



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

### DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO PARA LA MEDICIÓN Y REGISTRO DE CAUDALES Y NIVELES EN LOS TANQUES DE PRESIÓN DE LAS CENTRALES ILLUCHI 1 E ILLUCHI 2 A SER INTEGRADO AL SISTEMA SCADA DE ELEPCO S.A.

#### Autores:

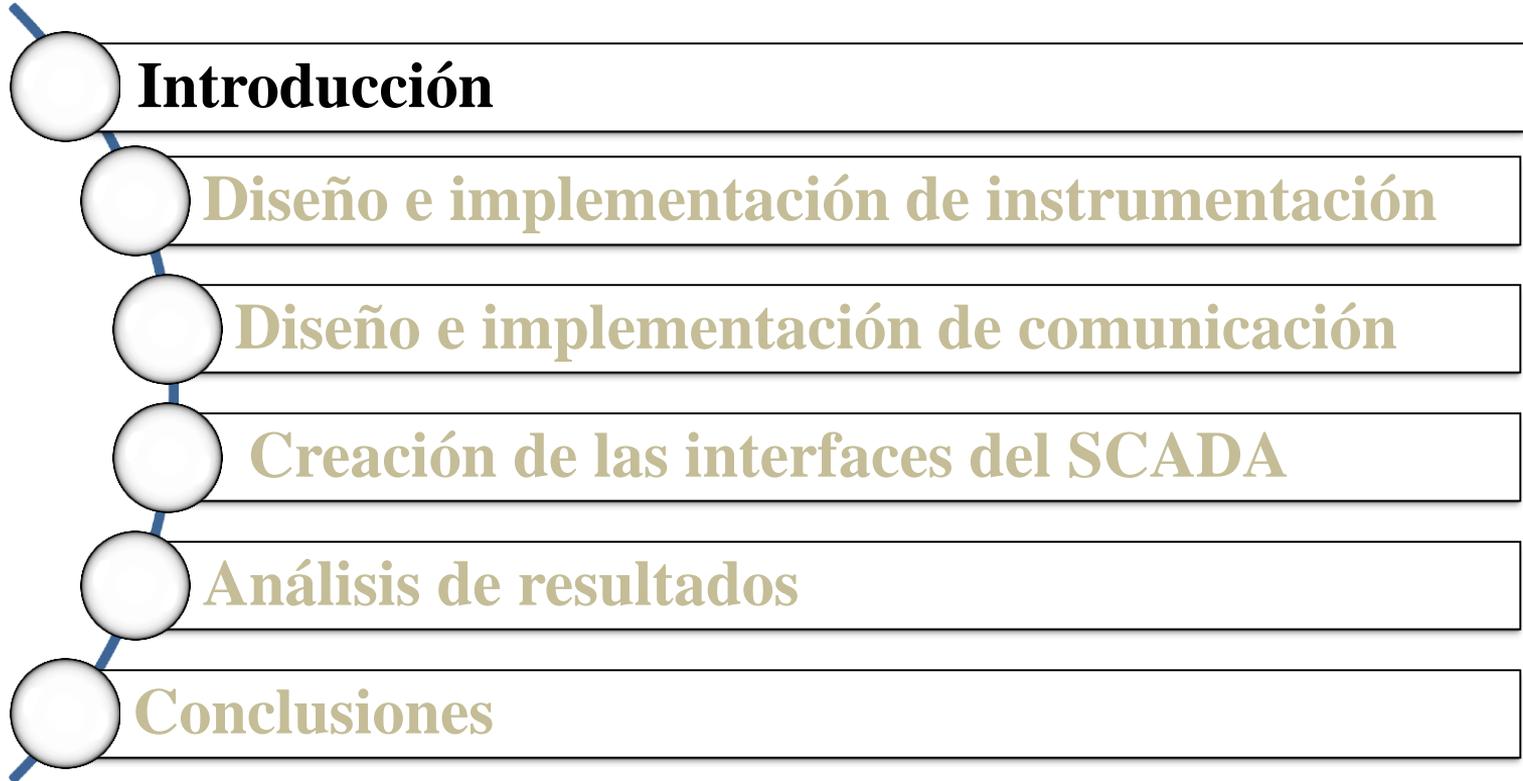
Esteban Alejandro Ortega Izquierdo  
Adriana Estefania Tigselema Benavides

Ing. Wilson Trávez, *Director*

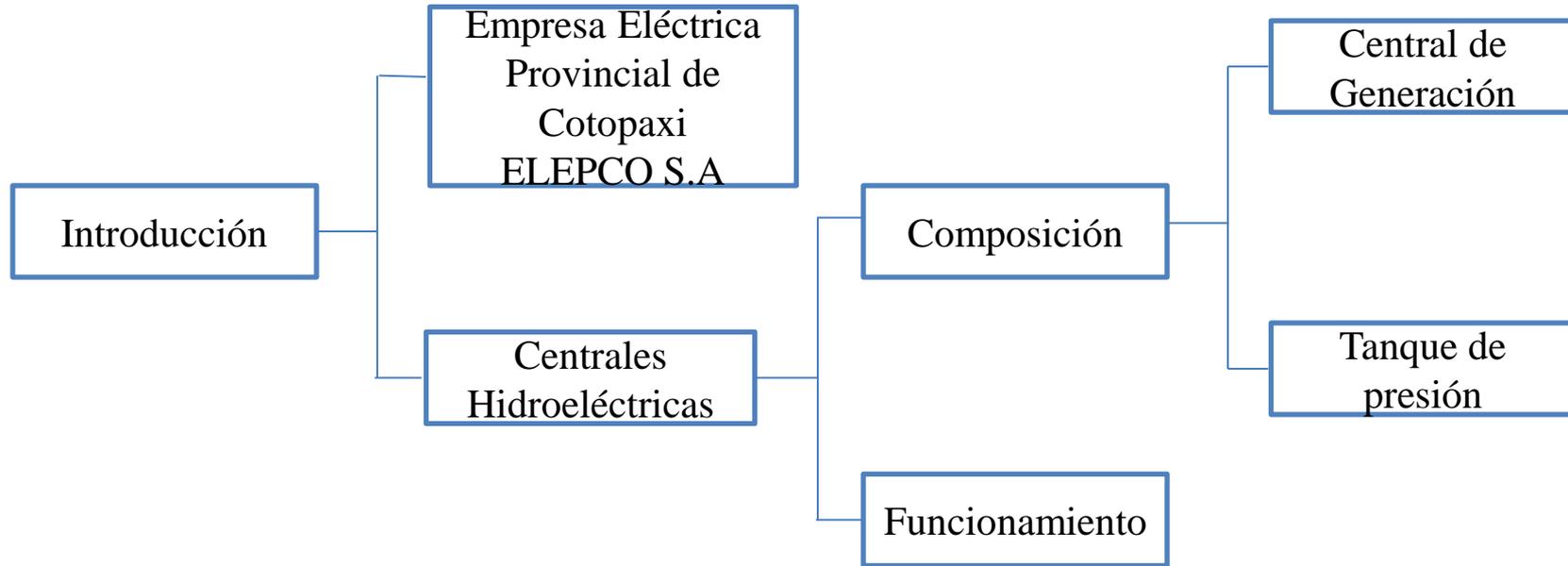


# Itinerario del Día

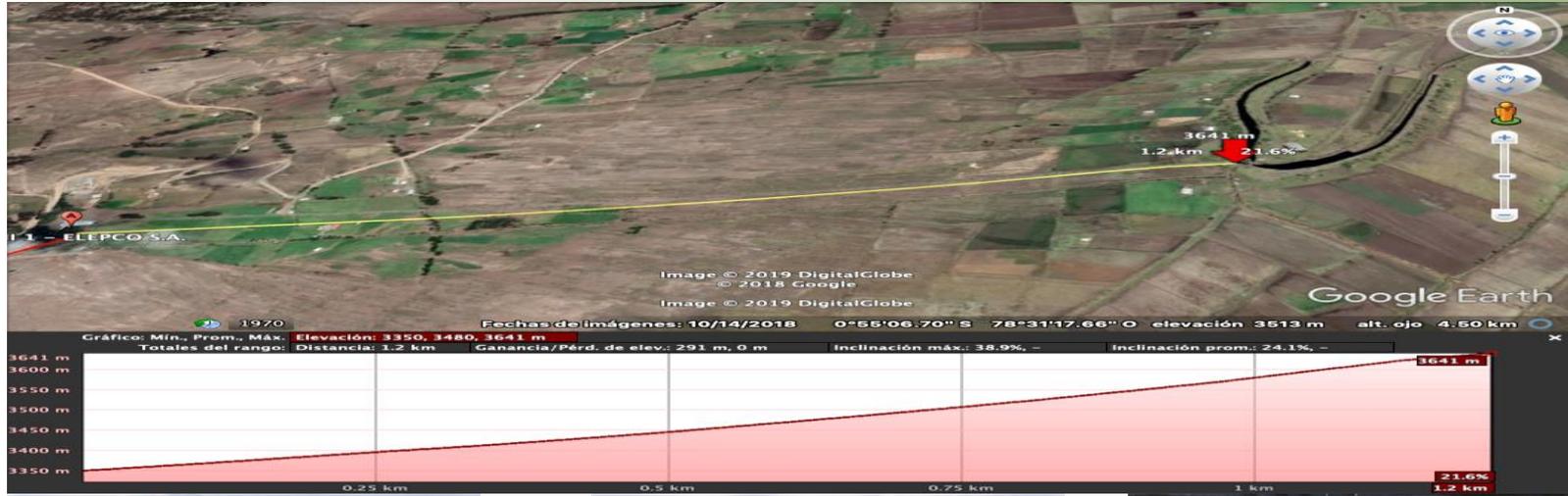
- 1** **Introducción**
- 2** **Diseño e implementación de instrumentación**
- 3** **Diseño e implementación de comunicación**
- 4** **Creación de las interfaces en el SCADA**
- 5** **Análisis de resultados**
- 6** **Conclusiones**



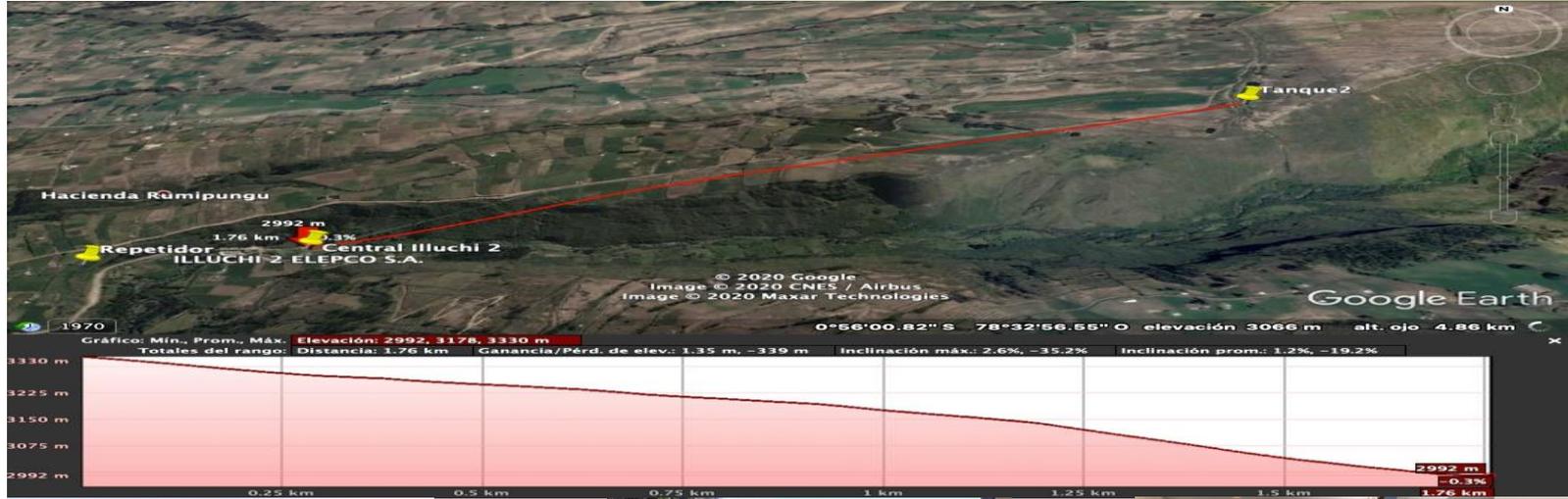
# Introducción



# Introducción



# Introducción



# Introducción

P  
R  
O  
B  
L  
E  
M  
Á  
T  
I  
C  
A

Medición y registro

Nivel

Caudal

Distancia de separación

Operador

Señales invisibles en el SACADA

Ubicación geográfica

No tiene comunicación

Ninguna medición ni registro



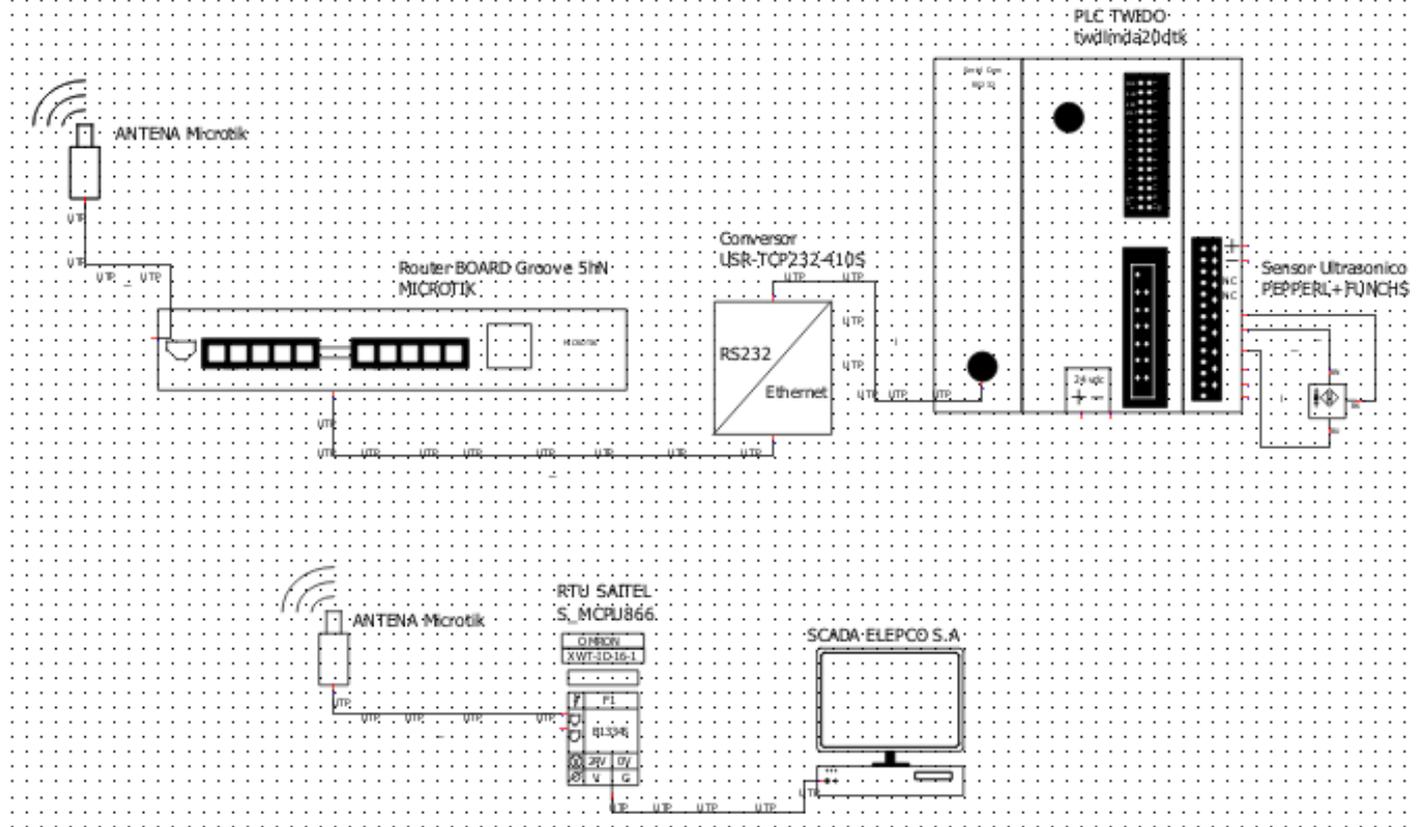
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Resumen

Adquisición de señales

Comunicación inalámbrica

Interfaces del SCADA

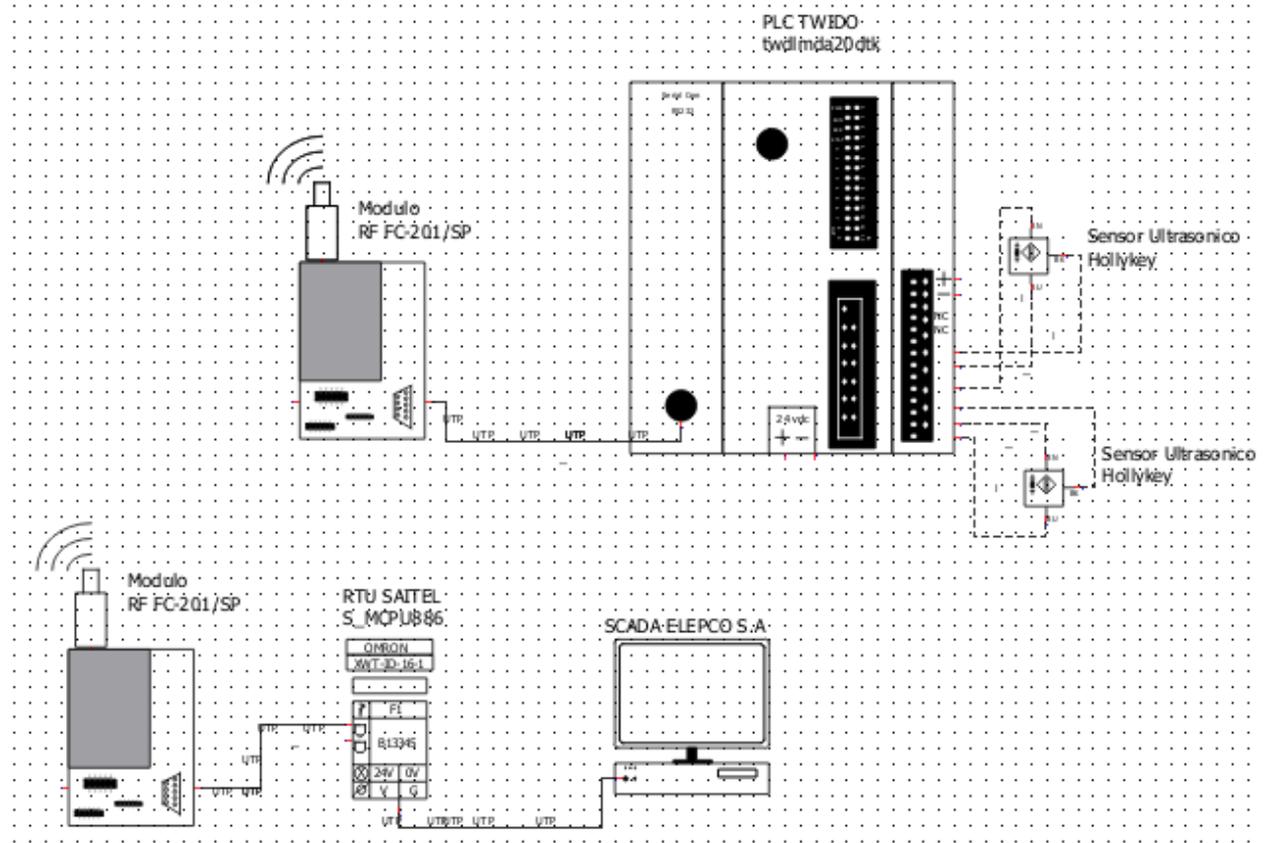


# Resumen

Adquisición de señales

Comunicación inalámbrica

Interfaces del SCADA



# OBJETIVO GENERAL

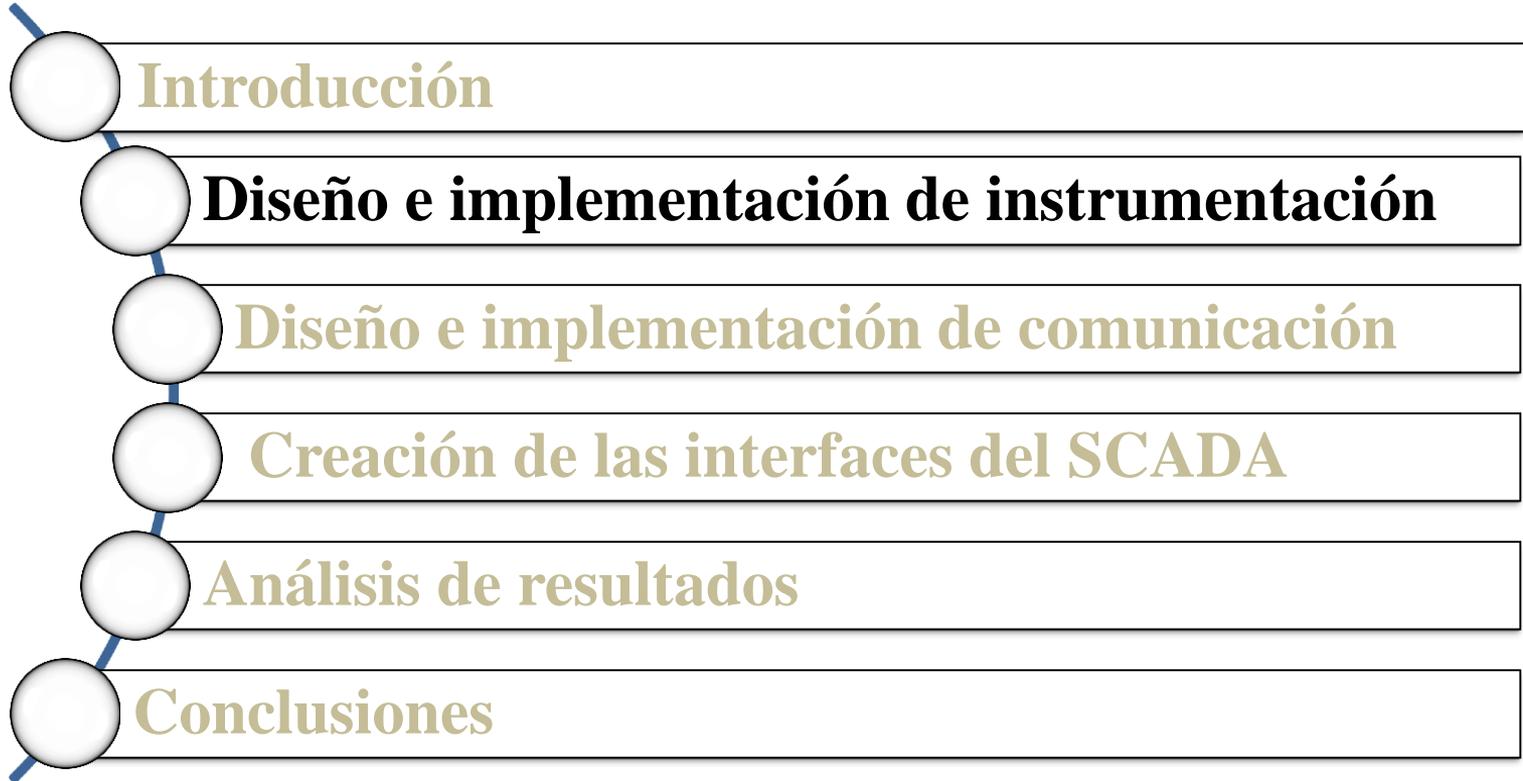
Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema SCADA de ELEPCO S.A.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los requisitos técnicos y tecnológicos del SISTEMA SCADA/OMS-MWM/DMS que dispone ELEPCO S.A., necesario para la integración del módulo de medición y registro de niveles y flujo de agua en centrales hidroeléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2.
- Diseñar y seleccionar la instrumentación necesaria para la medición de nivel en el tanque de presión 1 y 2, y la medición de caudal en canal abierto en la entrada de la central de generación Illuchi 1 e Illuchi 2.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar el sistema de comunicación, que permita comunicar los tanques de presión 1 y 2 con la RTU central del SCADA de ELEPCO S.A.
- Diseñar e implementar las interfaces de visualización en el Sistema SCADA/OMS-MWM/DMS para el monitoreo, registro y visualización de los niveles y caudales de agua.
- Evaluar el módulo implementado a través de pruebas de funcionamiento en campo que validen la correcta integración sistema SCADA de ELEPCO S.A.



# Diseño e implementación de instrumentación

Sensor ultrasónico  
HOLYKELL



Sensor ultrasónico  
PEPPERL+FUCHS.



PLC Twido-twdlmda20dtk



# Diseño e implementación de instrumentación

Paso de corriente eléctrica al gabinete.



Instalación del sensor de nivel ultrasónico y del gabinete

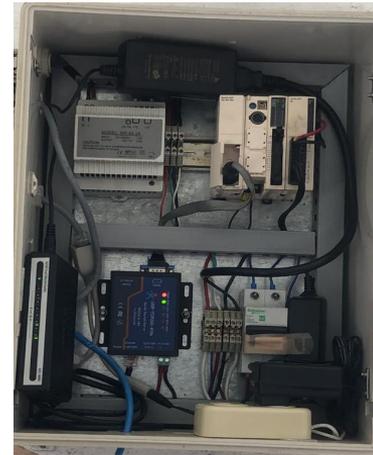


# Diseño e implementación de instrumentación

Instalación del  
sensor de nivel  
ultrasónico



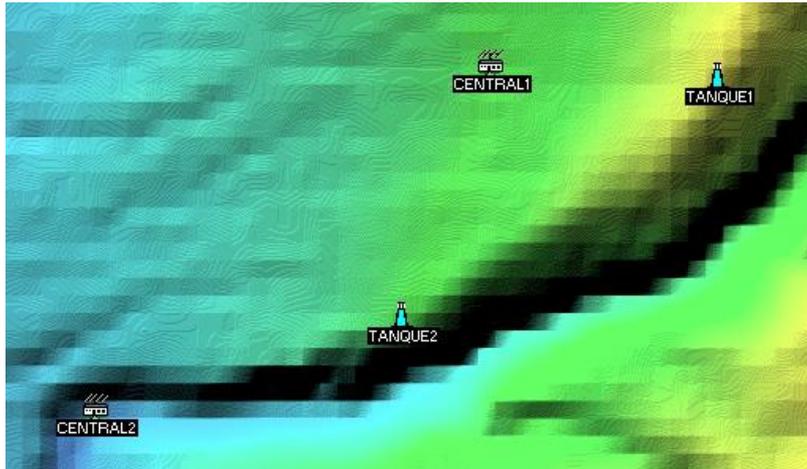
Cableo e Instalación  
del gabinete 2



- **Introducción**
- **Diseño e implementación de instrumentación**
- **Diseño e implementación de comunicación**
- **Creación de las interfaces del SCADA**
- **Análisis de resultados**
- **Conclusiones**



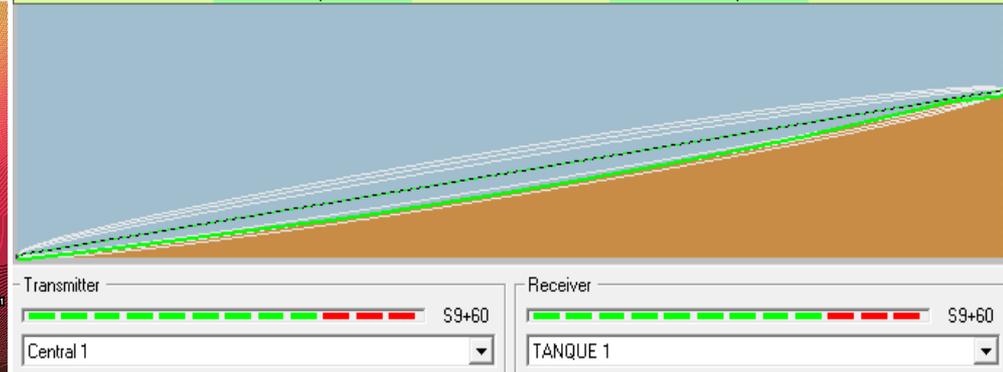
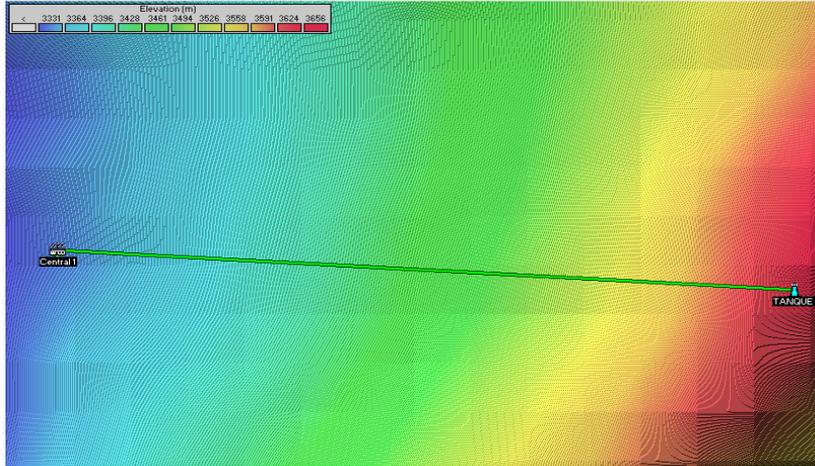
# Ubicación geográfica de los puntos



| Ubicación | Latitud   | Longitud   |
|-----------|-----------|------------|
| Central 1 | -0,918911 | -78,528573 |
| Tanque 1  | -0,919583 | -78,517728 |
| Central 2 | -0,935276 | -78,547303 |
| Tanque 2  | -0,930906 | -78,532707 |



# Enlace 1: Central 1-Tanque 1



# Análisis de los enlaces

- **Cálculo de Distancia:**

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

$$d = \sqrt{[111.32 * (-0,918911 + 0,919583)]^2 + [111.32 * (-78,528573 + 78,517728)]^2 + \left(\frac{3346,1 - 3642,4}{1000}\right)^2} = 1.21[Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

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

$$Lb = 92,42 + 20 \log(5,8) + 20 \log(1,2) = 109,27$$

- **Zona de Fresnel:**

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * d}}$$

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{0,9 * 0,3}{5,8 * 1,2}} = 1,29$$

# Análisis de los enlaces

- **Ángulo Azimuth:**

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

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

$$\theta = \frac{-78,528573 + 78,517728}{-0,918911 + 0,919583}$$

$$\text{azimuth} = 93,54^\circ$$

- **Ángulo de elevación:**

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

$$\theta = \left| \frac{\Delta \text{altura}}{\text{distancia}} \right|$$

$$\theta = \left| \frac{3346,2 - 3646,4\text{m}}{1,2} \right|$$

$$\theta = 0,250$$

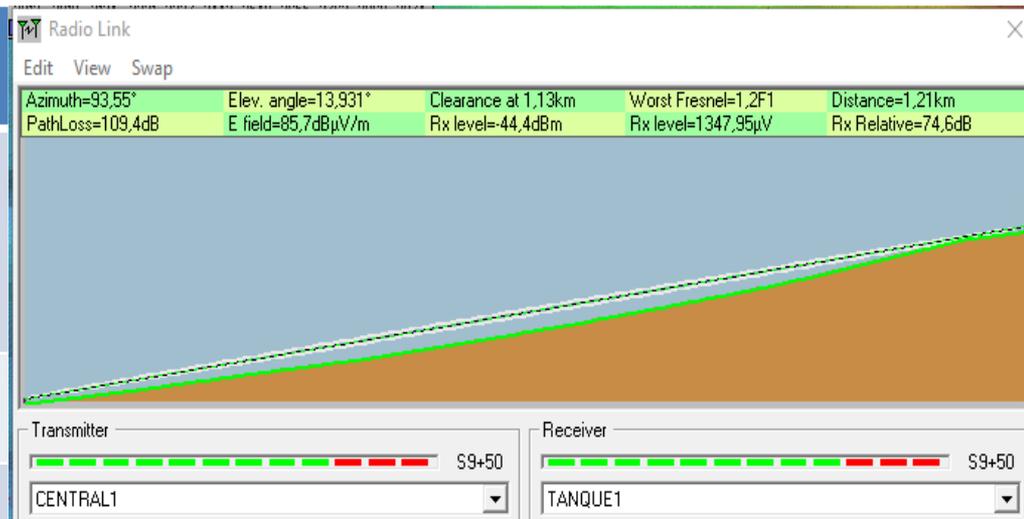
$$\text{Elevación} = \tan^{-1}(0,250)$$

$$\text{Elevación} = 14^\circ$$

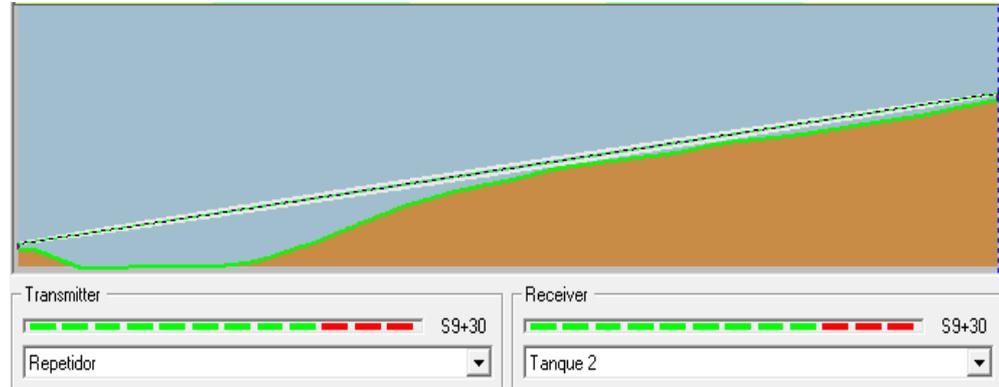
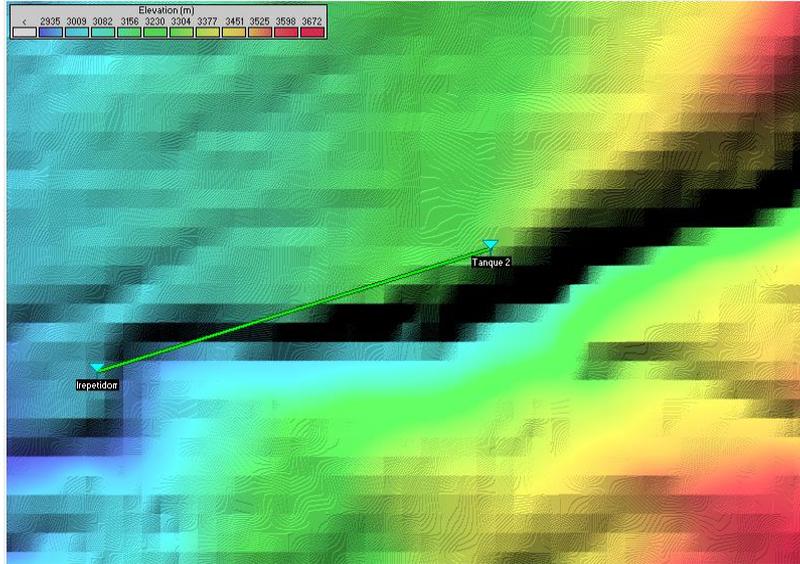


# Comparación entre cálculos y software

| Parámetros                           | Calculados | Radio Mobile |
|--------------------------------------|------------|--------------|
| Longitud del trayecto radioeléctrico | 1,2[Km]    | 1,21[Km]     |
| Zona de Fresnel                      | 1,2F1      | 1,2F1        |
| Pérdida básica de transmisión        | 109,27[dB] | 109,4[dB]    |
| Azimut                               | 93,54°     | 93,55°       |
| Elevación                            | 14°        | 13,65°       |

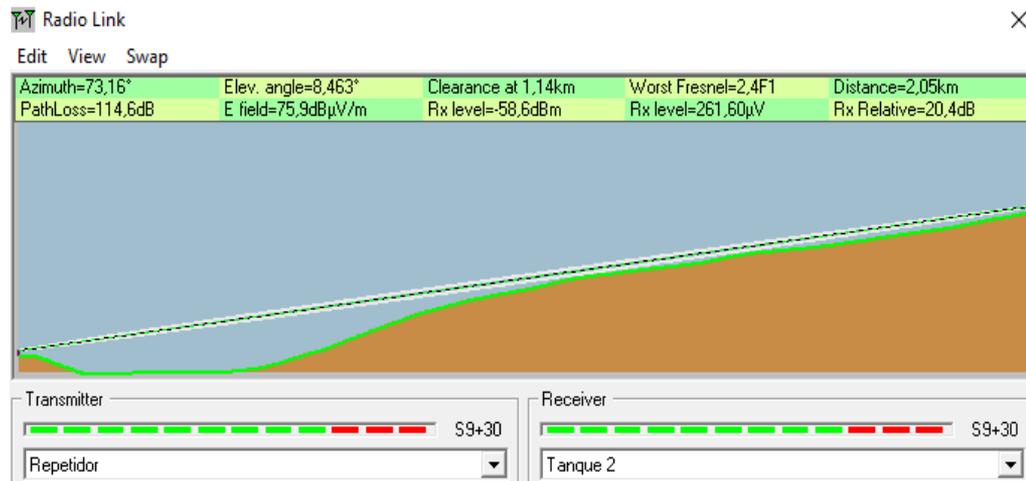


# Enlace 2: Tanque 2 - Repetidor

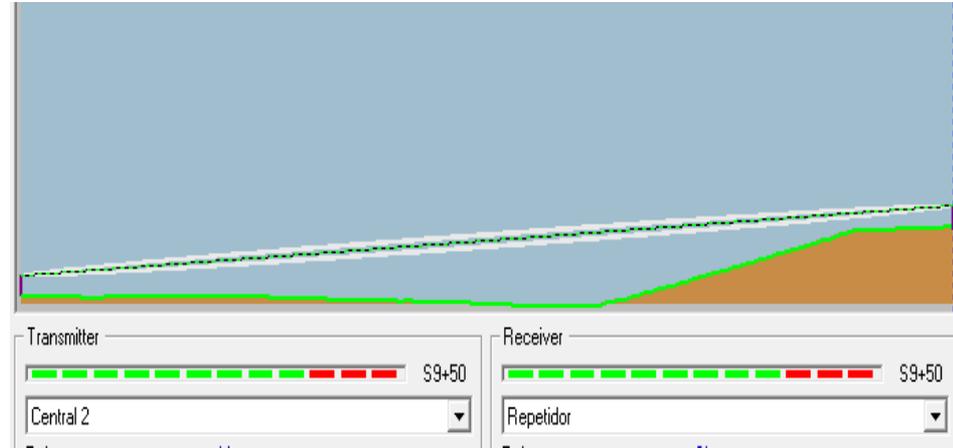


# Comparación entre cálculos y software

| Parámetros                           | Calculados | Radio Mobile |
|--------------------------------------|------------|--------------|
| Longitud del trayecto radioeléctrico | 1,2[Km]    | 1,21[Km]     |
| Zona de Fresnel                      | 1,2F1      | 1,2F1        |
| Pérdida básica de transmisión        | 109,27[dB] | 109,4[dB]    |
| Azimut                               | 93,54°     | 93,55°       |
| Elevación                            | 14°        | 13,65°       |

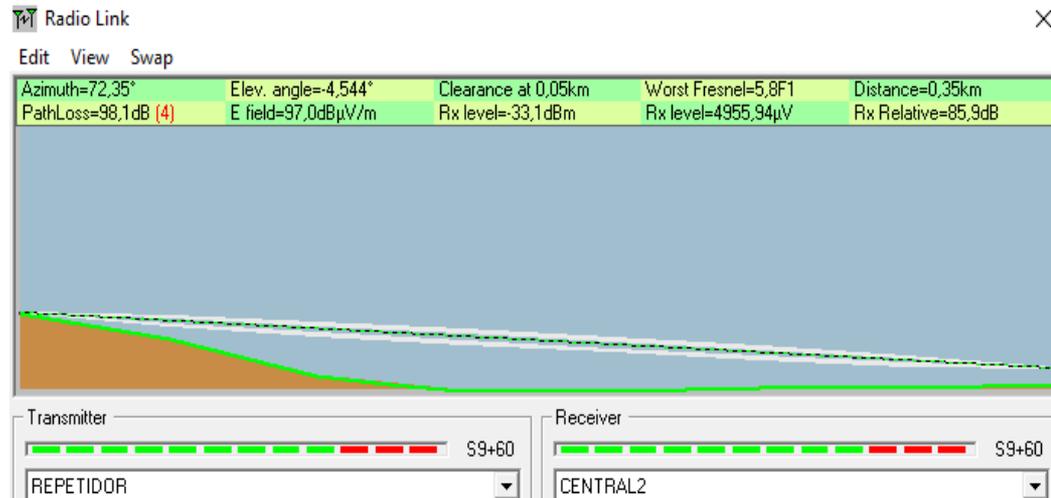


# Enlace 3: Central 2 - Repetidor



# Comparación entre cálculos y software

| Parámetros                           | Calculados | Radio Mobile |
|--------------------------------------|------------|--------------|
| Longitud del trayecto radioeléctrico | 1,2[Km]    | 1,21[Km]     |
| Zona de Fresnel                      | 1,2F1      | 1,2F1        |
| Pérdida básica de transmisión        | 109,27[dB] | 109,4[dB]    |
| Azimut                               | 93,54°     | 93,55°       |
| Elevación                            | 14°        | 13,65°       |



# Configuración de radios Mikrotik RouterBOARD

RouterOS v6.39w73 (testing) Quick Set WinBox Terminal

active

Wireless

Wireless Protocol: 802.11 nstreme no2

Network Name: Mikrotik-example

Frequency: auto 1 MHz

Band: 5GHz-only AC 1

Channel Width: 20MHz 1

Country: senegal 1

MAC Address: 64:BD:8C:53:01:5C

Use Access List (ACL):

Security:  WPA  WPA2

Encryption:  aes-ccm  tkip

WiFi Password:

Wireless Clients

| MAC Address       | In ACL | Last IP        | Uptime   | Signal Strength |
|-------------------|--------|----------------|----------|-----------------|
| AD:07:95:87:0A:96 | no     | 192.168.88.205 | 00:01:49 | 47              |

- Switch
- Bridge
- PPP
- Mesh
- IP
- ARP
- Accounting
- Addresses
- DHCP Client
- DHCP Relay
- DHCP Server
- DNS
- Firewall

## Address List

Add New

1 item

|                        | Address         | Network      | Interface |
|------------------------|-----------------|--------------|-----------|
| ;; default LAN address | 192.168.88.1/24 | 192.168.88.0 | ether2    |

CPE Quick Set

Configuration

Mode:  Router  Bridge

Bridge

Address Acquisition:  Static  DHCP

IP Address: 192.9.1.3/24

Gateway: 192.9.1.1

DNS Servers

System

Router Identity: central1

Check For Updates

Password:

Confirm Password:

Apply Configuration

Reset Configuration

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.



# Instalación de Antenas

Central de generación Illuchi 1



Central de generación Illuchi 1



Repetidor

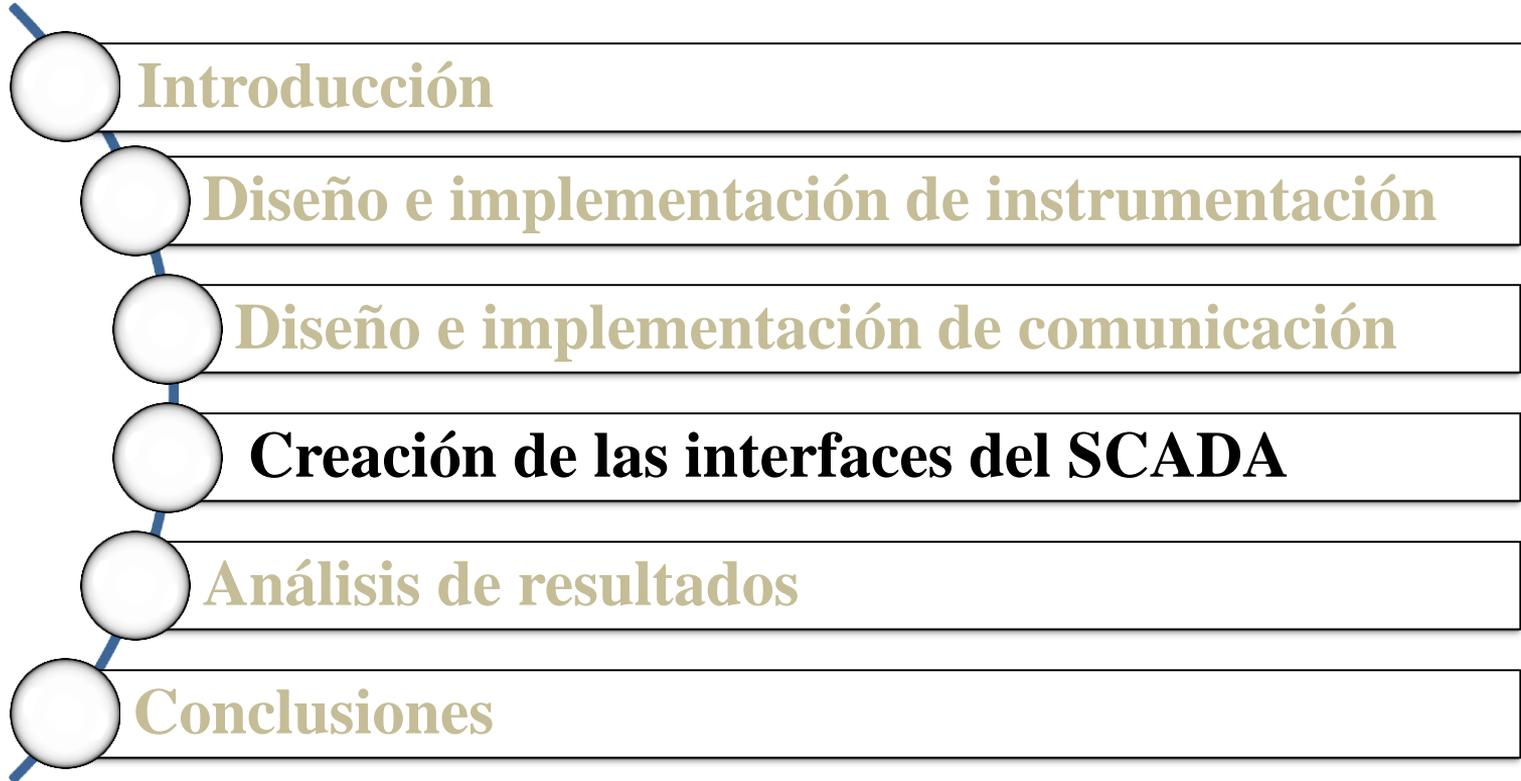


Tanque de presión 1



Tanque de presión 2





# Creación de las interfaces en el SCADA

analog Row Edit

Record Edit Tools Help

Nombre \*06I141CGEN--2\_4-TNQ01-NIVEL--

Descripción 06-I-141-CGEN--2\_4-TNQ01-NIVEL--

Main Input Output Alarming Inhibits RVE

Point Type \*telemedido

Group

Remote ILLUCHI1

Dataset

Base Message analog

Engineering units cm

Calculate Averages

Replication Deadband 0

Priority Display

Historical...

PI Historical...

analog Row Edit

Record Edit Tools Help

Nombre \*06I141CGEN--2\_4-TNQ01-NIVEL--

Descripción 06-I-141-CGEN--2\_4-TNQ01-NIVEL--

Main Input Output Alarming Inhibits RVE

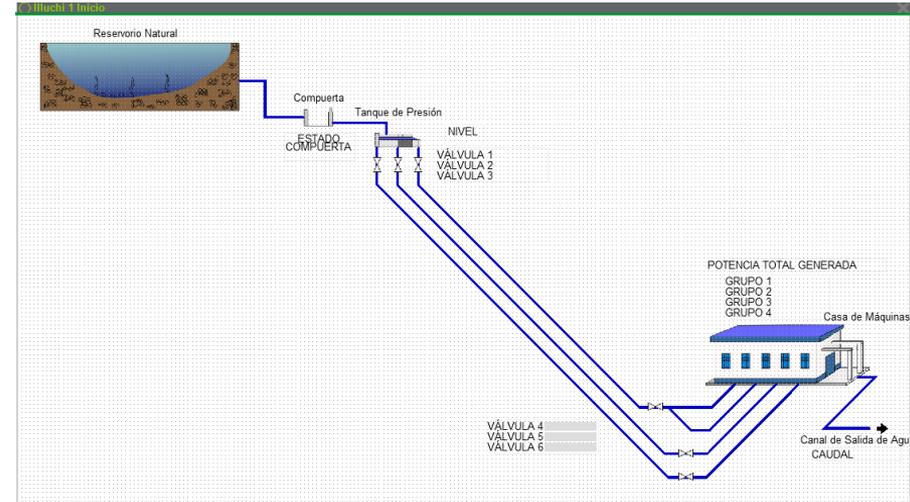
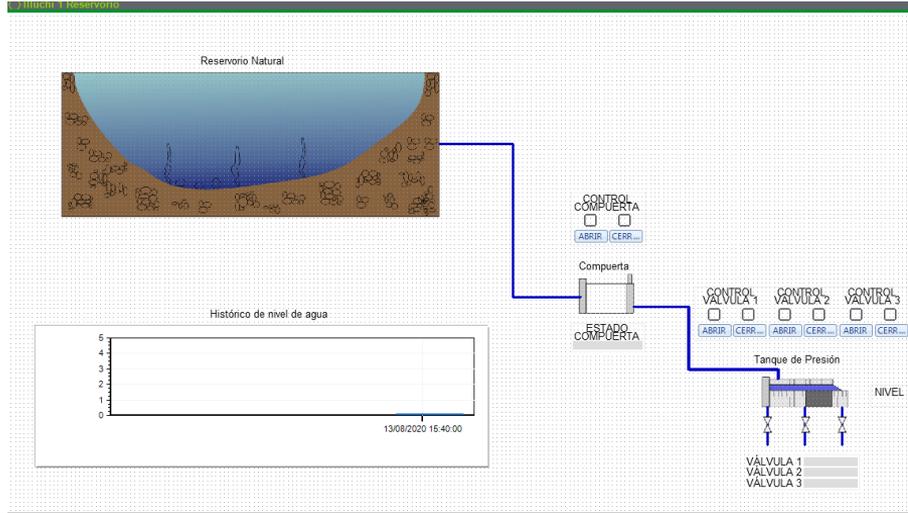
Control

Has Input

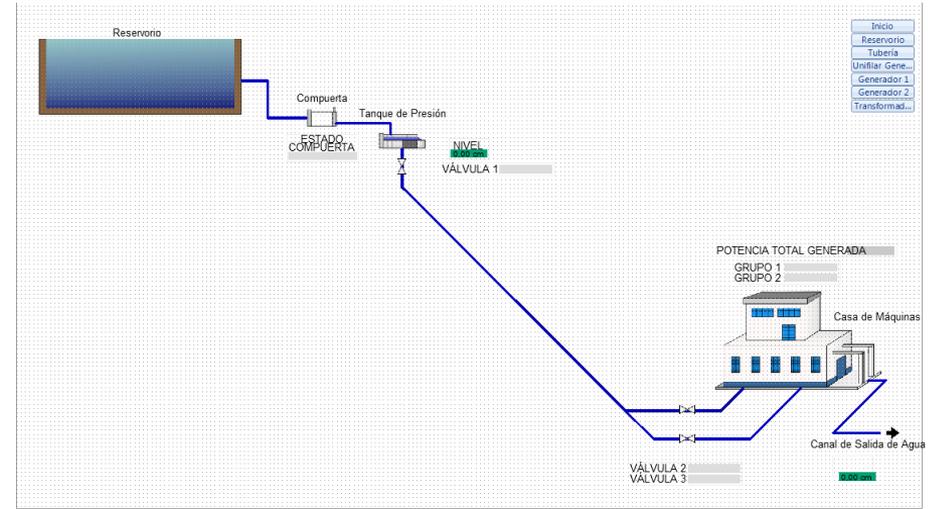
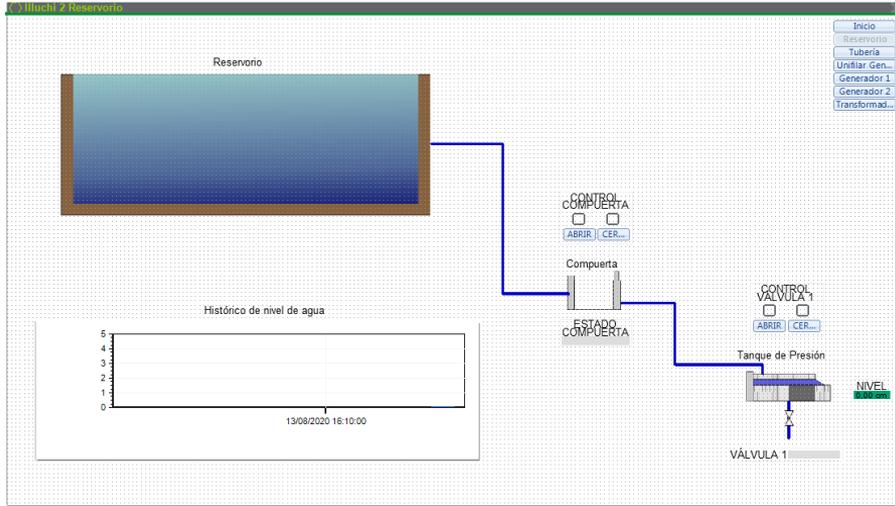
Input Type IEC float

Input Coordinates 13216

# Creación de las interfaces en el SCADA



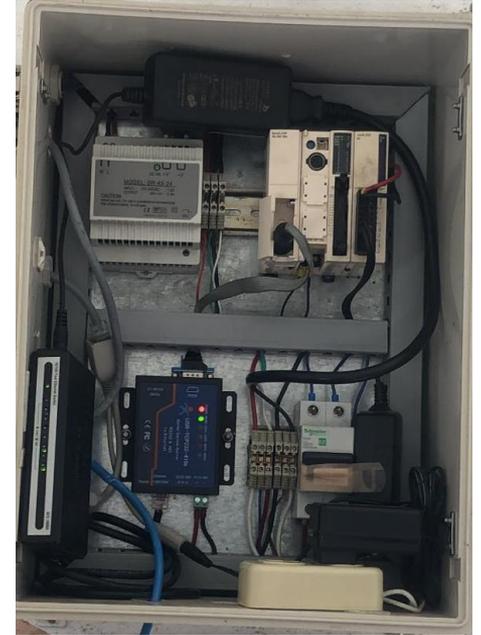
# Creación de las interfaces en el SCADA



- **Introducción**
- **Diseño e implementación de instrumentación**
- **Diseño e implementación de comunicación**
- **Creación de las interfaces del SCADA**
- **Análisis de resultados**
- **Conclusiones**



# Análisis de resultados



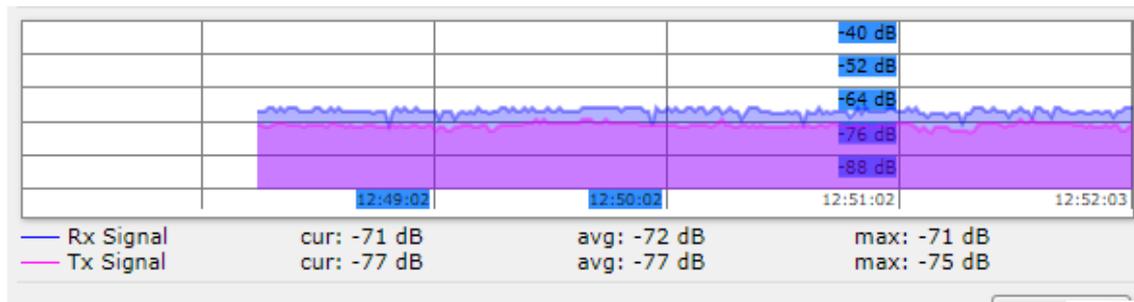
# Análisis de resultados

| Info                  |                   |
|-----------------------|-------------------|
| WLAN MAC Address      | D4:CA:6D:F0:F2:FD |
| LAN MAC Address       | D4:CA:6D:F0:F2:FC |
| Wireless              |                   |
| Status                | connected to ess  |
| AP MAC                | 4C:5E:0C:66:D7:61 |
| SSID                  | TANQUE1           |
| Tx/Rx Signal Strength | -78/-77 dBm       |
| Tx/Rx CCQ             | 45/32 %           |
| Signal To Noise       | 38 dB             |
| Wireless Protocol     | 802.11            |

The screenshot shows a web interface for configuring a wireless interface. The left sidebar contains a menu with options like Wireless, Bridge, PPP, Mesh, IP, MPLS, Routing, System, Queues, Files, Log, Radius, Tools, New Terminal, Make Support.rtf, Undo, Redo, WinBox, Graphs, End-User License, and Logout. The main content area is divided into several sections:

- Info:** Shows WLAN MAC Address (D4:CA:6D:F0:F2:FD) and LAN MAC Address (D4:CA:6D:F0:F2:FC).
- Configuration:** Shows Mode (Router selected), Address Acquisition (Static selected), IP Address (192.9.1.3/24), Gateway (192.9.1.1), and DNS Servers.
- Wireless:** Shows Status (connected to ess), AP MAC (4C:5E:0C:66:D7:61), SSID (TANQUE1), Tx/Rx Signal Strength (-78/-77 dBm), Tx/Rx CCQ (45/32 %), Signal To Noise (38 dB), and Wireless Protocol (802.11).
- System:** Shows Router Identity (central1), Password, and Confirm Password fields.

At the bottom, there is a graph showing signal strength over time. The graph has a legend for Rx Signal (blue) and Tx Signal (purple). The current values are Rx Signal: -71 dB and Tx Signal: -77 dB. The average values are Rx Signal: -72 dB and Tx Signal: -77 dB. The maximum values are Rx Signal: -71 dB and Tx Signal: -75 dB. The graph shows a relatively stable signal strength over the time period from 12:49:02 to 12:52:03.



# Análisis de resultados

USR-TCF232-4105 x CATweb Monitoring and Diagn... x +

No es seguro | 172.17.71.130/cgi/login.htm

**Schneider Electric**

v01.08.13  
Login: admin Exit Language: English

**Status**

Name: /1 Source: PLC1 Destination: [Apply] [Reset]

| Point name                          | Value | QF         | Blocked                  | Set value |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------------------|-----------|
| 06I141CSUP-CD-PLC1-----<br>COMMODB- | 1     | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |
| 06I141CSUP-CD-PLC1-----<br>ETRMODB  | 1     | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |

USR-TCF232-4105 x CATweb Monitoring and Diagn... x +

No es seguro | 172.17.71.130/cgi/login.htm

**Schneider Electric**

v01.08.13  
Login: admin Exit Language: English

**Status**

Name: /1 Source: CPLC2 Destination: [Apply] [Reset]

| Point name                           | Value | QF         | Blocked                  | Set value |
|--------------------------------------|-------|------------|--------------------------|-----------|
| 06I141CSUP-CD-CPLC2-----<br>COMMODB- | 1     | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |

USR-TCF232-4105 x CATweb Monitoring and Diagn... x +

No es seguro | 172.17.71.130/cgi/login.htm

**Schneider Electric**

v01.08.13  
Login: admin Exit Language: English

**Analog**

Name: /1 Source: PLC1 Destination: [Apply] [Reset]

| Point name                          | Value | QF         | Blocked                  | Set value |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------------------|-----------|
| 06I141CSUP-CD-PLC1-----<br>EXCEMODB | 0     | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |
| 06I141CGEN--2_4-<br>CANAL1CANAL---  | 42    | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |
| 06I141CGEN--2_4-<br>CANAL2CANAL---  | 53    | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |

USR-TCF232-4105 x CATweb Monitoring and Diagn... x +

No es seguro | 172.17.71.130/cgi/login.htm

**Schneider Electric**

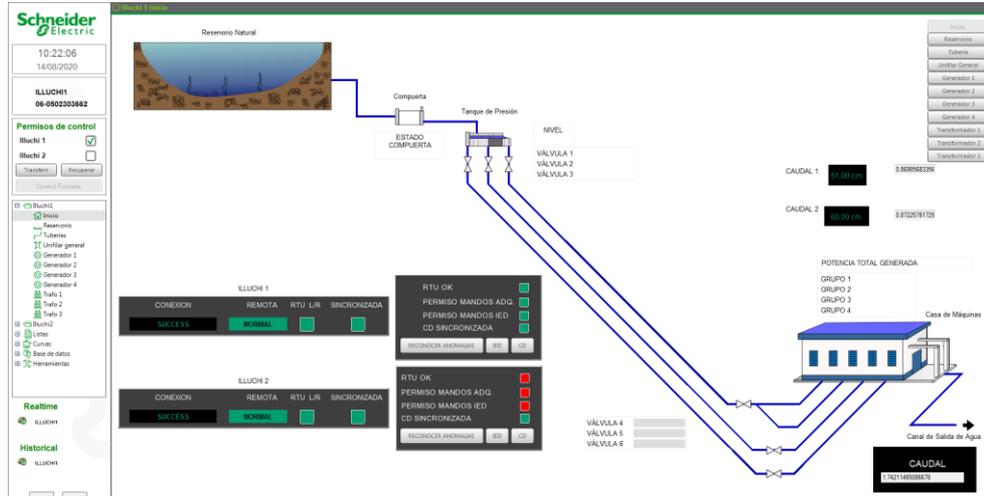
v01.08.13  
Login: admin Exit Language: English

**Analog**

Name: /1 Source: CPLC2 Destination: [Apply] [Reset]

| Point name                          | Value | QF         | Blocked                  | Set value |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------------------|-----------|
| 06I141CGEN--2_4-TNQ01-<br>NIVEL---  | 430   | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |
| 06I141CSUP-CD-PLC2-----<br>EXCEMODB | 0     | 0x00000000 | <input type="checkbox"/> | [Set]     |

# Análisis de resultados

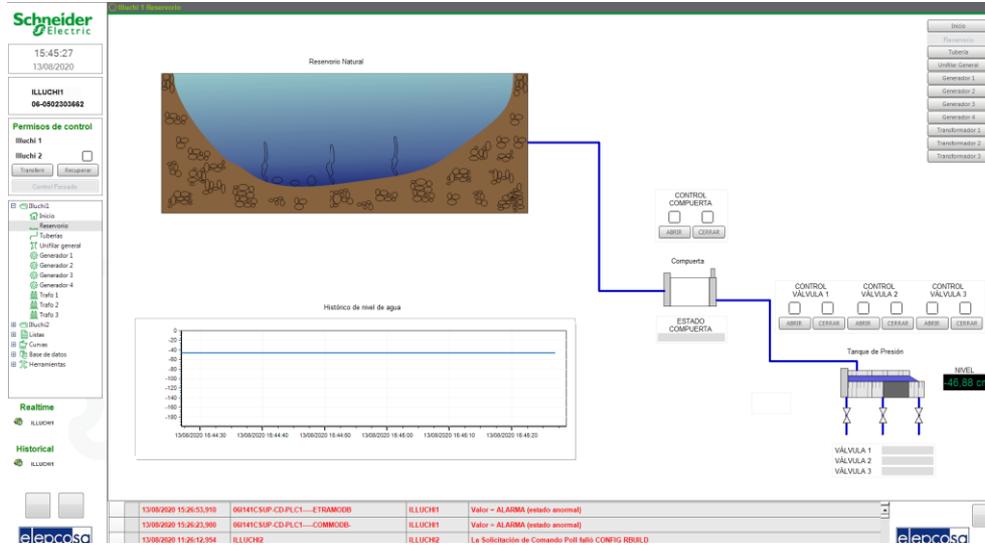


CAUDAL

1.74211465086678



# Análisis de resultados



NIVEL  
**-46,88 cm**



# Análisis de resultados

## Validación de la hipótesis

La Hipótesis planteada: “El diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 ELEPCO S.A.” permitirán establecer la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica”. Ha sido comprobado a través del cálculo de la potencia de las turbinas en la Central Illuchi 1, comparándola con la potencia real generada.

# Análisis de resultados

Potencia Generada

3500000 W

Potencia Calculada

$$P = \sigma * \varphi * H * \eta$$

$$P = 9,8 * 2177 * 296,3 * 0,90$$

5689297 W

$$n = \frac{3500000}{5689297} \times 100$$

61,519%

- **Introducción**
- **Diseño e implementación de instrumentación**
- **Diseño e implementación de comunicación**
- **Creación de las interfaces del SCADA**
- **Análisis de resultados**
- **Conclusiones**



# Conclusiones

- El incremento acelerado del consumo de energía eléctrica tanto en el ámbito doméstico, comercial e industrial, hace que los sistemas de generación se vean obligados a tener una mayor eficiencia (en el aprovechamiento de los recursos hídricos), en consecuencia, disponer de registros de variables de interés, en tiempo real es de vital importancia para su análisis y toma de decisiones en la generación eléctrica.
- El desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de la instrumentación, comunicación y supervisión de sistemas hacen posible la adquisición y concentración de la información de procesos que se encuentran en lugares de difícil acceso, y permiten monitorear desde diferentes puntos.
- Al diseñar los planos de los gabinetes y la instalación correcta de los componentes se asegura que los equipos trabajen correctamente, la fiel medición de las variables nivel y caudal, precautela la vida útil de los equipos, y el apropiado nivel de seguridad de los operadores y personal de mantenimiento de ELEPCO S.A.

# Conclusiones

- El diseño previo de los enlaces de comunicación permitió la ubicación idónea de las antenas, puesto que en la comprobación de los enlaces de comunicación se demuestra una comunicación eficiente, veloz y confiable.
- Con la integración de las señales de nivel y caudal en el SCADA de ELEPCO S.A. se incrementó la capacidad de supervisión y monitoreo en tiempo real, mejorando de esta manera la fiscalización y el aprovechamiento del recurso hídrico en el proceso de generación eléctrica.
- La utilización del software OASyS DNA permitió diagramar los HMI'S de las centrales de generación Illuchi 1 y 2 así como los tanques de presión 1 y 2 teniendo en cuenta su estructura, animación, linkeo de las variable y navegación entre pantallas.

# Conclusiones

- Durante las pruebas de funcionamiento en tiempo real se pudo comprobar el comportamiento de las variables, para ello se procedió con mediciones manuales y simultáneamente se visualizó sus valores en el controlador lógico programable, en la unidad terminal remota y en el SCADA de ELEPCO S.A. obteniendo en todos el mismo valor.
- Se estableció la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica en la central ILLUCHI 1 de ELEPCO S.A. a través del cálculo de la potencia de generación y la potencia real generada, dando un resultado que la eficiencia es de 61.519 %.

# Recomendaciones

- Se recomienda que previo a la ubicación de equipos de comunicación se realice un diseño, donde se tome en cuenta el tipo de entorno ya que se presentan limitaciones en zonas montañosas y de vegetación abundante.
- Se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos que operen y sean compatibles entre sí, además que sean apropiados para trabajar en las condiciones adversas a las que pueden estar sometidos.
- Se recomienda realizar un seguimiento de cada una de las variables que se monitorean en tiempo real en el SCADA de ELEPCO S.A. para comprobar su correcto funcionamiento y de esta manera evitar errores futuros.
- Se recomienda el incremento de instrumentación para la adquisición de señales, para que las mediciones se realicen de forma directa con la finalidad de obtener mayor precisión.

# GRACIAS

