



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



by Vanessa Oñate V.

TEMA:

“Diseño e implementación del sistema de comunicación inalámbrico para interconectar la Smart Grid formada por los reconectadores U-Series With ADVC Controller en la red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.”

AGENDA:

1. Antecedentes
2. Objetivos
3. Smart Grid
4. Diseño del Sistema de Comunicaciones
5. Requerimientos del Sistema
6. Configuración de Equipos de Radio Frecuencia
7. Implementación del Sistema de Comunicaciones
8. Pruebas de conectividad
9. Conclusiones
10. Preguntas

1. ANTECEDENTES:

- ◉ Sistema energético a nivel mundial complejo e ineficiente.
- ◉ Multitud de puntos de producción eléctrica alejados de los grandes centros urbanos imponiendo a las redes de distribución requisitos de gestión más exigentes.
- ◉ Aparición de dispositivos electrónicos inteligentes que permiten la telegestión y telemedida en sistemas de distribución eléctrica.
- ◉ Necesidad de poseer múltiples generadores y muy diversos tipos de consumidores con tendencia al control de consumo eléctrico, fomentando un uso racional de la energía.
- ◉ Innovación tecnológica en cuanto a manejo, monitoreo y control. REGULACION No. CONELEC-005/08 PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL EN TIEMPO REAL DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO POR PARTE DEL CENACE.
- ◉ ELEPCO S.A., dispone en su sistema de redes de distribución aéreas, equipos reconectores con relés cuya tecnología es apropiada para la creación de una red inteligente.

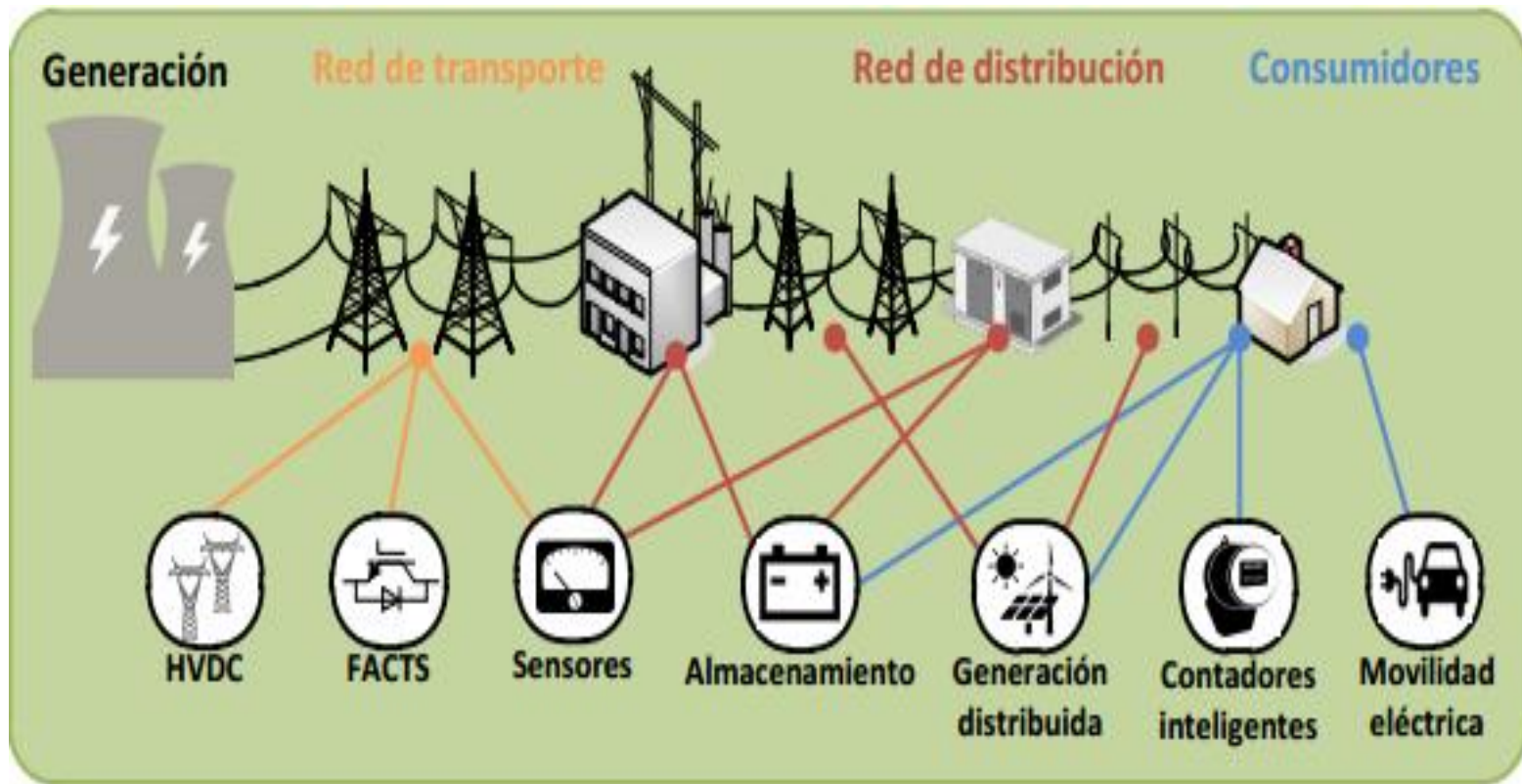
2. OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar e implementar un sistema de comunicación inalámbrico para interconectar la Smart Grid formada por los reconectadores U-Series With ADVC Controller en la red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

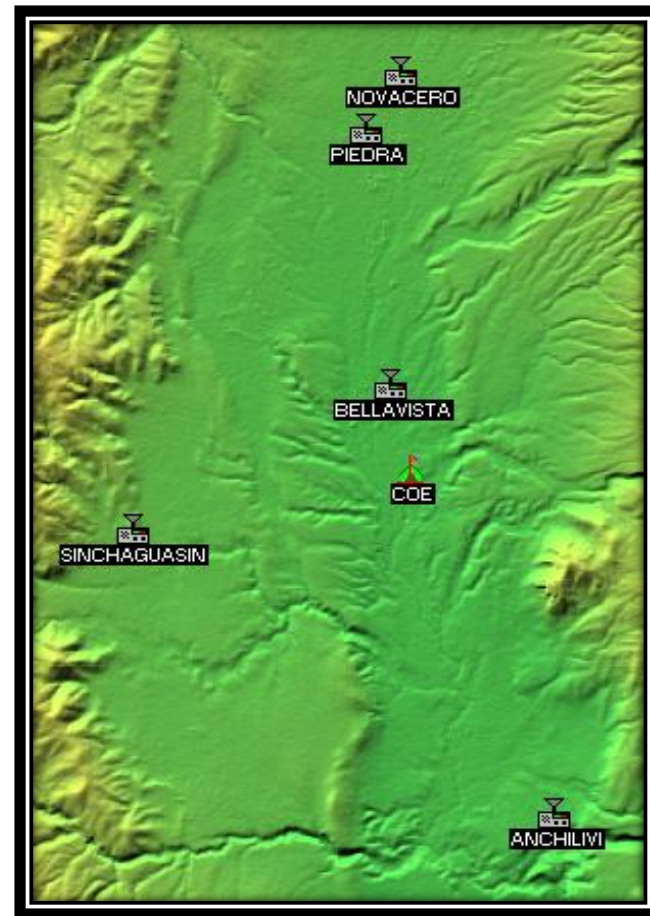
- ◉ Investigar sobre la evolución y desarrollo de las Smart Grid en redes de distribución eléctrica.
- ◉ Identificar la ubicación de los reconectores U-Series instalados en la red de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- ◉ Diseñar una red de comunicación inalámbrica mediante el estándar IEEE 802.11 que permita la interconexión de la Smart Grid formada por los reconectores U-Series With ADVC Controller de la marca Schneider Electric con el Centro de Control de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- ◉ Instalar los equipos que conforman la red para la interconexión de los reconectores.
- ◉ Monitorear los datos de parámetros eléctricos del sistema mediante el WSOS software propietario del fabricante de los reconectores U-Series.

3. SMART GRID



4. DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES

- La red de Distribución Eléctrica de la Provincia de Cotopaxi cuenta con puntos críticos en diferentes sectores geográficamente distantes del centro de control por tal razón hasta el momento se han instalado 5 reconectadores.

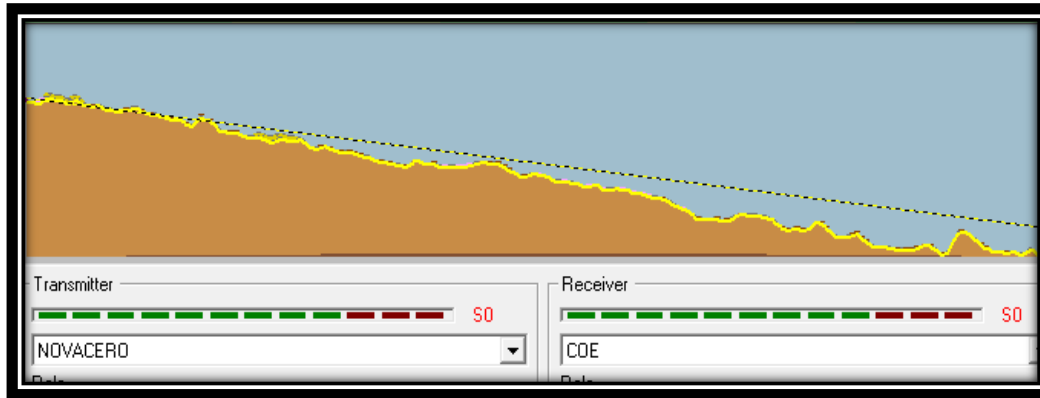


UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS RECONECTADORES

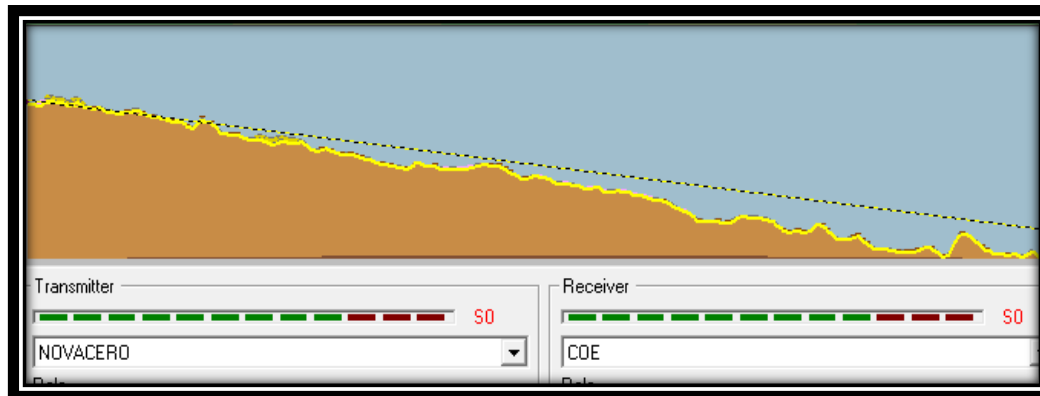
| RECONECTADOR | LATITUD | LONGITUD | ALTURA[m] |
|--|------------|-------------|-----------|
| NOVACERO | 0°47'41.8" | 78°36'55.9" | 2933.4 |
| PIEDRA COLORADA | 0°48'52.1" | 78°37'35.7" | 2909.3 |
| BELLAVISTA | 0°54'10.2" | 78°37'07.8" | 2804 |
| SINCHAGUASIN | 0°57'8.0" | 78°42'03.2" | 3054.7 |
| ANCHILIVI | 1°02'59.7" | 78°33'58.2" | 2723.5 |
| CENTRO DE OPERACIONES ELECTRICAS (COE) | 0°55'53.1" | 78°36'43.2" | 2805 |

PERFIL TOPOGRÁFICO - RADIO MOBILE

⊙ Enlace Novacero - COE

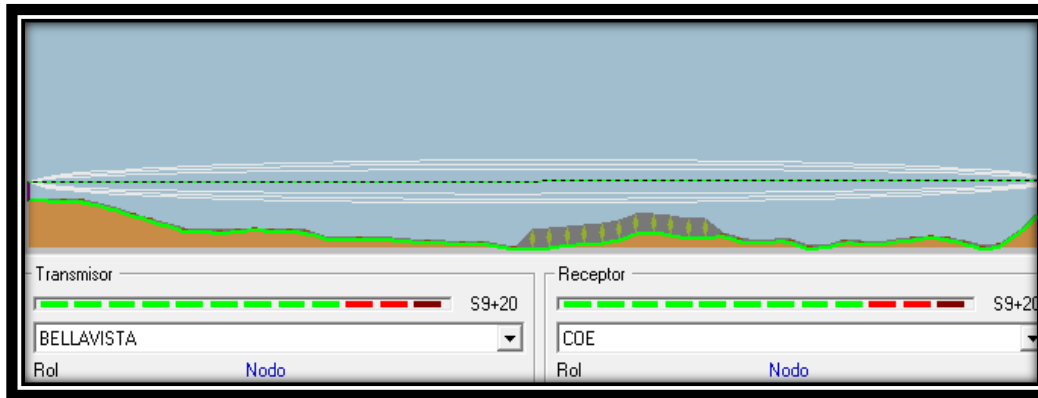


⊙ Enlace Piedra Colorada - COE

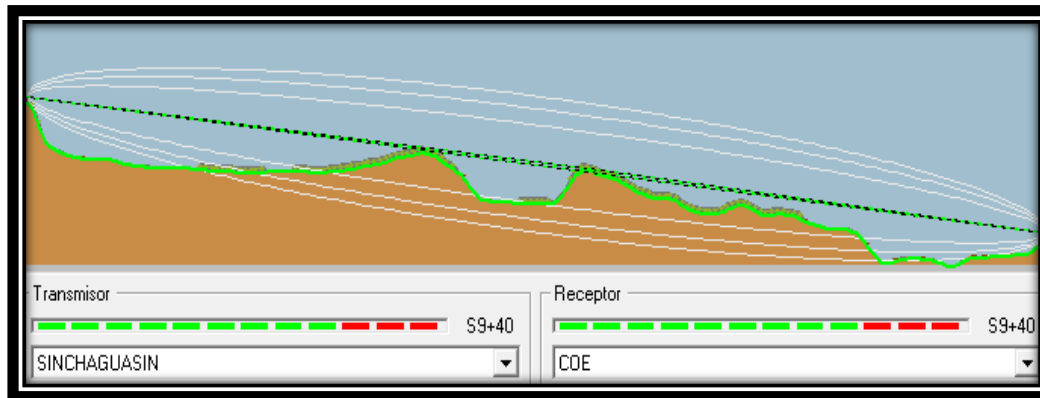


PERFIL TOPOGRÁFICO - RADIO MOBILE

⊙ Enlace Bellavista- COE

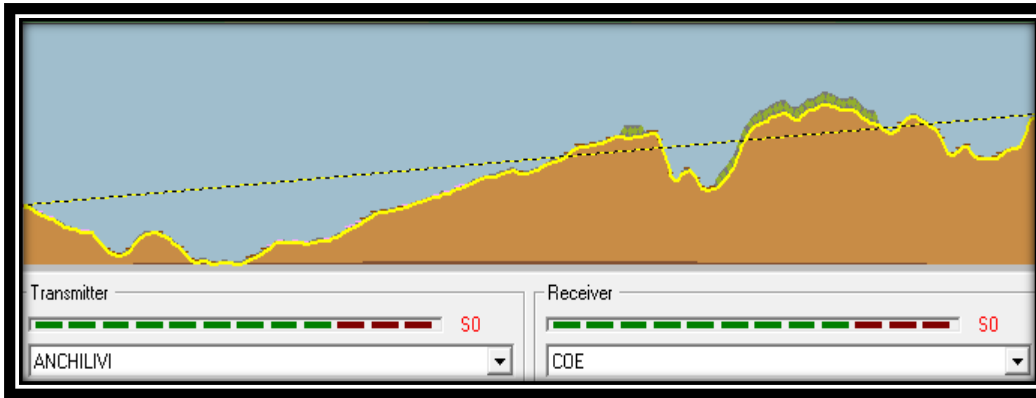


⊙ Enlace Sinchaguasín- COE

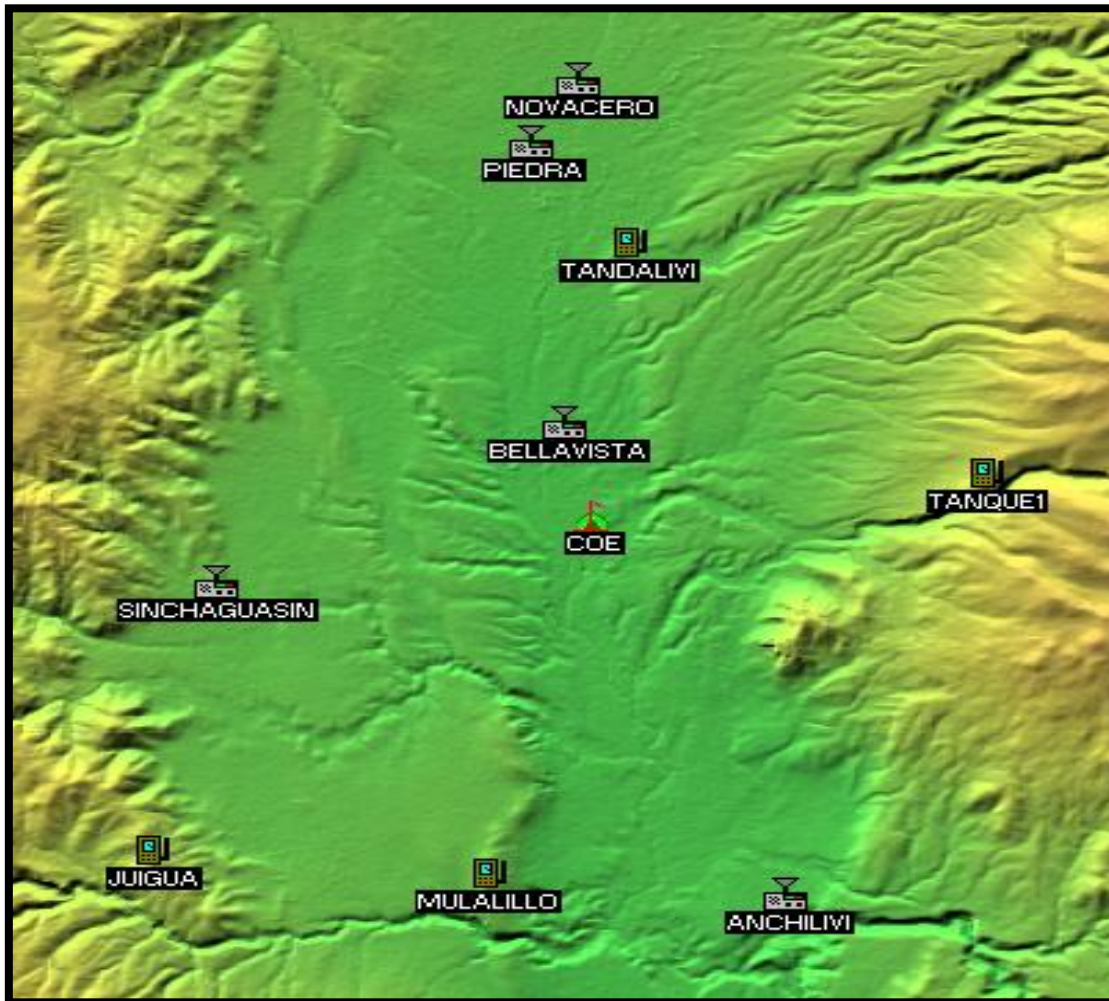


PERFIL TOPOGRÁFICO - RADIO MOBILE

○ Enlace Anchilivi - COE



NUEVOS PUNTOS DE ENLACE EN LA RED



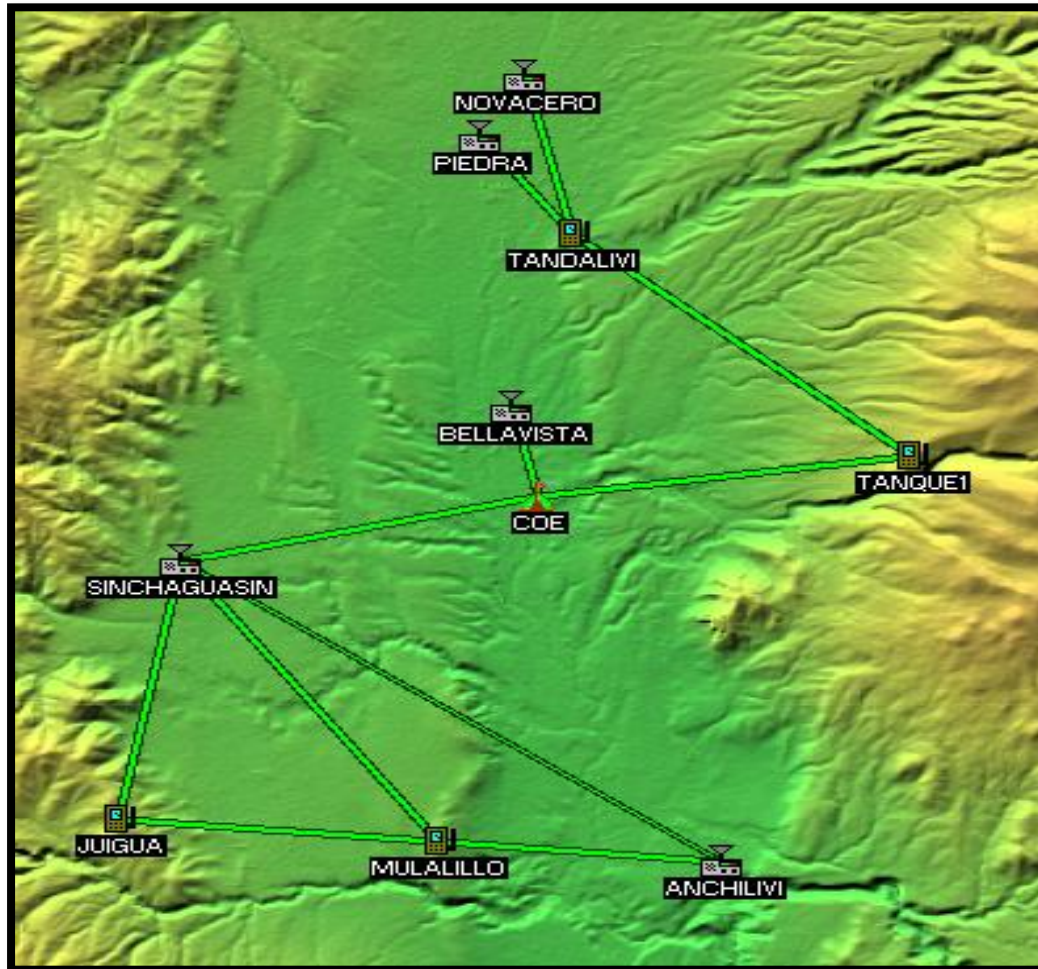
NUEVOS PUNTOS DE ENLACE EN LA RED

| UBICACIÓN | LATITUD | LONGITUD | ALTURA[m] |
|-----------|-------------|--------------|-----------|
| TANQUE 1 | 0°55'06.0" | 78°31'07.0" | 3631.3 |
| JUIGUA | 01°02'10.5" | 78°343'01.1" | 3491.6 |
| MULALILLO | 01°02'36" | 78°38'14.0" | 3087.6 |
| TANDALIVI | 0°50'45.8" | 78°36'13.1" | 2942 |

IDENTIFICACIÓN DE ENLACES

| UBICACIÓN ESTACIÓN 1 | UBICACIÓN ESTACIÓN 2 | DISTANCIA [Km] |
|----------------------|----------------------|----------------|
| Enlace 1 | | |
| Novacero | Tandalivi | 5.83 |
| Piedra Colorada | Tandalivi | 4.34 |
| Enlace 2 | | |
| Tandalivi | Tanque 1 | 12.40 |
| Enlace 3 | | |
| COE | Tanque 1 | 10.48 |
| Enlace 4 | | |
| COE | Bellavista | 3.27 |
| Enlace 5 | | |
| COE | Sinchaguasín | 10.14 |
| Enlace 6 | | |
| Juigua | Sinchaguasín | 9.51 |
| Mulalillo | Sinchaguasín | 12.35 |

DIAGRAMA DE RED



ANÁLISIS DE LOS ENLACES

- ◉ **Enlace 2**, está conformado por los nodos: Tandalivi y Tanque 1; por la disposición de los puntos geográficamente, se selecciona un enlace punto a punto, con el fin de obtener un lóbulo de radiación concentrado direccional.

| UBICACIÓN | LATITUD | LONGITUD | ALTURA[m] |
|-----------|------------|-------------|-----------|
| TANDALIVI | 0°50'45.8" | 78°36'13.1" | 2942 |
| TANQUE1 | 0°55'6.0" | 78°31'7.0" | 3631.3 |

En el enlace se considera el punto A Tandalivi (PA= Tandalivi) y el punto B Tanque 1 (PB= Tanque 1).

ANÁLISIS DE LOS ENLACES

- **Cálculo de Distancia:**

- $$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA-HPB}{1000}\right)^2}$$

- $$d = \sqrt{[111.32 * (0.8427 - 0.9176)]^2 + [111.32 * (-78.604 + 78.51794)]^2 + \left(\frac{2942-3631.3}{1000}\right)^2}$$

- $$d = 12.71 [Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

- $$Lb = 92,42 + 20\log(f[GHz]) + 20\log(d[Km])$$

- $$Lb = 92,42 + 20\log(5.785) + 20\log(12.71)$$

- $$Lb = 129.75[dB]$$

- **Atenuación total:**

- $$At = Lb + Alluvia + Avegetación$$

- $$At = 129.75 + 0.01 + 0.15$$

- $$At = 129.77 [dB]$$

ANÁLISIS DE LOS ENLACES

- Zona de Fresnel:

- $F_n = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$

- $F_1 = 17.32 \sqrt{\frac{3.14 \cdot 9.26}{5.785 \cdot 12.4}}$

- $F_1 = 13.23$

- Ángulo Azimuth:

- $azimuth = \tan^{-1}(\theta)$

- $\theta = \frac{\Delta longitud}{\Delta latitud}$

- $\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$

- $\theta = \frac{-78.604 + 78.517944}{0.8427 - 0.9176} = 1.1489$

- $azimuth = \tan^{-1}(1.1489)$

- $azimuth = 48.96^\circ$

- *Por la disposición en el cuadrante*

- $azimuth = 180^\circ - 48.96^\circ$

- $azimuth = 131.03^\circ$

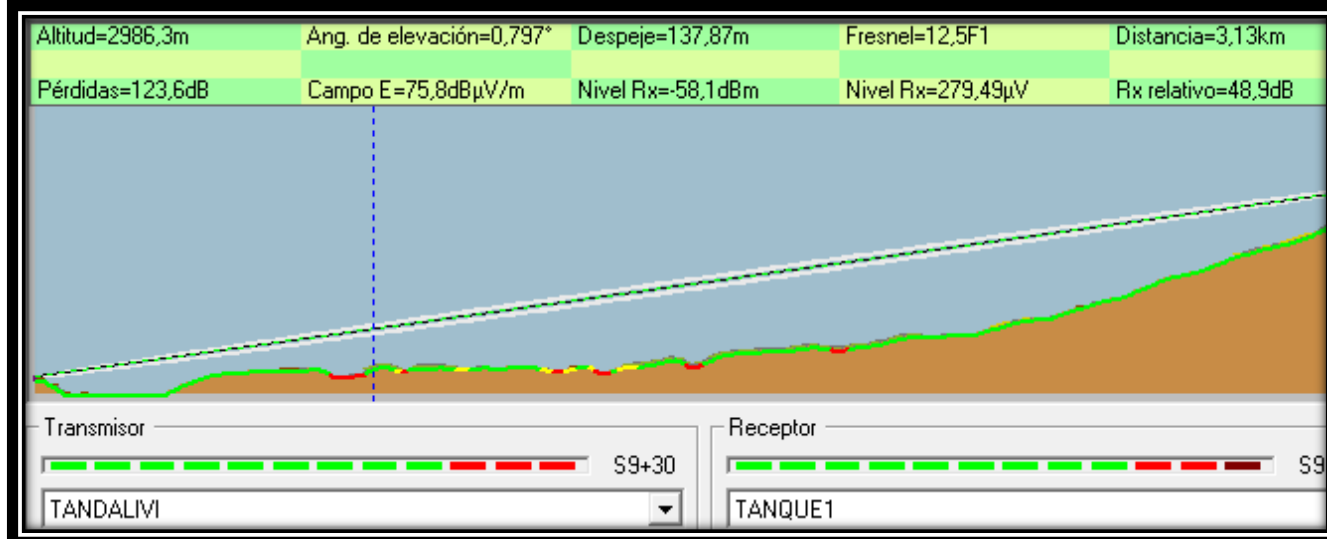
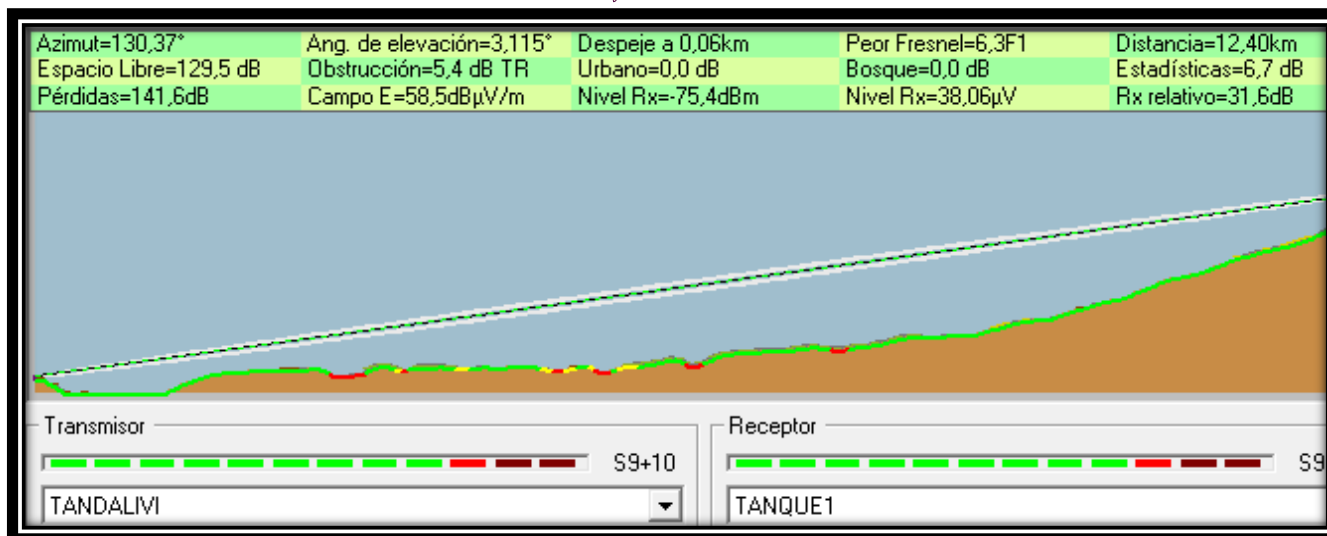
ANÁLISIS DE LOS ENLACES

- ◉ **Ángulo de elevación:**
- ◉ $elevación = \tan^{-1}(\theta)$
- ◉ $\theta = \left| \frac{\Delta altura}{distancia} \right|$
- ◉ $\theta = \left| \frac{HPA-HPB}{d} \right|$
- ◉ $\theta = \left| \frac{2942-3631.3}{12400} \right| = 0.0555$
- ◉ $elevación = \tan^{-1}(0.0555)$
- ◉ $elevación = 3.17^\circ$

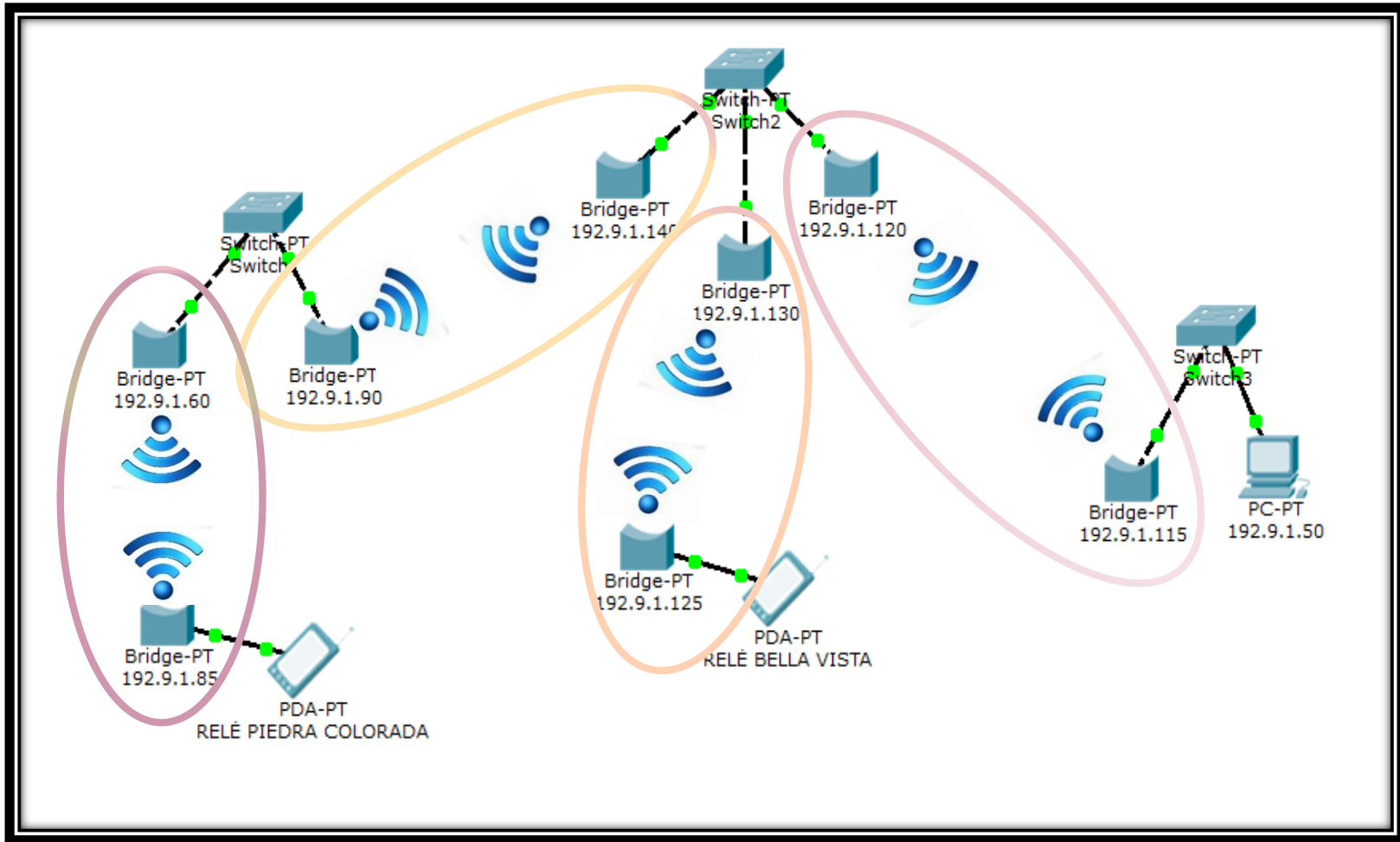
TABLA COMPARATIVA ENTRE SOFTWARE Y CÁLCULOS

| Enlace | Parámetros | Calculados | Radio Mobile |
|-------------------------|--|------------|--------------|
| Tandalivi - Tanque 1 | Longitud del trayecto radioeléctrico | 12.71[Km] | 12.4[Km] |
| | Pérdida básica de transmisión en el espacio libre. | 129.75[dB] | 129.5[dB] |
| | Atenuación total | 129.77[dB] | - |
| | Zona de Fresnel | 13.23F1 | 12.5F1 |
| | Azimut | 131.03° | 130.27° |
| | Elevación | 3.17° | 3.115° |

TABLA COMPARATIVA ENTRE SOFTWARE Y CÁLCULOS



TOPOLOGÍA LÓGICA DE LA RED



5. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

RELÉ



EQUIPOS DE RADIO FRECUENCIA



| ÍTEM | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS |
|------------------------|-----------------------------------|
| Tipo: | Radio Tecnología airMAX |
| Ganancia de la Antena: | 23 dBi |
| Distancia máxima: | 15 Km |
| Frecuencia: | 5.8 Ghz |
| Interface de conexión: | 10BaseT - 100BaseT |
| Voltaje: | 12 V USB + Adaptador POE |
| Interfaz Física: | 1. Indicador LED de comunicación. |

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:

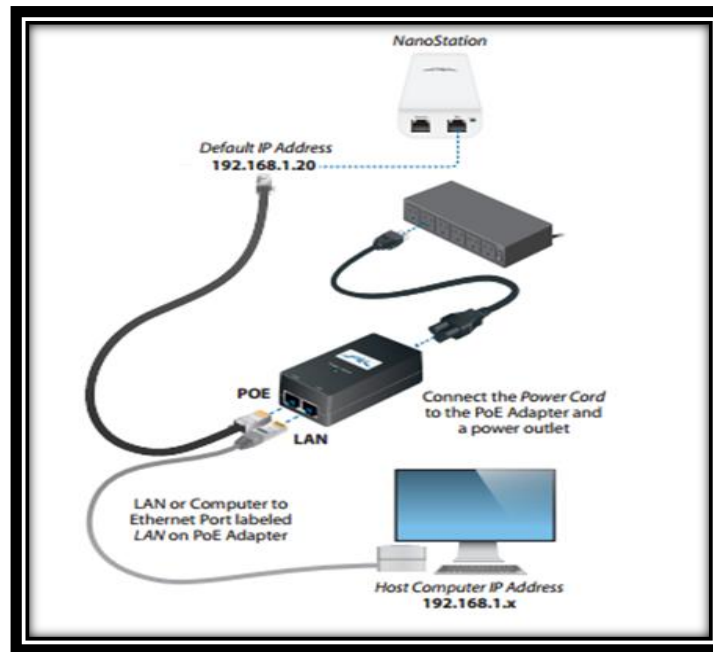
- Mástiles



SWITCH DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN



6. CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA



CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA

The screenshot displays the configuration page for an AirGrid M5HP device. The interface includes a navigation menu with tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The NETWORK tab is currently selected. The page is titled "AirGrid M5HP" and "AirOS™".

Network Role

Network Mode: Bridge
Disable Network: None

Network Settings

Bridge IP Address: DHCP Static
IP Address: 192.9.1.115
Netmask: 255.255.255.0
Gateway IP: 192.9.1.1
Primary DNS IP:
Secondary DNS IP:
MTU: 1500
Spanning Tree Protocol:
Auto IP Aliasing:
IP Aliases: [Configure...](#)

VLAN Network Settings

Enable VLAN:

Firewall Settings

Enable Firewall: [Configure...](#)

Static Routes

Static Routes: [Configure...](#)

[Change](#)

CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA

The screenshot displays the configuration page for an AirGrid M5HP device. The interface includes a navigation menu with tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The 'WIRELESS' tab is selected. The page title is 'AirGrid M5HP' and the logo 'AirOS' is visible in the top right corner. The 'Basic Wireless Settings' section contains the following configuration options:

- Wireless Mode: Station
- SSID: SISTEMA1.6
- Lock to AP MAC: 00:27:22:74:72:7E
- Country Code: United States
- IEEE 802.11 Mode: A/N mixed
- Channel Width: Auto 20/40 MHz
- Channel Shifting: Disabled
- Frequency Scan List, MHz: Enabled
- Auto Adjust to EIRP Limit:
- Antenna: 17x24 - 28 dBi
- Output Power: 23 dBm
- Max TX Rate, Mbps: MCS 7 - 65 [150] Automatic

The 'Wireless Security' section shows:

- Security: none

A 'Change' button is located at the bottom right of the configuration area.

CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA

AirGrid M5HP AirOS™

MAIN WIRELESS NETWORK **ADVANCED** SERVICES SYSTEM Tools: Logout

Advanced Wireless Settings

RTS Threshold: Off
Fragmentation Threshold: Off
Distance: 14.8 miles (23.8 km)
ACK Timeout: Auto Adjust
Aggregation: Enable
 Frames Bytes
Multicast Data: Allow All
Enable Installer EIRP Control:
Enable Extra Reporting:
Sensitivity Threshold, dBm: Off

Advanced Ethernet Settings

Enable Autonegotiation:
Link Speed, Mbps: ▼
Enable Full Duplex:

Signal LED Thresholds

| | LED1 | LED2 | LED3 | LED4 |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Thresholds, dBm: | <input type="text" value="-94"/> | <input type="text" value="-80"/> | <input type="text" value="-73"/> | <input type="text" value="-65"/> |

Traffic Shaping

Enable Traffic Shaping:

CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA

AirGrid M5HP **AirOS™**

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: [v] Logout

Device **Date Settings**

Device Name: Timezone: (GMT) Western Europe [v]
Interface Language: English [v] Enable Startup Date:
Startup Date:

System Accounts

Administrator Username: [🔍]
Enable Read-Only Account:

Miscellaneous **Location**

Enable Reset Button: Latitude:
Longitude:

Configuration Management

Backup Configuration:
Upload Configuration: Ningún archivo seleccionado

Device Maintenance

Firmware Version: XM.v5.3.5.
Build Number: 11245

CONFIGURACIÓN EQUIPOS DE RADIOFRECUENCIA

The screenshot displays the configuration interface for an AirGrid M5HP device. The interface is organized into several sections:

- Header:** Includes the "AirGrid M5HP" logo on the left and the "AirOS" logo on the right. A navigation menu contains tabs for "MAIN", "WIRELESS", "NETWORK", "ADVANCED", "SERVICES", and "SYSTEM". On the right side of the header, there are "Tools:" and "Logout" options.
- Device Settings:** This section is divided into two columns:
 - Device:** Contains fields for "Device Name" (set to "CALVARIO") and "Interface Language" (set to "English").
 - Date Settings:** Contains a "Timezone" dropdown menu (set to "(GMT) Western Europe"), an "Enable Startup Date" checkbox (unchecked), and a "Startup Date" field with a calendar icon.
- System Accounts:** Contains an "Administrator Username" field (set to "ubnt") with a search icon, and an "Enable Read-Only Account" checkbox (unchecked).
- Miscellaneous and Location:** This section is also divided into two columns:
 - Miscellaneous:** Contains an "Enable Reset Button" checkbox (checked).
 - Location:** Contains "Latitude:" and "Longitude:" input fields.
- Configuration Management:** Contains a "Backup Configuration:" section with a "Download..." button, and an "Upload Configuration:" section with a "Seleccionar archivo" button, the text "Ningún archivo seleccionado", and an "Upload" button.
- Device Maintenance:** This section is at the bottom and contains the text "Firmware Version: XM.v5.3.5." and "Build Number: 11245". Below this text are four buttons: "Update...", "Reboot...", "Reset to Defaults...", and "Support Info".

A "Change" button is located at the bottom right of the "Miscellaneous" and "Location" section.

6. IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES

IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA



IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA



IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REPETIDORA



IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REPETIDORA



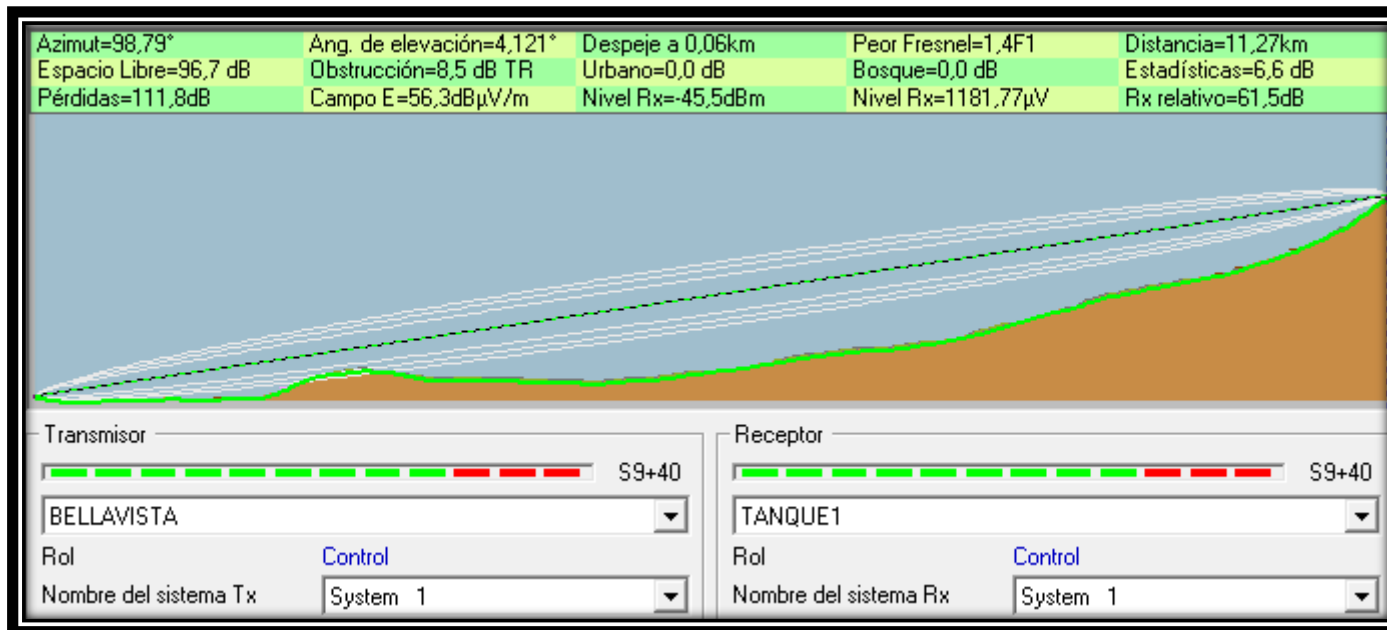
IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REPETIDORA



CENTRO DE CONTROL



Redireccionamiento enlace Bellavista-Tanque 1

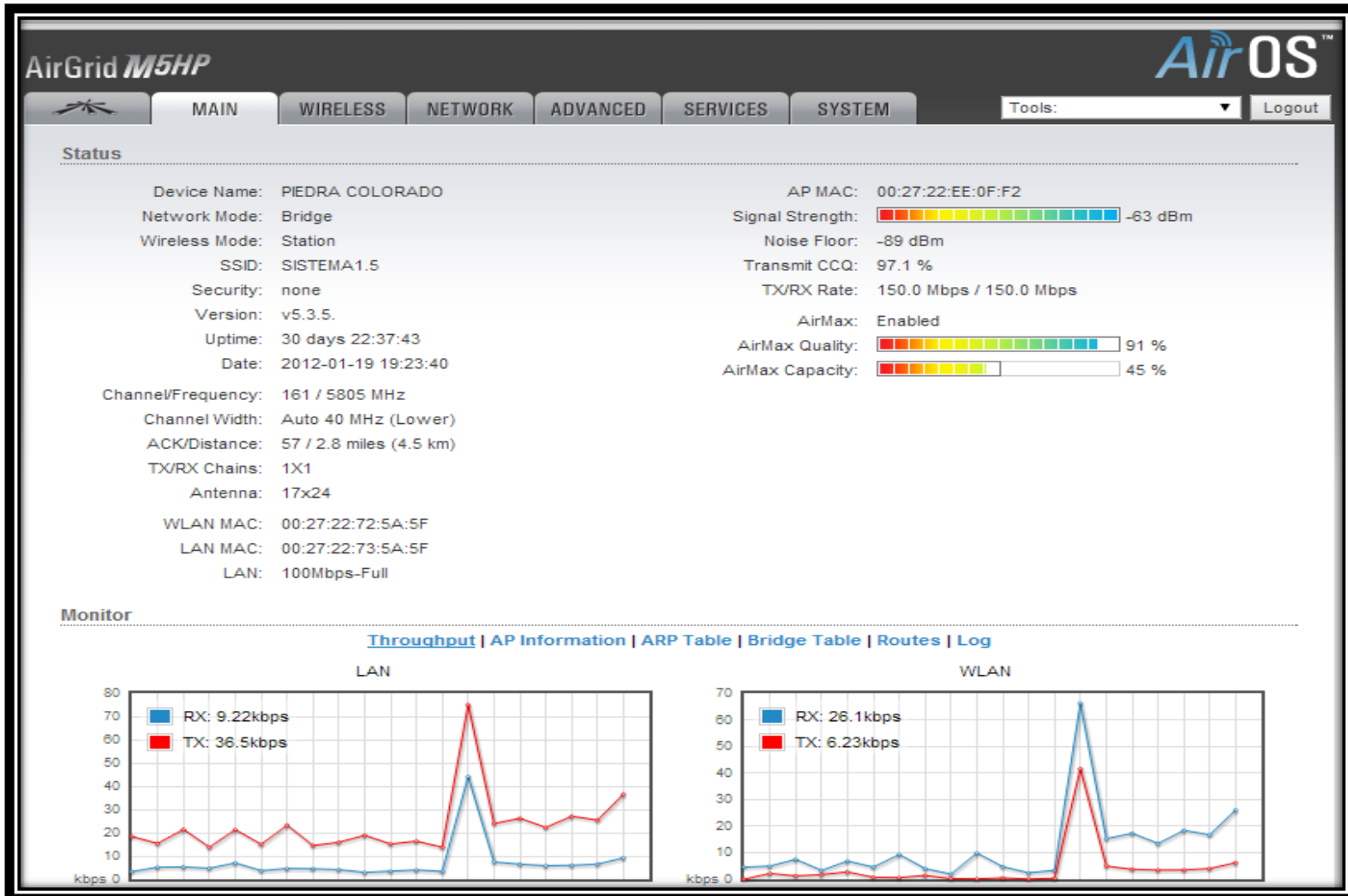


8. PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

| Centro de Operaciones | Estación remota |
|-----------------------|--|
| El Calvario | Piedra Colorada |
| 192.9.1.50 | 192.9.1.85 |
| Ruta | 192.9.1.50 - 192.9.1.115 - 192.9.1.120 - 192.9.1.60 -192.9.1.85 |

PRUEBAS DE CONECTIVIDAD



PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

```
C:\Windows\system32\CMD.exe
C:\Users\Usuario>ping 192.9.1.85 -t -l 1000

Haciendo ping a 192.9.1.85 con 1000 bytes de datos:
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.85: bytes=1000 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.9.1.85:
    Paquetes: enviados = 16, recibidos = 16, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 5ms, Media = 0ms
```

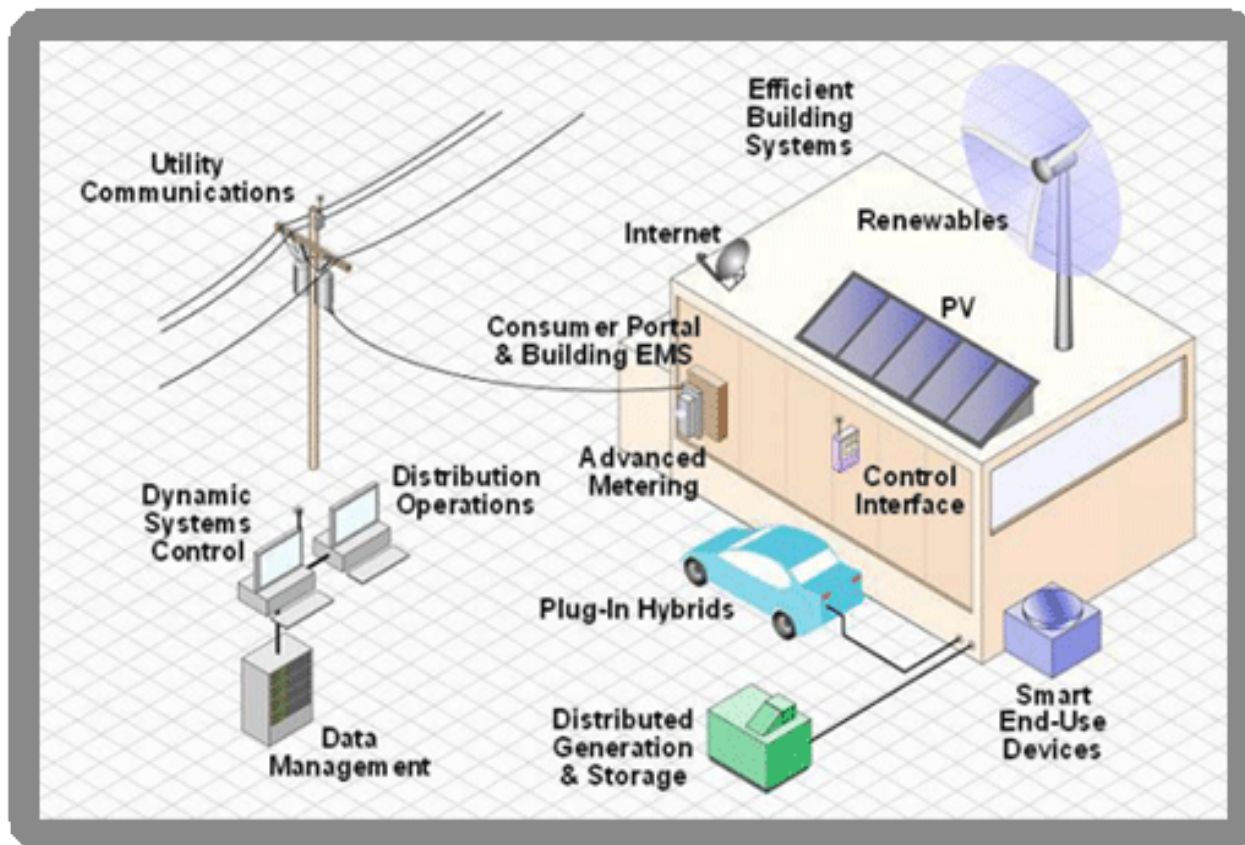

PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

| Mínimo | Máximo | Medio | Paquetes enviados | Paquetes Recibidos |
|--------|--------|-------|----------------------|-----------------------|
| 0 ms | 5 ms | 0 ms | 16 | 16 |

PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

| COE | Estación Remota | Ruta | Tiempo Promedio | Paquetes enviados | Paquetes recibidos |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| 192.9.1.50 | Illuchi-COE 192.9.1.120 | 192.9.1.50 /115/120 | 10 ms | 16 | 16 |
| 192.9.1.50 | Illch-Bellvt 192.9.1.130 | 192.9.1.50 /115/130 | 8 ms | 17 | 17 |
| 192.9.1.50 | Illch-Tndaliv 192.9.1.140 | 192.9.1.50 /115/140 | 47 ms | 16 | 16 |
| 192.9.1.50 | Bellavista 192.9.1.125 | 192.9.1.50 /115/125 | 1 ms | 18 | 18 |
| 192.9.1.50 | Piedra C 192.9.1.85 | 192.9.1.50 /115/120/60 /85 | 1 ms | 16 | 16 |
| 192.9.1.50 | Tndaliv-Bellvt 192.9.1.85 | 192.9.1.50 /115/120/60 /85 | 1 ms | 19 | 19 |
| 192.9.1.50 | Tndaliv-Illuchi 192.9.1.90 | 192.9.1.50 /115/120/90 | 1 ms | 16 | 16 |

9. CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

- ◉ Como parte fundamental del proyecto se realizó una investigación a fondo de las Smart grid o redes eléctricas inteligentes en su concepto funcionamiento y ventajas, esta información sumada a su aplicación real en los sistemas eléctricos de protección y control que interconectan las subestaciones de ELEPCO S.A, permite concluir que SMART GRID es la tendencia tecnología que agrupa todos los factores necesarios para una gestión eficiente de la electricidad que permite optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores.
- ◉ Según la información proporcionada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A, se pudo conocer la ubicación de los reconectores U-Series instalados dentro del sistema de interconexión siendo las estaciones remotas involucradas la estación Piedra Colorada y Bellavista; con esta ubicación y mediante pruebas realizadas en sitio se analizó las opciones más adecuadas para el diseño de la red de comunicación y los posible escenarios y puntos de ubicación de las estaciones repetidoras.

CONCLUSIONES

- ◉ A partir de las pruebas realizadas en los diferentes enlaces, tanto con el software AirGrid M5HP de AIR OS para el sistema Wire Lan de los equipos de radio frecuencia, como con el análisis de la Red IP creada, se comprobó el estado de la comunicación del host local con los equipos remotos a través de los repetidores, por medio del envío de paquetes ICMP de solicitud y de respuesta, con esto se confirmó el estado, velocidad y calidad de cada nodo de la red, con ping constante y carga de 1000 bytes, generando un tiempo medio de ida y vuelta de los paquetes de 10.5 ms, lo que constata un buen estado de las conexiones.
- ◉ El presente proyecto constituye la fase inicial de un proceso fundamental para ELEPCO S.A. que persigue alcanzar estándares internacionales en base a la integración de nuevas tecnologías para tener sistemas consolidados y procesos eficientes que se reflejen directamente en los beneficios que recibe tanto la empresa como los consumidores del servicio eléctrico. Se entrega un proyecto encaminado al mejoramiento integral de la etapa de distribución de la energía eléctrica, mismo que debe ser fortalecido y complementado con el apoyo de las autoridades y de la comunidad en si para generar innovaciones y cambios que busquen el bienestar colectivo.