

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE ING. ELECTRÓNICA**



**Propuesta de sistema de adquisición y transmisión de datos compatible con el SCADA Ovation en la planta geotérmica Las Pailas**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el Título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Juan Carlos Sánchez Chaves**

**Cartago, noviembre de 2018**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

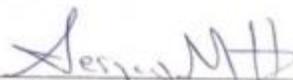
**Defensa de Proyecto de Graduación**  
**Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica**  
**Grado Académico de Licenciatura**  
**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado Propuesta de sistema de adquisición y transmisión de datos compatible con el SCADA Ovation en la planta geotérmica Las Pailas, realizado por señor Juan Carlos Sánchez Chaves y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Meza Benavides

Profesor lector

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Juan Scott Chaves Noguera  
Profesor asesor

Cartago, 2 de noviembre, 2018

### **Declaración de autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado, en su totalidad, por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos en que he utilizado material bibliográfico, he procedido a indicar las fuentes mediante citas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Juan Sánchez

Firma del autor

Juan Carlos Sánchez Chaves.  
Cédula: 1-1575-0925

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
02/11/2018

## **Resumen Ejecutivo**

El proyecto fue realizado en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en el Centro de Servicios Recursos Geotérmicos (CSRG), específicamente en el departamento de Mantenimiento Instrumentación, el cual es el encargado del mantenimiento y reparación de equipos de instrumentación en los SCADAS de las plantas geotérmicas Miravalles y Las Pailas 1.

El controlador encargado de la adquisición y transmisión de datos en la plazoleta 1 de la planta Las Pailas fue dañado producto de una descarga eléctrica durante una rayería a finales del año 2016, por lo que no se contaba con monitoreo de las presiones de cabezal y línea en los tres pozos activos, el sistema Ovation utilizado en Las Pailas con controladores OCR400 en cada una de las plazoletas, estaba sobredimensionado para las funciones realizadas y su elevado precio impedían la compra del repuesto, no se cuenta con personal permanente en el sitio por lo tanto la producción en la plazoleta se encontraba detenida.

En este proyecto se sustituyó el controlador Ovation OCR400 por sistema de adquisición de datos implementado en un controlador Allen-Bradley 1769-L18ER-BB1B e instrumentación en 4-20 mA HART.

También se estableció comunicación entre el controlador Allen-Bradley 1769-L18ER-BB1B y la plataforma SCADA Ovation, encargada del control automático, almacenamiento y visualización de los datos en la planta, de esta manera se conservó el formato utilizado para el monitoreo de las plazoletas.

**Palabras clave:** SCADA, Ovation, control automático, controlador, PLC, PAC, FOUNDATION Fieldbus, 4-20 mA.

## **Abstrac**

The project was developed in the Costa Rican Institute of Electricity (ICE), in the Geothermal Resources Service Center (CSRG), at the Instrumentation Maintenance Department, which is in charge of the maintenance and repair of instrumentation equipment in SCADA's of the geothermal fields Miravalles and Las Pailas.

The controller in charge of the acquisition and transmission of data in the platform 1 of the Las Pailas plant was damaged as a result of an electric shock during a lightning strike at the end of 2016, so there was no monitoring of head and line pressures. In the three active wells, the Ovation system used in Las Pailas with OCR400 controllers in each of the platforms, was oversized for the functions performed and its high price prevented the purchase of the spare part, there is no permanent staff in the site, so both the production in the square was stopped.

In this project, the Ovation OCR400 controller was replaced by a data acquisition system implemented in an Allen-Bradley 1769-L18ER-BB1B controller and instrumentation in 4-20 mA HART.

Communication was also established between the Allen-Bradley 1769-L18ER-BB1B controller and the SCADA Ovation platform, in charge of automatic control, storage and visualization of the data in the plant, thus preserving the format used for the monitoring of the platforms.

**Keywords:** SCADA, Ovation, automatic control, controller, PLC, PAC, FOUNDATION Fieldbus, 4-20 mA.

## **Dedicatoria**

*A mis tías Aurelia y Esther por el apoyo durante este camino, quienes me han acompañado en esta etapa, por sus consejos y apoyo incondicional para llegar hasta este punto.*

*A mi hermana María Fernanda Sánchez con quien siempre he compartido y me ha brindado su apoyo.*

*A mi padre Juan Carlos Sánchez García, quien siempre me ha incentivado a ser crítico y minucioso en lo que hago, su apoyo y consejo.*

*A la Ing. Dayana Méndez Salas por su apoyo y ayuda incondicional tanto en los estudios como la vida.*

*A mis compañeros y futuros colegas por su ayuda y apoyo incondicional durante la carrera.*

## **Agradecimiento**

Al Ing. Rodrigo Mora Salas, por su asesoría, confianza, apoyo, ayuda, amistad y permitirme realizar este proyecto de graduación en el Centro de Servicio Recursos Geotérmicos Miravalles.

Al personal del Departamento de Mantenimiento Instrumentación de Campo tanto Miravalles como Pailas, por el apoyo brindado en el desarrollo del proyecto y la oportunidad de compartir con ellos durante el desarrollo del proyecto de graduación.

Al Ing. Danny Quirós Hernández y el Centro de Servicio Diseño del ICE por su asesoría, apoyo, ayuda y amistad durante la realización de este proyecto.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica, por su apoyo, ayuda y consejos durante la carrera universitaria y durante la realización del presente proyecto de graduación y por supuesto, al Tecnológico de Costa Rica por abrirme las puertas del éxito.

Muchas gracias a todas esas personas que manera desinteresada me ayudaron a que este Proyecto de Graduación fuera una realidad.

# ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Entorno del proyecto.....	1
1.1.1 Reseña histórica de la empresa.....	1
1.1.2 Descripción del proceso suministro vapor.....	2
1.2 Definición del problema .....	4
1.2.1 Generalidades del problema .....	4
1.2.2 Síntesis del problema.....	6
1.3 Entorno de la solución .....	7
Capítulo 2: Alcances y Limitaciones del proyecto.....	9
2.1 Alcances.....	9
2.2 Limitaciones .....	11
2.3 Entregables .....	11
Capítulo 3: Meta y Objetivos.....	12
3.1 Meta.....	12
3.2 Objetivo General.....	12
3.3 Objetivos Específicos .....	12
Capítulo 4: Metodología.....	13
4.1 Definición del problema .....	13
4.2 Recolección de información .....	13
4.3 Generación de un concepto.....	14
4.4 Evaluación del concepto.....	14
4.5 Arquitectura del producto.....	14

4.6	Configuración del diseño.....	14
4.7	Parametrización del diseño.....	15
4.8	Detalle del diseño .....	15
Capítulo 5: Marco Teórico .....		16
5.1	Automatización.....	16
5.2	SCADA.....	17
5.3	Ovation .....	19
5.4	Puntos .....	20
5.5	Controlador Lógico Programable (PLC) .....	21
5.6	OPC .....	22
5.7	Foundation Fieldbus H1 .....	23
5.8	4-20 mA con HART .....	25
5.9	EtherNet/IP .....	27
5.10	Protocolos de red .....	28
5.11	Dirección MAC .....	29
5.12	Dirección IP .....	29
5.13	Dirección Gateway .....	31
5.14	Máscara de subred .....	32
5.15	DF1 .....	33
5.16	CIP .....	35
5.17	Transmisores de presión .....	36
5.18	Sobretensión .....	37
5.18.1	Sobretensiones Permanentes.....	37
5.18.2	Sobretensiones Transitorias.....	39
5.19	Supresores de Sobretensión .....	40
5.19.1	Modos de propagación de la sobretensión.....	41

5.19.2	Tipos de ensayos.....	42
Capítulo 6:	Descripción detallada de la solución .....	43
6.1	Antecedentes.....	43
6.2	Equipos Utilizados.....	44
6.2.1	Controlador.....	44
6.2.2	Transmisores.....	47
6.2.3	Licencias .....	50
6.2.3	Distribuidores de fibra óptica .....	51
6.2.4	Fuentes de alimentación .....	51
6.2.5	Supresores.....	52
6.2.6	UPS.....	53
6.2.7	Switch .....	54
6.3	Descripción del sistema .....	55
6.3.1	Diagrama de Primer Nivel.....	57
6.3.2	Diagrama de Segundo Nivel.....	57
6.3.3	Diagrama de Tercer nivel .....	59
6.4	Desarrollo del sistema .....	61
6.4.1	Distribución de la red Pailas.....	61
6.4.2	Creación de Proyecto en Studio5000.....	63
6.4.3	Configuraciones en Ovation .....	66
Capítulo 7:	Análisis de resultados .....	73
7.1	Resultados.....	73
7.2	Confiabilidad del sistema .....	78
7.3	Escalabilidad.....	80
7.4	Análisis de costos .....	81
Capítulo 8:	Conclusiones.....	83

Capítulo 9: Recomendaciones .....	84
Referencias .....	85
Apéndices .....	88
A.1 Descripción de la empresa .....	88
A.1.1 Organigramas de la empresa.....	88
A.1.2 Misión .....	88
A.1.3 Visión.....	88
A.1.3 Política de calidad.....	88
A.1.4 Departamento de realización del proyecto. ....	88
A.2 Ofertas de los antecedentes.....	89
A.3 Propuestas .....	93
A.4 Ilustraciones equipos utilizados.....	95
Anexos.....	99
B.1 Trama de mensajes DF1 en protocolo Half duplex .....	99
B.2 Trama EtherNet/IP .....	101
B.3 Cotizaciones.....	103
B.4 Especificaciones equipos .....	105

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1</b>	Plazoleta 1.....	3
<b>Figura 1. 2</b>	Drop 1/51 dañado en el gabinete de control de la plazoleta 1. ....	4
<b>Figura 1. 3</b>	Interfaz gráfica del SCADA sin recepción en la plazoleta 1. ....	5
<b>Figura 1. 4</b>	Interfaz gráfica de la plazoleta 1 sin recepción de ninguna presión. ....	6
<b>Figura 1. 5</b>	SCADAs en el CSRG Miravalles. ....	7
<b>Figura 1. 6</b>	Vistas al futuro de los SCADAs del CSRG Miravalles. ....	8
<b>Figura 5. 1</b>	Pirámide de automatización. ....	17
<b>Figura 5. 2</b>	Sistema SCADA clásico. ....	18
<b>Figura 5. 3</b>	Distribución del sistema Ovation. ....	20
<b>Figura 5. 4</b>	Estructura de PLC. ....	22
<b>Figura 5. 5</b>	Cableado convencional vs cableado Fieldbus.....	24
<b>Figura 5. 6</b>	Protocolo 4-20 mA.....	26
<b>Figura 5. 7</b>	Topología punto a punto en 4-20 mA. ....	26
<b>Figura 5. 8</b>	Diagrama EtherNet/IP.....	27
<b>Figura 5. 9</b>	Tipos de redes .....	30
<b>Figura 5. 10</b>	Gateway entre red 1 y red 2. ....	31
<b>Figura 5. 11</b>	Máscara de subred.....	33
<b>Figura 5. 12</b>	Formato de envío de datos Allen-Bradley a través de DF1. ....	34
<b>Figura 5. 13</b>	Protocolos industriales y sus adaptaciones de red. ....	35
<b>Figura 5. 14</b>	Diagrama CIP.....	36
<b>Figura 5. 15</b>	Composición de transmisores de presión.....	36
<b>Figura 5. 16</b>	Gráfica sobretensiones permanentes.....	38
<b>Figura 5. 17</b>	Diagrama sobretensiones permanentes. ....	38
<b>Figura 5. 18</b>	Gráfica sobretensiones transitorias. ....	39
<b>Figura 5. 19</b>	Diagrama sobretensiones transitorias.....	39
<b>Figura 5. 20</b>	Modos de propagación de sobretensión. ....	41

<b>Figura 6. 1</b>	Comando Allen-Bradley compatibles con Ovation. ....	45
<b>Figura 6. 2</b>	Relación de variables en transmisores. ....	49
<b>Figura 6. 3</b>	Distribuidor de fibra óptica en la plazoleta 1. ....	51
<b>Figura 6. 4</b>	Fuentes de 24 V. ....	52
<b>Figura 6. 5</b>	UPS SOLA 850 de Emerson. ....	53
<b>Figura 6. 6</b>	Switch Cisco Catalyst 2955. ....	54
<b>Figura 6. 7</b>	Diagrama de flujo del sistema. ....	55
<b>Figura 6. 8</b>	Diagrama de bloques de primer nivel del sistema. ....	57
<b>Figura 6. 9</b>	Diagrama de bloques de segundo nivel del sistema. ....	57
<b>Figura 6. 10</b>	Formato de direccionamiento lógico para PLC5. ....	58
<b>Figura 6. 11</b>	Diagrama de bloques de tercer nivel del sistema, procesos en PLC. ....	59
<b>Figura 6. 12</b>	Diagrama de bloques de tercer nivel del sistema, procesos en Ovation. ....	60
<b>Figura 6. 13</b>	Configuración de los canales en módulos de entrada. ....	63
<b>Figura 6. 14</b>	Función SCL para la señal de entrada del canal 0 del módulo de entrada 1. ....	65
<b>Figura 6. 15</b>	Función TRN Para la señal de entrada del canal 2 del módulo de entrada 1. ....	65
<b>Figura 6. 16</b>	Ejemplo almacenamiento registros N7. ....	67
<b>Figura 6. 17</b>	Navegación para crear un nuevo dispositivo en Ovation Developer Studio. ....	68
<b>Figura 6. 18</b>	Configuración del nuevo dispositivo. ....	69
<b>Figura 6. 19</b>	Configuración del nuevo dispositivo Allen-Brandley. ....	69
<b>Figura 6. 20</b>	Configuración de un nuevo punto analógico de entrada, leyendo el registro N7:0. ....	71
<b>Figura 6. 21</b>	Hoja de control con las funciones de escalado DIVIDE. ....	72
<b>Figura 7. 1</b>	Gabinete de control instalado en la plazoleta 1. ....	73
<b>Figura 7. 2</b>	Instrumentación instalada en los pozos de la plazoleta 1. ....	74
<b>Figura 7. 3</b>	Grafica bar vs mA en el sistema. ....	76
<b>Figura 7. 4</b>	SCADA final con recepción de señales y alarmas. ....	77
<b>Figura 7. 5</b>	Tiempos de respaldo para SDU 850. ....	78

<b>Figura A. 1</b> Oferta Emerson. ....	89
<b>Figura A. 2</b> Oferta Elvatron Allen-Bradley.....	90
<b>Figura A. 3</b> Oferta Capris National-Instruments. ....	91
<b>Figura A. 4</b> Cotización Ovation OPC.....	92
<b>Figura A. 5</b> Propuesta Departamento de Diseño utilizando NI. ....	93
<b>Figura A. 6</b> Propuesta Implementada. ....	94
<b>Figura A. 7</b> Instrumentación instalada en el pozo 1 Pailas.....	95
<b>Figura A. 8</b> Nivel X1 regleta de fusibles instalada en el gabinete. ....	96
<b>Figura A. 9</b> Nivel X2 previstas para supresores. ....	96
<b>Figura A. 10</b> Parte trasera del gabinete. ....	97
<b>Figura A. 11</b> Caja de registro. ....	98
<b>Figura A. 12</b> Distribución de las cajas de registro.....	98
<b>Figura B. 1</b> Trama utilizada en DF1Half dúplex.....	99
<b>Figura B. 2</b> Trama utilizada en DF1 Full dúplex.....	100
<b>Figura B. 3</b> Relación entre las tramas CIP y Ethernet.....	101
<b>Figura B. 4</b> Estructura del paquete de encapsulado EtherNet/IP.....	102
<b>Figura B. 5</b> Cotización supresores.....	103
<b>Figura B. 6</b> Cotización equipos de control. ....	104
<b>Figura B. 7</b> Compra de equipos de control.....	104
<b>Figura B. 8</b> Especificaciones supresores. ....	105
<b>Figura B. 9</b> Especificaciones supresores Rosemount 2051.....	105
<b>Figura B. 10</b> Especificaciones respuestas supresores Yokogawa. ....	106
<b>Figura B. 11</b> Especificaciones supresores Yokogawa.....	106
<b>Figura B. 12</b> Diagrama de conexiones de los transmisores Yokogawa. ....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tareas de adquisición de datos. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Tareas de comunicación que deberá realizar el nuevo sistema. ....	9
<b>Tabla 3.</b> Tareas del proceso de compra de equipo. ....	10
<b>Tabla 4.</b> Protocolos de red. ....	28
<b>Tabla 5.</b> Tipos de redes. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Ejemplo tipos de direccionamientos de red. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Características de supresores de sobretensión. ....	40
<b>Tabla 8.</b> Cotizaciones de propuestas previas. ....	43
<b>Tabla 9.</b> Características de los controladores. ....	46
<b>Tabla 10.</b> Características transmisoras. ....	48
<b>Tabla 11.</b> Características de supresores. ....	53
<b>Tabla 12.</b> Descripción de las variables en el sistema. ....	56
<b>Tabla 13.</b> Direcciones IP activas en la red. ....	61
<b>Tabla 14.</b> Direcciones IP inactivas en la red. ....	62
<b>Tabla 15.</b> Configuración IP del PLC. ....	62
<b>Tabla 16.</b> Descripción de los Tags del controlador. ....	64
<b>Tabla 17.</b> Características almacenamiento en base de datos. ....	66
<b>Tabla 18.</b> Descripción de las configuraciones de hardware del punto ....	70
<b>Tabla 19.</b> Valores registrados por el sistema en simulación de presiones. ....	75
<b>Tabla 20.</b> Consumo del sistema. ....	78
<b>Tabla 21.</b> Mediciones puestas a tierra. ....	79
<b>Tabla 22.</b> Costos del proyecto. ....	82
<b>Tabla 23.</b> Distribución de la trama DF1 ....	101

# **Capítulo 1: Introducción**

## **1.1 Entorno del proyecto**

### **1.1.1 Reseña histórica de la empresa**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), creado por el Decreto-Ley No. 449 en 1949, es una institución autónoma del estado costarricense con el mandato legal de proveer energía eléctrica.

El campo geotérmico Las Pailas se encuentra ubicado en el distrito de Curubandé del cantón Liberia, en la provincia de Guanacaste. La planta de generación Las Pailas I inició operaciones en julio 2011, con una potencia efectiva de 35 MW. La nueva fase de ampliación de Las Pailas (Las Pailas II) permitiría la adición de 55 MW a la potencia efectiva geotérmica mediante 24 pozos geotérmicos de aproximadamente 3 kilómetros (km) de profundidad ubicados en seis plataformas (15 pozos de producción y nueve pozos de reinyección). El Proyecto se ubicaría en la sección sureste del campo geotérmico en un área de explotación de aproximadamente 2.5 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>). (ICE, 2005).

El Centro de Servicios Recursos Geotérmicos (CSRG) del ICE, es la unidad encargada de llevar a cabo toda la logística y coordinación de los procesos necesarios para realizar la extracción del vapor interno de la tierra que genera energía eléctrica, así mismo ejecuta la exploración, explotación y desarrollo de los campos geotérmicos Miravalles y las Pailas que aportan cerca del 14% de la energía limpia del país (Fallas Saborío & Rodríguez Álvarez, 2010).

### 1.1.2 Descripción del proceso suministro vapor

En términos generales, un proyecto geotérmico como Pailas I lo componen los siguientes elementos:

- a) Pozos productores.
- b) Tuberías de conducción.
- c) Unidades de separación.
- d) Planta de generación.
- e) Lagunas de sedimentación.
- f) Pozos de inyección.

Para el aprovechamiento del recurso geotérmico se requiere la perforación de pozos con profundidades de 900 a 2500 metros. Su construcción consiste en la perforación de un hoyo en la corteza terrestre que permita alcanzar el reservorio.

Existen diferentes tipos de pozos, los cuales según su funcionalidad se clasifican en:

- Pozos productores: Son pozos con aptitudes productivas, utilizados para extraer los fluidos del reservorio. Para su operación es necesario la instalación de válvulas en su parte superior, conocida como cabezal.
- Pozos inyectores: Son utilizados para reintegrar los fluidos al reservorio después de utilizar su potencial de generación eléctrica. Existen dos tipos de pozos de inyección:
- Pozos de inyección en caliente. Inyectan los fluidos provenientes de las unidades de separación, con temperaturas de 165 °C.
- Pozos de inyección en frío: Inyectan los fluidos provenientes de las lagunas de precipitación.
- Pozos observadores: Son pozos utilizados para monitorear parámetros térmicos e hidráulicos del yacimiento geotérmico.

Los fluidos geotérmicos se encuentran almacenados en el reservorio a alta presión y temperatura. Estos son extraídos del reservorio mediante pozos de producción y transportados por sistemas de tuberías hasta los separadores ciclónicos (Unidades de Separación). En estas unidades se separa la fase líquida del vapor, el vapor es enviado a la planta de generación, donde es utilizado para mover las turbinas y la fase líquida es

movilizada hacia pozos de inyección en caliente, desde los cuales son reintegrados al reservorio. A continuación, se describe los componentes del sistema. (Guido, 2002).

La planta Las Pailas I cuenta con un satélite (Unidad de Separación) y 6 plazoletas, zonas geográficas donde se ubican varios pozos, cada una de ellas con un promedio de 4 pozos, un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) por sus siglas en inglés, llamado Ovation de la marca Emerson, el cual recibe los datos provenientes de la instrumentación en los pozos por medio de controladores ubicados en las plazoletas y envía los valores de las variables de campo a la estación central ubicada en el satélite, donde son visualizados en una interfaz gráfica.



**Figura 1. 1** Plazoleta 1.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.2 Definición del problema

### 1.2.1 Generalidades del problema

A finales del 2016, en la plazoleta 1 los equipos de control fueron dañados durante una rayería lo que imposibilita el monitoreo de las presiones de línea y cabezal del proceso de forma remota, figuras 1.2 y 1.3. Por lo tanto, estos pozos quedan en una condición de vulnerabilidad ya que no existe personal permanente en estos sitios, lo que pone en riesgo su producción.



**Figura 1. 2** Drop 1/51 dañado en el gabinete de control de la plazoleta 1.

Fuente: Elaboración propia.

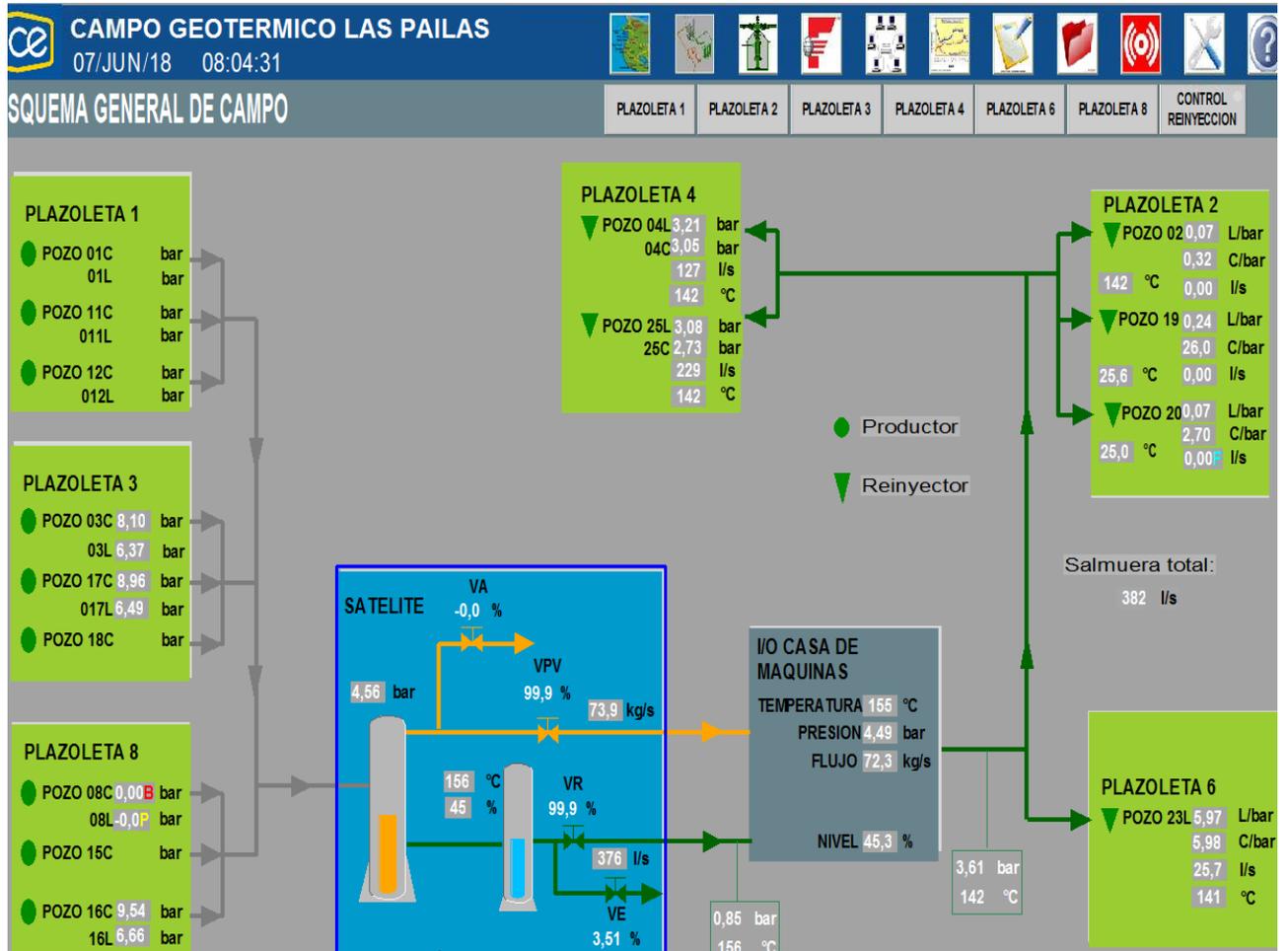
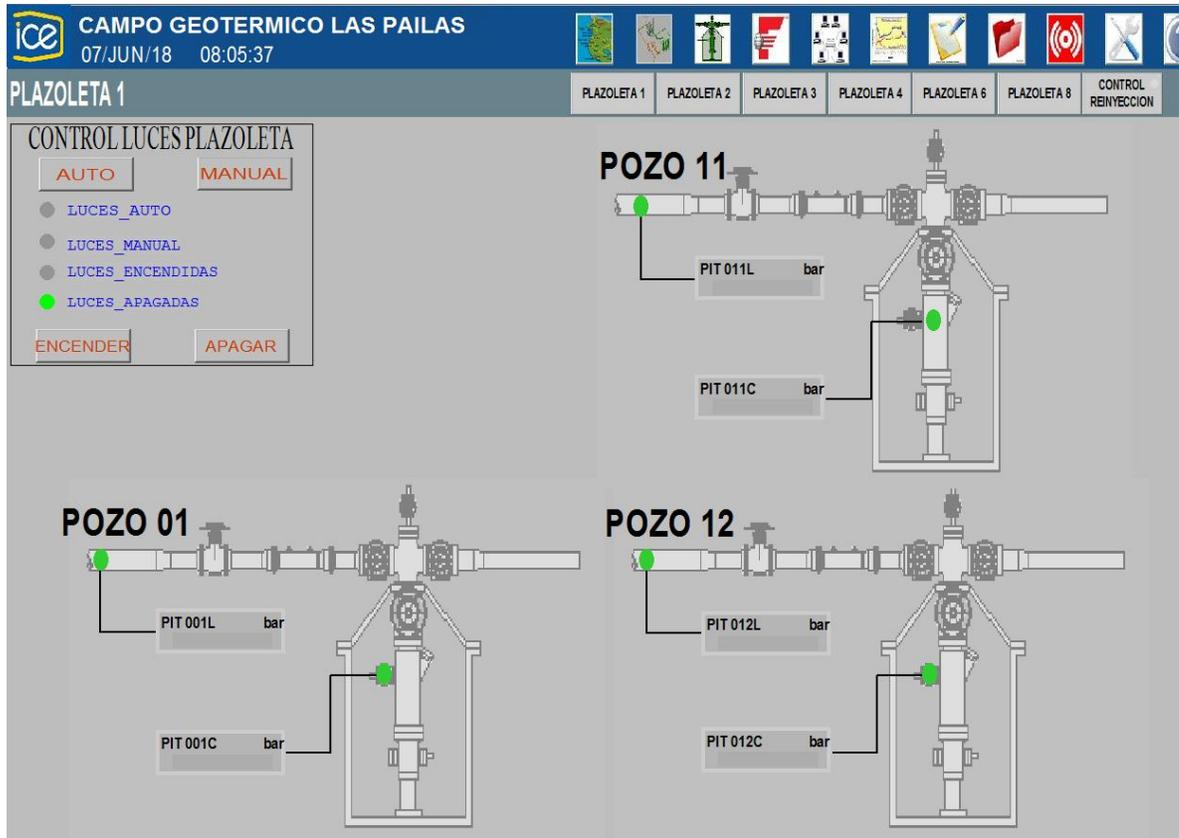


Figura 1. 3 Interfaz gráfica del SCADA sin recepción en la plazoleta 1.

Fuente: SCADA Ovation.

La plazoleta cuenta con 3 pozos productores Pozo 01, Pozo 11 y Pozo 12, el Pozo 14 a pesar de estar en la plazoleta se encuentra inactivo, en los pozos productores e inyector es fundamental contar con las presiones de cabezal y línea, ya que la diferencia entre ambas indica el sentido del flujo del material bifásico, estas presiones son medidas con los transmisores 2051TG3F2B21AM5T1Q4 Serie 0043135 de la marca Rosemount, utilizando el protocolo de comunicación FOUNDATION Fieldbus, envían la información al SCADA, Figura 1.4.



**Figura 1. 4** Interfaz gráfica de la plazoleta 1 sin recepción de ninguna presión.

Fuente: SCADA Ovation.

El controlador Ovation OCR400 utilizado en las plazoletas de Pailas I tiene la particularidad de estar sobredimensionado para la función que desempeña y por consiguiente el costo de reposición es muy elevado el precio ronda los \$26 000, Apéndice A.2, figura A.1, comparado con equipos más pequeños, pero con la capacidad de llevar a cabo las mismas funciones.

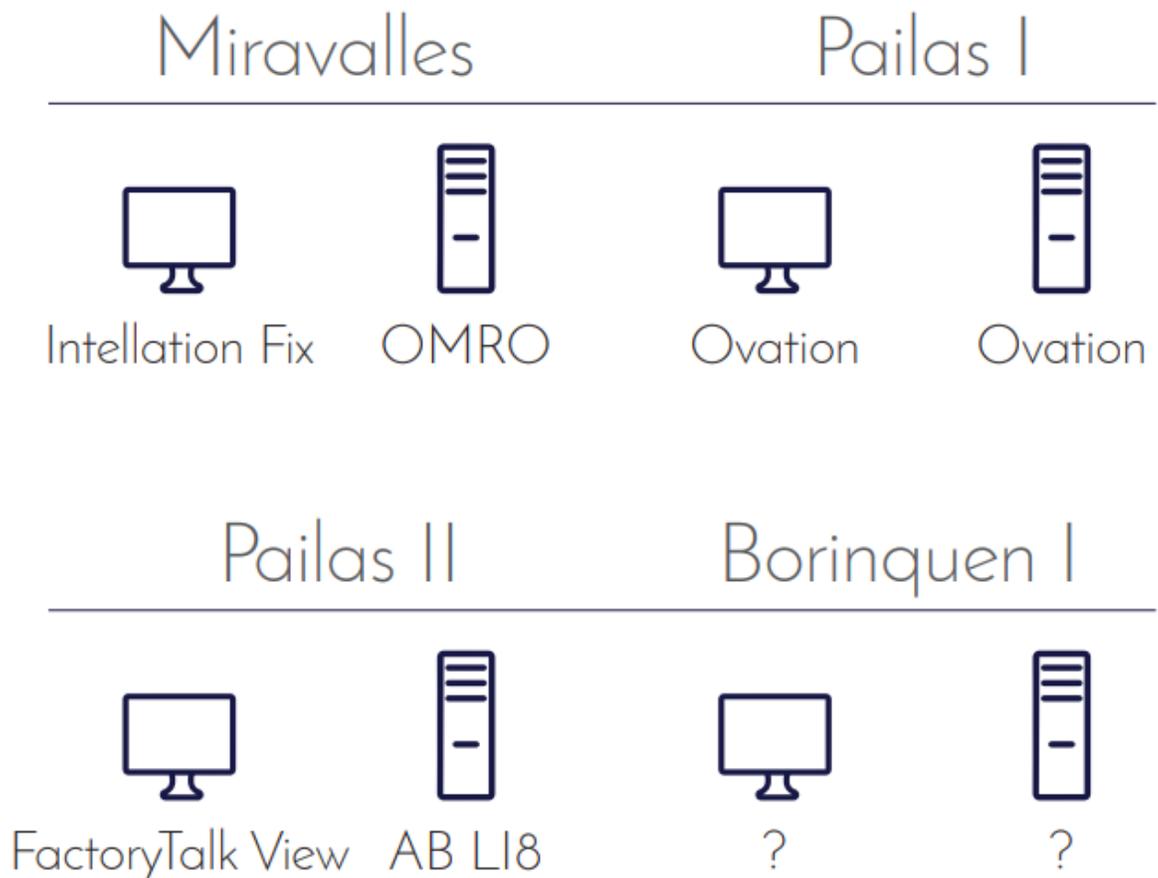
Se tiene la necesidad de adquirir nuevos equipos de control, diferentes al sistema Ovation, el mismo debe ser capaz de adquirir los valores de las variables de campo con la misma exactitud que lo realizan los equipos de las otras plazoletas, adicionalmente debe comunicarse con el sistema SCADA, enviar datos y ser visualizados en la interfaz, actualizando los valores en un período de tiempo similar al que utilizan los controladores Ovation en las otras plazoletas.

### 1.2.2 Síntesis del problema

El controlador de la plazoleta 1 encargado del monitoreo y envío de datos al SCADA, está dañado y no puede ser reparado ya que está sobredimensionado.

### 1.3 Entorno de la solución

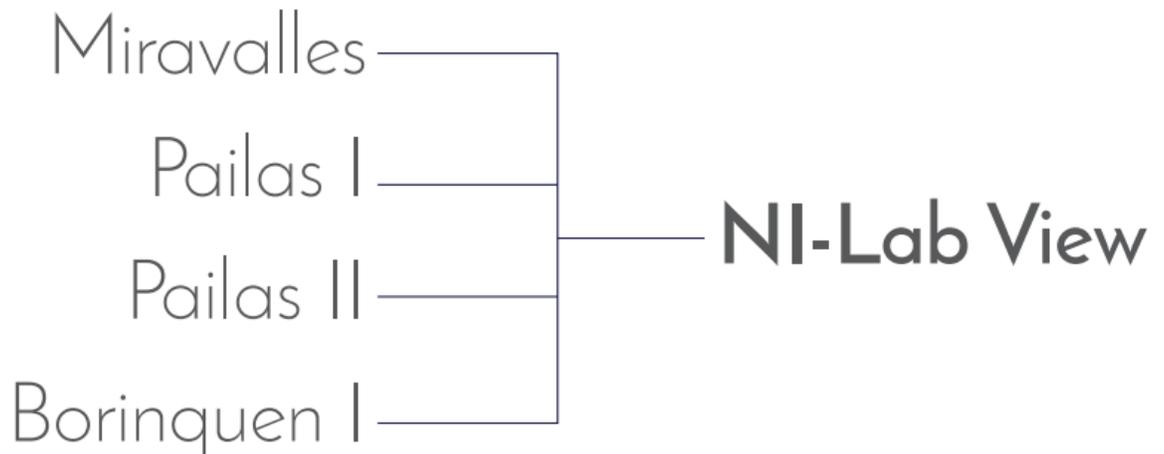
El CSRG cuenta con personal 24/7 para la supervisión de los SCADAS en Guayabo, en Pailas únicamente de 7 AM a 5 PM, por lo que el SCADA Ovation se encuentra conectado en la red institucional desde Pailas hasta las oficinas ubicadas en Guayabo, de forma paralela se tiene el sistema SCADA de la planta Miravalles, desarrollado en Intellution Fix, el cual utiliza controladores de la marca Omron. Por otra parte, Las Pailas II fue desarrollado en productos de Rockwell Automation, FactoryTalk View y controladores Allen-Bradley 1769-L18ER-BB1B.



**Figura 1. 5** SCADAs en el CSRG Miravalles.

Fuente: Elaboración propia.

Con vistas al futuro se desea acoplar todos los SCADAS, es decir los dos actuales y los que se implementarán en Pailas II y Borinquen I, en una misma plataforma, actualmente se trabaja en esto con un OPC de NI y en futuro se desea implementar un SCADA en LabView para todas las plantas geotérmicas.



**Figura 1. 6** Vistas al futuro de los SCADAS del CSRG Miravalles.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte del entorno de la solución el sistema de control debe ser implementado únicamente en una plazoleta, pero con vistas a ser replicado en caso que otro de los controladores Ovation falle o que eventualmente en un futuro se emigre a otra plataforma de SCADA como LabView. Adicionalmente el proyecto debe realizarse en el menor lapso de tiempo posible ya que el sistema debe ser puesto a prueba y en funcionamiento para recuperar la producción en esa plazoleta en específico.

## Capítulo 2: Alcances y Limitaciones del proyecto

### 2.1 Alcances

El alcance del proyecto es el desarrollo de un sistema de adquisición y transmisión de datos que rehabilite las actividades de extracción de material bifásico en la plazoleta 1 de Pailas 1, a la vez este debe ser compatible con Ovation. Las Tablas 1, 2 y 3 describen las tareas requeridas para la implementación del nuevo sistema.

**Tabla 1.** Tareas de adquisición de datos.

<b>Tarea</b>	<b>Parámetro</b>
Identificar la precisión de las mediciones en pozos de plazoletas distintas a la PZ-01.	Realizar estudio de las incertidumbres en los equipos de instrumentación utilizados en las plazoletas.
Identificar la precisión de las mediciones realizadas por el nuevo sistema en la Plazoleta 1.	Realizar estudio de las incertidumbres en los equipos de instrumentación utilizados en la plazoleta 1 y los datos obtenidos por el sistema.
Determinar la validez de los datos medidos por el nuevo equipo.	Realizar un análisis técnico que valide la confiabilidad de las lecturas adquiridas.

**Tabla 2.** Tareas de comunicación que deberá realizar el nuevo sistema.

<b>Tarea</b>	<b>Parámetro</b>
Comunicación con la base de datos del SCADA Ovation.	Escritura de valores en un la base de datos del SCADA Ovation.
Actualización de los valores en la interfaz gráfica del SCADA.	Implementación de subrutinas de actualización de valores.

**Tabla 3.** Tareas del proceso de compra de equipo.

<b>Tarea</b>	<b>Parámetro</b>
Identificar las especificaciones del equipo necesarios para realizar el proyecto.	Determinar los requerimientos de los equipos necesarios para satisfacer las necesidades de monitoreo y control en la plazoleta 1.
Identificar las opciones de compra.	Realizar estudio de mercado de alternativas de equipos de control que cumplan con los requerimientos.
Seleccionar el equipo a comprar	Realizar un análisis técnico y económico de las diferentes alternativas para determinar la opción más conveniente.
Tramitar la compra de los equipos	Determinar el listado de especificaciones necesarias para el trámite de compra de los equipos.

## 2.2 Limitaciones

Las principales limitaciones en el proyecto:

- Tiempo, el contrato en la institución fue un periodo de 4 meses, durante este lapso de tiempo se realizó investigación, selección del equipo, tramites de compras, desarrollar del sistema y entregables tanto académicos como en la institución.
- Con el propósito de agilizar los trámites en la compra de equipos, el presupuesto fue manejado como una caja chica del departamento de Mantenimiento Instrumentación, rondando los \$3000.
- A pesar que las actividades en la plazoleta 1 se encontraban detenidas, los pozos seguían en el programa de metrología del CSRG, adicionalmente el departamento de Operación de Campo tomaba los valores de las variables de campo periódicamente de manera local. Por lo tanto, el cambio de la instrumentación fue coordinado con otros departamentos.

## 2.3 Entregables

Puntualmente se tiene que los entregables de este proyecto para la institución son:

- Lista de especificaciones para compra de equipos utilizados en el proyecto.
- Montaje de equipos en gabinete y campo.
- Planos del gabinete y cableado actualizados (archivos en DWG).
- Archivos de la programación del PLC (comentados).
- Análisis de costos con las respectivas cotizaciones realizadas durante el desarrollo del proyecto.
- Prototipo funcionando del sistema de adquisición y transmisión de datos compatible con SCADA Ovation.

## **Capítulo 3: Meta y Objetivos**

### **3.1 Meta**

Habilitar las actividades de extracción de material bifásico en la 1 de la planta geotérmica Las Pailas, utilizando el SCADA actual y equipo más económico que los controladores Ovation OCR400.

Indicador: Habilitar las actividades de adquisición y transmisión de datos al SCADA Ovation en la plazoleta PZ-01, utilizando controladores con un precio menor a los \$26 000.

### **3.2 Objetivo General**

Implementar un sistema de adquisición y transmisión de datos en la plazoleta 1 del proyecto Las Pailas, que sea capaz de acoplarse con el SCADA Ovation, sustituyendo los controladores OCR400 por equipo más económico y cumpliendo las mismas tareas.

Indicador: Cumplir con las tareas de las tablas 1, 2 y 3.

### **3.3 Objetivos Específicos**

1. Implementar un sistema de adquisición de datos que realice mediciones con una incertidumbre igual o menor que la utilizada por los equipos de control en las plazoletas de Pailas 1.

Indicador: Cumplimiento de las tareas de Tabla 1.

2. Implementar el sistema de adquisición y transmisión de datos compatible con el SCADA Ovation.

Indicador: Cumplimiento de las tareas de Tabla 2.

3. Implementar el sistema de adquisición y transmisión de datos al SCADA con equipo más económico que el Ovation, en términos de sustitución y reparación.

Indicador: Cumplimiento de las tareas de Tabla 3.

## **Capítulo 4: Metodología**

La metodología a utilizar es la descrita por Dietre, en Engineering Design (2009). La cual divide el proyecto en las siguientes etapas, las cuales están acompañadas de una pequeña descripción de las acciones que fueron realizadas en cada una de las etapas:

### **4.1 Definición del problema**

La primera etapa corresponde a la definición del problema, requerimientos, restricciones, presupuestos, entregables a la empresa, personal implicado en el proyecto y antecedentes.

En esta etapa se conversó con el ingeniero coordinador del departamento de Mantenimiento Instrumentación, este departamento es el consumidor y usuario directo del proyecto, el problema fue expuesto con detalle, así como los requerimientos y presupuesto fue definido.

Por otra parte, se establecieron reuniones con los ingenieros del departamento de Diseño, quienes desarrollaron el sistema SCADA actual, proyectos similares y contaban con una propuesta para el problema.

### **4.2 Recolección de información**

El estado del arte fue creado, conformado por conceptos como el SCADA Ovation utilizado en Pailas y las especificaciones de los equipos disponibles en almacén, también se investigaron sistemas SCADAs similares disponibles en el mercado, como los propuestos por el departamento de diseño. Manuales y hojas de datos de los equipos fueron consultadas en esta etapa.

Adicionalmente se recaudó información de los proyectos tanto futuros como en proceso de desarrollo en el CSRG, como Pailas II.

### **4.3 Generación de un concepto**

Una vez definidos tanto el entorno de la solución como el estado del arte, la información fue sintetizada, la primera propuesta de diseño fue generada, utilizando un controlador Allen Bradley Micro 850. La investigación fue enfocada a los componentes y licencias requeridas para desarrollar la propuesta.

### **4.4 Evaluación del concepto**

En esta etapa fueron realizadas consultas de equipos a empresas distribuidoras en el país de marcas como Emerson y Rockwell Automation. Se emplearon criterios técnicos y evaluaciones de costos para la selección de la mejor opción, un rediseño fue elaborado y se optó por utilizar un PAC más grande, el controlador Allen Bradley L18.

El listado de componentes para reutilizar o disponibles en almacén fue corroborado. Posteriormente fueron definidas especificaciones de los equipos que debían ser adquiridos y el proceso de compra inició con las cotizaciones por distribuidores directos de las marcas.

### **4.5 Arquitectura del producto**

Las secuencias lógicas fueron definidas, los diagramas de diseño fueron definidos, cada proceso fue desglosado y definido con detalle. Por ejemplo, la adquisición de datos en campo, el envío de datos del PLC, manejo de la información dentro del SCADA y cambios tanto en la base de datos de Ovation como en la interfaz y alarmas.

### **4.6 Configuración del diseño**

En esta etapa se implementó el diseño, las configuraciones de red fueron definidas y reservadas para el nuevo sistema, el PLC fue programado con las secuencias requeridas y configurado para ser utilizado por Ovation, desde el SCADA se realizaron configuraciones tanto en la red, hojas de control, interfaz gráfica y base de datos del historiador.

#### **4.7 Parametrización del diseño**

Una vez establecida la comunicación full dúplex entre Ovation y el PLC se procedió a realizar cambios en el gabinete de control con las especificaciones requeridas tanto por los equipos como el departamento de instrumentación, las configuraciones en los transmisores se realizaron siguiendo tanto con las hojas de datos de los dispositivos como los rangos de operación obtenidos como resultado de la investigación.

#### **4.8 Detalle del diseño**

En esta última etapa del diseño se verificaron hojas de control, algoritmos, programas, especificaciones y planos. Adicionalmente se realizaron pruebas en la malla a tierra y cableado de campo en la plazoleta 1, con el fin de descartar daños producto de la avería anterior.

Finalmente se realizaron pruebas para ejecutar la puesta en marcha del proyecto, durante esta etapa también se tuvieron que realizar ajustes a cada uno de los sensores para tener lecturas más precisas.

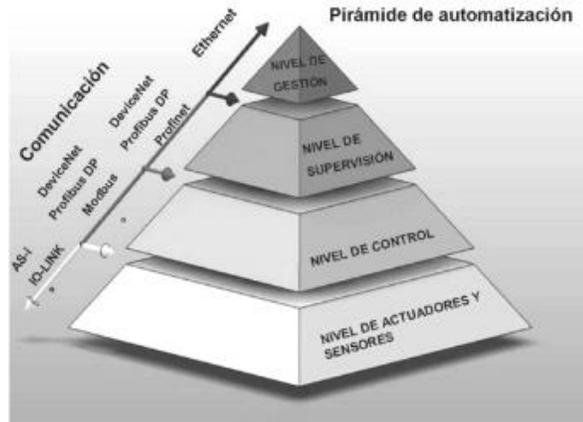
## Capítulo 5: Marco Teórico

### 5.1 Automatización

La automatización industrial es una disciplina de la ingeniería encargada de controlar máquinas o procesos industriales de forma óptima, mejorando la calidad del producto y su productividad. Los sistemas de automatización pueden ser divididos en distintos niveles, conformando la pirámide de la automatización.

Estos niveles son:

- Nivel de campo: Es el nivel inferior donde podemos encontrar actuadores lineales o rotativos, válvula de proceso, sensores, motores eléctricos, etc.
- Nivel de control: En este nivel están los distintos dispositivos de control y monitoreo, tales como PLC, HMI, variadores de frecuencia, servo drive, etc. Este nivel se encarga de monitorear y controlar todos los dispositivos del campo.
- Nivel de supervisión: Es el encargado de controlar la interacción entre los distintos dispositivos ubicados en el nivel de control. De esta forma, se puede controlar y monitorear diferentes procesos al mismo tiempo. Incluye PLC's maestros y sistemas SCADA.
- Nivel de gestión: Este es el nivel más alto y es el que se encarga de controlar toda la planta. En este nivel también se puede vincular nuestra planta con sistemas de control y monitoreo externos. Contiene PC's industriales.



**Figura 5. 1** Pirámide de automatización.

Fuente: [16].

## 5.2 SCADA

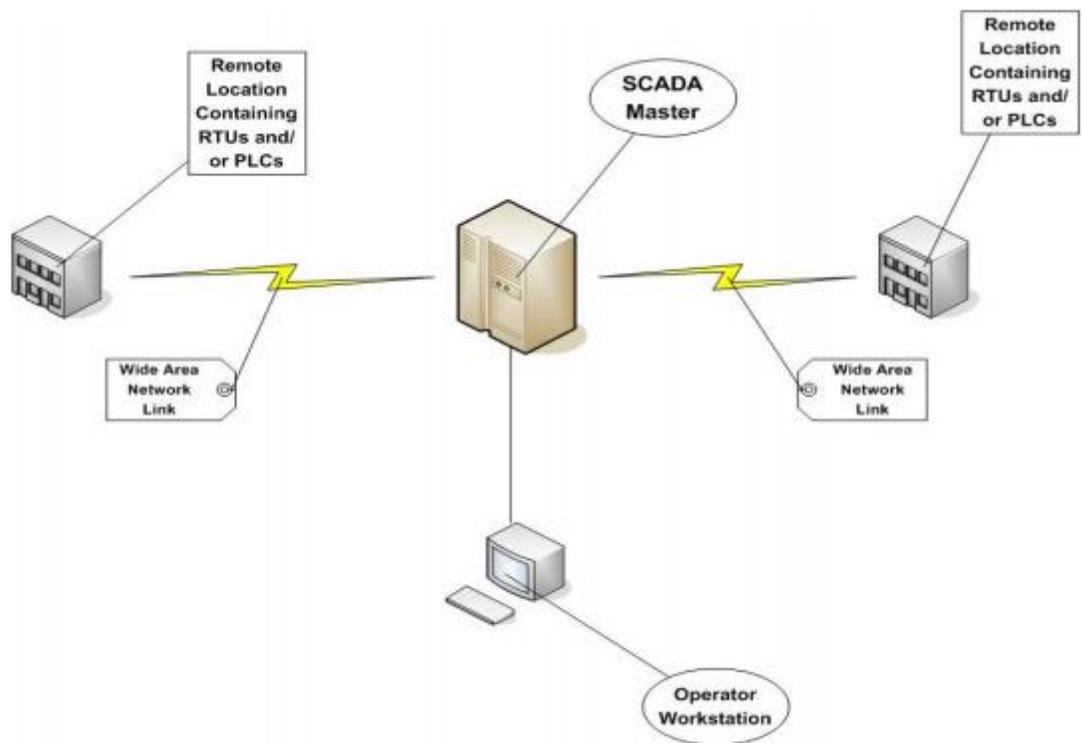
SCADA por sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition, son utilizados para monitorear y controlar equipos en plantas industriales como telecomunicaciones, controles de procesos de líquidos, energía, refinería de gas y petróleo y transporte. Este sistema abarca la transferencia de datos entre la computadora host central del SCADA y una cantidad de Remote Terminal Units (RTUs) y/o PLCs, el host central y terminales de operación.

Tradicionalmente, los sistemas SCADA han utilizado Public Switched Network (PSN) para propósitos de supervisión. En la actualidad muchos sistemas de monitoreo utilizan estructuras LAN/Wide.

Los sistemas SCADA están conformados por:

- Uno o más dispositivos de campo, usualmente RTUs, o PLCs, los cuales se comunican con dispositivos de instrumentación de campo, switches locales y válvulas de acción.
- Los sistemas de comunicación suelen ser utilizados en la transferencia de datos entre dispositivos de instrumentación de campo, unidades de control y computadoras centrales en el SCADA. Los sistemas pueden ser implementados vía radiofrecuencia, telefonía, cable, satélite, etc., o combinaciones entre estas.
- La computadora central del SCADA es un servidor o varios servidores algunas veces llamado SCADA Center, master station o Master Terminal Unit (MTU).

- El conjunto de softwares estándar, algunas veces llamados Human Machine Interface (HMI) software o Man Machine Interface (MMI). Los sistemas suelen brindar al SCADA central y a las aplicaciones de operador, soporte con el sistema de comunicación, monitorear y controlar de manera remota dispositivos de campo.



**Figura 5. 2** Sistema SCADA clásico.

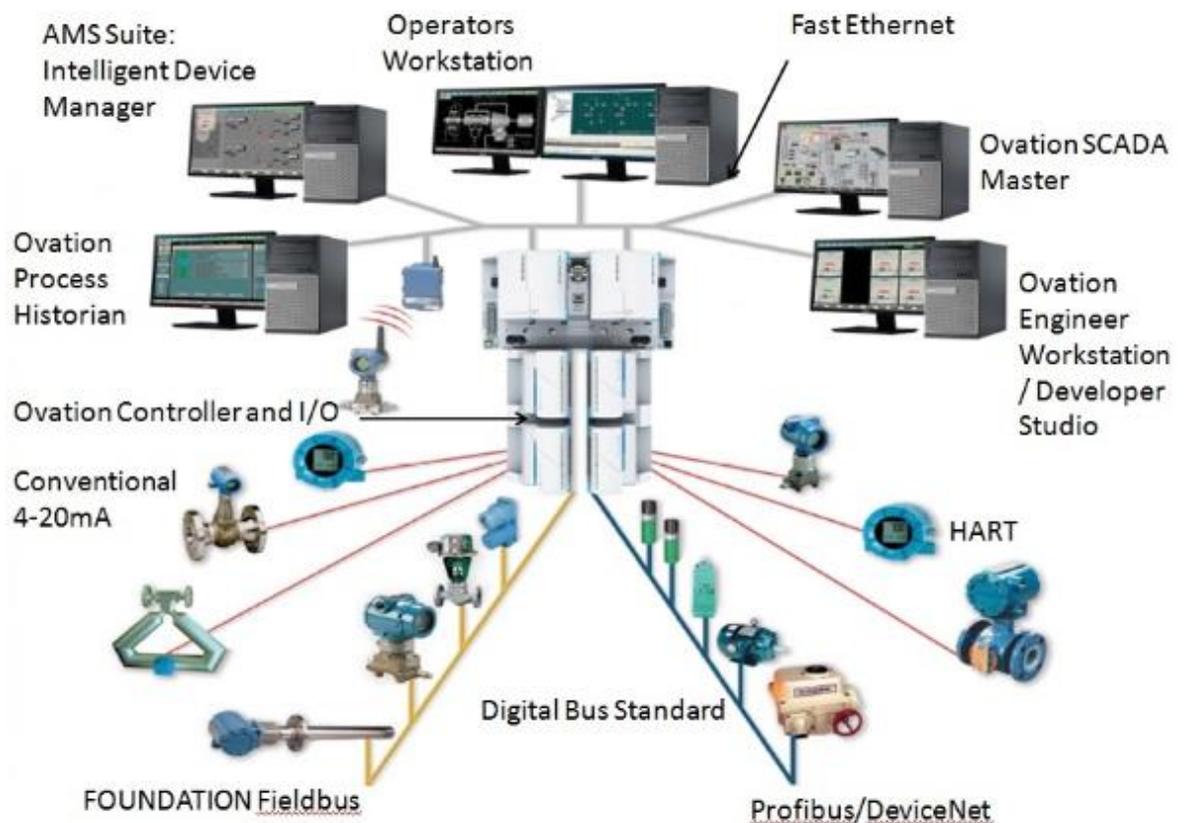
Fuente: [18].

### 5.3 Ovation

Ovation es un sistema SCADA avanzado que maneja procesos como purificación de agua, procesos químicos de alta precisión y principalmente generación de energía. Esto se logra utilizando en conjunto hardware y software para obtener información y guiando la comunicación entre los dispositivos de campo fuera de la planta y el controlado. El sistema de control utiliza tanto lógica discreta (digital) como de modulación continua (analógica) para enviar comandos desde el controlador a los dispositivos.

Los sistemas Ovation ejecutan diferentes tipos de control. El tipo de control que se utiliza en la aplicación depende del dispositivo que se requiere controlar y que tipo de salida del proceso.

- Control secuencial (digital): Es un tipo de control “instantáneo” en respuesta temporal, si la condición apropiada existe, es decir, cuando las entradas son detectadas las salidas se activan inmediatamente. Por ejemplo, cuando un operador presiona el botón de inicio de una bomba.
- Control de modulación continua (analógico): No es “instantáneo”, en respuesta temporal. Este ocurre en durante un periodo de tiempo dado. Regularmente el operador define el valor deseado para un proceso y el sistema de control trabaja sobre este valor. Por ejemplo, cuando un nivel deseado o “set point” de un tanque es configurado por el operador, el sistema no puede obtener ese valor de manera instantánea. Este lleva un rango de tiempo de reacción ya sea para bajar o subir el nivel hasta que concuerde con el set point.
- Control Avanzado: utiliza algoritmos más sofisticados. Que pueden adaptar estrategias de control para cumplir con los requerimientos del proceso a controlar.



**Figura 5. 3** Distribución del sistema Ovation.

Fuente: [7].

## 5.4 Puntos

Un punto es cualquier ítem de datos utilizado en el sistema Ovation. Los puntos incluyen a las entradas y salidas de los dispositivos de campo, valores calculados e información interna del sistema. Cada uno con un nombre y un número de ID de identificación, esta información es almacenada dentro de Ovation Master Database. Un sistema Ovation puede incluir más de 200,000 puntos en el proceso.

El sistema de control adquiere puntos de entrada/salida. La información obtenida es convertida en unidades de ingeniería y almacenada en un registro de puntos, el cual es un conjunto de características de cada punto. Esta información es puesta a disposición a todas las partes del sistema. (Emerson Process Management, 2010).

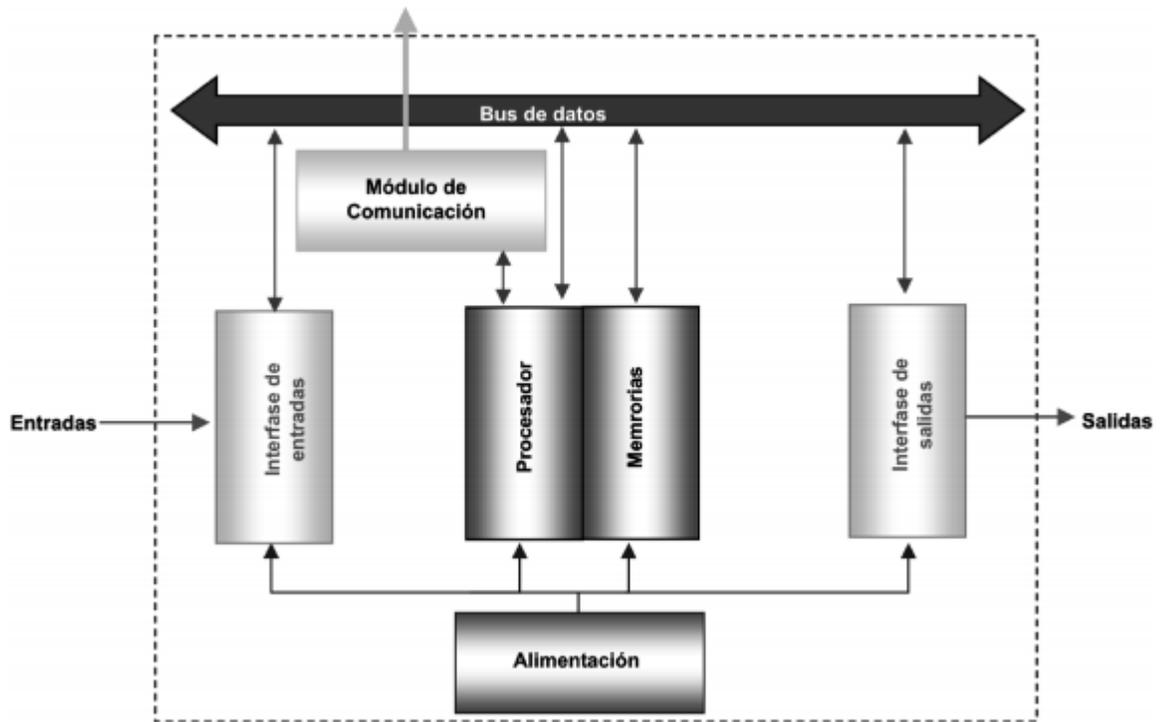
## 5.5 Controlador Lógico Programable (PLC)

Los controladores lógicos programables o PLC's son dispositivos electrónicos digitales los cuales tienen una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, lo que permite que se implementen funciones específicas conocidas como: secuencias, temporizados, conteos, comparativas y funciones aritméticas.

La estructura básica de un PLC se describe en la figura 5.4, está compuesta por:

- **Procesador:** es el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario.
- **Memoria** Los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas.
- **Dispositivos de entrada** Los dispositivos de entrada y salida son aquellos equipos que intercambian (o envían) señales con el PLC. Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras. Entre estos dispositivos podemos encontrar: sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termoresistencias, encoders, etc.

Los Controladores Lógicos Programables proporciona una alta confiabilidad en su operación, así como aplicaciones industriales donde existen peligros ambientales: alta repetitividad, elevadas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas, entre otros. (Moreno, s.f).



**Figura 5. 4** Estructura de PLC.

Fuente: [17].

## 5.6 OPC

OPC es un acrónimo de (Object Linking Embedding) OLE para procesos de control. Es un sistema de comunicación abierto utilizado en automatización e industrias. Está conformado por una serie de especificaciones estándar que permiten la interoperabilidad de las señales. El OPC especifica la comunicación en tiempo real entre los datos en la planta y cualquier dispositivo de control.

OPC está basado en tecnologías OLE, COM y DCOM, desarrolladas por Microsoft para sistemas operativos Microsoft. El sistema fue diseñado para establecer comunicación entre aplicaciones Windows, hardware de control de procesos y aplicaciones de software.

Este estándar permite acceder datos desde varios dispositivos a través del proceso de control, sin importar el tipo de dato o la fuente de la que es generado.

El propósito del OPC es definir una interfaz común la cual es editada una vez y luego utilizada por SCADA, MHI, o paquetes de software. Varios paquetes de software pueden acceder a datos del proceso de control por medio de un OPC server.

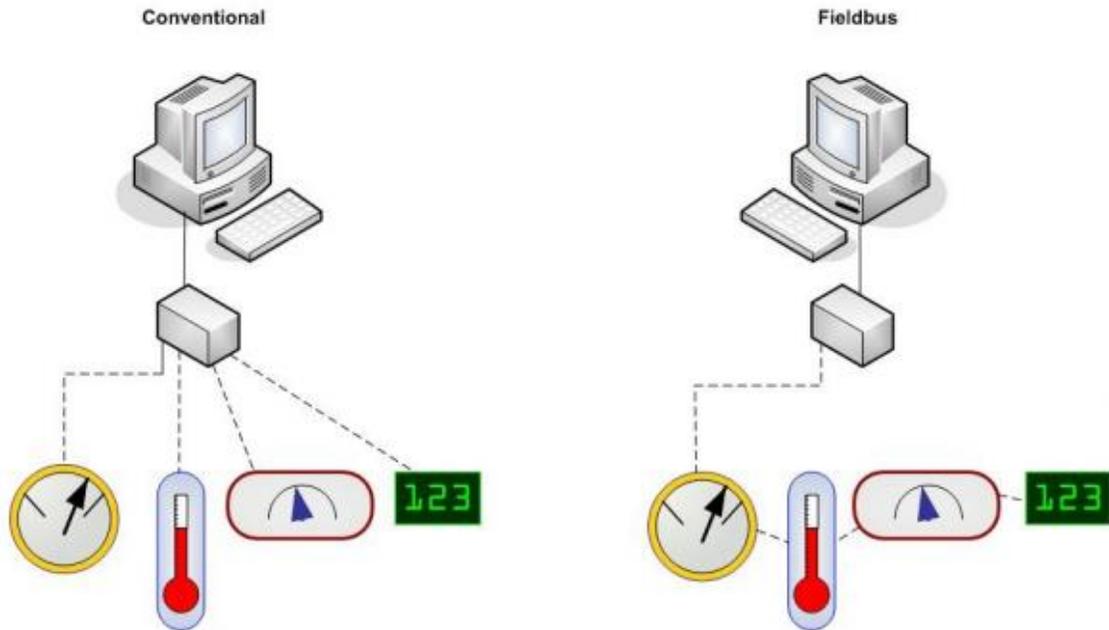
Una vez que un OPC server es editado para un dispositivo particular, este puede ser utilizado por cualquier aplicación que actúe como OPC cliente. (Emerson Process Management, 2008)

## **5.7 Foundation Fieldbus H1**

Foundation Fieldbus es un protocolo de comunicación digital bidireccional, multi-drop, que comunica múltiples dispositivos inteligentes como actuadores, sensores, dispositivos discretos y controladores de campo. En el nivel más bajo de la jerarquía de redes de campo, LAN, para instrumentos que permiten control básico y manejo de I/O desde Distributed Control System (DCS) hacia dispositivos de campo. (Emerson Process Management, 2010).

Algunas ventajas del protocolo Fieldbus:

- Mejor manejo de inmunidad ante el ruido, ya que utiliza mecanismos digitales.
- Reducción de cableado en la planta.
- Capacidad de manejar múltiples variables por dispositivo.
- Capacidad de adquirir diagnósticos de nivel de campo.
- Capacidad de redundancia.



**Figura 5. 5** Cableado convencional vs cableado Fieldbus.

Fuente: [8].

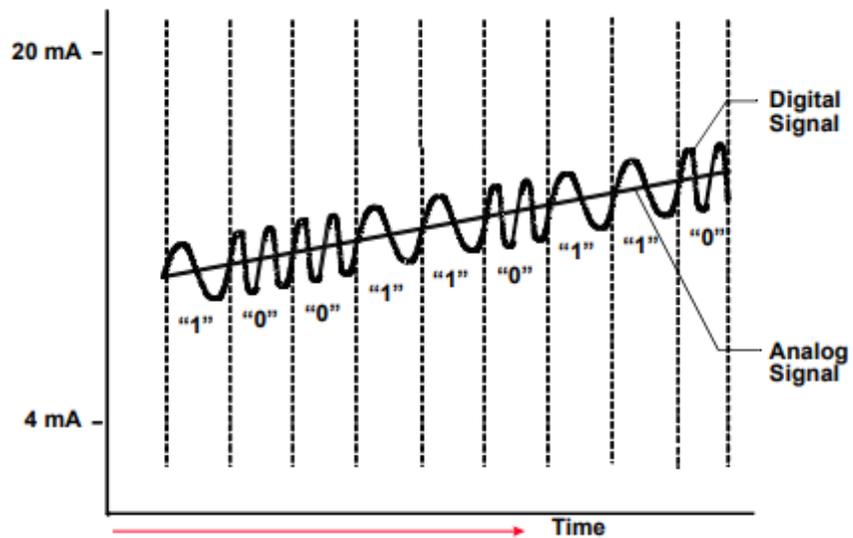
Algunas características del protocolo son:

- Permite más de 16 dispositivos por segmento. Emerson recomienda de 10 a 12 dependiendo de la funcionalidad.
- Un consumo aproximado de 15 a 25 mA de consumo por dispositivo y 350 mA como máximo por segmento.
- Rango de tensión por dispositivo, entre 9 y 32 VDC. Con un valor típico de 24 VDC. Emerson recomendando no menor a 11 VDC.
- Codificación Manchester.

## 5.8 4-20 mA con HART

El protocolo HART (highway addressable remote transducer), brinda comunicación a través de señales analógicas 4-20 mA y señales digitales HART, es un protocolo de comunicación maestro-esclavo, lo que significa que, durante operación, cada esclavo (dispositivo de campo) inicia su comunicación posterior a consultas realizadas por el dispositivo maestro. Dos maestros pueden conectarse a cada lazo HART. El maestro primario es generalmente un DCS, PLC o PC. El maestro secundario puede ser otro dispositivo o PC. Los dispositivos esclavos incluyen transmisores, actuadores y controladores que responden a los comandos enviados por los dispositivos maestros.

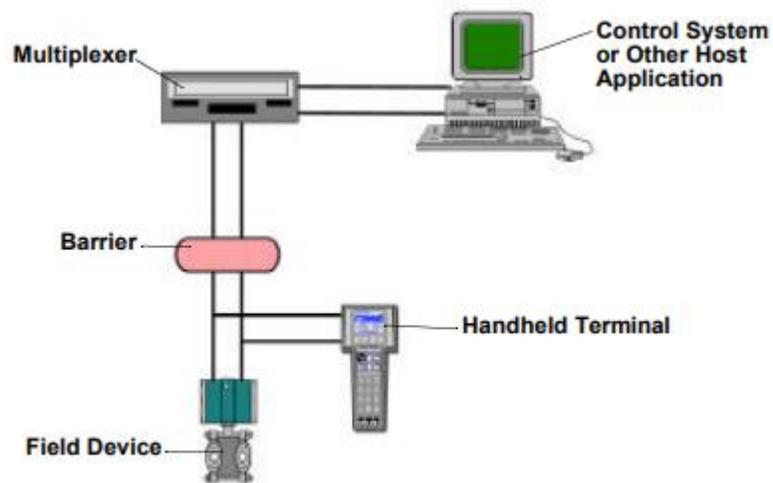
El protocolo de comunicación HART está basado en el estándar de comunicación telefónico Bell 202 y opera utilizando principios FSK. La señal digital está compuesta por dos frecuencias 1,200 Hz y 2,200 Hz representando los bits 1 y 0 respectivamente. Señales sinusoidales en dichas frecuencias son superpuestas en señales analógicas de corriente directa, brindando así simultáneamente comunicación tanto analógica como digital, figura 12. Ya que el promedio del valor FSK es siempre cero, la señal 4-20 mA nunca es afectada, las señales digitales tienen un tiempo de respuesta de aproximadamente 2-3 actualizaciones por segundo sin interrumpir la señal analógica. (HART Communication Foundation, s.f).



Note: Drawing not to scale.

Figura 5. 6 Protocolo 4-20 mA.

Fuente: [14].



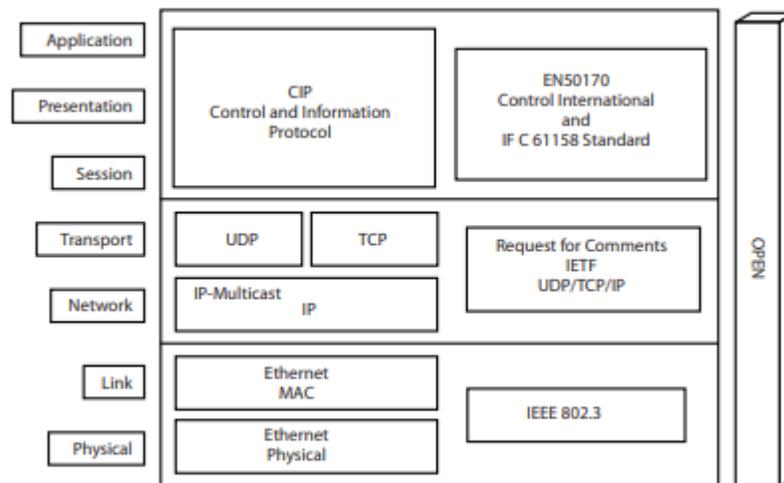
Note: Instrument power is provided by an interface or external power source that is not shown.

Figura 5. 7 Topología punto a punto en 4-20 mA.

Fuente: [14].

## 5.9 EtherNet/IP

EtherNet/IP es un protocolo multidisciplinario, utilizado en ambientes industriales en control, envío de información y aplicaciones de tiempo crítico. Las redes EtherNet/IP utilizan el estándar de las tecnologías Ethernet y TCP/IP y una capa de aplicación abierta llamada Common Industrial Protocol (CIP). Esta capa de aplicación brinda interoperabilidad e intercambiabilidad entre dispositivos de control y automatización industrial, en una red EtherNet/IP. (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).



**Figura 5. 8** Diagrama EtherNet/IP.

Fuente: [22].

El protocolo EtherNet/IP sigue los siguientes estándares:

- IEEE 802.3—Standard Ethernet, Precision Time Protocol (IEEE-1588).
- IETF—Internet Engineering Task Force, standard Internet Protocol (IP).
- IEC—International Electrotechnical Commission.
- ODVA—Open DeviceNet Vendor Association, Common Industrial Protocol (CIP).

## 5.10 Protocolos de red

En el nivel más básico, Ethernet es un cable que conecta computadoras con módulos periféricos y les brinda un medio en el cual comunicarse, a través de este medio físico, todas las redes Ethernet manejan protocolos que brindan transferencia de datos y capacidad de manejo de la red. (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).

**Tabla 4.** Protocolos de red.

<b>Protocolo</b>	<b>Descripción</b>
Common Industrial Protocol (CIP)	CIP utiliza una capa de aplicación común en la red Ethernet encapsulando mensajes en TCP/UDP/IP. Brinda interoperabilidad en automatización industrial y dispositivos de control.
Transmission Control Protocol/internet Protocol (TCP/IP)	TCP/IP es un protocolo en la capa de transporte (TCP) y un protocolo de capa de red (IP) comúnmente utilizado en ambientes de negocios para comunicación en redes.
User Datagram Protocol/internet Protocol (UDP/IP)	UDP es un protocolo de transporte mucho más sencillo. Se utiliza para la comunicación entre módulos que un servicio de transporte mínimo. UDP es más pequeño, simple y rápido que TCP y puede operar en unicast, multicast o broadcast.

## 5.11 Dirección MAC

Todos los dispositivos comunicados en Ethernet utilizan una dirección para el dispositivo en particular. Esta dirección es llamada hardware address o Media Access Controller (MAC) address.

La dirección de hardware es única, de seis bytes, está embebida en la circuitería de cada dispositivo en la red Ethernet. Cada vendedor de productos Ethernet obtiene su propio rango de direcciones.

Para conectar un dispositivo a una red Ethernet es necesario configurar la dirección IP, dirección gateway y la subnet mask. (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).

## 5.12 Dirección IP

La dirección IP identifica cada nodo dentro de una red IP o sistema de redes conectadas. Cada nodo TCP/IP en una red debe tener una dirección IP única. La dirección IP es de 32 bits y contiene ID de red e ID de host. Como las redes varían de tamaños, existen cuatro tipos de redes.

**Tabla 5.** Tipos de redes.

<b>Tipo de red</b>	<b>Aplicación</b>
Clase A	Red grande con muchos dispositivos
Clase B	Redes medianas
Clase C	Redes pequeñas (menos de 256 dispositivos). Comúnmente utilizadas en redes privadas y la industria.
Clase D	Direccionamiento multicast

El tipo de red determina la conformación de la trama de la dirección IP:

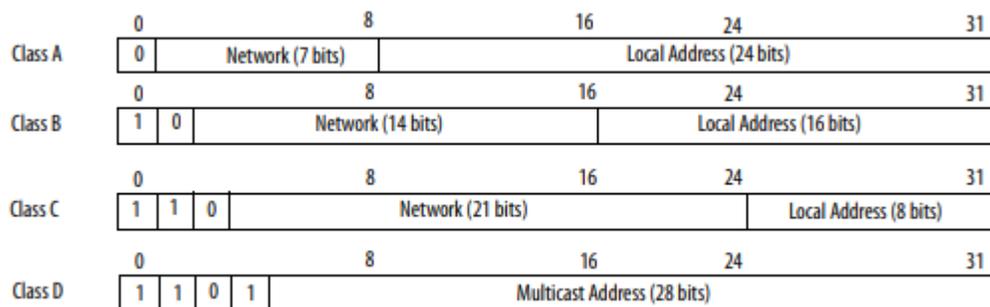


Figura 5. 9 Tipos de redes

Fuente: [22].

Cada nodo en una misma red física debe tener una dirección IP de la misma clase y la misma dirección de red. Cada nodo en la misma red debe tener una dirección local distinta (host ID), dando así una única dirección IP.

Las direcciones IP son escritas como cuatro números decimales (0...255) separados por periodos donde cada entero representa el valor de un byte de la dirección IP.

Por ejemplo, la siguiente dirección IP de 32-bit es escrita como 130.0.0.1:

10000010 00000000 00000000 00000001

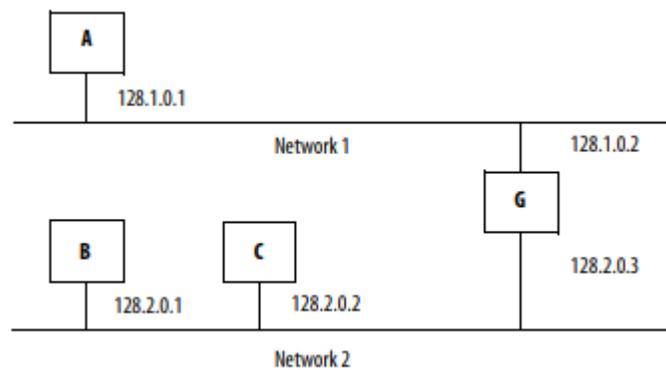
Tabla 6. Ejemplo tipos de direccionamientos de red.

Clase	Bits más a la izquierda	Dirección de inicio	Dirección final
A	0xxx	0.0.0	127.255.255.255
B	10xx	128.0.0.0	191.255.255.255
C	110x	192.0.0.0	233.255.255.255
D	1110	224.0.0.0	239.255.255.255

Direcciones IP públicas son utilizadas en dispositivos conectados a internet. Dispositivos en redes industriales no están conectados a internet, pero se comunican entre sí por medio de redes EtherNet/IP. Estos dispositivos utilizan direcciones IP privadas que no están en rutadas a internet. Direcciones IP privadas típicamente inician con 10, 172 0 192 en la primera parte de la dirección. Las direcciones IP privadas típicamente son conectadas a internet a través de dispositivos Network Address Translation (NAT). (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).

### 5.13 Dirección Gateway

Un Gateway conecta redes físicas individuales a sistemas de redes. Cuando un nodo necesita comunicarse con otra red, un Gateway transfiere datos entre las redes. La siguiente figura muestra un Gateway G conectando Network 1 con Network 2, figura 5.10.



**Figura 5. 10** Gateway entre red 1 y red 2.

Fuente: [22].

Cuando el host C con la dirección IP 128.2.0.1 se comunica con el host C, él sabe por la IP de C que este pertenece a la misma red. En un medio Ethernet, B puede identificar la dirección MAC de C y comunicarse directamente con C.

Cuando el host B se comunica con el host A, él sabe por la dirección IP de A que A se encuentra en otra red ya que los IDs son diferentes. Para enviar datos hacia A, B debe tener la dirección IP del Gateway que conecta ambas redes, para este caso, la dirección en Network 2 es 128.2.0.3.

El Gateway tiene dos direcciones IP (128.1.0.2 y 128.2.0.3). En Network 1 se debe utilizar la primera dirección IP y en el Network2 la segunda. Además, la ID de red debe coincidir para ambas redes en el Gateway. (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).

## 5.14 Máscara de subred

El direccionamiento subred es una extensión del esquema de direccionamiento IP. Permite utilizar un solo ID de red para múltiples redes físicas, el ruteo se sigue realizando dividiendo la IP en ID red y host ID por medio de la clase del IP. La máscara subred es utilizada para subdividir la IP en una ID red personalizada y una ID host.

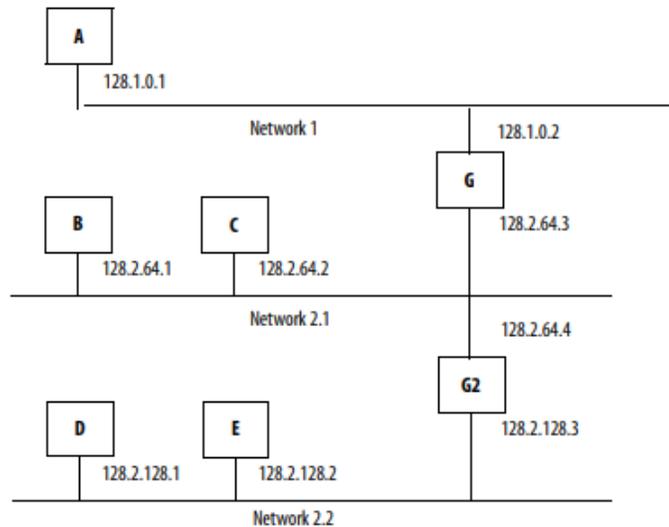
La máscara subred determina cuales de los 32 bits de la dirección IP son parte de la ID de red y cuales son parte del identificador único del nodo. Esta también determina el tamaño de la red y la subred.

Si se toma Network 2 (red de la clase B) y se añade otra red física, seleccionando esta máscara de subred se agregan dos bits extras al ID de red brindando para cuatro redes físicas:

11111111 11111111 11111111 00000000 = 255.255.255.0

Dos bits del ID del host de la clase B se utilizan para extender el ID de la red. Cada combinación de bits es única en la parte de host ID donde los bits de máscara de subred son 1 especifican una red física diferente.

Una segunda red con los hosts D y E es agregada. El Gateway G2 conecta las redes Network 2.1 y Network 2.2. (Rockwell Automation Allen Bradley, 2013).



**Figura 5. 11** Máscara de subred.

Fuente: [22].

### 5.15 DF1

El protocolo DF1 es de la capa enlace de datos, el cual combina características de subcategorías D1 (transparencia de datos) y F1 (transmisión simultánea en dos sentidos con respuesta embebida). Existen dos tipos de protocolo DF1:

- Half-duplex protocol (comunicación maestro-esclavo): es un protocolo multidrop de un maestro y uno o más esclavos. Con half-duplex es posible conectar simultáneamente de 2 a 255 nodos en un solo enlace; el cual opera con todos los nodos enlazados a través de módems half-duplex. Un nodo está designado al maestro de control, el cual tiene acceso al enlace. Todos los otros nodos son esclavos, que deben de esperar por permisos del maestro antes de transmitir. Cada nodo esclavo tiene un número único entre 0 y 254 (decimal). El maestro puede enviar y recibir mensajes hacia y desde cada nodo en la topología multidrop y para y desde cualquier nodo en el enlace de red.

El protocolo utiliza las siguientes características:

- bits por carácter.
- Sin paridad.
- 1 bit de parada.

- Full-duplex protocol (comunicación punto a punto): El protocolo full-duplex se utiliza en:
  - Enlaces punto a punto que permiten transmisión simultánea en dos sentidos.
  - Enlaces multidrop donde los módulos de interfaz tienen permitido arbitrar la transmisión en el enlace.
  - Para aplicaciones donde es necesario obtener el rendimiento más alto posible del medio disponible.

Los módulos de interfaz Allen-Bradley envían datos en formato serial a través de interfaz RS-232-CRD-422-A, con byte de 10 bits y de 11 bits para paridad. (Rockwell Automation Allen Bradley, 1996)

```

No Parity
start bit
data bit 0
data bit 1
data bit 2
data bit 3
data bit 4
data bit 5
data bit 6
data bit 7
one stop bit

With Parity
start bit
data bit 0
data bit 1
data bit 2
data bit 3
data bit 4
data bit 5
data bit 6
data bit 7
even parity bit
one stop bit

```

**Figura 5. 12** Formato de envío de datos Allen-Bradley a través de DF1.

Fuente: [21].

## 5.16 CIP

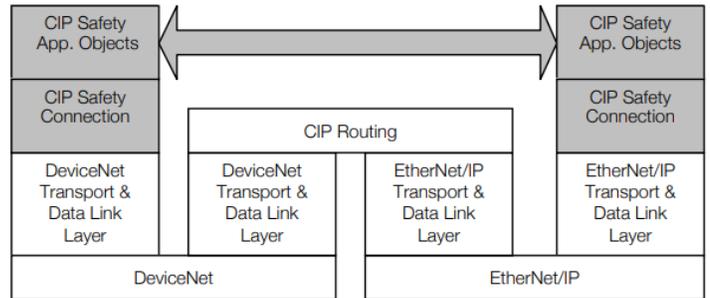
CIP es una capa de aplicación común que utiliza instrucciones en protocolo DF1, permite la integración completa de control con información, múltiples redes CIP y tecnologías con internet, en una misma plataforma independiente de medios con una misma capa de aplicación, utilizando una arquitectura escalable y coherente. También permite a las empresas integrar controles de E/S, configuraciones de dispositivos y adquisición de datos a través de múltiples redes. Lo cual ayuda a minimizar la ingeniería, tiempo de instalación y costos,

Capas de aplicación iguales son la clave para las comunicaciones avanzadas y la integración de redes. Las cuatro redes industriales más comunes corresponden a — EtherNet/IP™, DeviceNet™, ControlNet™ y CompoNet™ — todas ligadas al protocolo CIP uno de los protocolos más utilizados en la instrumentación. El CIP brinda un entorno de mensajería y servicios para aplicaciones de automatización, como seguridad, energía, sincronización y manejo de información a través del manejo de red. (Schiffer, 2016).



**Figura 5. 13** Protocolos industriales y sus adaptaciones de red.

Fuente: [23].

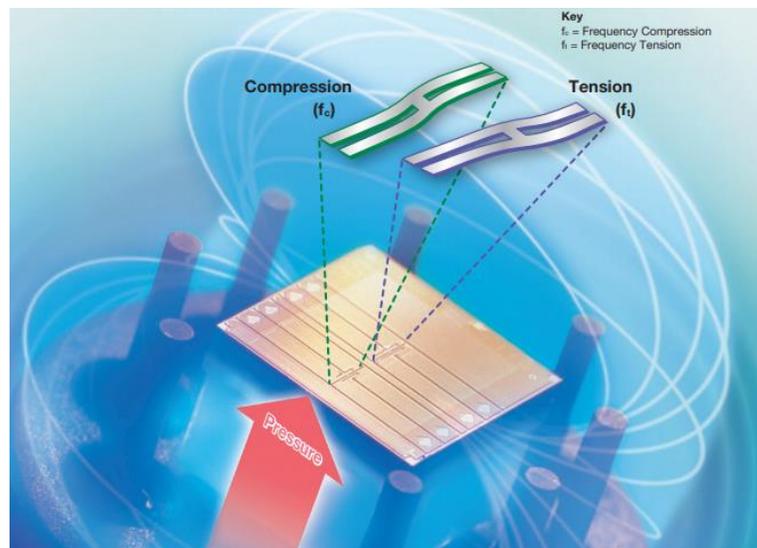


**Figura 5. 14** Diagrama CIP.

Fuente: [23].

### 5.17 Transmisores de presión

Típicamente compuestos por un sensor digital el cual utiliza dos resonadores de cristal de silicio vibrando a frecuencias naturales. Cuando la presión es aplicada, a uno de los resonares se le aplica una tensión mientras que al otro una compresión. El sensor toma directamente las cuentas de las frecuencias de salida sin aplicar ningún tipo de conversión A/D. Gracias a las excelentes propiedades físicas del silicio, los sensores transmisores exhiben una gran linealidad y repetitividad, sin la inherencia de histéresis. (Yokogawa Electric Corporation, 2012).



**Figura 5. 15** Composición de transmisores de presión.

Fuente: [24].

## **5.18 Sobretensión**

Las sobretensiones son aumentos de tensión que pueden causar graves problemas a los equipos conectados a la línea, desde su envejecimiento prematuro a incendios o destrucción de los mismos.

Cualquier conductor metálico puede ser la vía de conducción de las sobretensiones. En las instalaciones eléctricas, las líneas de la red de distribución eléctrica y la red de telefonía son las más propensas a sufrir sobretensiones, ya que tienen largos cableados, formando una malla de interconexión entre todas las instalaciones.

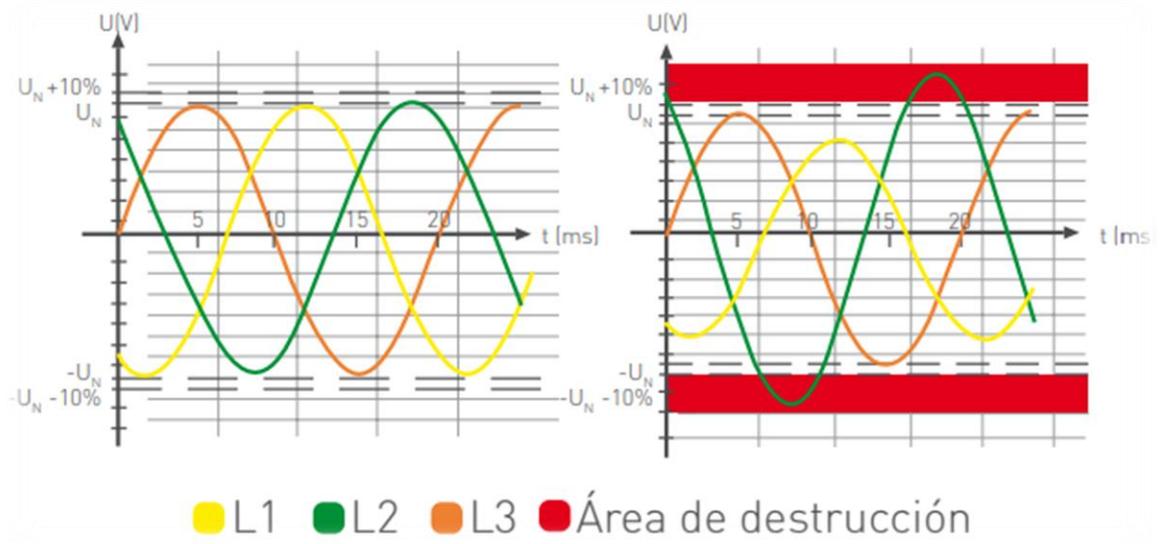
No obstante, otras líneas como las de datos, comunicación, medición o radio-frecuencia también son susceptibles a las sobretensiones.

Debido a la gran infraestructura de distribución que posee la red eléctrica, este tipo de red es muy susceptible a la inducción o la conducción de las sobretensiones transitorias. La principal causa de este tipo de sobretensiones son los fenómenos atmosféricos. Bien mediante un contacto directo o bien por un contacto indirecto, el rayo provoca un pico de tensión de kV que se propaga por la red provocando el deterioro de los receptores.

En las líneas de red eléctrica se pueden presentar otro tipo de sobretensiones, éstas son las sobretensiones permanentes, la red eléctrica se distribuye con un sistema trifásico con neutro. La ruptura del neutro provoca una descompensación en las tensiones simples, lo que produce en los receptores reducción de vida útil, destrucción inmediata e incluso incendios. (CPT, s.f)

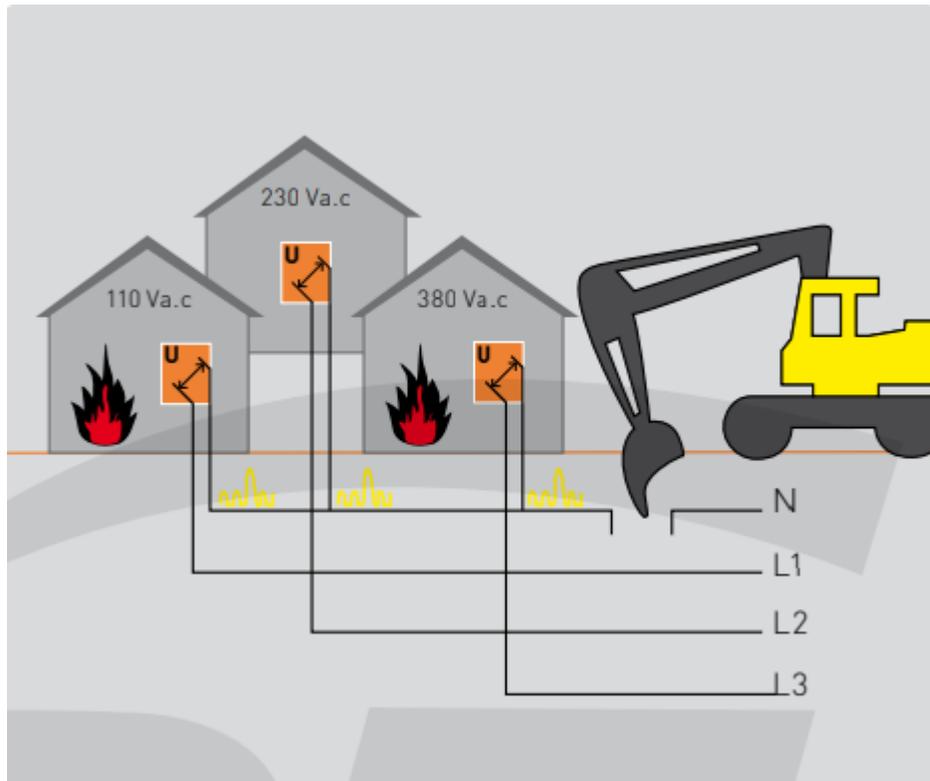
### **5.18.1 Sobretensiones Permanentes**

Son aumentos de tensión de centenas de voltios durante un período de tiempo indeterminado debido a la descompensación de las fases normalmente causadas por la ruptura del neutro.



**Figura 5. 16** Gráfica sobretensiones permanentes.

Fuente: [4].



**Figura 5. 17** Diagrama sobretensiones permanentes.

Fuente: [4].

### 5.18.2 Sobretensiones Transitorias

Son aumentos de tensión muy elevados (kV) de muy corta duración ( $\mu\text{s}$ ) originados por el impacto de un rayo o por conmutaciones en la red.

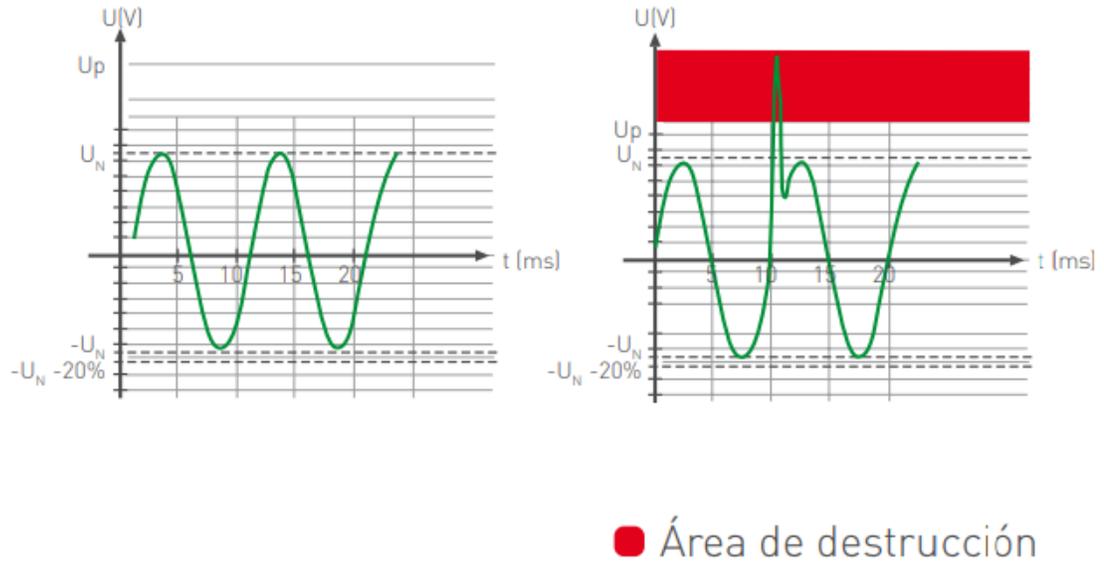


Figura 5. 18 Gráfica sobretensiones transitorias.

Fuente: [4].

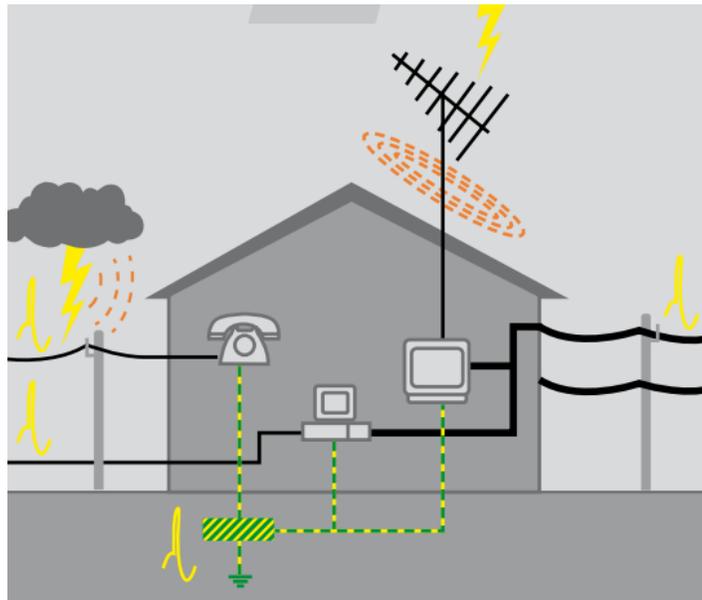


Figura 5. 19 Diagrama sobretensiones transitorias.

Fuente: [4].

## 5.19 Supresores de Sobretensión

El supresor actúa como un conmutador controlado por tensión. Cuando el valor de la tensión es inferior al valor de la tensión nominal, el protector actúa como un elemento con impedancia infinita, y cuando el valor de la tensión es superior a la nominal durante un periodo de  $\mu\text{s}$ , el protector actúa como un elemento de impedancia cero, derivando la sobretensión a tierra. Los protectores de sobretensión transitoria no son capaces de proteger frente a sobretensiones permanentes.

**Tabla 7.** Características de supresores de sobretensión.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Nivel de Protección (Up)	Es el parámetro que caracteriza el funcionamiento de dispositivos de protección contra sobretensiones por limitación de la tensión entre sus bornes. Debe ser inferior a la categoría de sobretensión de la instalación o equipo a proteger. No obstante, si el protector está alejado de dicho punto puede ser necesario utilizar protectores adicionales.
Corriente de impulso (Limp)	Es la corriente de cresta que puede soportar el dispositivo de protección sin fallo. La forma de onda de la corriente aplicada está normalizada como 10/350 $\mu\text{s}$ .
Intensidad máxima de descarga (Imax)	Es la corriente de cresta que puede soportar en un solo pulso, el dispositivo de protección sin fallo. La forma de onda de la corriente aplicada está normalizada como 8/20 $\mu\text{s}$ .
Tensión máxima de servicio (Uc)	Es el valor eficaz de tensión máxima que puede aplicarse permanentemente a los bornes del dispositivo de protección
Corriente nominal (In)	Es la corriente que el dispositivo es capaz de derivar a tierra un mínimo de 20 veces sin fallar
Indicación remota (IR)	Los modelos con la indicación remota (IR) disponen de un contacto libre de potencia para un señalización a distancia del final de la vida útil del protector

### 5.19.1 Modos de propagación de la sobretensión

Existen dos tipos de propagación de las sobretensiones transitorias.

El primero es la propagación en modo común (o asimétrico). Ésta sucede cuando la perturbación se da entre los conductores activos y la tierra (fase-tierra y/o neutro-tierra), con riesgo de perforación dieléctrica.

El segundo tipo de propagación es el modo diferencial (o simétrico). Esta perturbación se da entre los conductores activos (fase-fase y/o fas-neutro). Este modo afecta a equipos informáticos y electrónicos.

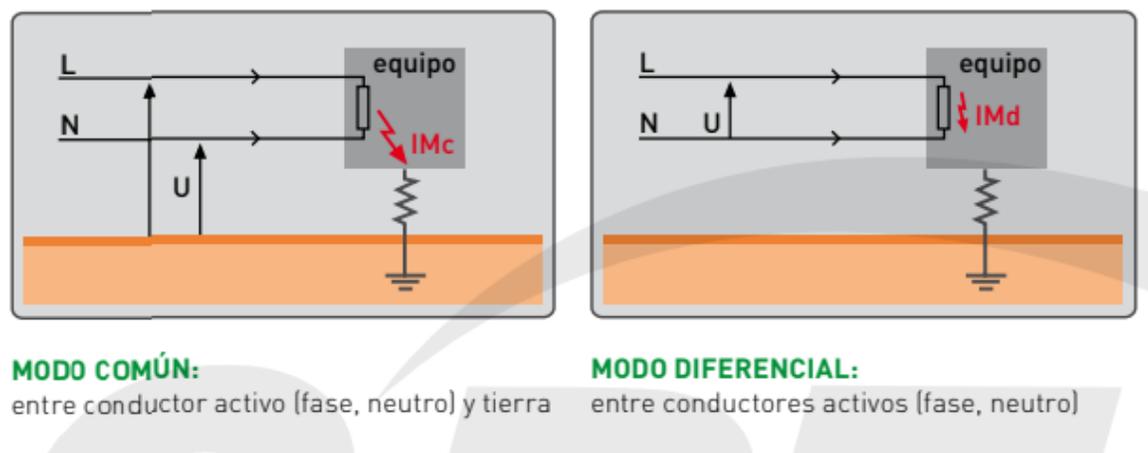


Figura 5. 20 Modos de propagación de sobretensión.

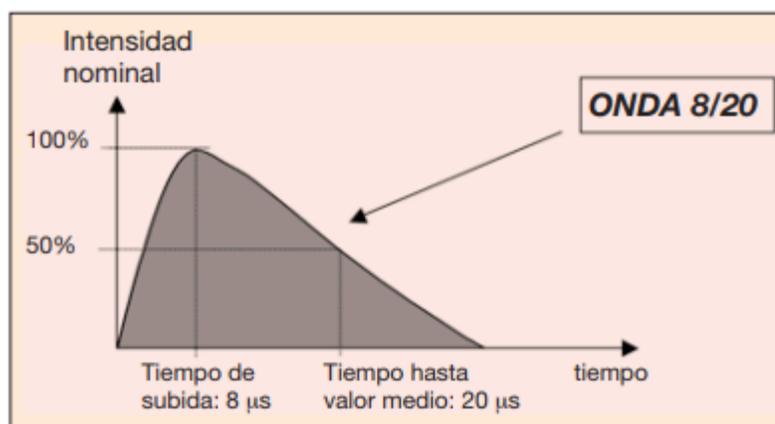
Fuente: [1].

### 5.19.2 Tipos de ensayos

Los tipos de ensayo se efectúan según unas especificaciones concretas sobre tres aparatos de muestra por serie de ensayo. Si todos los aparatos resisten la serie de ensayos, se acepta el limitador para esta. Si un dispositivo de muestra falla, se debe realizar de nuevo la serie de ensayos para tres nuevos aparatos, pero esta vez no puede fallar ninguno de ellos. Salvo prescripciones contrarias, la norma general para los ensayos es la IEC 61180-1.

Para ensayos bajo corriente nominal de descarga de clase I y II la forma de onda estándar es la de 8/20. Las tolerancias de forma de onda son las siguientes:

- Valor de cresta  $\pm 10\%$ .
- Tiempo de subida  $\pm 10\%$ .
- Tiempo hasta el valor medio  $\pm 10\%$ .



**Figura 0.1** Forma de onda prueba de ensayo 8/20.

Fuente: [1].

Se permiten pequeñas oscilaciones si la amplitud de la oscilación no sobre pasa, más de un 5% el valor de la cresta. Toda inversión de la polaridad debido al paso de corriente por cero no puede sobrepasar más de un 20% el valor de la cresta. La medida de la corriente que circula por l interior del limitador se realiza con una precisión del 3%. (ABB, 2013).

## Capítulo 6: Descripción detallada de la solución

### 6.1 Antecedentes.

Los principales antecedentes del proyecto son las propuestas del departamento de diseño del ICE, una utilizando Allen-Bradley y otra con equipo NI, ambas planteaban desarrollar un SCADA paralelo, es decir una estación de monitoreo independiente para dicha plazoleta con su respectivo equipo de control y estación de operaciones, en el Apéndice A.2, figuras A.2 y A.3, se encuentran desglosados los costos de las propuestas utilizando equipo Allen-Bradley y National Instruments respectivamente, precios tomados de cotizaciones de proveedores directos en el país de cada una de las marcas.

Por otra parte, en ambas opciones se propone utilizar OPC para el intercambio de datos con el sistema Ovation existente. A pesar de contar con la licencia OPC de NI en el CSRG, no se cuenta con la licencia del OPC Ovation, necesaria para el intercambio de datos, Apéndice A.2, figura A.4.

**Tabla 8.** Cotizaciones de propuestas previas.

<b>Cotización</b>	<b>Precio</b>	<b>Precio Final</b>
Oferta Allen-Bradley	\$ 13 823	\$ 21 963
Oferta NI	\$ 12 526	\$ 20 666

\*Cotización OPC \$ 8 140

Dentro de los antecedentes se cuenta con varios reportes de averías en la plazoleta, contabilizados por el equipo técnico, esto con el fin de identificar la incidencia de problemas y los componentes del sistema más vulnerables.

También el equipo tanto en almacén como en campo se encuentra bajo un programa de calibración que respalda la confiabilidad de los datos brindados por los instrumentos.

## **6.2 Equipos Utilizados**

### **6.2.1 Controlador.**

En el proceso de investigación en documentación de Ovation, se logra identificar que el OCR400 permite la comunicación con varios tipos de dispositivos no Ovation, como GE Genius, GE Mark V/VI/Ve, Dispositivos Modbus, Profibus y Allen-Bradley PLCs, entre ellos PLC5, SLC500, ControLogic y MicroLogic con NET-ENI. Los cuales son configurados como dispositivos de entrada/salida asociados a un Drop, una conexión Ethernet es establecida y siguiendo protocolos propios de Allen-Bradley los registros del PLC son leídos como puntos para Ovation, finalmente los datos son almacenados en el historiador con identificadores específicos.

El protocolo DF1 propio de Allen-Bradley cuenta con un amplio set de instrucciones, en el Anexo B.1 se encuentran descritas algunas de las más básicas y permitidas por Ovation. La configuración de comunicación es distinta para cada modelo de controlador.

La figura 6.1, resume la compatibilidad con distintos modelos de controladores, set de instrucciones DF-1 utilizadas para cada modelo y protocolos en los que la comunicación es implementada.

The following table contains the Allen-Bradley DF-1 commands supported by the Ovation Controller Allen-Bradley Protocols PCCC and CIP/EthernetIP.

**Allen-Bradley DF-1 commands supported by Ovation**

C o m m a n d	C M D	F N C	Processors										Pg	
			Micro- Logix 1000	S L C 5 0 0	S L C 5/ 03	S L C 5/ 04	1 7 7 4 P L C	P L C 2	P L C 3	P L C 5	P L C 5/ 2 5 0	P L C 5/ V M E	Pub 17706-5-16	
Ovation Protocol Selection – PLC5, PLC-2, SLC-500 (PCCC) ControlLogix (CIP/EthernetIP)														
Bit write	0F	02									✓	✓	7-4	
Type read	0F	68			✓	✓					✓	✓	✓	7-28
Type write	0F	67			✓	✓					✓	✓	✓	7-30
Ovation Protocol Selection – PLC2 (PCCC)														
Protected bit write	02	#					✓	✓	✓	✓	✓		7-15	
Protected write	00						✓	✓	✓	✓			7-19	
Unprotected read	01	#	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		7-31	
Ovation Protocol Selection – MicroLogic w/NET-ENI														
Logical Read	0F	a2	✓											
Logical Write	0F	aa	✓											
# This command has no FNC byte. @ Receive only. Processors with this note cannot send the command; they receive the command from a computer. Attention: Using command codes not listed produces unpredictable results.														

**Note:** To send digital output points to either a MicroLogix or SLC500, you must use a packed point. This is due to a limitation of the command set supported by these devices.

**Figura 6. 1** Comando Allen-Bradley compatibles con Ovation.

Fuente: [6].

Los modelos PLC5 y SLC-500, están discontinuados por lo que no fue conveniente cotizar o comprar los equipos, ya que de encontrarlos en el mercado representan riesgos en procesos de cambio de equipos y compra de repuestos.

Los modelos MicroLogix permiten la comunicación con Ovation utilizando el protocolo w/NET-ENI vía Ethernet mientras que los modelos ControlLogix cuentan con la capacidad de utilizar los protocolos PLC5, PLC2, SLC-500 (PCCC) y CIP/EthernetIP el cual es específico de ControlLogix.

En los antecedentes del proyecto se cuenta con las cotizaciones de equipos de dichos modelos el ControlLogix 1769 L18, ControlLogix 1769 L33 y el Micro850 2080 todas realizadas por la empresa Elvatron distribuidor directo de Rockwell Automation, Anexo B.3, figura B.6 lo cual disminuiría los tiempos de entrega, precios y brindarían soporte directo en caso de imprevistos.

Los factores de más relevancia en la selección del equipo son: precio, tiempos de entrega, diseño modular (uso de módulos de entradas) y compatibilidad. La tabla 9 describe un resumen de las características de los modelos.

**Tabla 9.** Características de los controladores.

<b>Factor</b>	<b>L18</b>	<b>L33</b>	<b>Micro850</b>
Precio total	\$ 3178	\$ 4177	\$ 1002
Precio módulos de entrada	\$ 565	No serían necesarios	\$ 448
Tiempo entrega módulos	4-5 semanas	No serían necesarios	2-3 semanas
Tiempo de entrega controlador	Inmediato	—	Inmediato
Protocolos de comunicación compatibles con Ovation	PLC5, PLC2, SLC-500 y CIP/EthernetIP	PLC5, PLC2, SLC-500 y CIP/EthernetIP	w/NET-ENI

Los controladores L33 al ser un PAC más grande poseen entradas analógicas integradas, por lo tanto, no sería necesario adquirir módulos de entradas analógicas extra, la desventaja es que en caso de averías por sobretensiones sería necesario comprar otro controlador, un diseño modular con módulos de entrada y controlador por separado brindan la ventaja de sustituir las partes dañadas en caso de avería. Como se aprecia en la tabla 9 los controladores L18 y L33 cuentan con una gama de protocolos compatibles con Ovation mucho más amplia que los MicroLogix, lo que permitiría contar con varias opciones en caso de complicarse la comunicación por alguno de los protocolos.

El precio debe rondar los \$ 3000 ya que se tramitó una caja chica para así disminuir los tiempos de trámite en la empresa, el L33 sobrepasa por mucho el presupuesto y no cumple con la especificación de diseño modular.

El modelo L18 a pesar de tener un precio más elevado que el Micro850, cumple con las especificaciones y se ajusta al presupuesto, con las ventajas de disponer de más protocolos compatibles y ser el mismo modelo utilizado en Pailas II, lo cual facilitaría la disposición de repuestos en almacén y disminuiría el tiempo de aprendizaje en el manejo del controlador por parte del equipo técnico en el CSRG.

### **6.2.2 Transmisores**

Cambiar el controlador implica cambiar la instrumentación o adquirir un módulo de conversión de señales adicional, ya que los instrumentos utilizados en la plazoleta de la marca Rosemount utilizan el protocolo de comunicación Foundation Fieldbus, protocolo digital exclusivo de Emerson. El departamento de instrumentación cuenta con la posibilidad de sustituir la instrumentación por transmisores Yokogawa en almacén, los cuales utilizan el protocolo 4-20 mA HART, un estándar en instrumentación, compatible con los PLCs AB.

El equipo antiguo en la plazoleta 1 constaba de seis transmisores de presión 2051TG3F2B21AM5T1Q4 Serie 0043135 de la marca Rosemount. Dichos transmisores con un certificado de calibración, garantizando los valores mostrados en las hojas de datos del dispositivo.

De la misma forma el nuevo equipo instalado, seis transmisores de presión modelo EJA530E de la marca Yokogawa, todos cuentan con certificados de calibración de fábrica, vigentes por dos años, garantizando los valores de las hojas de datos del transmisor.

La tabla 10 expone una comparación entre los transmisores de la marca Yokohawa y los Rosemount.

**Tabla 10.** Características transmisoras.

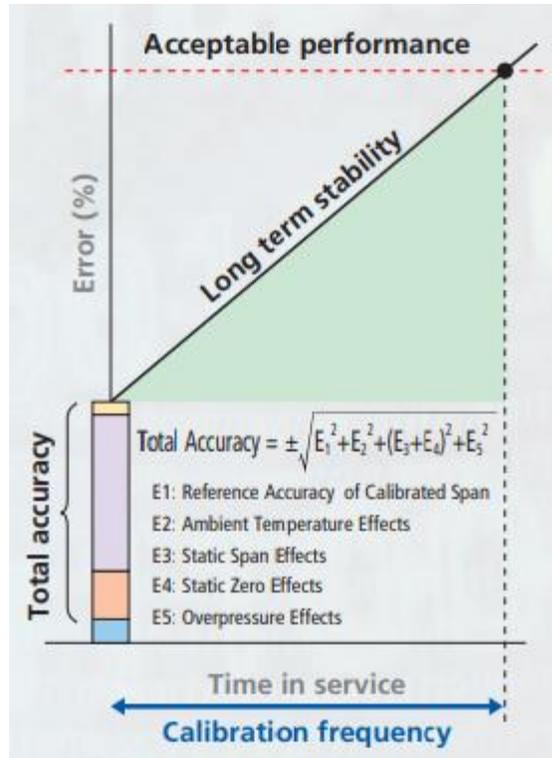
<b>Factor</b>	<b>Rosemount</b>	<b>Yokogawa</b>
Protocolo	FF	4-20 HART
Incertidumbre	0.075%	0.055%
Tiempo de respuesta	152 ms	90 ms
Presión máxima de operación	55.2 bar	250 bar

Datos tomados de las hojas de datos de los transmisores.

El primer dato de interés es el protocolo utilizado por el transmisor, a pesar que algunos de los transmisores Rosemount 2051 cuentan con la posibilidad de transmitir en HART o 4-20 mA, el modelo 2051TG3F2B21AM5T1Q4 es específico del protocolo FOUNDATION Fieldbus

Tiempos de respuesta rápidos permiten al transmisor alertar cambios en el proceso, proporcionando así sistemas de control más eficientes y reduciendo la variabilidad del proceso. La respuesta rápida es crítica para SIS y aplicaciones de mantenimiento de plantas, previendo daños en los equipos.

En sistemas de operación eficientes la precisión y estabilidad de cifras significativas es fundamental. Los transmisores de campo están expuestos a continuas variaciones climatológicas y procesos de temperatura, distorsión eléctrica y flujos de exceso que afectan la precisión de las mediciones. La estabilidad de las cifras significativas en la medición realizada por el transmisor depende de la tecnología del sensor. La precisión total y la estabilidad de las cifras, están relacionadas con el intervalo de re-calibración, figura 6.2, de los dispositivos de acuerdo con un nivel aceptable de desempeño.



**Figura 6. 2** Relación de variables en transmisores.

Fuente: [24].

Por lo tanto, el transmisor Yokohawa además de garantizar una medición más confiable, están relacionada con un mejor intervalo de re-calibración, adicionalmente el tiempo de respuesta es considerablemente menor al del transmisor Rosemount, el rango de operación máximo ambos dispositivos cumplen con un rango superior al mínimo requerido de 30 bares para pozos cerrados.

### 6.2.3 Licencias

Dentro del equipo disponible se cuenta con las licencias de Studio 5000 y RSlinx Classic softwares de programación para dispositivos Allen-Bradley, los cuales están instalados en una computadora de ingeniería ubicada en el satélite 2 de Pailas II.

- Studio 5000.

Studio 5000 es un software de desarrollo que combina elementos de ingeniería y diseño, el principal elemento es Studio Logix Designer application, es el futuro de las herramientas de diseño de ingeniería de Rockwell Automation, para el control y automatización de procesos.

- RSLinx Classic

RSLinx Classic es un software que brinda soluciones de comunicaciones industriales para redes y dispositivos de Rockwell Automation, esta herramienta permite configurar los atributos de red de los controladores.

Además, entre otras aplicaciones se incluyen desde comunicación con herramientas de programación tales como RSLogix y RSNetWorx hasta aplicaciones HMI (interfaz operador-máquina) como RSView32, hasta sus propias aplicaciones de adquisición de datos mediante Microsoft Office, páginas Web o Visual Basic®. Además, RSLinx Classic utiliza técnicas de optimización de datos avanzadas y dispone de una serie de diagnósticos. La interfaz de programación de aplicaciones (API) admite aplicaciones personalizadas creadas con RSLinx Classic SDK. RSLinx Classic es un servidor compatible con OPC Data Access y un servidor DDE.

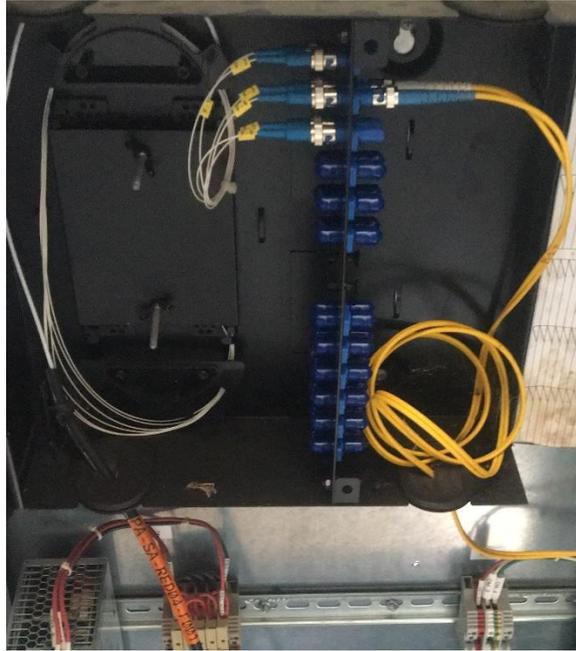
- Ovation Developer Studio

Ovation Developer Studio (Developer Studio) es la principal herramienta de configuración para sistemas Ovation basados en Windows. Este software integra procesos de ingeniería de control, definición de módulos I/O, puntos y grupos de puntos. Además de brindar configuraciones de red como Foundation Fieldbus y desarrollo de procesos en hojas de control.

Developer Studio posee una estructura de jerarquía en árbol, con la información del sistema en lo más alto, seguida por la red, unidades, Drops, puntos.

### 6.2.3 Distribuidores de fibra óptica

Tanto la estructura del tablero de control como algunos componentes en la plazoleta 1 de Pailas se encontraba en buenas condiciones, el enlace de fibra óptica existente de seis hilos entre la plazoleta 1 y el satélite de Pailas 1 incluyendo los distribuidores de fibra óptica se reutilizaron, se contaba con dos enlaces bidireccionales en buenas condiciones, de los cuales solo se utilizó uno.



**Figura 6. 3** Distribuidor de fibra óptica en la plazoleta 1.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.4 Fuentes de alimentación

Las fuentes de 24 V disponibles en el tablero también fueron utilizadas, modelo QUINT-PS/1AC/24DC/10 de la marca PhoenixContact.



**Figura 6. 4** Fuentes de 24 V.

Fuente: [3].

### 6.2.5 Supresores

Los supresores disponibles en la plazoleta de la marca Pepperl+Fuchs, son exclusivos del protocolo Foundation Fieldbus. Por lo tanto, debían ser sustituidos.

Según Pentair (2015), los supresores deben ser seleccionados bajo ciertos criterios:

- 1) Los SPD deben ser seleccionados con un rango de operación aproximadamente 20% mayor al pico máximo de tensión del circuito.
- 2) La corriente de línea debe soportar la corriente máxima esperada por la señal.
- 3) El ancho de banda del SPD debe ser suficiente para permitir la operación eficaz de sistema sin presentar atenuaciones.
- 4) Los terminales de conexión, el tipo de montaje, número de líneas que se protegerán y otros aspectos físicos propios del sistema deben ser tomados en consideración.

Se investigaron varios modelos de supresores 30 V, compatibles con el protocolo 4-20 mA con características donde todas las especificaciones están bajo pruebas de ensayo  $8/20\mu s$  y cuentan con el tipo de montaje de riel DIN, mismo nivel de protección, son configurables en modo común o diferencial, la capacidad máxima de todos los modelos cumplen con las especificaciones recomendadas por Pentair (2015) la única diferencia entre las características recomendadas es la intensidad máxima de descarga, tabla 11. El modelo UTB30SP

de la marca Erico presenta la capacidad máxima de mayor magnitud, se ajusta al presupuesto y tiempos de entrega requeridos.

**Tabla 11.** Características de supresores.

Marca	Erico	OVR	ENTERLEC	Pepperl+Fuchs
Capacidad máxima	20 kA	10 kA	10 kA	15.4 kA

Datos tomados de las hojas de datos de los supresores.

### 6.2.6 UPS

Se planteó reutilizar la UPS utilizada por Ovation, SOLA 850, la cual está instalada en cada una de las seis plazoleas de Las Pailas. Con una capacidad en plena de carga de respaldar al nuevo sistema por al menos 37 minutos.



**Figura 6. 5** UPS SOLA 850 de Emerson.

Fuente: [11].

### 6.2.7 Switch

Al igual que con otros componentes el Switch fan-out utilizado en el gabinete anterior fue reutilizado y corresponde a un Switch Cisco Catalyst 2955.



**Figura 6. 6** Switch Cisco Catalyst 2955.

Fuente: [2].

### 6.3 Descripción del sistema

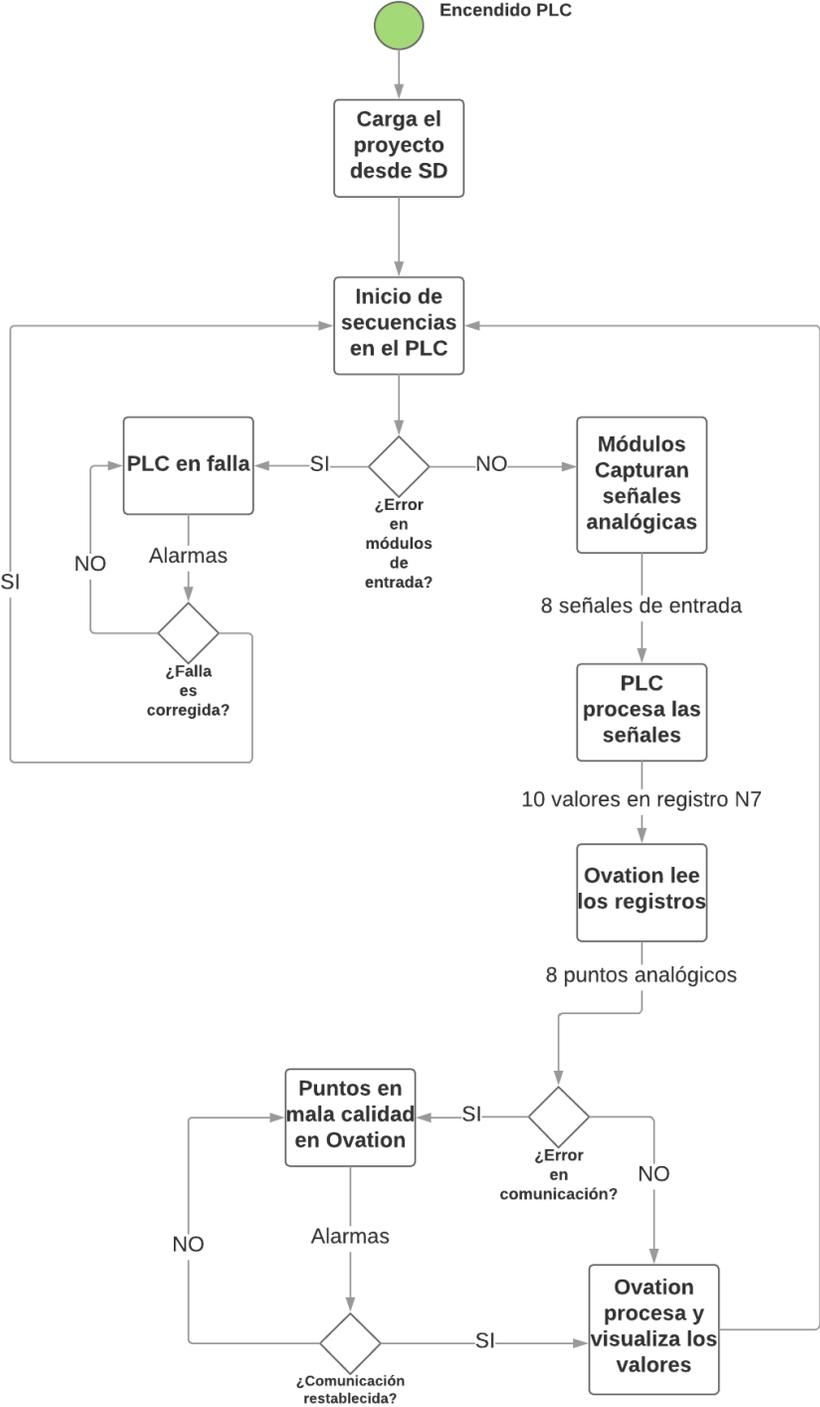


Figura 6. 7 Diagrama de flujo del sistema.

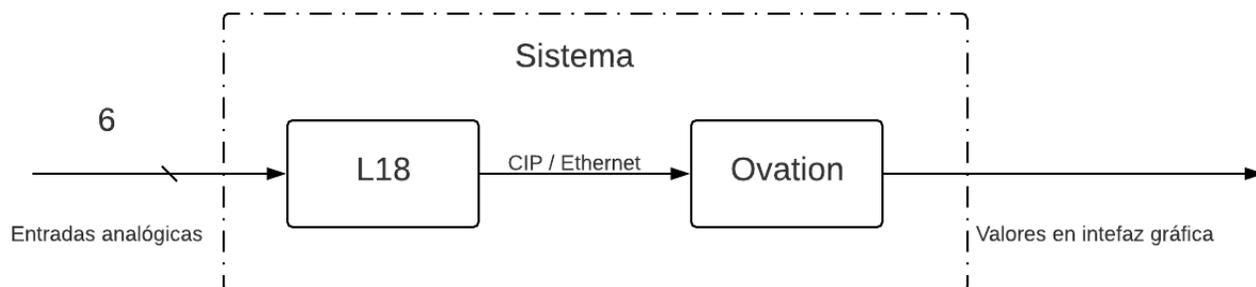
Fuente: Elaboración propia Lucidchart.

**Tabla 12.** Descripción de las variables en el sistema

<b>Variable de Campo</b>	<b>Módulo en PLC</b>	<b>Canal en módulo</b>	<b>Registro en PLC5</b>	<b>Punto en Ovation</b>
PIT 001L	AI 1	0	N7:1	AI_IN1
PIT 001C	AI 1	1	N7:2	AI_IN2
PIT 011L	AI 1	2	N7:3	AI_IN3
PIT 011C	AI 1	3	N7:4	AI_IN4
PIT 012L	AI 2	0	N7:5	AI_IN5
Canal dañado	AI 2	1	N7:6	AI_IN6
PIT 012C	AI 2	2	N7:7	AI_IN7
Canal disponible para Averías	AI 2	3	N7:8	AI_IN8
Salida digital para luces	DO Embebida	0	N7:9	AI_OUT_1

### 6.3.1 Diagrama de Primer Nivel

Las 6 señales analógicas de entrada provenientes de los transmisores en el campo, son procesadas por el PLC L18 y enviadas a Ovation en una conexión Ethernet a través de comando CIP. Finalmente, dentro de Ovation son configurados los datos para ser visualizados en el formato deseado.

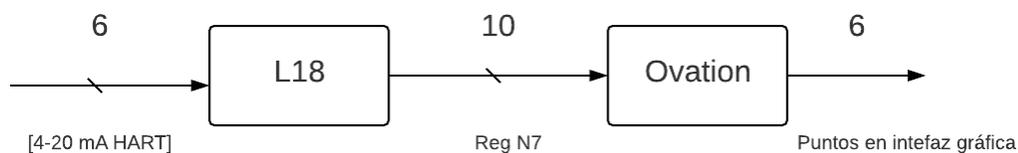


**Figura 6. 8** Diagrama de bloques de primer nivel del sistema.

Fuente: Elaboración propia Lucidchart.

### 6.3.2 Diagrama de Segundo Nivel

El sistema presenta seis entradas 4-20 mA con HART las cuales llegan al PLC L18, donde son transformadas al formato requerido para la comunicación con Ovation, son almacenadas en diez registros en el formato N7, utilizado por los controladores Allen-Bradley PLC5. Ovation lee los registros N7 como puntos analógicos de entrada y visualiza en la interfaz.

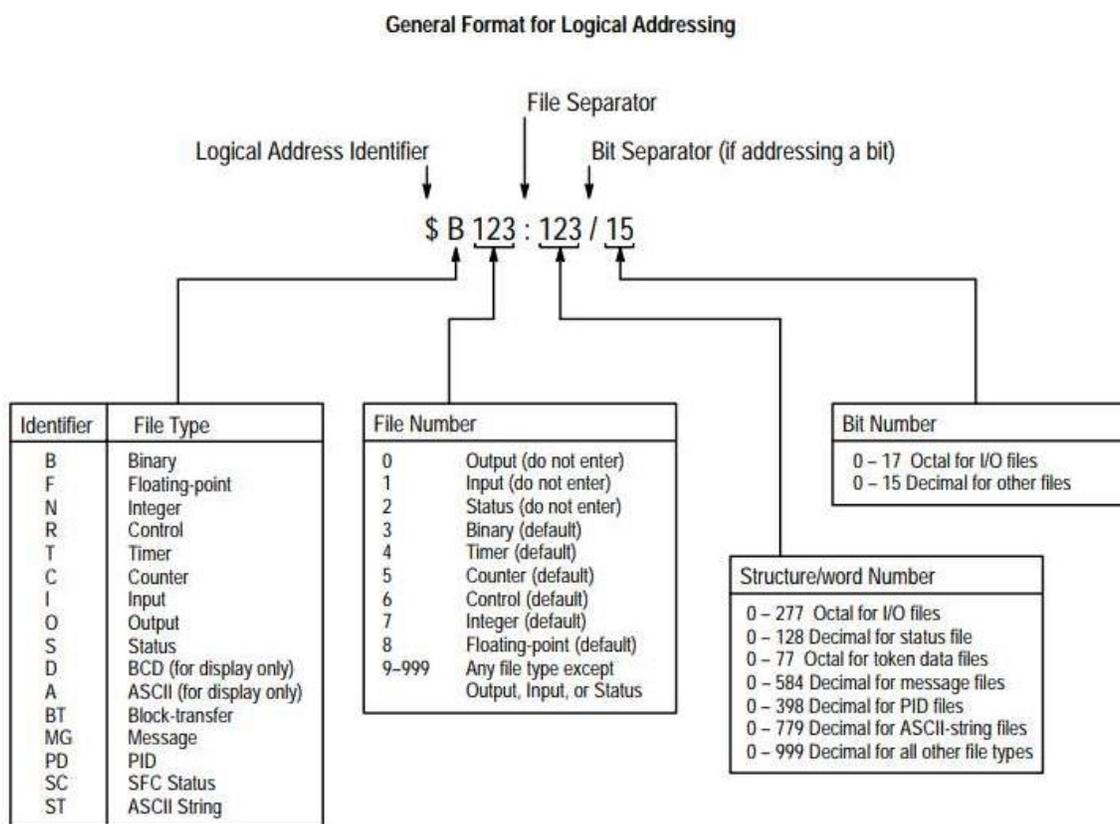


**Figura 6. 9** Diagrama de bloques de segundo nivel del sistema.

Fuente: Elaboración propia Lucidchart.

Los numero de registro que inicien con un cero (0) son interpretados como números octales. La dirección F011:020 es equivalente a F9:16.

El protocolo CIP de Allen-Bradley permite dos estilos de direccionamiento cuando es apuntado un elemento binario “B”: El primer estilo de direccionamiento de bit es B3:12/0. El segundo estilo de direccionamiento de bit es B:3/192 (mismo que B3:12/0). Ovation utiliza este tipo de direccionamiento, esto es útil si se desea enviar o recibir un solo bit, para una señal digital, por ejemplo.

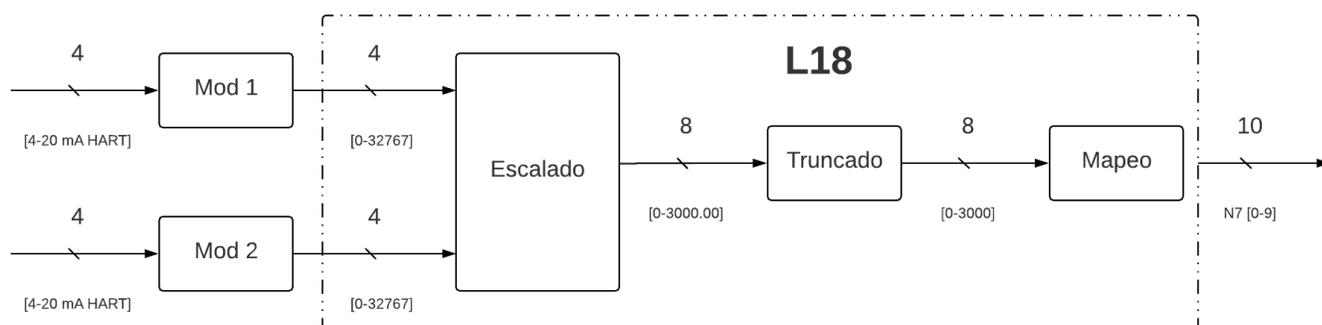


**Figura 6. 10** Formato de direccionamiento lógico para PLC5.

Fuente: [20].

### 6.3.3 Diagrama de Tercer nivel

En la figura 6.11 se describen con más detalle las acciones realizadas por el controlador L18, cuatro entradas analógicas 4-20 mA con HART para cada módulo de entradas analógicas. Los módulos 1734sc-IE4CH tienen una resolución de 16 bits, es decir el rango de valores sin escalar va de 0 a 32767, cada módulo dispone de 4 canales. Posteriormente el PLC recibe esos valores y los escala en el rango de 0.00 a 3000.00 la comunicación únicamente permite números enteros por lo que se realiza un truncado de los decimales y finalmente los registros son mapeados en registros PLC5 en N7.



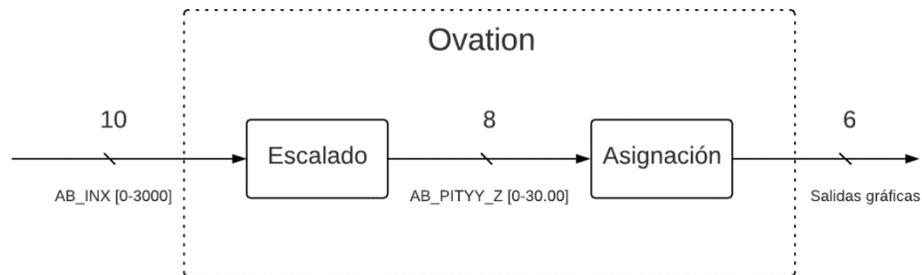
**Figura 6. 11** Diagrama de bloques de tercer nivel del sistema, procesos en PLC.

Fuente: Elaboración propia Lucidchart.

Dentro de Ovation, figura 6.12, son configurados los puntos analógicos siguiendo las etiquetas descritas en la tabla 12, cada punto de entrada AB\_INX, donde X es en número de entrada analógica de 1 a 8, recibe los valores provenientes de los registros N7 del PLC, números enteros de 4 dígitos, los cuales se deben escalar a números flotantes de 4 dígitos con 2 cifras significativas del 0 al 30,00.

Ejemplo: 1456-> 14,56

Una vez realizada esta acción los datos son almacenados en el formato 0.00 a 30.00 dentro de los puntos AB\_PIT\_OYYZ, donde YY corresponde al número de pozo (01, 11, 12) y Z a la presión de línea (L) o cabezal (C). Finalmente, los puntos AB\_PIT\_OYYZ son agregados al historiador de Ovation y visualizados en la interfaz gráfica.



**Figura 6. 12** Diagrama de bloques de tercer nivel del sistema, procesos en Ovation.

Fuente: Elaboración propia Lucidchart.

## 6.4 Desarrollo del sistema

### 6.4.1 Distribución de la red Pailas

El primer paso fue identificar la distribución de la red técnica utilizada en Pailas, para así seleccionar una dirección IP en un rango disponible, la tabla 13 muestra las direcciones activas antes de instalar el nuevo equipo, mientras que en la tabla 14 se presentan direcciones de equipos inactivos, pero utilizadas por Ovation.

**Tabla 13.** Direcciones IP activas en la red

<b>Dispositivo</b>	<b>Dirección</b>
Drop 2	192.168.2.2
Drop 52	192.168.2.52
Drop 3	192.168.2.3
Drop 53	192.168.2.53
Drop 4	192.168.2.4
Drop 54	192.168.2.54
Drop 6	192.168.2.6
Drop 56	192.168.2.56
Drop 7	192.168.2.7
Drop 57	192.168.2.57
Drop 8	192.168.2.8
Drop 58	192.168.2.58
Drop 160	192.168.2.160
Drop 200	192.168.2.200
Drop 210	192.168.2.210
Drop 212	192.168.2.212
Drop 214	192.168.2.214
Drop 230	192.168.2.230
Switch	192.168.3.1
Switch	192.168.3.17
Switch	192.168.3.18
Switch	192.168.3.19
Switch	192.168.3.20
Switch	192.168.3.21

**Tabla 14.** Direcciones IP inactivas en la red

<b>Dispositivo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dirección</b>
Drop 1	Controlador principal dañado en la plazoleta.	192.168.2.1
Drop 51	Controlador redundante dañado en la plazoleta.	192.168.2.51
Switch	Fan-out sin alimentación.	192.168.2.18

La dirección seleccionada para el controlador AB es la 192.168.2.61, ya que los rangos 60- 69 están libres, el resto de parámetros fueron tomados de la configuración de la red técnica de Pailas, tabla 15, y configuradas en el controlador utilizando RsLinx.

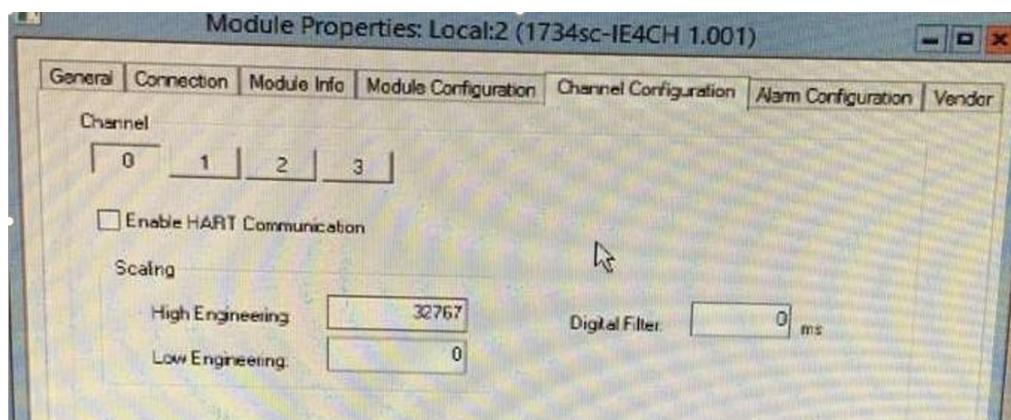
**Tabla 15.** Configuración IP del PLC.

<b>IP</b>	192.168.2.61
<b>Gateway</b>	192.168.2.250
<b>Subred Mask</b>	255.255.254.0

### 6.4.2 Creación de Proyecto en Studio5000

Una vez configurada la dirección IP en el PLC, fue creado un nuevo proyecto llamado “prueba2” el cual está configurado para el modelo 1769-L8 utilizando y dos módulos de expansión I/O, dentro del proyecto se encuentran dos rutinas “Convert” en diagrama de escalera y “Escalado\_PL1” en diagrama esquemático.

Una vez creado el proyecto, se realizó la configuración de los módulos de entradas analógicas 4-20 mA HART, en los cuales fue necesario configurar en cada canal del módulo la resolución máxima disponible, la cual corresponde a 16 bits o bien el rango entre 0 y 32767, figura 6.13.



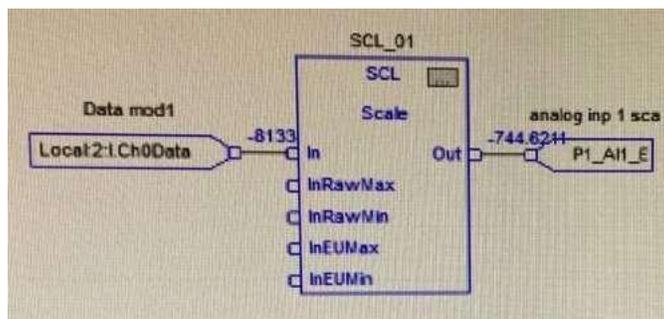
**Figura 6. 13** Configuración de los canales en módulos de entrada.

Fuente: Studio5000.

**Tabla 16.** Descripción de los Tags del controlador.

<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>
Local 1:C	Configuración para el módulo embebido de entradas y salidas digitales.
Local 1:I	Estado de los canales de entrada en el módulo embebido de entradas y salidas digitales.
Local 1:O	Estado de los canales de salida en el módulo embebido de entradas y salidas digitales.
Local 2:C	Configuración para el módulo 1 de expansión de entradas analógicas.
Local 2:I	Valores adquiridos en los 4 canales del módulo 1 de expansión de entradas analógicas.
Local 3:C	Configuración para el módulo 2 de expansión de entradas analógicas.
Local 3:I	Valores adquiridos en los 4 canales del módulo 2 de expansión de entradas analógicas.
P1_AIX_E	Datos de entrada escalados en el rango de 0.00 a 3000.00.
Datos_PLC5	Datos de entrada sin decimales, arreglo de 10 enteros de 16 bits.

Dentro de la rutina “Rutina\_Escalado\_PL1” se utiliza un diagrama esquemático con funciones SCL, las cuales toman como entradas los valores adquiridos en los canales de Local 2:I y Local 3:I en el rango de [0 - 32767] y como salida tienen los tags P1\_AIX\_E, donde X es un número entre 1-8, con valores en el rango entre [0.00 – 3000.00].

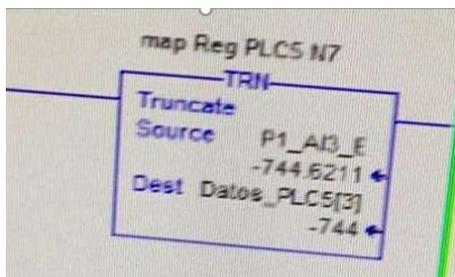


**Figura 6. 14** Función SCL para la señal de entrada del canal 0 del módulo de entrada 1.

Fuente: Studio5000.

En la rutina “Convert” se utiliza un diagrama en escalera con funciones TRN, las cuales toman como entradas valores de los tags P1\_AIX\_E en el rango de [0.00 – 3000.00] y como salida tienen los tags Datos\_PLC5[n], donde n es un número entre 0-9, dentro de estos tags se almacenan números enteros de 16 bits en el rango entre [0 – 3000].

Finalmente, el tag Datos\_PLC5 es mapeado a la tabla de registros de PLC5 en el registro N7. Opción disponible en la barra de herramientas “Map PLC/SLC map messages”.



**Figura 6. 15** Función TRN Para la señal de entrada del canal 2 del módulo de entrada 1.

Fuente: Studio5000.

### 6.4.3 Configuraciones en Ovation

Los datos importados del PLC AB son almacenados en una estructura de carpetas en la base de datos de Ovation. DBID es una interfaz gráfica de Microsoft Access utilizada para crear puntos en un archivo de texto (ASCII) que pueden ser importados por la base de datos maestra.

Una vez importados los datos en DBID, son organizados automáticamente en la estructura de tabla de datos de IO:

AB PLC5 2 IN FFYYY:NNN/BBB

Donde:

**Tabla 17.** Características almacenamiento en base de datos.

<b>Espacio</b>	<b>Descripción</b>
AB PLC	Identifica el tipo de dispositivo de tercera partición
2	Índice de Host del PLC
FF	Parte de la dirección del registro. Tipo de archivo Allen-Bradley. Las opciones son: O, I, N, S, B.
YYY	Parte de la dirección del registro. Número del archivo (0-1023).
NNN	Parte de la dirección del registro. Número del archivo (0-1023).
BBB	Parte de la dirección del registro. Número de bit (0-15).

El driver AB PLC del controlador Ovation mapea un proceso de punto a punto a los registros del PLC5 vía Ethernet. Si el valor del registro del PLC fue leído o escrito con éxito, la calidad del punto es puesto en “GOOD”.

Para leer una tarjeta de entrada analógica, el PLC5 debe de contener en su programación un bloque de transferencia, el cual se encarga de leer los valores de la tarjeta y estado, además de transferirlos a un set

específico de N registros. Por ejemplo, si los valores de lectura de una tarjeta de entradas analógicas son movidos a N7:10, la estructura sería la descrita en la figura 6.16.

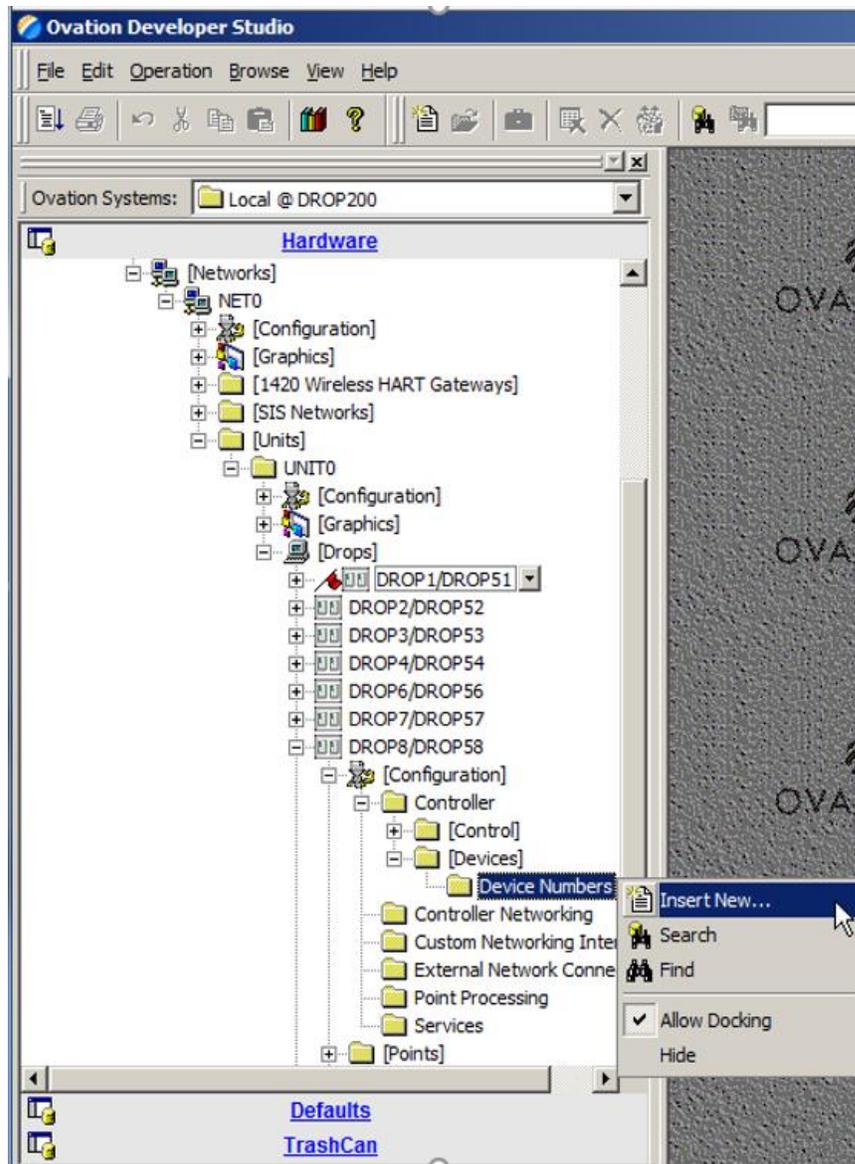
N7:10 card diagnostic - should be all zeros  
N7:11 underrange - bit 0 is for channel 1  
N7:12 overrange bit 0 is for channel 1  
N7:13 data polarity  
N7:14 channel 1 value - 12 bit unsigned integer value  
N7:15 channel 2 value  
N7:16 channel 3 value  
N7:17 channel 4 value  
N7:18 channel 5 value  
N7:19 channel 6 value  
N7:20 channel 7 value  
N7:21 channel 8 value

**Figura 6. 16** Ejemplo almacenamiento registros N7.

Fuente: [6].

Para leer el valor del canal 4 en un punto analógico de procesos el IO Access string sería “AB PLC5 1 N7:17/4”, una especificación de número de bit para un punto analógico es interpretado como un número de canal.

Las configuraciones en Ovation se realizaron siguiendo el manual Controller (OCR400) User Guide for Ovation 3.3.1 OW331\_54, Cap 11, donde se describen las configuraciones con más detalle. En primer lugar, fue creado un nuevo dispositivo en el SCADA, los dispositivos terceros deben estar asociados a un Drop en uso, en este proyecto se utilizó en Drop 8/58.



**Figura 6. 17** Navegación para crear un nuevo dispositivo en Ovation Developer Studio.

Fuente: Ovation Developer Studio.

Dentro de los parámetros de configuración se utilizó la dirección IP definida para el PLC en la tabla 12, un tiempo de 30 s para iniciar las alarmas en caso de falla de comunicación y el protocolo de comunicación ControlLogix 5000, la familia de controladores a la que pertenece el L18.

Attribute	Value
IO Driver Type	ALLEN BRADLEY
Scan Point Entries	2048
<b>Allen-Bradley Driver</b>	
A-B PLC5 Hostname	PLC-1
PLC IP Address (Primary Drop)	192.168.2.61
PLC IP Address (Partner Drop)	192.168.2.61
Slot	0
Node	0
Socket Number	44818
Timeout (msec)	1000
Reconnect Timeout (sec)	30
Fail Controller On Error	<input checked="" type="radio"/> False <input type="radio"/> True
Communication Protocol	ControlLogix 5000

**Figura 6. 18** Configuración del nuevo dispositivo.

Fuente: Ovation Developer Studio.

Posteriormente el dispositivo creado fue agregado al Drop, los números de dispositivos están reservados de 5-9, para el Drop 8/58 el 5 corresponde al módulo de entradas analógicas en la plazoleta 8, por lo tanto, el espacio 6 se encontraba disponible.

Attribute	Value
IO Device Number	6
IO Device Type	Allen-Bradley PLC

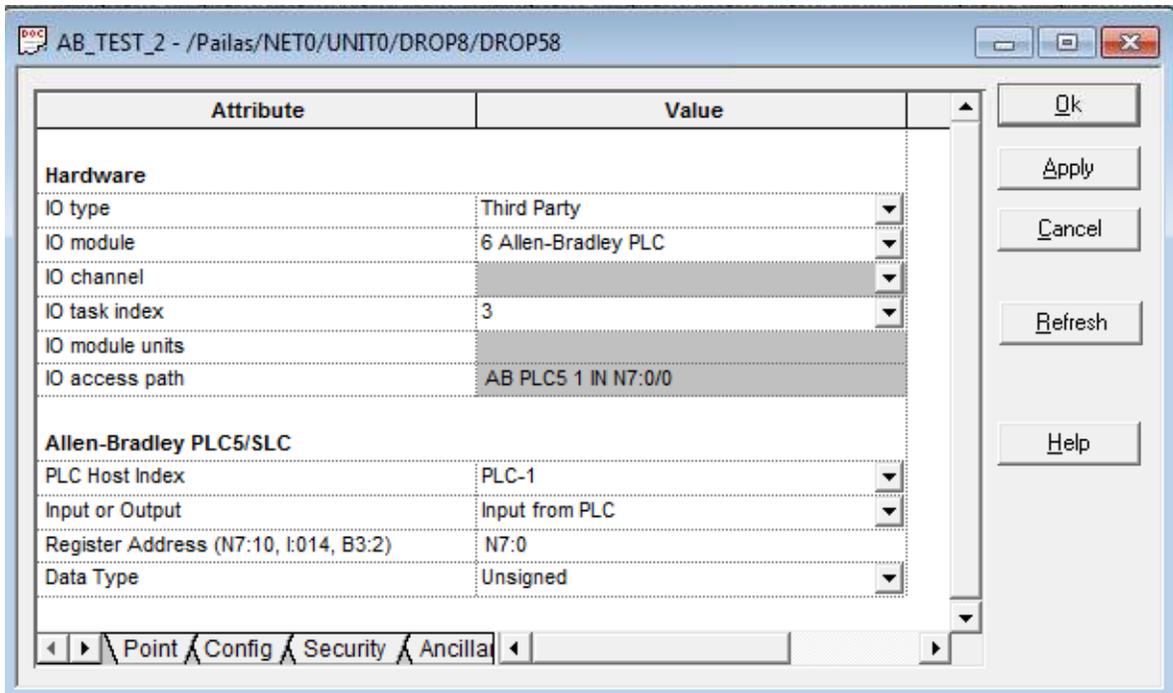
**Figura 6. 19** Configuración del nuevo dispositivo Allen-Brandley.

Fuente: Ovation Developer Studio.

Existen varios tipos de puntos en el Ovation, entrada y salidas, analógicas y digitales, para dispositivos externos en específico se crean puntos de proceso, los cuales son asociados al dispositivo creado anteriormente.

**Tabla 18.** Descripción de las configuraciones de hardware del punto

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
IO type	Se ajusta como un dispositivo tercero
I/O Module	Dispositivo tercero es configurado como el modulo IO del cual el punto obtendrá valores.
IO task	El control task 3 fue creado para ejecutar los puntos provenientes de dispositivos terceros, ya que el ciclo de adquisición no debe ser mayor a un segundo, para evitar sobrecargar la comunicación.
Input or output	El tipo de punto, entrada o salida hacía el PLC.
PLC Host Index	El nombre del PLC.
Register Address	Corresponde a la dirección de registro descrita en la tabla 12.



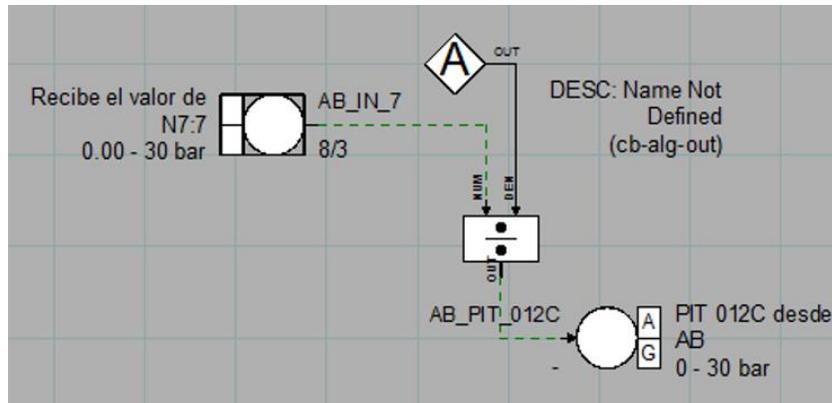
**Figura 6. 20** Configuración de un nuevo punto analógico de entrada, leyendo el registro N7:0.

Fuente: Ovation Developer Studio.

Cada punto de entrada AB\_INX, recibe los valores provenientes de los registros N7, números enteros de 4 dígitos, los cuales se deben escalar a números flotantes de 4 dígitos con 2 cifras significativas.

Ejemplo: 1456-> 14,56

Dentro de la hoja de control ESCALADO, el algoritmo DIVIDE permite realizar la acción, el punto de entrada AB\_INX es dividido un factor de 100, como se observa en la Figura 6.21.



**Figura 6. 21** Hoja de control con las funciones de escalado DIVIDE.

Fuente: Ovation Developer Studio.

Una vez realizada la acción los datos son almacenados en el formato desea dentro de los puntos **AB\_PIT\_OYYZ** donde **YY** corresponde al número de pozo (01, 11, 12) y **Z** a la presión de línea (L) o cabezal (C), los cuales son agregados al historiador y configurados con rangos máximos y mínimos para alarmas.

Finalmente, la hoja gráfica de la plazoleta 1 fue editada para importar los nuevos puntos y los rangos de las alarmas fueron configurados, si se presenta una desconexión del PLC los puntos son puestos en “BAD” con un parpadeo de color rojo, en caso de alcanzar alguno de los límites es decir 0 o 30 bar la alarma será un parpadeo de color amarillo en el punto.

## Capítulo 7: Análisis de resultados

### 7.1 Resultados

Los resultados de la implementación del sistema se muestran en las figuras 7.1, 7.20 y Apéndice A.4 los cuales corresponden al nuevo sistema instalado en la plazoleta 1. En la figura 7.1 se muestra el gabinete implementado, en la parte superior se instalaron tanto el convertidor de medios como el switch fan-out, en el siguiente nivel se encuentra el chasis del PLC ControlLogix L18 con sus dos respectivos módulos de entradas analógicas 4-20 mA. El próximo nivel llamado X1 está compuesto por la regleta de fusibles, se detalla en la figura A.8. La última línea corresponde a las previstas para los supresores, figura A.9.



**Figura 7. 1** Gabinete de control instalado en la plazoleta 1.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura A.10 la parte trasera del gabinete, se observa tanto la transferencia de potencia como las fuentes de alimentación redundantes de 24V. Todas las señales se encuentran debidamente rotuladas. Los transmisores de presión Yokogawa EJA530E sustituyeron los antiguos Rosemount 2051TG3F2B21AM5T1Q4 en los mismos pedestales, figura A.7 y figura 7.2.



**Figura 7. 2** Instrumentación instalada en los pozos de la plazoleta 1.

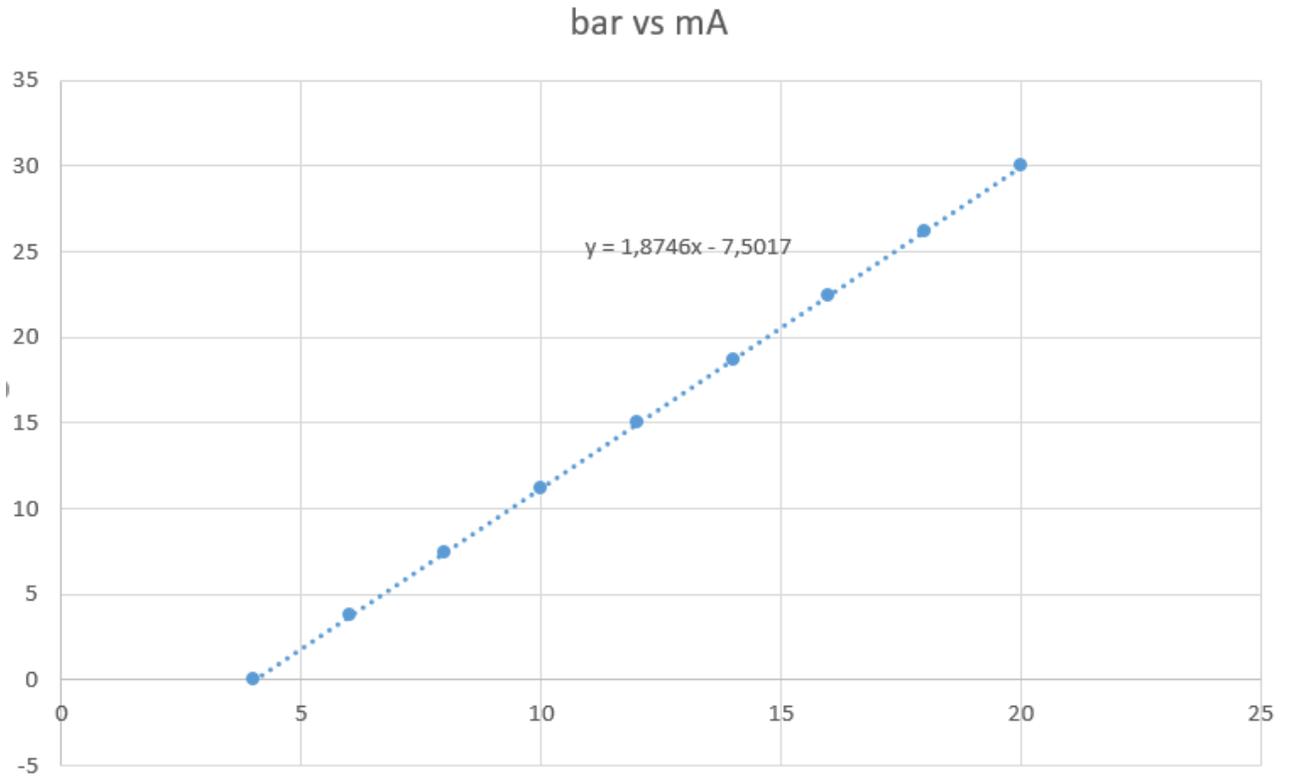
Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de corroborar tanto la comunicación en cada una de las etapas, como la correcta operación de las diferentes funciones implementadas en el PLC, se realizaron simulaciones en los módulos de entradas analógicas 4-20 mA. Utilizando una pinza amperimétrica para medición de miliamperios Fluke 772, la cual simula lazos 4-20 mA. Los resultados de las simulaciones se aprecian en la tabla 19. Los registros corresponden a las lecturas realizadas por los módulos de entradas analógicas, la presión leída en el PLC como se especificó en la descripción del sistema está diseñada para admitir números enteros el rango entre 0 y 3000, mientras que las presiones en Ovation son desplegadas en el rango entre 0 y 30 bar con dos decimales.

**Tabla 19.** Valores registrados por el sistema en simulación de presiones.

<b>Corriente (mA)</b>	<b>Registros</b>	<b>Presión en PLC (bar)</b>	<b>Presión en Ovation (bar)</b>
4	0	0	0,00
6	4102,089808	375	3,75
8	8186,966018	749	7,49
10	12287,12257	1124	11,24
12	16389,87864	1500	15,00
14	20479,20079	1874	18,74
16	24564,20796	2248	22,48
18	28670,67609	2624	26,24
20	32767	3000	30,00

Los procesos realizados en el PLC fueron verificados, ya que los valores corresponden con los deseados, el escalado de las señales analógicas corresponde con la tendencia lineal deseada, figura 7.3, por otra parte, tanto el truncado como el envío de los datos a Ovation se realizan con éxito.

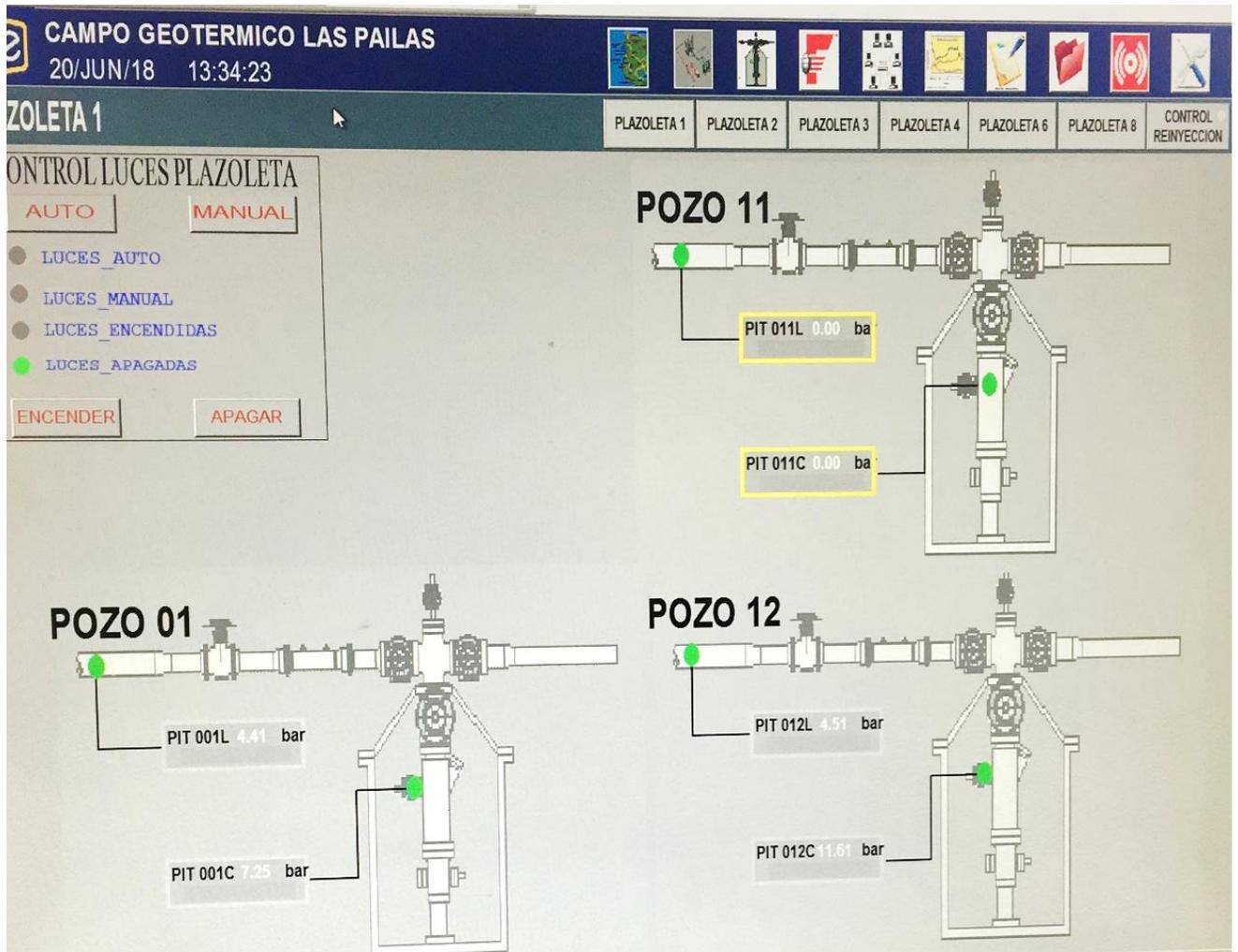


**Figura 7. 3** Grafica bar vs mA en el sistema.

Fuente: Elaboración propia Excel.

Una vez instalado el sistema y cada etapa probada por separado, se procedió a la prueba en campo con ayuda del equipo técnico de Pailas, se llevó paso a paso la secuencia de arranque como se muestra en la figura 6.7. Se realizó una prueba desconectando la señal en el pozo 11, lo cual activó las alarmas de señal mala en Ovation, alarma en color rojo. También se realizaron pruebas sobre los límites de las señales es decir 0 y 30 bar, como resultado las alarmas de límites fueron activadas, un parpadeo en la interfaz de color amarillo sobre las presiones del pozo 11, figura 7.4.

Durante el desarrollo del proyecto el departamento técnico manifestó el deseo de implementar previstas para el envío de datos desde Ovation hacía el PLC, con el fin de implementar un control de luces en la caseta donde se ubica el gabinete. Utilizando los registros N7 se realizó una prevista para el envío de una señal digital desde Ovation hacía el PLC, asociando la señal al módulo de salidas digitales empotrado del L18. Varias pruebas se realizaron con éxito utilizando la botonera de la interfaz, figura 52.



**Figura 7. 4** SCADA final con recepción de señales y alarmas.

Fuente: Ovation.

## 7.2 Confiabilidad del sistema

El consumo total del sistema se describe en la tabla 20, con un total de 1,7 A basta con una de las fuentes de alimentación de 24 V, para evitar que la comunicación salga de operación en caso de una avería en la alimentación, el respaldo del sistema es suministrado por la UPS SOLA 850 de la marca Emerson.

**Tabla 20.** Consumo del sistema.

Equipo	Tensión (V)	Corriente (mA)	Cantidad	Corriente Total (mA)
<b>Transmisores</b>	5	20	6	120
<b>PLC</b>	24	225	1	225
<b>Módulos I/O</b>	5	20,58	2	41,16
<b>Convertor de medios</b>	24	20	1	20
<b>Switch</b>	24	1300	1	1300
<b>Total</b>				1706,16

La figura 7.5 describe los tiempos de respaldo para las baterías utilizadas en la SOLA 850, utilizando un 20% de la capacidad de la UPS es decir un flujo de 2 A el cual supera por casi 300 mA el consumo máximo del sistema, se tiene un tiempo de respaldo estimado de 37 minutos.

	<b>SDU 500, SDU 500-5</b>	<b>SDU 850, SDU 850-5</b>
<b>VA/Watts</b>	500/300	850/510
<b>Batería</b>	YUASA NP7-12	YUASA REW45-12
<b>Nivel de la carga</b>	<b>Tiempo de reserva (Minutos)</b>	<b>Tiempo de reserva (Minutos)</b>
10%	130	80
20%	55	37
30%	36	20
40%	23	13
50%	18	10
60%	13	7
70%	10	5
80%	9	4
90%	6	3
100%	5	2.5

**Figura 7. 5** Tiempos de respaldo para SDU 850.

Fuente: [11].

El sistema implementado cuenta con el sistema de alarmas en los puntos, tanto si la calidad del mismo es mala como si se alcanza algún límite es decir 0 o 30 bar, inicia el parpadeo de los puntos en la interfaz con el código de colores descrito en el desarrollo del sistema.

Durante la instalación del sistema también se realizaron mediciones de la malla a tierra en la plazoleta, utilizando un comprobador de puesta a tierra Fluke 1625-2, el cual utiliza dos pinzas las cuales se ubican alrededor de la varilla de puesta a tierra y cada una se conecta al comprobador. En dicha plazoleta se encuentran 3 cajas de registro donde se interconecta la malla a tierra y adicionalmente el cable de interconexión de la malla del panel de control de la caseta. La distribución de las cajas se presenta en el apéndice A.12, los resultados de las mediciones se presentan en la tabla 21, arrojando resultados favorables ya que para equipos de control se recomienda una resistencia de menos de 5  $\Omega$  y los promedios obtenidos son menores. Se descarta que los recurrentes daños en la plazoleta sean producto de la malla a tierra. Adicionalmente se realizaron mediciones en el cableado que va desde la caseta hacía los pedestales en los pozos y tampoco se identificó algún daño en el cableado.

**Tabla 21.** Mediciones puestas a tierra.

<b>Ubicación</b>	<b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b>
Panel de control	3,41
Caja 1	3,46
Caja 2	3,42
Caja 3	3,45

### 7.3 Escalabilidad

El diseño propuesto utiliza equipo similar al de Pailas II, un controlador L18, transmisores 4-20 mA con HART, con sus respectivos módulos de entrada y salida, el sistema con su respectiva protección y respaldo. En caso que otro controlador OCR400 sea dañado o se pretenda emigrar el SCADA de Pialas I a Allen-Bradley, el diseño propuesto es una opción con un menor coste y compatible tanto con el sistema Ovation actual como con el OPC de NI.

No es necesaria la compra de otro PLC ya que el diseño puede ser desarrollado en el L18 que se utilizó para este proyecto, para cada plazoleta se recomienda utilizar los módulos de expansión remotos de ControlLogix, llamados Point I/O, los cuales contienen un módulo Ethernet/IP embebido y slots compatibles con los módulos I/O de ControlLogix. Permitiendo así el manejo de las variables de control del proceso de manera remota, en cada plazoleta se instalaría en el gabinete de control con: Point I/O, módulos de I/O requeridos, convertidor de medios y switch.

Este diseño brinda la opción de cambiar los equipos de control en Pialas I de manera progresiva y por etapas, en caso que algún otro Drop Ovation se dañe o se desee emigrar a Allen-Bradley, el equipo Emerson en el gabinete de control sería sustituido por equipo de expansión Allen-Bradley y los procesos implementados en el controlador utilizado en este proyecto.

Por otra parte, este diseño es considerado con vistas al futuro como una alternativa para ser integrado con el SCADA NI que se trabaja en este momento, la compatibilidad con el OPC NI disminuiría costos en compra de licencias y la implementación sería aún más sencilla que el caso con Ovation ya que no sería necesario un acondicionamiento de las señales, los valores serían enviados a través de comandos CIP propios de ControlLogix de manera directa.

## 7.4 Análisis de costos

Los recursos utilizados en el proyecto no se limitan únicamente a los materiales utilizados, comprenden recurso humano como ingenieros, técnicos y administrativos involucrados en la gestión de la compra de los equipos. También son incluidas las facilidades brindadas por la empresa como transporte, espacio de trabajo y viáticos del estudiante.

Los principales costos del proyecto son los utilizados en la compra de los equipos, el cual fue seleccionado tras un conjunto de análisis técnicos y considerando factores como presupuesto, tiempos de entrega y diseño. Durante el proceso de compra el trámite fue llevado por personal administrativo e ingenieros de la institución que colaboraron en la rápida gestión de la compra y entrega del equipo.

Varios equipos fueron reutilizados del gabinete de la plazoleta 1 como lo fueron fuentes, distribuidores de fibra óptica, convertidores de medios, gabinete físico y rieles. También equipos disponibles en el almacén del departamento como UPS, transmisores 4-20 mA, cable de control, terminales, etiquetadora y regleta de fusibles.

En la tabla 22 son mostrados los costos totales del proyecto, los equipos reutilizados y los obtenidos en almacén no son considerados, únicamente los equipos adquiridos para este proyecto en específico y los costos de recursos humanos recursos humanos sólo serán tomados en cuenta los viáticos al estudiante y los costos de las horas técnicos debido a que son las más críticas y esenciales para lograr la implementación. De los costos totales se aprecia que en comparación con las propuestas en los antecedentes del proyecto el costo es significativamente menor y de gran impacto considerando que las actividades de extracción en la plazoleta fueron rehabilitadas cumpliendo con las especificaciones requeridas por la institución.

**Tabla 22.** Costos del proyecto.

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad</b>	<b>Precio total</b>
Controlador	1	1 070 205.63	1 070 205.63
Módulo de entradas analógicas 4-20 mA con HART	2	307 887.93	615 775.87
Supresores	6	96 295	577 774
Subtotal			2 263 755.5
Viáticos estudiante ¢/mes	4	170 000	680 000
Total			¢ 2 943 755.5

## Capítulo 8: Conclusiones

- Se rehabilitaron las actividades de extracción de material bifásico en la plazoleta 1 del Campo Geotérmico Las Pailas
- El costo total del proyecto equivale a una quinta parte del precio del repuesto OCR400 y una cuarta parte el costo de la propuesta NI.
- El diseño modular representa un menor costo en repuestos, en caso de avería.
- Las mediciones realizadas por el sistema de adquisición y transmisión de datos implementado, presentan una incertidumbre menor a la utilizada por los equipos de control en las otras plazoletas de Pailas.
- El sistema de adquisición y transmisión de datos implementado, almacena los valores de interés en formato DBID, para luego ser importados por la base de datos maestra de Ovation.
- El control task 3 creado en Ovation actualiza los valores provenientes del PLC cada segundo.
- El sistema permite emigrar de manera gradual del SCADA Ovation a Allen-Bradley.
- Se descarta que los daños en los equipos de control de la plazoleta 1 del Campo Geotérmico Las Pailas sean producto de una alta resistencia en la puesta a tierra.
- Se descarta que los daños en los equipos de control de la plazoleta 1 del Campo Geotérmico Las Pailas sean producto de daños en el cableado de campo.

## Capítulo 9: Recomendaciones

- Instalar aire acondicionado en la habitación donde está ubicado el gabinete, con el fin de cumplir con las temperaturas de operación de los equipos y aislar de plagas el equipo de control.
- Con vistas al futuro se podría emigrar de Ovation a Allen-Bradley utilizando módulos Point I/O, módulos de expansión remotos, para el resto de plazoletas y llevar el control de todos los procesos de Pailas I en el controlador L18.
- El controlador L18 es compatible con el OPC de NI en el que se está trabajando para unificar los SCADAS, se podría adaptar la plazoleta 1 de Pailas I al nuevo sistema SCADA.
- Realizar un estudio más detallado de la incidencia de daños en equipos de control relacionados con descargas eléctricas, en la plazoleta 1 del Campo Geotérmico Las Pailas, para así cuantificar el nivel de exposición de los equipos.
- Se podría utilizar una batería de respaldo de mayor capacidad (amperios-horas) para abarcar un mayor tiempo de respaldo.
- Implementar un sistema redundante en caso que el principal falle por algún motivo.

## Referencias

- [1] ABB. (2013). Protección contra sobretensione. Recuperado de: [http://www02.abb.com/global/boabb/boabb011.nsf/0/0d7689a8919a7a26c1257b8700563842/\\$file/ABB+++Presentacion+Descagadores+de+Sobre+Tension++Bolivia++Mayo+2013.pdf](http://www02.abb.com/global/boabb/boabb011.nsf/0/0d7689a8919a7a26c1257b8700563842/$file/ABB+++Presentacion+Descagadores+de+Sobre+Tension++Bolivia++Mayo+2013.pdf) [Última consulta junio 2018]
- [2] CISCO. (2016). Cisco Catalyst 2955 Series Switches Data Sheet. Recuperado de: [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2955t-12-switch/product\\_data\\_sheet09186a008017ae6f.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2955t-12-switch/product_data_sheet09186a008017ae6f.html) [Última consulta abril 2018]
- [3] CONRAD. (s.f). Rail mounted PSU (DIN) Phoenix Contact QUINT-PS/1AC/24DC/10 24 Vdc 10 A 240 W 1 x. Recuperado de: <https://www.conrad-electronic.co.uk/ce/en/product/511716/Rail-mounted-PSU-DIN-Phoenix-Contact-QUINT-PS1AC24DC10-24-Vdc-10-A-240-W-1-x> [Última consulta mayo 2018]
- [4] CPT. (s.f). Protección Interna contra Sobretensiones. Recuperado de: [http://www.cirprotec.com/archivos/gamas\\_archivos/SOBRETENSIONES\\_TRANSITO\\_RIAS\\_GAMA\\_CSC.pdf](http://www.cirprotec.com/archivos/gamas_archivos/SOBRETENSIONES_TRANSITO_RIAS_GAMA_CSC.pdf) [Última consulta mayo 2018]
- [5] Dieter, G. & Schmidt, L. (2009). Engineering Design. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill
- [6] Emerson Process Management. (2010). Controller (OCR400) User Guide for Ovation 3.3.1 OW331\_54 (Includes Controller Diagnostics). Estados Unidos: Power & Water Solutions.
- [7] Emerson Process Management. (2010). Developer Studio User Guide for Ovation 3.3.1 OW331\_60. Version 1. Estados Unidos: Power & Water Solutions.
- [8] Emerson Process Management. (2010). Foundation Fieldbus User Guide for Ovation 3.3.1 OW331\_30. Version 1. Estados Unidos: Power & Water Solutions.
- [9] Emerson Process Management. (2008). OPC Tools User Guide CON\_016. Estados Unidos: Power & Water Solutions.

- [10] Emerson Process Management. (2008). Rosemount 2051 Pressure Transmitter with FOUNDATION™ Fieldbus Protocol. Reference Manual 00809-0200-4101. Estados Unidos: Power & Water Solutions.
- [11] Emerson. (2017). Uninterruptible Power Systems. SDU Series 500, 850, 500-5, 850-5. Recuperado de: <https://www.emerson.com/documents/automation/product-manual-sdu-ac-en-us-164110.pdf> [Última consulta junio 2018]
- [12] Fallas Saborío, C., & Rodríguez Álvarez. (2010). Miravalles, historia del primer complejo geotérmico en Costa Rica. Guanacaste: ICE.
- [13] Guido, H. (2002). Diseño de un modelo para la construcción de un pozo geotérmico ambientalmente sostenible. (Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción). Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción, Cartago.
- [14] HART Communication Foundation. (s.f). HART Field Communications Protocol, Application Guide HCF LIT 34. Austin, Estados Unidos.
- [15] ICE. (julio del 2005). Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) para el Proyecto Las Pailas I. Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), página 3.
- [16] MiCro. (s.f). Automatización y control. Recuperado de: [http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacion\\_y\\_control.pdf](http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacion_y_control.pdf) [Última consulta marzo 2018]
- [17] Moreno. M (s.f). Controlador lógico Programable (PLC). Recuperado de: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>. Buenos Aires, Argentina: Wilde. [Última consulta marzo 2018]
- [18] National Communications System. (2004). Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems. Arlington: Office of Manager National Communications System.
- [19] Pentair. (2015). DATA AND SIGNAL LINE PROTECTION. Recuperado de: <https://www.erico.com/catalog/literature/E756B-WWEN.pdf> [Última consulta junio 2018]

- [20] Rockwell Automation Allen Bradley. (1995). 1785 PLC-5, Programmable Controllers Addressing Reference Manual. Recuperado de: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/5000-rm002\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/5000-rm002_en-p.pdf) [Última consulta marzo 2018]
- [21] Rockwell Automation Allen Bradley. (1996). DF1 Protocol and Command Set Reference Manual. Recuperado de: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1770-rm516\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1770-rm516_en-p.pdf) [Última consulta marzo 2018]
- [22] Rockwell Automation Allen Bradley. (2013). Ethernet Design Considerations. Recuperado de: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/enet-rm002\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/enet-rm002_en-p.pdf) [Última consulta abril 2018]
- [23] Schiffer, V. (2016). The Common Industrial Protocol (CIP™) and the Family of CIP Networks. Recuperado de: [https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications\\_Numbered/PUB00123R1\\_Common-Industrial\\_Protocol\\_and\\_Family\\_of\\_CIP\\_Networks.pdf](https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00123R1_Common-Industrial_Protocol_and_Family_of_CIP_Networks.pdf). Estados Unidos: ODVA, Inc. [Última consulta mayo 2018]
- [24] Yokogawa Electric Corporation. (2012). Differential Pressure and Pressure Transmitters. Recuperado de: [https://web-material3.yokogawa.com/BU01C25A02-01EN\\_005.pdf](https://web-material3.yokogawa.com/BU01C25A02-01EN_005.pdf) [Última consulta marzo 2018]
- [25] Yokogawa Electric Corporation. (2012). User's Manual Absolute Pressure and Gauge Pressure Transmitters EJ♦510♦, EJ♦530♦, EJX610A and EJX630A IM 01C25F01-01E. Shanghai, China.

## **Apéndices**

### **A.1 Descripción de la empresa**

#### **A.1.1 Organigramas de la empresa**

Los trabajos en las plantas geotérmicas Miravalles, Las Pailas I y II son coordinados por el CSRG, ubicado en la provincia de Guanacaste, específicamente en Guayabo de Bagaces.

Imagen

#### **A.1.2 Misión**

Explorar, desarrollar y exportar campos geotérmicos, para suministrar vapor y tecnologías, planeamientos, organización y controles adecuados en armonía con el medio ambiente.

#### **A.1.3 Visión**

Constituirse en la mejor empresa eléctrica de América con respecto a la calidad, continuidad, solidaridad, universalidad y precio competitivo del servicio, a la satisfacción de los clientes, al desarrollo sostenible de los recursos energéticos renovables y al manejo del medio ambiente; y ser reconocida como un factor fundamental para el desarrollo económico y social del país, como un símbolo de la capacidad y la democracia costarricense y como un líder de la integración eléctrica de América Central.

#### **A.1.3 Política de calidad**

Estamos comprometidos con la satisfacción de los clientes mediante soluciones efectivas, la mejora continua y el desarrollo integral del recurso humano.

#### **A.1.4 Departamento de realización del proyecto.**

El proyecto se llevó a cabo en el departamento de Mantenimiento Instrumentación dentro de las funciones que realiza se encuentran principalmente el mantenimiento del equipo de instrumentación, calibración y control, así como equipo eléctrico y electromecánico que se encuentra en los satélites y en los pozos productores. Esto comprende el equipo de medición que se utiliza como los medidores de presión, de temperatura, de flujo entre otros.

Adicionalmente se encargan de evaluar los daños en los equipos y solucionarlos tomando en cuenta costos de materiales y la prioridad con la deben ser reparados.

## A.2 Ofertas de los antecedentes



Emerson Process Management SA. de C.V.  
Calle 10 No. 145  
Col. San Pedro de los Pinos  
Del. Álvaro Obregón  
C.P. 01180  
México, D.F

26 de Julio, 2016

Rodrigo Mora  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Costa Rica

Asunto: Repuestos para el Sistema de control Ovation  
Oferta No. PWS-MX-1611-001 Repuestos ICE  
Estimado Rodrigo Mora,

Emerson Process Management SA. De CV se complace en presentar la siguiente oferta al Instituto Costarricense de Electricidad por repuestos para el Sistema Ovation del campo de vapor Pailas I. Esta oferta consiste en el contenido de esta carta y cualquier referencia presente en este documento.

A continuación, se presenta el detalle del equipo ofertado:

Cantidad	Descripción	Numero de parte	Precio Unitario	Precio Total
1	MODULE ASSY CONTROLLER CPU (128MB)	5X00241G02	\$12,607.00	\$12,607.00
1	OCR 400 I/O INTERFACE MODULE	5X00226G02	\$6,495.00	\$6,495.00
1	EMOD ASSEMBLY FOUNDATION FIELDBUS	5X00301G01	\$7,172.00	\$7,172.00

### Precio Total

El precio total de los equipos ofertados es de **US\$ 26,274.00**

Todos los precios se expresan en dólares americanos. En todos los casos, el precio cotizado por el Vendedor se expresará sin incluir el IVA y otros impuestos que se generen en el futuro. Las retenciones a cuenta sobre los servicios serán pagadas por el Comprador. Los valores de las facturas se expresan en dólares EE.UU. y se cancelarán en dólares EE.UU. en una cuenta bancaria a ser informado por el vendedor.

### Tiempo de Entrega

Tiempo de entrega es de 10 semanas.

### Condición de Entrega

Condición de entrega es FOB Miami

### Términos de pago

100% contra orden de compra

**Figura A. 1** Oferta Emerson.



<b>OFERTA CAPRIS-NATIONAL INSTRUMENTS</b>			
Precio	Cantidad	Descripción	Artículo
\$3,787.66	1	CRIO-9030 Controlador compact RIO	1
\$2,526.82	1	TPC-2230 Touch Panel computer WES7	2
\$874.76	1	Módulo de entradas de corriente 24 bits	3
\$401.62	1	Módulo de entradas digitales 8 canales	4
\$480.63	1	Fuente de alimentación	5
\$155.20	2	Convertidor de medios Ethernet/ FO	6
\$764.32	8	Transmisor aislador de señal analógica	7
\$200.00	1 paquete	Materiales de conexión	8
\$115.36	1	Gabinete 400x300x200 IP66	9
\$353.26	1	Gabinete 600x800x300 IP66	10
\$592.53	16	Rele de interface	11
\$185.35	1	Bloque de interface de 37 pines	12
\$10.29	1	Cable de otencia 2.3 metros	13
\$272.63	1	Fuente de 120VCA/24VCD 5A	14
\$36.01	1	Strain Relief	15
\$36.01	1	Tapa para módulo vacío	16
\$51.61	1	Kit ara montaje riel DIN	17
\$25.72	1	Cable Mini Display a Display	18
\$61.73	1	Adaptador para touch panel	19
\$205.76	1	Fuente de 120VCA/24VCD 5A	20
\$1,245.24	1	Touch panel para plazoleta	21
\$144.20	1	Bloque de interface de 25 pines	22
<b>\$12,526.71</b>		Total	

**Figura A. 3** Oferta Capris National-Instruments.



**Emerson Puerto Rico Inc.**  
**Power & Water Solutions**  
DASE Building, STE 501  
Parque Industrial Los Frailes | Street C  
Guaynabo 00969  
Tel: 787 782 9955

9 de abril, 2018.

Ing. Rolando Gamboa  
ICE Las Pailas.  
Asunto: Oferta para suministro de Licencia OPC Client y servicios de Instalación.  
Oferta No. Emerson-180605-080 Rev0

Estimado Ing. Rolando Gamboa,

Emerson se complace en presentar la siguiente oferta a ICE Las Pailas por los servicios de ingeniería para la integración de señales provenientes de un PLC Allen Bradley MICRO 850 al sistema Ovation existente en planta ICE las Pailas. Esta oferta consiste en el contenido de esta carta y cualquier referencia hecha en ellos.

Las señales para integrar provienen de un PLC Allen Bradley modelo 2080LC5024QWB, dichas señales corresponden a señales de entrada analógica de 4-20mA para los transmisores de presión, las cuales se requieren visualizar en Ovation.

A continuación, se presenta el detalle de los alcances contenidos en esta oferta

Ítem	Descripción
1. Software/Licencia	OPC Client Mapper
2. Servicios de Ingeniería	Servicios de Ingeniería para la integración de señales de PLC a Ovation. Instalación y configuración.

**Notas:**

1. La instalación y configuración del OPC Client Mapper se realizará en un servidor/estación con sistema Ovation existente.
2. El cliente es responsable del correcto funcionamiento de la maquina a utilizar.
3. El viaje y los días de hospedaje para el Ingeniero de Emerson han sido considerados en el precio final.
4. Los servicios de la ingeniería de campo se calculan utilizando las tasas actuales de trabajo de lunes a viernes, en horario diurno, con 8 horas por día.

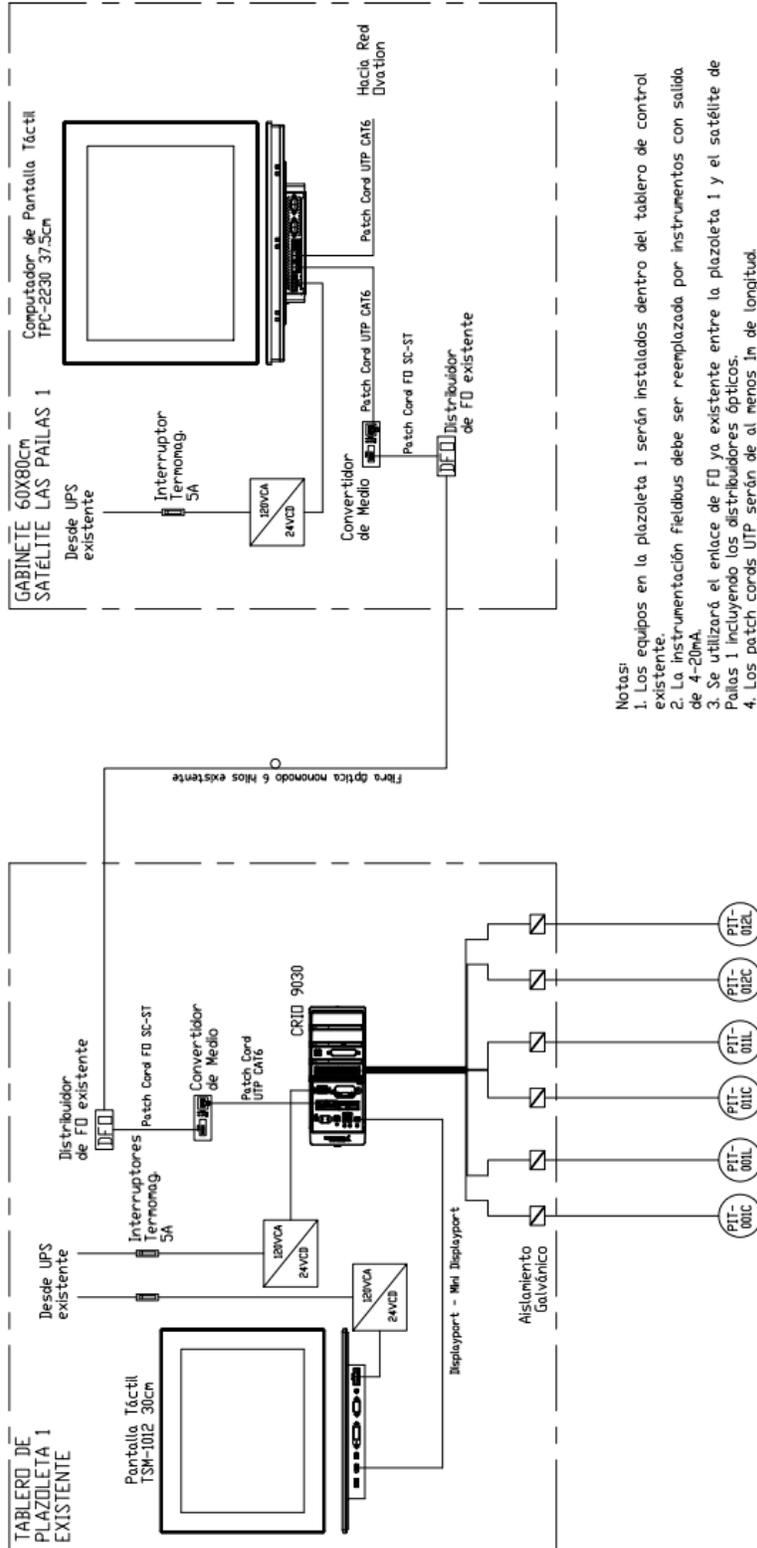
**Precio Total**

El precio total de la licencia y los servicios de Ingeniería ofertados es de **US\$ 8,140.08**

- El precio se encuentra en dólares de los Estados Unidos de América.
- Condición de entrega: DDP Planta las Pailas.
- En todos los casos, los precios cotizados por el vendedor se expresarán sin incluir el IVA y otros impuestos que se generen en el futuro. La retención a cuenta sobre los servicios será pagada por el comprador. Los valores de las facturas se expresan en dólares EE.UU. y se cancelarán en dólares EE.UU. en una cuenta bancaria a ser informado por el vendedor.

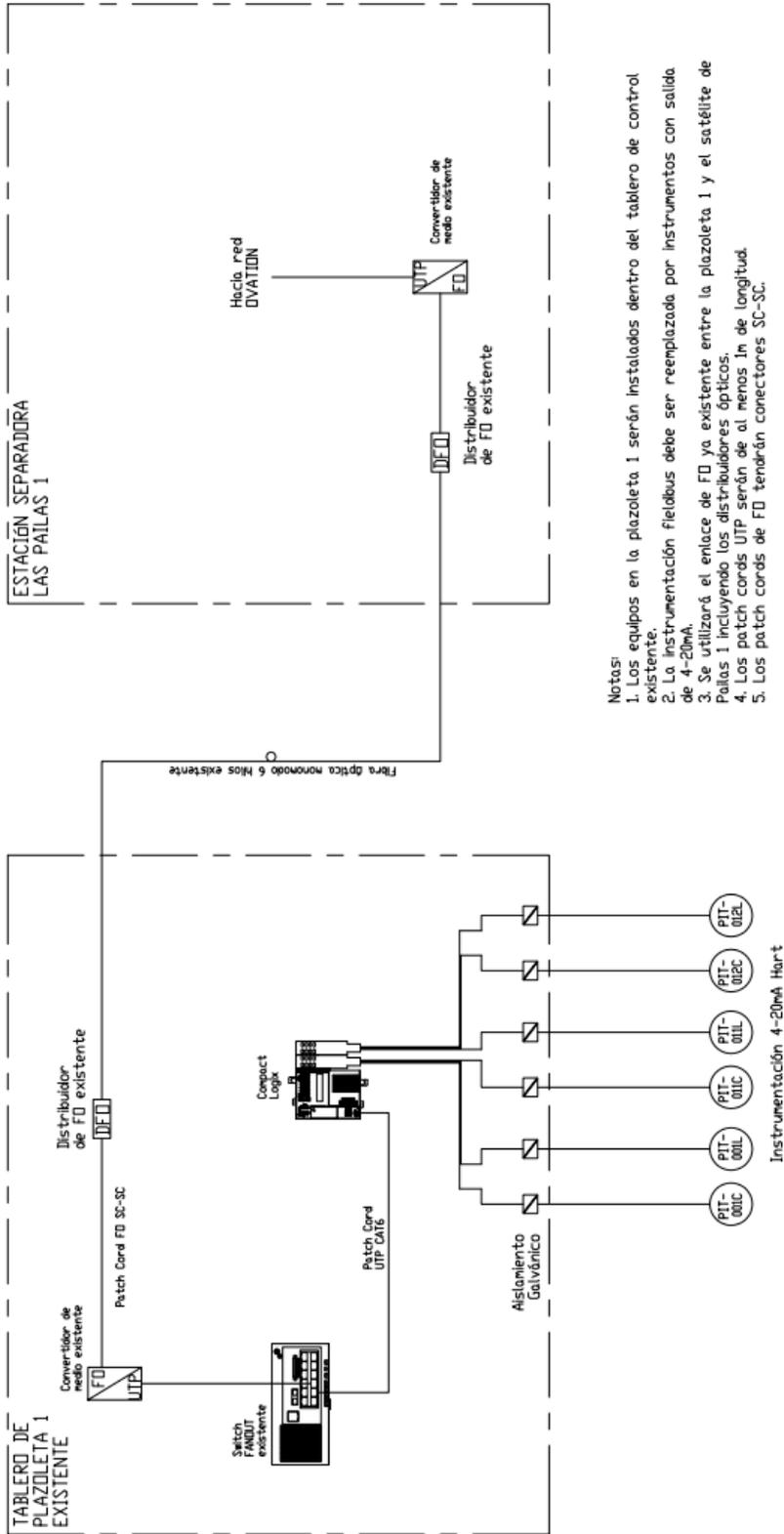
**Figura A. 4** Cotización Ovation OPC.

### A.3 Propuestas



- Notas:
1. Los equipos en la plazoleta 1 serán instalados dentro del tablero de control existente.
  2. La instrumentación fieldbus debe ser reemplazada por instrumentos con salida de 4-20mA.
  3. Se utilizará el enlace de FI ya existente entre la plazoleta 1 y el satélite de Pailas 1 incluyendo los distribuidores ópticos.
  4. Los patch cords UTP serán de al menos 1m de longitud.
  5. Los patch cords de FI tendrán conectores SC-ST.

Figura A. 5 Propuesta Departamento de Diseño utilizando NI.



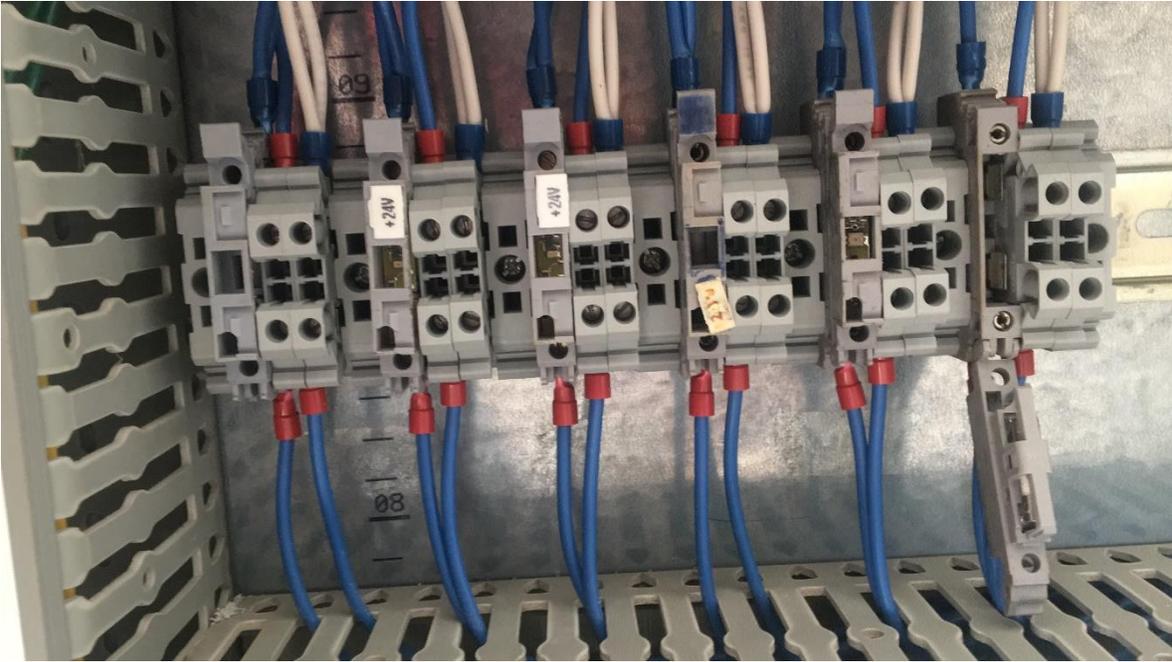
- Notas:
1. Los equipos en la plazoleta 1 serán instalados dentro del tablero de control existente.
  2. La instrumentación fieldbus debe ser reemplazada por instrumentos con salida de 4-20mA.
  3. Se utilizará el enlace de FD ya existente entre la plazoleta 1 y el satélite de Pailas 1 incluyendo los distribuidores ópticos.
  4. Los patch cords UTP serán de al menos 1m de longitud.
  5. Los patch cords de FD tendrán conectores SC-SC.

Figura A. 6 Propuesta Implementada.

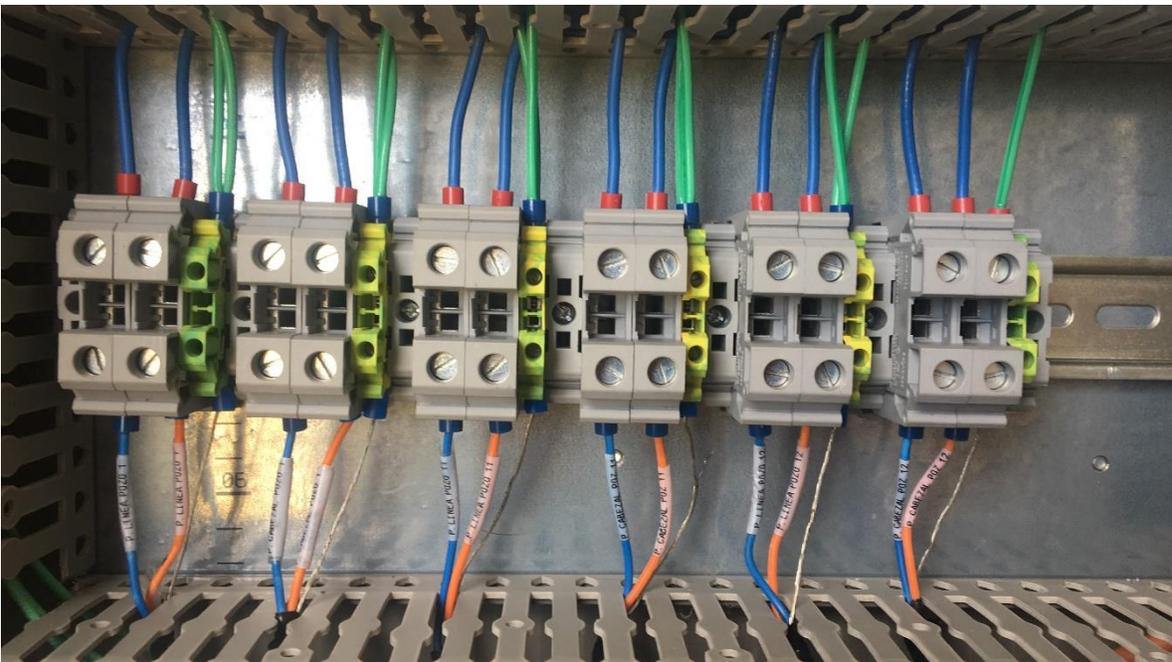
#### A.4 Ilustraciones equipos utilizados



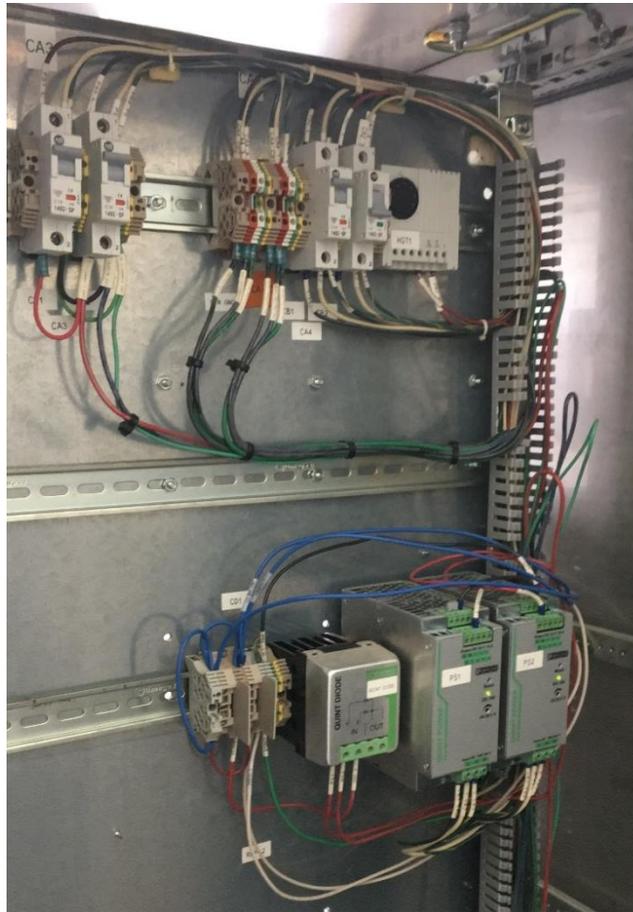
**Figura A. 7** Instrumentación instalada en el pozo 1 Pailas.



**Figura A. 8** Nivel X1 regleta de fusibles instalada en el gabinete.



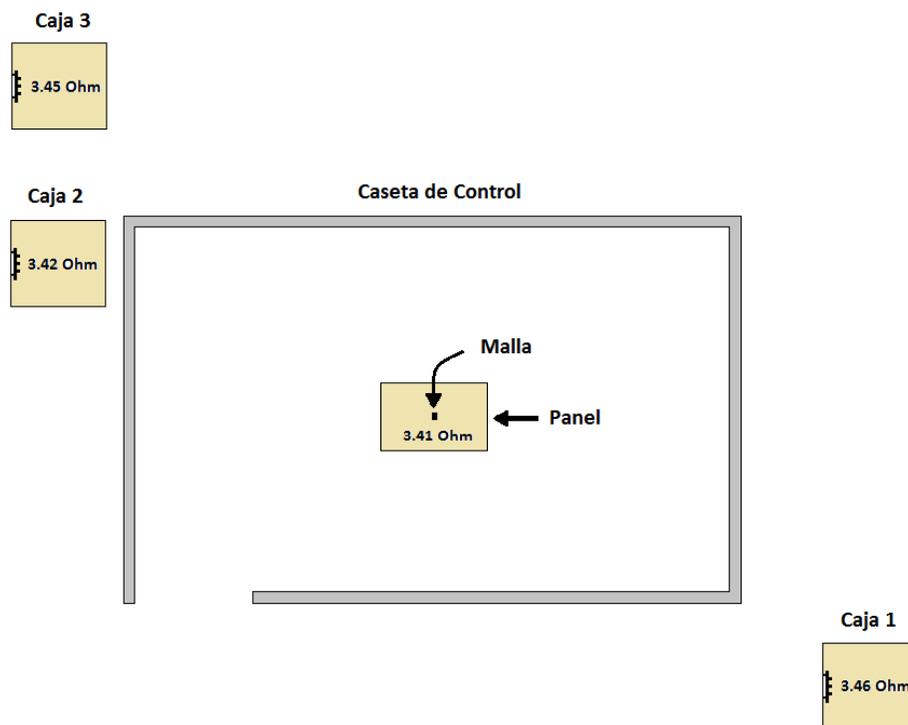
**Figura A. 9** Nivel X2 previstas para supresores.



**Figura A. 10** Parte trasera del gabinete.



**Figura A. 11** Caja de registro.



**Figura A. 12** Distribución de las cajas de registro.

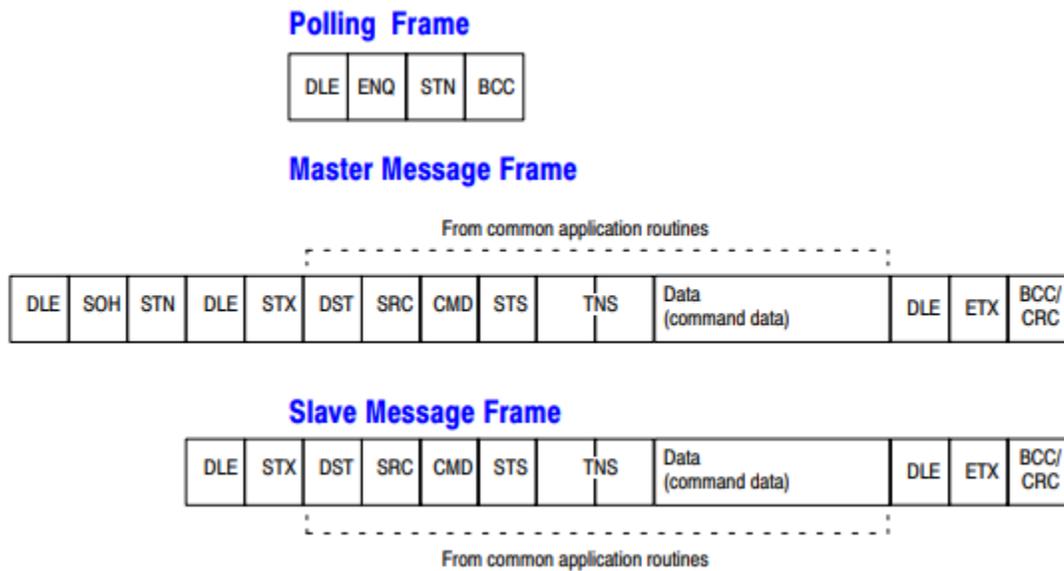
## Anexos

### B.1 Trama de mensajes DF1 en protocolo Half duplex

El protocolo Half-duplex utiliza 3 tipos de transmisión:

- Tramas polling
- Tramas mensaje del maestro
- Tramas mensaje esclavo.

El nodo maestro transmite tramas en polling y maestro, y los nodos esclavos transmiten tramas de esclavo.

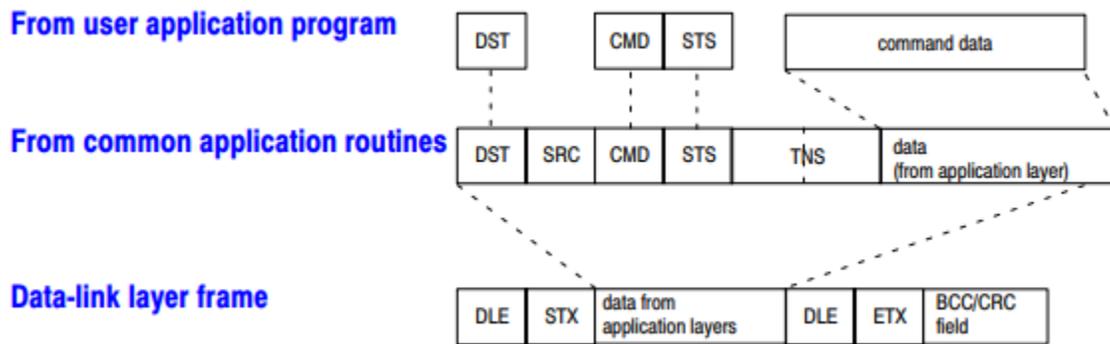


**Figura B. 1** Trama utilizada en DF1Half dúplex.

Fuente: [21].

Tramas de mensaje DF1 en protocolo Full duplex

El protocolo Full-duplex implementa diferentes tramas de mensaje, dependiendo de la capa de red. La Fig... muestra el formato de la traa utilizando este protocolo.



**Figura B. 2** Trama utilizada en DF1 Full dúplex.

Fuente: [21].

Al final de cada espacio de polling y cada espacio de mensaje, se encuentra un byte BBC (block check character), o dos bytes CRC (cyclic redundancy check). Se selecciona BCC o CRC dependiendo de las características de los swiches o la configuración de software. Ambos espacios permiten verificar la precisión de la transmisión de cada mensaje.

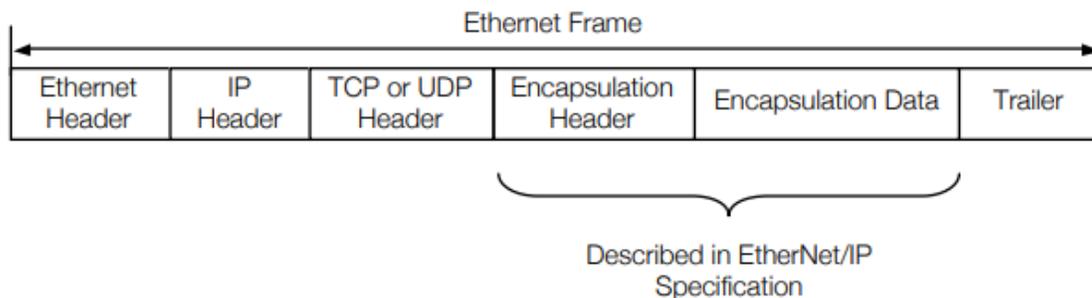
El algoritmo BCC brinda un nivel medio de seguridad de datos, no puede detectar transposición de bytes durante la transmisión de la trama, tampoco puede detectar la inserción o supresión del valor cero en la trama.

El espacio CRC brinda un nivel de seguridad más alto que BCC, pero es más difícil de implementar.

**Tabla 23.** Distribución de la trama DF1

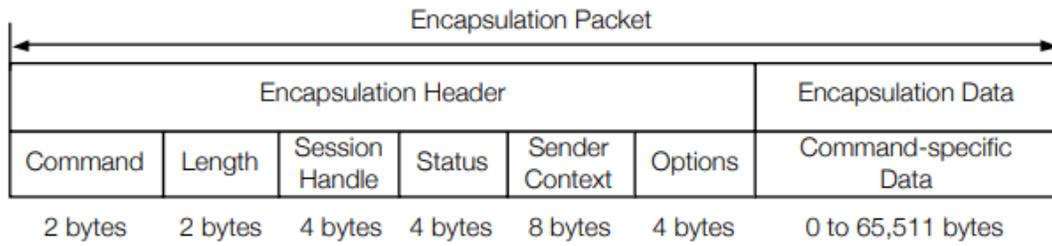
<b>Espacio</b>	<b>Contenido</b>
DST	Nodo destino del mensaje
SRC	Nodo origen del mensaje
FNC	Código de la función
CMD	Código del comando
ADDR	Ubicación de la dirección de memoria (2 bytes)
STS	Código de status
EXT STS	Código de status extendido
SIZE	Número de bytes que serán transmitidos
TNS	Número de Transacción
DATA	Valores de datos que serán transmitidos por el mensaje
DLE ENQ	Transmitido solo por el maestro, que inicia el comando poll
DLE SOH	Indica el inicio del mensaje
DEL STX	Separa la etiqueta de los datos
STN	Numero de estación del nodo esclavo en el enlace half-duplex

## B.2 Trama EtherNet/IP



**Figura B. 3** Relación entre las tramas CIP y Ethernet.

Fuente: [23].



**Figura B. 4** Estructura del paquete de encapsulado EtherNet/IP.

Fuente: [23].

## B.3 Cotizaciones

Almacén Mauro, S.A.  
 CÉDULA JURÍDICA No. 3-101-003233-22  
[www.almacenmauro.com](http://www.almacenmauro.com)



Tel. (506)2549-6000  
 Fax. (506)2222-5610

COTIZACIÓN No.: PROY-1-110117  
 FECHA: martes, enero 16, 2018

SEÑORES: ICE  
 PROYECTO: SUPRESOR  
 Contacto:

### FAVOR RECIBAN LA SIGUIENTE COTIZACIÓN DE PRECIOS PARA SU EVALUACIÓN

Lineas	Código Mauro	Cantidad	# de Parte	Descripción	Precio Vta Unitario	Precio Vta Total
1	95C	1	UTB55P	Barrera universal para transitorios, par único, 0-3 VAC, 0-5 VDC	\$ 81.70	\$ 81.70
2	95C	1	UTB305P	Barrera universal para transitorios, par único, 10-21 VAC, 15-30 VDC	\$ 67.80	\$ 67.80
++ Última Línea ++						
Subtotal						\$ 149.50
Impuesto de ventas 13%						13% \$ 19.44
Subtotal Materiales						\$ 168.94
<b>TOTAL GENERAL PROYECTO</b>						<b>\$ 168.94</b>
Consultas con: Ing. Diego A. Domínguez Herrera, Tel. 2549 6000 Celular: 7209 7508 Vigencia de la Oferta: 14 días naturales. Términos de pago: Usuales cuenta de crédito.						

Figura B. 5 Cotización supresores.



ELVATRON S.A  
Cédula Jurídica N° 3-101-020826-35  
Tel.: 2242-9900 - Fax.: 2520-0697  
425 mts Norte de la Entrada Principal de la CNFL  
Costa Rica, San José, Central, La Uruca.  
www.elvatron.com

Cotización No.  
M02-AG45S8 Versión: 5

Página: 1 de 1
Fecha de emisión: 15/03/2018
Fecha de vencimiento: 23/03/2018

Asunto: Propuesta Modernización Pozo Productor Pailas I

Cliente: INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD	Condición de venta: NO DEFINIDA	
Dirección: ICE MIRAVALLÉS	Vendedor: Jose Campos	Cel: ND
Contacto: Rodrigo Mora	Teléfono: +506 22429979	Fax: 25200609
C/T: romoras@ice.go.cr/+506 2673 0100 ext 266	Correo: jcampos@elvatron.com	

LIN.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	T.ENTREGA	PRECIO UNI.	TOTAL LÍNEA
1	1769L18ERBB1B	DUAL ETHERNET W/DLR CAPABILITY, 512KB MEMORY, 8 I/O EXPANSION VIA 1734 POINT I/O, 8 ETHERNET IP NODES, 24VDC. THIS CONTROLLER USES POINT I/O (1734) BACKPLANE. CONTROLLERS ARE SHIPPED WITH 1GB SD CARD AND CAN SUPPORT UP TO 2GB SD CARD.	1	INMEDIATO	\$ 1,778.50	\$ 1,778.50
2	1734SC-IE4CH	Four Channel Analog Input with HART Protocol (Current Only) (SPECTUM CONTROLS)	2	4-5 SEMANAS	\$ 500.00	\$ 1,000.00
3	1734AENTR	POINT ADAPTER	1	INMEDIATO	\$ 587.54	\$ 587.54
4	1734TOP	POINT I/O ONE-PIECE TERMINAL BASE WITH SCREW CLAMP 8 TERMINATIONS	4	INMEDIATO	\$ 16.79	\$ 67.16
5	1606XLP100E	FUENTE DE PODER ESTANDAR, ENTRADA 120/240VAC SALIDA 24-28VDC CAPACIDAD 100 W	1	INMEDIATO	\$ 238.99	\$ 238.99

Figura B. 6 Cotización equipos de control.



OFERTA ECONOMICA  
SOLICITUD EH003C501118

Artículo No.	Cantidad	Unidad	Descripción bien, servicio u obra	Material químico		Precio estimado ICE	Ob. Gasto ICE	Precio Unitario ofrecido	Precio Total Ofrecido
				SI	NO				
1	1	c/u	CONTROLADOR PROGRAMABLE DE AUTOMATIZACION, TIPO MODULAR, CON MEMORIA DE USUARIO DE 512 KBYTES, 32 TAREAS SIMULTANEAS, 100 PROGRAMAS POR TAREA, 16 ENTRADAS INTEGRADAS, 16 SALIDAS INTEGRADAS, 2 PUERTOS ETHERNET, 8 MODULOS DE EXPANSION, MONTAJE PARA EL RIEL DIN MODELO 1769-L18ER-BB1B + 1734-TOP	X		ND	157	€ 947,084.63	€ 947,084.63
2	2	c/u	MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS, DE 4 CANALES, RESOLUCION DE 16 BITS, ENTRADA DE 4-20 MA Y PROTOCOLO HART SIMULTANEAMENTE, TEMPERATURA HASTA 55 °C, CON FILTROS DE ENTRADA SELECCIONABLES MODELO 1734SC-IE4CH	X		ND	157	€ 272,467.20	€ 544,934.40
Sub Total:									€ 1,492,019.03
Impuesto ventas:									13% € 193,962.47
<b>Precio Total Oferta:</b>									<b>€ 1,685,981.51</b>
<b>Precio Total Oferta en letras:</b> Millón Seiscientos ochenta y cinco mil Novecientos ochenta y uno Colones con 51/100									

Figura B. 7 Compra de equipos de control.

## B.4 Especificaciones equipos

Model	UTB5DP	UTB15DP	UTB30DP	UTB60DP	UTB110DP	UTB30DPS
Item Number for Europe	702886	702887	702888	702889	702891	702892
Nominal Voltage	0 V to 3 VAC 0 V to 5 VDC	3 V to 10 VAC 5 V to 15 VDC	10 V to 21 VAC 15 V to 30 VDC	21 V to 42 VAC 30 V to 60 VDC	100 V to 110 VAC 142 V to 154 VDC	24 V to 48 VAC 12 V to 60 VDC
Max Cont. Operating Voltage, U <sub>c</sub>	5 VAC 7 VDC	12 VAC 18 VDC	23 VAC 33 VDC	45 VAC 64 VDC	120 VAC 170 VDC	48 V-AC 60 VDC
Max Line Current, I <sub>L</sub>	800 mA					
Frequency	0.5 MHz	1 MHz	2 MHz	3 MHz	0-60 Hz	
Loop Resistance	0.6 Ω					
Max Discharge Current, I <sub>max</sub>	20 kA 8/20 μs (L+L)-PE					15 kA 8/20 μs/mode
Protection Modes	Differential & Common Mode					
Technology	GDT MOV Silicon					MOV
Voltage Protection Level (8/20μs)	L-L 10 V @ 3 kA	L-L 25 V @ 3 kA	L-L 44 V @ 3 kA	L-L 85 V @ 3 kA	L-L 220 V @ 3 kA	
Dimensions H x D x W: mm (in)	90 x 85 x 12 (3.54 x 3.35 x 0.47)					
Weight: kg (lbs)	0.09 (0.20)					
Enclosure	DIN 43 880, UL94V-0 thermoplastic, IP 20 (NEMA-1)					
Connection	1 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> (#18AWG to 14AWG) Grounding via terminal or DIN rail connection					
Mounting	35 mm top hat DIN rail					
Temperature	-20°C to 65°C (-4°F to 149°F)					
Humidity	0 % RH to 90 % RH					
Approvals	CE, UL® 497B					
Surge Rated to Meet	ANSI®/IEEE® C62.41.2 Cat A, Cat B, Cat C					
Replacement Module	UTB5DPM (702893)	UTB15DPM (702894)	UTB30DPM (702896)	UTB60DPM (702897)	UTB110DPM (702898)	UTB30DPSM (702899)
Replacement Module (Europe)						

Figura B. 8 Especificaciones supresores.

Fuente: [19].

<b>2051T</b>	Ranges 1-4 ±0.075% of span For spans less than 10:1, accuracy =	Ranges 1-4 High Accuracy Option, P8 ±0.065% of span For spans less than 10:1, accuracy =
	$\pm \left[ 0.0075 \left( \frac{URL}{Span} \right) \right] \% \text{ of Span}$	$\pm \left[ 0.0075 \left( \frac{URL}{Span} \right) \right] \% \text{ of Span}$
	Range 5 ±0.075% of span for spans greater than 5:1	

Figura B. 9 Especificaciones supresores Rosemount 2051.

Fuente: [10].

## Dynamic performance

	4–20 mA HART <sup>(1)</sup> 1–5 Vdc HART Low Power	FOUNDATION Fieldbus and PROFIBUS PA Protocols <sup>(2)</sup>	Typical HART transmitter response time
<b>Total response time (<math>T_d + T_c</math>):</b>			
Rosemount 2051C			
Range 3–5:	115 ms	152 ms	
Range 1:	270 ms	307 ms	
Range 2:	130 ms	152 ms	
2051T and 2051G:	100 ms	152 ms	
2051L:	See Instrument Toolkit™	See Instrument Toolkit	
<b>Dead time (<math>T_d</math>)</b>	60 ms (nominal <sup>(3)</sup> )	97 ms	
<b>Update rate<sup>(4)</sup></b>	22 times per second	22 times per second	

1. Dead time and update rate apply to all models and ranges: analog output only.

Figura B. 10 Especificaciones respuestas supresores Yokogawa.

Fuente: [10].

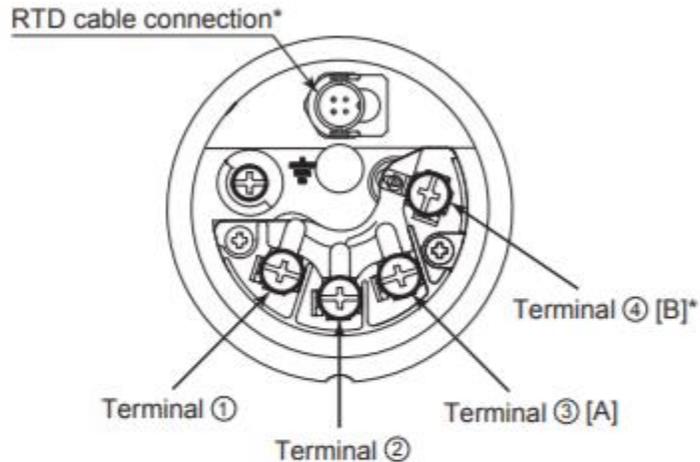
<b>Accuracy</b>	
+/- 0.025%	●
+/- 0.040%	●
+/- 0.055%	
<b>Stability</b>	
+/- 0.1% of URL for 15 years	●
+/- 0.1% of URL for 10 years	
<b>Maximum Working Pressure</b>	
250 bar	●
160 bar	
<b>Turn down</b>	
200 : 1	●
100 : 1	
<b>Multi sensing</b>	
DP, SP	●
<b>Safety</b>	
FMEDA report	●
IEC61508 Certified	●
<b>Response time</b>	
< 90ms	●
<b>User Linearisation</b>	
10 points signal characteriser	●
<b>FF Function Blocks</b>	
AI (Analog Input)	●
PID (PID control)	●
Other *	●
<b>FF Link master</b>	
Standard	●
<b>Advanced Diagnostics</b>	
Impulse line blockage detection	●
Heat trace monitoring	●
<b>Alarm output</b>	
Contact output	●
<b>Multi-Variable</b>	
DP, SP, PT, Q <sub>v</sub> and Q <sub>m</sub>	●
<b>Wireless Communication</b>	
ISA100.11a	●

Figura B. 11 Especificaciones supresores Yokogawa.

Fuente: [24].

## 5.2 Connections of External Wiring to Terminal Box

### • Terminal Configuration



\*For EJX9□□A only.

F0527.ai

### • Terminal Wiring for 4 to 20 mA output

SUPPLY +	①	] Power supply and output terminals
-	②	
CHECK +	③	] External indicator (ammeter) terminals**2 or
-	②	
or ALARM +	③	] Status contact output terminals*2 (when /AL is specified)
-	②	
⏏		Ground terminal

\*1: When using an external indicator or check meter, the internal resistance must be 10  $\Omega$  or less. A check meter or indicator cannot be connected when /AL option is specified.

\*2: Not available for FOUNDATION Fieldbus and PROFIBUS PA communication types.

**Figura B. 12** Diagrama de conexiones de los transmisores Yokogawa.

Fuente: [25].