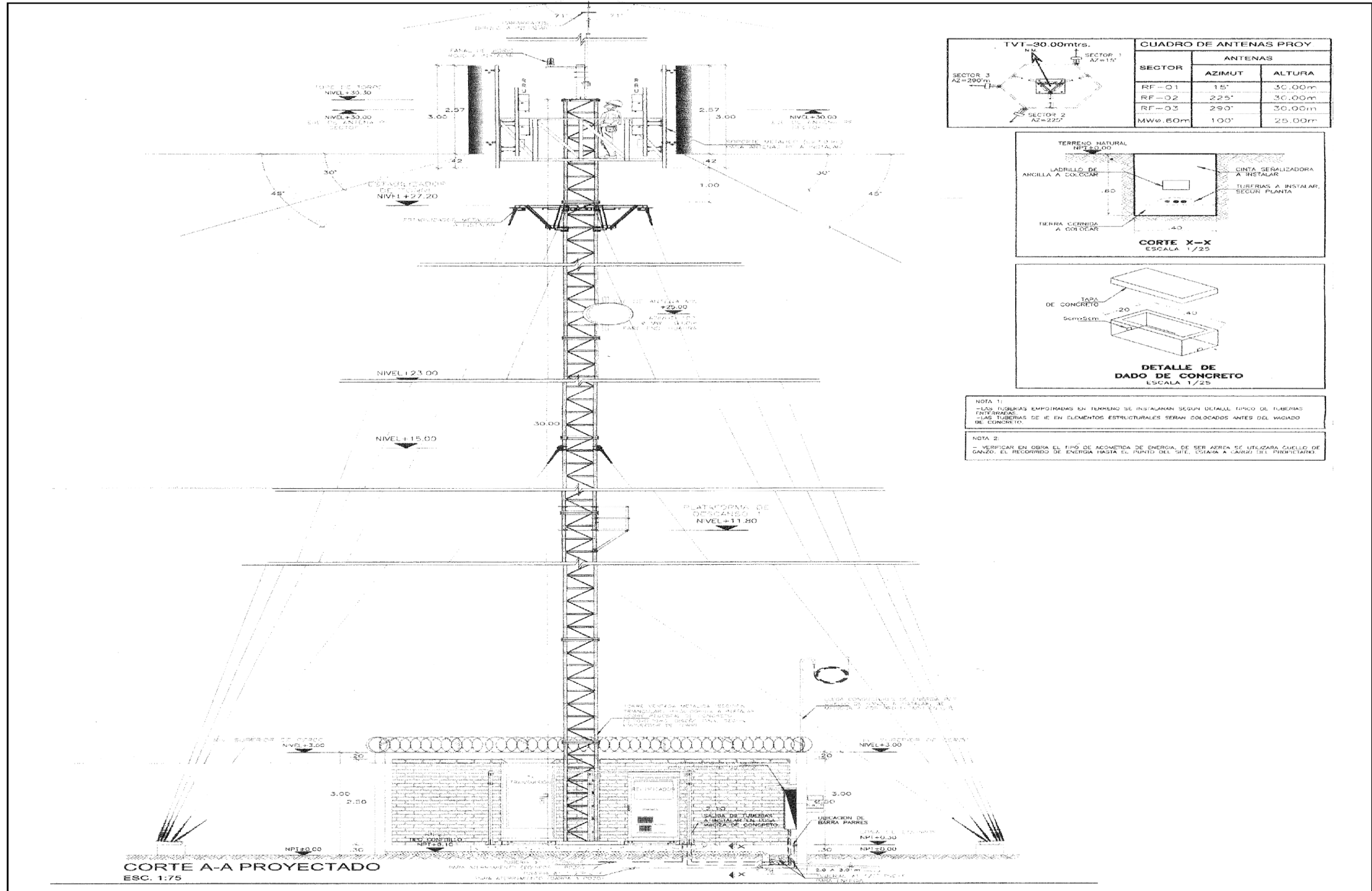


CORTE X-X
LOSA PARA EQUIPOS
(VER PLANTA E-01)
ESCALA: 1/20

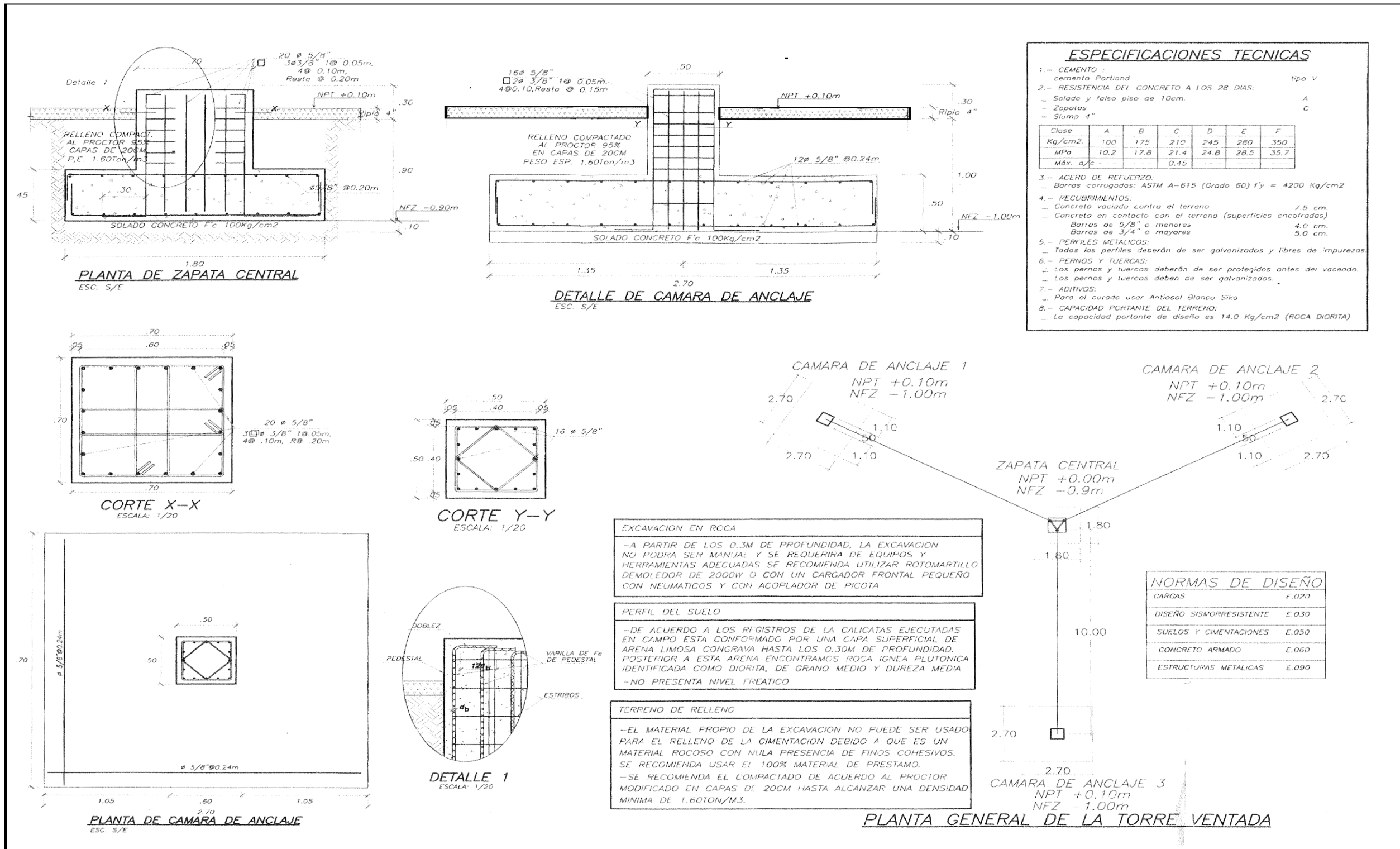


CORTE Y-Y
LOSA PARA EQUIPOS
(VER PLANTA E-01)
ESCALA: 1/20

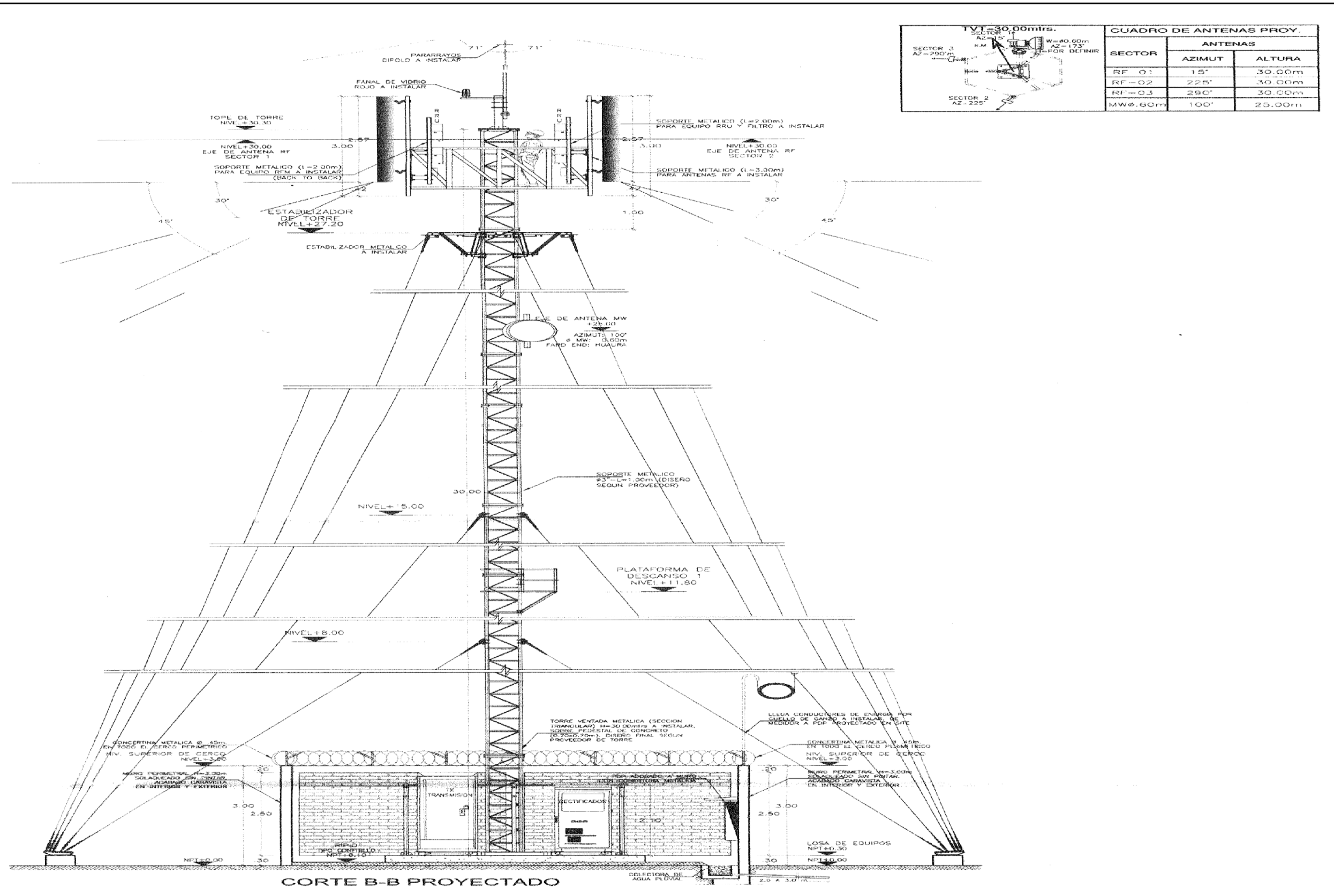
ANEXO 2 Diseño de la Torre ventada



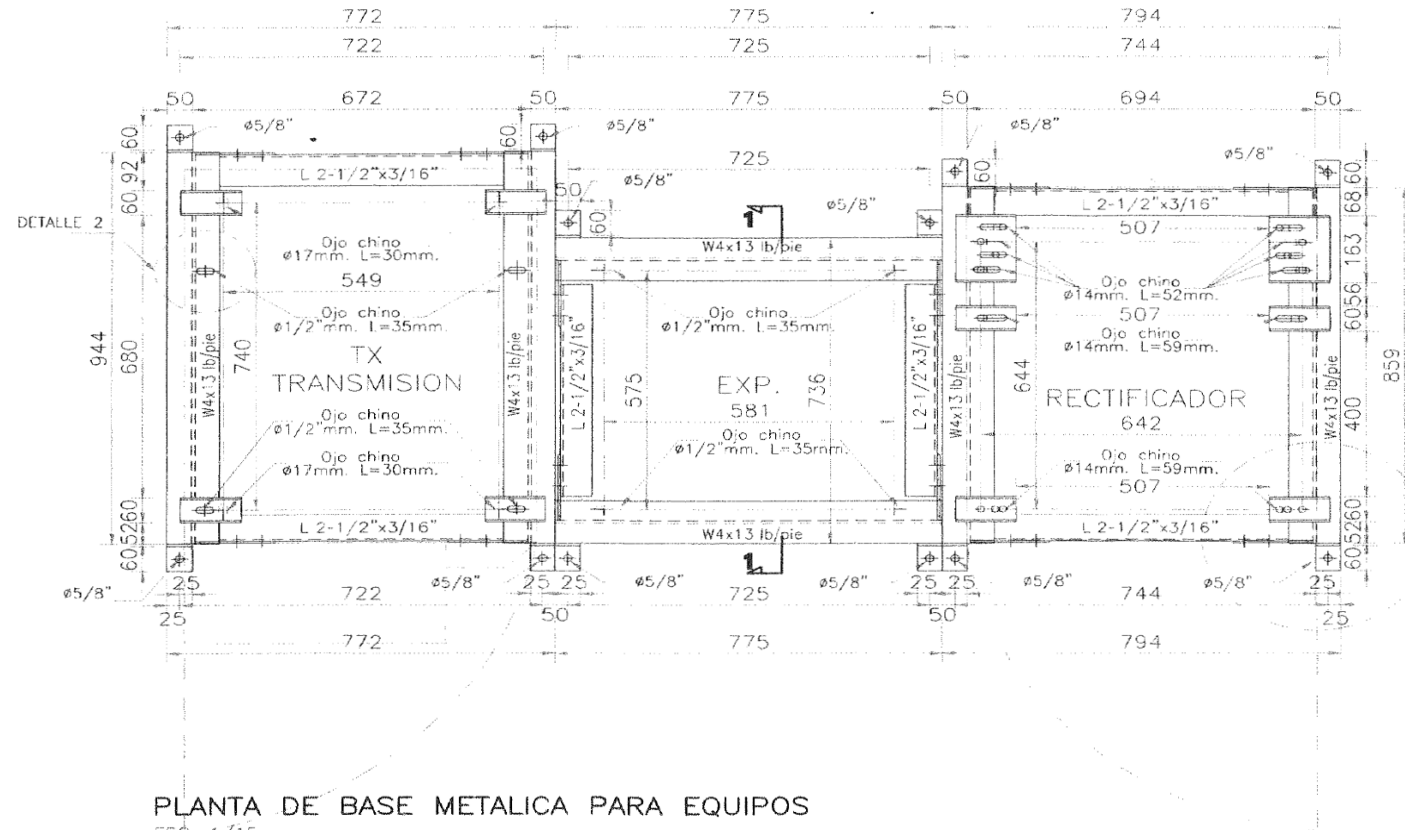
ANEXO 2 Diseño de la Torre ventada



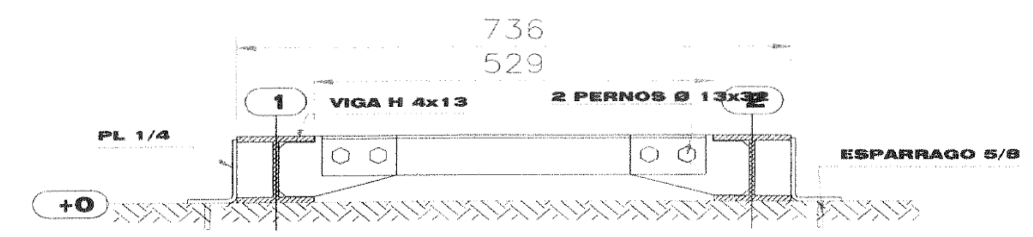
ANEXO 2 Diseño de la Torre ventada



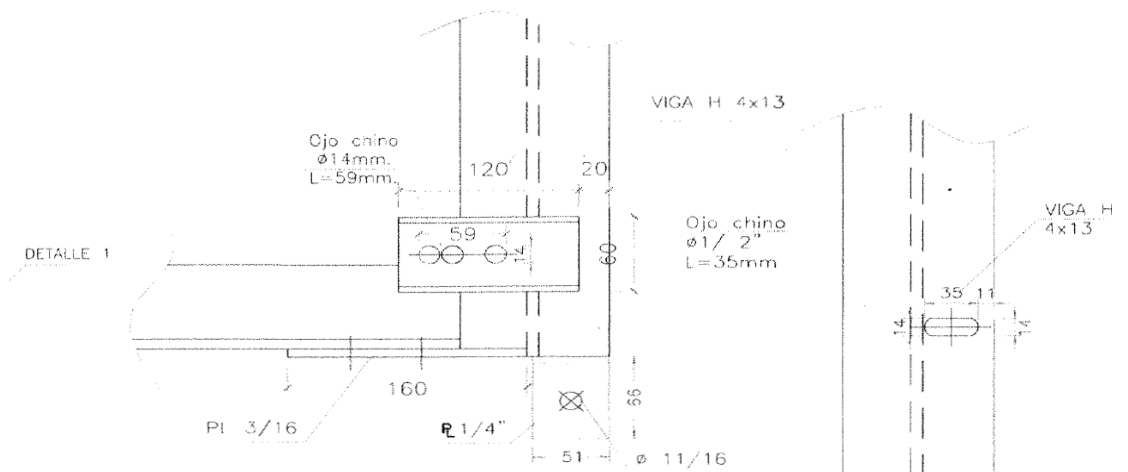
ANEXO 2
Diseño de la Sala para equipos



PLANTA DE BASE METALICA PARA EQUIPOS
ESC: 1/15



1 - 1
Esc. 1/10



DETALLE 1
ESC. 1/5

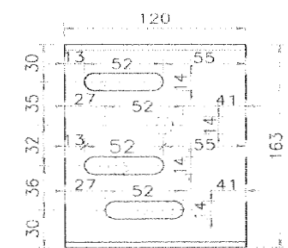
DETALLE 2
ESC. 1/5



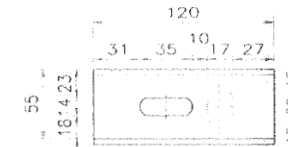
OJO CHINO ø14mm(1/2")
L=59mm



OJO CHINO ø17mm(5/8")
L=30mm

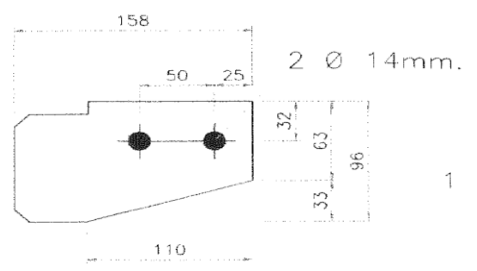


OJO CHINO ø14mm(1/2")
L=52mm

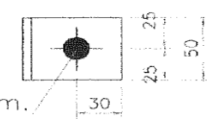


OJO CHINO ø14mm(1/2")
OJO CHINO ø17mm(5/8")

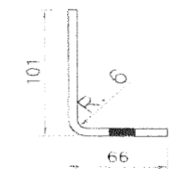
DETALLE
ESC. 1/5



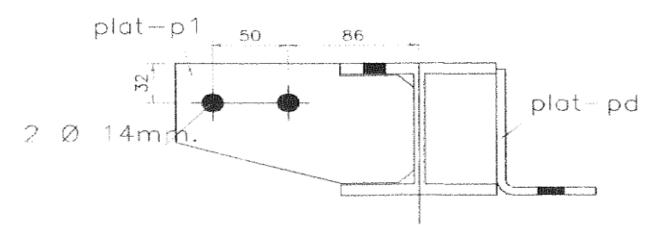
2 Ø 14mm.



1 Ø 17mm.



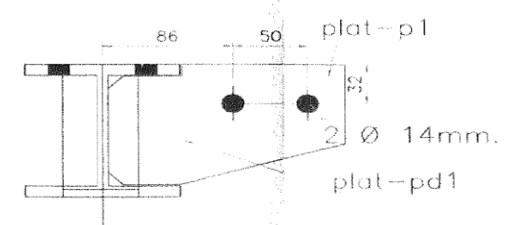
DETALLES
ESC. 1/5



plat-p1

2 Ø 14mm.

plat-pd



plat-p1

2 Ø 14mm.

plat-pd1

ANEXO 2 Diseño del cuadro de cargas

TABLERO PDP GREENFIELD.

Dimensiones - mm		
A	Ancho	550
H	Altura	1150
L	Profundidad	170

ITEM	PULGADAS	CANT.
A	1 1/2"	10
B	2"	2

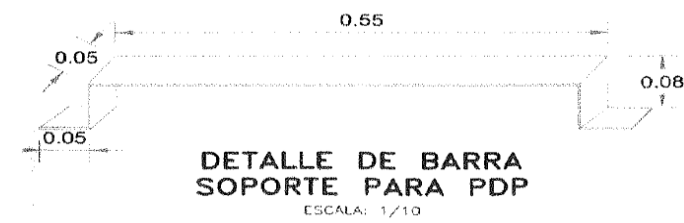
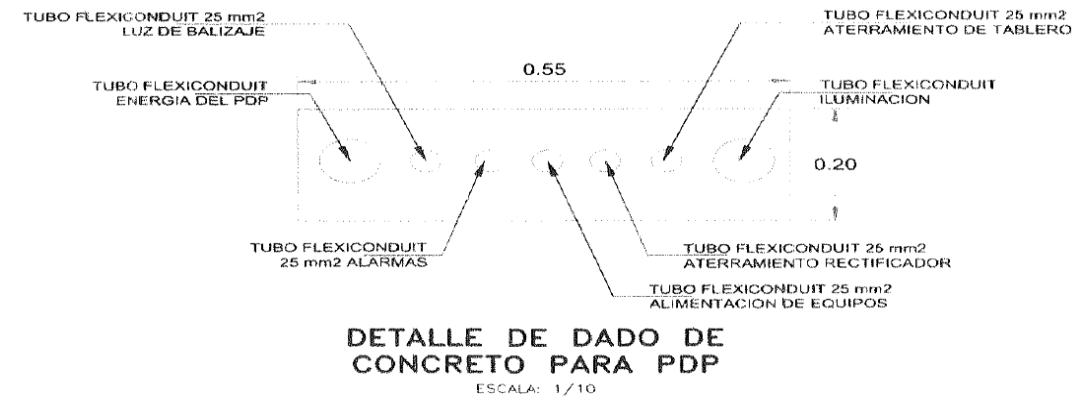
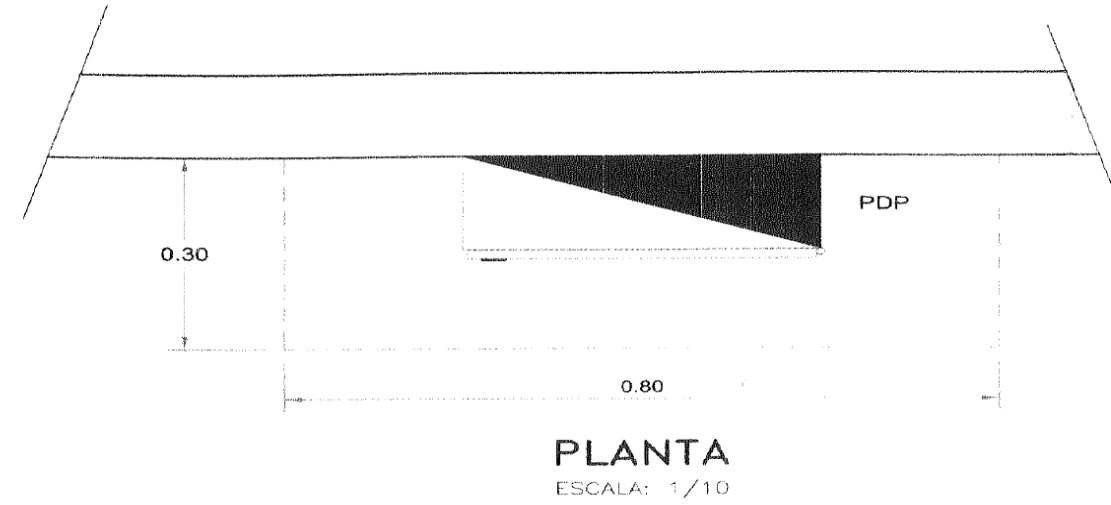
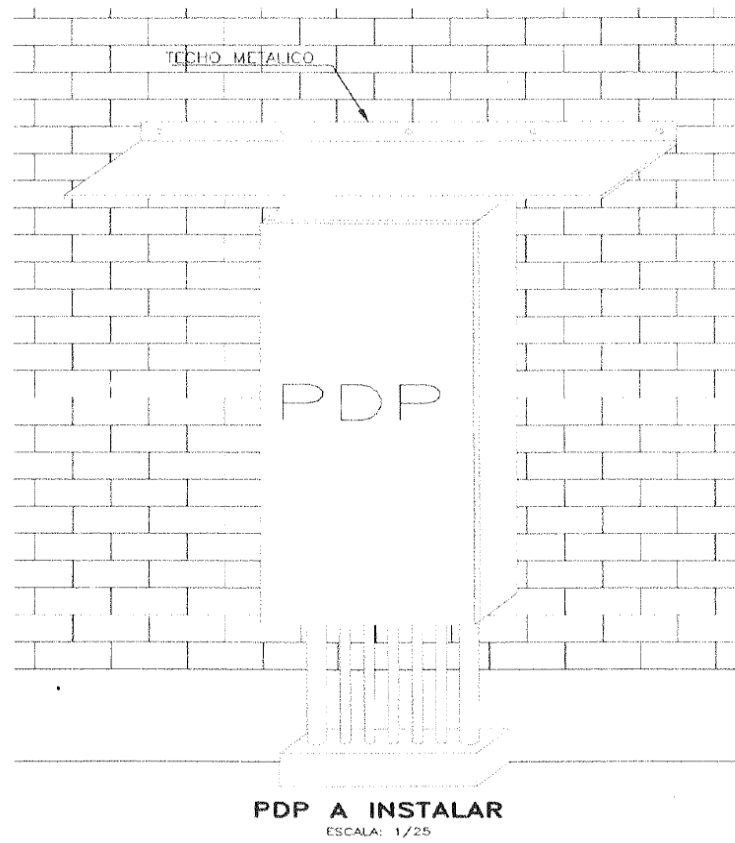
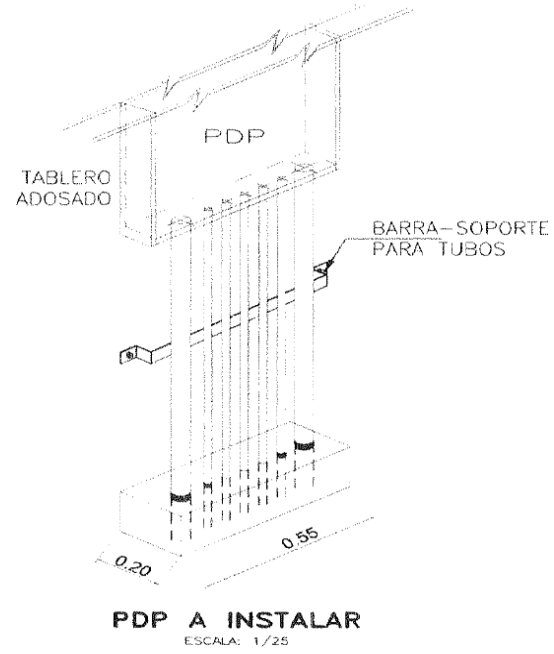
CUADRO DE CARGAS			
REQUERIMIENTO	P. INSTALADA (W)	FACTOR DE DEMANDA	MAXIMA DEMANDA (W)
1.- Rectificador	7000	1,00	7000
2.- Tomacorrientes	150	1,00	150
3.- Reserva	1850	1,00	1850
TOTAL	9000		9000

ITEM	COD.	COMPONENTES	CANT.
1	0	EASYTRIPER 3x100A, 250A/220VAC, (16013/100) BTicino	1
2	1TM2	BTIN ESTANDAR 2x40AMP, 20KA/230VAC - (C50N), BTicino	1
3	1TM3	BTIN ESTANDAR 2x40AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/40, BTicino	1
4	1TM4	BTIN ESTANDAR 2x40AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/40, BTicino	1
5	1TM5	BTIN ESTANDAR 2x40AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/40, BTicino	1
6	1TM6	BTIN ESTANDAR 2x15AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/16, BTicino	1
7	1ID7	IDA 30 mA, 240 VAC, GE723/25AC, BTicino	1
8	1ID8	BTIN ESTANDAR 2x16AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/16, BTicino	1
9	1ID9	IDA 30 mA, 240 VAC, GE723/25AC, BTicino	1
10	1TM10	BTIN ESTANDAR 2x10AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/10, BTicino	1
11	1TM11	BTIN ESTANDAR 2x16AMP, 20KA/230VAC / IEC 947-2 FEB2/16, BTicino	1
12	M-C-A	Commutador 1-0-2, 1 polo, 12 Amp, Bremas, Telergon, Gave	1
13	1-0-2	Commutador Rotativo 1-0-2x100 Amp, Jelegeron, Gave	1
14	3F+1T.63A	Tomacorriente Industrial 3x63Amp + T, Merlin Gerin (Schneider Electric),	1
15	3F+1T.63A	Enchufe Industrial 3x63Amp T, Merlin Gerin (Schneider Electric),	1
16	25502	Caja superficial MAGIC IDROBOX para 2 aparatos IP55, BTicino	1
17	5028	Dado Tomacorriente 2P+T, Magic, BTicino	1
18	5025	Dado Tomacorriente Universal, Magic, BTicino	1
19	F66CR/1	Interruptor horario diario 220VAC 60Hz 1 módulo, BTicino	1
20	RE1-2	Contacto Auxiliar 12 VAC, ABB	2
21	RE3	Contacto Auxiliar 220 VAC, SISTEMA DE ALARMA DE BALIZAJE, ABB	1
22	RE4	Contacto Auxiliar 220 VAC, SISTEMA DE ALARMA RETORNO ENERGIA, ABB	1
23	211	Porto Fusible 10x38 - 4 Amp, DF, Gave	1
24	RESIST	Resistencia 10x38x33,0, 20W	2
25	L1 - L2	LAMPARA DE SERIALIZACION COLOR VERDE DE 220 V, GAVE	2
26	39068	Barra de conexión simple 35mm2 - c/finchlo - Viking3 - paso 15mm, Legrand	4
27	39061	Barra de conexión simple 4mm2 - c/finchlo - Viking3 - paso 6mm, Legrand	2
28	CJ 3x30	Barra de Tierra 165Salidas, CJ-3x30x290 C/A, Bakello	1
29	FASE "R"	BARRA PRINCIPAL "R" 3x20 - ROJO	1
30	FASE "S"	BARRA PRINCIPAL "S" 3x20 - NEGRO	1
31	DERIV. "R"	BARRA DERIVACION "R" 3x7,5 - ROJO	5
32	DERIV. "S"	BARRA DERIVACION "S" 3x7,5 - NEGRO	5
33	1/400	APLADADORES 1/400 RESINA EPOXICA	4
34	F10H/1	Limitador de Tensión Unipolar 40KA-220V Cortuzos Intercambiables, Schneider Electric, BTicino	2

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION		
1. El tablero será para montaje en:	Adosable	
2. La caja y puerta Mandil Acc. será fabricada con plancha LAF de espesor:	1,5 mm.	
3. El tratamiento de superficies metálicas es fosfatado por inmersión y acabado con pintura electrostática, color: Rai - 7030		
4. El grado de protección será:	IP-55	
5. Placa Aluminio (L1), con leyenda idéntica a la descripción del tablero.	100 x 700 mm	
6. Mandil interior, (apoye L) tipo puerta (con bisagra) que sirva para cubrir el equipamiento interior y bornes, de manera que exteriormente solo se vea los interruptores con sus respectivas señalizaciones acrílicas.	Abisagrado	
7. Al interior de la puerta se debe colocar el diagrama unifilar, protegido con una mica y colocado en el portadicho de la puerta.		
8. Todos los interruptores termomagnéticos deben ser de procedencia Europea de Marcas: BTICINO, SCHNEIDER ELECTRIC.		
9. Colores de barras:	Barra R: Rojo Barra S: Negro Barra Tierra: Amarillo	
10. En la puerta frontal llevara el logo de Peligro Pintado.		
11. PARA ZONAS CON ALTO NIVEL ISOCERÁMICO (MÁS DE 3500 mm/m) SE UTILIZARÁ LIMITADORES DE TENSION UNIPOLARES DE 50KA - 220 V. (COSTA 40KA - SIERRA ROSA - SELVA 120KA)		
12. EL COMUTADOR DEBE ESTAR INSERADO PARA ALIMENTAR A TODO LOS CIRCUITOS CON UN GRUPO ELECTROGENO MONOFASICO.		
13. CHAPA MARCA YALE CON JUEGO DE LLAVES		
14. EMPAQUETADURA HERMETICA EN CONJUNTO IEC-528		
15. ITMS MARCA MARTIN CARIM O BTICINO		
16. PERNERA TROPICALIZADA		
17. Todas las dimensiones estan en:	milímetros.	

ITEM	DESCRIPCION
27-28	Sistema de Alarma de Balizaje NC - G1-G2
29-30	Sistema de Balizaje Grupo N° 2
31-32	Sistema de Balizaje Grupo N° 1
33-34	Contactos NC - NC Sistema de Retorno de Energia
35-36	Contactos NO - NO Sistema de Retorno de Energia
37-38	Reserva Equipada Monofasica
39-40	Climatizacion Rectificador.
41-42	Térmico de Tomacorriente.
43-44	Rectificador site star
45-46	Rectificador site star
47-48	Rectificador site star
49-50	Equipo Eiteck

ANEXO 2
Diseño del cuadro de cargas



ANEXO 2

Diseño del Sistema a Tierra

Memoria de cálculo para sistema de tierras.

1.1 Análisis de la excavación.

Diámetro de la excavación: 0.6 m

$$\alpha = 0.19$$

1.2 Resistencia de un solo electrodo.

Resistividad del terreno(ρ): 47.36 Ω m

$$R_{380} = \frac{\alpha \rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$$

$$R_{380} = 5.14 \quad \Omega$$

1.3 Resistencia de grupo de electrodos.

Número de electrodos a instalar (N): 4

Factor de grupo: 1.38

$$R_{grupo} = \frac{R_{380}}{N} \times F$$

$$R_{grupo} = 1.77 \quad \Omega$$

Electrodo EP-380 Fe

2. Análisis del conductor horizontal.

Resistividad del terreno. 47.36 Ω m

Longitud de conductor 12 m

Diámetro del conductor 3/4" 0.0187 m

Profundidad de cable 0.6 m

$$R_C = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{L^2}{dh}\right)$$

$$R_C = 5.95 \quad \Omega$$

3. Resistencia mutua.

Resistencia mutua entre el cable y los electrodos.

$$R_{mutua} = \frac{R_{grupo} \times R_C}{R_{grupo} + R_C}$$

$$R_{mutua} = 1.37 \quad \Omega$$

4. Resistencia final del sistema.

$$R_{final} = \frac{R_C \times R_{grupo} - R_{mutua}^2}{R_C + R_{grupo} - 2R_{mutua}}$$

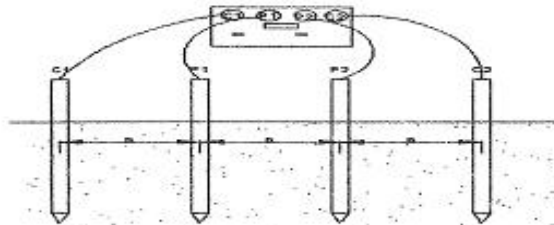
$$R_{final} = 1.74 \quad \Omega$$

ANEXO 2 Diseño del sistema a Tierra

Memoria de cálculo para sistema de tierras.

Perfil de Resistividad.

La forma correcta de medir resistividad es con un terrómetro de cuatro puntos. Este terrómetro cuenta con cuatro bornes de conexión, los cuales tienen por nombre C1, P1, P2 y C2 respectivamente.



Tipo de terreno y características físicas.

Rocoso	
Arenoso	x
Grava	x
Tierra Orgánica	
Otro	
Húmedo	
Seco	
Lodos	

Medición 1.

Longitud de a	R	Resistividad
1	1.58	9.93
2	0.81	10.18
3	0.63	11.88
4	0.37	9.30

Resistividad promedio 1

10.32

Medición 2.

Longitud de a	R	Resistividad
1	0.67	4.21
2	2.01	25.26
3	5.21	98.21
4	8.06	202.57

Resistividad promedio 2

82.56

Medición 3.

Longitud de a	R	Resistividad
1	3.49	21.92
2	1.00	12.56
3	0.89	16.77
4	0.64	16.08

Resistividad promedio 3

16.83

Medición 4

Longitud de a	R	Resistividad
1	17.26	108.39
2	6.72	84.40
3	3.35	63.11
4	2.51	63.05

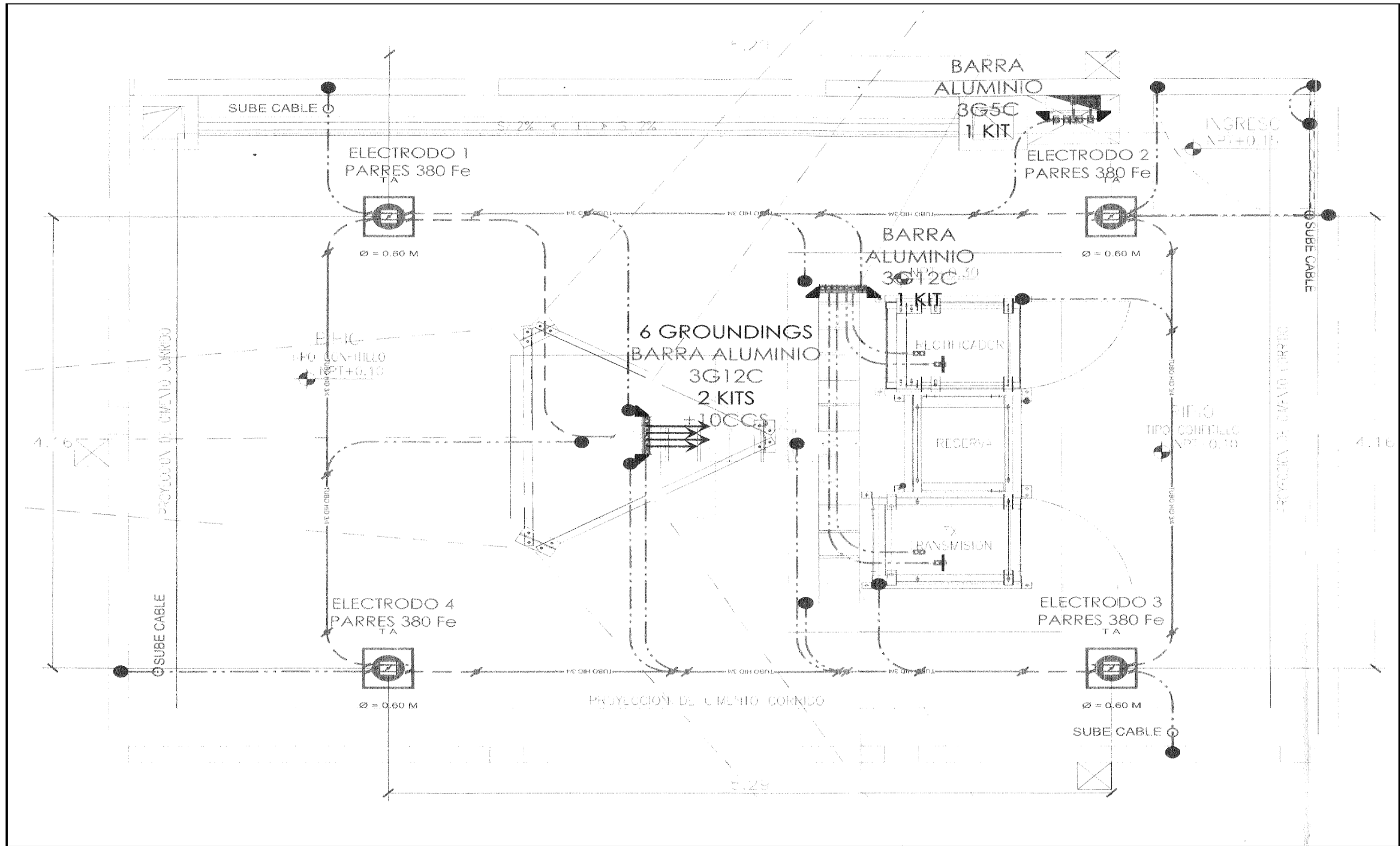
Resistividad promedio 4

79.74

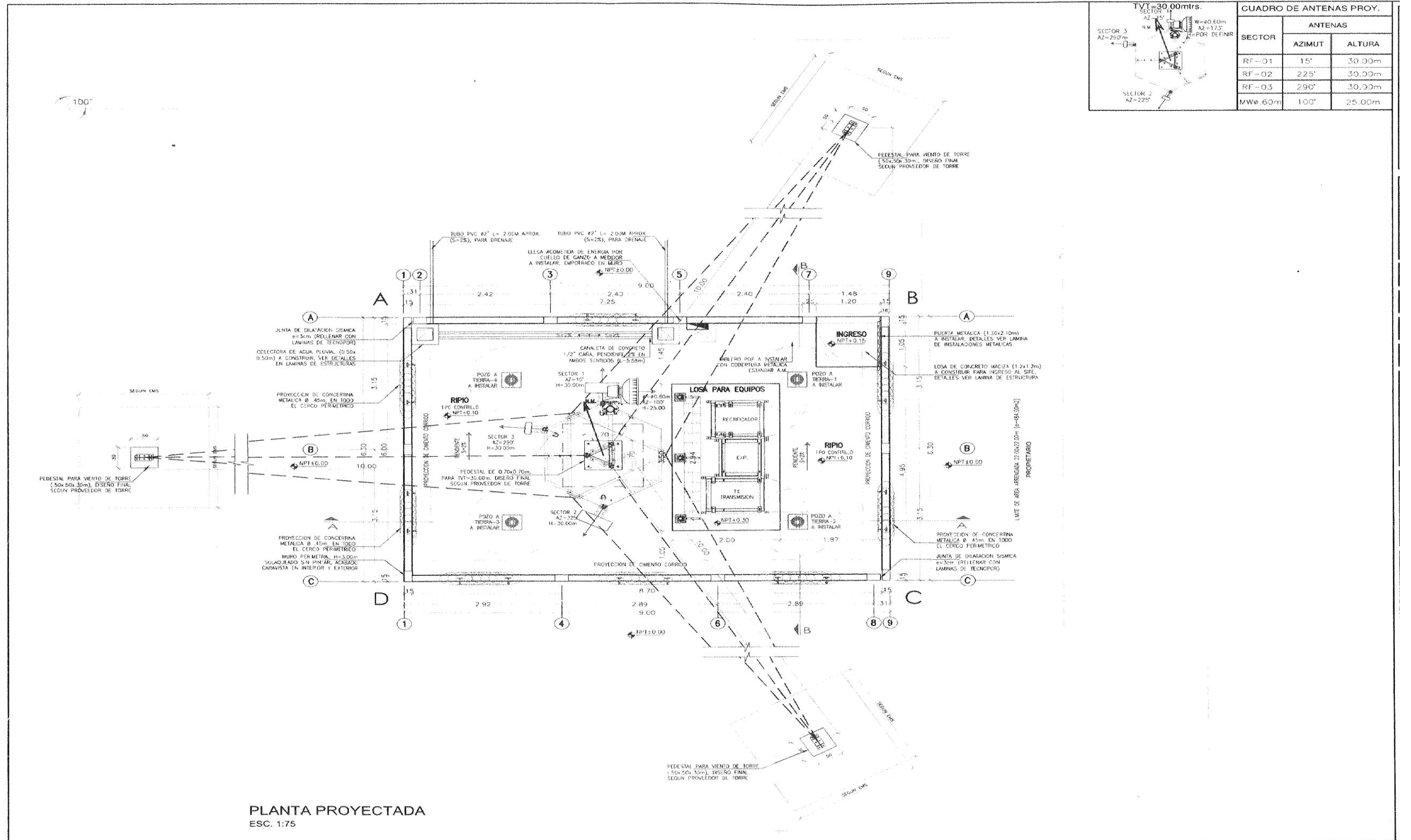
Comentarios.

Para el diseño del sistema de tierras se utilizó la resistividad

ANEXO 2
Diseño del sistema a Tierra



ANEXO 2 Diseño del sistema a Tierra



TVT=30,00mtrs.

SECTOR	ANTENAS	
	AZIMUT	ALTURA
RF-01	15°	30,00m
RF-02	225°	30,00m
RF-03	290°	30,00m
MWø 60m	100°	25,00m

PLANTA PROYECTADA
ESC. 1:75

ANEXO 3
MATRIZ DE COHERENCIA INTERNA

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
GENERAL	¿En qué medida, la Ausencia del diseño de una Estación Base 4G, influye en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza	Determinar la influencia del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.	La ausencia del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza	Variable Independiente: Diseño de una Estación Base 4G LTE	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de Cumplimiento • Nivel de Funcionalidad • Nivel de Eficiencia • Nivel de Disponibilidad
ESPECIFICO	En qué medida la funcionalidad del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?	Determinar la influencia del cumplimiento del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.	El cumplimiento del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza	Variable Dependiente: Para la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Trafico • Calidad de voz
	¿En qué medida la disponibilidad del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?	Determinar la influencia de la funcionalidad del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.	La funcionalidad del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza.		

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
	¿En qué medida la eficiencia del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?	Determinar la influencia de la eficiencia del Diseño de una estación base 4G LTE en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.	La eficiencia del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza		
	¿En qué medida la factibilidad del Diseño de una estación base 4G LTE influye en la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza?	Determinar la influencia de la disponibilidad del Diseño de una estación base 4G LTE En la mejora de los servicios multimedia del Distrito de Huanza.	La disponibilidad del diseño de una Estación Base 4G LTE influye significativamente en la mejora de los servicios multimedia en el distrito de Huanza		