

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UNA RED DE TELEMETRÍA
PARA EL COMPLEJO
HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES
PRESENTADO POR

Ademir Jáuregui Hernández

LIMA – PERÚ

2008

RESUMEN

El Complejo Hidroeléctrico del Mantaro es la central hidroeléctrica más grande del Perú, cuya labor principal es la generación de energía eléctrica, siendo esta la pionera y en la actualidad la más importante fuente de generación eléctrica de la toda Región Central; debido a ello se requiere mantener constante un cierto volumen de agua para obtener el caudal necesario para la generación de energía eléctrica, de acuerdo a la demanda energética, en todas las épocas del año.

Es aquí donde surge la necesidad de contar permanentemente con datos de información climática y a la vez recurrir a potenciales reservorios naturales de agua, los cuales serán utilizados en épocas de sequía o estiaje para mantener un volumen estándar y generar la misma potencia promedio todo el año. Para ello la empresa de Electricidad del Perú ELECTROPERU S.A., propietaria de las centrales hidroeléctricas que conforman el Complejo Hidroeléctrico del Mantaro, actualmente cuenta con estaciones hidrometeorológicas dispersas a lo largo de toda la Cuenca del Mantaro, lagunas reguladas y lagunas por regular en los diferentes departamentos de la sierra central del país. Es por ello que es imprescindible requerir de una Red de Telemetría para el envío automático y en tiempo real de la información climática captada por las estaciones hidrometeorológicas, así mismo para el monitoreo a distancia tanto de las estaciones hidrometeorológicas como de las estaciones de lagunas reguladas, y también para permitir el envío de órdenes a distancia tanto de apertura y cierre de las compuertas de retención de agua, las cuales funcionarán en forma automática.

Por lo mencionado anteriormente, el presente trabajo de tesis pretende realizar el diseño de la Red de Telemetría más conveniente y que satisfaga los requerimientos mencionados, tomando en cuenta estaciones existentes y futuros proyectos a nivel de pre-factibilidad y factibilidad para la regulación de un mayor número de lagunas de tal empresa. Para esto se desarrollarán cuatro capítulos: el primero será dedicado al marco teórico y aspectos tecnológicos de la red, el segundo a la determinación de necesidades para el diseño de la Red, en el tercero se desarrollará la ingeniería del proyecto, y finalmente en el cuarto se presentarán las conclusiones y recomendaciones.

Esta tesis esta dedicada a toda mi familia
en especial a mi madre y padre por
su incansable apoyo.



Agradezco el esfuerzo de mis padres y su confianza depositada
en mi, para lograr ser alguien mejor en la vida;
y a mi asesor por su apoyo.



INDICE TEMÁTICO

Índice de figuras	v
Índice de tablas	vii
Índice de cuadros	viii
Introducción	1
CAPÍTULO 1: Marco teórico y aspectos tecnológicos de la Red	2
1.1 Propagación en la banda de UHF, comunicaciones móviles y satelitales	
(Propagación de onda en espacio libre)	3
1.1.1 Propagación en la banda de UHF	3
1.1.1.1 Propagación de ondas	3
1.1.1.2 Propagación por onda de espacio (UHF)	5
1.1.2 Comunicaciones satelitales y móviles	12
1.1.2.1 Comunicaciones satelitales.....	12
1.1.2.2 Comunicaciones móviles	14
1.2 Procedimientos de adquisición de información	15
CAPÍTULO 2: Determinación de necesidades	16
2.1 Localización y ubicación de lugares a interconectar.....	16
2.1.1 Descripción de la cuenca hidrográfica	16
2.1.2 Ubicación geográfica de las estaciones	22
2.2 Determinación del flujo de información aproximado a transmitir y los posibles equipos componentes de las estaciones	26
2.2.1 Flujo de información a transmitir	26
2.2.2 Componentes de las estaciones	28
2.2.2.1 Estación Central de Control (ECC)	28
2.2.2.2 Estación de Medición y Control (EMC)	30
2.2.2.3 Estación de Supervisión y Control (ESC)	31
2.2.2.4 Estación Hidrometeorológica	32
2.2.2.5 Estación Repetidora (R)	34
2.3 Determinación de necesidades	34
2.3.1 Medios y transmisión de información.....	33
2.3.1.1 Protocolo de comunicación MODBUS	36
2.3.2 Elementos de comunicación	38
2.3.3 Elementos del sistema SCADA.....	39
2.3.4 Aspectos generales.....	42
CAPÍTULO 3: Ingeniería del proyecto	45

3.1 Alternativas para los medios de transmisión	45
3.1.1 Solución solo satelital para todas las estaciones	46
3.1.2 Solución solo con radioenlaces UHF	51
3.1.3 Solución combinada, satelital y radioenlaces UHF a la vez	51
3.2 Topología de la red UHF	53
3.2.1 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Cochas	62
3.2.2 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Piñascochas	66
3.2.3 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Cuenca Media	68
3.2.4 Red UHF para la Subcuenca Huari	72
3.2.5 Red VHF omnidireccional para equipos móviles (camionetas)	76
3.2.6 Opción para posible radioenlace VHF entre estaciones	77
3.3 Diseño de la red	81
3.3.1 Esquema general	81
3.3.2 Enlace entre ESC y ECC	85
3.3.3 Enlace entre Est. Hidrometeorológica y ECC	86
3.4 Equipos requeridos de telecomunicaciones e hidrometeorológicos y aspectos económicos	87
3.4.1 Estaciones Hidrometeorológicas	87
3.4.2 Estación de Medición y Control	89
3.4.3 Estación de Supervisión y Control	91
3.4.4 Estación Repetidora	92
3.4.5 Estación Central de Control	93
3.4.6 Aspectos económicos	96
3.5 Impacto Ambiental	99
CAPÍTULO 4: Conclusiones y recomendaciones	100
Bibliografía	103
ANEXO 2.1.1	Apartado
ANEXO 2.3.1.1	Apartado
ANEXO 2.3.2	Apartado
ANEXO 2.3.3	Apartado
ANEXO 3.1.1	Apartado
ANEXO 3.3.1	Apartado
ANEXO 3.4.1	Apartado
ANEXO 3.4.2	Apartado
ANEXO 3.4.5	Apartado
ANEXO 3.4.6	Apartado

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
1. Propagación de onda de espacio	6
2. Principio de Huygens	8
3. Elipsoides de Fresnel.....	9
4. Elipse de Fresnel	10
5. Superposición de ondas sobre una antena receptora	11
6. Cuenca del río Mantaro	18
7. Cuenca del río Mantaro, ubicación de lagunas reguladas y por regular	20
8. Cuenca del río Mantaro, ubicación de estaciones Hidrometeorológicas	21
9. Estación Central de Control Tablachaca - ECC.....	28
10. Estación de Medición y Control - EMC	31
11. Estación de Supervisión y Control - ESC.....	32
12. Estación Hidrometeorológica	33
13. Estación Repetidora - R.....	34
14. Redes industriales	35
15. Modos MODBUS	37
16. Formato de tramas MODBUS.....	38
17. Diagrama de equipos a interconectar e interfaces de comunicación.....	39
18. Conexiones MTU y RTU	40
19. Diagrama del sistema de telemetría SCADA a usar	41
20. Actividades espaciales GOES	47
21. Ubicación del satélite GOES 10 y 12.....	48
22. Ubicación geográfica de estaciones a interconectar.....	54
23. Propiedades de las redes - parámetros.....	55
24. Propiedades de las redes - topología	56
25. Propiedades de las redes - miembros	57
26. Propiedades de las redes - sistemas (Emisor)	58
27. Propiedades de las redes - sistemas (Receptor).....	58
28. Propiedades de las redes-estilo.....	59
29. Radioenlaces y enlaces satelitales hacia la ECC	61
30. Radioenlace Red Subcuenca Pachacayo-Cochas	62
31. Zona de Fresnel EMC Huaylacancha-ESC Huaylacancha.....	63

32. Patrón ideal, modificado para su optimización (EMC Huaylacancha-ESC Huaylacancha)	63
33. Zona de Fresnel Repetidor 1-ESC Huaylacancha	65
34. Zona de Fresnel Repetidor 6-ESC Huaylacancha	65
35. Zona de Fresnel Repetidor 7-ESC Huaylacancha	66
36. Radioenlace Red Subcuenca Pachacayo-Piñascochas	67
37. Zona de Fresnel Repetidor 2-ESC Vichecochoa	67
38. Zona de Fresnel EMC Vichecochoa -ESC Vichecochoa	68
39. Radioenlace Red Subcuenca Pachacayo-Cuenca Media	69
40. Zona de Fresnel EMC Pariona-ESC Pariona	70
41. Zona de Fresnel Repetidor 3-ESC Pariona	70
42. Zona de Fresnel Repetidor 4-ESC Pariona	71
43. Zona de Fresnel Repetidor 5-ESC Pariona	71
44. Radioenlace Red Subcuenca Huari.....	72
45. Zona de Fresnel Repetidor 9-Repetidor 10	73
46. Zona de Fresnel EMC Huacracochoa-ESC Huacracochoa.....	73
47. Zona de Fresnel Repetidor 8-ESC Huacracochoa	74
48. Zona de Fresnel Repetidor 10-ESC Huacracochoa	74
49. Cobertura VHF por cada ESC	76
50. Parámetros para cobertura VHF por cada ESC	77
51. Parámetros para radioenlace VHF	78
52. Parámetros para radioenlace en UHF	78
53. Solución VHF	79
54. Solución VHF Repetidor 9-ESC Huacracochoa.....	80
55. Red general de enlaces para las estaciones	81
56. Configuración de la Red	82
57. Sistema de telecomunicaciones entre EMC y ECC.....	86
58. Sistema de telecomunicaciones entre Est. Hidrometeorológicas y ECC.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Número	Página
1. Distribución de frecuencias en el espectro radioeléctrico	5
2. Altura de antenas (metros) mínimas para un adecuado efecto de reflexión de onda	7
3. Estación Central de Control	23
4. Estaciones Hidrometeorológicas	23
5. Estaciones de lagunas reguladas I	24
6. Estaciones de lagunas reguladas II	24
7. Estaciones de lagunas por regular I.....	25
8. Estaciones de lagunas por regular II.....	25
9. Estaciones de lagunas por regular III.....	26
10. Flujo de información a transmitir	27
11. Estándares INMARSAT	49
12. Solución satelital para todas las estaciones	50
13. Solución satelital y radioenlaces UHF.....	52
14. Repetidoras a implementar	75
15. Características de estaciones a implementar	83
16. Lista de equipos de radio	97
17. Lista de bienes e infraestructura	98
18. Detalle de costos de transporte	98
19. Detalle de costos por instalación	98
20. Cálculo general del CAPEX	99
21. Cálculo general del OPEX	99

ÍNDICE DE CUADROS

Número	Página
1. Comparación de sistemas de protección para paneles solares, de metal y concreto	42
2. Comparación de alternativas tecnológicas	45
3. Diferencia entre el satélite GOES 10 y GOES 12	48
4. Comparación de equipos a usar	94



Introducción

Esta tesis tiene por objetivo el diseño de una Red de Telecomunicaciones que brinde Calidad de Servicio para interconectar Estaciones de gran importancia en el sector de generación de energía eléctrica, como son las Estaciones de lagunas reguladas, Estaciones Hidrometeorológicas y la Estación de Control. Se hará un previo análisis del número de posibles estaciones a ser interconectadas de acuerdo a la ubicación geográfica y posibilidades de acceso a la tecnología en tales lugares, y un diseño de red en base a algún software para simulación de radioenlaces, para casos necesarios.

Para esto en el primer capítulo se explicará los conceptos básicos de las distintas estaciones a interconectar, todo lo referente a la propagación de ondas, tanto en UHF, como móviles y satelitales; tocando los temas como difracción y zonas de Fresnel, para finalizar con los procedimientos de adquisición de datos (Sistema SCADA¹).

En el segundo capítulo se verá mas a fondo cuales son los puntos a interconectar, localización, número de estaciones posibles, etc. Y el flujo de información que estas puedan transmitir y de que manera las transmitirán.

Después de hacer un análisis previo, en el tercer capítulo ya se verán las opciones de tecnologías a usar, se armará un diseño y topología de red en base a las ubicaciones y número de puntos de interconexión y posibles repetidoras que tendremos que usar, mostrando el diseño más apropiado y que mayor seguridad y calidad brinde para tal caso, incluyendo costos.

Finalmente en el cuarto capítulo se expresarán las recomendaciones y conclusiones del caso.

¹SCADA: Supervisory Control And Data Adquisition.

Capítulo 1

Marco teórico y aspectos tecnológicos de la Red

El avance tecnológico en las telecomunicaciones permitirá brindar soluciones y una diversidad de opciones para un determinado problema, en este caso se buscará la opción más óptima para el diseño de una Red de Telemetría que enlace estaciones hidrometeorológicas y estaciones de lagunas reguladas con la estación central de control en el Mantaro, que son base fundamental y puntos claves en el sector energético, siendo que esta Red permita a las determinadas empresas obtener los datos necesarios y mantener sus redes interconectadas con una calidad de servicio garantizada; para tal caso ahondaremos primero teóricamente en las tecnologías a usar.

Se dividirá principalmente en tres tipos de comunicaciones las cuales serán:

- Comunicación por enlace UHF²: Est. de supervisión y control de lagunas – Est. de lagunas reguladas
- Comunicación satelital: Est. hidrometeorológicas, Est. de supervisión y control de lagunas – Est. central de control (Tablachaca).
- Comunicaciones móviles: Se realizará un pequeño sistema de enlace que permita la comunicación del personal de operación, entre las camionetas de trabajo y estación de supervisión y control de lagunas.

Siendo estas distribuidas básicamente como se muestran en los capítulos siguientes.

Brevemente se explicará cada Estación que compone el sistema de telecomunicación.

Estación Hidrometeorológica.- Son estaciones que se encargan de ver todo lo referente al comportamiento de procesos hídricos, así como la observación, procesamiento y análisis. Este tipo de estaciones captura datos tanto de temperatura, viento, precipitaciones, medición de nivel de agua, etc. por medio de estaciones meteorológicas, pluviométricas e hidrométricas, según sea el caso.

² UHF: Ultra High Frequency

Estación de Supervisión y Control.- Son estaciones que agrupan a un cierto número de estaciones de lagunas reguladas, con respecto a la ubicación de su cuenca geográfica, siendo estas las encargadas de enviar a la estación de control el monitoreo diario de regulación del caudal de descarga de las diversas lagunas que comprende.

Estación de Medición y Control.- Son estaciones terminales, cuya principal labor es captar el nivel de agua de las lagunas reguladas, para luego hacer un análisis de caudal para futuras descargas en época de estiaje.

Estación Central de Control.- Es aquella estación a la cual irán dirigidas todas las transmisiones de data, de la cual se monitoreará y enviarán órdenes a las demás estaciones.

Dado la explicación anterior, se procederá a explicar las tres principales formas de comunicación que se empleará para el proyecto.

1.1 Propagación en la banda de UHF, comunicaciones móviles y satelitales (Propagación de onda en espacio libre)

1.1.1 Propagación en la banda de UHF

1.1.1.1 Propagación de ondas

Cuando hablamos de propagación de ondas se tiene que considerar factores que tienen implicancia en tal, tales como el suelo, la troposfera y la ionosfera; pues a diferencia del caso ideal que es la propagación de la onda en el vacío estos factores son responsables de introducir pérdidas, teniendo así los casos reales de propagación de onda en espacio libre.

Debido a que la orografía de la tierra y sobretodo de la sierra central de Perú presenta un suelo con características morfológicas las cuales condicionan propiedades eléctricas y afectan a la propagación de las ondas electromagnéticas, debemos considerar los factores de pérdidas debidos a dichas características. Así se puede mencionar que a bajas frecuencias (en el rango de los 300 - 3000 KHz, **MF**³), la tierra se comporta como buen conductor, haciendo excitar una onda de superficie que se adapta a la orografía del terreno y transporta los campos electromagnéticos

³MF: Medium Frequency

mucho más allá de la zona de visibilidad directa. A más alta frecuencia, la atenuación de este mecanismo es muy elevada y es necesario elevar las antenas respecto al suelo. En este caso, la comunicación se establece normalmente como suma de una onda directa y otra reflejada en el suelo, que interfieren entre sí.

La concentración no uniforme de gases en la troposfera, que típicamente es mayor a menor altura, produce una curvatura de los rayos debido al cambio del índice de refracción del medio con la altura. Por otra parte en las bandas de microondas se produce una atenuación adicional en las moléculas de los gases que constituyen la atmósfera. Además, el agua en forma de vapor, o de hidrometeoros como lluvia, niebla, nieve, etc., produce atenuaciones adicionales en la propagación y cierta despolarización.

Finalmente, la presencia de la ionosfera, capa de la atmósfera entre unos 60 y 400 Km., refleja las ondas de frecuencias bajas (entre rangos de 10 – 30 KHz, **VLF**⁴ y 30 – 300 KHz, **LF**⁵), refracta a frecuencias de MF y HF⁶, y despolariza la onda en las bandas de VHF y UHF. En todos los casos debemos tomar en cuenta la relación existente entre frecuencia y longitud de onda, debido a que las ondas planas se propagan a la velocidad de la luz, siendo esta una constante para todas las frecuencias, se tiene la siguiente notación:

$$F = C / \lambda \dots\dots\dots(1)$$

Donde: F=Frecuencia (Hz)

C=Velocidad de la luz (3×10^8 Km/s)

λ = Longitud de onda (m)

Debido a esto se ha establecido la división del espectro radioeléctrico con sus respectivas frecuencias y longitudes de onda de la siguiente manera.

⁴VLF: Very Low Frequency

⁵LF: Low Frequency

⁶HF: High Frequency

**TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS EN EL ESPECTRO
RADIOELÉCTRICO**

Frecuencia	Denominación	Longitud de Onda
3 – 30 KHz	VLF Frecuencia muy baja	100 000 – 10 000 m
30 – 300 KHz	LF Frecuencia baja	10 000 – 1 000 m
300 – 3000 KHz	MF Frecuencia media	1 000 – 100 m
3 – 30 MHz	HF Frecuencia alta	100 – 10 m
30 – 300 MHz	VHF Frecuencia muy alta	10 – 1 m
300 – 3 000 MHz	UHF Frecuencia ultraelevadas	1 m – 10 cm
3 – 30 GHz	SHF Frecuencia Superelevadas	10 – 1 cm
30 – 300 Ghz	EHF Frecuencia Extremadamente alta	1 cm – 1 mm

Fuente: Fernández Pilco, Percy. “Temas de Telecomunicaciones N° 1- Radiocomunicaciones”

1.1.1.2 Propagación por onda de espacio (UHF)

En este caso los enlaces deben de tener línea de vista, debido a que son frecuencias muy altas la onda no hace un rebote en la ionósfera y tampoco se propaga como onda de superficie, así viaja en forma directa de la antena transmisora a la receptora.

La propagación UHF, está considerada como una propagación por onda de espacio; siendo el inicio de tal propagación desde frecuencias de VHF y superiores. Tales propagaciones provienen de la combinación del rayo de visión directa (propagación en espacio libre), del rayo reflejado en la superficie terrestre y del rayo difractado por las irregularidades del terreno, o por la propia curvatura de la tierra, con lo cual el alcance queda limitado a distancias que no exceden mucho el horizonte. En este caso la altura de las antenas cobra una importancia mayor

porque amplía ese horizonte. Entonces es de suma importancia la altura de la antena transmisora y receptora, así como también la distancia entre estas.

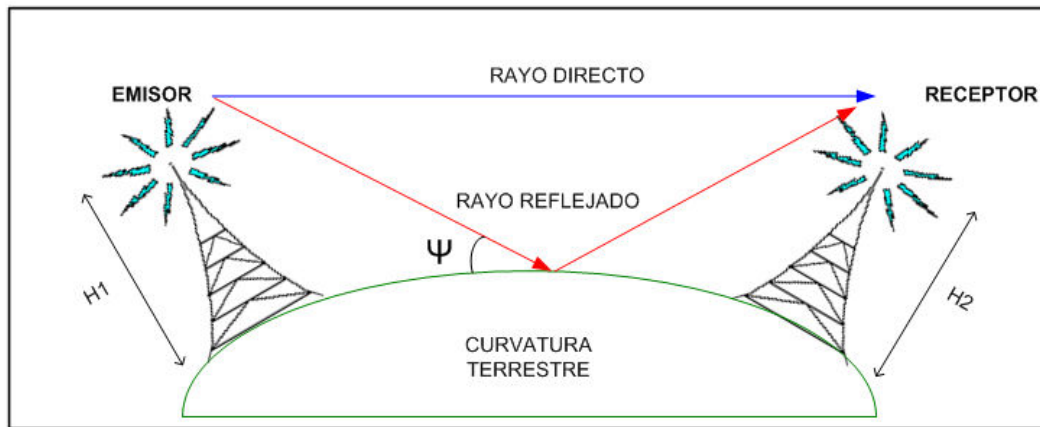


FIGURA 1. PROPAGACIÓN DE ONDA DE ESPACIO

Fuente: Fernández Pilco, Percy. "Temas de Telecomunicaciones N°1- Radiocomunicaciones"

Por lo tanto los usos de estos tipos de propagaciones y a estas frecuencias, son principalmente para enlaces de microondas, enlaces satelitales, televisión, radiodifusión, telefonía celular y otros.

Efecto de reflexión por el suelo.

Este tipo de propagación es típico de las frecuencia más elevadas a la VHF, las señales se reflejan en diferentes superficies pudiendo ser principalmente lisas para la longitud de onda considerada, de esta manera puede alcanzar lugares que podrían estar ocultos para las señales directas. En microondas suele utilizarse esta posibilidad artificialmente estableciendo repetidores pasivos en lugares elevados (cerros, montañas, edificios).

En este caso la tierra (superficie terrestre) produce una onda reflejada, por lo cual se genera un coeficiente de reflexión considerando una tierra plana (ideal), unos rayos ideales y una superficie de reflexión que se caracterizan por su permitividad relativa ϵ_r y su conductividad σ .

Los coeficientes de reflexión dependen del tipo de suelo, del ángulo de incidencia y de la polarización de la onda. Cuando la distancia entre las antenas es muy grande

comparada con la altura de las mismas (situación habitual) el ángulo de incidencia ψ tiende a 0° (guiarse de la Figura 1); en ese caso los coeficientes de reflexión para ambas polarizaciones tiende a -1 , que es el valor usual en tierra plana. En situaciones donde no se puede considerar tierra plana, como en reflexiones de suelos irregulares y rugosos, se aplican factores de corrección que dependen de la altura eléctrica de los mismos y del ángulo de incidencia, de manera que estos factores hacen que el módulo del coeficiente de reflexión sea menor que la unidad. De lo expuesto, cuando tenemos estos tipos de enlaces siempre tendremos una señal que llega al receptor que será igual al rayo directo mas el rayo reflejado como se vio anteriormente en la gráfica, pero también existirá la varianza entre las distancia de la antena transmisora y receptora, siendo esta muy grande comparada con las alturas H_1 y H_2 , luego el ángulo formado por el rayo reflejado ψ tiende a cero (0) y la variación entre los caminos recorridos por ambos rayos (incidente y reflejado) va a ser muy pequeño. Por ello, la atenuación de ambos caminos va a ser prácticamente la misma, existiendo únicamente una variación en la fase entre las señales que llegan al receptor, de esta manera se puede despreciar la onda de superficie y hacer el cálculo de la intensidad de campo. La onda de superficie será despreciada para la polarización horizontal y frecuencias que pasen los 30 MHz, y se tendrá en cuenta en polarización vertical y frecuencias menores a 300 MHz.

A continuación se muestra una tabla en la que se consideran alturas mínimas en metros de las antenas, para que la onda de espacio esté por encima de la onda de superficie en unos 40 dB, considerando el peor de los casos, es decir polarización vertical de la antena.

TABLA 2. ALTURA DE ANTENAS (METROS) MÍNIMAS PARA UN ADECUADO EFECTO DE REFLEXIÓN DE ONDA

Tipo de Terreno	30 MHz	100 MHz	300 MHz	1 000 MHz
Mar	750	125	25	5
Tierra buena	130	28	9	2.5
Tierra media	77	19	6	1.9
Tierra mala	42	10	3.3	1.0

Fuente: Fernández Pilco, Percy. "Temas de Telecomunicaciones N°1- Radiocomunicaciones"

Efecto de difracción por obstáculos

Este fenómeno ocurre cuando la onda en propagación encuentra algún obstáculo que interrumpe su paso, es decir no existe visibilidad directa entre transmisor y receptor, entonces varía la dirección de propagación y también la manera en que se propaga la energía, pero este fenómeno permite aún así una señal útil.

Estas ondas difractadas al encontrar un obstáculo de por medio, tienden a rodearlo parcialmente; mediante la difracción las señales de VHF, generalmente, pueden tener un efecto de “doblado” hacia abajo en diferentes casos; por ejemplo en los bordes de edificios para que parte de la señal llegue a la parte inferior con la suficiente intensidad para el receptor, o en las cimas de los cerros puede producirse una difracción que permite a la señal alcanzar el valle que existe a continuación, etc.

La explicación de este fenómeno se basa en la teoría ondulatoria de Huygens, en la cual expone que cada punto del espacio que es atravesado por una onda, puede ser considerado una fuente puntual de ondas en si mismo.

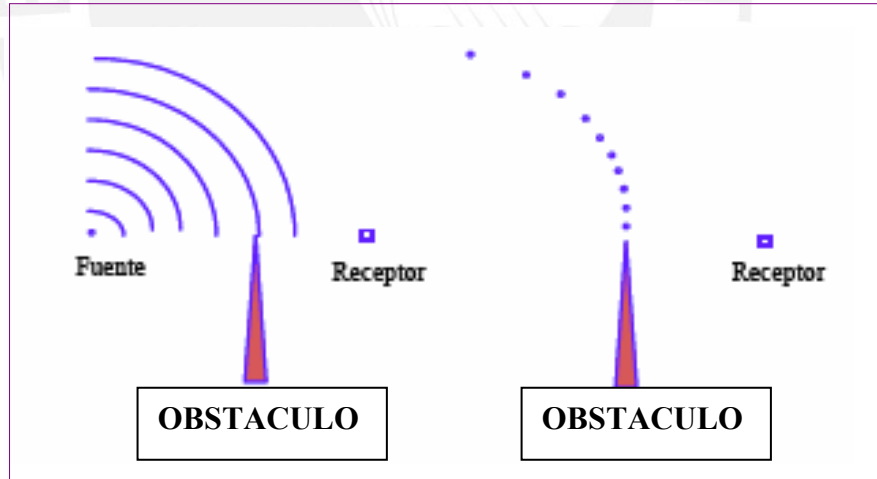


FIGURA 2. PRINCIPIO DE HUYGENS

Fuente: Treviño Cortez, Javier Teodoro. Tesis de licenciatura en Ing. Electrónica y Comunicaciones “Mecanismos básicos de Propagación”

Básicamente el principio de Huygens explica que ante un obstáculo en el camino de la propagación de ondas electromagnéticas se produce la difracción, la cual

esparce las ondas en el borde del obstáculo, permitiendo el paso de un porcentaje bajo de ondas que llegarán al otro lado del obstáculo.

Sin embargo, a todo esto las atenuaciones producidas por tal efecto son altas comparadas con la propagación de espacio libre, con lo que la señal que llega al receptor es más débil.

Se puede semejar tal fenómeno de ondas electromagnéticas con el de difracción de la luz. En el análisis de la difracción hay que tener en cuenta el volumen que ocupa la onda, definiendo los elipsoides o zonas de Fresnel.

Las zonas de Fresnel vienen a ser elipsoides que se generan en un enlace entre transmisor y receptor a gran distancia, es llamada también región cercana. La primera zona de Fresnel, que es el primer elipsoide, es el que contiene casi la mayor parte de la potencia destinada al receptor y es ésta zona la que se debe tomar en cuenta para el caso de interrupción por obstáculos geográficos debidos a la curvatura de la tierra.

El resto de zonas de Fresnel no tienen mucha implicancia pues contienen una baja cantidad de potencia.

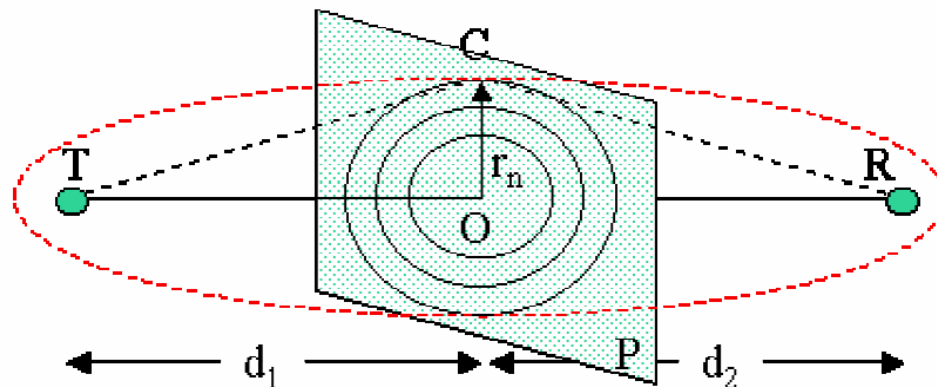


FIGURA 3. ELIPSOIDES DE FRESNEL

Fuente: Escuela de Ing. Electrónica Universidad Nacional del Rosario, FTP.
“Antenas y Propagación-Tema 3”

“El campo transmitido desde el punto T, genera unos campos eléctricos en el plano P. El campo recibido en el punto R se puede describir aplicando el Principio de Huygens, como la superposición de los campos provenientes de los puntos C de

dicho plano P, es decir, de las fuentes secundarias elementales situadas en dicho plano.”⁷

De la gráfica anterior las distancias están dadas en kilómetros y las zonas de Fresnel varían en radio r_n en el plano P, de menor a mayor; siendo que la primera zona de Fresnel es la de mayor implicancia debido a que los campos de las distintas zonas se suman aproximadamente en fase entre sí; además, la contribución de la segunda zona es de amplitud similar a la de la tercera, cancelándose entre sí, por ser las zonas impares positivas y las zonas pares negativas; lo mismo sucede con la cuarta y la quinta, y así sucesivamente. De este modo, el campo total en R se puede aproximar por la contribución de las fuentes de la primera zona de Fresnel.

Para explicar mejor los conceptos anteriores se considerará el siguiente caso: tenemos dos antenas isotrópicas que se encuentran separadas a una distancia R, y a la distancia d_1 de la antena transmisora, como en el caso anterior, se encuentra un plano P infinito que simula un obstáculo, el cual es perpendicular a la línea de enlace entre la antena transmisora y receptora, como en la figura siguiente:

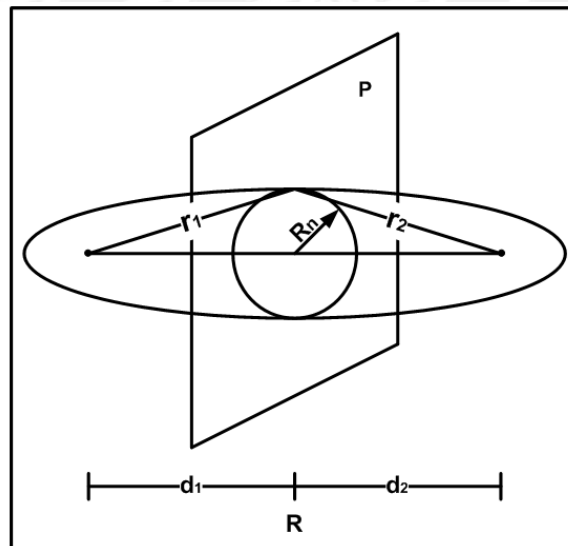


FIGURA 4. ELIPSE DE FRESNEL

Fuente: Escuela Universitaria de Teruel, PDF “Prácticas de Radiocomunicaciones- Dimensionamiento de un Radioenlace”

⁷ Según lo mencionado por el autor en PDF: “Antenas y Propagación-Tema 3”

Ahora de esta gráfica se definen las zonas de Fresnel como las regiones definidas por los puntos del espacio que cumplen la relación siguiente:

$$(r_1 + r_2) - R = n\lambda/2 \dots\dots\dots(2)$$

Con: $n=1, 2, 3\dots$

Los elipsoides de revolución de las zonas de Fresnel, presentan el eje mayor con una longitud dada por la fórmula siguiente:

$$R + n\lambda / 2 \dots\dots\dots(3)$$

Y la intersección de las zonas de Fresnel con el plano P son circunferencias cuyo radio puede calcularse para el caso que dicho radio sea mucho menor que d_1 y d_2 como:

$$Rn = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \dots\dots\dots(4)$$

Aplicando el principio de Huygens, el campo sobre la antena receptora puede formarse como la superposición de fuentes elementales de ondas esféricas situadas en el plano P, radiando cada una de estas fuentes con un desfase en función de la distancia r_1 , a estas fuentes equivalentes se les llama fuentes secundarias.

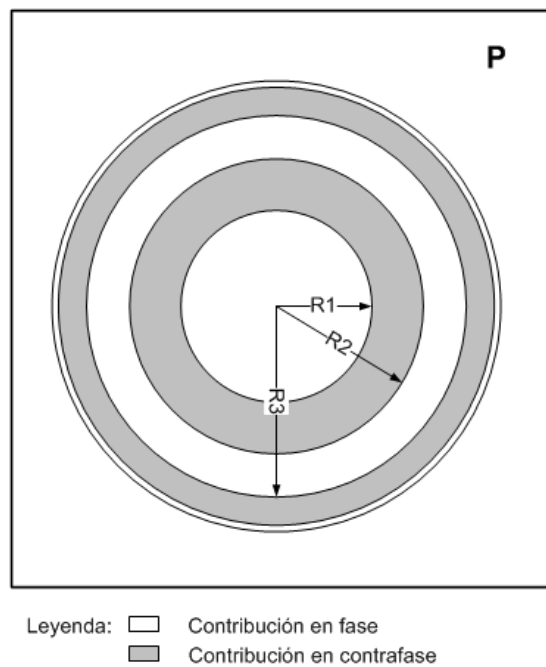


FIGURA 5. SUPERPOSICIÓN DE ONDAS SOBRE UNA ANTENA RECEPTORA

Fuente: Escuela Universitaria de Teruel, PDF “Prácticas de Radiocomunicaciones- Dimensionamiento de un Radioenlace”

Después de todo lo expuesto sobre las zonas de Fresnel, los campos producidos por las fuentes equivalentes de Huygens situados en la zona 1 que se muestran en la figura 5 se sumarán en la antena receptora con una fase inferior a 180° , es decir, constructivamente. Las fuentes equivalentes de esta primera zona de Fresnel son además las más importantes, debido a la directividad asociada a la antena. Las contribuciones de las fuentes situadas en las zonas 2 y 3 tienden a cancelarse mutuamente, lo mismo que las de las zonas 4 y 5, 6 y 7 y así sucesivamente.

Por tanto, si en la situación del plano P se sitúa un orificio de radio R_1 , esto es dejando solamente las fuentes secundarias comprendidas dentro de la primera zona de Fresnel y anulando el resto, la potencia recibida en el receptor no disminuirá de forma apreciable.

Entonces, el radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre antenas, de forma que mientras no exista un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel se considera que la trayectoria no ha sido obstruida. Por el contrario, cuando el obstáculo se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, por lo que se considera que la trayectoria ha sido obstruida y deberá considerarse el efecto de la difracción.

De forma práctica, al estar la energía concentrada cerca del rayo directo, si el obstáculo no penetra en más un 40% del radio de la primera zona de Fresnel se suele considerar que dicho obstáculo no contribuye significativamente a la atenuación por difracción.

En conclusión para el diseño de un enlace punto a punto tenemos que considerar a la primera zona de Fresnel libre de obstáculos, además debemos considerar también dos casos de la curvatura de la tierra, cuyo factor K indica: con valores de $K=2/3$ tenemos el peor de los casos y con valores de $K=4/3$ tenemos el caso óptimo.

1.1.2 Comunicaciones satelitales y móviles

1.1.2.1 Comunicaciones satelitales

Otra de las opciones importantes a tomar en cuenta es usar las comunicaciones satelitales, dado que geográficamente hay puntos en los cuales no podremos hacer

un enlace con línea de vista, además las distancias hacia la estación de control son grandes, entonces es así que se presenta esta alternativa satelital como una posible solución, cabe mencionar que hay que tener en cuenta que la potencia de recepción es menor debido a las grandes distancias a las que se encuentran los satélites.

Bandas asignadas:

La **ITU** (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estableció las siguientes bandas de frecuencias para las transmisiones satelitales:

- Banda **C** (3.7 – 4.2 GHz, potencia de emisión débil, parabólica de recepción grande) y banda **Ku** (10.7 – 12.75 GHz, parabólica de recepción pequeña) para aplicaciones civiles.
- Banda **X** (7.25 – 8.4 GHz) para aplicaciones militares.
- Banda **Ka** (20 – 30 GHz, usado para Tx de datos) para sistemas experimentales

Dado que los satélites pueden estar ubicados a diferentes alturas, existe una clasificación ya establecida de la siguiente manera:

Satélites GEO (Órbita terrestre Geosíncrona)

Los satélites GEO orbitan a 35848 Km sobre el ecuador terrestre. A esta altitud, el periodo de rotación del satélite es exactamente 24 horas, así pareciera estar siempre sobre el mismo lugar de la superficie terrestre. Cabe resaltar que la mayoría de los satélites actuales son GEO, los cuales se componen de menos satélites que los otros para cubrir la totalidad de la tierra; de la misma forma los satélites GEO necesitan obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (unos 1600 Km o dos grados). La ITU y la FCC (Federal Communications Commission, en los Estados Unidos) administran estas posiciones.

Satélites MEO (Órbita terrestre Media)

Estos satélites se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 Km, a diferencia de los satélites GEO, están a una altitud menor, se necesita un número mayor de satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia se reduce significativamente. En la actualidad no existen muchos satélites MEO, y se utilizan para posicionamiento.

Satélites LEO (Órbita terrestre Baja)

Cuando se está en una órbita terrestre de baja altura, se puede tener un ancho de banda extraordinario y una latencia reducida. Los satélites LEO orbitan generalmente por debajo de los 5035 Km, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 600 y los 1600 km. A tan baja altura, la latencia adquiere valores casi despreciables de unas pocas centésimas de segundo.

Existen tres tipos de satélites LEO los cuales manejan diferentes cantidades de ancho de banda.

- Los LEO pequeños están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda (de decenas a centenares de Kbps).
- Los grandes LEO pueden manejar buscapersonas, servicios de telefonía móvil y algo de transmisión de datos (de cientos a miles de Kbps).
- Los LEO de banda ancha (también denominados megaLEO) operan en la franja de los Mbps.

1.1.2.2 Comunicaciones móviles

Para este caso, que es el enlace con las camionetas de servicio cercanas a una ESC, se tomará en cuenta cobertura VHF, la cual permitirá mantener la comunicación entre el personal de trabajo en campo y personal en las Estaciones de Supervisión respectivas, prácticamente servirán en distancias de algunos kilómetros alrededor de tales estaciones en las cuales las antenas respectivas alcancen cobertura con equipos tipo walkytoki para un fácil manejo y portabilidad.

1.2 Procedimiento de adquisición de información.

El sistema de adquisición de datos será el **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition), es decir: adquisición de datos y control de supervisión.

La estación base (Centro de Control) será la encargada de centralizar todas las comunicaciones de las estaciones remotas de monitoreo, supervisión y control; es aquí donde se recopilará todos los datos que son recogidos por los diferentes sensores de las estaciones remotas, los cuales son ingresados a la base de datos para su posterior procesamiento.

El sistema SCADA se trata de un software especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla de la PC.

También el sistema SCADA será el encargado de la administración global de la adquisición de datos, telecomandos y mantenimiento del sistema total; este proveerá de toda la información que se genera en el proceso productivo a los diversos usuarios, así como también control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

El sistema de comunicación de estos tipos de sistemas son mediante redes LAN aproximadamente trabajando a unos 100 Mbps, ejecutándose en tiempo real a medida que todas las estaciones remotas ya mencionadas anteriormente estén en perfecto funcionamiento, y están diseñados para dar al operador la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos en una interfaz gráfica amigable.

Capítulo 2

Determinación de necesidades

2.1 Localización y ubicación de lugares a interconectar.

La Red propuesta interconectará principalmente estaciones de lagunas reguladas, lagunas por regular y estaciones hidrometeorológicas hacia el centro de control, cada grupo de lagunas entre reguladas y no reguladas pertenece en este caso a una cuenca o subcuenca distribuidas a lo largo del departamento de Junín y cada estación hidrometeorológica se encuentra ubicada a lo largo y ancho de la cuenca del río Mantaro.

Siendo que la generación de energía precisa de contar siempre con la potencia suficiente y necesaria para abastecer las diferentes demandas sociales, es claro que estas dependen de la fuerza de caída de agua, por ende de su cantidad, constante nivel y volumen en las represas principales; es por eso que las empresas tienen como futuros objetivos más lagunas por regular; por lo cual es el objetivo de la tesis hacer una Red futura que interconecte también estas lagunas por regular (con estudios existentes) hacia el centro de control así como también las lagunas ya reguladas y estaciones hidrometeorológicas, ambas últimas en actual funcionamiento.

2.1.1 Descripción de la cuenca hidrográfica

Las estaciones parte de todo el sistema de generación de energía eléctrica más importante del Perú se encuentran ubicadas a lo largo de toda la cuenca del Mantaro, siendo así el río Mantaro el más importante afluente de agua natural que recorre la cuenca en su totalidad.

El río Mantaro pertenece a la Hoya Hidrográfica del Atlántico, se inicia en el lago Junín entre los 4080 y 4125 m.s.n.m., así mismo este río recorre los departamentos de Junín, Huancavelica y Ayacucho, siguiendo luego por la provincia de Satipo donde confluye con el río Apurímac en los 480 m.s.n.m., comprendiendo una cuenca de 35 000 km² hasta esta confluencia, para así formar el río Ene, para luego hacer su reingreso al departamento de Junín. Sin embargo,

su cuenca hidrográfica también incluye al departamento de Pasco. Pertenece a la cuenca del río Amazonas; la longitud total del río es de 735 Km.

Tiene un recorrido que es de noroeste a sudeste y es así que da origen al Valle del Mantaro que es el principal valle del centro del Perú y el más ancho de todos los andes centrales. Para mayores detalles ver ANEXO 2.1.1.



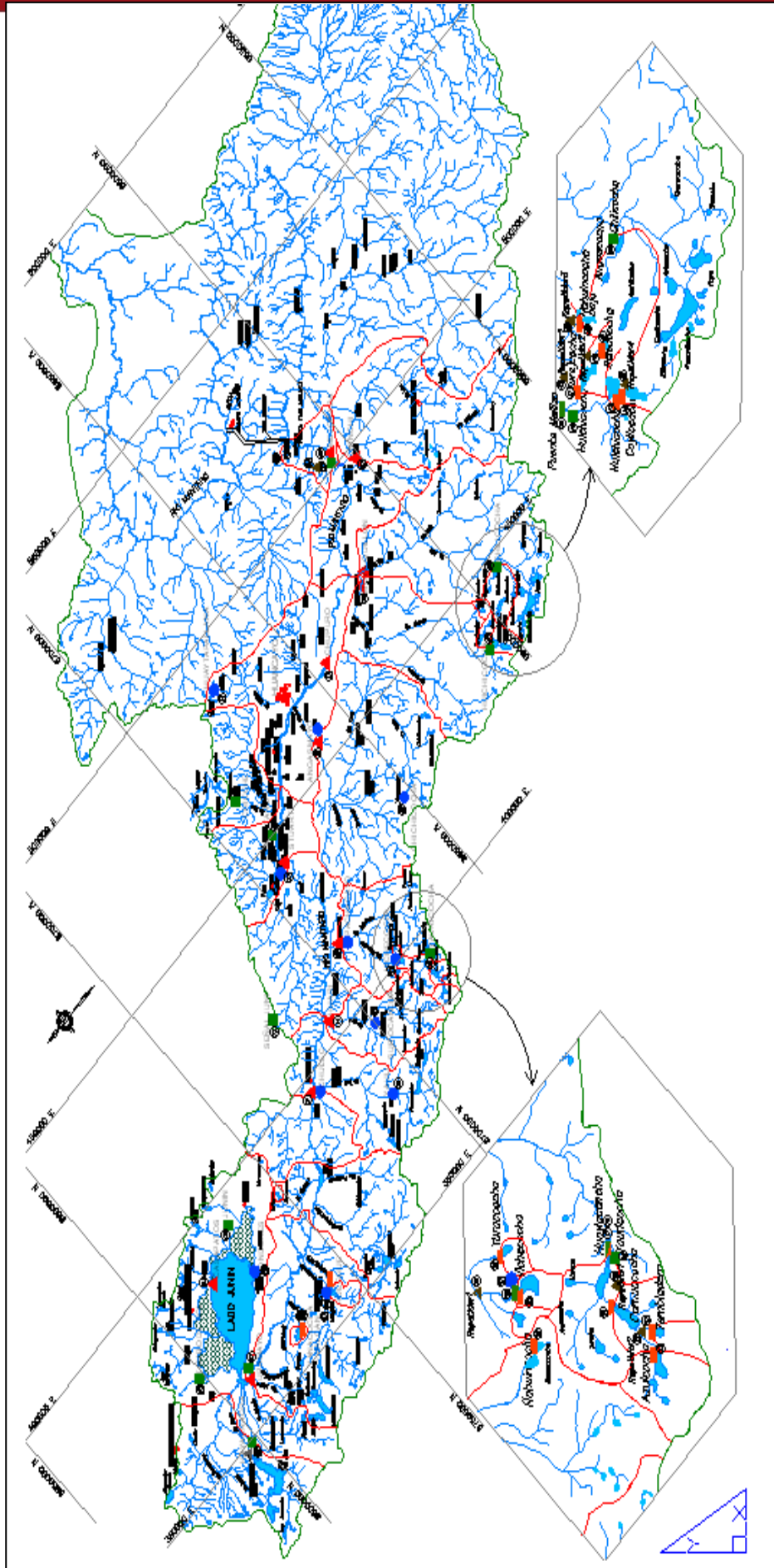


FIGURA 6. CUENCA DEL RÍO MANTARO

Fuente: ELECTROPERU S.A. "Mapa de Red Hidrometeorológica y de Lagunas Reguladas "

Es importante mencionar que la Central Hidroeléctrica del Mantaro, la más importante fuente generadora de energía eléctrica del Perú con aproximadamente el 50% de generación de energía eléctrica en el país, se encuentra ubicada en la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica; en plena cuenca de este importante río.

Hasta la localidad de Tablachaca, que se encuentra a 2695 m.s.n.m. y donde se ubica la captación de las centrales de la empresa estatal Electricidad del Perú S.A. ELECTROPERU, el área de cuenca es 18 290 Km², con un recorrido del río de 377 Km. Y a fin de incrementar en Tablachaca el caudal durante las épocas de estiaje, esta empresa ha dado inicio hace algunos años a un programa intensivo de construcción de pequeños embalses de regulación estacional. A la fecha ha logrado alcanzar una capacidad de regulación útil de aproximadamente 200 MMC mediante el represamiento de las descargas de las lagunas ubicadas en las cuencas altas, como las lagunas del lado Sur Oeste del Lago Junín y de los tributarios Pachacayo, Moya y Quillón, existiendo otros proyectos a nivel de pre-factibilidad y factibilidad para duplicar esta cifra.⁸

Es por lo descrito anteriormente la importancia que brindará este diseño en la posible Red proyectada, que ahora agrupará esas nuevas lagunas por regular a las demás estaciones ya establecidas de antaño.

A continuación las siguientes gráficas mostrarán de manera más amplia las zonas en las cuales se encuentran los puntos de interconexión tomados para este análisis dentro de la Cuenca del Río Mantaro, departamento de Junín.

La figura siguiente muestra la zona de lagunas, siendo que se ha considerado 19 lagunas, de las cuales 7 son reguladas estando en actual uso y 12 están en proyecto de factibilidad y pre-factibilidad para su pronta regulación.

⁸ Datos según Expediente Técnico: “Modernización del sistema hidrometeorológico y del sistema de control de las lagunas reguladas del complejo hidroeléctrico Mantaro”, ELECTROPERU S.A.

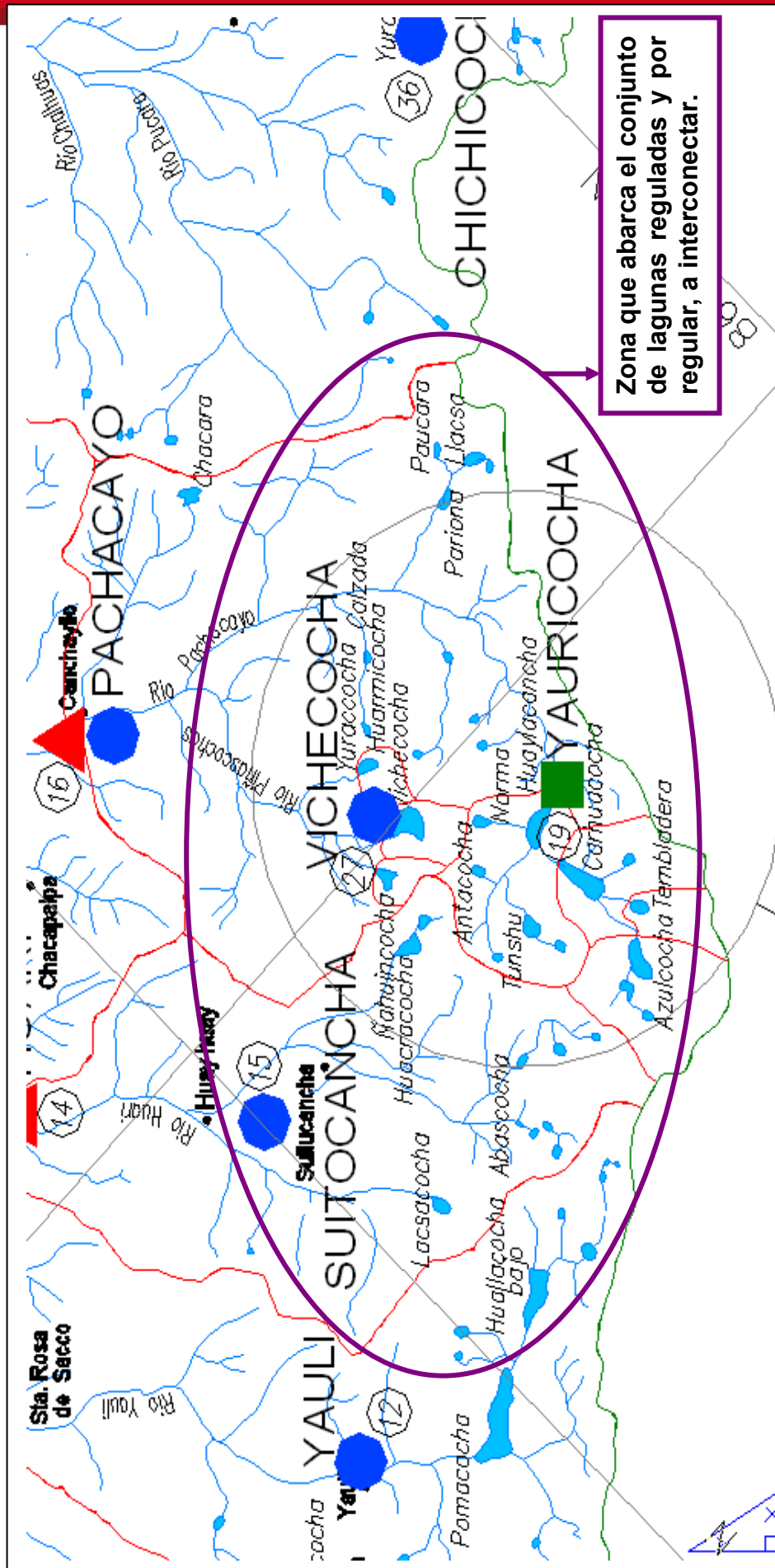


FIGURA 7. CUENCA DEL RÍO MANTARO, UBICACIÓN DE LAGUNAS REGULADAS Y POR REGULAR

Fuente: ELECTROPERU S.A. "Mapa de Red Hidrometeorológica y de Lagunas Reguladas "

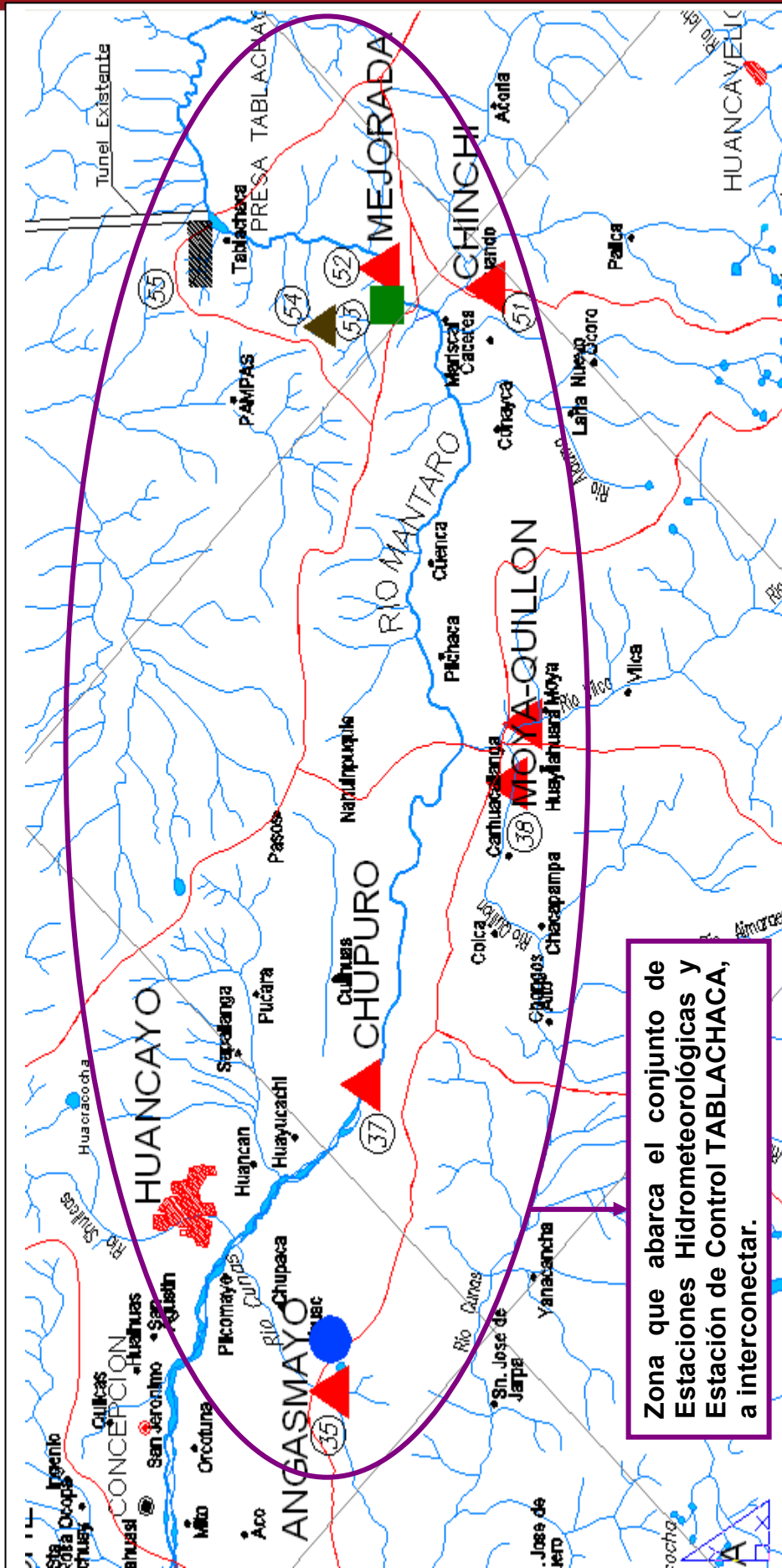


FIGURA 8. CUENCA DEL RÍO MANTARO, UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

Fuente: ELECTROPERU S.A. "Mapa de Red Hidrometeorológica y de Lagunas Reguladas"

De la figura anterior, se ha mostrado la zona en las cuales se encuentran las estaciones hidrometeorológicas; y se tomará en cuenta cinco estaciones hidrometeorológicas distribuidas a lo largo y ancho de la cuenca del río Mantaro; también se puede observar en la gráfica la estación Central de Control Tablachaca que es el punto de recepción final de todos los datos.

2.1.2 Ubicación geográfica de las estaciones

A continuación se presentan los 29 puntos geográficos escogidos⁹, los cuales se quieren interconectar mediante una red de telecomunicaciones óptima, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

- 1 Estación Central de Control (**ECC**), físicamente establecida en tierra firme y con personal constante en tal ambiente.
- 5 Estaciones Hidrometeorológicas, las cuales pueden ser Meteorológicas (**M**), Hidrométricas (**H**) o de Precipitación (**P**), establecidos a lo largo de las riberas de los ríos en diferentes puntos de la cuenca del río Mantaro, sin personal constante a cargo.
- 7 lagunas reguladas y 12 lagunas por regular, en las cuales se ubicarán las Estaciones de Monitoreo y Control (**EMC**), establecidas en forma de casetas de monitoreo en la parte extrema de caída de agua de la laguna, sin personal constante a cargo.
- 4 Estaciones de Supervisión y Control (**ESC**), las cuales se encuentran en tierra firme, cercanas a las **EMC**, agrupándolas por cuencas; teniendo estas personal constante a cargo.

Siendo así serán parte de ésta Red de telecomunicaciones las siguientes estaciones hidrometeorológicas, estaciones de lagunas reguladas y por regular estaciones de supervisión y control y estación central de control, distribuidos de la siguiente manera:

⁹ Se escogieron estaciones existentes y en proyecto, con ubicaciones geográficas tomadas de Expediente Técnico: “Modernización del sistema hidrometeorológico y del sistema de control de las lagunas reguladas del complejo hidroeléctrico Mantaro” y “Mapa de Red Hidrometeorológica y de Lagunas Reguladas”, ELECTROPERU S.A.

En la tabla 3 se presenta la ubicación geográfica de la estación Central de Control la cual recibirá toda la información del resto de estaciones por medio de su sistema SCADA y transmitirá órdenes automáticas a las estaciones remotas de acuerdo a la necesidad para la generación de energía eléctrica.

TABLA 3. ESTACIÓN CENTRAL DE CONTROL

No	Estación	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Tablachaca	ECC	3356.1	12°27'50.8"	74°47'13.3"

Fuente: Elaboración propia

ECC Estación Central de Control

En la tabla 4 se presenta las ubicaciones geográficas de algunas estaciones componentes de la red de control hidrometeorológico de la Cuenca del Mantaro, las cuales transmitirán información automáticamente en tiempo casi real para su empleo en el modelo de pronóstico hidrológico, el cual se actualiza aproximadamente con una frecuencia de 3 horas en operación normal y cada 30 minutos en casos especiales como por ejemplo la purga, que es la limpieza de desechos en el embalse Tablachaca.

Estos tipos de estaciones transmitirán información pluviométrica (indica la medida de la cantidad de agua precipitada en un lugar), hidrométrica (indica la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo la pendiente del terreno, escorrentía) y meteorológica (datos de precipitación, humedad relativa, temperatura, viento, radiación solar y evaporación).

TABLA 4. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

No	Estación	M	P	H	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Chupuro			X	3622.3	12°12'00"	75°55'00"
2	Angasmayo		X	X	3274.0	12°01'31"	75°23'53"
3	Mejorada	X			3163.0	12°31'55"	74°51'36"
4	Moya-Quillón			X	3965.8	12°23'33"	75°08'38"
5	Chinche			X	3827.1	12°32'07"	74°55'26"

Fuente: Elaboración propia

M Meteorológica

P Precipitación

H Hidrométrica

En las siguientes tablas desde la 5 hasta la 9 se presentan las ubicaciones de las **ESC** con un grupo de **EMC** a cargo, repartidas y/o distribuidas por cuencas o subcuencas, según corresponda. Estas estaciones presentan características como las de ser automáticas, controladas y supervisadas a distancia por la **ECC**, teniendo necesariamente rutinas de seguridad y mantenimiento según la existencia de un problema en el sistema.

TABLA 5. ESTACIONES DE LAGUNAS REGULADAS I

No	SUBCUENCA PACHACAYO - COCHAS	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Huaylacancha	ESC	4601.6	11°57'02.4"	75°54'05.6"
2	Huaylacancha	EMC	4350.0	11°57'36.7"	75°54'34.2"
3	Carhuacocha	EMC	4387.3	11°55'59.0"	75°56'16.9"
4	Tembladera	EMC	4453.0	11°56'59.8"	75°58'43.5"
5	Azulcocha	EMC	4522.6	11°56'32.5"	75°59'41.6"

Fuente: Elaboración propia

TABLA 6. ESTACIONES DE LAGUNAS REGULADAS II

No	SUBCUENCA PACHACAYO - PIÑASCOCHAS	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Vichecochoa	ESC	4476.2	11°52'19.0"	75°51'36"
2	Vichecochoa	EMC	4578.1	11°52'27.6"	75°52'32"
3	Yuracocha	EMC	4544.4	11°53'23.3"	75°50'27.9"
4	Ñahuincocha	EMC	4598.0	11°51'53.1"	75°52'46.3"

Fuente: Elaboración propia

El siguiente grupo de estaciones entre las tablas 7 y 9 son los proyectos actuales en pre-factibilidad y factibilidad ya mencionados anteriormente, ubicados también en la misma cuenca y cuencas cercanas a las ya existentes, las cuales cumplirán la misma función que en el caso anterior ya explicado regidos por la misma **ECC**.

TABLA 7. ESTACIONES DE LAGUNAS POR REGULADAS I

No	SUBCUENCA PACHACAYO – CUENCA MEDIA	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Pariona	ESC	4473.4	11°59'30.6"	75°48'18.7"
2	Pariona	EMC	4398.0	12°00'09.4"	75°48'20.3"
3	Calzada	EMC	4292.0	11°57'33.5"	75°49'46.7"
4	Caullau	EMC	4486.0	11°59'32.8"	75°51'21"
5	Huarmicocha	EMC	4629.0	11°55'44.7"	75°51'54.7"
6	Paucará	EMC	4397.0	12°01'33.8"	75°45'41"
7	Llacsá	EMC	4420.0	12°01'42.2"	75°46'17.5"

Fuente: Elaboración propia

TABLA 8. ESTACIONES DE LAGUNAS POR REGULADAS II

No	SUBCUENCA PACHACAYO – COCHAS	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Antacocha	EMC	4553.0	11°54'13.4"	75°55'22.3"
2	Tunsu	EMC	4577.0	11°54'18.8"	75°56'59.6"
3	Norma	EMC	4538.0	11°55'25.2"	75°54'06.3"

Fuente: Elaboración propia

OBS: Posible ESC Huaylacancha

Para estas estaciones de la tabla 8 cabe resaltar que se ha tomado como **ESC** a la ya existente Huaylacancha; esto por la cercanía de la zona, pues como se puede observar este conjunto de lagunas también pertenecen así como las de la tabla 1 a la subcuenca Pachacayo-Cochas, de esa forma se evitará gastos implementando una nueva **ESC** que tendrá la misma función y seguramente muy cercana también a esta ya existente; de tal forma se está optimizando de la mejor manera este futuro proyecto.

TABLA 9. ESTACIONES DE LAGUNAS POR REGULADAS III

No	SUBCUENCA HUARI	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W
1	Huacracocha	ESC	4546.7	11°50'30.2"	75°54'45.3"
2	Huacracocha	EMC	4505.0	11°50'55.7"	75°54'58.9"
3	Lacsacocha	EMC	4655.0	11°46'51.1"	76°01'10.6"
4	Abascocha	EMC	4485.1	11°50'02.9"	76°01'05.5"

Fuente: Elaboración propia

ESC Estación de Supervisión y Control

EMC Estación de Monitoreo y Control

Con tales puntos se desea tener el enlace e interconexión a la estación Central de Control (**Tablachaca**).

2.2 Determinación del flujo de información aproximado a transmitir y los posibles equipos componentes de las estaciones.

2.2.1 Flujo de información a transmitir.

Se debe tomar en cuenta que las estaciones remotas serán autónomas, es decir que enviarán información automáticamente cada cierto lapso de tiempo y a la vez recibirán información y órdenes desde la **ECC**, estas requieren de una precisión razonable, siendo que normalmente los usuarios sacrifican la precisión con tal de reducir costos.

Por ejemplo en las estaciones hidrometeorológicas la medida de la temperatura requiere una precisión de 0.2°C, el medidor de evaporación entre 0.5% y 0.1%, el medidor de viento el 1.1% del valor real, etc. y para el caso de estaciones de monitoreo y control el piezómetro que es el encargado de medir el nivel del agua y que va sumergido requiere una precisión de 0.1%, el medidor de posición requiere de 0.15% de plena escala, etc.¹⁰

¹⁰ Según características de requerimiento de instrumentación expuesto en Expediente Técnico ELECTROPERU S.A.

Considerando que se tienen varias estaciones, estas claramente se pueden agrupar para un mejor entendimiento como un sistema que consta de varias estaciones remotas y una estación de control, viéndolo de manera general. Siendo que esta última se encargará de recoger la información de las remotas, procesarla y almacenarla, las remotas enviarán la información de manera automática o bajo orden de la estación de control.

Debido a que es un sistema de telemetría hidrometeorológico y lacustre se tendrá en cada remota datos que se transmiten aproximadamente a una tasa tentativa máxima de 2.4 Kbps captados por los sensores para luego ser procesados y enviados a través de un módem a la estación respectiva, de esta forma se tendría:

TABLA 10. FLUJO DE INFORMACIÓN A TRANSMITIR

ESTACIÓN	Data por Estación (Kbps)	Data por ESC (Kbps)	Número de Estaciones	Flujo total (Kbps)
Est. Hidrometeorológicas				
Est. M, P, H	2.4		5	12
Subcuenca Pachacayo - Cochas				
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
ESC		9.6	1	9.6
Subcuenca Pachacayo - Piñascochas				
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
ESC		7.2	1	7.2
Subcuenca Pachacayo – Cuenca Media				
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			

EMC	2.4			
ESC		14.4	1	14.4
Subcuenca Pachacayo – Cochas 2				
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
ESC		7.2	1	7.2
Subcuenca Huari				
EMC	2.4			
EMC	2.4			
EMC	2.4			
ESC		7.2	1	7.2
FLUJO TOTAL DE INFORMACIÓN A TRANSMITIR (Kbps)				57.6

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Componentes de las estaciones.

En esta parte se presenta los componentes principales de las estaciones básicas en el sistema de Red.

2.2.2.1 Estación Central de Control (ECC)

Esta es la estación más importante de todo el sistema pues es la encargada de recibir información de todas las remotas y a la vez enviar órdenes por ejemplo de apertura de compuerta de las lagunas reguladas para la generación de mayor flujo de agua y por ende un mayor caudal de acuerdo al análisis previo de la información recibida, compuesta básicamente del HUB satelital (tanto de Tx y Rx GOES para las hidrometeorológicas e INMARSAT o similar para las ESC) , el SCADA en el servidor central redundante, servidor de comunicaciones redundante, PCs de monitoreo y control, un reloj GPS¹¹ que será conectado al servidor central encargándose de mantener sincronizado el tiempo de las estaciones remotas y servidores, este a su vez sincronizado con un GPS receiver de la estación satelital, además cuenta con

¹¹ GPS: Global Positioning System

una red LAN con interfaz física Ethernet soportando el protocolo de ruteo TCP/IP¹², etc.

Es el servidor de comunicaciones el que monitoreará la transferencia de datos, registrando los errores para luego hacer una corrección de errores, siendo estos procesados por un sistema de alarmas del sistema de monitoreo y control. Esta estación puede enviar instrucciones a las remotas como por ejemplo: pedir medición inmediata de la estación remota, ajustar el retardo entre 2 mediciones consecutivas en una estación remota, etc. siendo estas informaciones tipos de mediciones de las variables meteorológicas, nivel de agua, alarma de baja temperatura, bajo voltaje de batería, los parámetros de su configuración, entre otras; en la siguiente figura se presenta el modelo de una ECC e interconexión de sus componentes con su respectivo sistema de protección de pozo a tierra.

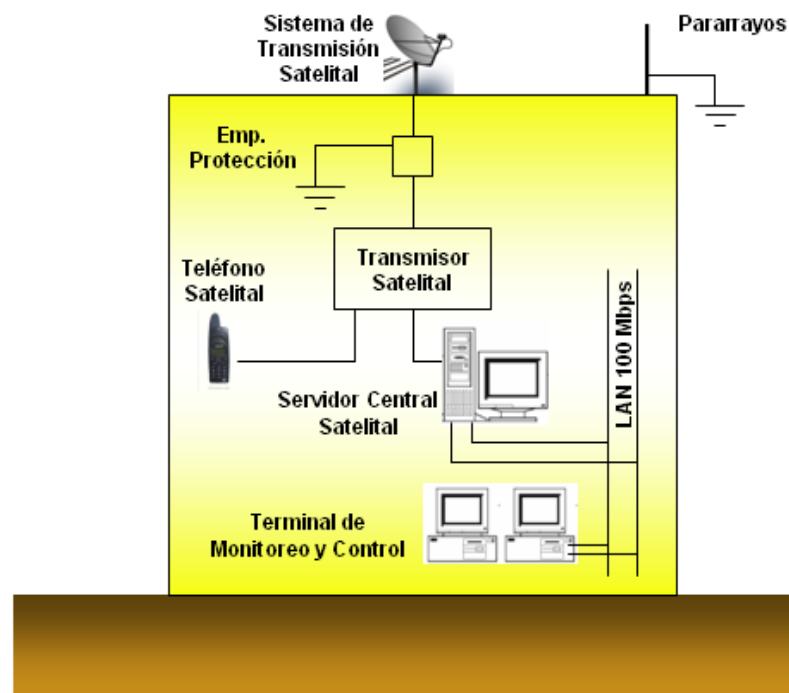


FIGURA 9. ESTACIÓN CENTRAL DE CONTROL TABLACHACA – ECC

Fuente: Elaboración propia

¹² TCP/IP: Es el protocolo común utilizado por todos los ordenadores conectados a Internet, de manera que éstos puedan comunicarse entre sí.

2.2.2.2 Estación de Medición y Control (EMC)

Son estaciones que se instalarán a un extremo de la laguna, donde esta tienda a desembocar, tales permitirán la captación de información principalmente de nivel de agua acumulada en dicha laguna, ubicación de la estación y al ser autónomas bajo una orden de la ECC accionarán la compuerta para una posible descarga de un cierto nivel de agua en épocas de estiaje; está compuesta básicamente de lo siguiente: sensores de nivel de agua y posición llamados piezómetros, controladores lógicos programables (PLC) los cuales son controlados por microprocesadores y poseen funciones de supervisión y auto prueba para detectar una posible falla en el equipo, evitar operaciones equivocadas dando así información sobre el tipo de falla por medio de un display, un radio módem que trabaje a frecuencias UHF, en modo half duplex, pues éstas son muy eficientes para el tráfico de comunicaciones de voz y datos en distancias cortas, etc. Además cabe resaltar que es recomendable el uso de frecuencias en UHF para transmisión de información meteorológica y demás, ya que de esta forma existirá confiabilidad de envío y recepción de información en distancias relativamente cercanas medidas en kilómetros.

Por lo cual también esta estación presenta una antena para transmisión y otra para recepción en frecuencia UHF, en este caso se considera para el emisor una antena tipo Yagi para tener mayor direccionalidad en el envío de la data, y para la recepción una antena omnidireccional para poder captar la señal en un área mayor y de diferentes partes, también presenta un GPS para la sincronización del tiempo con la estación maestra ECC, luego dado que esta estación esta ubicada en lugares donde no existe población alguna el sistema de energía tendrá que ser compuesto por paneles solares los cuales capten la energía solar y almacenen tal en el banco de baterías, bajo un controlador de carga; además también debe contar con un sistema de puesta a tierra para evitar daños por las descargas eléctricas posibles causadas por los rayos dado que es una zona lluviosa de la sierra central.

Estos son los equipos básicos componentes de tal estación existiendo demás equipos y especificaciones de importancia para el funcionamiento pero solo se quiere resaltar el básico equipamiento para su correcta función. Todos los equipos estarán en una caseta de protección como la mostrada en la figura siguiente.

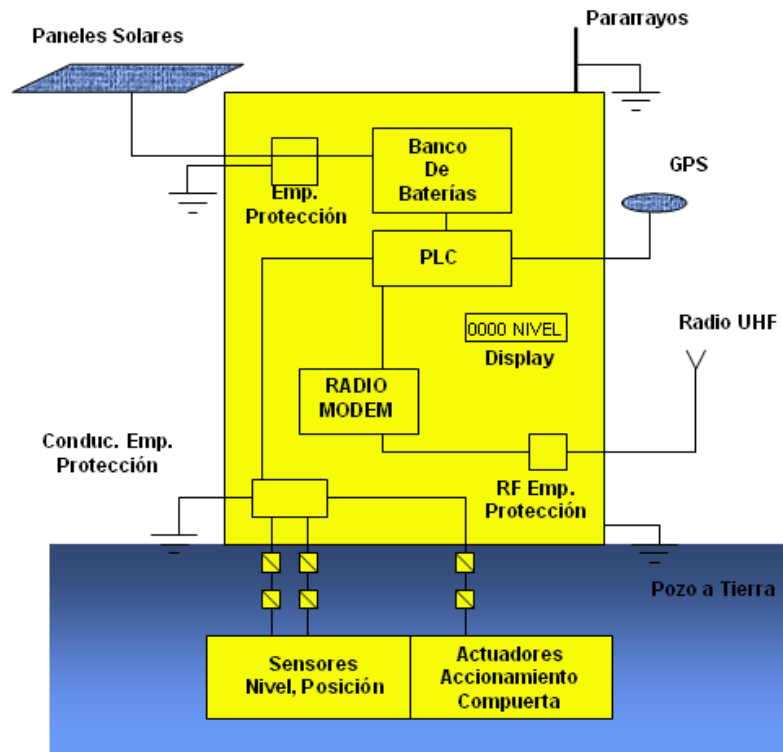


FIGURA 10. ESTACIÓN DE MEDICIÓN Y CONTROL – EMC

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3 Estación de Supervisión y Control (ESC)

Este tipo de estaciones también se ubican en lugares inhóspitos de poca existencia de población cercana, algunas veces aisladas, por lo cual también necesitan una caseta de protección y además una vigilancia permanente por ser las que captan toda la información del grupo de lagunas a su cargo.

Están compuestas de manera similar a las anteriores teniendo: un sistema de radio UHF, como ya mencionamos de preferencia antenas Yagi para emisión y omnidireccionales para recepción, el módem respectivo para digitalizar la señal, el sistema de energía provisto de paneles solares, baterías, controladores fotovoltaicos, etc., el adquisidor de datos el cual engloba al RTU (Unidad Terminal Remota es un microprocesador electrónico), datalogger (que es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores) y PLC ya explicado anteriormente, estos son módulos de medición de sensores que manejan en forma directa las comunicaciones y telecomunicaciones reduciendo la data, equipos de control externo y almacena la data adquirida en memorias no

volátiles. Esta estación también dispondrá de un transceptor satelital INMARSAT la cual soporta datos enviados por la estación terrena a la estación de control punto a punto, teniendo una comunicación en dos vías, es decir transmisión y recepción; por lo cual contará con una antena o plato satelital; y por último su respectivo sistema de protección a tierra.

El siguiente gráfico muestra el esquema de dicha estación teniendo opciones de comunicaciones como teléfono satelital, PC de programación, HMI (Interfaz Hombre Máquina), etc. por los equipos usados, además se implementará antenas en VHF para la comunicación con terminales móviles como por ejemplo el personal de supervisión en las camionetas, por medio de walkytokis.

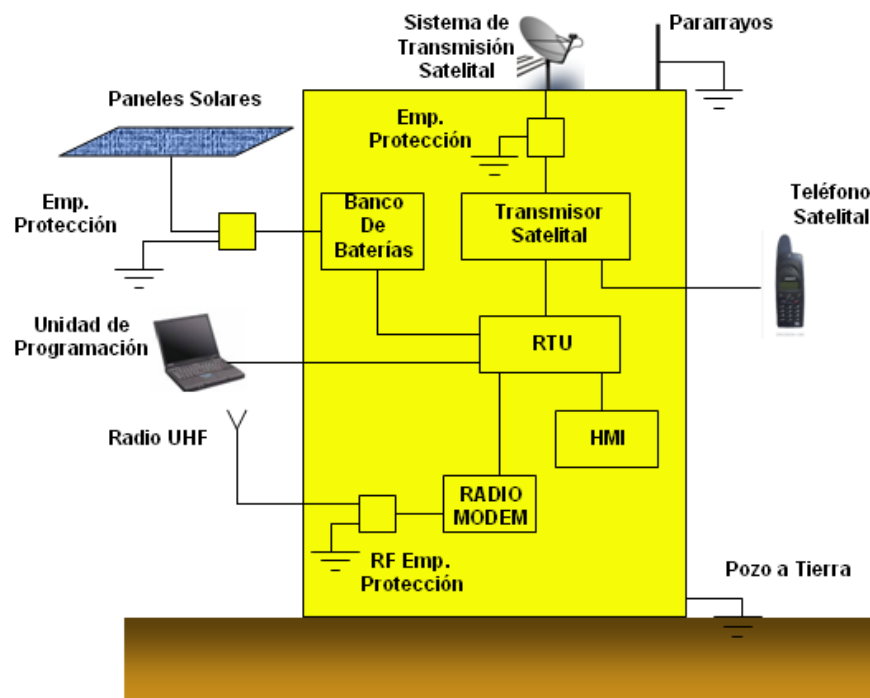


FIGURA 11. ESTACIÓN DE SUPERVISIÓN Y CONTROL – ESC

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.4 Estación Hidrometeorológica

Son estaciones que tienen como función medir parámetros físicos que ocurren en una cuenca hidrográfica tales como humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación solar, precipitación, evaporación, etc. en el caso de las

meteorológicas y medición de altura de agua de ríos para el cálculo del caudal en el caso de las hidrométricas.

Se podría decir tal vez que su equipamiento es una combinación de las dos estaciones mencionadas anteriormente, teniendo equipos como pluviómetros, medidores de evaporación, medidores de temperatura, medidores de radiación solar, de viento, adquisidor de datos, un transceptor satelital pues este enviará y recibirá información a través del sistema satelital GOES que es usado para este tipo de informaciones meteorológicas, sistema de energía por paneles solares y su respectivo sistema de pozo a tierra.

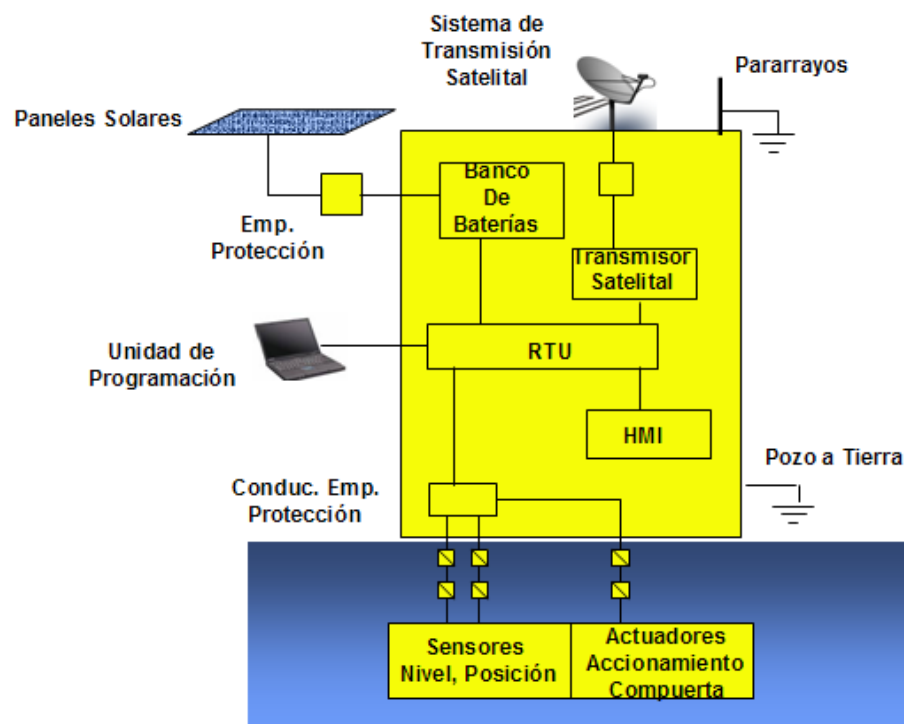


FIGURA 12. ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.5 Estación Repetidora (R)

Parte también inevitable de un tipo de Red como estas son las repetidoras las cuales permitirán la interconexión de tales ante el inevitable problema en algunos casos como es la línea de vista. Conformadas por equipos de radio UHF de recepción y emisión de la data transmitida desde la EMC hasta la ESC y viceversa, contando con paneles solares, baterías, controlador de carga, sistema de pozo a tierra, antena

omnidireccional para recepción y direccional para emisión y todos los equipos complementarios para tal estación, la figura siguiente muestra un esquema de ella.

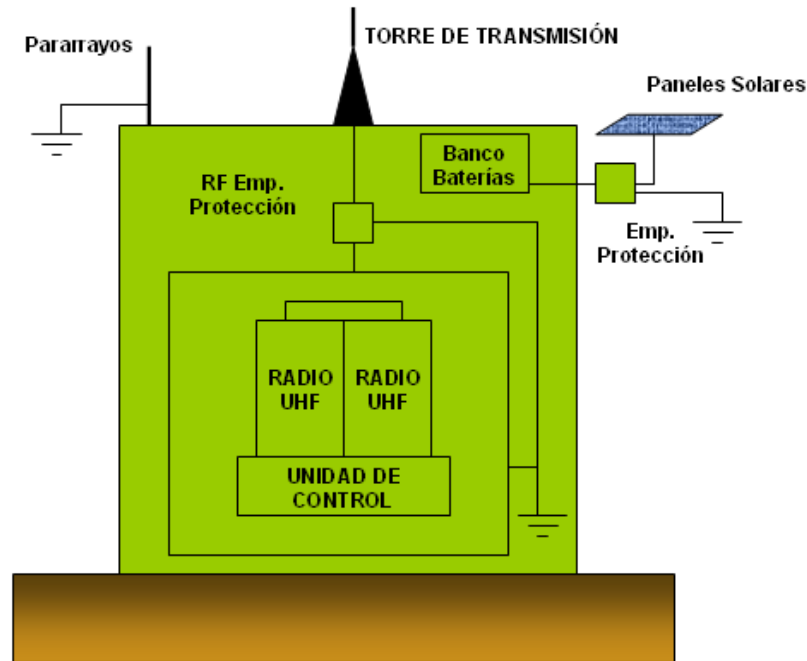


FIGURA 13. ESTACIÓN REPETIDORA – R

Fuente: Elaboración propia

2.3 Determinación de necesidades

2.3.1 Medios y transmisión de información

Dado que se usará un sistema de telemetría SCADA, este sistema de monitoreo y control de lagunas obligará a contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, la cual formará parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere de un medio de comunicación; existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital); para ello se debe tener muy en cuenta la geografía que presenta la zona de trabajo, en este caso la sierra central del Perú, de esta forma la solución que más se apega a este modelo será la de un medio no cableado.

Cabe resaltar que cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y por ello no existe estándar alguno para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.¹³

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

De esta forma los niveles que se tendrían para el proceso de supervisión y adquisición de datos serían similares a los de una Red Industrial, como muestra la figura siguiente.

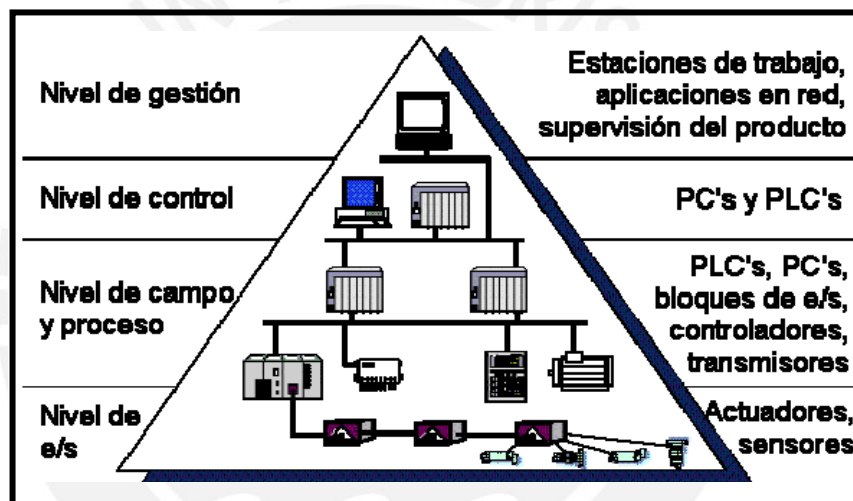


FIGURA 14. REDES INDUSTRIALES

Fuente: Del Castro Lozano, Carlos y Romero Morales, Cristóbal: "Interfaz Hombre Máquina"

Siendo la comunicación del tipo radio la propuesta para usar; se requerirá de un módem para cada estación, el cual modulará y demodulará la señal. Además debido a que la información que se transmitirá sobre el sistema SCADA es pequeña en su mayoría, entonces también la velocidad de transmisión de los módem tendrá que ser pequeña (aproximadamente entre 300 bps y 2.4 Kbps¹⁴).

¹³ Según Rodríguez Penin, Antonio: "SISTEMAS SCADA"

¹⁴ Según data promedio de envío y recibo, información proporcionada por ELECTROPERU S.A.

2.3.1.1 Protocolo de comunicación MODBUS

El protocolo típico y más usado en sistemas de telemetría SCADA es el MODBUS, es por ello la importancia de tal en este proyecto.

Este protocolo fue desarrollado desde sus inicios para permitir la comunicación entre PLCs (Controladores Lógicos Programables); las principales razones por la cual este protocolo es preferido ante los otros son las siguientes:

- Es público
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo
- Maneja bloques diferentes de datos

El protocolo MODBUS permite el control de una red de dispositivos, ya sea a través del PLC, HMI, RTU, drivers, sensores y actuadores remotos mencionados anteriormente como parte de cada una de las estaciones componentes de la Red. Los controladores de este protocolo se comunican usando una técnica Maestro – Esclavo, en la cual solo un dispositivo maestro puede iniciar transacciones llamadas peticiones, para que los dispositivos esclavos respondan suministrando al maestro el dato solicitado, o realizando la acción solicitada en la petición.

Este protocolo especifica el control de trama, secuencias y control de errores dependiendo del modo de configuración del controlador, ya sea del modo ASCII O RTU, siendo este último el recomendado para este proyecto de tesis. De esta forma los usuarios seleccionan el modo deseado, junto con los parámetros de comunicación del puerto serial (velocidad, paridad, etc.) durante la configuración de cada controlador (PLC ó RTU); cabe resaltar que el modo y los parámetros del puerto serial deben ser los mismos para todos los dispositivos conectados a la Red MODBUS.

Modo ASCII

Cuando los controladores son configurados en este modo, cada byte (8 bits) en un mensaje se envía como dos caracteres ASCII, además este modo usa para el control de errores una suma de control de redundancia longitudinal (LRC) y la principal ventaja de este modo es que permite intervalos de tiempo de hasta un segundo entre caracteres sin dar lugar a error.

Modo RTU

Cuando los controladores están configurados en este modo, cada byte (8 bits) en un mensaje contiene dos dígitos hexadecimales de 4 bits, a diferencia del modo ASCII, este modo finaliza la trama con un suma de control de redundancia cíclica (CRC) y su principal ventaja es que su mayor densidad de carácter permite mejor rendimiento que el modo ASCII para la misma velocidad.

Como dato extra es que existe una versión MODBUS/TCP que es muy semejante al modo RTU, pero establece la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Modo ASCII					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
:	2 bytes	2 bytes	N x 2 bytes	2 bytes	CR + LF

Modo RTU					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
Tiempo de 3 bytes	1 bytes	1 bytes	N x 1 bytes	2 bytes	

FIGURA 15. MODOS MODBUS

Fuente: Parra Quispe, Arturo: "Comunicación Industrial"

En cualquiera de los modos de transmisión serial (ASCII o RTU), un mensaje MODBUS es situado por el dispositivo que transmite en una trama que tiene un comienzo y un final conocido, los mensajes parciales pueden ser detectados y luego establecer errores como resultado. Los maestros tienen la capacidad de direccionar esclavos individualmente o puede generar un mensaje en modo difusión a todos los esclavos (hasta 63 esclavos, 00_H broadcast y 01_H – 3F_H) y estos devuelven el mensaje respuesta a las peticiones que les son direccionadas individualmente.

Este protocolo establece el formato para petición del maestro de la siguiente forma:

- Primero coloca en la trama la dirección del dispositivo esclavo (0 en la mayoría de los casos).
- Un código de función que define la acción solicitada.

- Luego cualquier dato para enviarse.
- Finalmente un campo de comprobación de error.

Resumiendo, en una Red MODBUS el código de función en la petición indica al dispositivo esclavo direccionado el tipo de acción a realizar y los bytes de datos contienen cualquier información adicional que el esclavo necesitará para llevar a cabo la función; y el código de función contenido en la respuesta es una réplica del código de función enviado en la petición, los bytes de datos contienen los datos recolectados por el esclavo, tales como valores de registros o estados y si ocurre un error, el código de función contenido en la respuesta es diferente al código de función enviado en la petición.

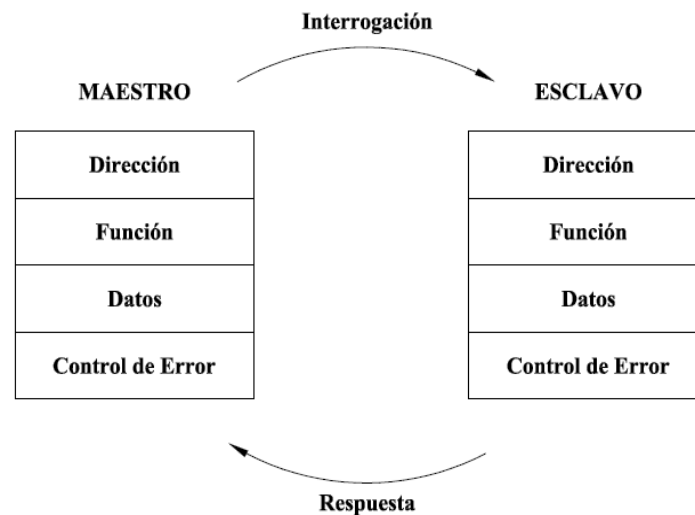


FIGURA 16. FORMATO DE TRAMAS MODBUS

Fuente: Parra Quispe, Arturo: "Comunicación Industrial"

Para mayores detalles se adjunta el ANEXO 2.3.1.1, que muestra una documentación extensa sobre el protocolo MODBUS.

2.3.2 Elementos de comunicación

De manera básica y general para este sistema de telemetría SCADA se necesita de lo siguiente:

- Medio de transmisión (aire)

- Equipo emisor que puede ser el MTU¹⁵.
- Equipo receptor que se puede asociar al RTU¹⁶.

En el cual tanto el MTU y el RTU serán los equipos terminales de datos DTE¹⁷, los módems serán los equipos de comunicación de datos DCE¹⁸ y el aire el medio de transmisión; con lo cual se requiere formar el esquema de conexión y comunicación siguiente:

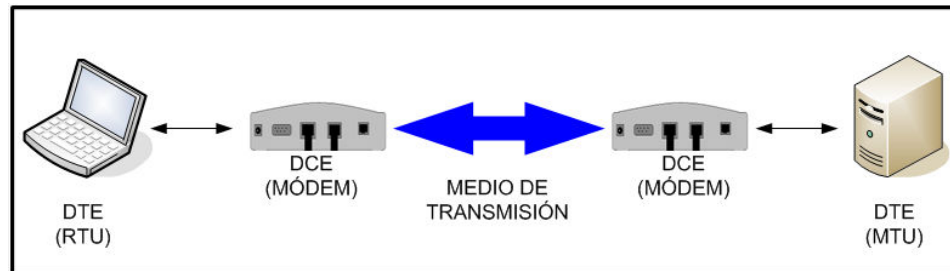


FIGURA 17. DIAGRAMA DE EQUIPOS A INTERCONECTAR E INTERFACES DE COMUNICACIÓN

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los DTE, son posibles de generar la señal que contenga la información a ser enviada, de la misma forma recibir, descifrar y extraerla, pero necesitan de una interfaz con el medio de comunicación, es por ello que se requiere de los DCE, los cuales son capaces de recibir la información de los DTE, hacer los cambios necesarios en la forma de la información, y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE.

2.3.3 Elementos del sistema SCADA

Un sistema SCADA esta conformado por:

- Interfaz Hombre-Máquina: Es el entorno visual que permitirá la interacción del ser humano con los equipos implementados y por ello que se adapte de forma rápida y sencilla a tales procesos.
- Unidad Central (MTU): Es la unidad maestra que se encargará de realizar la supervisión y control, programada, en base a los valores actuales de las

¹⁵ MTU: Master Terminal Unit

¹⁶ RTU: Remote Terminal Units

¹⁷ DTE: Data Terminal Equipments

¹⁸ DCE: Data Communication Equipment

variables medidas (nivel de agua, caudal, radiación solar, velocidad de viento, etc.). La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

- Unidad Remota (RTU): Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central.
- Sistema de Comunicaciones: Será el encargado de transferir la información desde el punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso, por ello estará compuesto de transmisores, receptores y medios de comunicación.
- Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa).

En la siguiente figura se observa un esquema referente a las conexiones del MTU y el operador, y del RTU con los dispositivos de campo (sensores, actuadores, etc.)

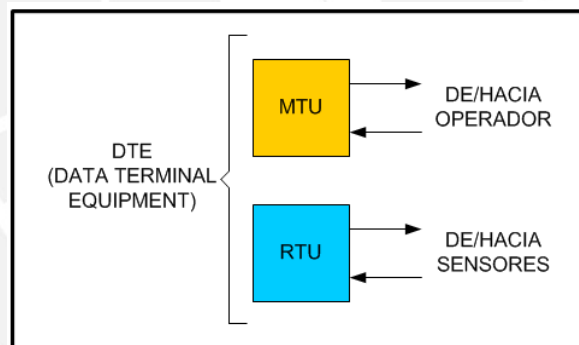


FIGURA 18. CONEXIONES MTU Y RTU

Fuente: Elaboración propia

La RTU es un sistema que cuenta con un microprocesador e interfaces de entrada y salida tanto analógicas como digitales que permiten tomar la información del proceso mediante los dispositivos de instrumentación y control en una localidad remota, para posteriormente utilizando técnicas de transmisión de datos, enviarla al sistema central. Un sistema puede contener varios RTU de tal forma es capaz de captar un mensaje direccionado hacia él, decodificarlo y responderlo si es necesario.

La MTU, bajo un software de control, permite la adquisición de la data a través de todas las RTU ubicadas remotamente y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido por el operador. La MTU también cuenta con equipos auxiliares como impresoras y memorias de almacenamiento, las cuales son también de este conjunto. En muchos casos la MTU debe enviar información a otros sistemas o computadoras. Estas conexiones pueden ser directas y dedicadas o en la forma de una red LAN.

La conexión entre la RTU y los dispositivos de campo es muchas veces realizada vía conductor eléctrico. Usualmente, la RTU provee la potencia para los actuadores y sensores, y algunas veces éstos vienen con un equipo de soporte ante falla en la alimentación de energía UPS (Uninterruptible Power Supply).

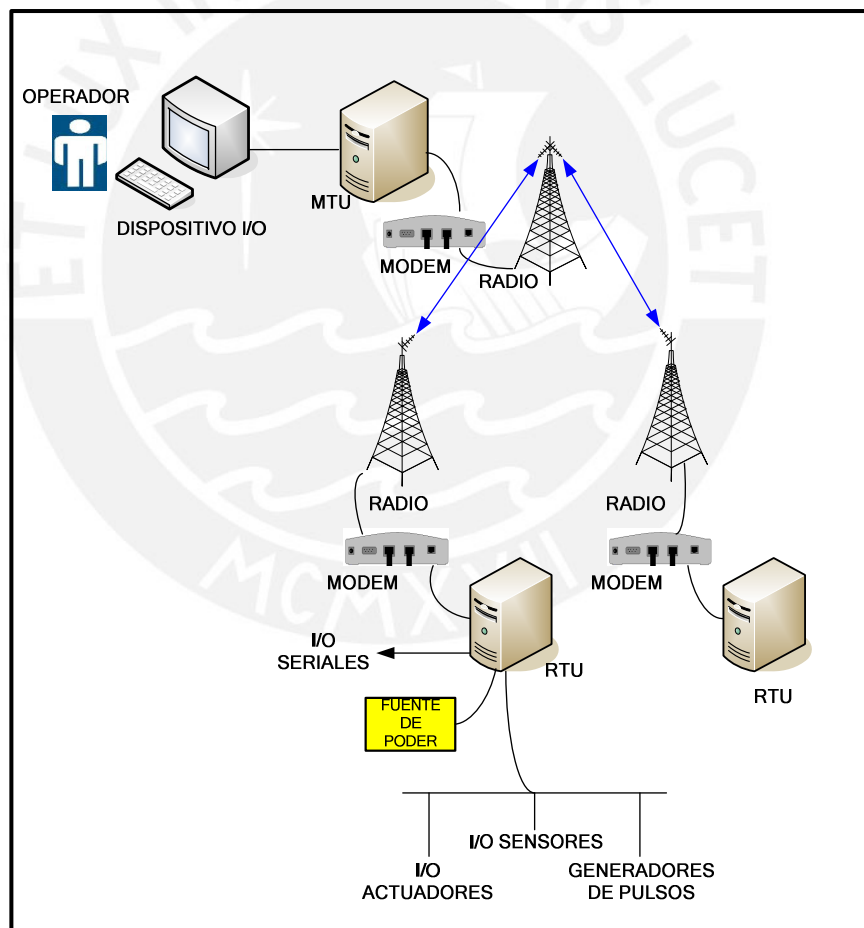


FIGURA 19. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA SCADA A USAR

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Aspectos Generales

Es importante tomar en cuenta la seguridad de las estaciones para estos tipos de proyectos, pues dada la ubicación tanto de las remotas como repetidoras sería fácil el robo de los equipos o demás componentes de las estaciones, por eso a continuación se muestran algunos requerimientos básicos para seguridad de las mismas y por ende de la empresa, tratando de evitar interrupciones en el monitoreo de información útil y por lo cual se hablaría también de pérdida de dinero:

- Los equipos deben estar en una caseta para ser protegidos de los diferentes cambios climatológicos de la zona.
- Se podría cercar las estaciones con paredes malladas y con una alarma de apertura de puerta para ser también monitoreado desde la ECC.
- Para evitar el robo de los paneles solares se debe considerar asegurarlos ya sea con refuerzos metálicos o embebidos en concreto, tomando en cuenta ventajas y desventajas; a continuación se presenta un cuadro comparativo de este caso.

CUADRO 1. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA PANELES SOLARES, DE METAL Y CONCRETO.

Metal	Concreto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dado las características de las estaciones, se puede deducir que por tener menos peso que el concreto sería más factible aplicarlos tanto en las estaciones lagunas como en las estaciones hidrometeorológicas, teniendo como problema el soporte en estaciones tales como repetidoras dado que estos paneles se encontrarían soportados en un poste metálico implicando mayor peso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por su dureza y firmeza pueden ser aplicables a las estaciones laguna ya que este tipo de protección dieron resultados óptimos en otros lugares con el prototipo símil a tales estaciones, siendo la diferencia fundamental y el factor que hace dejar de lado esta opción, el mayor peso como el que podrían proporcionar un sistema de protección con concreto a un techo poco robusto como el de

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las planchas y encajes que se usarán para los paneles se pueden hacer in situ o en la ciudad más cercana, teniendo así mayor facilidad y menos contratiempos, tales como factores ambientales adversos que son característicos en la zona de las estaciones. ▪ Un problema que presenta este tipo de material es también el peso pero en menor escala, siendo así también de suma importancia hacer un anclaje seguro tanto en el techo o postes metálicos para evitar robos aún teniendo esta protección solo en paneles. ▪ Se tiene que pintar con una pintura epóxica para evitar oxidaciones por las lluvias, además dejar franjas entre panel y metal para la dilatación y compresión en día y noche respectivamente. Esas franjas pueden ser cubiertas con una silicona estructural, especial para exposiciones a la intemperie. ▪ En ambos casos se necesita un estudio de cuan efectivos serán tales soluciones siendo posible el uso de ambos elementos en una misma estación. 	<p>las casetas a emplear.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ En otro punto, tal material puede ser usado para los refuerzos y soportes de los postes en las repetidoras y estaciones hidrometeorológicas, alrededor de la torre o poste, similares a los diseños hechos en torres de alta tensión. ▪ La construcción de supuestos diseños tendrían que hacerse obligatoriamente en la zona de trabajo, teniendo en cuenta que si se hicieran protecciones de este tipo se tendrían que construir columnas de concreto para el soporte de los bloques de concreto que protegerán a los paneles, siendo en el caso de estaciones hidrometeorológicas perjudiciales, pues éstas alterarían en cierta forma los datos recopilados por los sensores tanto de viento, de radiación solar, etc. ▪ En ambos casos se necesita un estudio de cuan efectivos serán tales soluciones siendo posible el uso de ambos elementos en una misma estación.
--	--

Fuente: Elaboración propia

- Todas las estaciones deben contar con pararrayos debido a que la zona es lluviosa, tales deben ser de preferencia tetra puntales (pararrayos Franklin) para una mejor atracción del rayo y tener un buen sistema de pozo a tierra en base a la resistividad de suelos en tales zonas (Ver Anexos referenciales 2.3.2 y 2.3.3).



Capítulo 3 Ingeniería del Proyecto

3.1 Alternativas para los medios de transmisión.

En este punto se hará primero un cuadro comparativo de diferentes alternativas tecnológicas que se podrían usar; y posteriormente en base a ello escoger las que mejor se apegan a los requerimientos y necesidades del diseño de Red, como por ejemplo lo ya mencionado en el punto 2.2.1 (flujo de información a transmitir).

CUADRO 2. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Parámetros	WIMAX	WIFI	UHF	VHF
Estándar	802.16	802.11a/g/n		
Frecuencia	3.5 y 5.8 GHz inicialmente	2.4 y 5 GHz	300 - 3000 MHz	30 - 300 MHz
Velocidad pico de subida	6.1 - 9.4 Mbps	54 Mbps usando 802.11a/g y más de 100 Mbps usando 802.11g	9600 bps	4800 bps
Velocidad pico de bajada	3.3 - 6.5 Mbps		4800 bps	2400 bps
Ancho de Banda (BW)	3.3 y 3.5 MHz en 3.5 GHz y 10 MHz en 5.8 GHz	20 MHz en 802.11a/g y 20/40 MHz en 802.11n	25 MHz	20 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	MSK, GMSK, DRCMSK	FM, 4FSK

Parámetros	Satelital			Fibra Óptica
	VSAT	INMARSAT	GOES	
Capacidad	BW limitado	BW limitado	BW limitado	Gran capacidad, orden de Gbps por hilo y Tbps en total
Tamaño de antena	pequeño, mediano	pequeño	pequeño	NA (Cableado)
Transferencia	datos, voz y Video	datos, voz	datos meteorológicos	datos, voz y video
Velocidad	56 a 64 kbps	64 Kbps	2.048 Mbps	10 Gbps por fibra
Costo	bajo y mediano	bajo y mediano	libre	alto

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el cuadro anterior se propone a continuación tres alternativas de solución para este proyecto, teniendo así:

3.1.1 Solución solo satelital para todas las estaciones

Como documentación extra se presenta el Anexo 3.1.1, documento del SENAMHI sobre satélites meteorológicos, para brindar una breve información sobre los mismos, resaltando de tal el GOES¹⁹ que uno de los que se usará en este caso.

Como primera opción se puede pensar en usar solo sistemas satelitales los cuales permitan interconectar los puntos establecidos teniendo en cada estación remota el respectivo sistema satelital que le correspondería.

Para esto de acuerdo a las investigaciones realizadas y tomando en cuenta soluciones online de casos de envío de información meteorológica como es el caso puntual de estaciones del SENAMHI²⁰ o del envío de data de remotas petroleras hacia un sistema de adquisición SCADA, etc., se ha considerado conveniente usar para el caso de la Red de estaciones hidrometeorológicas el sistema satelital GOES, con el satélite GOES 10 y no con el GOES 12, ambos para la zona sudamericana, que a pesar de ser este último más moderno que su predecesor, no brinda algunas informaciones o características como el otro mencionado; posteriormente se ahondará más en este punto; y para el caso de las EMC se usaría el sistema satelital INMARSAT D+²¹ debido a que se quiere una comunicación bidireccional, además el equipamiento a usar es de menor tamaño si se compara con una posible opción VSAT²² para este caso el cual requiere de una antena parabólica pequeña pero mayor a la de la solución INMARSAT, además siendo la solución VSAT más usada para telefonía satelital rural la cual no se considera primordial en este caso.

Entonces siendo este caso de solución solo satelital ya no existiría la Estación de Supervisión y Control (ESC) pues se enviaría y recibiría información desde el mismo punto de adquisición de la data en el caso de las estaciones remotas.

Es de esta manera que para una mejor información en cuanto a la elección del satélite GOES se cita una presentación hecha por la Dirección General de Meteorología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), en la cual se explica las ventajas y aplicaciones del satélite meteorológico GOES 10 teniendo:

¹⁹ GOES: **G**eostationary **O**perational **E**nvironmental **S**atellite

²⁰ SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

²¹ INMARSAT: International Maritime Satellite Organization

²² VSAT: Very Small Aperture Terminals

Satélite Meteorológico GOES:

“El **Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES)**, es una de las claves del programa estadounidense del National Weather Service "NWS" de la NOAA. Los datos de imágenes y de sonda del GOES son continuos y proveen una corriente de información ambiental para apoyar el pronóstico del tiempo, el seguimiento de tormentas severas, y para investigación en meteorología.”

Actividades Espaciales GOES:

Es importante saber cual es la reseña histórica de la puesta en marcha de cada satélite GOES, de esta manera se tiene lo siguiente, según la presentación mencionada hecha por el SENAMHI:

- GOES-10, lanzado el 25 de Abril, 1997. Movido a 60° W en apoyo al programa Earth Observation Partnership of the Americas (EOPA): 2 de Diciembre, 2006.
- GOES-11, lanzado el 3 de Mayo, 2000. Reemplaza al GOES-10 que enfocaba al Asia y USA. Convertido a GOES-West el 21 de Junio 2006.
- GOES-12, lanzado el 23 de Julio de 2001. Continúa operaciones desde 1 Abril de 2003.
- GOES-13, lanzado el 24 de Mayo de 2006.

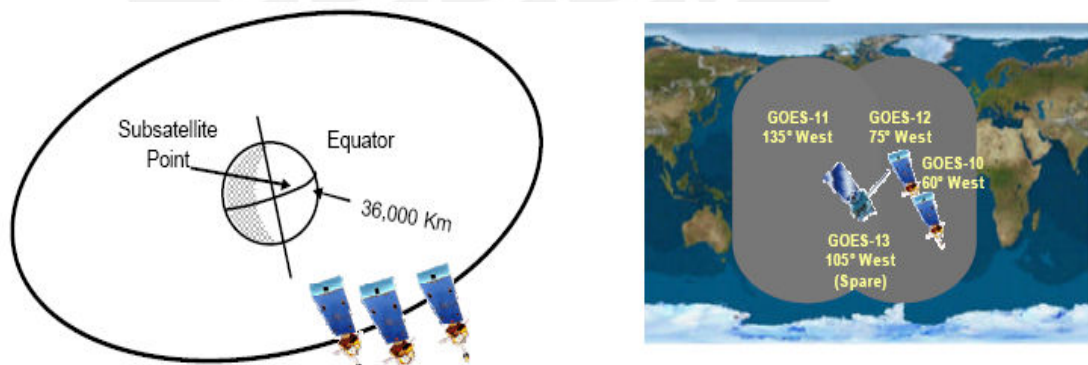


FIGURA 20. ACTIVIDADES ESPACIALES GOES

Fuente: PDF Estudios-GOES, SENAMHI

De estos satélites se ha hecho una diferencia entre GOES 10 y GOES 12 (ambos cubren todo el territorio sudamericano) para la recepción de una mejor información meteorológica aparte de la que se obtendrá desde la misma posición de la estación remota, sin embargo se debe tener en cuenta el precio de todo el sistema.



FIGURA 21. UBICACIÓN DEL SATÉLITE GOES 10 Y 12

Fuente: PDF Estudios-GOES, SENAMHI

A pesar de ello este proyecto de tesis brinda estas opciones a tomar en cuenta, algunas de estas diferencias las podemos ver en el cuadro siguiente:

CUADRO 3. DIFERENCIA ENTRE EL SATÉLITE GOES 10 Y GOES 12.

GOES 10	GOES 12
<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes cada 15 minutos • Sensor de sondaje • Mayor número de aplicaciones para pronóstico • Satélite Antiguo • Inclinación(Corregida por NOAA 60° W) • Apoyo de NOAA para uso del satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes cada media hora • No tiene sensor de sondaje • Menor número de aplicaciones de pronóstico • Satélite más nuevo • No se tiene apoyo para su utilización

Fuente: PDF Estudios-GOES, SENAMHI

Sistema satelital INMARSAT

En cuanto a la elección del satélite INMARSAT D+ el cual permite transmitir paquetes de información a un bajo costo, y justamente empleado para soluciones que contengan un sistema SCADA, como sistema de adquisición de datos, se podrá enviar y recibir información desde los lugares remotos en los cuales se encuentran las ESC.

INMARSAT D ofrece un servicio global de comunicaciones de datos utilizando equipos pequeños. El estándar D se divide en INMARSAT D e INMARSAT D+, ofreciendo el primero un servicio unidireccional mientras que el segundo ya un servicio bidireccional.

Además INMARSAT D+, integrado con GPS es ideal para seguimiento, búsqueda, intercambio de pequeños mensajes como recojo de datos medioambientales de lugares remotos y aplicaciones SCADA que es justamente lo que se usará en este caso.

Para mayor información sobre los estándares que presenta INMARSAT se muestra la siguiente tabla.

TABLA 11. ESTÁNDARES INMARSAT

ESTÁNDAR	SERVICIOS OFRECIDOS	VERSIONES
Inmarsat-A	Telefonía, fax, télex y datos a 9.6 Kbps datos hasta 64 Kbps - High Speed Data (HSD); servicio analógico.	Marítima Terrestre
Inmarsat-B	Telefonía, fax grupo 3, télex datos hasta 64 Kbps - High Speed Data (HSD); servicio digital	Marítima Terrestre
Inmarsat-C	Datos a baja velocidad	Marítima Terrestre
Inmarsat-D/D+	Mensajería unidireccional (Estándar D) y bidireccional (Estándar D+)	Global
Inmarsat-E	Emergencia	Global
Inmarsat-M	Telefonía, fax grupo 3, datos	Marítima Terrestre

Inmarsat-P/Mini-M	Telefonía, fax grupo 3, datos	Global
Inmarsat-Aéreo	Telefonía, fax, datos	Aéreo

Fuente: Villaverde Gúlfas, Manuel y Gonzáles Pérez, Carolina: Curso “Sistemas de Comunicación Vía Satélite”

De lo explicado anteriormente, dada la solución solo satelital se tendría la siguiente distribución en toda la Red de telecomunicaciones mostrada en la tabla siguiente:

TABLA 12. SOLUCIÓN SATELITAL PARA TODAS LAS ESTACIONES

No	ESTACIÓN	TIPO	SOLUCIÓN SATELITAL
1	Tablachaca	ECC	GOES e INMARSAT
2	Chupuro	H	GOES
3	Angasmayo	P-H	GOES
4	Mejorada	M	GOES
5	Moya-Quillón	H	GOES
6	Chinche	H	GOES
7	Huaylacancha	EMC	INMARSAT
8	Carhuacocha	EMC	INMARSAT
9	Tembladera	EMC	INMARSAT
10	Azulcocha	EMC	INMARSAT
11	Vichecocha	EMC	INMARSAT
12	Yuracocha	EMC	INMARSAT
13	Ñahuincocha	EMC	INMARSAT
14	Pariona	EMC	INMARSAT
15	Calzada	EMC	INMARSAT
16	Cauillau	EMC	INMARSAT
17	Huarmicocha	EMC	INMARSAT
18	Paucará	EMC	INMARSAT
19	Llacsá	EMC	INMARSAT
20	Antacocha	EMC	INMARSAT
21	Tunsu	EMC	INMARSAT
22	Norma	EMC	INMARSAT
23	Huacracocha	EMC	INMARSAT
24	Lacsacocha	EMC	INMARSAT
25	Abascocha	EMC	INMARSAT

Fuente: Elaboración propia

A pesar de ser una solución factible el costo que demandaría el tener un sistema satelital por cada estación y en general por toda la Red, calculada aproximadamente en varios millones de dólares, supera las expectativas de cualquier empresa; por ello el proyecto no sería rentable, por ende esta opción no viene a ser una solución ideal.

3.1.2 Solución solo con radioenlaces UHF

Otra de las opciones para poder solucionar el problema es establecer un sistema de telecomunicaciones basado solo en radioenlaces UHF para cada estación, lo cual implicaría la instalación de varias estaciones repetidoras en lugares estratégicos para hacer posible la comunicación, distribuidos a lo largo y ancho de toda la cuenca hidrográfica hasta poder llegar al objetivo que sería la estación Central de Control. De ser este el caso implicaría en primer lugar una inversión económica demasiado alta sin contar con los costos de operación y mantenimiento para cada caso y lo dificultoso que sería emplear capital humano en tales zonas, ya que se conoce de la dificultad del terreno y el clima peruano en la serranía, además habría la posibilidad de perder información en el camino o un retardo enorme pues como se sabe el hecho de que hayan más repetidoras en el transcurso de la señal de un extremo a otro, provocará que ésta sea cada vez más débil, con lo cual se tendría que recurrir a equipos más potentes de transmisión; entonces esta tampoco sería una opción óptima para poder resolver tal necesidad o problema.

3.1.3 Solución combinada, satelital y radioenlaces UHF a la vez

Expuestas las soluciones anteriores, se puede recurrir a una tercera solución la cual vendría a ser la combinación de ambos sistemas de comunicación de tal manera que se logre una distribución conveniente y por ende una solución ideal para el proyecto.

De esta manera se tendría la siguiente distribución dadas las estaciones y sus ubicaciones correspondientes:

TABLA 13. SOLUCIÓN SATELITAL Y RADIOENLACES UHF

No	ESTACIÓN	TIPO	SOLUCIÓN SATELITAL	SOLUCIÓN UHF
1	Tablachaca	ECC	GOES e INMARSAT	---
2	Chupuro	H	GOES	---
3	Angasmayo	P-H	GOES	---
4	Mejorada	M	GOES	---
5	Moya-Quillón	H	GOES	---
6	Chinche	H	GOES	---
7	Huaylacancha	ESC	INMARSAT	UHF
8	Huaylacancha	EMC	---	UHF
9	Carhuacocha	EMC	---	UHF
10	Tembladera	EMC	---	UHF
11	Azulcocha	EMC	---	UHF
12	Vichecochoa	ESC	INMARSAT	UHF
13	Vichecochoa	EMC	---	UHF
14	Yuracocha	EMC	---	UHF
15	Ñahuincocha	EMC	---	UHF
16	Pariona	ESC	INMARSAT	UHF
17	Pariona	EMC	---	UHF
18	Calzada	EMC	---	UHF
19	Caullau	EMC	---	UHF
20	Huarmicocha	EMC	---	UHF
21	Paucará	EMC	---	UHF
22	Llacsá	EMC	---	UHF
23	Antacocha	EMC	---	UHF
24	Tunsu	EMC	---	UHF
25	Norma	EMC	---	UHF
26	Huacracocha	ESC	INMARSAT	UHF
27	Huacracocha	EMC	---	UHF
28	Lacsacocha	EMC	---	UHF
29	Abascochoa	EMC	---	UHF

Fuente: Elaboración propia

Ahora cabe la posibilidad también de desarrollar un sistema de radioenlaces en VHF en vez de UHF, pues como se sabe las ondas que viajan en VHF pueden difractarse

y pasar obstáculos sin la necesidad de tener completamente línea de vista además de saber que a menor frecuencia mayor distancia de alcance, a diferencia de UHF la cual usa más el multicamino o rebote y el cual si requiere tener línea de vista. Pero así como presenta “ciertas ventajas” esta también presenta la desventaja de requerir equipos de transmisión y recepción más potentes y por ende antenas de mayor tamaño y peso, lo cual no es recomendable pues se busca minimizar el esfuerzo humano y dar una solución más práctica dadas las condiciones geográficas y climatológicas en las cuales serán establecidas las estaciones, por eso buscar antenas pequeñas es lo más idóneo; además se ha encontrado en su mayoría por no decir en su totalidad antenas en frecuencias UHF tanto como para transmisión y recepción exclusivas para el uso en un sistema de telemetría y telecontrol SCADA, el cual es el sistema de adquisición de datos de la ECC; mas no en VHF.

A pesar de ello se cree considerable hacer el análisis de ingeniería en el software Radio Mobile tanto en UHF como en VHF, para poder ver cuales son las variaciones en estos casos.

3.2 Topología de la red UHF

A continuación se mostrarán los pasos seguidos para poder desarrollar el sistema de radioenlaces en este caso en UHF; para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Primero que nada se establece las ubicaciones geográficas de las estaciones (latitud sur y longitud oeste), como se muestra en la siguiente figura.

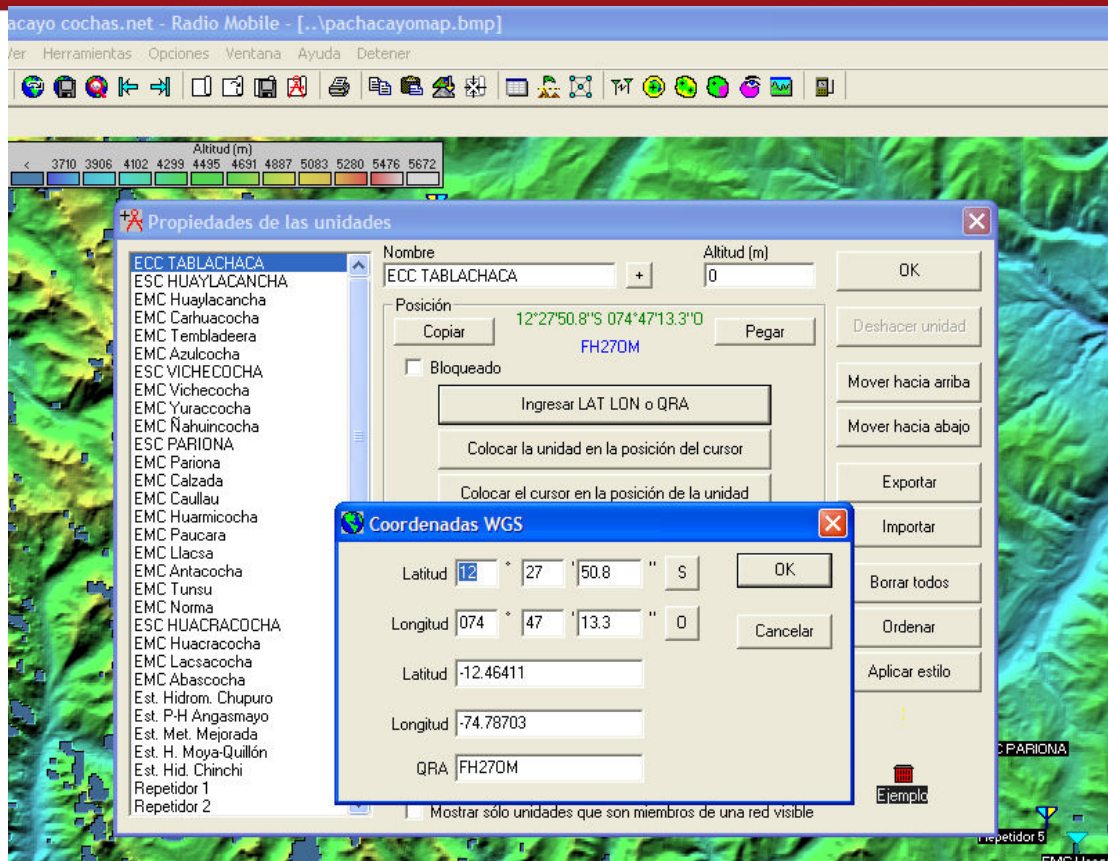


FIGURA 22. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ESTACIONES A INTERCONECTAR

Fuente: Elaboración propia

- Luego se establecen las redes, en este caso se agrupó por subcuencas, considerando el rango de frecuencias UHF entre 380 y 512 MHz ya que los equipos encontrados, posibles a usar, para este caso trabajan en tales frecuencias; además de los demás parámetros ya establecidos por el software para un caso óptimo e ideal.

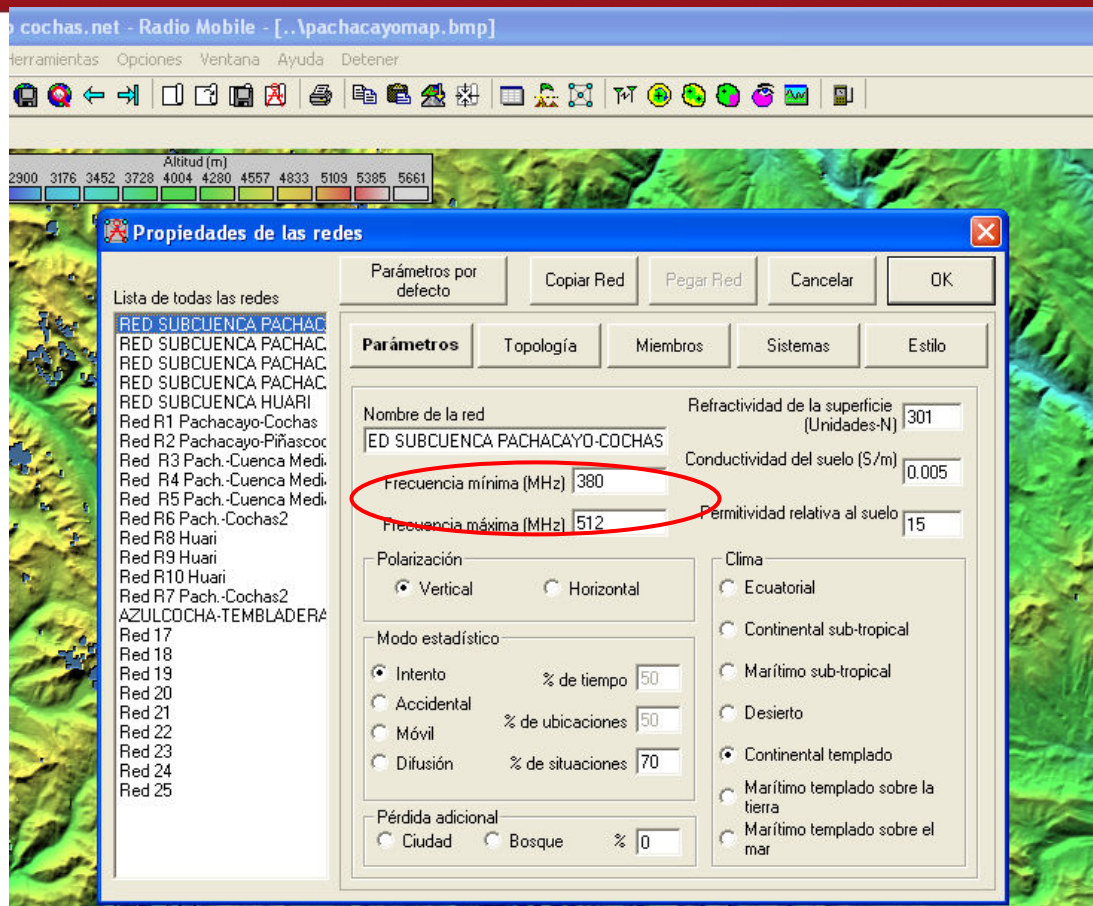


FIGURA 23. PROPIEDADES DE LAS REDES-PARÁMETROS

Fuente: Elaboración propia

- La topología a usar es del tipo estrella pues toda la data de la EMC será dirigida hacia la ESC respectiva, por lo cual se estableció como lo mostrado en la siguiente figura.

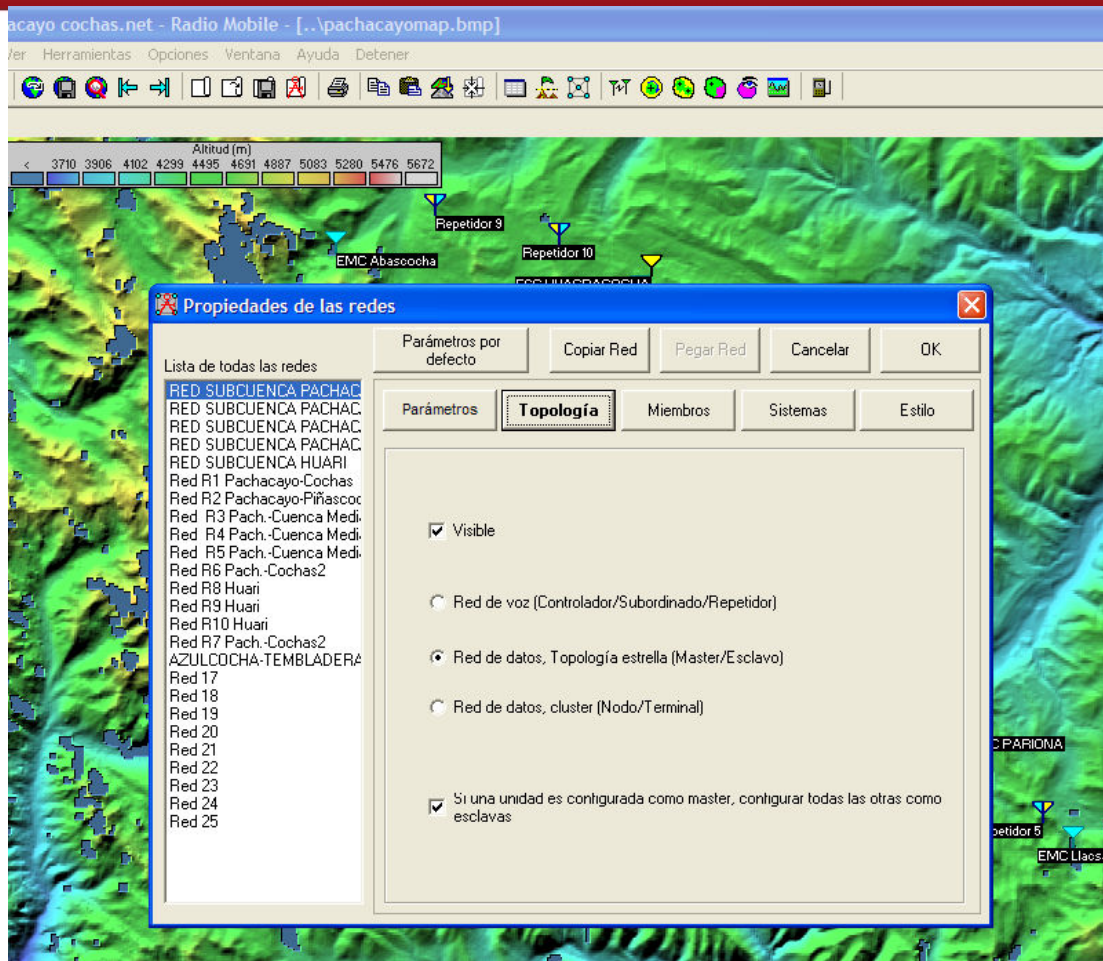


FIGURA 24. PROPIEDADES DE LAS REDES-TOPOLOGÍA

Fuente: Elaboración propia

- Luego se selecciona a los miembros los cuales conformarán esa red, diferenciándolos entre MAESTRO (estación a la cual se dirigirán todos los datos en un sentido) y ESCLAVO (estación de la cual salen los datos hacia la estación maestra), también se varía por cada miembro que tenga antena direccional el azimut del patrón de la antena según sea el caso, para de esta forma optimizar el radioenlace y hacer ideal la red.

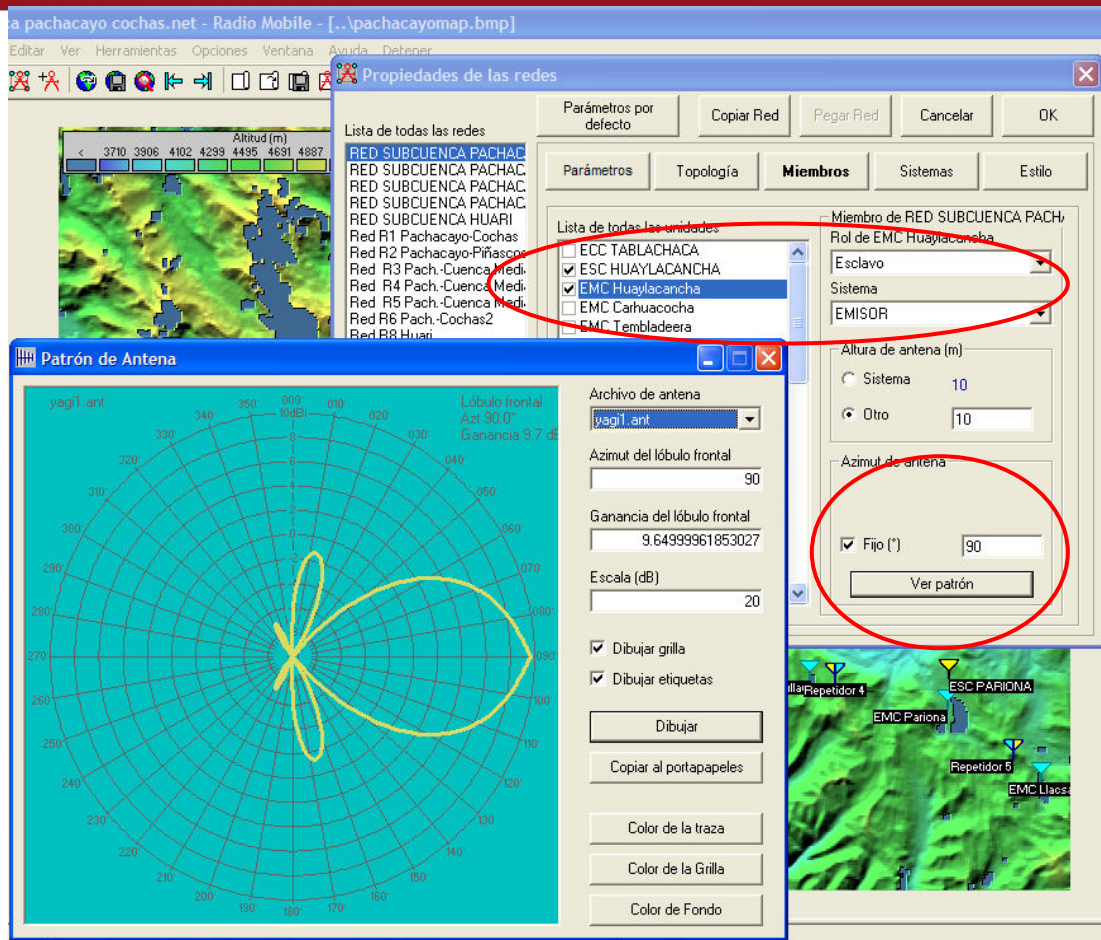


FIGURA 25. PROPIEDADES DE LAS REDES-MIEMBROS

Fuente: Elaboración propia

- A continuación se establecieron dos tipos de sistemas uno EMISOR, el cual será en caso de que la estación sea la que envíe en ese momento la data , y el otro RECEPTOR, el cual será el caso en que la estación reciba la data en ese momento. Una estación puede ser emisor y receptor a la vez; y para este tipo se ha considerado en el caso de que la estación sea emisora una antena directiva tipo Yagi específicamente la YAGI UHF 5000-0030 de la compañía proveedora SUTRON, y para el caso de que la estación sea receptora una antena omnidireccional específicamente OMNI UHF 5000-0040 de la misma compañía (las hojas técnicas de ambas antenas son mostradas en el ANEXO 3.4.6). Con lo cual se ha considerado para este siguiente punto los datos de frecuencia, ganancia, potencia de transmisión, etc. de las antenas mencionadas para el análisis de ingeniería.

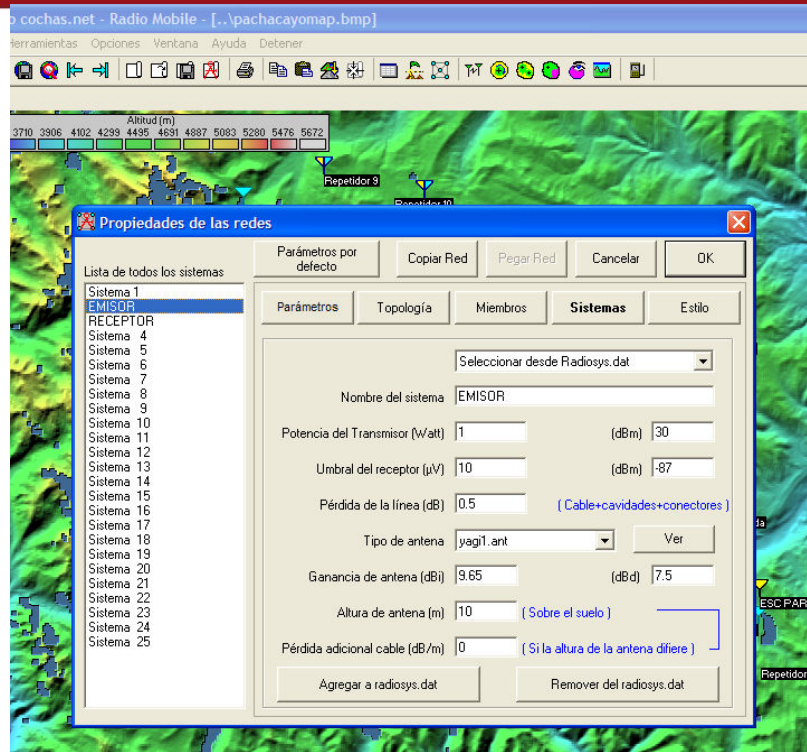


FIGURA 26. PROPIEDADES DE LAS REDES-SISTEMAS(Emisor)

Fuente: Elaboración propia

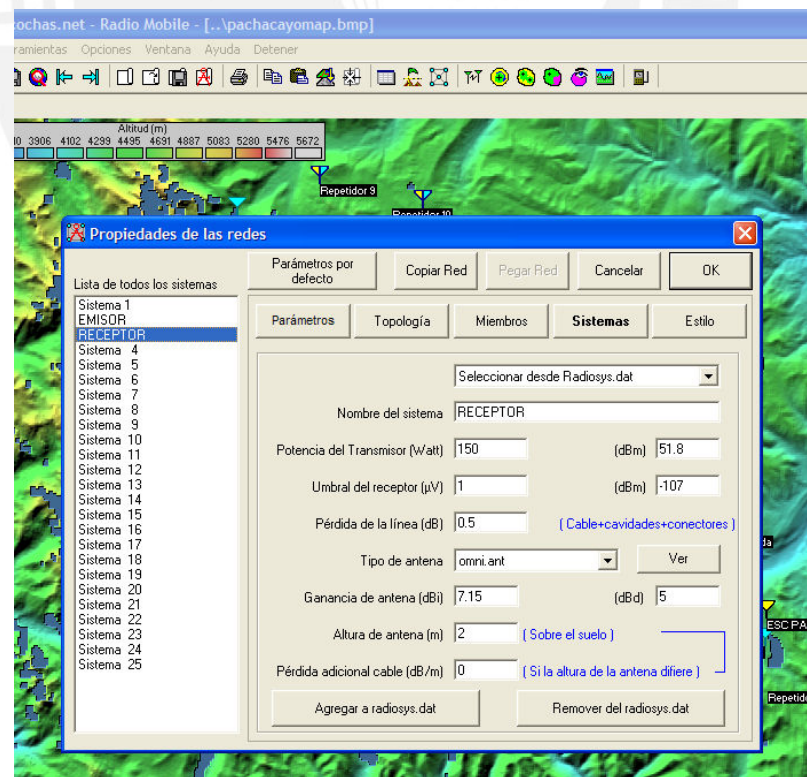


FIGURA 27. PROPIEDADES DE LAS REDES-SISTEMAS(Receptor)

Fuente: Elaboración propia

- Por último se seleccionó los tipos de enlaces, el color verde indicará que se estableció el radioenlace correctamente y la señal llega de un extremo a otro, el color amarillo indica que se estableció el radioenlace pero la señal llega débil de un extremo a otro por causa de algún obstáculo interrumpiendo, y por ultimo el color rojo indica que no existe línea de vista por ende no llega la señal al receptor.

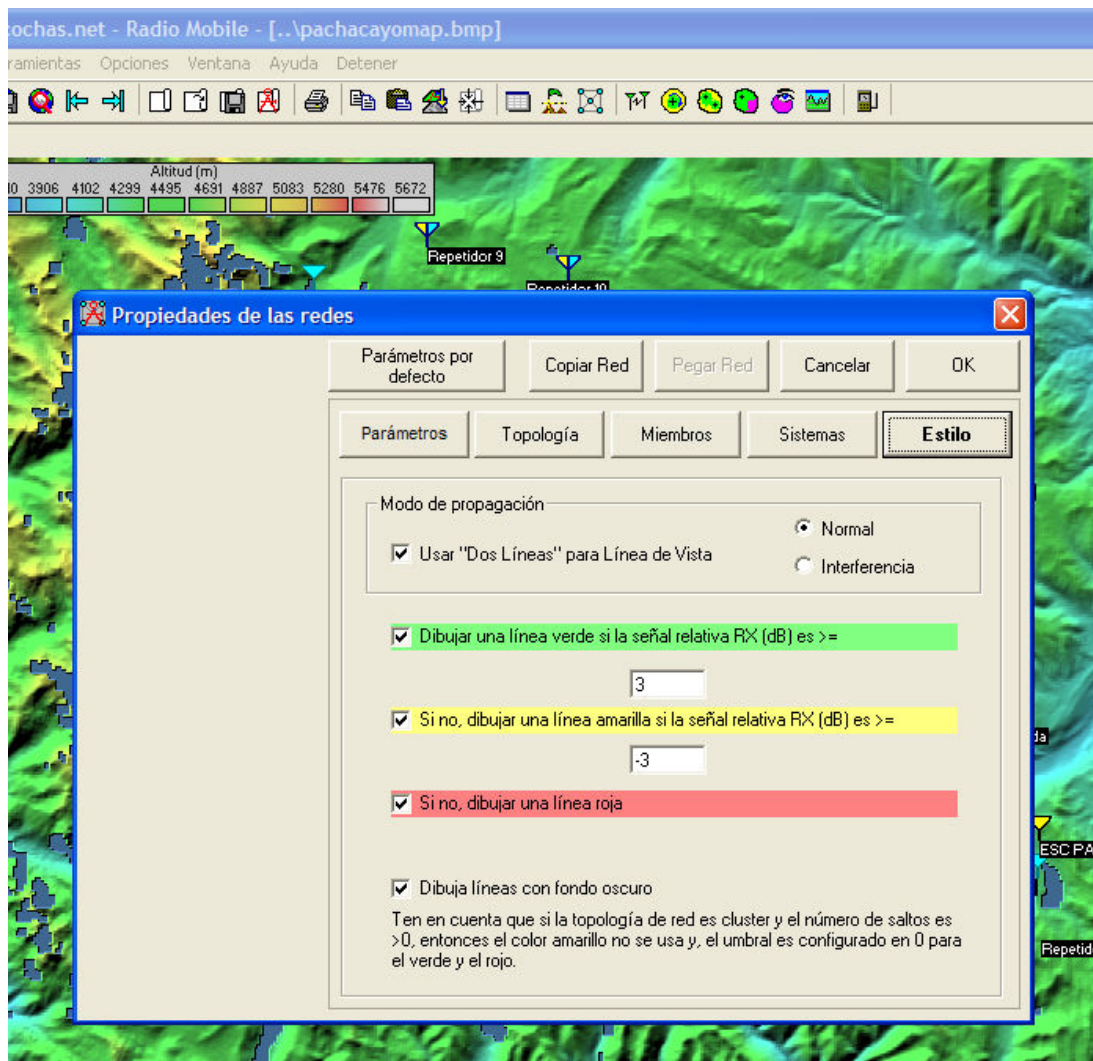


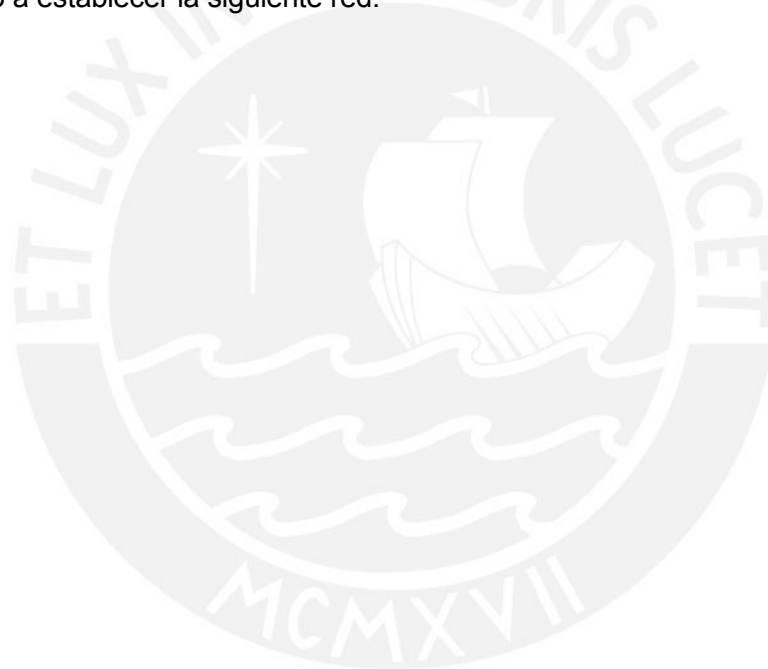
FIGURA 28. PROPIEDADES DE LAS REDES-ESTILO

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se establecieron las redes una por una y se buscó puntos geográficos claves en los cuales se establecerán las repetidoras respectivas para poder lograr la conectividad en algunos lugares; dado que en la mayoría de casos se ha encontrado

que no existe línea de vista directa por lo cual se tiene que recurrir a usar estos tipos de estaciones entre ambos extremos; pues lo que se quiere lograr en primera instancia es dirigir toda la información de un grupo de EMC a su respectiva ESC en cada subcuenca geográfica para luego por medio de un sistema satelital ya establecido y mencionado anteriormente dirigir esta información a la ECC.

La nueva Red de telecomunicaciones que se mostrará a continuación se ha hecho optimizándola al máximo es decir usando el menor número de repetidoras posibles para así generar una menor inversión y teniendo en cuenta parámetros ideales como pérdida por interferencias adicionales igual a cero(0), o pérdida por el cable si la altura de la antena es mayor igual a cero(0), permitividad del suelo 15 que es el promedio en este tipo de software, clima continental templado, etc. dado que este es un prototipo de proyecto y cuyo objetivo es lograr un radioenlace ideal, con lo dicho se logro a establecer la siguiente red.



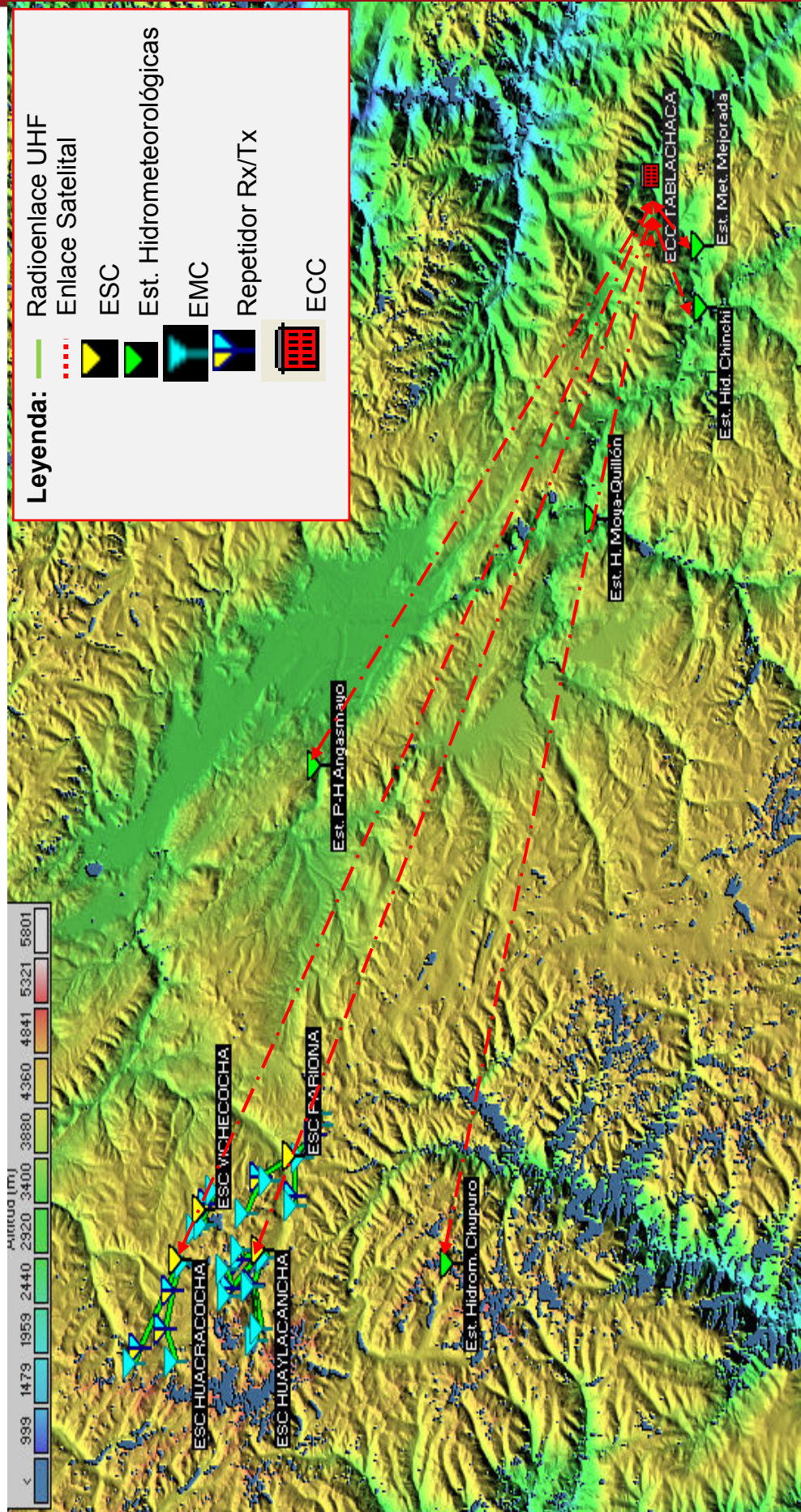


FIGURA 29. RADIOENLACES Y ENLACES SATELITALES HACIA LA ECC

Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Cochas

Ahora en la siguiente figura se muestra el sistema de telecomunicaciones UHF logrado para este grupo de estaciones en la subcuenca Pachacayo-Cochas con las ubicación de un repetidor en el caso de la subcuenca Pachacayo-Cochas 1 y de dos repetidores en el caso de la subcuenca Pachacayo-Cochas 2 la cual es una de las subcuencas con proyectos para sus lagunas en factibilidad actualmente. Para este único caso se ha considerado como única ESC para ambas subcuencas a la estación Huaylacancha dado la cercanía a las remotas para cada caso.

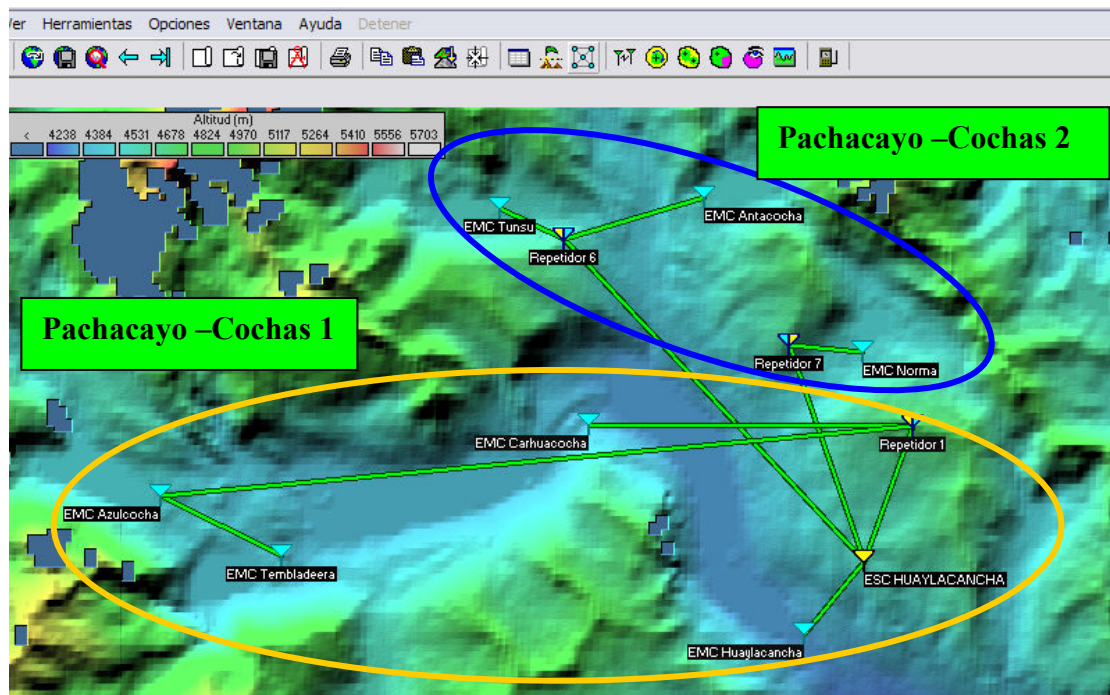


FIGURA 30. RADIOENLACE RED SUBCUENCA PACHACAYO-COCHAS

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los radioenlaces se han dado correctamente, pero debemos tener en cuenta el análisis de la zona de Fresnel para tener la certeza de que se está llegando correctamente de extremo a extremo, siendo este parámetro proporcionado por este software y que a continuación se mostrarán los obtenidos de cuatro remotas hacia la ESC.

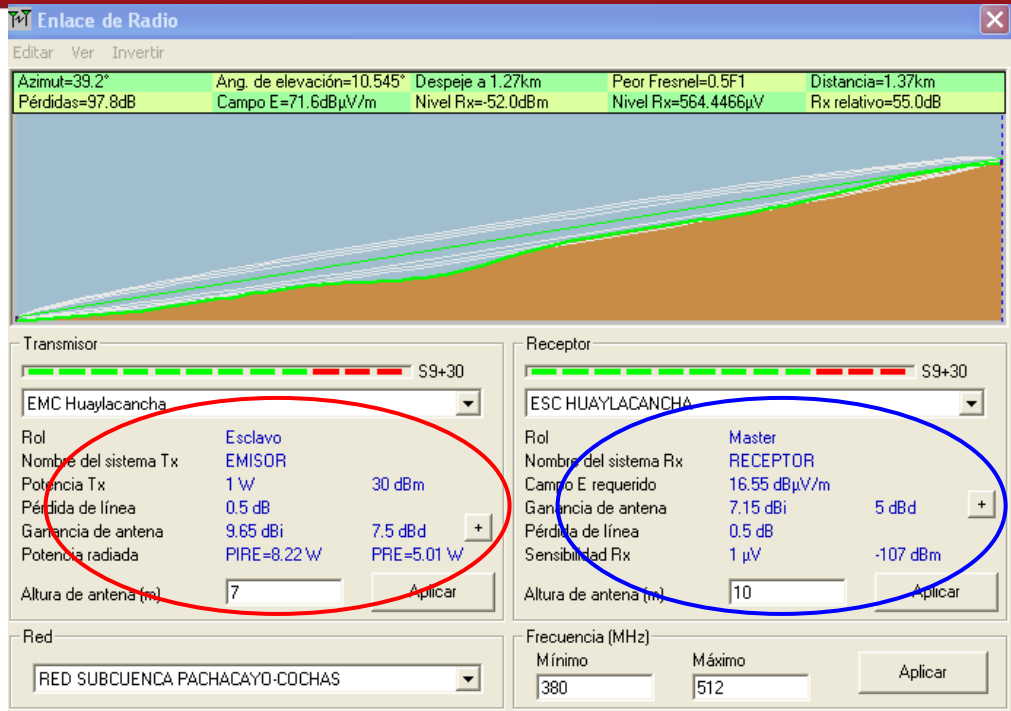


FIGURA 31. ZONA DE FRESNEL EMC HUAYLACANCHA - ESC HUAYLACANCHA

Fuente: Elaboración propia

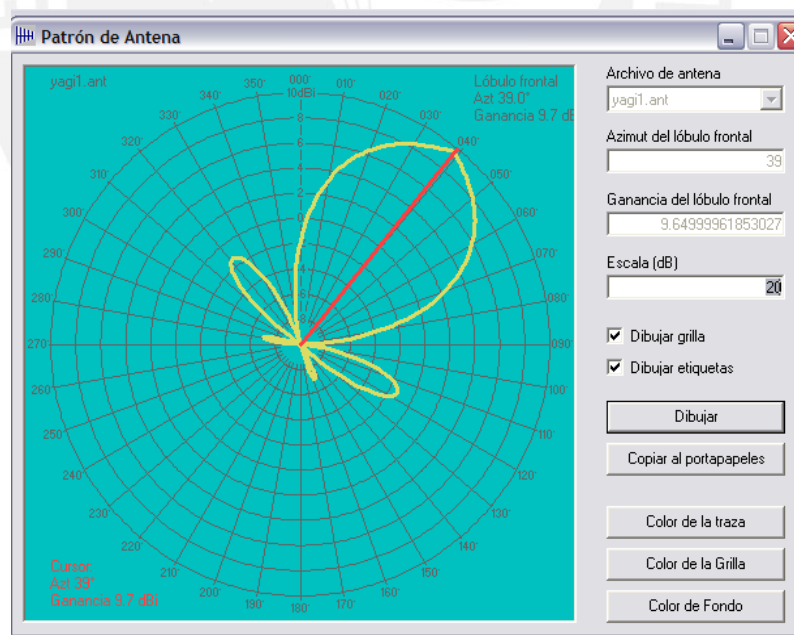


FIGURA 32. PATRÓN IDEAL, MODIFICADO PARA SU OPTIMIZACIÓN (EMC Huaylacancha - ESC Huaylacancha)

Fuente: Elaboración propia

De lo mostrado en la anterior figura, se puede observar que la elipsoide formada por la primera zona de Fresnel no presenta casi ningún obstáculo para interrumpirla por lo cual la onda viajará limpia y se dará una mejor transmisión, lo ideal es no tener obstáculos dentro de esta elipsoide formada en el viaje de la onda de extremo a extremo. También se ha direccionado el patrón como se muestra en la figura anterior, de tal manera que el radioenlace sea óptimo e ideal y que obtenga la ganancia máxima mostrada en la hoja de datos de la antena respectiva; de la misma forma se observan los demás parámetros con los cuales estaría trabajando el sistema en caso de que sea real y estuviese con las condiciones dadas como:

- Potencia de transmisión, que es la potencia en Watts a la cual emite la antena la señal.
- Pérdida de Línea, que en este caso sería la pérdida por conectores y cables (siendo 0.5 dB un valor bajo ideal).
- Ganancia de la antena, que es la ganancia de transmisión esperada en este caso por las antenas seleccionadas en dBd Dipolo (que es una medida de ganancia inferior a dBi)
- PIRE (Potencia isotrópica radiada efectiva), que simplemente es la potencia de transmisión más la ganancia menos la pérdida de línea.
- Sensibilidad del receptor, etc.
- Y un dato importante es que nos muestra cuanto puede ser la altura de la torre en la que irá la antena, en este caso se vio que es variable en la mayoría de radioenlaces, por lo cual se ha considerado un promedio general de aproximadamente 12 metros para asegurar una buena altura y evitar obstáculos para la zona de Fresnel.

En las figuras siguientes se muestran los demás enlaces obtenidos hacia la ESC para esta Subcuenca.

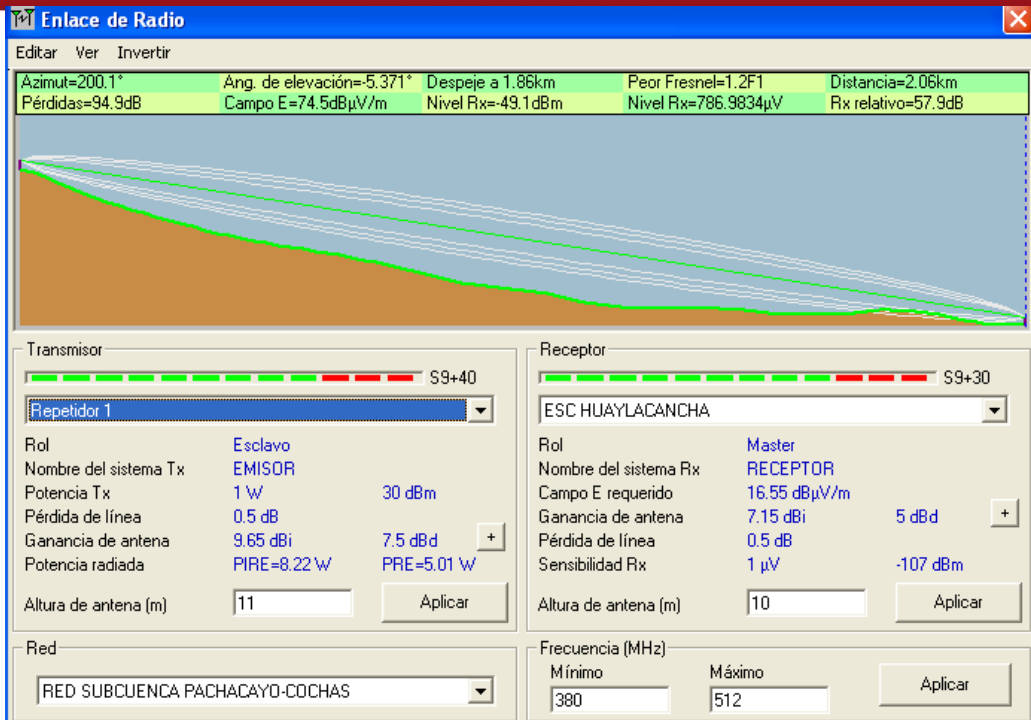


FIGURA 33. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 1 - ESC HUAYLACANCHA

Fuente: Elaboración propia

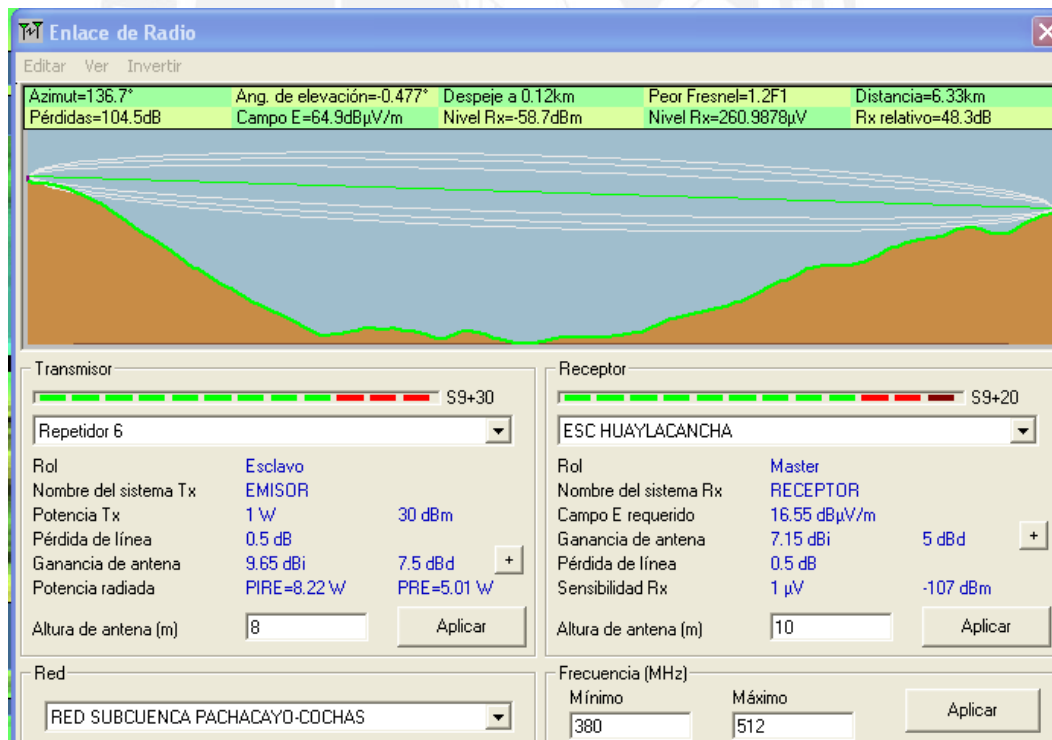


FIGURA 34. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 6 - ESC HUAYLACANCHA

Fuente: Elaboración propia

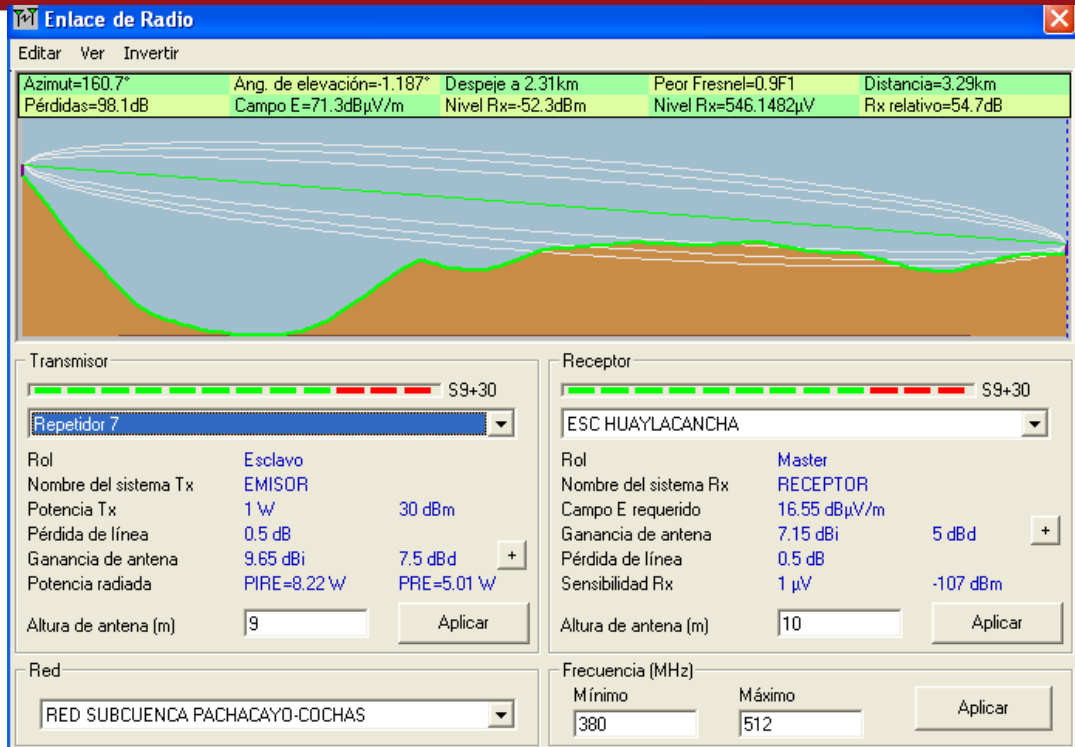


FIGURA 35. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 7 - ESC HUAYLACANCHA

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Piñascochas

Para esta subcuenca solo se ha considerado necesario una estación repetidora, la cual permitirá enlazar a las EMC Ñahuincocha y Yuracocha con la ESC Vichecocho, mientras que la EMC del mismo nombre se conectará directamente con tal como se puede ver en la siguiente figura.

También en las posteriores figuras se muestran las Zonas de Fresnel respectivas dado que es importante tener siempre en cuenta tal parámetro, además de modificar siempre la directividad del patrón de la antena con tal de obtener siempre enlaces óptimos con mayores ganancias y bajas pérdidas.



FIGURA 36. RADIOENLACE RED SUBCUENCA PACHACAYO-PIÑASCOCHAS

Fuente: Elaboración propia

Esquemas y parámetros logrados para estos enlaces vistos desde las respectivas zonas de Fresnel:

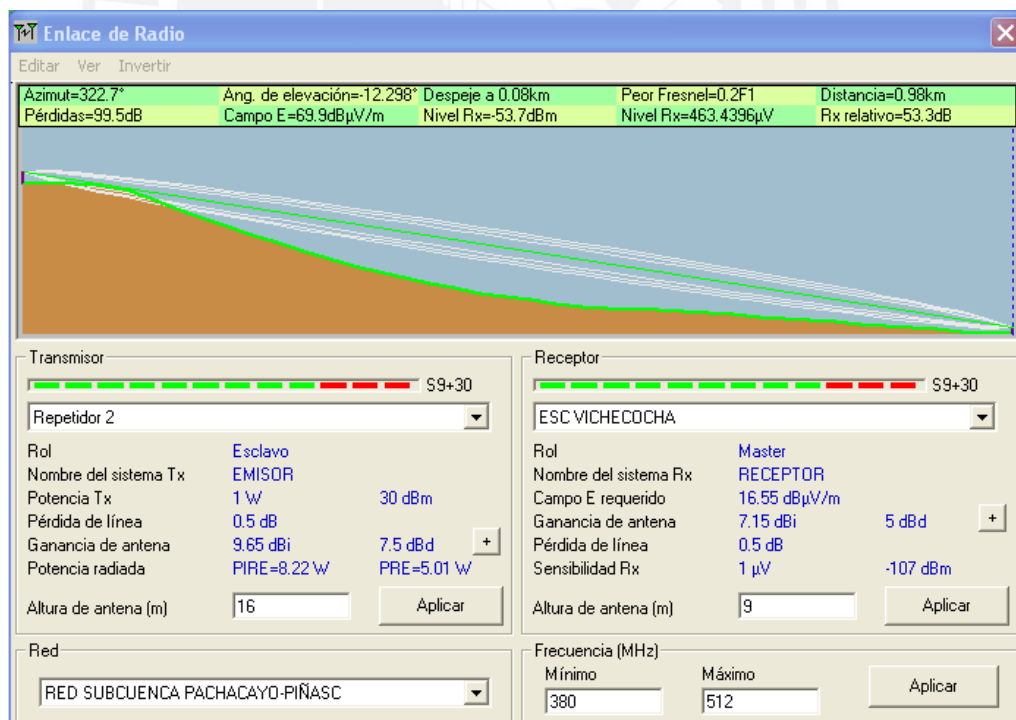


FIGURA 37. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 2 - ESC VICHECOCHA

Fuente: Elaboración propia

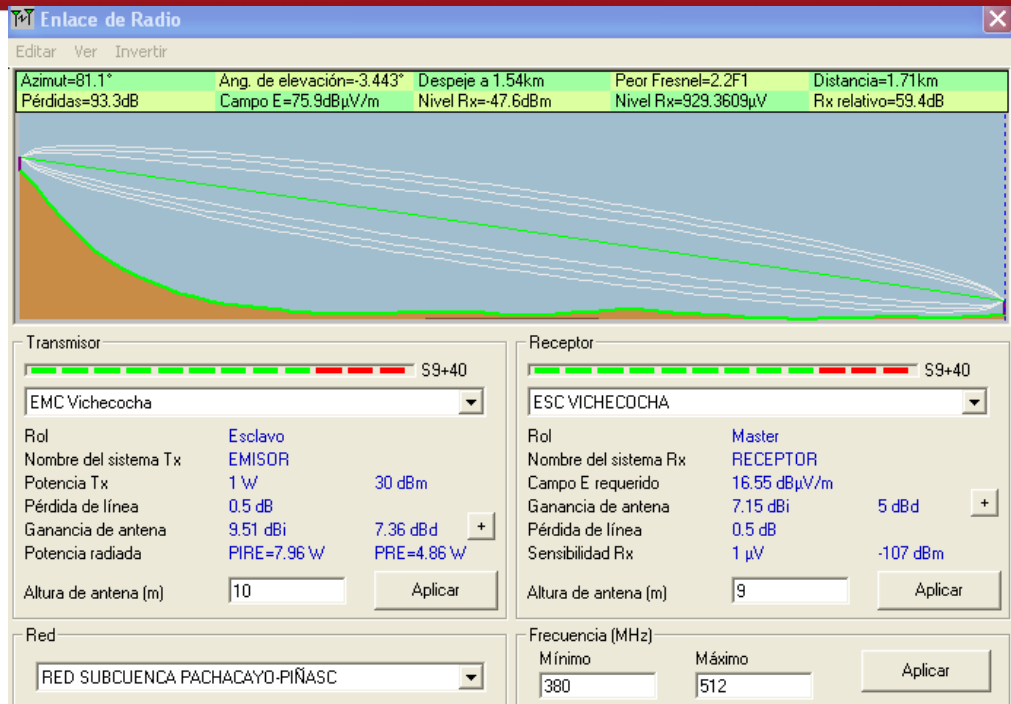


FIGURA 38. ZONA DE FRESNEL EMC VICHECOCHA - ESC VICHECOCHA

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Red UHF para la Subcuenca Pachacayo-Cuenca Media

Siendo esta una de las subcuencas con más estaciones, se ha necesitado de tres repetidoras dispuestas de tal manera que logren el radioenlace respectivo hacia la ESC Pariona, las cuales se pueden ver en la siguiente figura.

De la misma forma que en los casos anteriores, en las siguientes figuras se mostrarán las zonas de Fresnel respectivas hacia la ESC.

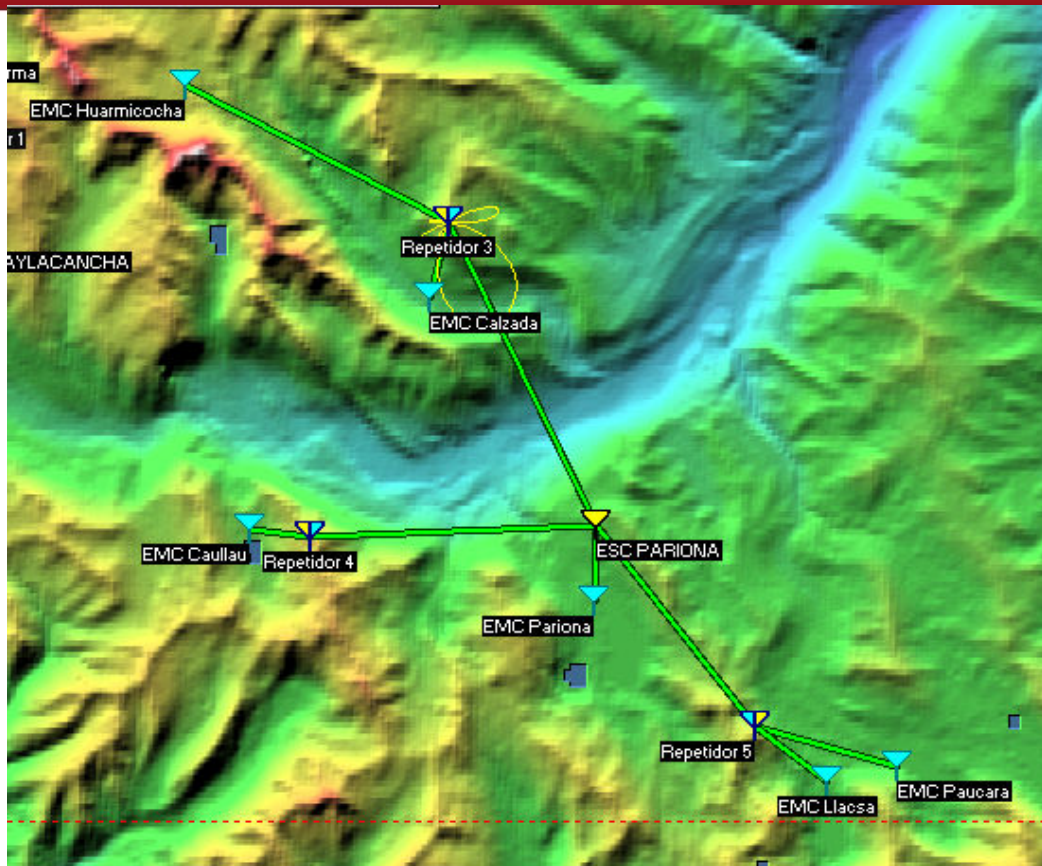


FIGURA 39. RADIOENLACE RED SUBCUENCA PACHACAYO-CUENCA MEDIA

Fuente: Elaboración propia

Es importante ver y tomar siempre en cuenta los datos que van saliendo al realizar estos radioenlaces, lo cual lo veremos como una especie de resumen en la gráfica capturada de las distintas zonas de Fresnel de cada punto a punto, dado que el software Radio Mobile permite optimizar el radioenlace, tenemos que variar así el azimut, tamaño de torre para la antena, etc. y de la misma forma luego poder ver datos como distancia de separación, ángulo de elevación de la antena y demás; sobretodo de redes relativamente grandes como este caso.

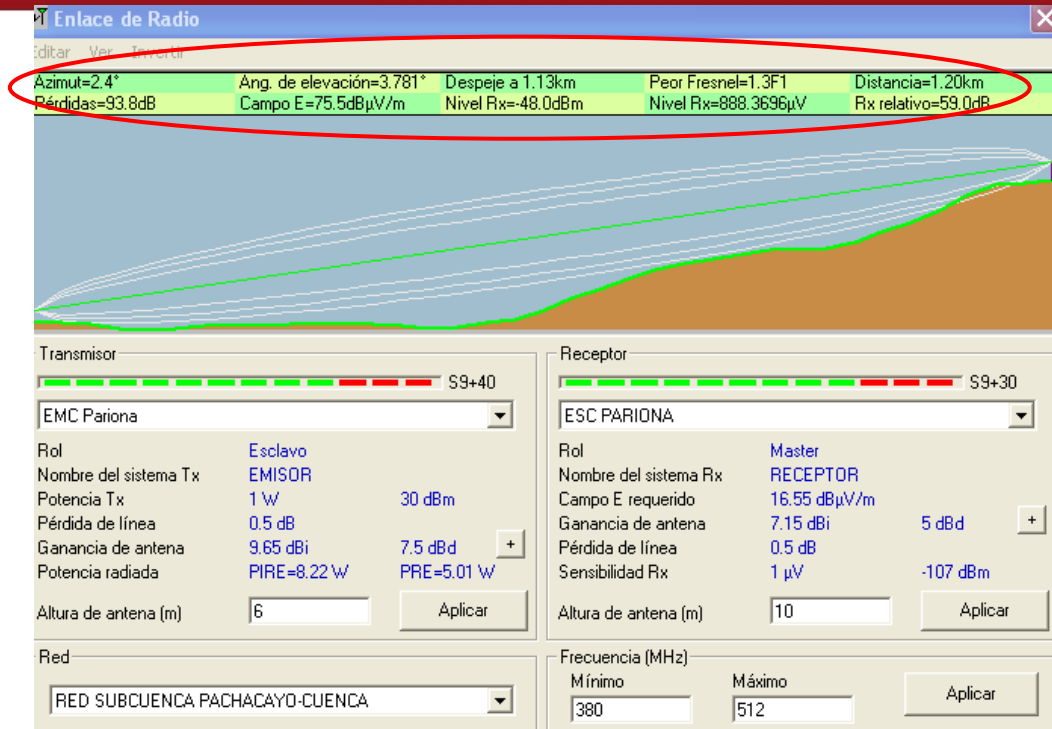


FIGURA 40. ZONA DE FRESNEL EMC PARIONA - ESC PARIONA

Fuente: Elaboración propia



FIGURA 41. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 3 - ESC PARIONA

Fuente: Elaboración propia

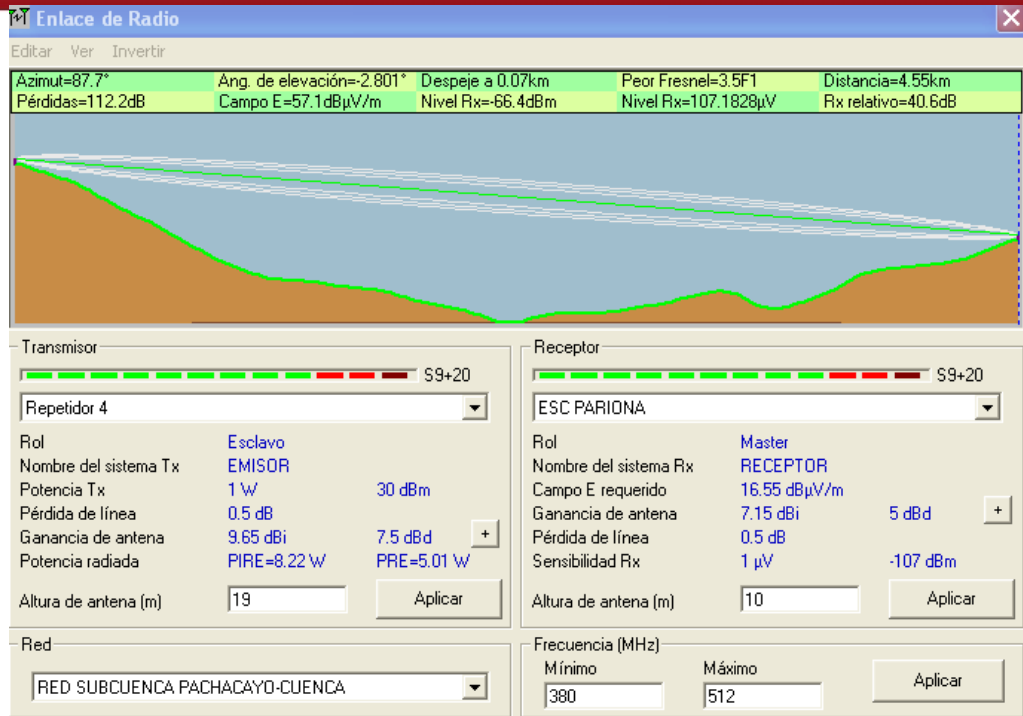


FIGURA 42. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 4 - ESC PARIONA

Fuente: Elaboración propia

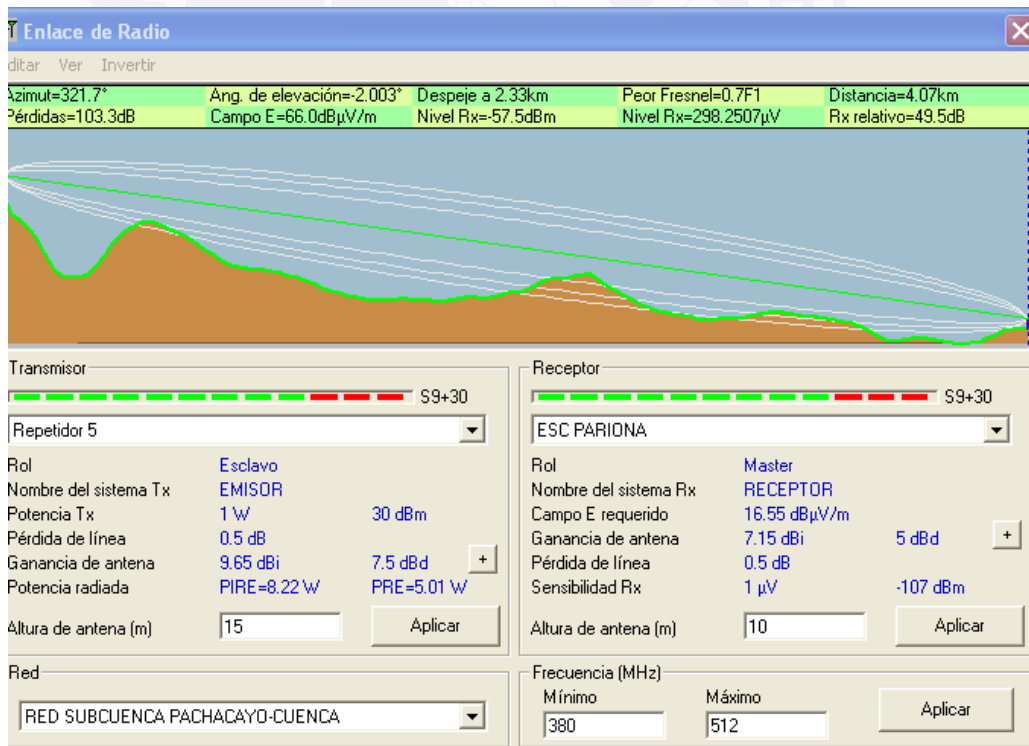


FIGURA 43. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 5 - ESC PARIONA

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Red UHF para la Subcuenca Huari

Por último se tienen los radioenlaces en la subcuenca Huari, la cual también presenta uno de los mayores números de estaciones con las tres repetidoras de por medio implementadas de las cuales necesariamente se ha considerado obligatorio dos repetidoras en línea de vista para un enlace punto a punto desde la EMC Abascocha a la ESC Huacracocho, no teniendo otra opción que implique un menor número de repetidoras en otras ubicaciones geográficas que no sean las mostradas en la siguiente gráfica.

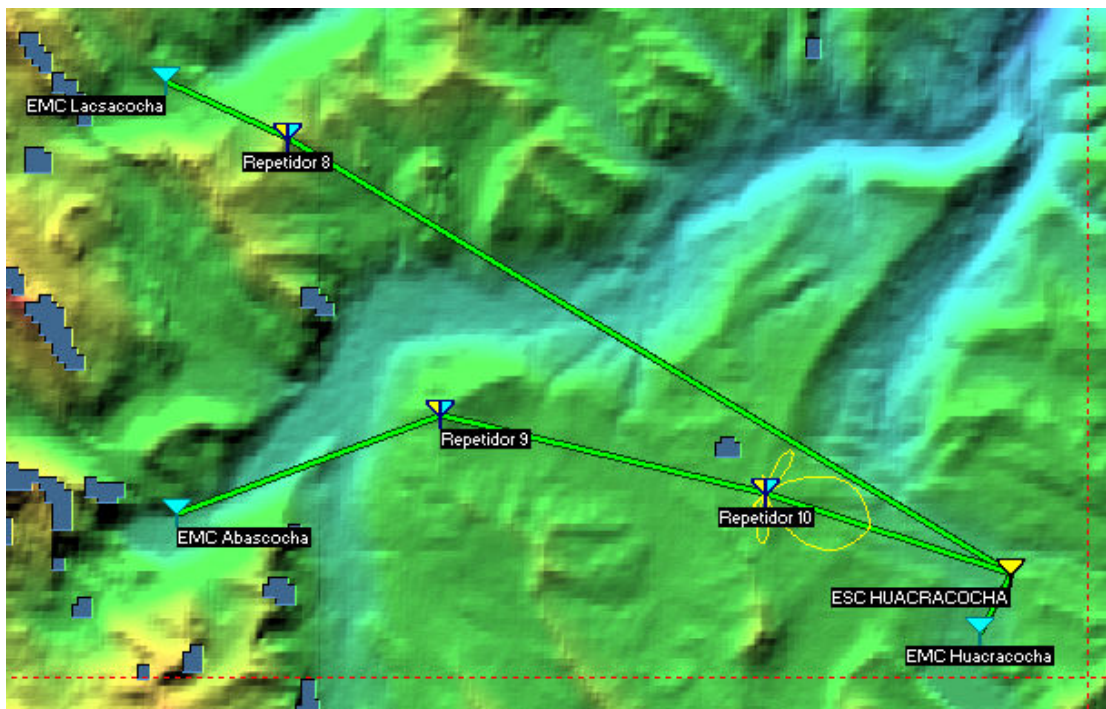


FIGURA 44. RADIOENLACE RED SUBCUENCA HUARI

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, en este caso fue necesario tener una solución que implicara el radioenlace entre dos repetidoras, repetidor 9 y repetidor 10, de por medio para dos objetivos remotos, lo cual implica una disminución pequeña en potencia para la llegada de la señal hasta el último extremo; pero este es el caso de solución óptima que permite resolver tal problema; la siguiente gráfica muestra el radioenlace entre estas repetidoras, resaltando además que las condiciones geográficas favorecen a una muy buena zona de Fresnel libre de interrupciones.

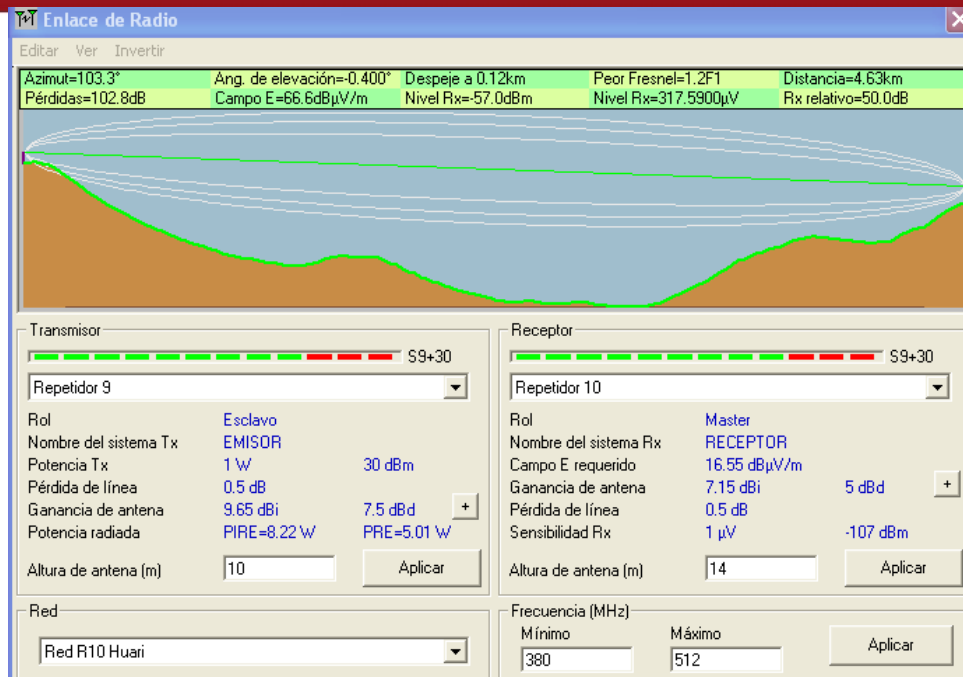


FIGURA 45. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 9 - REPETIDOR 10

Fuente: Elaboración propia

Ahora igualmente se pasa a mostrar el resto de radioenlaces punto a punto mostrados en las respectivas zonas de Fresnel todas dirigidas hacia la ESC Huacracocha.

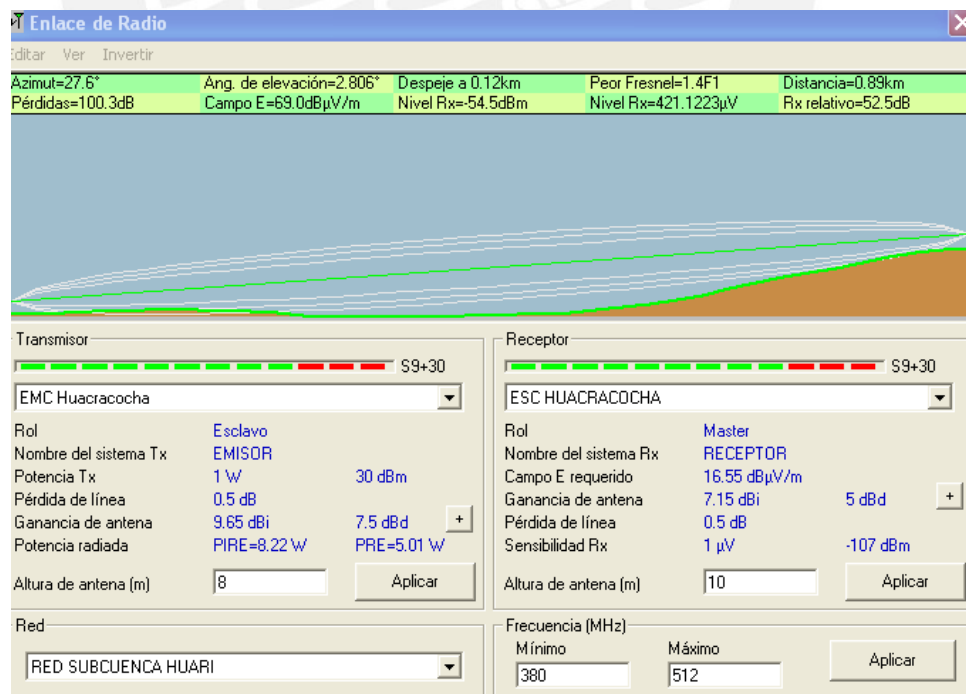


FIGURA 46. ZONA DE FRESNEL EMC HUACRACOCHA – ESC HUACRACOCHA

Fuente: Elaboración propia



FIGURA 47. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 8 - ESC HUACRACOCHA

Fuente: Elaboración propia

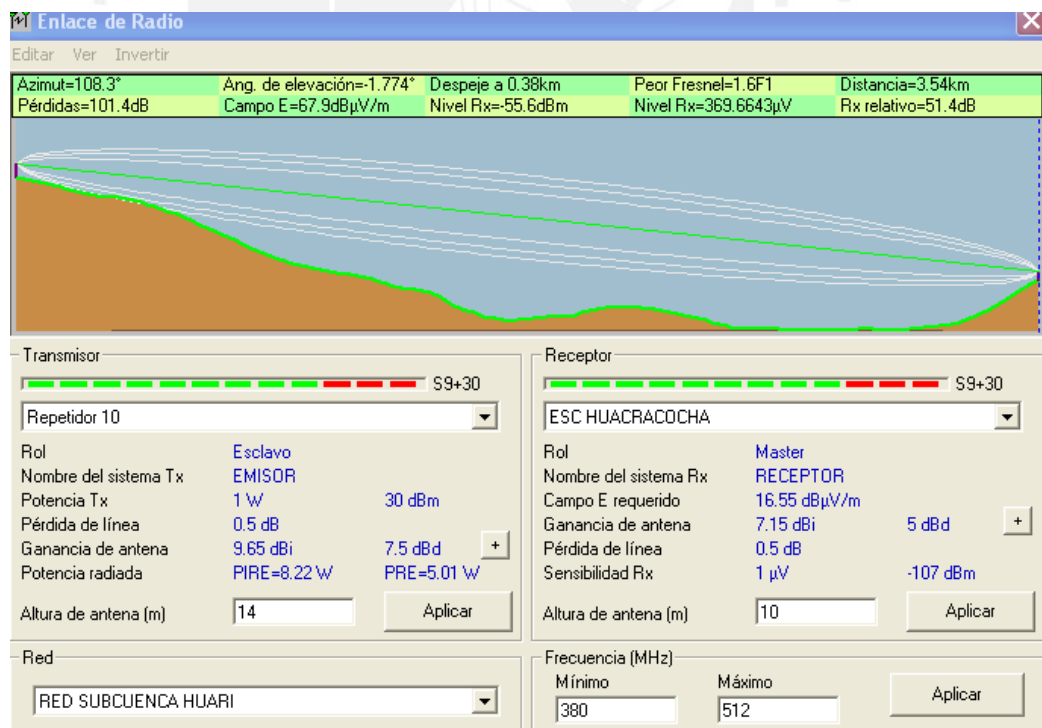


FIGURA 48. ZONA DE FRESNEL REPETIDOR 10 - ESC HUACRACOCHA

Fuente: Elaboración propia

En resumen, lo obtenido en cuanto a número y ubicaciones geográficas de las repetidoras, para hacer posible la Red de telecomunicaciones de cada subcuenca es lo mostrado en la tabla siguiente como un aporte para un óptimo **radioenlace UHF**.

APORTE PARA ÓPTIMO ENLACE

TABLA 14. REPETIDORAS A IMPLEMENTAR

No	Estación	Tipo	Cota (msnm)	Latitud S	Longitud W	Cuenca
1	Repetidor 1	R	4794.0	11°55'59.7"	75°53'42.2"	SUBCUENCA PACHACAYO - COCHAS
2	Repetidor 2	R	4683.1	11°52'44.3"	75°51'16.3"	SUBCUENCA PACHACAYO - PIÑASCOCHAS
3	Repetidor 3	R	4619.0	11°56'54.8"	75°49'37.2"	SUBCUENCA PACHACAYO - CUENCA MEDIA
4	Repetidor 4	R	4685.4	11°59'36.5"	75°50'49.2"	SUBCUENCA PACHACAYO - CUENCA MEDIA
5	Repetidor 5	R	4609.5	12°01'13.9"	75°46'55.1"	SUBCUENCA PACHACAYO - CUENCA MEDIA
6	Repetidor 6	R	4653.2	11°54'33"	75°56'29.3"	RED SUBCUENCA PACHACAYO-COCHAS 2
7	Repetidor 7	R	4669.9	11°55'21.9"	75°54'41.6"	RED SUBCUENCA PACHACAYO-COCHAS
8	Repetidor 8	R	4857.0	11°47'16"	76°00'14.5"	RED SUBCUENCA HUARI
9	Repetidor 9	R	4686.0	11°49'19.6"	75°59'05.4"	RED SUBCUENCA HUARI
10	Repetidor 10	R	4651.4	11°49'54.1"	75°56'36.5"	RED SUBCUENCA HUARI

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Red VHF omnidireccional para equipos móviles (camionetas)

En este caso se ha pensado también comunicar al personal que viajará en las camionetas de la empresa y el personal que se encuentra en las ESC mediante cobertura VHF, para diferenciarla de los enlaces UHF entre estaciones, la cual permitirá la comunicación móvil a distancias cercanas a las ESC en las diferentes subcuencas. Para lo cual se piensa contar con una antena omnidireccional VHF en la misma torre en las cuales van montadas el resto de antenas UHF en cada una de las ESC; el gráfico siguiente nos da una idea de la cobertura VHF aproximada que se tendrá en cada punto establecido, siendo la de color amarillo la cobertura de la ESC Huacracocho, la de color rojo la cobertura de la ESC Vichecocha, la de color celeste la cobertura de la ESC Huaylacancha y la de color verde la cobertura de la ESC Pariona.

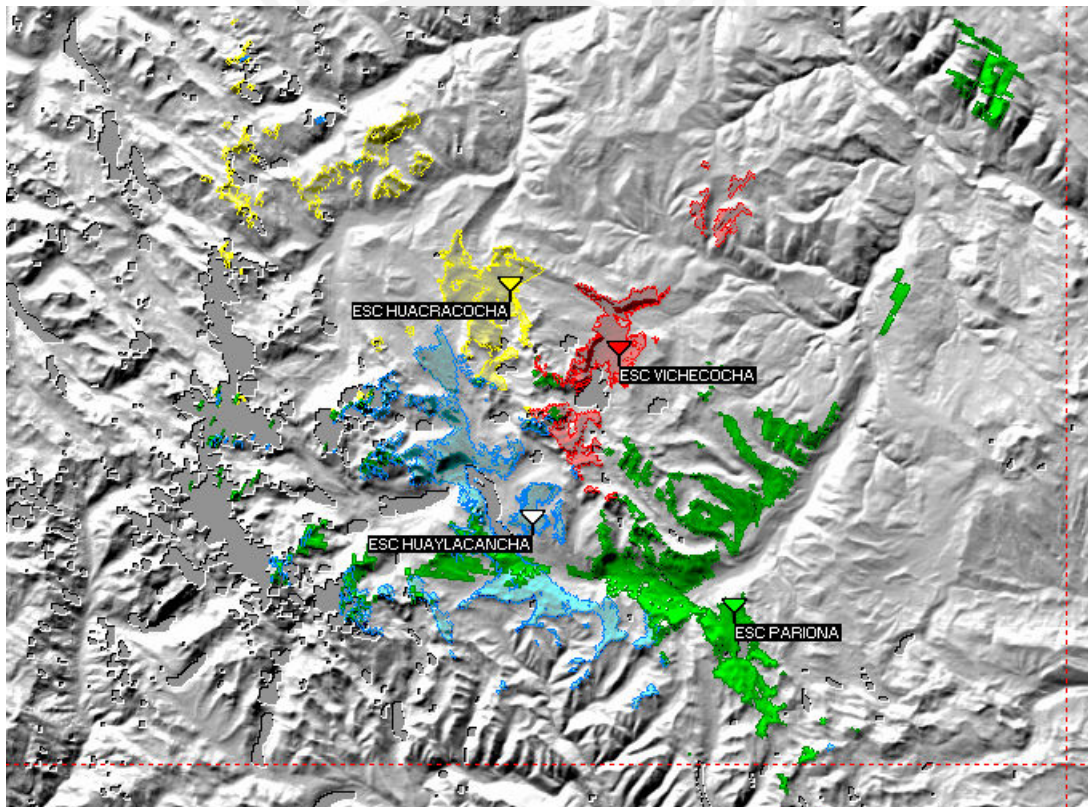


FIGURA 49. COBERTURA VHF POR CADA ESC

Fuente: Elaboración propia

Para esta cobertura aproximada se tuvo en cuenta una altura del sensor sobre el suelo, es decir el equipo tipo radio del personal, aproximadamente 0.5 m en las camionetas, altura de las torres, en las que van las antenas VHF omnidireccionales,

de 10 m y demás parámetros establecidos por defecto como se muestra en la siguiente figura.

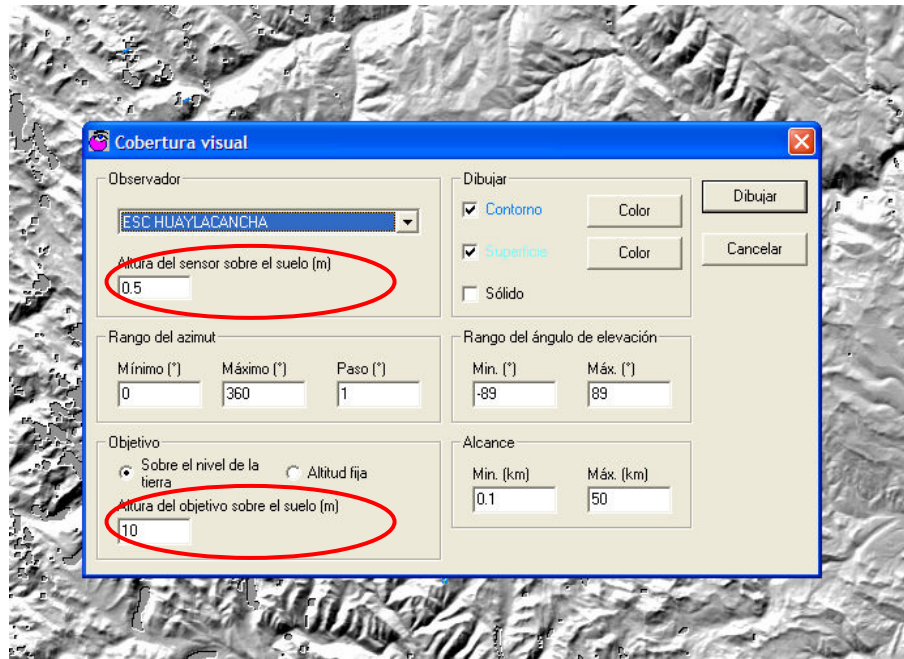


FIGURA 50. PARÁMETROS PARA COBERTURA VHF POR CADA ESC

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Opción para posible radioenlace en VHF entre estaciones

Se dijo que cabía la posibilidad también de realizar los radioenlaces en VHF, pero por las razones mencionadas al principio no se escogerá tal opción, mas sí se mostrará el resultado de haber hecho tales radioenlaces VHF.

- Primero que nada se procedió con los mismos pasos y redes del caso UHF, variando la frecuencia a un rango de 166 – 174 MHz (de acuerdo a la frecuencia de uso de equipos VHF para tales casos), llegando a obtener radioenlaces correctos en VHF (enlaces de color verde), y solo una red que consta de tres estaciones, necesariamente se tuvo que hacer en UHF (EMC Carhuacocha a Repetidor 1 y EMC Azulcocha a Repetidor 1, en la Subcuenca Pachacayo-Cochas 1); como se muestra en las siguientes figuras.

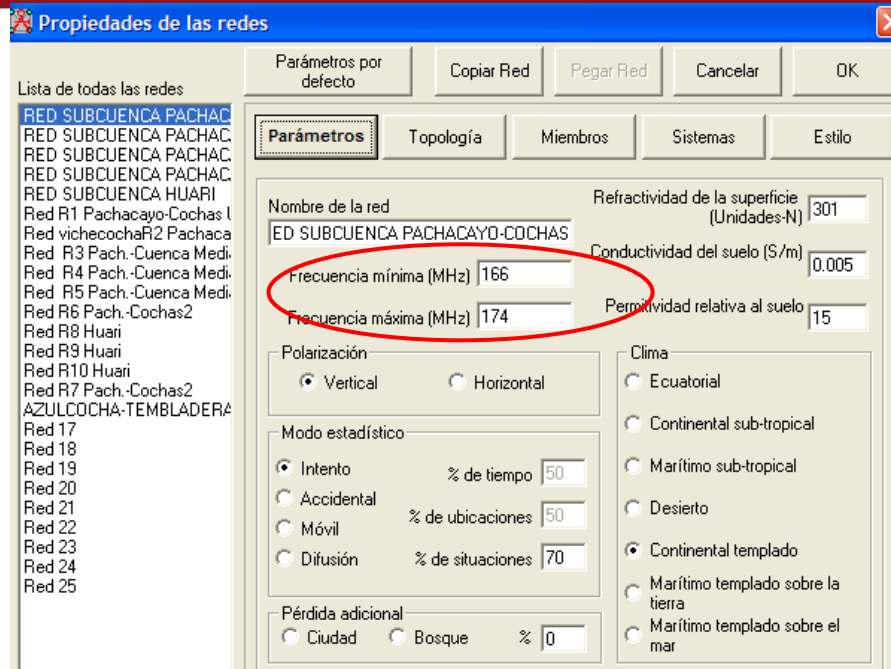


FIGURA 51. PARÁMETROS PARA RADIOENLACE VHF

Fuente: Elaboración propia

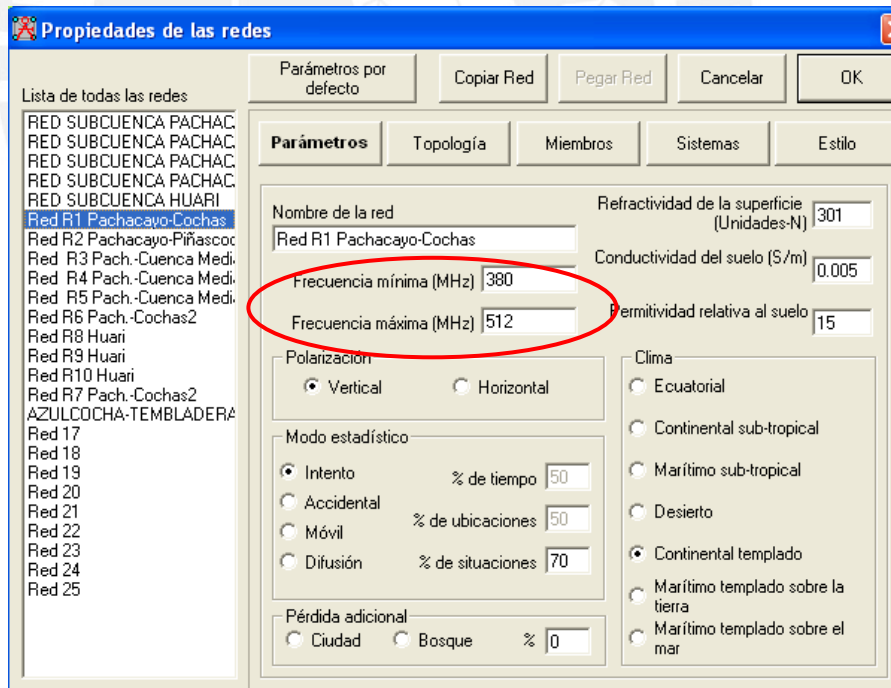


FIGURA 52. PARÁMETROS PARA RADIOENLACE EN UHF

Fuente: Elaboración propia

- Luego de ello se procedió a buscar eliminar la mayoría de repetidoras encontradas en el caso de UHF y ver la posibilidad de desarrollar el radioenlace sin ellas dado que en VHF se cuenta con difracción de onda; pero solo se pudo prescindir de dos repetidoras en general, dado que el resto de repetidoras son imprescindibles para la existencia de la Red de telecomunicaciones. Las repetidoras eliminadas son: repetidor 2 de la Subcuenca Pachacayo – Piñascochas y Repetidor 10 de la Subcuenca Huari; y por ello se hizo el cambio respectivo y factible de radioenlaces para poder llegar a las respectivas ESC como se muestra en la siguiente figura, en la cual los puntos azules representan las repetidoras eliminadas.

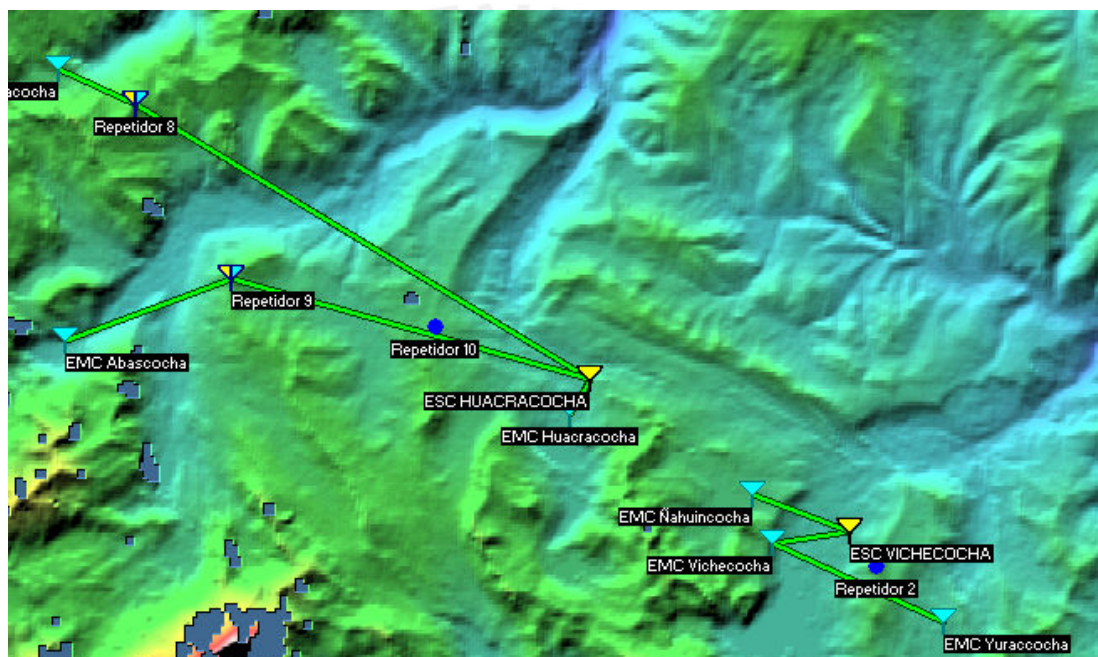


FIGURA 53. SOLUCIÓN VHF

- De la misma forma se puede ver en el gráfico de las zonas de Fresnel radioenlaces de ondas difractadas y menores ganancias, un ejemplo es el siguiente.

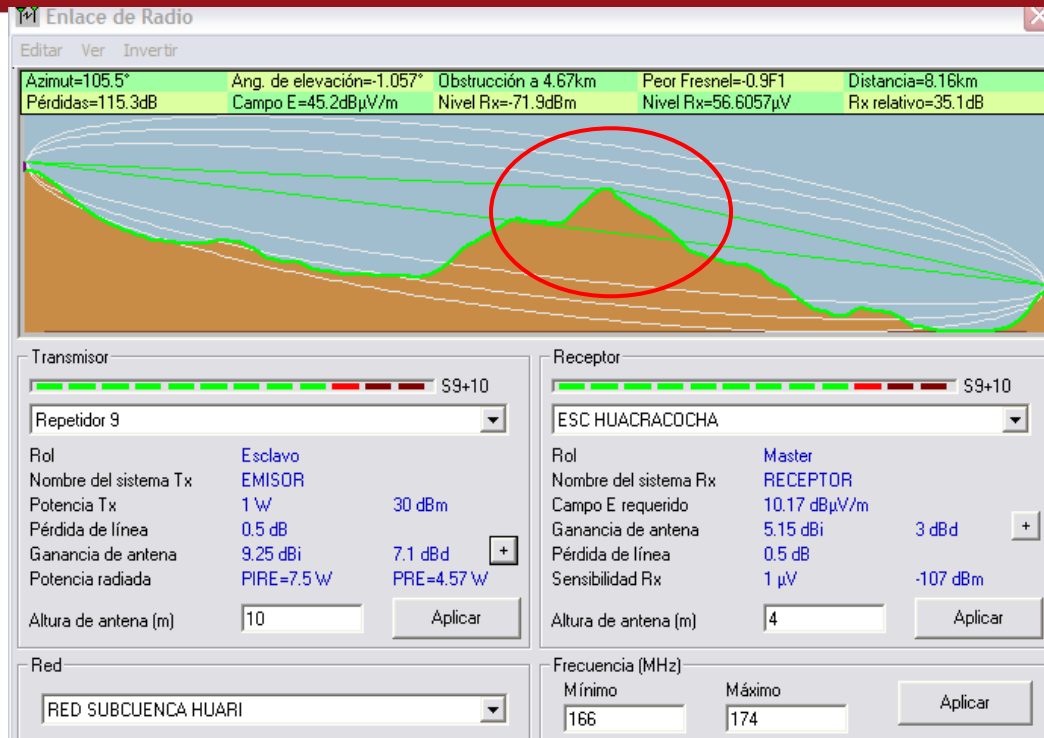


FIGURA 54. SOLUCIÓN VHF REPETIDOR 9 – ESC HUACRACOCHA

Fuente: Elaboración propia

En el cual se ve en el círculo rojo la onda difractada y a pesar de ello un posible enlace factible, en el resto de casos que se ha variado es similar el esquema con algunas ganancias de antenas emisoras disminuidas en 1 dBd aproximadamente.

- En conclusión se han logrado eliminar solo dos repetidoras obteniendo así radioenlaces VHF en la mayoría de las subcuencas excepto en un sistema de tres estaciones que necesariamente requiere de un radioenlace UHF para poder mantener la Red de telecomunicaciones; de lo cual solo se ha modificado una pequeña parte de la Red en UHF mostrada; por lo cual se prefiere usar UHF dado que es la base a la red lograda en VHF, además de encontrar antenas para telemetría SCADA en su mayoría en UHF, tener mayor certeza de que la información llegará en su totalidad y no alterada ni perdida por causa de obstáculos o fading (pérdida de señal por causas climatológicas), etc.

3.3 Diseño de la red.

3.3.1 Esquema general

Ahora que ya se tiene la topología de Red lograda en su totalidad en UHF aparte de los enlaces satelitales, se llegará entonces al siguiente diseño óptimo de Red.

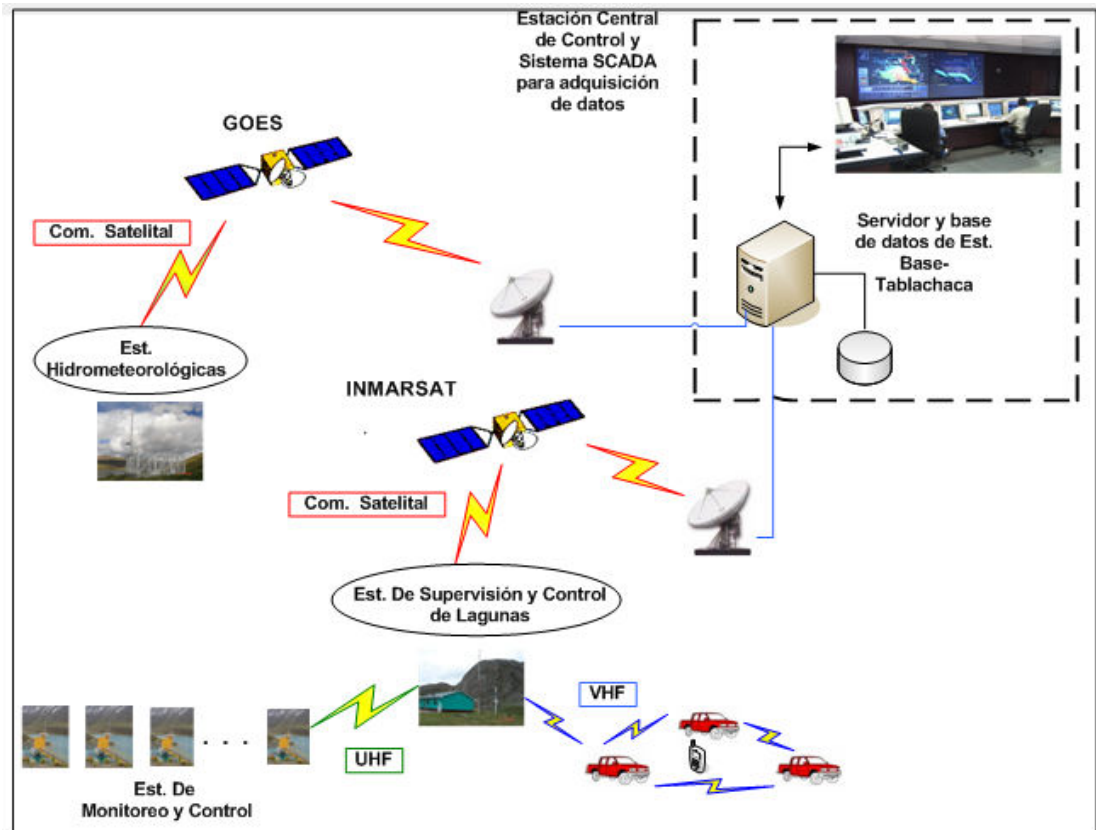


FIGURA 55. RED GENERAL DE ENLACES PARA LAS ESTACIONES

Fuente: Elaboración propia

En el cual se muestran todos los enlaces que se tendrán tanto en UHF, VHF y satelitales para lograr llegar hacia la ECC, teniendo en cuenta lo explicado y desarrollado en los puntos anteriores de la tesis para lograr un óptimo y efectivo sistema de telecomunicaciones para estos tipos de estaciones en el sector eléctrico.

De este esquema general, se pasa a un esquema más detallado de la configuración de Red, el cual es mostrado en la siguiente gráfica.

Además se tiene que lograr el diseño que se plasma en las figuras posteriores para básicamente los dos tipos de remotas que se tienen; las cuales son las estaciones de medición y control y las estaciones hidrometeorológicas. A continuación se presenta una tabla que resume algunos datos de importancia los cuales servirán para realizar y tener en cuenta un mejor diseño de red, teniendo así lo siguiente:

TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DE ESTACIONES A IMPLEMENTAR

ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	TORRE EST. 1 (m)	TORRE EST. 2 (m)	AZIMUT	NIVEL RX (dBm)	DISTANCIA (Km)
Est. Hidrom. Chupuro	ECC Tablachaca	5	5	-	-	126.14
Est. H-P Angasmayo	ECC Tablachaca	5	5	-	-	82.35
Est. Met. Mejorada	ECC Tablachaca	5	5	-	-	10.94
Est. Hidrom. Moya-Quillón	ECC Tablachaca	5	5	-	-	39.57
Est. Hidrom. Chinchi	ECC Tablachaca	5	5	-	-	16.84
ESC Huaylacancho	ECC Tablachaca	10	5	-	-	133.82
ESC Vichecocho	ECC Tablachaca	9	5	-	-	133.83
ESC Pariona	ECC Tablachaca	10	5	-	-	122.40
ESC Huacracocha	ECC Tablachaca	10	5	-	-	140.45
EMC Huaylacancho	ESC Huaylacancho	7	10	39.2°	-52.0	1.37
Repetidor 1	ESC Huaylacancho	11	10	200.1°	-49.1	2.06
Repetidor 6	ESC Huaylacancho	8	10	136.7°	-58.7	6.33
Repetidor 7	ESC	9	10	160.7°	-52.3	3.29

	Huaylacancha					
EMC Carhuacochoa	Repetidor 1	11	11	90.3°	-68.7	4.67
EMC Azulcocha	Repetidor 1	11	11	84.7°	-66.9	10.89
EMC Tembladera	EMC Azulcocha	11	11	295.6°	-53.5	1.95
Tunsu	Repetidor 6	6	8	115.6°	-44.7	1.01
Antacochoa	Repetidor 6	12	8	253.3°	-57.6	2.11
Norma	Repetidor 7	4	9	275.4°	-48.7	1.07
EMC Vichecochoa	ESC Vichecochoa	10	9	81.1°	-47.6	1.71
Repetidor 2	ESC Vichecochoa	16	9	322.7°	-53.7	0.98
EMC Ñahuincocha	Repetidor 2	4	16	120.2°	-52.5	3.14
EMC Yuraccochoa	Repetidor 2	6	16	309.5°	-52.5	1.89
EMC Pariona	ESC Pariona	6	10	2.4°	-48.0	1.20
Repetidor 3	ESC Pariona	10	10	153.8°	-62.0	5.36
Repetidor 4	ESC Pariona	19	10	87.7°	-66.4	4.55
Repetidor 5	ESC Pariona	15	10	321.7°	-57.5	4.07
EMC Calzada	Repetidor 3	20	10	13.6°	-54.0	1.23
EMC Huarmicochoa	Repetidor 3	10	10	117.5°	-69.1	4.68
EMC Caullau	Repetidor 4	3	19	96.9°	-49.8	0.97
EMC Paucara	Repetidor 5	5	15	285.4°	-51.4	2.32
EMC Lacsá	Repetidor 5	5	15	307.5°	-49.2	1.43
EMC Huacracochoa	ESC Huacracochoa	8	10	27.6°	-54.5	0.89

Repetidor 8	ESC Huacracocha	25	10	121.1°	-64.4	11.61
Repetidor 10	ESC Huacracocha	14	10	108.3°	-55.6	3.54
Repetidor 9	Repetidor 10	10	14	103.3°	-57.0	4.63
EMC Lacsacocha	Repetidor 8	6	25	114.4°	-47.6	1.86
EMC Abascocha	Repetidor 9	3	10	69.8°	-65.7	3.87

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al Plan de Frecuencias, se deberá transmitir a una frecuencia dada y recibir a otra frecuencia, dado que se quiere una comunicación del tipo half duplex; de este modo se evitará interferencia en las señales (Ver gráfica referencial en ANEXO 3.3.1)

3.3.2 Enlace entre ESC y ECC

En este caso como ya se ha visto, en la mayoría de subcuencas fue necesario utilizar una estación repetidora aparte de las ya existentes remotas, por lo cual se espera el siguiente diseño de radioenlace UHF, con topología tipo estrella hacia la ESC, pues todas las EMC tendrán que dirigir sus datos hacia tal; y un enlace satelital usando el sistema INMARSAT, que es el que brinda y/o permite soluciones del tipo telemetría SCADA para este y diversos esquemas (telemetría marítima, aérea, terrestre) y el cual se considera como más conveniente para este caso dada la facilidad de manejo de equipos y usos de este tipo de solución en casos de similar índole. Por lo cual la figura siguiente representaría el diseño a lograr en las diversas subcuencas.

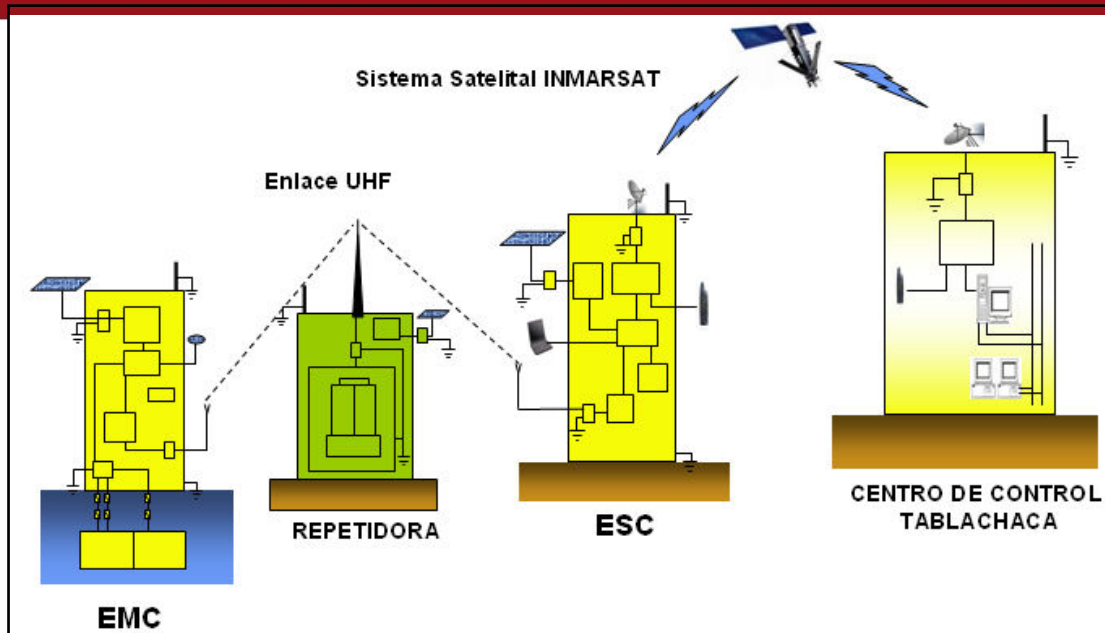


FIGURA 57. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES ENTRE EMC Y ECC

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Enlace entre Est. Hidrometeorológica y ECC

Para el caso de las estaciones hidrometeorológicas, dado que son menores en número que las EMC, además que están localizadas a mayor distancia entre ellas en algunos casos no en la misma subcuenca sino en subcuencas diferentes a lo largo de toda la Cuenca del Mantaro; ya no se requiere de un radioenlace del tipo UHF, sino simplemente uno satelital para enviar y recibir la data directamente a la ECC.

Es por eso que se escogió la solución satelital del sistema GOES dado que este es un tipo de satélite especialmente encargado de captar y recibir informaciones del tipo ambiental, entre ellas las hidrometeorológicas, meteorológicas, etc.; además se consideró tal pues este es el sistema satelital utilizado por el SENAMHI para sus diferentes estaciones a lo largo y ancho del territorio peruano, y que vienen a ser estaciones similares a estas usadas en este proyecto de tesis. Así se espera lograr el diseño siguiente.

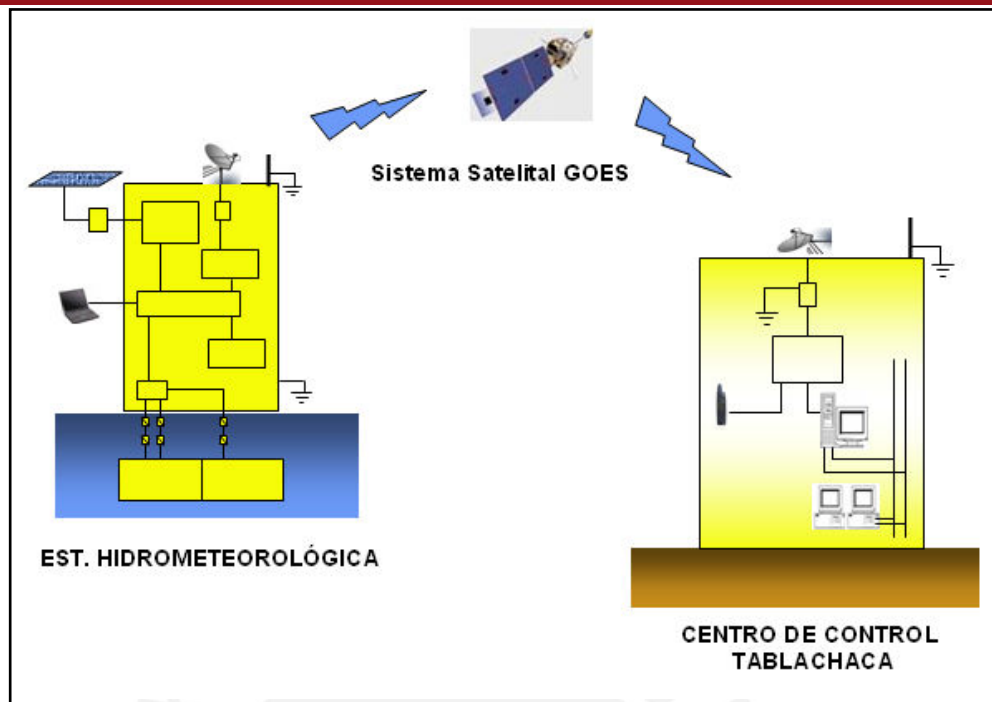


FIGURA 58. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES ENTRE EST. HIDROMETEOROLÓGICAS Y ECC

Fuente: Elaboración propia

3.4 Equipos requeridos de telecomunicaciones e hidrometeorológicos y aspectos económicos.

En cuanto respecta a este punto se mostrarán los equipos de telecomunicaciones e hidrometeorológicos principales a ser requeridos para hacer posible todo el sistema planteado anteriormente; Luego se mostrarán costos referenciales en base a lo brindado por los diversos fabricantes y empresas proveedoras de tales equipos, teniendo lo siguiente:

3.4.1 Estaciones Hidrometeorológicas.

En este caso el requerimiento de equipos será de acuerdo a la función que realizará cada estación. Por ejemplo en el caso de las estaciones meteorológicas, estas tendrán por finalidad medir parámetros físicos que ocurren en alguna cuenca hidrográfica a la que pertenezcan tales como humedad relativa y temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación solar, precipitación y evaporación del

agua. Ahora para el caso de las estaciones hidrométricas, estas tienen por objeto medir la altura de agua para calcular el caudal del río.

Instrumentación ideal requerida:

- **Sistema de telecomunicación satelital GOES**

- **Transmisor GOES (HDR)**

- Tasa de transmisión entre 300 y 2400 bps

- **Antena yagi de alta ganancia**

- Rango de Frecuencias: UHF

- **Sistema de energía**

- **Paneles solares**

- Factor Típico de aislamiento: 74%

- Eficiencia Mínima: 15%-20%

- Potencia: De acuerdo a diseño

- Voltaje Pico: 17.2V o menor

- Corriente Pico: 2.2 A

- **Baterías**

- Ciclo de vida: 720 h

- Tipo: Plomo ácido-cálcico

- Voltaje Nominal: 12V

- Capacidad 160 A-h

- Descarga Profunda: 80%

- **Controlador Fotovoltaico**

- Corriente máxima de pico: 3 A

- Configuración: 12 V

- Tipo de baterías: Plomo ácido

- **Pararrayos:** Franklin Tetra puntales

- **Sistema de Pozo a Tierra:** Electrodo Vertical y cemento conductivo

- **Adquisidor de datos RTU/DATALOGGER/PLC:** Son módulos de medición de sensores, que manejan directamente el intercambio de información reduciendo la data, manejan equipos de control externo y almacenan datos en memoria.

- **Pluviómetro:** Usado para medir precipitaciones

- **Medidor de Viento:** Sensor que operará continuamente incluso en condiciones ambientales adversas y con altas velocidades de viento.

- **Medidor de Temperatura**

- **Medidor de Evaporación**

- **Sensor de radiación Solar**
- **Piezómetros:** Semiconductor transductor de presión ubicado dentro de un tubo de acero, se ubica como sensor dentro del agua.

3.4.2 Estación de Medición y Control.

Instrumentación ideal requerida:

- **Sistema de Telecomunicación UHF**
 - **Radio Módem**
 - Modo de Operación continuo,
 - Rango de Frecuencias UHF 380 – 512 MHz
 - Potencia de salida RF 1-4W
 - Impedancia de Salida 50 Ohm
 - Impedancia de entrada 50 Ohm
 - Sensibilidad < -116 dBm
 - Temperatura de Operación -20°C a 50°C
 - **Antena** (Est. de Radio UHF: ESC, EMC y Estaciones Repetidoras)
 - Antena Direccional de alta ganancia aprox. 7.1 dB
 - Antena Omnidireccional de ganancia aprox. 3 dB
- **Sistema de Energía**
 - **Paneles Solares**
 - Factor Típico de aislamiento: 74%
 - Eficiencia Mínima: 15%-20%
 - Potencia: De acuerdo a diseño
 - Voltaje Pico: 17.2V o menor
 - Corriente Pico: 2.2 A
 - **Baterías**
 - Ciclo de vida: 720 h
 - Tipo: Plomo ácido-cálcico
 - Voltaje Nominal: 12V
 - Capacidad 160 A-h
 - Descarga Profunda: 80%
 - **Controlador Fotovoltaico**
 - Corriente máxima de pico: 3 A
 - Configuración: 12 V
 - Tipo de baterías: Plomo ácido

- **Pararrayos:** Franklin tetra puntales
- **Sistema de Pozo a Tierra:** Electrodo vertical y cemento conductor.
- **Piezómetro**
- **Medidor de Posición**
- **Controlador Lógico Programable (PLC):** Poseen funciones de supervisión y auto prueba para detectar fallas en el equipo, para evitar operaciones erróneas y para suministrar información sobre el tipo de falla por medio de indicaciones.
- **Panel de diálogo o HMI:** Se comunica con el PLC para poder ingresar datos de consigna de caudal y poder visualizar los datos de alarmas y lecturas de nivel y posición de compuerta.
- **Paneles Solares:**
 - Factor Típico de aislamiento: 74%
 - Eficiencia mínima: 15%-20%
 - Potencia Máxima: 75W
 - Voltaje Pico: 17V
 - Corriente Pico: 4.4 A
- **Baterías:**
 - Ciclo de vida: 720 h
 - Tipo: Plomo ácido-cálcico
 - Voltaje Nominal: 12V
 - Capacidad 160 A-h
 - Descarga Profunda: 80%
- **Controlador Fotovoltaico**
 - Corriente máxima de pico: 3 A
 - Configuración: 12 V
 - Tipo de baterías: Plomo ácido
- **Unidad Hidráulica de Poder UHP:** Será la encargada de transmitir la potencia hidráulica necesaria para la apertura o cierre de la compuerta de regulación

3.4.3 Estación de Supervisión y Control

Instrumentación ideal requerida:

- **Sistema de Telecomunicación UHF**
 - **Radio Módem**
 - Modo de Operación continuo,
 - Rango de Frecuencias 380 – 512 MHz
 - Potencia de salida RF 1-4W
 - Impedancia de Salida 50 Ohm
 - Impedancia de entrada 50 Ohm
 - Sensibilidad < -116 dBm
 - Temperatura de Operación -20°C a 50°C
 - **Antena** (Est. de Radio UFH: ESC, EMC y Estaciones Repetidoras):
 - Antena Direccional de alta ganancia aprox. 7.1 dB
 - Antena Omnidireccional de ganancia aprox. 3 dB
- **Sistema de Telecomunicación VHF**
 - **Sistema de Radio Digital en dos vías VHF**
 - Radios Móviles DGM: Rango de Frecuencias 136 – 174 MHz
 - Repetidor DRG: Rango de Frecuencias 136 – 174 MHz
 - Radios portátiles DGP: Rango de Frecuencias 136 – 174 MHz
 - **Antena para radio VHF**
 - Antena Omnidireccional de ganancia aprox. 7 dB
 - **Adquisidor de Datos (RTU/DATALOGGER/PLC)**
 - **Sistema de Telecomunicación Satelital**
 - **Transceptor satelital Inmarsat**
 - Comunicación Full Duplex,
 - Frecuencia de Tx: 14.0-14.5 GHz
 - Frecuencia de Rx: 10.95-11.45 / 11.7-12.2 / 12.25-12.75 GHz
 - **Antena para transceptor satelital**
- **Sistema de Energía**
 - **Paneles Solares**
 - Factor Típico de aislamiento: 74%
 - Eficiencia Mínima: 15%-20%
 - Potencia: De acuerdo a diseño
 - Voltaje Pico: 17.2V o menor
 - Corriente Pico: 2.2 A

→Baterías

Ciclo de vida: 720 h
 Tipo: Plomo ácido-cálcico
 Voltaje Nominal: 12V
 Capacidad 220 A-h
 Descarga Profunda: 80%

→Controlador Fotovoltaico

Corriente máxima de pico: 3 A
 Configuración: 12 V
 Tipo de baterías: Plomo ácido

- **Pararrayos:** Franklin tetra puntales
- **Sistema de Pozo a Tierra:** Electrodo vertical y cemento conductor

3.4.4 Estación Repetidora

Instrumentación ideal requerida:

- **Sistema de Telecomunicación UHF**

→Radio Módem

Modo de Operación continuo,
 Rango de Frecuencias 380 – 512 MHz
 Potencia de salida RF 1-4W
 Impedancia de Salida 50 Ohm
 Impedancia de entrada 50 Ohm
 Sensibilidad < -116 dBm
 Temperatura de Operación -20°C a 50°C

→Antena (Est. de Radio UHF: ESC, EMC y Estaciones Repetidoras):

Antena Direccional de alta ganancia aprox. 7.1 dB
 Antena Omnidireccional de ganancia aprox. 3 dB

- **Sistema de Energía**

→Paneles Solares

Factor Típico de aislamiento:74%
 Eficiencia Mínima: 15%-20%
 Potencia: De acuerdo a diseño
 Voltaje Pico: 17.2V o menor
 Corriente Pico: 2.2 A

→Baterías

Ciclo de vida: 720 h

Tipo: Plomo ácido-cálcico

Voltaje Nominal: 12V

Capacidad 160 A-h

Descarga Profunda: 80%

→Controlador Fotovoltaico

Corriente máxima de pico: 3 A

Configuración: 12 V

Tipo de baterías: Plomo ácido

- **Pararrayos:** Franklin tetra puntales
- **Sistema de Pozo a Tierra:** Electrodo vertical y cemento conductor

3.4.5 Estación Central de Control

Instrumentación ideal requerida:

- Estación de recepción GOES DRGS
- Antena Parabólica aprox. 5m de diámetro
- Estación de recepción INMARSAT

De los requerimientos anteriores se ha encontrado diferentes equipos que cumplen las demandas solicitadas, con ello se hace a continuación un cuadro comparativo de algunos equipos a tener en cuenta; para que de este modo se resalte la manera por la cual se puede tomar una decisión de elección de equipos en base a una comparación previa de diferentes alternativas en el mercado.

CUADRO 3. COMPARACIÓN DE EQUIPOS A USAR

RADIO MODEM			
Parámetros	SUTRON VHF/UHF Wireless Radio Modem 6661-1249-1	TRIMTALK 450S Radio módem UHF con canales múltiples	FARELL Radio Módem T- MOD C48
BW de canal	6.25, 12.5, 25 KHz	12.5, 25 KHz	12.5 KHz
Data Rate	2400,4800 y 9600bps	1200, 2400,4800 y 9600bps	4800bps
Modulación	DRCMSK, RTSCTS Delay, 4 msec	MSK, GMSK	GMSK
Bit Rate	10-6		10-6 (-109 dBm)
Rango de Frecuencia	380-512 MHz (UHF) 132-174 MHz (VHF) 928-960 MHz	430-440 MHz, 440-450 MHz, 450-460 MHz ó 460-470 MHz	406-470 MHz (UHF) 138-174 MHz (VHF) 800-900 MHz
Potencia de Tx	1-5 Watts, programable	0,5 Watts	0,1-5 Watts, programable
Interfaz de diagnóstico	RS 232	RS 232	RS 232
Peso	0,73 Kg	0,95 Kg	1,21 Kg
Protocolo	Transparente		Transparente
Temperatura de operación	-30°C a +60°C	-20°C a +55°C	-30°C a +60°C
ANTENAS			
Parámetros	SUTRON Yagi UHF antenna 5000-0030	COMTELCO Heavy duty Yagi antenna UHF Y3345	HUSTLER serie G6- 440 UHF
Frecuencia	406-512 MHz	406-430 MHz	430-450 MHz
Ganancia	7.5 dBd	8.8 dBd	6 dB
F/B ratio	25 dB		18 dB
Conector	N hembra	N hembra	N hembra
Resistencia del	200 Km/h	125 m/h	125 Km/h

Viento			
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms nominal
Longitud	79,4 cm		2,76 m
Peso	1,7 Kg	1,8 Kg	8 Kg
PANELES SOLARES			
Parámetros	bp solar BP 7180	Fotovoltaic Tipo A	Solar Modules STP180S-24/Ac
Potencia Nominal	180 Watts	180 Watts	180 Watts
Tolerancia	-0/+2,5%	±5%	
Eficiencia (Módulo)	14,3%	>16%	
Voltaje nominal	24 v	35 v	36 v
Celdas por módulo	72	72	72
Dimensiones de la celda	125mm x 125mm	125mm x 125mm	125mm x 125mm
Temperatura de operación	-40°C y +85°C	-40°C y +85°C	-40 to +85 C
Peso	15,4 Kg	15 Kg	15.5 Kg
BATERÍAS SOLARES			
Parámetros	Power Sonic PG-12V150	Sun Xtender PVX-2120L	Exide Solar YS12-160 SOLAR
Tipo de Batería	AGM (Malla De fibra de vidrio absorbente) - Plomo cálcico, sellado	AGM (Malla De fibra de vidrio absorbente) - Plomo cálcico, sellado	Plomo ácido-bajo mantenimiento
Voltaje	12v	12v	12v
Capacidad nominal Amperios por hora	166 Ah (20 h)	212 Ah (24 h)	160 Ah (100 h)
Peso	46.7 Kg	62.7 Kg	42 Kg
Corriente máxima de carga	25 A	25A	24 A
Profundida máxima de descarga	97%	90%	80%
Temperatura de operación	-20°C a 50°C (cargado) -40°C a 60°C (descargado)	-40°C a 72°C	Toleran un amplio rango de temperaturas

CONTROLADOR DE CARGA			
Parámetros	Steca Solarix SIGMA	Conergy SCC20 Vision	SunSaver SS20L-12
Tensión del sistema	12 / (24) V	12 / (24) V	12 V
Corriente de carga nominal	20A	20A	20A
Consumo propio Máx	5 mA	4 mA	
Voltaje de reconexión de carga	> 50 % SOC / 12,6 V (25,2 V)	12.8 / (25.6) V	12.8 V
Temperatura de operación	-25°C a +50°C	-25°C a +50°C	-40°C a +85°C
Peso	420g	250g	227g
Dimensiones	188 x 106 x 49 mm	198 x 105 x 40 mm. (w x h x d)	15.2x5.6 cm

Fuente: Elaboración propia

Después de haber hecho la comparación anterior, a continuación se mostrará un estimado de costos, siendo que para esta parte han sido seleccionados los equipos que mejor se apegan a las necesidades y que mejor garantía tanto de funcionamiento como de seguridad nos brindan; todos en base al cumplimiento de los parámetros requeridos, performance y costo que estos implican.

3.4.6 Aspectos económicos

A continuación se presentan los aspectos económicos del proyecto, considerando solo el conjunto de equipos de telecomunicaciones importantes y demás complementarios, más no el resto de equipos electrónicos no pertenecientes a esta área de la ingeniería; de esta manera se está evaluando los costos de inversión CAPEX²³ así como los costos de operación OPEX²⁴, haciendo un estudio de inversión del proyecto y factibilidad del mismo. Los montos usados para este análisis son referenciales y estimados a la fecha.²⁵

²³ CAPEX: **CA**Pital **EX**pediture

²⁴ OPEX: **OP**erating **EX**pediture

²⁵ Fuente: NEC Corporation

TABLA 16. LISTA DE EQUIPOS DE RADIO

	DESCRIPCIÓN	Cant.	C.U. (\$.)	Parcial (\$.)	Total (\$.)
	ECC				
1	Estación de Recepción GOES				
1.1	Estación terrena de lectura directa (DRGS)	1	2,000.00	2,000.00	
1.2	Feed – LNA – Down Converter	1	3,350.00	3,350.00	
1.3	Antena parabólica de malla de aluminio de 5 m de diámetro	1	5,900.00	5,900.00	
2	Estación de Recepción y Transmisión INMARSAT				
2.1	Solución TSAT 3000, HUB STATION(120-240 cm)	4	1,800.00	7,200.00	
					18,450.00
3	ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA				
3.1	Yagi GOES Satellite Antenna 5000-0080 & 0081	5	290.00	1,450.00	
3.3	GOES HDR Transmisor	5	1,890.00	9,450.00	
3.4	Paneles solares BPSolar-BP SX20, 20 w (1x5)	5	269.99	1,349.95	
3.5	Batería 12V fotovolt PG-12V150 PowerSonic166Ah (2x5)	10	365.00	3,650.00	
3.6	Controlador de Carga Steca Solarix Sigma 20A	5	1,800.00	9,000.00	
3.7	Pararrayos Franklin	5	40.00	200.00	
					25,099.95
4	ESTACIÓN DE SUPERVISIÓN Y CONTROL				
4.1	Yagi UHF Antenna 5000-0030	13	180.00	2,340.00	
4.2	UHF Omni Antenna 5000-0040	4	150.00	600.00	
4.3	Base Omnidireccional VHF ARX-2B, 135-160Mhz	4	94.99	379.96	
4.4	VHF/UHF Wireless Radio Modem 6661-1249-1	17	500.00	8,500.00	
4.5	Radio Móvil DGM 6100	4	901.00	3,604.00	
4.6	Repetidor DGR 6175	4	2,000.00	8,000.00	
4.7	Radios portátiles DGP 6150	10	832.00	8,320.00	
4.8	Paneles solares BPSolar-BP 7180N, 180 W (5x4 Est.)	20	719.00	14,380.00	
4.9	Batería 12V fotovolt PG-12V200 PowerSonic226Ah (18x4)	72	619.50	44,604.00	
4.10	Controlador de Carga Steca Solarix Sigma 20A	4	1,800.00	7,200.00	
4.11	Pararrayos Franklin	4	40.00	160.00	
					98,087.96
5	ESTACIÓN DE MEDICIÓN Y CONTROL				
5.1	Yagi UHF Antenna 5000-0030	20	180.00	3,600.00	
5.2	UHF Omni Antenna 5000-0040	19	150.00	2,850.00	
5.3	VHF/UHF Wireless Radio Modem 6661-1249-1	39	2,000.00	78,000.00	
5.4	Paneles solares BPSolar-BP SX20, 20 w (1x19)	19	269.99	5,129.81	
5.5	Batería 12V fotovolt PG-12V150 PowerSonic166Ah (1x19)	19	365.00	6,935.00	
5.6	Controlador de Carga Steca Solarix Sigma 20A	19	1,800.00	34,200.00	
5.7	Pararrayos Franklin	19	40.00	760.00	
					131,474.81
6	ESTACIÓN REPETIDORA				
6.1	Yagi UHF Antenna 5000-0030	25	180.00	4,500.00	
6.2	UHF Omni Antenna 5000-0040	10	150.00	1,500.00	
6.3	VHF/UHF Wireless Radio Modem 6661-1249-1	35	2,000.00	70,000.00	
6.4	Paneles solares BPSolar-BP SX20, 20 w (1x10)	10	269.99	2,699.90	
6.5	Batería 12V fotovolt PG-12V150 PowerSonic166Ah (1x10)	10	365.00	3,650.00	
6.6	Controlador de Carga Steca Solarix Sigma 20A	10	1,800.00	18,000.00	
6.7	Pararrayos Franklin	10	40.00	400.00	
					100,749.90
	TOTAL GENERAL (Dolares Norteamericanos)				373,862.62

TABLA 17. LISTA DE BIENES E INFRAESTRUCTURA

	DESCRIPCIÓN	Cant.	C.U.	Parcial	Total
			(\$.)	(\$.)	(\$.)
1	Torre				
1.1	Metro lineal de poste o torre instalado	354	160,00	56.640,00	
					56.640,00
2	Obras Civiles				
2.1	Obras Civiles (caseta y cimentación de torre)	38	30.000,00	1.140.038,00	
					1.140.038,00
TOTAL DE LA RED					1.196.678,00

TABLA 18. DETALLE DE COSTOS DE TRANSPORTE

	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cant.	C.U.	Parcial	Total
				(\$.)	(\$.)	(\$.)
1	Trabajos en Lima					
1.1	Descargar equipos	hora	50	25,00	1,250,00	
1.2	Almacenar equipos	Kg x día	100000	0,05	5,000,00	
1.3	Estiva	hora	50	25,00	1,250,00	
						7,500,00
2	Transporte de Lima a Provincia					
2.1	Camión de 20 toneladas con destino costa	viaje		1,000,00		
2.2	Camión de 20 toneladas con destino sierra	viaje		1,200,00		
2.3	Trailer de 35 toneladas con destino costa	viaje		1,500,00		
2.4	Trailer de 35 toneladas con destino sierra	viaje	3	2,000,00	6,000,00	
						6,000,00
3	Transporte de acceso					
3.2	Camión de 4 a 5 toneladas	día	20	150,00	3,000,00	
3.3	Carga	hora	560	25,00	14,000,00	
						17,000,00
4	Lugar de destino					
4.1	Descarga	hora	600	25,00	15,000,00	
						15,000,00
TOTAL TRANSPORTE						45,500,00

TABLA 19. DETALLE DE COSTOS POR INSTALACIÓN

	DESCRIPCIÓN	Cant.	C.U.	Parcial	Total
			(\$.)	(\$.)	(\$.)
1	Estudio de Campo				
1.1	Estudio de campo de enlace microondas y satelital	38	1,800,00	68,400,00	
					68,400,00
2	Instalación de equipo de radio				
2.1	Instalación de equipos de radio	29	1,500,00	43,529,00	
2.1	Protocolo de pruebas de equipos de radio	29	650,00	18,879,00	
					62,408,00
3	Instalación de antenas				
3.1	Instalación de antenas	77	800,00	61,677,00	
					61,677,00
4	Instalación de alimentador				
4.1	costo por metro	360	70,00	25,560,00	
					25,560,00
TOTAL					218,045,00

TABLA 20. CÁLCULO GENERAL DEL CAPEX

	DESCRIPCIÓN	Monto (\$.)	Total (\$.)
1	LISTA DE EQUIPOS DE RADIO	373,862.62	
2	LISTA DE BIENES E INFRAESTRUCTURA	1,196,678.00	
3	DETALLE DE COSTOS DE TRANSPORTE	45,500.00	
4	DETALLE DE COSTOS POR INSTALACIÓN	218,045.00	
TOTAL CÁLCULO CAPEX			1,834,085.62

TABLA 21. CALCULO GENERAL DEL OPEX

	DESCRIPCIÓN	Cant.	Costo mensual (\$.)	Costo anual (\$.)	Parcial anual (\$.)	Total anual (\$.)
1	Operación y mantenimiento					
1.1	Ing. Jefe de red	1	1,800.00	21,600.00	21,600.00	
1.2	Ing. Supervisor de estación	5	1,400.00	16,800.00	84,000.00	
1.3	Técnico asistente de estación	10	600.00	7,200.00	72,000.00	
1.4	Técnico supervisor del sistema de gestión	3	500.00	6,000.00	18,000.00	
1.5	Personal de seguridad	9	300.00	3,600.00	32,400.00	
						228,000.00
2	Materiales					
2.1	Alquiler mensual de vehículo 4x4 (incluye mantenimiento y combustible)	5	1,500.00	3,600.00	32,400.00	
2.2	Instrumentos de medición	1	600.00	30,000.00	30,000.00	
2.3	Accesorios y herramientas	1		10,000.00	10,000.00	
						72,400.00
TOTAL CÁLCULO OPEX						300,400.00

3.5 Impacto Ambiental

Estos tipos de proyectos implican montar estaciones ya sea para la construcción de la obra y después de ella, en zonas de casi nula alteración natural causada por el hombre, de esta manera es de importancia tomar en cuenta el posible daño que se podría causar con trabajos de esta índole en contra de personas naturales o jurídicas; para este caso, con respecto a proyectos de telecomunicaciones se debe tener en cuenta el impacto visual que causará la instalación de las antenas, la contaminación electromagnética, cambios y posibles afectaciones del medio natural en el que se hallarán, desechos sólidos y demás alteraciones posibles.

Por lo dicho, en la actualidad es de importancia preservar el medio ambiente y por ello importante hacer un Estudio de Impacto Ambiental de ser requerido. En el caso peruano la autoridad ambiental nacional es el CONAM (Consejo Nacional Ambiental) y tiene por finalidad planificar, promover, coordinar, controlar y velar por el ambiente y el patrimonio natural de la Nación; el mismo que tiene un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- En el sector de generación eléctrica, la necesidad de contar permanentemente con información hidrometeorológica en tiempo real y del monitoreo constante de todas las estaciones remotas componentes de tal sistema; obligan a requerir de un sistema de telecomunicación que permita enlazar cada una de las estaciones partícipes de este sector, el cual se adecue a las características del medio geográfico de la zona y de manera importante a la necesidad de transmisión y recepción del flujo de información requerido en estos sistemas de telemetría de manera que este sea confiable y seguro.
- En cuanto a las soluciones satelitales, son dos las mejores alternativas de solución para ser tomadas en cuenta de acuerdo a la necesidad y tipos de información a transmitir. Siendo primero la solución satelital GOES, la cual se dedica básicamente al intercambio de información meteorológica y todo lo referente al clima a nivel mundial, óptima para estaciones que recopilen información climática; por lo cual encaja perfectamente para el envío de información de las estaciones hidrometeorológicas, y de la misma forma la solución INMARSAT D+ considerada una de las mejores opciones a nivel empresas y consultoras para estaciones remotas ubicadas en lugares inhóspitos que serán monitoreadas bajo un sistema de telemetría SCADA, siendo usada como solución principalmente en empresas eléctricas, petroleras y de gas a nivel mundial.
- En un proyecto en general se debe buscar la convergencia de tecnologías y por lo tanto diversas soluciones para conformar una sola, que sea la base de una Red bien montada y confiable, claro ejemplo de ello es lo optado en esta solución que se presenta, teniendo en cuenta diversos aspectos como las ubicaciones de los puntos a interconectar, distancias, aspecto geográfico y tipo de información a transmitir principalmente vistos para este caso; por lo cual se decidió una solución combinada que implicó radioenlaces y enlaces satelitales para un mismo fin.

- En cuanto a las estaciones hidrometeorológicas, las cuales también cumplen un papel importante en pronósticos climatológicos con lo cual se proyectará y asumirá condiciones favorables o desfavorables respecto a la materia prima de importancia, es decir el agua, no tienen que ser dejadas de lado, como en la actualidad se han abandonado algunas estaciones de antaño, sino por el contrario repotenciadas pues la información que recopilen no solo servirán a la empresa propietaria, sino que por medio de convenios que esta empresa tenga, tal información puede ser intercambiada o analizada por estudiantes universitarios y/o estudiosos del tema; por lo cual de la misma forma también necesita un sistema de telecomunicaciones que permita obtener estos datos de importancia.

Recomendaciones

- En cuanto a los elementos de generación eléctrica como las lagunas, son estas componentes principales para una central de generación de energía eléctrica, dado que estas dependen del nivel, potencia y cantidad de agua o caudal, para de acuerdo a ello generar un cierto nivel de potencia; por lo cual estas lagunas permiten mantener permanentemente un promedio de nivel de agua y así mismo de generación de potencia constante, sobretodo en épocas de estiaje. Por ello se deben desarrollar más estudios y proyectos que permitan el descubrimiento de nuevas lagunas y/o fuentes, ubicadas apropiadamente para formar parte de este conjunto de reservorios de tan apreciada materia prima, y posteriormente la regulación de las mismas; promoviendo una política de cuidado y mantenimiento para su preservación.
- Es recomendable invertir en redes de telecomunicaciones para sistemas de telemetría de este tipo, dado que los montos de inversión son considerablemente bajos en comparación con lo que se obtiene de los beneficios de generación de energía eléctrica, ya que estos se cuentan por millones de dólares, por ello es factible y recomendable la inversión en este tipo de solución de suma importancia para tales fines, la cual ayudará a tener un mejor monitoreo de todas las estaciones remotas que esta red comprende y por ende un mejor uso de los recursos naturales.

Estaciones componentes de la Red de Telecomunicaciones

- En el caso de estos tipos de estaciones se debe contar con un sistema de protección contra las descargas eléctricas, dado la característica climática de la sierra central, que podrían alterar y dañar los equipos, es por eso que todas las estaciones deben contar con su respectivo pozo o pozos a tierra.
- Las estaciones remotas deben estar también protegidas físicamente con un cerco metálico, de preferencia, para evitar robos y malas manipulaciones de personal no encargado del mantenimiento y control de estas; para ello también es conveniente desarrollar un programa de información dirigida a las poblaciones cercanas a fin de promover y motivar a los pobladores para preservar y cuidar tales estaciones.
- Es necesario realizar un mantenimiento y supervisión física permanente de todas las estaciones remotas dado que estas se encuentran aisladas de población alguna y por ello son propensas a cualquier tipo de daño.

Estudio de Impacto Ambiental

- Es recomendable que en la actualidad todo proyecto deba tener un Estudio de Impacto Ambiental, es por ello que se debe hacer el mismo para este proyecto pues como ya se ha visto todas las estaciones están localizadas en lugares donde no existe mucha por no decir ninguna alteración estética natural por parte del ser humano, y hacer los análisis respectivos.

Bibliografía:**Textos:**

1. Caloz, Christophe. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications, the engineering approach. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience, 2006, 352 p
2. Siwiak, Kazimierz. Radiowave propagation and antennas for personal communications. Boston : Artech House, 1998, 418 p
3. Burberry, R. A. Institution of Electrical Engineers: VHF and UHF antennas. 1992, 301 p
4. Rodriguez Penin, Antonio. Sistemas SCADA. 2007, segunda edición, 448 p, Edit. Marcombo S.A.
5. Carden, Frank; Jedlicka, Russell; Henry, Robert. Telemetry Systems Engineering. 2002, 632 p.
6. Del Castro Lozano, Carlos y Romero Morales, Cristóbal: Exposición digital "Interfaz Hombre Máquina"
7. ELECTROPERU S.A., Mapa de Red Hidrometeorológica y de Lagunas Reguladas, 2002
8. Documentos de ELECTROPERU S.A.(Mapa de la zona, expediente técnico, etc), 2002
9. Comunicación Industrial (Exposición) por el Ing. Arturo Parra Quispe.

Disponibles en Internet:

5. <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>
6. <http://www.tecnun.es/Asignaturas/transdat/ficheros%5Csatelites.pdf>
7. <http://eupt2.unizar.es/asignaturas/ittse/radiocomunicaciones/guion.pdf>
8. <http://www.conam.gob.pe/modulos/home/sistemaevaluacion.asp>
9. <http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/frecuencias/index.asp>
10. <http://www.senamhi.gob.pe/main.php?u=inter&p=0309>

11. http://www.sutron.com/pdfs/2006_Yagi5000-0080.pdf
12. http://www.sutron.com/pdfs/2006_YAGI_5000-0030.pdf
13. http://www.sutron.com/pdfs/2006_UHF_OMNI_5000-0040.pdf
14. <http://lairdtech.thomasnet.com/item/infrastructure-in-building-wireless-antennas/fiberglass-omnidirectional/pn-5053?&seo=110>
15. http://www.stevenswater.com/catalog/products/telemetry_com/datasheet/GOES%20DRGS%20spanish%20version.pdf
16. <http://www.jabanet.net/telemetria.html>
17. http://www.jabanetworks.com/TSAT_SCADA.pdf
18. <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2000/ID038.PDF>
19. <http://www.csva.gob.mx/sah/Material/3RedesSAH.pdf>
20. <http://www.telvent.com/es/productos/hidrometeorologia/GOES.pdf>
21. <http://www.radiocomunicacion.com.pe/antenas-cushcraft-eb.htm>
22. <http://www.radiocomunicacion.com.pe/mototrbo-motorola.htm>
23. <http://www.enersystem.com/eprodpow.php>
24. http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/control/normaslegales/PNAF%20a_nexo%201-04-03.pdf
25. <http://www.minem.gob.pe/>