

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**“Estudio e implementación de un sistema SCADA para el prototipo de un control de nivel en los tanques de combustible de la estación surtidora de diesel en la central del ICE San-José”**

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

**Jairo Sevilla Salas**

**20 de Enero 2012**

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACION

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

  
Ing. Juan Carlos Jiménez Robles  
Profesor lector

  
Ing. Julio Stradi Granados  
Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería en Electrónica

Cartago, Costa Rica, 20 de Enero del 2012

**Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.**

**En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.**

**En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.**

**Cartago, 20 de Enero del 2012**

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'J' followed by 'S', with a long horizontal flourish extending to the right.

**Jairo Sevilla Salas**

**3-0390-0977**

## Resumen

El Departamento de Operación y Mantenimiento de Electromecánica de la central del Instituto Costarricense de Electricidad ubicada en San José, Avenida Segunda cuenta con una estación surtidora de diesel para las plantas eléctricas que suministran de energía al edificio en ausencia del flujo de corriente eléctrica comercial brindada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

El sistema de medición de los niveles de diesel se encuentra obsoleto, además proporciona información inexacta y cuenta con un sistema de monitorización en tiempo real debido a que en caso de que exista una avería a nivel de fluido eléctrico y entren a trabajar las plantas eléctricas no se tiene como supervisar los niveles de diesel en los tanques de combustible de la estación.

Por estas razones es necesario realizar un sistema de monitorización de la presión y mediante un sistema de conversiones y análisis matemáticos se supervisan los niveles de diesel de la estación.

Para implementar el sistema de monitorización se colocaron transmisores de presión a la salida de suministro de cada tanque, la salida de los transmisores ira conectado a un módulo de comunicación (PLC) el cual realizara las rutinas correspondientes de escalamiento para posteriormente enviar la información mediante un protocolo de comunicación Modbus TCP/IP a un sistema SCADA.

Una vez recolectados los datos, éstos son enviados a una computadora con un sistema SCADA previamente diseñado y configurado para la comunicación Modbus TCP/IP que se encarga de visualizar por medio de gráficos el comportamiento de los tanques y además la generación de alarmas que indiquen el estado de los mismos.

Es por eso que el principal objetivo es implementar un prototipo de sistema HMI/SCADA para el control de los niveles de combustible de la estación surtidora del ICE, en San José, Avenida Segunda.

## Summary

The Department of Electromechanical Operation and Maintenance of the central Costa Rican Electricity Institute, located in San Jose, Second Avenue station has a dispenser for diesel power plants that supply energy to the building in the absence of commercial power flow provided by The National Company of Light and Energy.

The system for measuring the levels of diesel is now obsolete, and provides inaccurate information and has a monitoring system in real time because if there is a breakdown of electricity at work and enter non-power plants it is to monitor levels of diesel fuel in the tanks of the station.

For these reasons it is necessary to monitor system pressure and through a mathematical analysis of conversions and monitored the levels of diesel station.

To implement the monitoring system pressure transmitters were placed at the outlet of each tank supply, the transmitter output will be connected to a communication module (PLC) which performs the scaling routines corresponding to then send the information through a Modbus communication protocol TCP/IP to a SCADA system.

Once collected the data, they are sent to a computer with a SCADA system previously designed and configured for Modbus TCP/IP that handles graphics display through the behavior of the tanks and also the generation of alarms that indicate the their condition.

That is why the main objective is to implement a prototype HMI/SCADA system to control and supervise the levels of fuel dispenser ICE station in San José, Second Avenue.

## **Dedicatoria**

*“A Dios que me ha dado la vida, a mi familia que me ha dado fortaleza, para tener paciencia y perseverar ante los obstáculos, a mis amigos y compañeros de mil batallas por todo el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria”*

## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente, al Ing. Hugo Sánchez, además del Sr. Juan Carlos Brenes S y al Sr. Julio Morales H por brindarme su ayuda y apoyo para llevar a cabo el presente proyecto.

A los señores de la empresa Schneider Electric Centroamérica, Ing. Eric Campos, Ing. David Rodríguez y Ing. Diego Bianchini por la capacitación y atención brindada

También al Ing. Julio Stradi Granados, Ing. Juan Carlos Jiménez Robles y al Ing. Carlos Badilla Corrales, por el tiempo, paciencia, comprensión, soporte y orientación en todo momento.

A mis padres, a mis hermanos que son mi columna vertebral y me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

## Tabla de Contenidos

|   |    |
|---|----|
| Capítulo 1: Introducción. ....                            | 19 |
| 1.1 Problema existente e importancia de la solución. .... | 19 |
| 1.2 Solución seleccionada.....                            | 20 |
| Capítulo 2: Meta y Objetivos. ....                        | 23 |
| 2.1 Meta. ....  | 23 |
| 2.2 Objetivo General. ....                                | 23 |
| 2.3 Objetivos Específicos. ....                           | 23 |
| 2.3.1 Objetivos de hardware.....                          | 23 |
| 2.3.2 Objetivos de software. ....                         | 24 |
| 2.3.3. Objetivos de documentación.....                    | 24 |
| 2.3.4 Objetivos de implementación.....                    | 24 |
| Capítulo 3: Marco Teórico. ....                           | 26 |
| 3.1 Sistema HMI/SCADA ....                                | 26 |
| 3.2 Presión Manométrica. ....                             | 32 |
| 3.3 Transmisores o sensores de presión. ....              | 39 |
| 3.4 Medidores de Nivel.....                               | 39 |
| 3.4.1 Nivel Tubular.....                                  | 40 |
| 3.4.2 Medidor de nivel de flotador. ....                  | 41 |
| 3.4.3 Medidor de presión diferencial.....                 | 41 |
| 3.4.4 Medidor ultrasónico. ....                           | 41 |
| 3.5 PLC (Controlador Lógico Programable). ....            | 44 |
| 3.5.1 Comunicaciones. ....                                | 46 |
| 3.5.2 Información.....                                    | 46 |
| 3.5.3 Protocolo. ....                                     | 47 |

|                               |   |    |
|-------------------------------|---|----|
| 3.5.4                         | Modbus.....   | 47 |
| 3.5.5                         | Módulos de entradas/salidas discretas.....  | 48 |
| 3.5.6                         | Bases de E/S.....   | 49 |
| 3.5.7                         | Adaptadores de comunicación.....  | 49 |
| 3.5.8                         | Procesadores.....   | 50 |
| 3.5.9                         | Adaptadores opcionales. ....  | 50 |
| 3.5.10                        | Adaptadores y Procesadores con puerto Ethernet. ....  | 50 |
| 3.5.11                        | Adaptadores de comunicación Ethernet.....   | 50 |
| 3.5.12                        | Procesadores M1 E. ....   | 51 |
| 3.5.13                        | Software .....  | 53 |
| 3.6                           | Protocolo de Comunicación ModBus TCP/IP.....  | 53 |
| 3.7                           | Calculo del volumen de un líquido en un cilindro en posición horizontal..   | 58 |
| Capítulo 4: Metodología. .... |   | 64 |
| 4.1                           | Reconocimiento y definición del problema.....   | 64 |
| 4.2                           | Obtención y análisis de la información.....   | 65 |
| 4.3                           | Evaluación de alternativas y síntesis de una solución. ....   | 65 |
| 4.3.1                         | Investigación de experiencias anteriores sobre proyectos realizados   | 65 |
| 4.3.2                         | Recomendación de expertos en la materia. ....   | 66 |
| 4.4                           | Metodología del desarrollo del proyecto.....  | 67 |
| 4.4.1                         | Investigación sobre la medición de la presión relativa y absoluta y el volumen de un líquido dentro de un tanque horizontal. .... | 67 |
| 4.4.2                         | Investigación de los componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.....  | 67 |
| 4.4.3                         | Investigación sobre la selección de los transmisores de presión. ....   | 68 |
| 4.4.4                         | Investigación sobre la utilización de los adaptadores de comunicación MomentumTelemecanique 171CCC98030.....                      | 69 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 4.4.5  | Investigación sobre la fuente de alimentación de CD (corriente directa). | 70  |
| 4.4.6  | Desarrollo del SCADA encargado de la adquisición de datos. ....          | 71  |
| 4.4.7  | Investigación del protocolo de comunicación entre módulos. ....          | 71  |
| 4.4.8  | Prueba de los componentes adquiridos.....                                | 72  |
| 4.5  | Reevaluación y rediseño .....  | 72  |
| Capítulo 5: Descripción detallada de la solución ..... |  | 73  |
| 5.1  | Descripción del hardware.....  | 73  |
| 5.1.1  | Diagrama de primer nivel.....  | 73  |
| 5.1.2  | Diagrama de segundo nivel .....  | 74  |
| 5.1.3  | Diagrama de tercer nivel.....  | 76  |
| 5.2  | Descripción del software .....   | 120 |
| 5.2.1  | Descripción de la interfaz de usuario.....                               | 120 |
| 5.2.2  | Descripción de comunicación al adaptador del procesador.....             | 134 |
| Capítulo 6: Análisis de Resultados.....                |  | 138 |
| 6.1  | Trasmisores de presión.....  | 138 |
| 6.2  | Adaptador de procesador y comunicación .....                             | 150 |
| 6.3  | Visualización Gráfica.....   | 152 |
| 6.4  | Sistema de alarmas.....  | 153 |
| 6.5  | Posibles errores de la medición .....                                    | 153 |
| Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....        |  | 159 |
| 7.1  | Conclusiones.....  | 159 |
| 7.2  | Recomendaciones.....   | 162 |
| 7.2.1  | Trasmisores de Presión .....   | 162 |
| 7.2.2  | Protocolo de Comunicación.....   | 164 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.2.3 | Protocolo SMTP.....  | 165 |
|       | Bibliografía .....   | 166 |
|       | Apéndices.....   | 169 |
| A.1   | Glosario, abreviaturas y simbología .....  | 169 |
| A.2   | Información sobre la empresa/institución .....                                   | 170 |
| A.2.1 | Descripción de la empresa .....  | 170 |
| A.2.2 | Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto<br>..... | 171 |
|       | Anexos .....   | 172 |

## Índice de figuras

### Capítulo 1

Figura 1.2. 1 Diagrama de primer nivel de la solución seleccionada..... 21

### Capítulo 2

Figura 3.1. 1Esquema de un sistema típico SCADA ..... 27

Figura 3.1. 2Diagrama de bloques de la solución a implementar..... 32

### Capítulo 3

Figura 3.2. 1Fuerzas sobre un elemento de fluido en forma de cuña ..... 33

Figura 3.4.5. 1Diagrama de función del transmisor de presión SITRANS P, serie Z  
(7MF1562-...),..... 43

Figura 3.4.5. 2Diagrama del circuito del transmisor de presión SITRANS P..... 43

Figura 3.5. 1 Esquema simplificado de un CPU ..... 45

Figura 3.6. 1 Modos de codificación de datos en Modbus ..... 56

Figura 3.6. 2 Jerarquización de las capas del protocolo TCP/IP ..... 58

Figura 3.7. 1Nivel del líquido menor al radio dentro del cilindro horizontal ..... 60

Figura 3.7. 2 Nivel del líquido mayor al radio dentro del cilindro horizontal..... 63

### Capítulo 5

Figura 5.1.1. 1 Diagrama de primer nivel ..... 73

Figura 5.1.2. 1 Diagrama de segundo nivel..... 74

Figura 5.1.2.1. 1 Esquema general del módulo..... 75

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.1.3. 1 Diagrama de tercer nivel .....  | 76 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 1 Base de E/S Modicon Momentum 170 AAI 140 00 .....   | 78 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 2 Conectores de terminales.....   | 79 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 3 Conexión de fusibles de protección.....   | 80 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 4 Conexión puesta a tierra. ....  | 81 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 5 Cableado para entrada de tensión y de corriente.....  | 86 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 6 Parámetros de configuración para las palabras de salida ..                                  | 89 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 7 Parámetros de cada canal de entrada .....   | 91 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 8 Parámetros de entradas analógicas .....   | 93 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 9 Selección de la base analógica y asignación de registros de entrada y salida .....          | 93 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 10 Relación analógica/digital para la medición de entrada con una corriente de 4 a 20mA ..... | 94 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 1 Base de E/S Modicon Momentum 170 AAI 140 00 .....   | 78 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 2 Conectores de terminales.....   | 79 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 3 Conexión de fusibles de protección.....   | 80 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 4 Conexión puesta a tierra. ....  | 81 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 5 Cableado para entrada de tensión y de corriente.....  | 86 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 6 Parámetros de configuración para las palabras de salida ..                                  | 89 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 7 Parámetros de cada canal de entrada .....   | 91 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 8 Parámetros de entradas analógicas .....   | 93 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 9 Selección de la base analógica y asignación de registros de entrada y salida .....          | 93 |
| Figura 5.1.3.1.2.1. 10 Relación analógica/digital para la medición de entrada con una corriente de 4 a 20mA ..... | 94 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 1 Configuración del PLC.....  | 96 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 2 Selección del PLC .....   | 97 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 3 Cuadro de selección del FFB .....   | 99 |

|                       |  |     |
|-----------------------|--|-----|
| Figura 5.1.3.1.2.2. 4 | Conexión de FFB .....  | 100 |
| Figura 5.1.3.1.2.2.5  | Símbolo del FFB Scaling Word to Real .....   | 100 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 6 | Características del FFB SCALWTOR.....  | 101 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 7 | Editor de variables del proyecto. ....   | 104 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 8 | Carga del FBD desde el PLC .....   | 105 |
| Figura 5.1.3.1.2.2. 9 | Proyecto FBD del escalamiento de las entradas analógicas del transmisor de presión hacia las entradas del sistema SCADA..... | 106 |
|                       |  |     |
| Figura 5.1.3.1.3. 1   | Adaptador del Procesador 171CCC 980 30 .....   | 107 |
| Figura 5.1.3.1.3. 2   | Funciones de los LED del procesador.....   | 108 |
| Figura 5.1.3.1.3. 3   | Características del adaptador de procesador M1 Momentum 171 CCC 980 30.....  | 109 |
| Figura 5.1.3.1.3. 4   | Panel frontal del adaptador opcional .....   | 110 |
| Figura 5.1.3.1.3. 5   | Función del indicador LED .....  | 111 |
| Figura 5.1.3.1.3. 6   | Parámetros compatibles de comunicación para Modbus ....  | 112 |
| Figura 5.1.3.1.3. 7   | Almacenamiento de la dirección IP mediante BOOTPLT ....  | 113 |
| Figura 5.1.3.1.3. 8   | Pasos para establecer la dirección IP al adaptador de procesador y comunicación.....   | 114 |
| Figura 5.1.3.1.3. 9   | Pasos para establecer la dirección IP al adaptador de procesador y comunicación.....   | 115 |
| Figura 5.1.3.1.3. 10  | Ventana para conexión del PLC a la red.....  | 117 |
| Figura 5.1.3.1.3. 11  | Ventana de control online del PLC .....  | 118 |
| Figura 5.1.3.1.3. 12  | Ventana de almacenamiento de dirección IP en memoria flash.....  | 118 |
| Figura 5.1.3.1.3. 13  | Conexión del PLC mediante protocolo TCP/IP.....  | 119 |
|                       |  |     |
| Figura 5.2.1.1. 1     | Configuración del símbolo variable .....   | 125 |
| Figura 5.2.1.1. 2     | Interfaz Gráfica de los Niveles de combustible.....  | 126 |
| Figura 5.2.1.1. 3     | Interfaz Gráfica de los Porcentajes de combustible .....   | 127 |
|                       |  |     |
| Figura 5.2.1.2. 1     | Resumen de alarmas del sistema .....   | 133 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5.2.2. 1 Configuración de la red de comunicación .....          | 134 |
| Figura 5.2.2. 2 Configuración del dispositivo de comunicación .....    | 135 |
| Figura 5.2.2. 3 Configuración de la red Ethernet.....                  | 136 |
| Figura 5.2.2. 4 Tabla de configuración de los canales de entrada ..... | 136 |

## Capítulo 6

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.2. 1 Prueba de lectura de valores tipo palabra y real a partir de un variador de potencia correspondiente a una entrada ..... | 151 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.3. 1 Monitorización de comunicación del Sistema SCADA al adaptador de procesador y comunicación..... | 152 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.5. 1 Comportamiento del transmisor de presión..... | 154 |
| Figura 6.5. 2 Efecto de error cero.....                     | 155 |
| Figura 6.5. 3 Efecto de error de span.....                  | 156 |
| Figura 6.5. 4 Efecto de un error de linealidad.....         | 157 |
| Figura 6.5. 5 Efecto de un error de histéresis.....         | 158 |

## Índice de tablas

### Capítulo 3

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.2. 1 Pesos Específicos de sólidos y líquidos ..... | 38 |
|--|----|

### Capítulo 5

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 1 Descripción de la unidad de E/S TSX Momentum .....                                  | 79  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 2 Especificaciones de la base de E/S 170 AAI 140 00. ....                             | 82  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 3 Características de las entradas analógicas de la base de E/S<br>170 AAI 140 00..... | 83  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 4 Datos específicos del rango de la base E/S 170 AAI 140 00<br>.....                  | 84  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 5 Asignación de bloques de terminales .....   | 85  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 6 Asignación de los valores de entradas analógicos .....                              | 87  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 7 Asignación de los valores de salida analógicos.....                                 | 88  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 8 Códigos de configuración para cada canal de entrada<br>analógica .....              | 90  |
| Tabla 5.1.3.1.2.1. 9 Valor de los canales de entrada analógica .....                                     | 92  |
| Tabla 5.1.3.1.2.2. 1 Descripción del modelo de procesador.....   | 95  |
| Tabla 5.1.3.1.3 1 Descripción de los conectores e indicadores.....                                       | 108 |
| Tabla 5.1.3.1.3 2 Descripción del panel frontal del adaptador opcional .....                             | 110 |
| SubTabla 6.1. 1 Valores de Corriente en función de la presión manométrica.....                           | 139 |
| SubTabla 6.1. 2 Valores de Corriente en función de la presión manométrica.....                           | 140 |
| SubTabla 6.1. 3 Cantidad de litros en función de la presión manométrica.....                             | 142 |
| SubTabla 6.1. 4 Cantidad de litros en función de la presión manométrica.....                             | 143 |
| Sub Tabla 6.1. 5 Cantidad de litros en función de la presión manométrica.....                            | 144 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| SubTabla 6.1. 6 | Cantidad de litros en función de la presión manométrica..... | 145 |
| SubTabla 6.1. 7 | Valores de cantidad de litros en función de la altura.....   | 147 |
| SubTabla 6.1. 8 | Valores de cantidad de litros en función de la altura.....   | 148 |
| SubTabla 6.1. 9 | Valores de cantidad de litros en función de la altura.....   | 149 |

## **Índice de gráficos**

|   |     |
|---|-----|
| Grafico 6.1. 1 Corriente Eléctrica en función de la presión manométrica ..... | 141 |
| Grafico 6.1. 2 Presión manométrica en función de cantidad de litros.....      | 146 |
| Grafico 6.1. 3 Cantidad de litros en función de la altura .....               | 150 |

## **Capítulo 1: Introducción.**

### **1.1 Problema existente e importancia de la solución.**

El ICE es una empresa que se fortalece a partir de dos grandes sectores como lo son las telecomunicaciones y la energía; el sector energía tiene desarrollo de proyectos de generación, transmisión y distribución de electricidad, operación y mantenimiento de plantas generadoras de electricidad y laboratorios de eficiencia energética y metrológicos de variables eléctricas, mientras que el sector de telecomunicaciones brinda servicios de telefonía móvil, residencial, empresarial, además de servicios de internet, videoconferencia, servicios RDSI, VPN, entre otros.

La Dirección Técnica de Infraestructura Electromecánica y Civil del ICE Central en San José como área integral de los dos sectores posee el Departamento de Proceso Operación y Mantenimiento, que tiene a cargo el mantenimiento de equipo electromecánico, que involucra generadores eléctricos, aires acondicionados, equipo de fuerza (rectificadores, banco de baterías), UPS, chillers y sistemas de comunicación digital, así como la atención de averías, gestión remota, pequeñas instalaciones o mejoras de los mismos.

Al ser un departamento supervisor es aconsejable la *“implementación de una política de seguridad física”*, como es la monitorización de todos de los sistemas eléctricos, electrónicos y electromecánicos que conforman el ICE Central en San José.

Como parte de la modernización el departamento de Proceso Operación y Mantenimiento del ICE Central en San José implementará un sistema de gestión, para la supervisión y adquisición de datos del suministro de energía, específicamente en los tanques de combustible, para la monitorización de los niveles de diesel, con el que se alimentan a cada una de las plantas generadoras de electricidad.

Actualmente el ICE Central en San José cuenta con un suministro de energía comercial brindada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y un respaldo de generadores eléctricos, cada uno de ellos cuenta con un tanque de consumo diario y otro de almacenamiento, con un sistema de medición impreciso y en algunos casos inexistente.

En caso de que exista el faltante del flujo eléctrico comercial, o algún equipo de fuerza posea una amenaza de falla entra en funcionamiento los generadores eléctricos del edificio; la ausencia de un sistema de monitorización en tiempo real de los niveles de diesel en los tanques de combustible, de cada uno de los generadores, complica las tareas de reparación de averías y funcionamiento de equipos electrónicos, eléctricos y electromecánicos, debido a que no se cuenta con una supervisión exacta de la cantidad de litros de diesel que contienen los tanques de cada uno de los generadores para entregar energía al edificio.

La previa visualización de los niveles de diesel de las plantas generadoras, evita las caídas en los sistemas de comunicación dentro y fuera del área metropolitana; es importante esta implementación de estos tipos de sistemas de gestión para la institución ya que esta central es un puente importante de comunicación en la telefonía móvil y residencial, y de ahí depende la calidad y seguridad de servicio que brinde la institución.

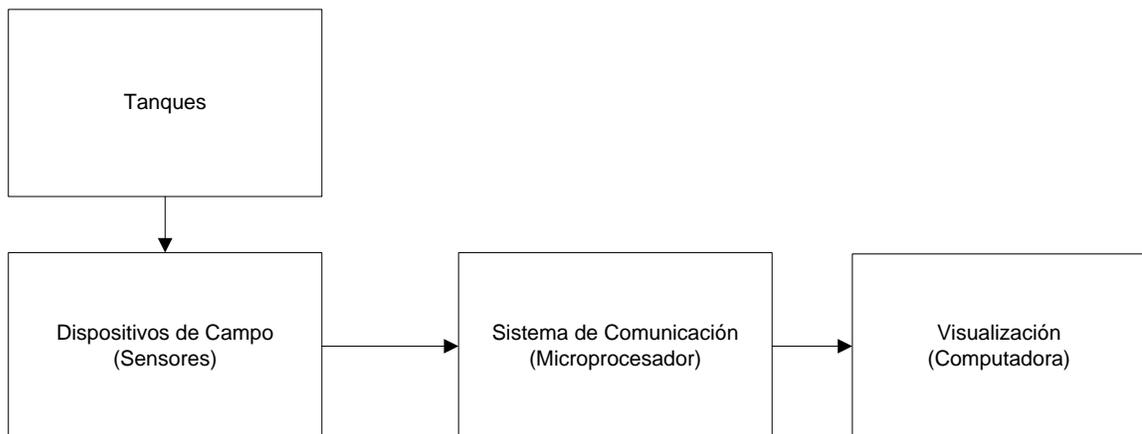
## **1.2 Solución seleccionada.**

Se implementará un sistema prototipo de monitorización tipo SCADA/HMI, este sistema es una aplicación de software diseñada que se encargará de supervisar y controlar a distancia el sistema de medición de los niveles de diesel en los tanques de combustible,

La utilización del PLC se lleva a cabo debido a que este dispositivo electrónico programable se utiliza para controlar procesos en el campo industrial, y nos permite:

- Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- Reemplazar temporizadores y contadores electromecánicos.
- Actuar como interface entre una PC y el proceso de control.
- Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- Controlar y comandar tareas repetitivas y peligrosas.
- Regulación de aparatos remotos desde un punto de la fábrica.

Es así como se muestra en la figura 1.2.1 un diagrama de primer nivel del sistema; es un sistema que proporcionará comunicación con los dispositivos de campo y monitoriza el proceso de forma automática desde un microprocesador o PLC el cual envía la información generada, al computador del centro de gestión.



**Figura 1.2. 1**Diagrama de primer nivel de la solución seleccionada

Se escoge este tipo de sistema debido a que permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta y dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas. El sistema será capaz

de brindar imágenes en tiempo real que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real.

## **Capítulo 2: Meta y Objetivos.**

### **2.1 Meta.**

Brindar al departamento de Proceso Operación y Mantenimiento del ICE Central de San José, un sistema prototipo SCADA/HMI para la monitorización y adquisición de datos en tiempo real de los niveles de diesel en los tanques de combustible de las plantas generadoras de energía.

### **2.2 Objetivo General.**

Estudiar, diseñar e implementar un sistema prototipo de monitorización y supervisión remota capaz de brindar información sobre los niveles de diesel en los tanques de combustible del ICE Central de San José.

### **2.3 Objetivos Específicos.**

#### **2.3.1 Objetivos de hardware.**

- Implementar a partir de un sistema de medición electrónico, capaz de obtener los niveles de diesel en los tanques de combustible de la estación surtidora.
- Implementar una red de comunicación Modbus TCP/IP que permita enviar los datos obtenidos en la estación surtidora hacia la central de operaciones mediante el uso de la red Ethernet existente en el ICE Central de San José.

### **2.3.2 Objetivos de software.**

- Diseño de una interfaz gráfica, mediante un software bajo licencia, la cual permita elaborar un sistema SCADA/HMI que permita visualizar en tiempo real el proceso monitorizado.
- Diseñar rutinas que permitan generar alarmas que logren alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable.
- Diseñar mediante un lenguaje de bloques funcionales (FDB) el escalamiento de las entradas analógicas para su escalamiento y conversión a unidades de presión absoluta (psi).
- Generar una ecuación matemática dentro del sistema SCADA capaz de tomar los valores de entrada y realice la conversión necesaria para la obtención de valores reales a unidades de litros (lts).

### **2.3.3. Objetivos de documentación.**

- Elaborar un informe final que documente el estudio teórico práctico, los resultados, conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### **2.3.4 Objetivos de implementación.**

- Implementación de un tablero de energía para la alimentación de corriente directa y de corriente alterna de cada uno de los dispositivos electrónicos del sistema de medición y comunicación de datos.
- Implementación de transmisores de presión manométrica para la medición de la altura del líquido en el tanque de diesel a partir del bar de salida.

- Implementación de un adaptador de comunicación Ethernet, M1 Momentum PLC para la recepción de las señales analógicas y el envío de datos digitales con todos los dispositivos de comunicación compatibles con Modbus TCP.
- Implementación de un conmutador o *switch* o dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores encargado de pasar datos de un segmento a otro de acuerdo a una dirección de destino.

### **Capítulo 3: Marco Teórico.**

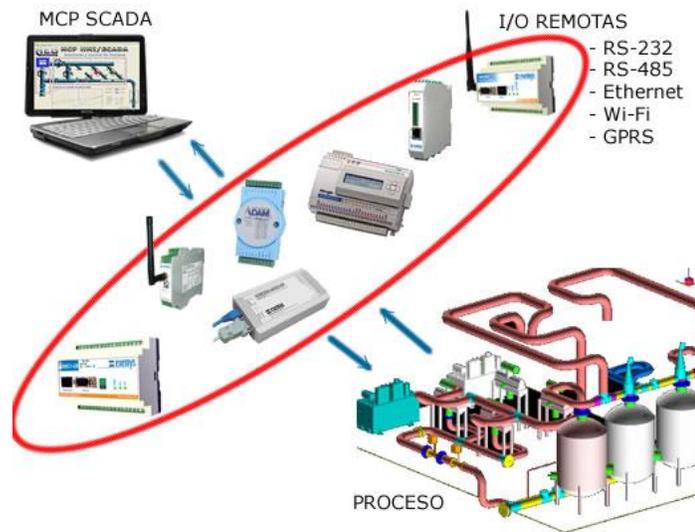
Hoy en día para realizar mediciones de líquidos contenidos en recipientes de gran tamaño y más específicamente combustible, muchas empresas lo hacen manualmente, o mediante uso de patrones antiguos de medición, así como el control de reportes de alarmas y cantidad de litros, no se encuentran automatizados de una forma directa a través de transductores que se encuentran calibrados y diseñados .especialmente para aplicaciones de este tipo.

La importancia de usar sistemas HMI/SCADA radica en el uso de tecnología como es el uso de controladores lógicos programables, utilización de protocolos de comunicación, el uso de la red ETHERNET, y poder realizar labores de monitoreo a un nivel más preciso.

#### **3.1 Sistema HMI/SCADA**

Tomando en cuenta que se desea un sistema de medición confiable en el que brinde información al usuario de manera acertada y la cual tenga innovación tecnológica debido a que la actual es obsoleta y en cierta parte inexistente, se pretende utilizar sistema SCADA "Supervisory Control And Data Acquisition" (Control y Adquisición de Datos de Supervisión), mencionado anteriormente; este sistema estará basado en una computadora que permita supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado, proveyendo información que se genera en el proceso.

Se presenta en la figura 3.1.1 un esquema de lo que es un ejemplo de la aplicación del sistema SCADA en áreas industriales.



**Figura 3.1.** 1Esquema de un sistema típico SCADA<sup>1</sup>

El sistema que se diseñará e implementará a nivel de prototipo se trata de una aplicación de hardware y software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control industrial, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y monitorizando el proceso de forma automática desde una computadora.

La información generada en el proceso productivo se envía a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa que compartan una misma red de internet., es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, operación y mantenimiento.

Cada sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware

<sup>1</sup> Tomado de: <http://www.mcpscada.com/contenedor.php?link=automatismo>

especializado y luego esa información la transmite hacia un equipo de radio por medio de su puerto serial RS-232 y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores y registradores. Además permiten monitorizar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Dentro de lo que se requiere para la solución al problema, el software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
  
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser almacenados para su proceso, sobre una hoja de cálculo.

- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos sobre la CPU del ordenador.

Además dentro de las funciones que el software SCADA deberá tener como requerimientos serán:

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, permitiendo dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control.
- Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conformarán la información que alimenta el sistema, esta información será procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- Visualización gráfica dinámica: El sistema será capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- Generación de reportes: El sistema permitirá generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logrará alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

- Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
- Programación de eventos: Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

Ahora bien el sistema SCADA necesitan comunicarse por medio de una red, puertos con base RJ45, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, ésta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico u cable UTP) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital), es por ello que se debe seguir un protocolo de comunicación que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información.

Dentro de la solución y para la implementación del sistema SCADA en la comunicación deben existir tres elementos necesariamente:

- Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes.
- Un equipo emisor que puede ser el MTU.
- Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU.

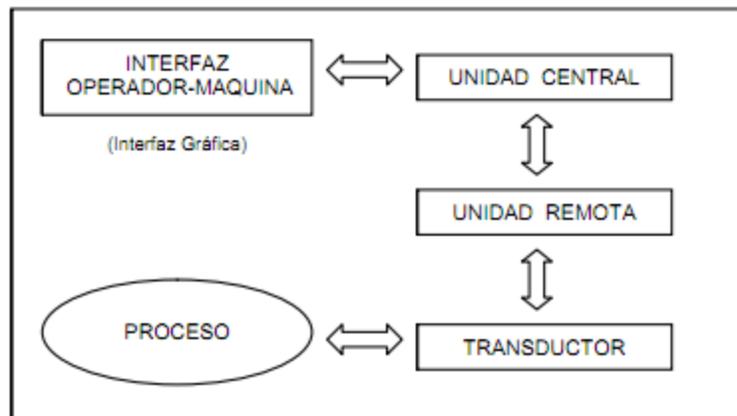
Cabe definir términos que son importantes en el desarrollo e implementación del sistema como lo son en las telecomunicaciones, el MTU y el RTU que son llamados Equipos Terminales de Datos (DTE, Data Terminal Equipments). Cada

uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación.

Finalmente haciendo un resumen de cómo estará integrado nuestro sistema SCADA se muestra numerado a continuación, y en la figura 3.1.2 se muestra un diagrama de bloques de la misma solución:

- **Interfaz Operador Máquinas:** Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.
- **Unidad Central (MTU):** Conocido como unidad maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- **Unidad Remota (RTU):** Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.
- **Sistema de Comunicaciones:** Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
- **Transductores:** Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy

importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.



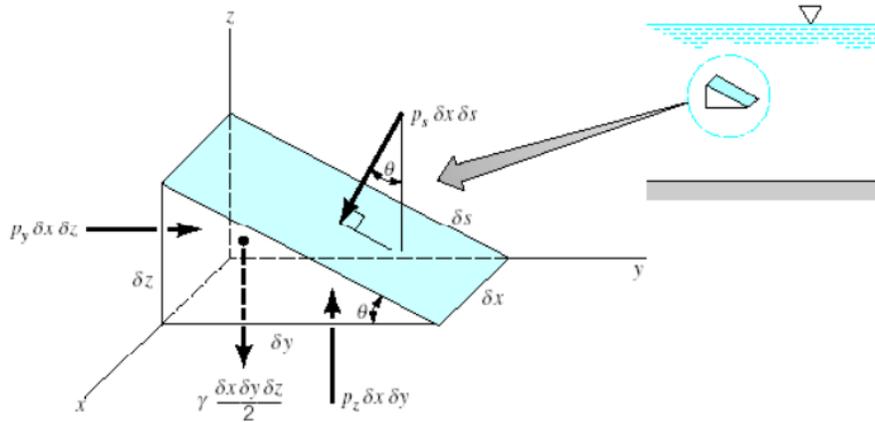
**Figura 3.1. 2**Diagrama de bloques de la solución a implementar

Con este sistema se pretende brindar una monitorización general a los tanques de diesel de la subestación donde se verifiquen los niveles de combustible.

### **3.2 Presión Manométrica.**

Físicamente la presión es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

Considere el diagrama de cuerpo libre en la figura 3.2.1 obtenido al eliminar una cuña triangular de fluido de alguna ubicación dentro de una masa de fluido



**Figura 3.2. 1** Fuerzas sobre un elemento de fluido en forma de cuña<sup>2</sup>

Como no hay fuerzas cortantes las únicas fuerzas externas que actúan sobre la cuña se deben a la presión y al peso.

Las ecuaciones 3.2.1 y 3.2.2 de movimiento (Segunda Ley de Newton,  $F = m \cdot a$ ) en las direcciones Y y Z son, respectivamente:

$$\sum F_Y = p_Z \cdot \delta_X \cdot \delta_Z - p_S \cdot \delta_X \cdot \delta_S \cdot \text{sen}\theta = \rho \cdot \frac{\delta_X \cdot \delta_Y \cdot \delta_Z}{2} \cdot a_Y \quad (3.2.1)$$

$$\sum F_Z = p_Z \cdot \delta_X \cdot \delta_Y - p_S \cdot \delta_X \cdot \delta_S \cdot \text{cos}\theta - \gamma \cdot \frac{\delta_X \cdot \delta_Y \cdot \delta_Z}{2} = \rho \cdot \frac{\delta_X \cdot \delta_Y \cdot \delta_Z}{2} \cdot a_Z \quad (3.2.2)$$

Para obtener la fuerza generada por la presión es necesario multiplicar la presión por un área adecuada. Según la geometría de la cuña, se tiene:

$$\delta_Y = \delta_S \cdot \text{cos}\theta \quad (3.2.3)$$

$$\delta_Z = \delta_S \cdot \text{sen}\theta \quad (3.2.4)$$

<sup>2</sup><http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/Mec%C3%A1nica%20I%20-%20Presi%C3%B3n%20y%20manometr%C3%ADa%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf>

Por lo que las ecuaciones de movimiento se pueden escribir como:

$$p_Y - p_S = \rho \cdot a_Y \cdot \frac{\delta_Y}{2} \quad (3.2.5)$$

$$p_Z - p_S = (\rho \cdot a_Y + \gamma) \cdot \frac{\delta_Y}{2} \quad (3.2.6)$$

Como interesa lo que sucede en un punto, se considera el límite cuando  $\delta_X$ ,  $\delta_Y$  y  $\delta_Z$  tienden a cero, se concluye que:

$$p_Y = p_S \quad (3.2.7)$$

$$p_Z = p_S \quad (3.2.8)$$

Es decir:

$$p_S = p_Y = p_Z \quad (3.2.9)$$

Se puede decir que la presión en un punto de un fluido en reposo o en movimiento, es independiente de la dirección en tanto no haya esfuerzos cortantes: **Ley de Pascal.**

Propiedades de la presión

- La presión en un punto de un fluido en reposo es igual en todas direcciones.
- La presión en todos los puntos situados en un mismo plano horizontal en el seno de un fluido en reposo es la misma.

- En un fluido en reposo la fuerza de contacto que ejerce en el interior, una parte del fluido con la otra contigua el mismo tiene la dirección normal a la superficie de contacto.
- La fuerza de presión en un fluido en reposo se dirige siempre hacia el interior el fluido, es decir, es una compresión, no una tracción.
- La superficie libre de un líquido siempre es horizontal La superficie libre de un líquido siempre es horizontal a menos que, a menos que existan fuerzas externas que influyan.

De otra manera más general, cuando sobre una superficie plana de área  $A$  se aplica una fuerza normal  $F$  de manera uniforme, la presión  $P$  viene dada por  $P = \frac{F}{A}$  y que además se mide en una unidad derivada que se denomina libra por pulgada cuadrada (psi) que es equivalente a una fuerza total de una libra actuando en una pulgada cuadrada.

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.2.10)$$

En un caso general donde la fuerza puede tener cualquier dirección y no estar distribuida uniformemente en cada punto la presión se define como:

$$P = \frac{dF}{dA} \cdot n \quad (3.2.11)$$

Donde  $n$  es un vector unitario y normal a la superficie en el punto donde se pretende medir la presión.

En determinadas aplicaciones la presión se mide no como la presión absoluta sino como la presión por encima de la presión atmosférica, denominándose presión relativa, presión normal, presión de gauge o presión manométrica.

Consecuentemente, la presión absoluta es la presión atmosférica más la presión manométrica (presión que se mide con el manómetro).

Se llama presión manométrica a la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica. Se aplica tan solo en aquellos casos en los que la presión es superior a la presión atmosférica, pues cuando esta cantidad es negativa se llama presión de vacío.

Muchos de los aparatos empleados para la medida de presiones utilizan la presión atmosférica como nivel de referencia y miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica.

Cuando la presión se mide en relación a un vacío perfecto, se llama presión absoluta; cuando se la mide con respecto a la presión atmosférica, se llama presión manométrica.

El concepto de presión manométrica fue desarrollado porque casi todos los manómetros marcan cero cuando están abiertos a la atmósfera. Cuando se les conecta al recinto cuya presión se desea medir, miden el exceso de presión respecto a la presión atmosférica. Si la presión en dicho recinto es inferior a la atmosférica, señalan cero.

Un vacío perfecto correspondería a la presión absoluta cero. Todos los valores de la presión absoluta son positivos, porque un valor negativo indicaría una tensión de tracción, fenómeno que se considera imposible en cualquier fluido.

Las presiones por debajo de la atmosférica reciben el nombre de presiones de vacío y se miden con medidores de vacío (o vacuómetros) que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta. Las

presiones absoluta, manométrica y de **vacío** son cantidades positivas y se relacionan entre sí por medio de:

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}, \text{ para presiones superiores a la } P_{atm} \quad (3.2.12)$$

$$P_{vac} = P_{abs} - P_{atm}, \text{ para presiones inferiores a la } P_{atm} \quad (3.2.13)$$

$P_{man}$  = Presión manométrica

$P_{vac}$  = Presión de vacío

$P_{abs}$  = Presión absoluta

$P_{atm}$  = Presión atmosférica

El principio de Pascal puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter altamente incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es prácticamente constante, de modo que de acuerdo con la ecuación:

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (3.2.14)$$

Donde:

P, presión total a la profundidad.

$P_0$ , presión sobre la superficie libre del fluido.

$\rho$ , densidad del fluido.

g, aceleración de la gravedad.

h, Altura, medida en metros.

Si se aumenta la presión sobre la superficie libre, por ejemplo, la presión total en el fondo ha de aumentar en la misma medida, ya que el término  $\rho \cdot g \cdot h$  no varía al no hacerlo la presión total. Si el fluido no fuera incompresible, su densidad respondería a los cambios de presión y el principio de Pascal no podría cumplirse. Por otra parte, si las paredes del recipiente no fuesen indeformables, las

variaciones en la presión en el seno del líquido no podrían transmitirse siguiendo este principio.

Debido al principio de Pascal involucra la constantes de la densidad de específica esta se define al cociente entre la masa de un cuerpo homogéneo y su volumen, mientras que el peso específico, en cambio, es el cociente entre el peso del cuerpo ( $P = m \cdot g$ ) y el volumen.

Las unidades se obtienen de dividir las unidades de masa o peso por las de volumen:

- **Densidad:**  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$
- **Peso específico:**  $\text{dina/cm}^3$ ,  $\text{N/m}^3$ .

Se muestra en la tabla 3.2.1 con distintas sustancias con su respectiva densidad específica

**Tabla 3.2. 1** Pesos Específicos de sólidos y líquidos

| Sustancia | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Sustancia   | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
| Agua      | 1.00                        | Níquel      | 8.60                        |
| Aluminio  | 2.73                        | Petróleo    | 0.75                        |
| Azúcar    | 1.60                        | Platino     | 21.43                       |
| Cobre     | 8.50                        | Agua de mar | 1.02                        |
| Diesel    | 0.89                        | Ámbar       | 1.01                        |
| Hierro    | 7.86                        | Caucho      | 0.90                        |
| Leche     | 1.08                        | Cinc        | 7.15                        |
| Mercurio  | 13.6                        | Glicerina   | 1.26                        |

### **3.3 Transmisores o sensores de presión.**

Se llama sensor al instrumento que produce una señal, usualmente eléctrica, que refleja el valor de una propiedad mediante alguna correlación definida (ganancia).

En términos estrictos, un sensor es un instrumento que no altera la propiedad sensada. Por ejemplo, un sensor de temperatura sería un instrumento tal que no agrega ni cede calor a la masa sensada, en síntesis un instrumento de masa cero o que no contacta la masa a la que se debe medir la presión en este caso del proyecto.

Existe, además, el concepto estricto de transductor, este es un instrumento que convierte una forma de energía en otra. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza (por ejemplo electromecánica, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa), aunque no necesariamente en esa dirección. Es un dispositivo usado principalmente en la industria, en la medicina, en la agricultura, en robótica, en aeronáutica, etc. para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos o viceversa. Los transductores siempre consumen algo de energía por lo que la señal medida resulta debilitada.

Los transductores siempre retiran algo de energía desde la propiedad medida, de modo que al usarlo para obtener la cuantificación de una propiedad en un proceso, se debe verificar que la pérdida no impacte al proceso de sensado en alguna magnitud importante.

### **3.4 Medidores de Nivel.**

Los medidores de nivel pueden clasificarse en dos grupos generales: directos e indirectos. Los primeros aprovechan la variación de nivel del material (líquido o sólidos granulares) para obtener la medición. Los segundos, usan una

variable, tal como presión, que cambia con el nivel del material. Para cada caso, existen instrumentos mecánicos y eléctricos disponibles. A continuación se describen una serie de medidores de nivel tanto directos como indirectos utilizados hoy en día en la industria:

- Indicadores Locales
- Transmisores de nivel en líquidos:

*Método indirecto:*

- Desplazamiento (flotador)
- Presión diferencia
- Burbujeo

*Método directo:*

- Radioactivo
- Capacitivo
- Ultrasónicos
- Conductivímetro
- Radar
- Servoposicionador

### **3.4.1 Nivel Tubular.**

Consiste en un tubo de material transparente y rígido conectado al depósito por dos bridas con dos válvulas manuales de corte. El líquido sube por el tubo hasta igualar al nivel del depósito.

Algunas limitaciones de este tipo de medición a nivel tubular son las siguientes:

- No soportan mucha presión
- No soportan mucha temperatura
- No son resistente a los impactos
- No se pueden usar líquidos que manchen el interior del tubo

### **3.4.2 Medidor de nivel de flotador.**

Constituido por un flotador pendiente de un cable, un juego de poleas y un contrapeso exterior, existen distintos modelos por mencionar uno, el de regleta, donde el contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regleta calibrada, de unión magnética: el flotador hueco, que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético. El imán seguidor suspendido de una mueve una aguja indicadora, además es fácil de instalar contactos a lo lago de la regleta para fijar alarmas de nivel.

### **3.4.3 Medidor de presión diferencial.**

En la utilización de un medidor de presión diferencial las tomas de presión diferencial; se hacen, una en la parte inferior, otra en la parte superior, siempre y cuando se trate de tanques cerrados sometidos a presión, cuando es para tanques abiertos la toma de baja presión posee un respiradero a la atmósfera por lo tanto:

- Tanque abierto: el nivel del líquido es proporcional a la presión en el fondo, se debe colocar solamente un medidor de presión.
- Tanque cerrado: la diferencia de presión ejercida por el líquido en el fondo y la presión que tiene el depósito por lo tanto se colocan dos sensores uno en la parte inferior del suministro (salida) y otra en la parte superior del suministro (entrada).

### **3.4.4 Medidor ultrasónico.**

Constan de un medidor de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 y 40 kHz) que se propaga por la fase gas hasta que choca con el líquido o sólido, se refleja y alcanza el receptor situado en el mismo punto que el emisor.

Cuando se desee implementar este tipo de medidor se deben considerar ciertos aspectos que se citan a continuación:

- El tiempo entre la emisión de la onda y la recepción del eco es inversamente proporcional al nivel.
- El tiempo depende de la temperatura, por lo que hay que compensar las medidas.
- Hay que evitar que existan obstáculos en el recorrido de las ondas, aunque algunos medidores compensan los ecos fijos debidos al perfil del depósito.
- Sensibles al estado de la superficie del líquido (espumas).

#### **3.4.5 Medidor de presión relativa y absoluta.**

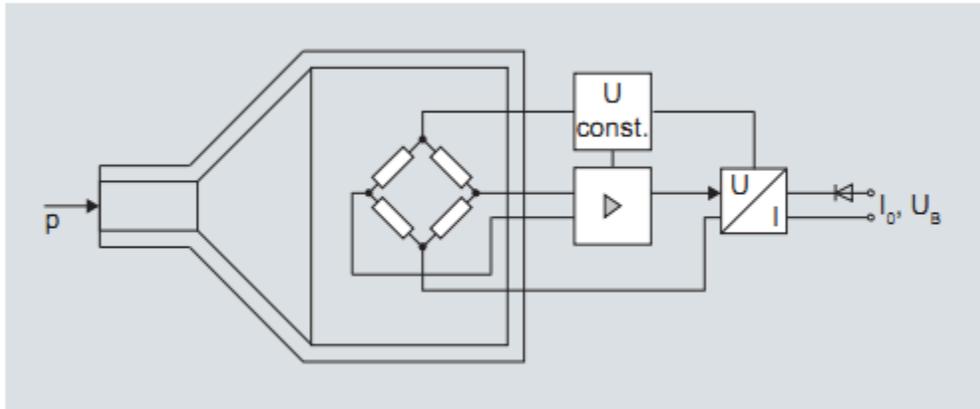
El transmisor de la presión relativa se utiliza en gran parte para medir: gases, líquidos y vapores corrosivos y no corrosivos.

Están contruidos de la siguiente manera, los componentes principales del transmisor de presión son los siguientes:

- Caja de latón con célula de medida de silicio y placa electrónica
- Conexión al proceso
- Conexión eléctrica
- La célula de medida de silicio tiene un transductor extensométrico de capa fina, que está colocado en una membrana cerámica.
- La membrana cerámica puede utilizarse también para fluidos corrosivos.
- La construcción del transmisor de presión depende del rango de medida. (Rango de medida < 1 bar (< 14.5 psi))

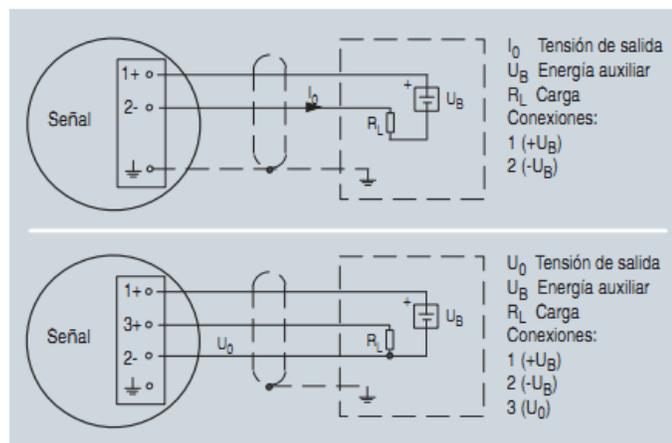
Los transmisores de presión relativa permiten medir la presión de gases, líquidos y vapores corrosivos y no corrosivos. La célula de medida dispone de

compensación de temperatura. Se muestra en la figura 3.4.5.1 el circuito eléctrico del transmisor de presión SITRANS P, serie Z (7MF1562-...).



**Figura 3.4.5. 1**Diagrama de función del transmisor de presión SITRANS P, serie Z (7MF1562-...)<sup>3</sup>

Se muestra en la figura 3.4.5.2 también el diagrama del circuito, con un esquema de conexión para su funcionamiento.



Transmisores de presión SITRANS P, serie Z (7MF1564-...), esquema de conexión, con salida de corriente (arriba) y salida de tensión (abajo)

**Figura 3.4.5. 2**Diagrama del circuito del transmisor de presión SITRANS P<sup>4</sup>

<sup>3</sup>ProcessAutomation, Instrumentación de campo para la automatización de procesos. Catalogo F1 01 - 2009

<sup>4</sup>ProcessAutomation, Instrumentación de campo para la automatización de procesos. Catalogo F1 01 - 2009

Dentro de los beneficios que brinda este tipo de medidor de presión son los siguientes:

- Alta precisión de medida
- Caja robusta de latón
- Para fluidos corrosivos y no corrosivos
- Para medir la presión de gases, líquidos y vapores
- Célula de medida con compensación de temperatura
- Diseño compacto

El transmisor para presión relativa se utiliza sobre todo en los siguientes sectores industriales:

- Energía
- Fabricación de maquinaria
- Construcción naval
- Abastecimiento de agua etc.

Un ejemplo de aplicación típico es la medición de la presión de aire comprimido con aceite en compresores o estaciones compresoras.

### **3.5 PLC (Controlador Lógico Programable).**

El controlador lógico programable (PLC) es un equipo electrónico que se programa en lenguaje no informático, (lenguaje escalera) diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

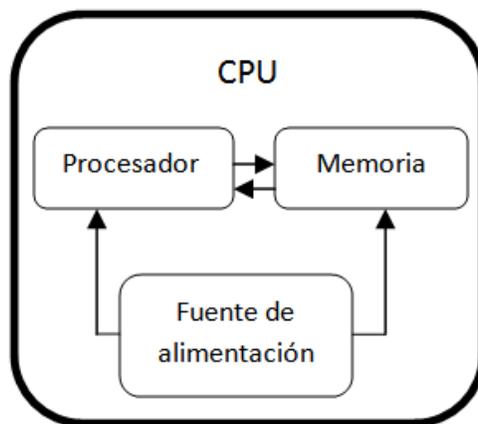
Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación

Básicamente un PLC es el cerebro de un proceso industrial de producción o fabricación, reemplazando a los sistemas de control de relés y temporizadores cableados. Se puede pensar en un PLC como una computadora desarrollada para soportar las severas condiciones a las que puede ser sometida en un ambiente

industrial, así sea en una planta cervecera sólo por nombrar algunos ejemplos. Dicho de otra forma, el auto que usted conduce, el diario que usted lee, las bebidas que usted consume, son producidos valiéndose de la tecnología de la automatización industrial, gracias a la invención que realizara Schneider Electric casi cuarenta años atrás: el PLC.

Un controlador lógico programable o PLC está compuesto por dos elementos básicos: el CPU, (Central Processing Unit) o Unidad Central de Procesamiento y la interfase de Entradas y Salidas,

Se muestra en la figura 3.5.1 un esquema simplificado que representa las partes principales de una CPU: El procesador, la memoria y la fuente de alimentación. Este conjunto de componentes le otorgan la inteligencia necesaria al controlador la CPU lee la información en las entradas provenientes de diferentes dispositivos de censados (pulsadores, finales de carrera, sensores inductivos, medidores de presión, entre otros.), ejecuta el programa de almacenando en la memoria y envía los comandos a las salidas para los dispositivos de control (pilotos luminosos, contactores, válvulas, solenoides, entre otros.)



**Figura 3.5. 1** Esquema simplificado de un CPU

### **3.5.1 Comunicaciones.**

Una red está formada por un conjunto de dispositivos electrónicos que tienen la habilidad de comunicarse entre ellos, utilizando un medio físico y un idioma común.

La automatización de un proceso industrial requiere la implementación de una red cuando se necesita:

- Controlar un proceso entre varios PLC
- Compartir información del proceso
- Conocer el estado de los dispositivos
- Diagnosticar en forma remota
- Transferir archivos
- Reportar alarmas

### **3.5.2 Información.**

La información que se necesita compartir en un proceso puede diferenciarse por su extensión:

Bits que reportan el estado (activa/inactiva) de una entrada o salida directamente vinculadas a elementos de campo como: pulsadores, finales de carrera, sensores, actuadores, válvulas, solenoides, contactores, entre otros.

Bytes, palabras, o un conjunto de éstas para conocer el valor de una variable analógica, para cambiar los parámetros de un temporizador, para enviar un mensaje de texto a un terminal gráfico, etc.

Archivos o paquetes de información más complejos de extensión considerable para los cuales se requiere alta velocidad de intercambio de datos.

### **3.5.3 Protocolo.**

Se puede definir a un protocolo como el idioma, lenguaje o estándar que utilizan dos o m dispositivos electrónicos para "entenderse" y comunicarse entre sí.

Un protocolo define cómo se identifican dispositivos entre sí dentro de la red, el formato que debe tomar la información en tránsito y cómo es procesada dicha información una vez que llegó a su destino.

Los protocolos también definen procedimientos para manejar transmisiones pérdidas o erróneas.

### **3.5.4 Modbus.**

Desarrollado por Schneider en 1979, es el idioma común utilizado por todos los PLC TSX Modicon.

Este protocolo define la estructura de los mensajes que los PLC reconocen, sin importar el tipo de red sobre la cual se comunican.

Describe el proceso que el controlador utiliza para solicitar acceso a otro dispositivo, cómo responde a los requerimientos de otros controladores y cómo se detectan y reportan los errores de comunicación.

Establece un formato común para la distribución y el contenido de los registros o campos de los mensajes.

Se trata de un protocolo abierto, es decir que se encuentra disponible en forma gratuita la forma de funcionamiento del mismo en el sitio de Internet: [www.modbus.org](http://www.modbus.org)

Los PLC Modicon TSX Micro ofrecen tres posibilidades:

- Comunicación integrada con funciones de diálogo económicas realizadas a través de la toma terminal (TER) en los TSX 37-05/08/10 ó por toma terminal (TER) y diálogo operador (AUX) en los TSX 37-21/22. Estas conexiones de tipo serie RS485 no aisladas, disponen de protocolo UniTelway (maestro o esclavo), modo caracteres y Modbus (maestro o esclavo).
- Tarjeta de comunicación formato PCMCIA para los PLC TSX 37-21/22. Estos PLC están equipados con un slot dedicado para una tarjeta PCMCIA: conexión serie asíncrona full-dúplex, bus Fip I/O agente, o Uni-Telway, Modbus/Jbus y Fipway, como así también Módem.
- Módulo Ethernet Modbus TCP/IP. Ofrece una solución universal de comunicación en red con todos los dispositivos Ethernet. Existe en dos versiones: una, que aparte de la comunicación permite el diagnóstico vía Web y la otra, con página Web de usuario (personalizada).

Modicon TSX Momentum es una familia completa de productos de control (Módulos de E/S, procesadores, adaptadores de comunicación y adaptadores opcionales) con un diseño modular único y flexible.

El PLC Modicon TSX Micro ha sido desarrollado con el fin de satisfacer óptimamente las exigencias de adaptabilidad y mantenimiento requeridos por los usuarios: modular y compacto. Responde de manera económica a la automatización de máquinas que requieren hasta 250 E/S y que necesitan funciones específicas de altas prestaciones (E/S analógicas, regulación, contaje, posicionamiento, diálogo hombre-máquina y comunicaciones).

### **3.5.5 Módulos de entradas/salidas discretas.**

La gama de entradas/salidas digitales en rack ofrece varias posibilidades de conexión para responder a todas las necesidades:

- Conexión sobre bornes de tornillos en la cara frontal de los módulos de Entradas/Salidas mixtos 16E + 12 S o en módulos de 32 E ó 32 S.

El sistema Modicon TSX Momentum, incluye 4 componentes fundamentales que se fácilmente entre sí en combinaciones para sistemas o subsistemas de control versátiles.

Los 4 componentes son:

- Bases de E/S.
- Adaptadores de comunicación para múltiples protocolos.
- Adaptadores procesador.
- Adaptadores opcionales.

### **3.5.6 Bases de E/S.**

Las bases de E/S Modicon TSX Momentum se integran fácilmente a los sistemas de control existentes, gracias a sus adaptadores de comunicación, procesadores, adaptadores opcionales y diversas bases de entradas/ salidas E/S analógicas, E/S discretas en tensiones de 24 VDC, 11 OVAC y 220 VAC, bases con salidas a relé, bases con E/S combinadas, bases con funciones específicas (contaje, control de motores paso a paso), etc. Todas ellas con sistema de borneras extraíbles.

### **3.5.7 Adaptadores de comunicación.**

El Sistema Modicon TSX Momentum está diseñado independizar las comunicaciones de la base de E/S creando un sistema de E/S realmente abierto que se puede cualquier bus de campo o red de control.

Al montar sobre la base de E/S Modicon TSX Momentum adaptador de comunicación, obtenemos una base E/S que se conecta directamente con cualquier campo y respondiendo al administrador de la red.

Las E/S Modicon TSX Momentum pueden ser utilizadas distintos tipos de arquitecturas; sistemas de control centralizados, distribuidos, sistemas basados en PC, como complemento para controladores programables de diferentes proveedores y como complemento de otros procesadores Modicon TSX Momentum.

### **3.5.8 Procesadores.**

Cuando se necesita una inteligencia local distribuida en el punto de control, Modicon TSX Momentum es una respuesta adecuada.

Los adaptadores procesadores Modicom TSX Momentum M1 equipados con CPU, RAM y memoria Flash, son compatibles con los PLC Quantum Compact y 984 de Modicon y se conectan en las bases de E/S Modicom TSX Momentum igual que los adaptadores de comunicación.

### **3.5.9 Adaptadores opcionales.**

El adaptador opcional va acompañado siempre de un procesador que le proporciona nuevas capacidades de red, reloj calendario y batería de seguridad para la de datos. El adaptador opcional también se conecta la base de E/S, en la parte superior.

### **3.5.10 Adaptadores y Procesadores con puerto Ethernet.**

La familia TSX Momentum se integra a la plataforma Transparent Factory a través de los adaptadores de comunicación Ethernet y los procesadores (CPUs) con puerto de comunicación Ethernet y páginas WEB embebidas (incorporadas).

### **3.5.11 Adaptadores de comunicación Ethernet.**

Los adaptadores de comunicación 170 ENT 110 00y 170 ENT 110 01 permiten la conexión a la red Ethernet de la familia completa de bases de entradas y salidas TSX Momentum. Esta conectividad posibilita la comunicación con todos los

dispositivos de control compatibles con Ethernet TCP/IP (PLCs, controles de movimiento, PCs industriales, etc) lo que convierte a la familia TSX Momentum en un poderoso sistema de entradas/salidas distribuidas dialogando en un protocolo universal y abierto (servicio I/O Scanning).

El sistema de direccionamiento IP permite un número ilimitado de bases de E/S TSX Momentum conectadas a la red. Utilizando hubs, routers, bridges, switches, la performance y longitud de la red Ethernet puede ser adecuadamente ajustada a las necesidades de casi cualquier aplicación de control.

El adaptador de comunicación Ethernet utiliza la estructura estandarizada de mensajes y comandos de control de Modbus sobre el protocolo TCP/I P, lo cual simplifica la implementación de control y al mismo tiempo posibilita que la información pueda estar disponible en una red estandarizada y mundialmente aceptada como Ethernet.

Los adaptadores de comunicación Ethernet modelo 170 ENT 110 0, cuentan con:

- Conector RJ 45 normalizado para la conexión a la red 10base T ó 100base TX según el modelo.
- Espacio para etiqueta.
- LED indicadores del estado comunicador.

### **3.5.12 Procesadores M1 E.**

Los procesadores M1 E ofrecen control en tiempo real y acceso abierto a la información a través de su puerto de comunicación Ethernet, acorde a la filosofía de la plataforma Transparent Factory.

Sus principales beneficios:

- Conectividad a Ethernet con el protocolo Modbus TC/IP.
- Control de Entradas/Salidas remotas de alta performance sobre Ethernet (I/O Scanning) que permite implementar sistemas como el de la figura:

- Páginas WEB embebidas (incorporadas) que permiten acceder desde un explorador de internet (browser) a siguientes herramientas:
- Pantallas de estado de la CPU
- Estado de las Entradas/Salidas
- Estadísticas de la red Ethernet
- Página de soporte

Descripción:

Los procesadores TSX Momentum M1 o M1E cuentan con:

- Puerto Modbus o Ethernet.
- Segundo puerto opcional (Modbus o I/O bus).
- LED indicadores del estado de procesador.
- Etiqueta.

Cada procesador incluye además:

- Una memoria RAM interna de seguridad que puede guardar toda la aplicación y ampliarse mediante una tarjeta de memoria PCMCIA (RAM o Flash EPROM).
- Un reloj calendario.
- Varios modos de comunicación:
  - A través del puerto de programación (con protocolo Uni-Telway o modo caracteres): compuesto por dos puertos físicos (TER y AUX) que permiten conectar varios equipos simultáneamente (por ejemplo, una PC y un terminal de diálogo operador).
  - Comunicación por tarjeta PCMCIA tipo III: un emplazamiento admite varias tarjetas de comunicación (Fipway, FIPIO Agente, Uni-Telway, Modbus/Jbus, Modbus enlaces serie).

- Comunicación por conector tipo SUB-D 9 contactos (únicamente en los procesadores TSX P57.53M conector permite a los autómatas gestionar el bus Fipio.

### **3.5.13 Software**

El diseño de la aplicación se realiza mediante el software Junior o PL7 Pro bajo Windows, que ofrece entre otras posibilidades:

- Programación de los PLC TSX Micro y TSX Premium.
- Cuatro lenguajes de programación: lenguajes Grafcet (SFC diagrama de flujo secuencial de contactos (ladder), literal estructurado y lista de instrucciones. Además, dentro del lenguaje de contactos, es posible utilizar bloques de funciones derivadas, creados con PL7 Pro.
- Una estructura de software multiárea: tarea maestra, tarea rápida, tratamientos con eventos.
- La posibilidad de modificar un programa mientras se está ejecutando.

## **3.6 Protocolo de Comunicación ModBus TCP/IP.**

Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLC).

Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son:

Debido a su simplicidad y especificación abierta, actualmente es ampliamente utilizado por diferentes fabricantes.

La implementación entre dispositivos es fácil y requiere poco desarrollo.

- El protocolo establece como los mensajes se intercambian en forma ordenada y la detección de errores.
- Control de acceso al medio tipo Maestro/Esclavo
- El protocolo especifica: formato de trama, secuencias y control de errores
- Existen dos variantes en el formato: ASCII y RTU
- Solo especifica la capa de enlace del modelo ISO/OSI

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

Existe gran cantidad de módems que aceptan el protocolo Modbus. Algunos están específicamente diseñados para funcionar con este protocolo. Existen implementaciones para conexión por cable, wireless, SMS o GPRS. La mayoría de problemas presentados hacen referencia a la latencia y a la sincronización.

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. El número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos más una estación maestra.

Los intercambios de mensajes pueden ser de dos tipos:

- Intercambios punto a punto, que comportan siempre dos mensajes: una demanda del maestro y una respuesta del esclavo (puede ser simplemente un reconocimiento («acknowledge»).
- Mensajes difundidos. Estos consisten en una comunicación unidireccional del maestro a todos los esclavos. Este tipo de mensajes no tiene respuesta por parte de los esclavos y se suelen emplear para mandar datos comunes de configuración, reset, etc.

La codificación de datos dentro de la trama puede hacerse en modo ASCII o puramente binario, según el estándar RTU (RemoteTransmissionUnit). En cualquiera de los dos casos, cada mensaje obedece a una trama que contiene cuatro campos principales, según se muestra en la figura 3.6.1. La única diferencia estriba en que la trama ASCII incluye un carácter de encabezamiento («:»=3AH) y los caracteres CR y LF al final del mensaje.

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

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

**Figura 3.6. 1** Modos de codificación de datos en Modbus<sup>5</sup>

Ahora bien sobre este protocolo se trabaja con TCP/IP que es la base de Internet, y sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN).

Este modelo de descripción de protocolos de red fue creado en la década de 1970 por DARPA, una agencia del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Evolucionó de ARPANET, el cual fue la primera red de área amplia y predecesora de Internet. EL modelo TCP/IP se denomina a veces como *Internet Model*, Modelo DoD o Modelo DARPA.

El modelo TCP/IP, describe un conjunto de guías generales de diseño e implementación de protocolos de red específicos para permitir que una computadora pueda comunicarse en una red. TCP/IP provee conectividad de

<sup>5</sup>[http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Comunic\\_Ind/pdfs/Tema%207.pdf](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf)

extremo a extremo especificando como los datos deberían ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos por el destinatario. Existen protocolos para los diferentes tipos de servicios de comunicación entre computadoras.

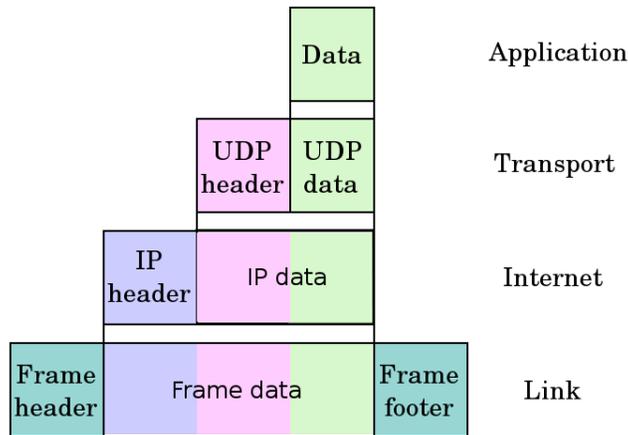
TCP/IP tiene cuatro capas de abstracción según se define en el RFC 1122. Esta arquitectura de capas a menudo es comparada con el Modelo OSI de siete capas.

Para conseguir un intercambio fiable de datos entre dos computadoras, se deben llevar a cabo muchos procedimientos separados.

El resultado es que el software de comunicaciones es complejo. Con un modelo en capas o niveles resulta más sencillo agrupar funciones relacionadas e implementar el software de comunicaciones modular.

Las capas están jerarquizadas. Cada capa se construye sobre su predecesora. El número de capas y, en cada una de ellas, sus servicios y funciones son variables con cada tipo de red. Sin embargo, en cualquier red, la misión de cada capa es proveer servicios a las capas superiores haciéndoles transparentes el modo en que esos servicios se llevan a cabo. De esta manera, cada capa debe ocuparse exclusivamente de su nivel inmediatamente inferior, a quien solicita servicios, y del nivel inmediatamente superior, a quien devuelve resultados.

- **Capa 4 o capa de aplicación:** Aplicación, asimilable a las capas 5 (sesión), 6 (presentación) y 7 (aplicación) del modelo OSI. La capa de aplicación debía incluir los detalles de las capas de sesión y presentación OSI. Crearon una capa de aplicación que maneja aspectos de representación, codificación y control de diálogo.
- **Capa 3 o capa de transporte:** Transporte, asimilable a la capa 4 (transporte) del modelo OSI.
- **Capa 2 o capa de red:** Internet, asimilable a la capa 3 (red) del modelo OSI.
- **Capa 1 o capa de enlace:** Acceso al Medio, asimilable a la capa 1 (física) y 2 (enlace de datos) del modelo OSI.



**Figura 3.6. 2** Jerarquización de las capas del protocolo TCP/IP<sup>6</sup>

### 3.7 Cálculo del volumen de un líquido en un cilindro en posición horizontal.

Se hace referencia en esta sección a los principios físicos y las respectivas relaciones matemáticas que enmarcan el problema y que son eventualmente utilizados en el diseño de la solución

Considerando la superficie de la circunferencia

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (3.7.1)$$

mediante integración doble en coordenadas cartesianas se obtiene lo siguiente

$$x = \sqrt{r^2 - y^2}$$

resolviendo la integral para x

$$S = \int_{-r}^{h-r} \int_{-\sqrt{r^2-y^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} dx dy \quad (3.7.2)$$

<sup>6</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Transmission\\_Control\\_Protocol](http://es.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol)

$$S = \int_{-\sqrt{r^2-y^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} dx \quad (3.7.3)$$

$$S = 2 \cdot \sqrt{r^2 - y^2} \quad (3.7.4)$$

resolviendo la integral para y:

$$S = \int 2 \cdot \sqrt{r^2 - y^2} \quad (3.7.5)$$

$$S = \sin^{-1} \left( y \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + y \cdot \sqrt{r^2 - y^2} \quad (3.7.6)$$

Realizando la evaluación de los límites correspondientes:

$$S^* = \sin^{-1} \left( y \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + y \cdot \sqrt{r^2 - y^2} \Big|_{y = h - r} \quad (3.7.7)$$

$$= -\sin^{-1} \left( (r - h) \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + (h - r) \cdot \sqrt{h \cdot (2r - h)} \quad (3.7.8)$$

$$S^{**} = \sin^{-1} \left( y \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + y \cdot \sqrt{r^2 - y^2} \Big|_{y = -r} \quad (3.7.9)$$

$$= \frac{-\pi \cdot r^2}{2}$$

$$S = S^* - S^{**} \quad (3.7.10)$$

$$S = \frac{\pi \cdot r^2}{2} - \sin^{-1} \left( (r - h) \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + (h - r) \cdot \sqrt{h \cdot (2r - h)} \quad (3.7.11)$$

Finalmente el volumen será:

$$V = L \cdot S[\text{unidades}^3]$$

$$V = L \cdot \left( \frac{\pi \cdot r^2}{2} - \sin^{-1} \left( (r - h) \cdot \left| \frac{1}{r} \right| \right) \cdot r^2 + (h - r) \cdot \sqrt{h \cdot (2r - h)} \right) [\text{unidades}^3]$$

(3.7.12)

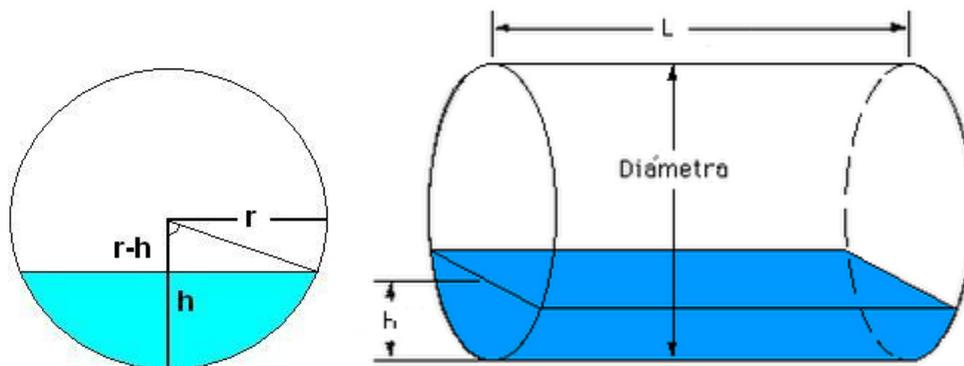
Simplificando la ecuación anterior, se reduce a que el volumen de un líquido dentro de un cilindro en posición horizontal es:

$$V = L \cdot \left( \frac{\pi \cdot r^2}{2} + \tan^{-1} \left( \frac{h - r}{\sqrt{r^2 - (h - r)^2}} \right) \cdot r^2 + (h - r) \cdot \sqrt{r^2 - (h - r)^2} \right) [\text{unidades}^3]$$

(3.7.13)

Cabe destacar que toda la ecuación se deberá resolver en el sistema de medición en radianes para cálculos posteriores.

Otra forma para determinar el volumen del líquido dentro de un cilindro horizontal donde la altura del líquido no sobrepasa del radio del tanque se obtiene el siguiente análisis matemático obtenemos:



**Figura 3.7. 1** Nivel del líquido menor al radio dentro del cilindro horizontal<sup>7</sup>

<sup>7</sup><http://charliebrownskin.blogspot.com/2009/07/volumen-de-un-liquido-en-un-cilindro-en.html>

$$\text{Area del triangulo} = \frac{b \cdot h}{2} \quad (3.7.14)$$

$$\text{Area total} = \frac{b \cdot (r-h)^2}{2} \quad (3.7.15)$$

Fórmula de la hipotenusa:

$$r^2 = (r - h)^2 + b^2 \quad (3.7.16)$$

$$b^2 = r^2 - (r - h)^2$$

$$b^2 = r^2 - (r^2 - 2 \cdot r \cdot h + h^2)$$

$$b^2 = 2 \cdot r \cdot h - h^2$$

$$b = \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2}$$

$$\text{Area total} = \frac{\sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \cdot (r-h)}{2} \quad (3.7.17)$$

$$\text{Area del sector circular} = \frac{r^2 \cdot \alpha}{2} \quad (3.7.18)$$

Con saber que el área de un círculo es  $\pi \cdot r^2$ , que es dada en radianes (medida a partir del radio), que el círculo tiene 360° grados, y que  $\pi$  en grados es 180°, entonces, el área del círculo es su cantidad de grados entre 2 por el radio al cuadrado, y así igual con el sector circular.

Obteniendo el ángulo.

$$\cos(\alpha) = \frac{(r-h)}{r} = \frac{1-h}{r} \quad (3.7.19)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{1-h}{r}\right) \quad (3.7.20)$$

$$\text{Area del sector circular} = \frac{r^2 \cdot \cos^{-1}\left(\frac{1-h}{r}\right)}{2} \quad (3.7.21)$$

Ahora, el área de la porción ocupada por el líquido es:

$$Ap = 2 \cdot (As - At) \quad (3.7.22)$$

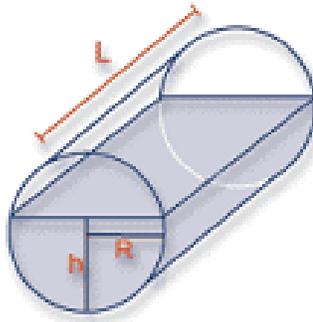
$$Ap = 2 \cdot \left( \frac{r^2 \cdot \cos^{-1}\left(\frac{1-h}{r}\right)}{2} - \frac{\sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \cdot (r-h)}{2} \right)$$

$$Ap = \left( r^2 \cdot \cos^{-1}\left(\frac{1-h}{r}\right) + \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \cdot (h-r) \right)$$

El volumen del líquido en el cilindro sería:

$$\text{Volumen} = L \cdot \left( r^2 \cdot \cos^{-1}\left(\frac{1-h}{r}\right) + \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \cdot (h-r) \right) \quad (3.7.25)$$

Ahora bien si la altura del líquido sobrepasa el radio obtenemos el siguiente análisis:



**Figura 3.7. 2**Nivel del líquido mayor al radio dentro del cilindro horizontal<sup>8</sup>

Sacamos el área del círculo:

$$\text{Area del círculo} = \pi \cdot r^2 \quad (3.7.25)$$

Ahora, el área de la parte llena por el líquido sería:

$$A_{\text{llena}} = A_c - A_p \quad (3.7.26)$$

Donde  $A_p$  ahora es el área vacía del círculo

$$V = L \cdot (A_c - A_p) \quad (3.7.27)$$

---

<sup>8</sup><http://charliebrownskin.blogspot.com/2009/07/volumen-de-un-liquido-en-un-cilindro-en.html>

## **Capítulo 4: Metodología.**

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema.**

La propuesta de proyecto fue presentada por el Ing. Hugo Sánchez, del Departamento de Operación y Mantenimiento en Electromecánica del ICE en San Pedro, donde se expuso la problemática que presenta el edificio de sistemas que estén monitoreados desde una central, en la cual distintos usuarios mediante la red de internet puedan acceder al sistema y supervisar el proceso, para ello me remitió al Sr. Juan Carlos Brenes encargado del mismo departamento en la central de San José, al cual se le expuso el proyecto y fue acogido para la implementación en dicho edificio.

Debido a que la central de San José es un puente de comunicación en la telefonía nacional, cada equipo de telecomunicaciones el sistema electromecánico (aires acondicionados, rectificadores, inversores, plantas eléctricas, entre otros) que el edificio tiene para su funcionamiento deberá estar monitorizado, ha quedado demostrado que para el departamento de Operación y Mantenimiento del ICE San José es de suma importancia los niveles de diesel en los tanques de combustible de la estación surtidora, la cual le brinda combustión a las plantas eléctricas del edificio. En caso de que el fluido eléctrico comercial deje de suministrar energía al edificio, las plantas eléctricas entran en funcionamiento brindando al edificio la energía necesaria para que cada equipo electrónico y electromecánico no deje de trabajar.

## 4.2 Obtención y análisis de la información.

La información preliminar se obtuvo mediante entrevistas y consultas realizadas al Ing. Hugo Sánchez, Ing. Juan Miguel Mata, y al Ing. Daniel Prado, quien en conjunto explicaron detalles del proyecto tomando en cuenta experiencias pasadas de proyectos similares implementados en distintas centrales del ICE del país las cuales cumplieron las expectativas

Sobre la información y los dispositivos electrónicos que se podrían utilizar para realizar la implementación del proyecto fueron analizadas y al ser ya utilizadas en proyectos anteriores se dio continuidad con este

Se tuvo que sujetar el proyecto a los equipos ya existentes en la institución y utilizados anteriormente en proyectos como se mencionó anteriormente, debido a que el ICE cuenta con un stock de dispositivos de la familia Schneider Electric con los que se trabaja para la implementación de sistemas de automatización.

## 4.3 Evaluación de alternativas y síntesis de una solución.

### 4.3.1 Investigación de experiencias anteriores sobre proyectos realizados

En el año 2000 se realizó un proyecto semejante elaborado como proyecto de graduación por el Ing. Juan Miguel Mata, el cual se denominó **“Diseño e implementación del sistema de monitorización de la funcionalidad y condiciones climatológicas del respaldo energético en las instalaciones del ICE San José-San Pedro”**. El Ing. Mata fue asesorado por el Ing., Hugo Sánchez y el Ing. Daniel Prado, para la realización de este proyecto en el plantel del ICE San Pedro.

Dicho proyecto logró alcanzar las expectativas debido a las siguientes razones:

- Los módulos de comunicación se configuraron adecuadamente de manera tal que la información recibida por los transmisores de presión fuera envía al sistema SCADA que el Ing. Mata diseño para su visualización grafica en tiempo real.
- La interfaz que se diseño es amigable con el usuario permitiéndole al usuario una mejor manipulación de las opciones que brinda el sistema.
- Realizo detalles técnicos de una manera segura y confiable, proporcionándole a la empresa una calidad de trabajo para su duración a un largo plazo.

#### **4.3.2 Recomendación de expertos en la materia.**

Entre las recomendaciones que presento el Ing. Daniel Prado, Sr Juan Carlos Brenes, y el Sr Julio Morales se pueden mencionar las siguientes:

- Los transmisores de presión deberán tener una salida de 4-20mA para evitar armónicos en el sistema debido a que en el lugar existen distintos equipos electrónicos que pueden interferir en la información.
- Utilizar alimentación de baterías como fuente de energía para evitar que el sistema se suspenda en caso de falta de fluido eléctrico comercial.
- Utilizar cable de red trenzada para evitar distorsiones debido a los equipos electrónicos y eléctricos en la estación.
- El protocolo de comunicación que se debe implementar debe ser el mismo tanto para el sistema SCADA como el adaptador de comunicación para evitar pérdidas en los paquetes de información.

#### **4.4 Metodología del desarrollo del proyecto.**

##### **4.4.1 Investigación sobre la medición de la presión relativa y absoluta y el volumen de un líquido dentro de un tanque horizontal.**

Utilizando como base el libro **Mecánica de fluidos, escrito por** Merle C. Potter, David C. Wiggert se realizó un estudio sobre los principios de la definición de presión así como la Ley de Pascal para el desarrollo del proyecto y realizar los cálculos correspondientes para buscar la relación entre presión y altura y determinar los niveles de diesel en los tanques de combustible.

Además se investigó el comportamiento de un líquido dentro de un tanque horizontal debido a que el volumen varía con respecto a la posición del mismo.

##### **4.4.2 Investigación de los componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.**

Mediante la investigación realizada y la consulta a expertos se obtuvo la información necesaria para la escogencia de los componentes más importantes del proyecto. Entre ellos están:

- transmisores de presión con una precisión de medida (0 a 4bar) y señal de salida analógica de corriente (4 a 20mA)
- un adaptador de comunicación Ethernet que puede soportar la cantidad de transmisores que se pretende implementar, además de
- fuente de alimentación CD que brinda energía a cada dispositivo para su funcionamiento
- un hub o switch para realizar el enlace de conexión de segmentos de red, de manera similar a los puentes de red pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red

- breakers o fusibles para proteger el equipo electrónico para cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga.

#### **4.4.3 Investigación sobre la selección de los transmisores de presión.**

En la estación surtidora se poseen unos tanques de diesel para la alimentación de las plantas generadoras de electricidad. Estos tanques poseen las siguientes características:

- Tanque 1. Suministro: Planta KOHLER IP / Capacidad: 2100 L.
- Tanque 3. Suministro: Planta CUMMINS / Capacidad: 5000 L.
- Tanque 4. Tanque Diario, Suministro: Planta CUMMINS / Capacidad: 500 L.
- Tanque 5. Suministro: Planta CUMMINS 180KW / Capacidad: 1600 L. (se desconoce las dimensiones solamente la profundidad, aproximada 1 metro)

La medición de nivel de estos tanques se efectúa por medio de una tubería, de esta forma únicamente se puede determinar si los tanques tienen o no nivel suficiente de diesel, para abastecer las plantas y no precisa el valor del nivel de cada uno de ellos.

Por motivo de encargo empresarial se solicitó, una asesoría al Sr. Alfonso Morgan de la empresa SIESA, vendedora de los transmisores de presión, para la compra de los transmisores de Nivel por Tecnología de Onda Guiada, con salida analógica para la transmisión de datos hacia un PLC y de ahí hacia un sistema SCADA. Sin embargo la empresa recomienda la instalación de Transmisores de Nivel por presión Hidrostática o Transmisores de Nivel por presión Manométrica. Principalmente por su bajo costo, diseño compacto, fácil instalación, características electromecánicas y su desempeño en el medio indicado (Diesel), en comparación con los citados inicialmente (Transmisores de Nivel por Onda Guiada). Por otro lado, estos transmisores están diseñados para medir niveles de líquidos en tanques, canales y embalses

Básicamente estos sensores están sometidos a la influencia de una presión hidrostática o manométrica que es proporcional a la profundidad de inmersión. La presión de la columna de líquido actúa sobre la membrana del sensor y transmite la presión al puente de resistencias piezoeléctricas del mismo. La señal de tensión de salida del sensor es conducida hacia el sistema electrónico, donde se convierte en una señal de corriente de salida equivalente a 4-20mA.

Con base a esta información, inicialmente debemos de calcular el rango de presión al que se deben de adaptar los transmisores. Tomaremos como base de cálculo la unidad de presión del Sistema Técnico de Unidades: milímetro de columna de agua (mmH<sub>2</sub>O). Esto equivale a la presión ejercida por una milésima parte de una columna de agua pura (a 4°C) de un metro de altura y a nivel del mar. Es un múltiplo de la unidad de columna de agua. De esta forma tenemos que 1 mmH<sub>2</sub>O = 0,09807 ≈ 0,1 mbar.

Con esta información y los diagramas de los tanques podemos calcular el rango de presión para cada uno de los tanques. Sin embargo ya que el fluido en estudio es distinto al agua se debe de realizar la compensación por la densidad del mismo, que en este caso sería la densidad del Diesel de entre 0,86-0,90 kg/l.

#### **4.4.4 Investigación sobre la utilización de los adaptadores de comunicación MomentumTelemecanique 171CCC98030**

Debido a que se contaba con equipos Momentum, se tomó como la solución apropiada para este tipo de aplicaciones, pudiendo utilizar el cableado estructural del edificio para el transporte de la información vía Ethernet TCP/IP. Momentum brindándonos la posibilidad de distribuir el control de los niveles de diesel, pudiendo acceder a la parametrización de los equipos vía un simple navegador de internet.

Con el uso de Ethernet TCP/IP como su red principal de comunicación, los Procesadores MomentumM1E brindan al usuario alto rendimiento y muchos beneficios a la hora de elegir su sistema de Control.

Una vez investigado sobre los beneficios y aplicaciones de estos dispositivos se optó por una asesoría al Ing. Eric Campos encargado de sistemas de automatización en Costa Rica y Centroamérica el cual nos brindó una capacitación sobre la configuración y funcionamiento del dispositivo de comunicación con el que se contaba para realizar la implementación del proyecto en el edificio.

#### **4.4.5 Investigación sobre la fuente de alimentación de CD (corriente directa).**

Se requería una fuente CD con salida de tensión a 24V, debido a que los dispositivos electrónicos que se encuentran ubicados dentro del gabinete en el que se encuentra el proyecto trabajan con esa tensión, para ello se contaba con una fuente Meanwell 50W con un convertidor de salida DC-DC, capaz de alimentar la circuitería del proyecto.

Cabe destacar que primero se obtiene la tensión CD desde un tablero ya existente, la cual alimenta un equipo del edificio a 48V, de aquí se obtiene una salida que alimentará la fuente de alimentación Meanwell; esta fuente al ser regulable, se puede ajustar a los 24V que se necesitan para el funcionamiento del equipo electrónico utilizado para el proyecto.

#### **4.4.6 Desarrollo del SCADA encargado de la adquisición de datos.**

Se desarrolló un sistema SCADA mediante la utilización del software Daqfactory, esta herramienta es capaz de permitirnos visualizar por medio de gráficos los niveles de diesel en los tanques de combustible, también permite la adquisición de datos remota, mediante la configuración del protocolo de comunicación permite una conexión directa a través del PLC, nos permite también ver y analizar los datos en tiempo real y además obtener alarmas con opción de notificación que nos indica el estado del proceso y así obtener una mejor supervisión del mismo.

#### **4.4.7 Investigación del protocolo de comunicación entre módulos.**

Al ser un estándar industrial de facto, MODBUS TCP/IP, se utiliza debido a su simplicidad, bajo costo, necesidades mínimas en cuanto a componentes de hardware, y sobre todo a que se trata de un protocolo abierto.

Debido a que en la actualidad hay cientos de dispositivos MODBUS TCP/IP disponibles en el mercado. Se emplea para intercambiar información entre dispositivos, así como monitorizarlos y gestionarlos. También se emplea para la gestión de entradas/salidas distribuidas, siendo el protocolo más popular entre los fabricantes de este tipo de componentes porque es público, su implementación es fácil y requiere poco desarrollo y además maneja bloques de datos sin suponer restricciones. Este protocolo poder ser empleado sobre RS-232, RS-422, RS-485 o TCP/IP (puerto estándar TCP 502) de su utilización.

Este protocolo nos permite la combinación de una red física versátil y escalable como Ethernet con el estándar universal de interredes TCP/IP y una representación de datos independiente de fabricante, como MODBUS, proporcionándonos una red abierta y accesible para el intercambio de datos de

proceso, lo cual se desea para que cada usuario del departamento tenga acceso al proceso de monitorización.

#### **4.4.8 Prueba de los componentes adquiridos**

### **4.5 Reevaluación y rediseño**

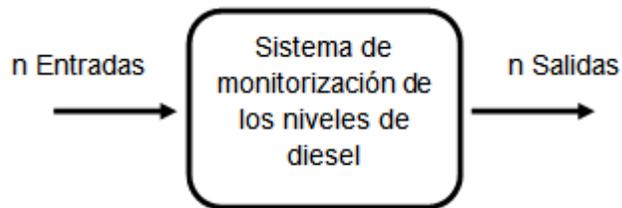
Mediante los resultados obtenidos por el monitoreo del comportamiento de la presión en los tanques de diesel, se podrá analizar la posibilidad de cambiar los transmisores de presión por unos de menor rango de medición.

El sistema final tendrá la posibilidad de aumentar la cantidad de transmisores cuando sea necesario (sistema modular escalable), lo que evitaría tener que volver a realizar un proyecto semejante si se aumentara la cantidad de equipos en la estación surtidora.

## Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

### 5.1 Descripción del hardware

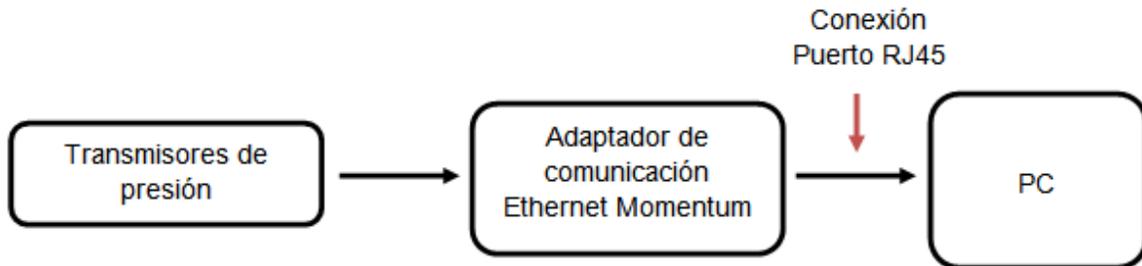
#### 5.1.1 Diagrama de primer nivel



**Figura 5.1.1. 1**Diagrama de primer nivel

En la figura 5.1.1.1 se observa un esquema general del sistema que se implementó. Las entradas del sistema corresponden a los valores de presión que se pretenden monitorear, en este caso dichos valores se presentan con una cantidad indefinida  $n$  debido a la escalabilidad del sistema. Por otro lado, la salida corresponde a la recolección de todos los valores escalados y convertidos a litros que son enviados a una PC que contiene un software capaz de visualizar y almacenar dichos datos.

### 5.1.2 Diagrama de segundo nivel



**Figura 5.1.2. 1**Diagrama de segundo nivel

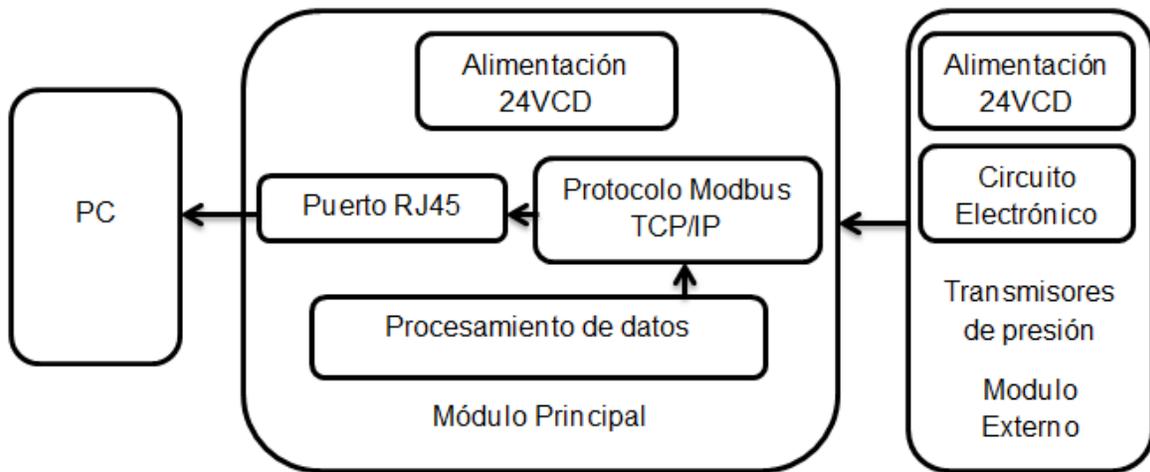
En la Figura 5.1.2.1 se observa un esquema general de la ubicación física de los diferentes módulos que conforman el sistema de monitoreo. El módulo principal encargado de establecer la comunicación con los diferentes módulos es el Adaptador de comunicación Ethernet Momentum, se encuentra conectado a través del puerto RJ45 hacia el computador donde se encuentra desarrollado el sistema SCADA.

#### 5.1.2.1 Modulo Principal (Adaptador de comunicación Ethernet Momentum)

Encargado de la comunicación entre el sistema y la computadora y la distribución los de datos, está compuesto básicamente por los siguientes bloques (ver Figura 5.1.2.1.1):

- **Bloque de alimentación:** encargado de administrar la energía necesaria a los dispositivos electrónicos, posee además un fusible para proteger en caso de una sobre carga.
- **Bloque de interfaz RJ45:** establece la comunicación con la PC utilizando protocolo Modbus TCP/IP

- **Bloque de procesamiento de datos:** este bloque se encarga de identificar las funciones que se deben de realizar, acomodar los datos según el protocolo diseñado y descartar la información que no le corresponde.
- **Bloque de comunicación:** el bloque de comunicación es el medio físico utilizado para conectar el módulo principal con los módulos intermedios, tanto del nivel inferior como del superior.



**Figura 5.1.2.1.** 1Esquema general del módulo

Este módulo principal tiene como entradas los transmisores de presión los cuales envían una señal de 4 a 20mA, a una base analógica del módulo y mediante el bloque de procesamiento de datos se encargara de generar la información necesaria, y mediante el protocolo de información enviar los datos por el puerto RJ45 hacia el PC. Respecto a la salida hacia la PC este recibirá la trama de información la cual en el sistema SCADA tomara los valores reales escalados para realizar la conversión necesaria y obtener los niveles de diesel en los tanques de combustible y desplegar dicha información de forma gráfica.

### 5.1.2.2 Módulo externo (Transmisores de presión)

Estos módulos se encargan de la recolección de los datos de presión y cuentan con un cable que permite transmitir una señal analógica de 4 a 20mA al módulo principal

- **Bloque de alimentación:** encargado de administrar la energía necesaria a los dispositivos electrónicos, posee además un fusible para proteger en caso de una sobre carga.
- .
- **Bloque de circuito electrónico:** este bloque se encarga de la recolección del valor de presión y acondicionar dicha señal de manera que el bloque de procesamiento de datos del módulo principal pueda reconocer el valor capturado.

### 5.1.3 Diagrama de tercer nivel

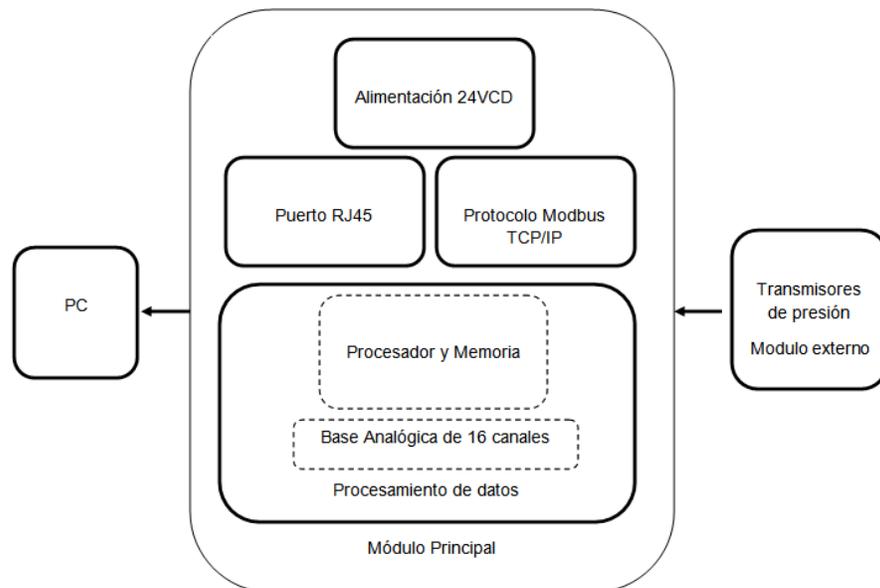


Figura 5.1.3. 1 Diagrama de tercer nivel

### **5.1.3.1 Módulo principal**

En la figura 5.1.3.1.2.1 se presenta un diagrama de bloques más detallado correspondiente al módulo principal. Como se puede observar, este presenta tres etapas principales: bloque de alimentación, bloque de procesamiento de datos y el bloque de comunicación. A continuación se describen cada uno de estos bloques:

#### **5.1.3.1.1 Bloque de alimentación**

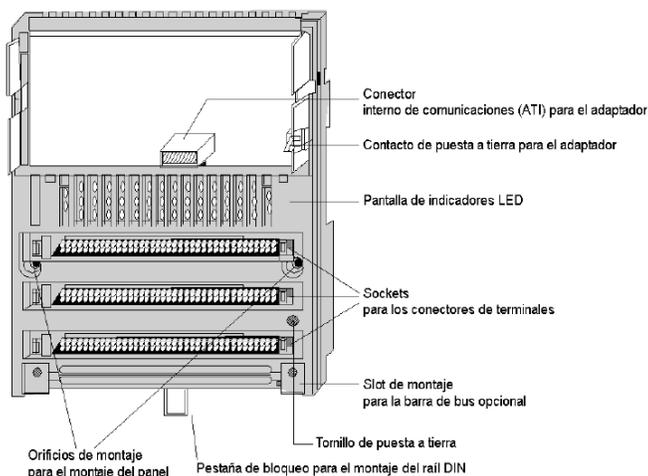
Esta etapa tiene la función de suministrar la energía a todos los dispositivos que conforman el módulo principal. Como entrada tiene la tensión suministrada por una batería de 48VCD y como salida se tiene el voltaje regulado a 24VCD.

#### **5.1.3.1.2 Bloque de procesamiento de datos**

##### **5.1.3.1.2.1 Base analógica 170 AAI 140 00**

Esta etapa está conformada por la base analógica 170 AAI140 00, el cual se encarga del procesamiento de datos provenientes de los transmisores.

A continuación se muestra la ilustración de los componentes de la parte delantera de una base de E/S.



**Figura 5.1.3.1.2.1. 1** Base de E/S Modicon Momentum 170 AAI 140 00<sup>9</sup>

El conector interno de comunicaciones de una base de E/S proporciona comunicación automática con cualquier adaptador montado en la base. Este contacto nos proporciona una conexión a tierra de cualquier adaptador montado en la base.

Cada base de E/S contiene sockets para un máximo de tres conectores de terminales. Los conectores de terminales se utilizan para conectar dispositivos de E/S.

Las bases de E/S TSX Momentum están diseñadas para cumplir con los requisitos de la certificación CE para equipos abiertos. En las especificaciones también se incluyen otras aprobaciones de los organismos competentes para cada módulo base de E/S.

Las siguientes bases de E/S analógicas que se utilizó para el desarrollo del proyecto es la que se encuentra disponible en la siguiente tabla:

<sup>9</sup>Manual Base de módulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 1** Descripción de la unidad de E/S TSX Momentum

| Número de Serie | Canales | Tipo    | Detalles          |
|-----------------|---------|---------|-------------------|
| 170 AAI 140 00  | 16      | Entrada | Finalizada simple |

Esta base de E/S TSX Momentum se debe montar con un adaptador de comunicaciones o de procesadores.

Los conectores de terminales se utilizaron para conectar dispositivos de campo de E/S y la fuente de alimentación a la base de E/S. Cabe destacar que algunas bases de E/S pueden funcionar en rangos de tensión peligrosos (por encima de 42,4 VCA y de 60 VCC).

Los conectores de terminales se encuentran disponibles en versiones de fijación a tornillo y a resorte.



**Figura 5.1.3.1.2.1. 2** Conectores de terminales<sup>10</sup>

La tensión de funcionamiento alimenta la lógica interna de las bases de E/S individuales. (Abreviaturas: L+/M- para la corriente directa; L1/N para la corriente alterna.), esta misma tensión de entrada nos proporciona alimentación a los sensores. (Abreviaturas, donde los números iniciales especifican los grupos: 1L+/1M-, 2L+/2M-, para la corriente directa; 1L1/1N, 2L1/2N,... para la corriente alterna.) Cuando dos o más circuitos tienen un potencial de referencia común (por

<sup>10</sup> Manual Base de módulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

ejemplo, no están aislados), los conductores de referencia correspondientes se abrevian de forma similar; por ejemplo, se utiliza L+/M- y 1L+/M- cuando L+ y 1L+ no están aislados.

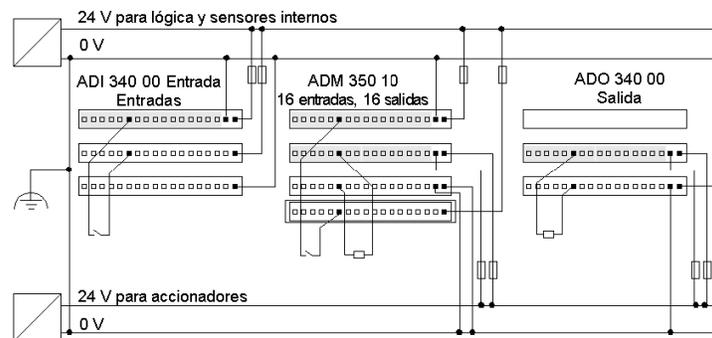
Cada base de E/S debe alimentarse con la fuente de alimentación en modo configuración en estrella, por ejemplo: diferentes cables desde la fuente de alimentación hasta cada módulo.

Deben evitarse las conexiones en serie que a menudo se encuentran en disyuntores automáticos de circuitos, ya que aumentan los componentes inductivos en los cables de salida de voltaje.

Cada uno de las siguientes ramas de circuito debe estar protegido por fusibles (F en la figura bajo estas líneas).

Los fusibles que aparecen en las ilustraciones deben seleccionarse basándose en el tipo y el número de sensores y accionadores empleados.

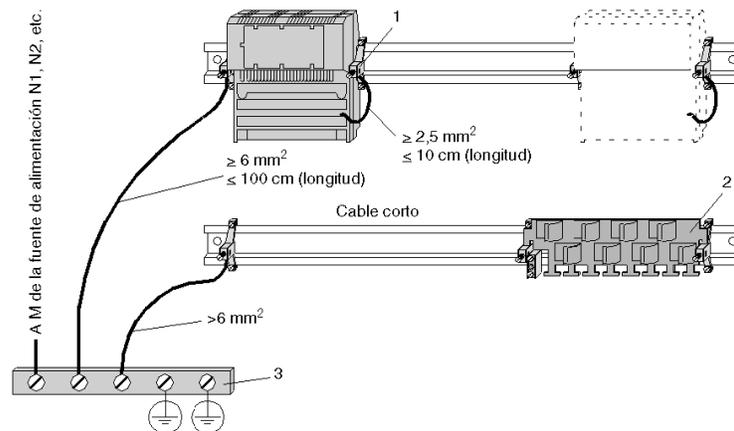
En este ejemplo, el voltaje de salida se deriva de una fuente de alimentación separada.



**Figura 5.1.3.1.2.1. 3** Conexión de fusibles de protección<sup>11</sup>

<sup>11</sup>Manual Base de módulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

También es importante como se presenta en la ilustración que aparece a continuación muestra cómo debe realizarse una correcta puesta a tierra de módulos y carriles guía



**Figura 5.1.3.1.2.1. 4** Conexión puesta a tierra.<sup>12</sup>

Los conductores analógicos se deberán poner a tierra directamente al entrar en el armario. Puede utilizar abrazaderas o bornes convencionales o un raíl de puesta a tierra de cables analógicos.

Las abrazaderas y los bornes de tornillo pueden montarse directamente sobre el raíl de puesta a tierra (raíl PE/FE) en el armario, tal como se muestra en la ilustración de abajo. Asegúrese de que las abrazaderas o los bornes hagan contacto en forma apropiada.

A continuación se muestra en la siguiente tabla las especificaciones de la base de E/S 170 AAI 140 00.

<sup>12</sup>Manual Base de módulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 2** Especificaciones de la base de E/S 170 AAI 140 00.

|  |  |
|--|--|
| Tipo de modulo   | 16 entradas analógicas                         |
| Rango de tensión de entrada                                | +/- 10 V, +/-5 V                               |
| Rango de corriente de entrada                              | 4 ... 20 mA                                    |
| Capacidad de conducción de salida del dispositivo de campo | 6 K o menos                                    |
| Tensión de alimentación                                    | 24 V CC  |
| Rango de tensión de alimentación                           | 20 ... 30 V CC                                 |
| Consumo de corriente de alimentación                       | Máximo de 305 mA a 24 V CC                     |
| Disipación de potencia                                     | 4,95 W (habitual)<br>5,55 W máximo             |
| Asignación de E/S  | 16 palabras de entrada<br>4 palabras de salida |

A continuación se muestra en la siguiente la tabla las características de las entradas analógicas de la base de E/S 170 AAI 140 00

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 3** Características de las entradas analógicas de la base de E/S 170 AAI 140 00.

|   |  |
|---|--|
| Tolerancia de sobretensión:                       |  |
| Tensión de entrada                                | +/- 30 V CC  |
| Corriente de entrada                              | +/- 25 mA  |
| Número de canales                                 | 16   |
| Formato de los datos transmitidos                 | Completo de 16 bits con signo (complemento de 2)         |
| Protección  | Inversión de polaridad                                   |
| Indicación de errores                             | ninguno  |
| Rechazo del modo común                            | 250 V CA a 47- 63 Hz o 100 V CC (canal a toma de tierra) |
| Tiempo de actualización para las entradas (en ms) | $1 + 1,5 \times n$ n = número de canales declarados      |
| Filtrado  | Paso bajo con frecuencia de corte de 10 kHz              |
| Entrada máxima de impedancia de sensor            | 6 k $\Omega$ con AAI 14000 a PV02                        |
| Modo de tensión                                   | 1,5 k $\Omega$ con AAI 14000 a PV01                      |

A continuación se muestra en la siguiente la tabla los datos específicos del rango de la base de E/S 170 AAI 140 00.

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 4**Datos específicos del rango de la base E/S 170 AAI 140 00

|                                    |                 |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Rango                              | +/- 10 V        | +/- 5 V         | 4 ... 20 mA    |
| Impedancia de entrada              | 20 MΩ           | 20 MΩ           | 250 Ω          |
| Error a 25 ° C                     | 0,27% PE*       | 0,21% PE*       | 0,28% PE*      |
| Error a 60 ° C                     | 0,32% PE*       | 0,26% PE*       | 0,38% PE*      |
| Desviación de temperatura (60 ° C) | 14 ppm PE*/° C  | 14 ppm PE*/° C  | 30 ppm PE*/° C |
| Resolución                         | 14 bits + signo | 14 bits + signo | 15 bits        |

NOTA: \*No debe confundirse con tierra de protección. PE se utiliza como anotación europea para escala completa y tiene los siguientes valores:

- 10 V en el rango +/- 10 V
- 5 V en el rango +/- 5 V
- 16 mA en el rango de 4 a 20 mA

Es importante la resolución en la que la base puede trabajar en este caso al tener configurada las entradas analógicas para recibir una señal de 4 a 20mA proveniente de los transmisores de presión, esta viene determinada por la longitud de la *palabra* digital (número de bits), es decir por la agrupación de ceros y unos con que se va componiendo (codificando) la señal. Para este caso, los bits menos significativos sólo tomarán valores en función del más puro azar y no tendrán relación alguna con la señal a cuantificar. Es importante el valor de la resolución, para nuestro caso es de 15 bits lo que corresponde a 32768. Por ejemplo, el CD-

Audio, que emplea modulación por impulsos codificados (PCM) sin compresión, tiene una resolución de 16 bits. Esto significa que existen 65536 ( $2^{16}$ ) valores distintos para aproximar cada muestra.

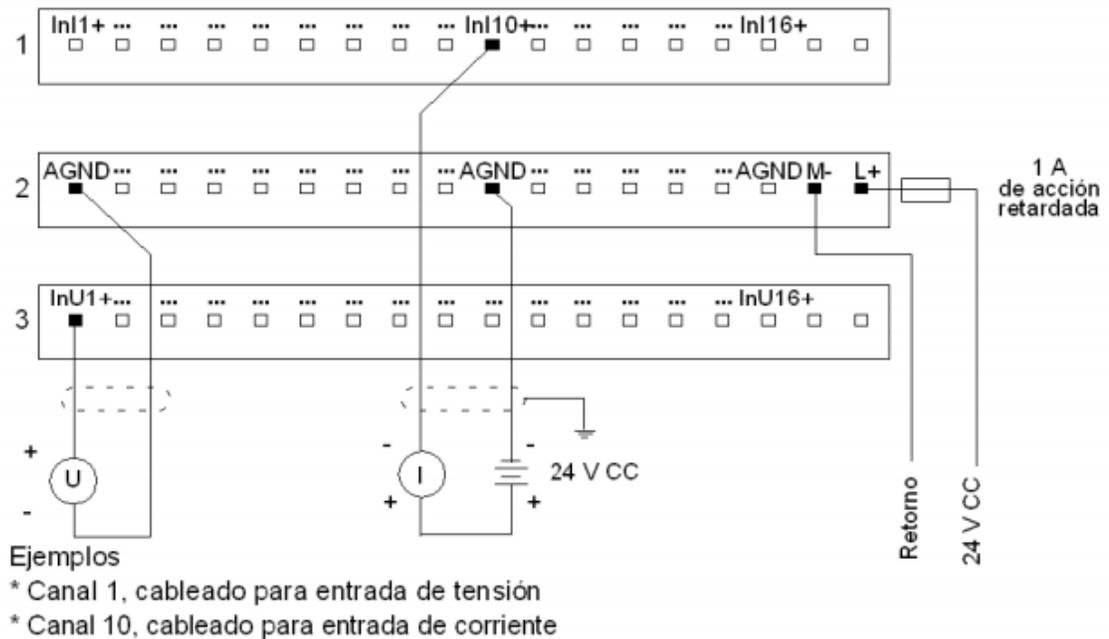
Además se muestra en la siguiente tabla se describe la asignación de bloques de terminales, como se encuentra configurada la base analógica.

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 5**Asignación de bloques de terminales

| Fila     | N.º de terminal | Descripción           | Función  |
|----------|-----------------|-----------------------|--|
| <b>1</b> | <b>1 ... 16</b> | <b>InI1+ a InI16+</b> | <b>Modo de corriente de entrada, canales 1 a 16</b>    |
|          | 17, 18          | -                     | Sin utilizar   |
| <b>2</b> | <b>1 ... 16</b> | <b>AGND</b>           | <b>Conexiones analógicas a tierra (entrada de 0 V)</b> |
|          | <b>17</b>       | <b>M-</b>             | <b>- Retorno (de tensión de funcionamiento)</b>        |
|          | <b>18</b>       | <b>L+</b>             | <b>Tensión de funcionamiento de + 24 VCC</b>           |
| <b>3</b> | <b>1 ... 16</b> | <b>InU1+ a InU16+</b> | Modo de tensión de entrada, canales 1 a 16             |

En la figura siguiente se muestra más detalladamente cada asignación de bloque, en el diagrama se muestra como se debe realizar el cableado de la base de E/S para las entradas de tensión y de corriente.

El siguiente diagrama muestra un ejemplo de cableado para entrada de tensión y de corriente.



**Figura 5.1.3.1.2.1. 5**Cableado para entrada de tensión y de corriente.<sup>13</sup>

La unidad de E/S TSX Momentum 170 AAI 140 00 apoya 16 entradas analógicas. Para ello se tabula la información sobre la asignación de los valores de entradas analógicos en palabras de entrada y el uso de palabras de salida para configurar canales.

La unidad de E/S debe asignarse como 16 palabras de entrada contiguas y cuatro palabras de salida contiguas, del siguiente modo:

<sup>13</sup>Manual Base de módulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 6**Asignación de los valores de entradas analógicos

| Palabra  | Datos de entrada               | Datos de Salida                              |
|----------|--------------------------------|--|
| 1 = LSW  | Valor, canal de entrada 1      | Parámetros para canales de entrada 1 ... 4   |
| 2        | Valor, canal de entrada 2      | Parámetros para canales de entrada 5 ... 8   |
| 3        | Valor, canal de entrada 3      | Parámetros para canales de entrada 9 ... 12  |
| 4        | Valor, canal de entrada 4      | Parámetros para canales de entrada 13 ... 16 |
| 5 ... 15 | Valor, canal de entrada 5...15 | Sin utilizar                                 |
| 16 = MSW | Valor, canal de entrada 16     | Sin utilizar                                 |

Para poner en servicio el módulo, es necesario ajustar previamente los parámetros para todos los canales analógicos. Esta sección proporciona los códigos para ajustar los parámetros y ofrece ejemplos de dichos ajustes.

NOTA: Si establece nuevos parámetros para el módulo, envíe siempre un juego completo de parámetros (todos los canales, entradas y salidas), incluso si sólo desea modificar un parámetro. De lo contrario, el módulo rechazará los nuevos parámetros y continuará funcionando con los antiguos.

Esta la tabla siguiente se centra en las palabras de salida 1 a 4:

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 7**Asignación de los valores de salida analógicos

| Palabra  | Datos de entrada               | Datos de Salida                              |
|----------|--------------------------------|--|
| 1 = LSW  | Valor, canal de entrada 1      | Parámetros para canales de entrada 1 ... 4   |
| 2        | Valor, canal de entrada 2      | Parámetros para canales de entrada 5 ... 8   |
| 3        | Valor, canal de entrada 3      | Parámetros para canales de entrada 9 ... 12  |
| 4        | Valor, canal de entrada 4      | Parámetros para canales de entrada 13 ... 16 |
| 5 ... 15 | Valor, canal de entrada 5...15 | Sin utilizar                                 |
| 16 = MSW | Valor, canal de entrada 16     | Sin utilizar                                 |

Los parámetros se ajustan introduciendo un código de cuatro bits en las palabras de salida 1 a 4 del siguiente modo:

| Palabra de salida 1 (Registro 4x) |    |    |    |                         |    |   |   |                         |   |   |   |                         |   |   |   |
|-----------------------------------|----|----|----|-------------------------|----|---|---|-------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|---|
| 15                                | 14 | 13 | 12 | 11                      | 10 | 9 | 8 | 7                       | 6 | 5 | 4 | 3                       | 2 | 1 | 0 |
| para canal de entrada 4           |    |    |    | para canal de entrada 3 |    |   |   | para canal de entrada 2 |   |   |   | para canal de entrada 1 |   |   |   |

| Palabra de salida 2 (Registro 4x+1) |    |    |    |                         |    |   |   |                         |   |   |   |                         |   |   |   |
|-------------------------------------|----|----|----|-------------------------|----|---|---|-------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|---|
| 15                                  | 14 | 13 | 12 | 11                      | 10 | 9 | 8 | 7                       | 6 | 5 | 4 | 3                       | 2 | 1 | 0 |
| para canal de entrada 8             |    |    |    | para canal de entrada 7 |    |   |   | para canal de entrada 6 |   |   |   | para canal de entrada 5 |   |   |   |

| Palabra de salida 3 (Registro 4x+2) |    |    |    |                          |    |   |   |                          |   |   |   |                         |   |   |   |
|-------------------------------------|----|----|----|--------------------------|----|---|---|--------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|---|
| 15                                  | 14 | 13 | 12 | 11                       | 10 | 9 | 8 | 7                        | 6 | 5 | 4 | 3                       | 2 | 1 | 0 |
| para canal de entrada 12            |    |    |    | para canal de entrada 11 |    |   |   | para canal de entrada 10 |   |   |   | para canal de entrada 9 |   |   |   |

| Palabra de salida 4 (Registro 4x+3) |    |    |    |                          |    |   |   |                          |   |   |   |                          |   |   |   |
|-------------------------------------|----|----|----|--------------------------|----|---|---|--------------------------|---|---|---|--------------------------|---|---|---|
| 15                                  | 14 | 13 | 12 | 11                       | 10 | 9 | 8 | 7                        | 6 | 5 | 4 | 3                        | 2 | 1 | 0 |
| para canal de entrada 16            |    |    |    | para canal de entrada 15 |    |   |   | para canal de entrada 14 |   |   |   | para canal de entrada 13 |   |   |   |

**Figura 5.1.3.1.2.1. 6**Parámetros de configuración para las palabras de salida<sup>14</sup>

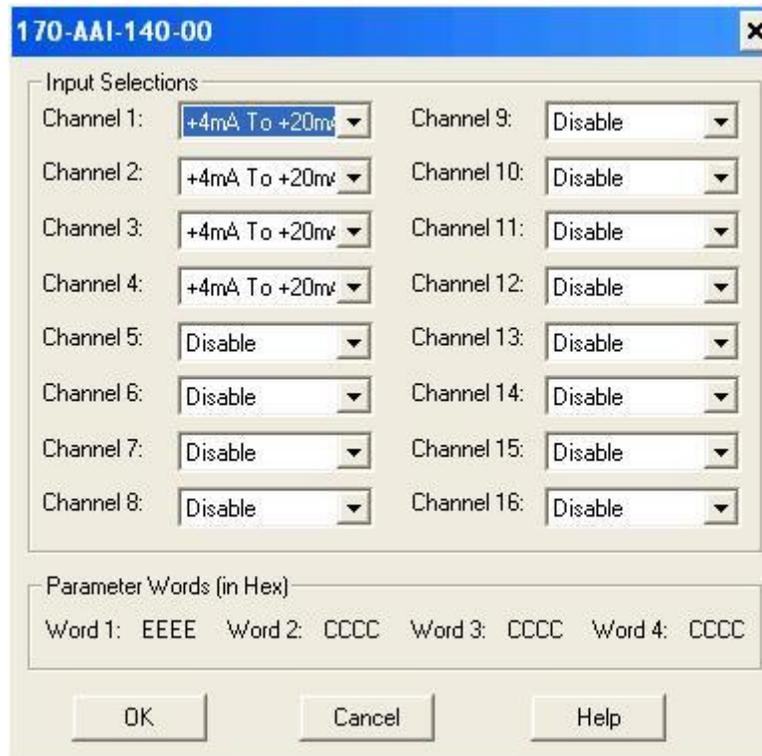
<sup>14</sup>Manual Base de modulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

Ahora bien para ajustar los parámetros de cada canal de entrada analógica se ajustan para los siguientes códigos.

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 8** Códigos de configuración para cada canal de entrada analógica

| Código (binario) | Código (hex) | Parámetro                                 |
|------------------|--------------|---|
| 0000             | 0            | Valor reservado (véase la nota posterior) |
| 1010             | A            | Rango de entrada +/- 5 V                  |
| 1011             | B            | Rango de entrada +/- 10 V                 |
| 1100             | C            | Canal Inactivo                            |
| <b>1110</b>      | <b>E</b>     | <b>4 ... 20 mA</b>                        |

Se muestra la configuración de los parámetros de cada canal de entrada analógica desde el software Concept de Schneider:



**Figura 5.1.3.1.2.1. 7**Parámetros de cada canal de entrada

NOTA: El valor reservado 0000 es más un control que un parámetro. Fuerza la unidad de E/S a un estado predeterminado en el cual continúa recibiendo entrada de campo según los parámetros de canal previos.

Es importante no olvidar que la señal de salida analógica que proporcionan los sensores es de 4 a 20mA

Se describe cómo interpretar el valor de los canales de entrada analógica. Esta tabla se centra en las palabras de entrada 1 a 16:

**Tabla 5.1.3.1.2.1. 9** Valor de los canales de entrada analógica

| Palabra  | Datos de entrada               | Datos de Salida                              |
|----------|--------------------------------|--|
| 1 = LSW  | Valor, canal de entrada 1      | Parámetros para canales de entrada 1 ... 4   |
| 2        | Valor, canal de entrada 2      | Parámetros para canales de entrada 5 ... 8   |
| 3        | Valor, canal de entrada 3      | Parámetros para canales de entrada 9 ... 12  |
| 4        | Valor, canal de entrada 4      | Parámetros para canales de entrada 13 ... 16 |
| 5 ... 15 | Valor, canal de entrada 5...15 | Sin utilizar                                 |
| 16 = MSW | Valor, canal de entrada 16     | Sin utilizar                                 |

Los valores o parámetros de entradas analógicas se ajustan introduciendo un código de cuatro bits en las palabras de entrada 1 a 16 del siguiente modo:

A continuación se muestra la asignación de valores de entradas analógicas:

| Palabra de entrada 1 (Registro 3x, valor analógico devuelto al canal 1) |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15  | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

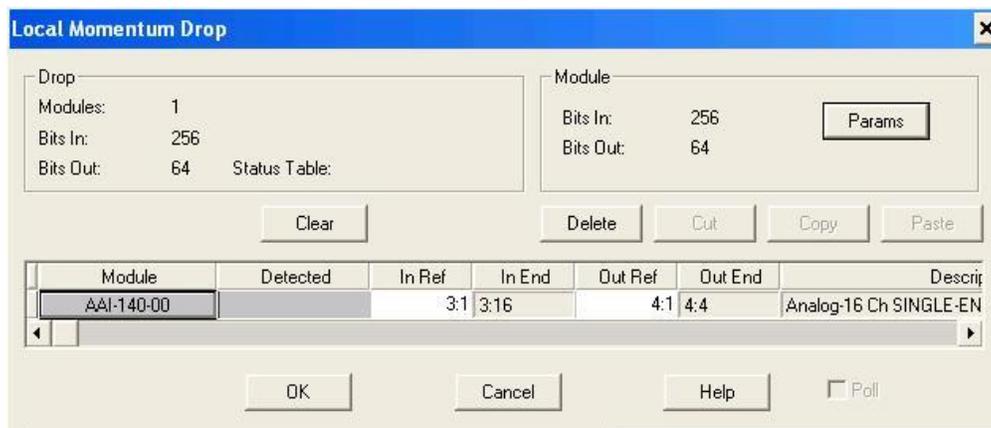
| Palabra de entrada 2 (Registro 3x+1, valor analógico devuelto al canal 2) |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15  | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

| Palabra de entrada 3 (Registro 3x+2, valor analógico devuelto al canal 3) |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15  | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

| Palabra de entrada 8 (Registro 3x+15, valor analógico devuelto al canal 16) |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15  | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

**Figura 5.1.3.1.2.1. 8**Parámetros de entradas analógicas<sup>15</sup>

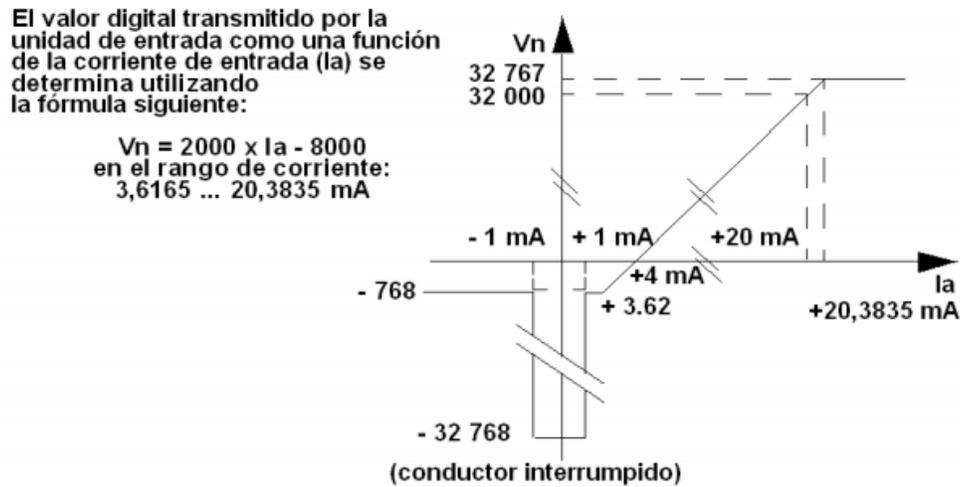
Desde el software Concept se selecciona la base analógica que se desea utilizar y se asignan los registros de entrada de referencia (3x) en los cuales se almacenara la información, así como los registros de salida de referencia (4x) donde se mapearan los valores obtenidos para así mediante el protocolo Modbus acceder a estos y leer la información de la medición.



**Figura 5.1.3.1.2.1. 9**Selección de la base analógica y asignación de registros de entrada y salida

<sup>15</sup>Manual Base de modulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

El siguiente diagrama muestra la relación analógica/digital para la medición de entrada con una corriente de 4 a 20 mA:



**Figura 5.1.3.1.2.1. 10** Relación analógica/digital para la medición de entrada con una corriente de 4 a 20mA <sup>16</sup>

### 5.1.3.1.2.2 Procesador y Memoria Flash del Adaptador de comunicación

Un adaptador de procesadores es un controlador lógico programable (PLC). El adaptador almacena y ejecuta un programa de lógica, al tiempo que controla puntos de E/S en un bus de comunicaciones común. Está diseñado para instalarse en cualquier base de E/S Momentum y para controlar sus puntos como E/S locales.

Se muestra a continuación la descripción del modelo de procesador que se utilizó para realizar la implementación del proyecto: disponibles los adaptadores de procesadores Momentum siguiente.

<sup>16</sup>Manual Base de modulo de entrada analógica finalizada simple de 16 canales 170 AAI 140 00. Schneider Electric

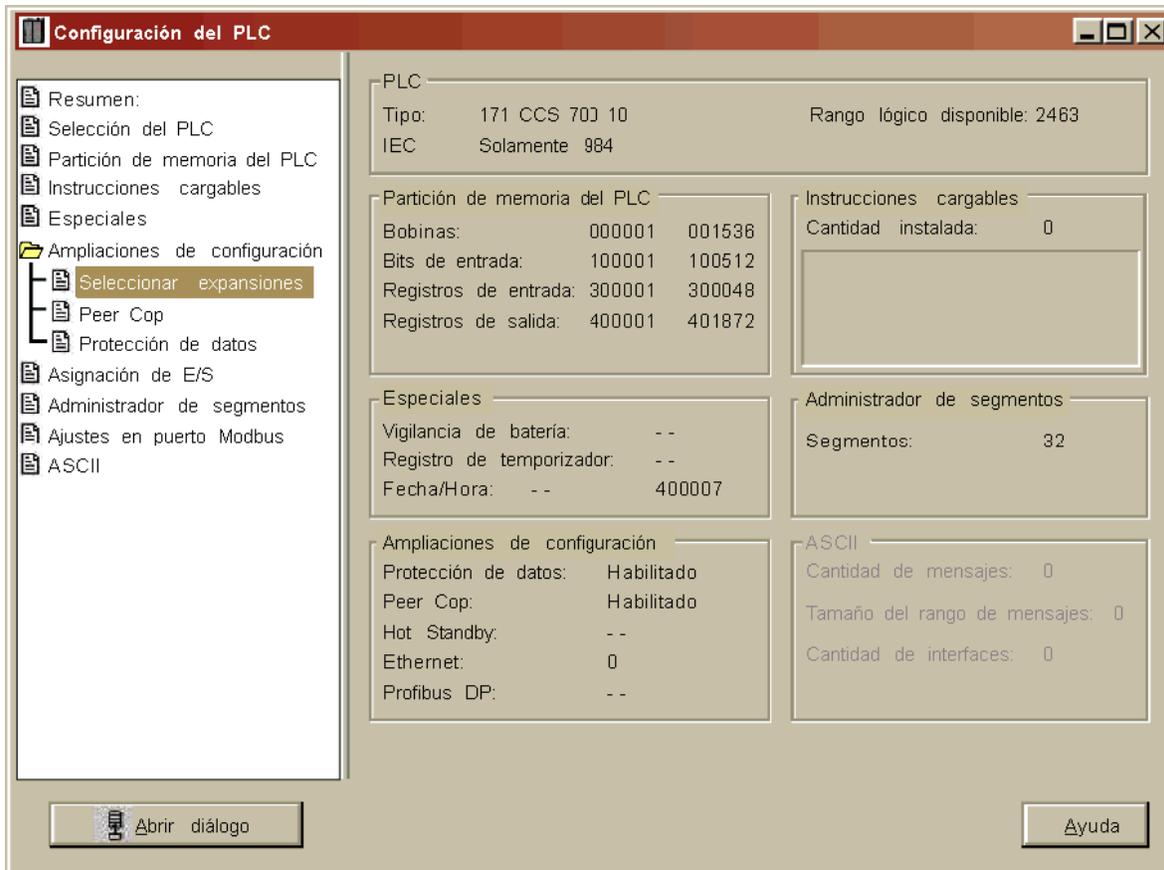
**Tabla 5.1.3.1.2.2. 1** Descripción del modelo de procesador

| <b>Modelo</b>     | <b>Memoria Interna</b> | <b>Flash RAM</b> | <b>Velocidad del reloj</b> | <b>Puertos de comunicaciones</b> |
|-------------------|------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 171 CCC 960<br>30 | 512 kbytes             | 512 kbytes       | 50 MHz                     | Un puerto de bus de Ethernet     |
|                   |                        |                  |                            | Un puerto de bus de E/S          |

La configuración del adaptador del procesador CPU M1 se realiza mediante el software de la compañía Schneider Electric llamado: Concept.

Una vez ingresado al software En el menú Fichero, seleccionar Nuevo proyecto, se abre un proyecto nuevo y el nombre de archivo [sin título] aparece encima de la barra de menú.

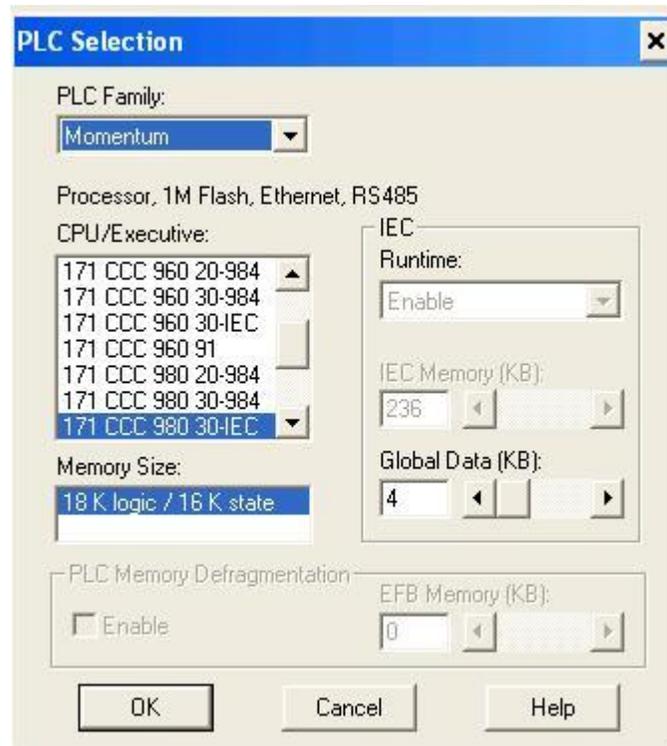
En el menú Configurar seleccionar Tipo de PLC O hacer doble clic en la selección del PLC en la sección izquierda de la ventana. Aparece la pantalla Configuración del PLC, como se muestra en la figura 5.1.3.1.2.2.1.



**Figura 5.1.3.1.2.2. 1** Configuración del PLC

Al hacer doble clic en la carpeta de selección del PLC, aparecerá el cuadro de diálogo Selección del PLC. La selección predeterminada es Momentum y en a lista de familias escogemos el 171CCC980 30-IEC, como se muestre en la figura 5.1.3.1.2.2.2.

Al escoger el PLC se muestran los parámetros de configuración predeterminados



**Figura 5.1.3.1.2.2. 2**Selección del PLC

Finalmente para que el módulo de adquisición de datos este completo se deberá realizar un proyecto mediante módulos de función derivados (DFBs) son módulos de función, que ha definido en Concept DFB.

En DFB no se distingue entre función y módulos de función. Independientemente de su estructura interna son considerados siempre como módulos de función.

Un DFB se representa de forma gráfica como un marco con dobles líneas verticales con entradas y salidas. Las entradas se representarán siempre a la izquierda y las salidas, siempre a la derecha del marco. El nombre del DFB se visualizará centrado dentro del marco. El nombre de instancia se visualizará encima del marco. El nombre de instancia sirve para identificar inequívocamente un módulo de función en un proyecto.

El nombre de instancia se genera automáticamente y tiene la siguiente estructura:

- FBI\_n\_m
- FBI = instancia de módulo de función
- n = Número de sección (número correlativo)
- m = número del objeto FFB dentro de la sección (número correlativo)

El nombre de la instancia se puede editar por medio del diálogo Objeto → Propiedades del DFB. El nombre de instancia debe ser inequívoco en el proyecto completo, para lo cual no se distingue entre mayúsculas y minúsculas. Si ya existe el nombre indicado, aparecerá una advertencia y deberá seleccionar otro nombre. El nombre de instancia se debe formular de acuerdo con la Nomenclatura CEI; si no, aparecerá un mensaje de error.

La siguiente descripción muestra un ejemplo para la creación de un programa en el lenguaje de módulos de función (FBD). La creación de un programa en el lenguaje de módulos de función FBD se divide en dos pasos principales:

Genere por medio del comando de menú Fichero → Nueva sección... una nueva sección e introduzca un nombre de sección.

El nombre de sección (32 caracteres como máximo) debe ser inequívoco en el proyecto completo y no se distingue entre mayúsculas y minúsculas. Si ya existe ese nombre de sección, recibirá un aviso y deberá seleccionar otro nombre. El nombre de sección se debe formular de acuerdo con la nomenclatura CEI; si no, aparecerá un mensaje de error.

Según IEC1131-3, sólo se permite una letra como primer carácter de un nombre. Sin embargo, si desea utilizar también un número como primer carácter, deberá habilitar el comando de menú Opciones → Pre ajustes → Expansiones IEC → Admitir cifras antepuestas en identificadores.

Para insertar un FFB en la sección, seleccione el comando de menú Objetos →Elegir FFB. Se abrirá el cuadro de diálogo FFBs de biblioteca que se muestra en la figura 5.1.3.1.2.2.3



**Figura 5.1.3.1.2.2. 3**Cuadro de selección del FFB

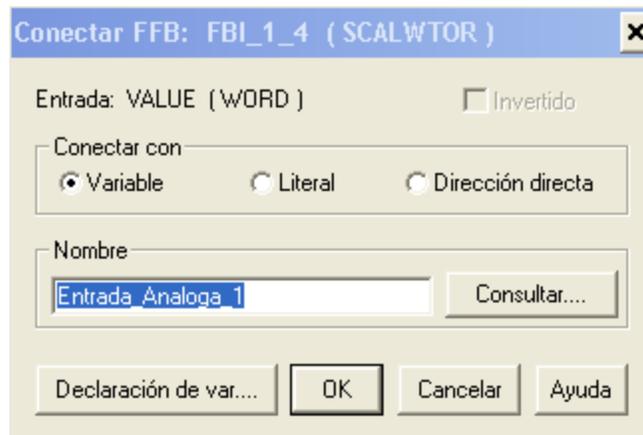
En este cuadro de diálogo podrá seleccionar una biblioteca por medio del botón de comando Biblioteca y seleccionar ahí un FFB. Pero a través del botón de comando DFB también podrá visualizar los DFBs que haya creado y seleccionar uno de ellos.

Active por medio de Objetos → Modalidad de selección la modalidad de selección, haga clic en el FFB, y desplace los FFBs a la posición deseada.

Active por medio de Objetos → Conexión la modalidad de conexión y establezca las conexiones entre los FFBs.

A continuación, active de nuevo por medio de Objetos → Modalidad de **selección** la modalidad de selección y haga doble clic en una de las entradas o salidas no conectadas. Se abrirá el cuadro de diálogo **Conectar FFB** en el cual

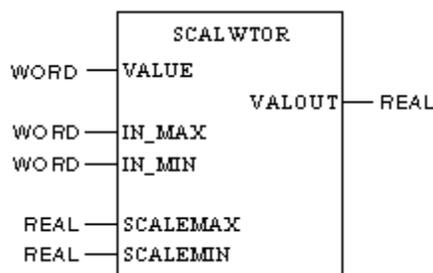
podrá asignar un parámetro actual a la entrada / salida como se muestra en la figura 5.1.3.1.2.2.4:



**Figura 5.1.3.1.2.2. 4** Conexión de FFB

Para efectos de nuestro proyecto utilizamos la función escala un valor de entrada WORD según una escala especificada a un valor de salida REAL.

Los valores para IN\_MAX e IN\_MIN se convierten de modo interno antes de la evaluación según UINT.



**Figura 5.1.3.1.2.2.5** Símbolo del FFB Scaling Word to Real

La fórmula que realiza una escala lineal según la siguiente fórmula

$$Value_{out} = (Value_{in\_min}) \cdot \frac{Scale_{max} - Scale_{min}}{In_{max} - In_{min}} + Scale_{min} \quad (5.1.3.1.2.2.5.1)$$

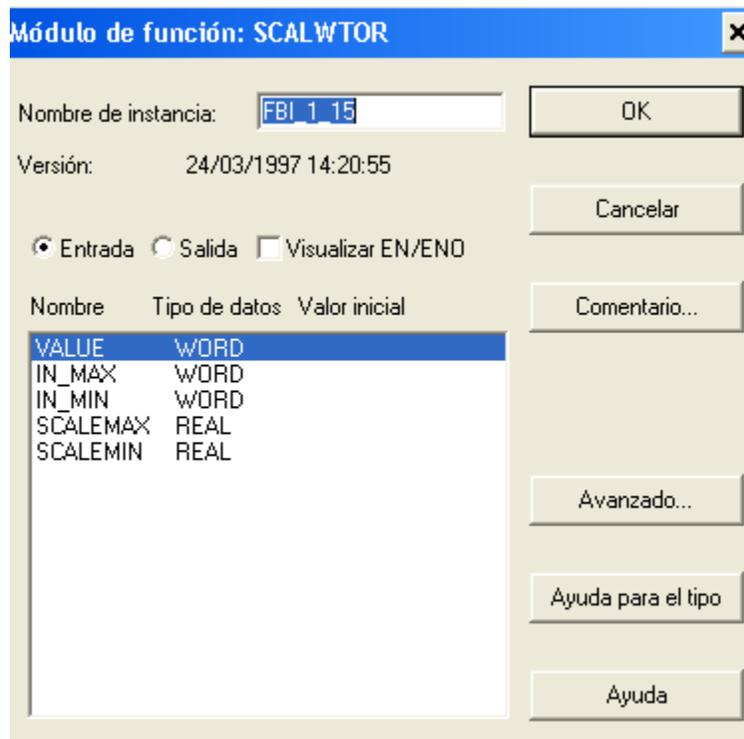
Donde las restricciones:

Si.  $Value \geq In_{max}$ , entonces  $Value_{out} = Scale_{max}$

Si.  $Value \leq In_{min}$ , entonces  $Value_{out} = Scale_{min}$

Mediante la ecuación característica de una recta se obtuvo el factor de conversión necesario para obtener el valor real de presión como se (ver ecuación 5.1.3.1.2.2.5.1), En la sección de anexos se describen los cálculos para obtener el factor de conversión:

A continuación se muestra en la figura 5.1.3.1.2.2.6 el módulo de función SCALWTOR donde se muestran las características del bloque:



**Figura 5.1.3.1.2.2. 6**Características del FFB SCALWTOR

Dependiendo de la lógica del programa podrá asignar a la entrada / salida:

- **Variable**

▪ Located Variable

A través de una Located Variable podrá asignar a la entrada / salida del FFB una señal de E/S de hardware.

El nombre de la variable se visualizará en la entrada / salida en la ventana del editor.

▪ Unlocated Variable

Podrá utilizar como marca la Unlocated Variable que haya asignado a la entrada / salida del FFB, es decir, para resolver los bucles o para realizar transferencias entre diferentes secciones.

El nombre de la variable se visualizará en la entrada / salida en la ventana del editor.

▪ Constantes

Podrá asignar una constante a la entrada del FFB. Podrá transferir la constante a otras secciones. En el editor de variables podrá determinar el valor de las constantes.

El nombre de las constantes se visualizará en la entrada en la ventana del editor.

- **Literal**

Podrá asignar un literal a la entrada, es decir, podrá asignar directamente un valor a la entrada / salida.

El valor se visualizará en la entrada en la ventana del editor.

- **Dirección directa**

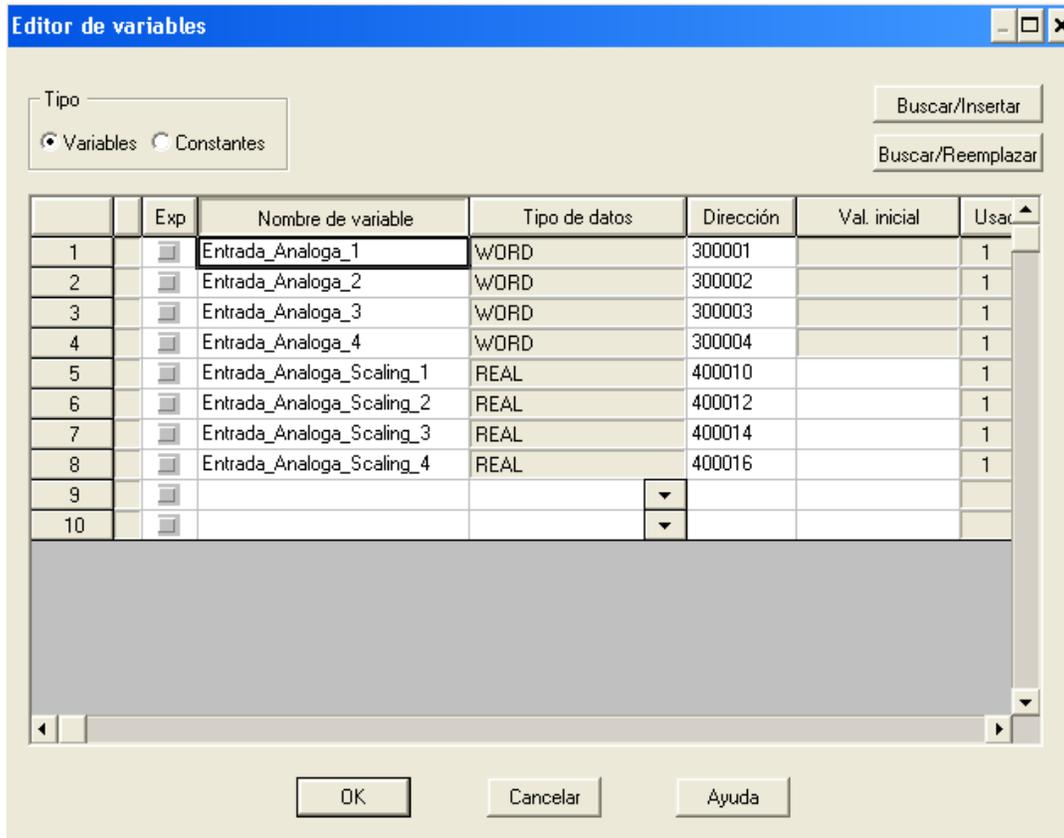
A través de una dirección podrá asignar a la entrada / salida una señal de E/S de hardware.

La dirección se visualizará en la entrada / salida en la ventana del editor. Las entradas no conectadas de FFB están ocupadas con "0" de forma predeterminada.

La declaración de variables sirve para el intercambio de datos en el programa de aplicación. En este sentido, se pueden dirigir las variables (located y variables unlocated) y/o asignar un valor a las constantes. Las variables o direcciones directas se asignan mediante la dirección de la Dotación E/S y se pueden utilizar en la programación con el nombre simbólico (variable) o con la dirección directa. Aquí se intercambian valores entre diferentes secciones a través de las variables o direcciones directas.

En la declaración de variables se determina el tipo de datos, la dirección y el nombre simbólico. A través de la dirección se definen las entradas (1x/3x), o bien, las salidas (0x/4x), las cuales están asignadas con la selección del tipo de datos a la función correspondiente, o bien, a los módulos de función correspondientes en el programa de aplicación. Adicionalmente se puede asignar a cada variable un valor de inicio, el cual se transfiere durante la primera carga al PLC. Existe la posibilidad de escribir para cada variable o dirección directa un comentario que permita reconocer la asignación de una función. Si se modifican, borran o añaden estas declaraciones, se identifica este estado de modificación mediante determinados símbolos en la primera columna.

Se muestra la ventana del editor de variables donde se define el nombre de variable el tipo de dato y la dirección de registro de entrada analógica y la “salida” que sería la entrada analógica escalada que será leída en el sistema SCADA.

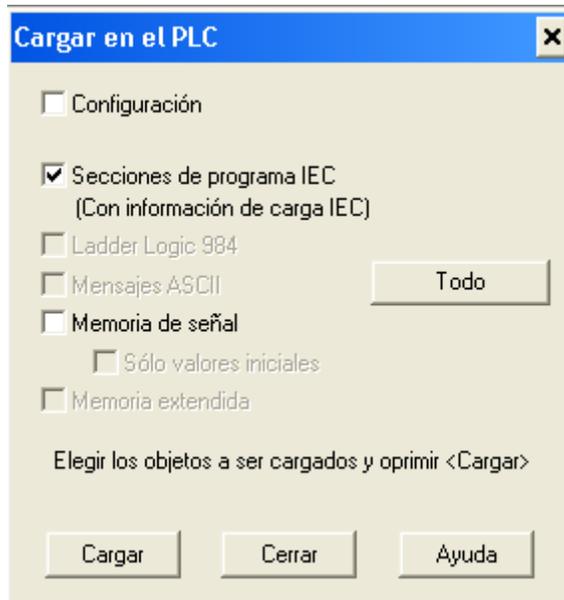


**Figura 5.1.3.1.2.2. 7** Editor de variables del proyecto.

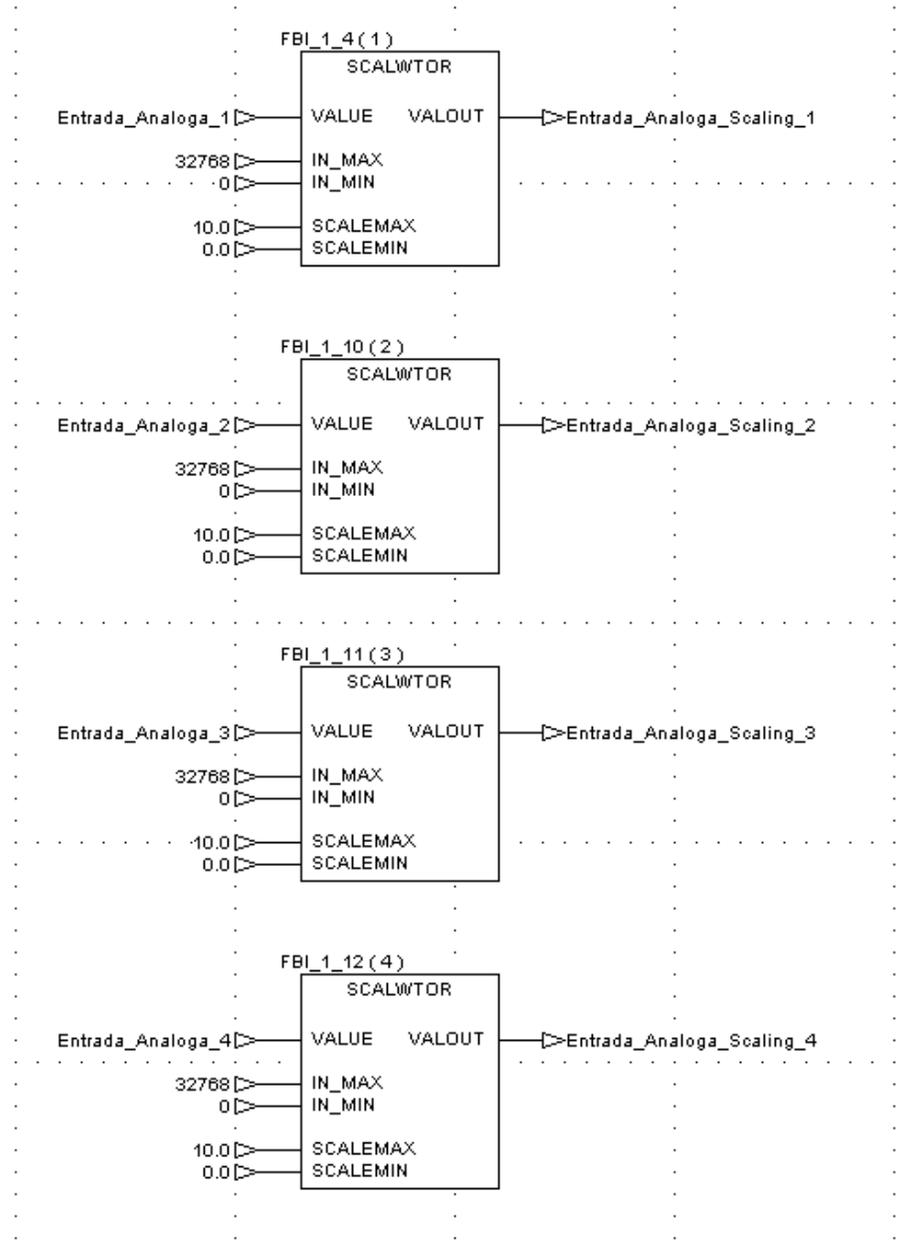
Finalmente se crea el proyecto, de la siguiente manera:

- Se ajusta el valor máximo de entrada a 32768 debido a que la resolución de la base es de 15 bits según lo estudiamos en el punto anterior ya que  $2^{15} = 32768$ , y como valor mínimo 0, todo esto debido a que el bloque hace un escalamiento lineal y primero realiza una cuenta de información en palabras (una cadena finita de bits) para posteriormente mediante la ecuación 5.1.3.1.2.2.5.1 obtener un valor real.

- El valor de escala máxima puede variar según el criterio del diseñador debido a que esto solamente le dará como resultado cierta cantidad de números reales, ya sea en enteros o decimales
- Y finalmente se guarda la sección FBD, y se realiza una nueva descarga desde el proyecto desde el fichero Online como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.1.3.1.2.2. 8Carga del FBD desde el PLC**



**Figura 5.1.3.1.2.2. 9** Proyecto FBD del escalamiento de las entradas analógicas del transmisor de presión hacia las entradas del sistema SCADA.

### 5.1.3.1.3 Bloque de comunicación

Esta etapa está conformada por los dispositivos necesarios para que el bloque de procesamiento de datos logre establecer la comunicación con los demás módulos. Describiendo el adaptador de procesador 171 CCC 980 30, incluyendo sus características principales, su hoja de datos y una ilustración.

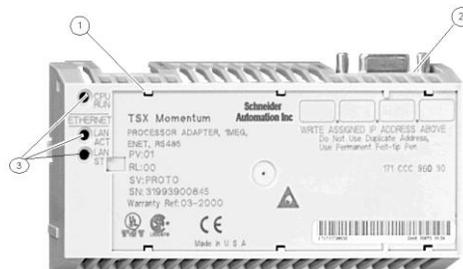
#### Características principales

A continuación se enumeran las características principales de este adaptador de procesador.

- Puerto Ethernet
- Puerto Modbus 2/sólo RS485
- 544 kbytes de memoria interna
- Velocidad de reloj de 50 MHz

**NOTA:** El conector de puerto Ethernet tiene un aspecto similar al del conector de puerto Modbus. No se debe intentar utilizar un adaptador Ethernet como unidad Modbus.

En la siguiente ilustración 5.1.3.1.3.1 se pueden apreciar los conectores y los indicadores LED.



**Figura 5.1.3.1.3. 1** Adaptador del Procesador 171CCC 980 30<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

**Tabla 5.1.3.1.3 1** Descripción de los conectores e indicadores

| Etiqueta | Descripción                    |
|----------|--------------------------------|
| 1        | Conector de puerto Ethernet    |
| 2        | Conector de puerto Modbus<br>2 |
| 3        | Indicadores LED                |

Este adaptador de procesador dispone de tres indicadores LED: RUN, LAN ACT (IVE) y LAN ST (ATUS). Sus funciones se describen en la figura 5.1.3.1.3.2 siguiente.

| LED      | Modelo de indicadores   | Estado   |
|----------|---|--|
| Arranque | Ambos   | Un único parpadeo. Indica que el estado funcional es correcto.   |
| RUN      | Verde   | Continuamente encendido cuando la CPU recibe alimentación y resuelve lógica.<br>Parpadea mostrando un modelo de error si la CPU se encuentra en modalidad de núcleo. (Véase "Códigos de error y modelos de parpadeo del LED Run"). |
|          | DES   | La CPU no recibe alimentación o no está resolviendo lógica.  |
| LAN ACT  | Verde   | Puede estar encendido de forma continua o intermitente. Indica actividad en el puerto Ethernet.  |
|          | DES   | No hay actividad en el puerto Ethernet.  |
| LAN ST   | Verde   | Continuamente encendido durante el funcionamiento normal.  |
|          |   | Un parpadeo rápido indica una inicialización normal de Ethernet al arrancar.   |
|          |   | 3 parpadeos indican que no se detecta ningún pulso de conexiones 10Base-T. Compruebe el cable y el concentrador.   |
|          |   | 4 parpadeos indican que se ha detectado una dirección IP duplicada.  |
|          | 5 parpadeos indican que no hay ninguna dirección IP disponible. |  |
| DES      | No hay ninguna dirección MAC válida.                            |  |

**Figura 5.1.3.1.3. 2** Funciones de los LED del procesador<sup>18</sup>

Ahora bien en la siguiente figura se muestran las características del adaptador de procesador M1 Momentum 171 CCC 980 30.

<sup>18</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Memoria</b>                                  |                             |
| Memoria interna                                 | 544 kbytes                  |
| Memoria de usuario                              | Exec 984LL de 18 K palabras |
|   | Exec IEC de 200 K palabras  |
| Flash RAM                                       | 1 Mb                        |
| Velocidad de reloj                              | 50 MHz                      |
| <b>Referencias de entrada y salida de 984LL</b> |                             |
| Registros                                       | 26048                       |
| Bits  | 8.192 referencias 0x        |
|   | 8.192 referencias 1x        |
| <b>Referencias de entrada y salida de IEC</b>   |                             |
| Registros                                       | 11200                       |

|  |  |
|--|--|
| Bits                                   | 4.096 referencias 0x   |
|  | 4.096 referencias 1x   |
| <b>Mantenimiento de E/S</b>            |  |
| E/S locales                            | Mantiene todos los puntos de cualquier unidad host de E/S Momentum.  |
| Timeout de temporizador Watchdog       | 335 ms   |
| Tiempo de ciclo lógico                 | Consulte el apartado "Fórmula de tiempo de ciclo para 984LL Exec" que aparece abajo.   |
| <b>Características mecánicas</b>       |  |
| Peso                                   | 42,5 g (1,5 oz)  |
| Dimensiones (alto x fondo x ancho)     | 25.9 x 61.02 x 125mm<br>(1,01 x 2,37 x 4,86 pulg.)   |
| Material (cercamientos/biseles)        | Lexan  |
| <b>Condiciones de funcionamiento</b>   |  |
| Temperatura                            | 0 ... 60 °C  |
| Humedad                                | 5 ... 95% (sin condensación)   |
| Interacciones químicas                 | Los cercamientos y los biseles están fabricados con Lexan, un policarbonato que se puede dañar con soluciones alcalinas fuertes.   |
| Altitud, pleno funcionamiento          | 2.000 m (6.500 pies)   |
| Vibración                              | 10 ... 57 Hz a 0,075 mm de amplitud de desplazamiento<br>57 ... 150Hz a 1 g<br>Ref. IEC 68-2-6 FC  |
| Descarga                               | +/-15 g máxima, 11 ms, onda de medio seno<br>Ref. IEC 68-2-27 EA   |
| Inmunidad/sensibilidad a RFI           | Cumple los requisitos de la marca CE para equipos abiertos. Los equipos abiertos deben instalarse en un cercamiento que cumpla el estándar industrial, con acceso restringido al personal de servicio cualificado. |
| <b>Condiciones de almacenamiento</b>   |  |
| Temperatura                            | -40 ... +85 °C   |
| Humedad                                | 5 ... 95% (sin condensación)   |
| <b>Parámetros de seguridad</b>         |  |
| Grado de protección                    | Acceso involuntario (UL 508 tipo 1, NEMA250 tipo 1, IP20 de acuerdo con IEC529)  |
| Fuerza dieléctrica                     | Ethernet tiene separación de potencial del común lógico de 500 V CC.   |
| Continuidad de puesta a tierra         | 30 A, prueba en el conector de metal expuesto  |
| Aprobaciones de organismos competentes | UL 508, CSA, CUL, CE; FM clase 1, div. 2   |

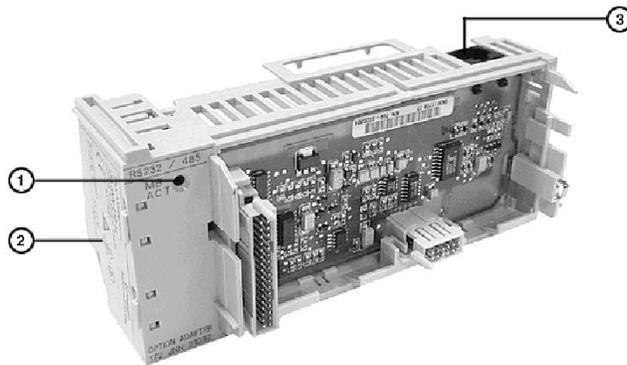
**Figura 5.1.3.1.3. 3**Características del adaptador de procesador M1 Momentum  
171 CCC 980 30.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

Dentro de los componentes del panel frontal de los adaptadores opcionales serie Momentum, el panel frontal incluye:

- Un indicador LED
- Un compartimento para la batería
- Un conector de puerto Modbus 2

En la siguiente figura 5.1.3.1.3.4 se indica la ubicación del indicador LED, el compartimento de la batería y el conector de puerto Modbus 2.



**Figura 5.1.3.1.3. 4**Panel frontal del adaptador opcional<sup>20</sup>

En la siguiente tabla se muestra la descripción de la etiqueta de cada parte del adaptador opcional.

**Tabla 5.1.3.1.3 2**Descripción del panel frontal del adaptador opcional

| Etiqueta | Descripción                            |
|----------|--|
| 1        | Indicador LED                          |
| 2        | Puerta del compartimento de la batería |
| 3        | Conector de puerto Modbus 2            |

<sup>20</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

Este adaptador opcional dispone de un indicador LED: el indicador ComAct. Sus funciones se describen en la figura 5.1.3.1.3.5 siguiente:

| LED     | Estado | Función   |
|---------|--------|---|
| COM ACT | Verde  | Puede estar encendido de forma continua o intermitente. Indica que existe actividad en el puerto serie RS232/RS485. |
|         | DES    | No hay actividad en el puerto serie RS232/RS485.  |

**Figura 5.1.3.1.3. 5Función del indicador LED<sup>21</sup>**

El puerto Modbus 2 es un puerto serie asíncrono de carácter general con funcionalidad esclavo RS232/RS485 seleccionable por el usuario. La elección entre RS232 y RS485 se realiza en el software.

Si está seleccionado el puerto RS232, la función de fin de sesión automático es compatible. Si un panel de programación se conecta a la CPU a través del puerto serie y su cable se desenchufa, el adaptador de procesador finalizará la sesión del puerto automáticamente. Esta función de fin de sesión automático está diseñada para evitar situaciones de bloqueo que podrían impedir que otras estaciones host se conecten a otros puertos.

El fin de sesión automático no está disponible para ningún puerto RS485, incluyendo la opción RS485 del adaptador opcional serie. El usuario deberá desconectarse del procesador utilizando el software de programación.

El puerto Modbus 1 es el puerto serie asíncrono RS232 que permite la comunicación de un equipo central con la CPU para:

- Programar
- Transferir datos
- Cargar/Descargar

<sup>21</sup>Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

- Otras operaciones centrales

El conector del puerto Modbus 1 es un jack de teléfono RJ45 hembra. El puerto Modbus 1 es compatible con los siguientes parámetros de comunicación que se muestran en la figura 5.1.3.1.3.6:

|                         |                        |        |
|-------------------------|------------------------|--------|
| Baudios                 | 50                     | 1800   |
|                         | 75                     | 2000   |
|                         | 110                    | 2400   |
|                         | 134                    | 3600   |
|                         | 150                    | 4800   |
|                         | 300                    | 7200   |
|                         | 600                    | 9600   |
|                         | 1200                   | 19,200 |
| Paridad                 | PAR                    |        |
|                         | IMPAR                  |        |
|                         | SIN                    |        |
| Bits de modalidad/datos | ASCII 7 bits           |        |
|                         | RTU 8 bits             |        |
| Bit de parada           | 1                      |        |
| Dirección Modbus        | En el rango de 1 a 247 |        |

**Figura 5.1.3.1.3. 6** Parámetros compatibles de comunicación para Modbus<sup>22</sup>

Los parámetros de comunicación predeterminados definidos en fábrica para el puerto Modbus 1 son:

- 9600 baudios
- Paridad PAR
- Modalidad RTU 8 bits
- 1 bit de parada
- Dirección Modbus

Un adaptador de procesador no puede soportar más de un bit de parada. Si cambia este ajuste predeterminado en el software de configuración, el adaptador de procesador ignorará el cambio.

<sup>22</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

Todos los otros parámetros de puerto se pueden modificar con éxito en el software de configuración. Ahora bien si asignamos una dirección IP de Ethernet se requiere un servidor BOOTPLT para asignar una nueva dirección IP al adaptador. Después de que el servidor asigna la dirección IP, la aplicación del servidor puede emitir un comando al adaptador para que almacene la dirección internamente.

Si el adaptador tiene almacenada la dirección y se reinicializa (por ejemplo, tras una pérdida de alimentación), el adaptador volverá a emitir peticiones de dirección al servidor BOOTPLT. Si un servidor responde con una dirección, el adaptador utilizará dicha dirección. Si el servidor no responde, el adaptador utilizará la dirección almacenada.

Como se muestra en la figura 5.1.3.1.3.7, mediante se ingresa a la raíz del sistema donde se encuentra almacenado el BOOTPLT, para asignar una dirección IP al dispositivo tal y como se indica en el ejemplo, a partir de ese momento se deberán seguir todas las indicaciones que el programa le indique, cabe destacar que el almacenamiento de la dirección IP se deberá realizar dos veces, esto para evitar que en caso de una pérdida de alimentación nos elimine la dirección.

```
ca Símbolo del sistema
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Administrador>CD..
C:\Documents and Settings>CD..
C:\>BOOTPLT
Schneider Automation Ethernet Adapter IP address change utility
Win32 version for Windows 95/98 and NT
001.01 10/01/99

          required      required      optional      optional
usage: bootplt mac_address ip_address ip_router ip_mask
eg      bootplt 000054000001 198.202.138.77 192.202.138.254 255.255.255.0

This program will assign an IP address to an Ethernet device.
Remember to power cycle the Ethernet module WHILE the BOOTP
messages are being sent out

C:\>_
```

Figura 5.1.3.1.3. 7Almacenamiento de la dirección IP mediante BOOTPLT

Se resume que para establecer la dirección IP predeterminada utilizando su PC, configure una ruta activa desde el PC. Para hacer esto ya sea con Windows 95/98/2000/ME/XP o con Windows NT, para este caso se muestra para el módulo Momentum 170ENT11001, que también aplica para nuestro adaptador de comunicación 171CCC 980 30, proceda de la siguiente manera:

| Paso | Acción  |
|------|---|
| 1    | Asegurarse de que el módulo Momentum 170ENT11001 o el Momentum 170ENT11000 esté funcionando.  |
| 2    | Obtener la dirección IP predeterminada del adaptador.   |
| 3    | Abrir una ventana de MS-DOS.  |
| 4    | Imprimir las rutas activas actuales escribiendo:<br>C:>route PRINT  |
| 5    | Agregar una ruta activa escribiendo:<br>C:\>route ADD 84.0.0.0 MASK 255.0.0.0 205.217.193.205<br>El resultado es que Windows 95/98/ NT comunicará con cualquier dirección que <ul style="list-style-type: none"> <li>● empiece con 84</li> <li>● se conecte directamente con cualquier concentrador o conmutador directamente accesible al equipo</li> <li>● pueda ser visto por la ruta/pasarela especificada</li> </ul> |

**Figura 5.1.3.1.3. 8Pasos para establecer la dirección IP al adaptador de procesador y comunicación<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

| Paso | Acción   |
|------|--|
| 6    | <p>Confirmar que exista una nueva entrada en la tabla de rutas activas escribiendo:<br/> C:&gt;<code>route PRINT</code><br/> La siguiente figura confirma que la nueva entrada ha sido agregada a la tabla de rutas activas.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <pre>Active Routes:  Network Address      Netmask  Gateway Address  Interface  Metric ----- 0.0.0.0              0.0.0.0  205.217.193.205  205.217.193.205  1 84.0.0.0             255.0.0.0  205.217.193.205  205.217.193.205  1 127.0.0.0            255.0.0.0  127.0.0.1        127.0.0.1        1</pre> </div> |
| 7    | <p>Eliminar una ruta escribiendo:<br/> C:\&gt;<code>route DELETE 84.0.0.0</code></p>   |
| 8    | <p>Verificar que exista una conexión escribiendo:<br/> C:\&gt;<code>ping 84.0.0.2</code><br/> La siguiente figura muestra que la conexión ha sido verificada.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <pre>Reply from 84.0.0.2: bytes=32time=1msTTL=32 Reply from 84.0.0.2: bytes=32time=1msTTL=32 Reply from 84.0.0.2: bytes=32time=1msTTL=32 Reply from 84.0.0.2: bytes=32time=1msTTL=32</pre> </div>   |

**Figura 5.1.3.1.3. 9Pasos para establecer la dirección IP al adaptador de procesador y comunicación<sup>24</sup>**

Se debe consultar con el administrador del sistema para obtener una dirección IP válida y una gateway adecuada y, si es necesario, una máscara de subred.

La dirección MAC, o dirección global IEEE, se almacena en formato hexadecimal, esta aparece en la parte exterior del adaptador. Como ya se ha dicho, cada dirección MAC es única. La dirección que aparece en la etiqueta que sigue es una dirección única y es la dirección para el adaptador visualizado a continuación. Su adaptador tendrá una dirección distinta.

Una vez terminada la inicialización, el adaptador solicita la dirección IP Ethernet a un servidor BOOTPLT. El adaptador utiliza la dirección MAC con el protocolo BOOTPLT en la red Ethernet.

<sup>24</sup>Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario, Schneider Electric

El adaptador esperará diez segundos a que un servidor BOOTPLT responda con la dirección IP del adaptador. Si recibe una respuesta del servidor, el adaptador utilizará dicha dirección durante todo el tiempo de que reciba alimentación.

Cuando el adaptador recibe la dirección IP, ejecuta un procedimiento interno para identificar la base de E/S. Si el procedimiento falla, el indicador RUN del adaptador parpadea una secuencia de fallo (seis parpadeos) y permanece inactivo.

Si la base de E/S se identifica satisfactoriamente, el adaptador quedará preparado para comunicarse utilizando el protocolo Modbus en TCP/IP.

El adaptador tiene un área RAM no volátil para almacenar la dirección IP asignada. Si la aplicación requiere que el adaptador conserve la dirección IP actual, la aplicación debe emitir un comando de escritura Modbus para escribir un valor booleano en un registro específico del adaptador de modo que la dirección quede almacenada. El adaptador no almacena la dirección de forma predeterminada.

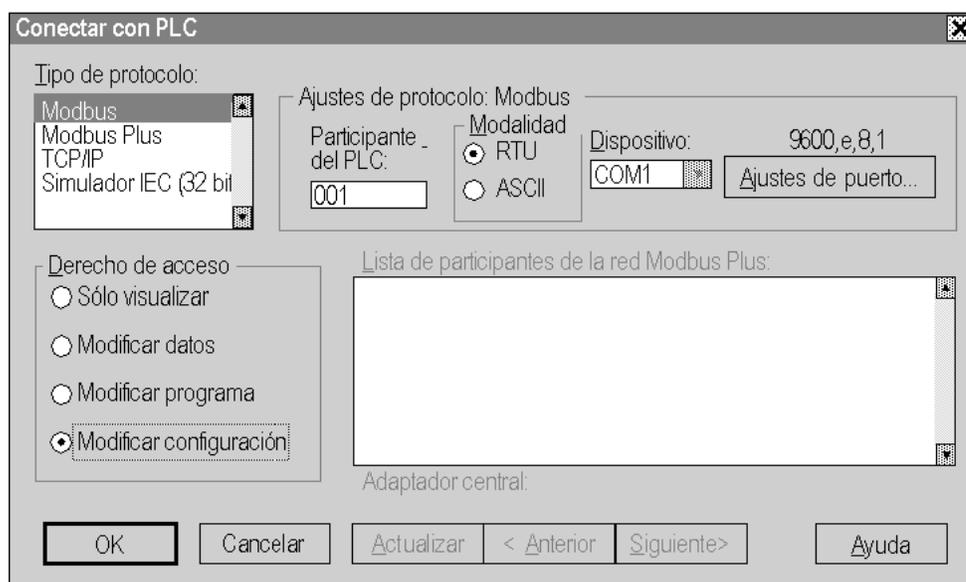
El adaptador tiene un área RAM no volátil para el almacenamiento de los parámetros IP asignados. El adaptador conserva sus parámetros cuando se corta la alimentación y los conserva de forma permanente, aun cuando se retira del servicio. Si el adaptador se vuelve a poner en servicio, es posible que provoque una actividad inesperada en la red. Por lo tanto, debe borrar los parámetros actuales antes de extraer el adaptador del servicio.

El adaptador dispone de un registro interno que define el estado booleano (guardado o no guardado) de los parámetros IP. La aplicación puede leer y escribir en el registro, por lo que puede borrar los parámetros del adaptador.

Es importante que antes de retirar el adaptador, corte la alimentación de funcionamiento de la base de E/S. A continuación, desconecte el cable Ethernet y retire el adaptador de la base.

Ahora bien se requiere además también guardar una dirección la dirección IP en la memoria flash para ello se realizan los siguientes pasos:

En el menú Online de la barra de menú principal, seleccione **Conectar**. Aparece el cuadro de diálogo Conectar con PLC.

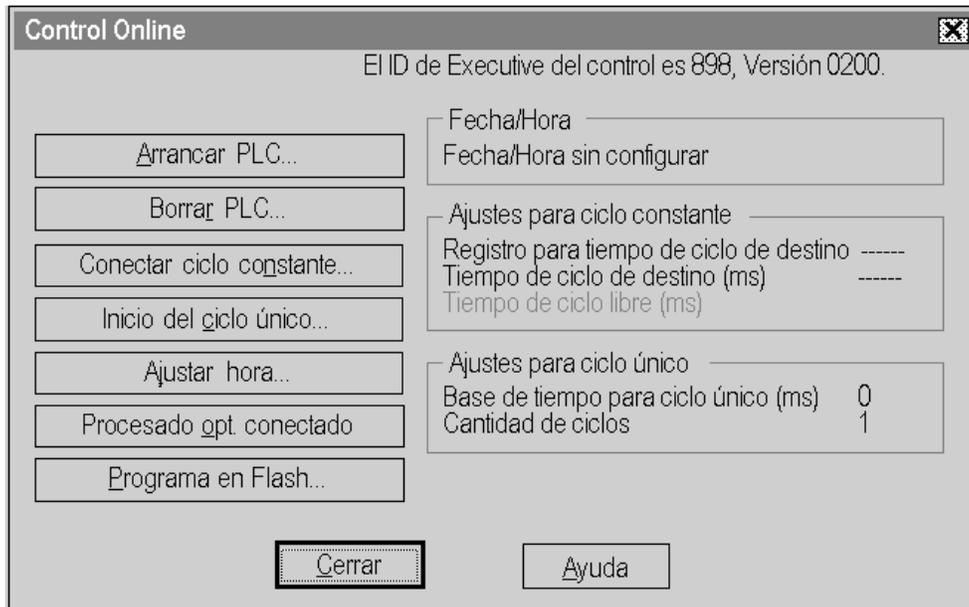


**Figura 5.1.3.1.3. 10** Ventana para conexión del PLC a la red

Seleccione los parámetros correctos para conectar con su PLC. En Derecho de acceso, seleccione el botón de radio Modificar configuración Haga clic en OK.

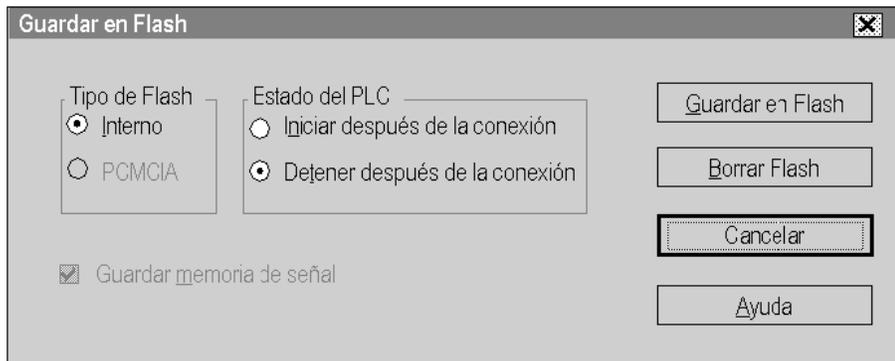
El cuadro de diálogo Conectar con PLC desaparece y Concept se conecta con su PLC.

En el menú Online de la barra de menús principal, seleccione Control online. Aparece el panel Control online.



**Figura 5.1.3.1.3. 11** Ventana de control online del PLC

Haga clic en el botón **Programa en Flash...** Aparece el cuadro de diálogo **Guardar en Flash.**

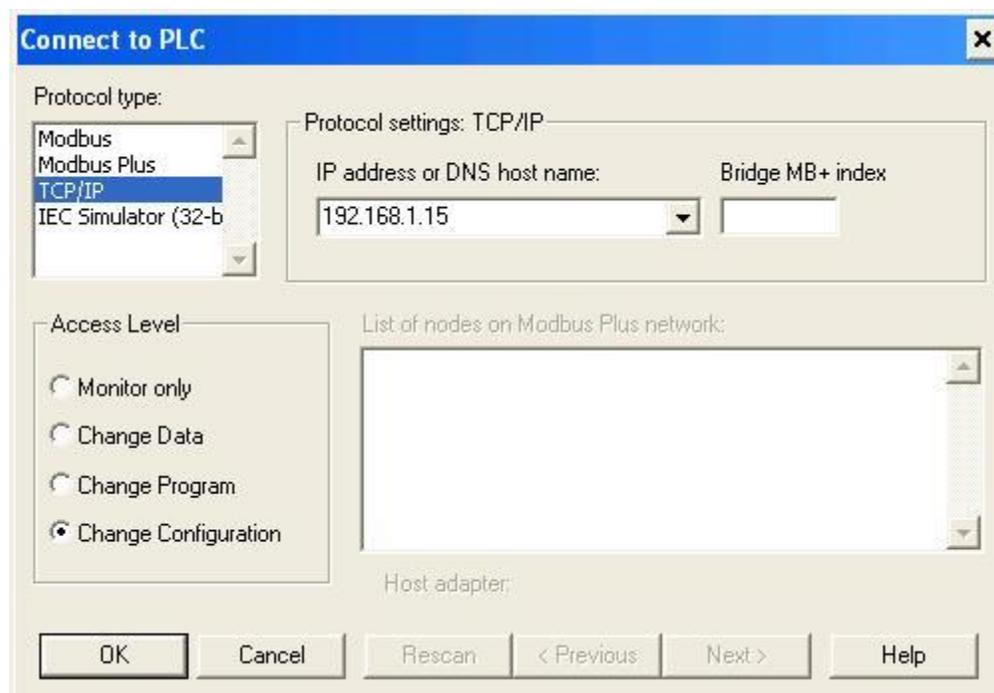


**Figura 5.1.3.1.3. 12** Ventana de almacenamiento de dirección IP en memoria flash

En el cuadro de diálogo, seleccione los parámetros adecuados y haga clic en el botón **Guardar en Flash.** Aparece un cuadro de diálogo preguntando si desea realmente guardar en Flash. Haga clic en el botón **Sí.**

NOTA: Al hacer clic en Sí (para guardar en Flash) se sobrescribe la aplicación anterior. Concept completa la operación para guardar en Flash y aparece un mensaje en la pantalla que confirma que se ha guardado correctamente.

Finalmente para realizar una conexión al PLC desde el computador se ingresa al fichero online del software Concept y una vez almacenada la dirección IP mediante el BOOTPLT y la descarga a la memoria Flash se agrega la dirección IP, se selecciona el protocolo TCP/IP, se da click en OK y la conexión se realiza.



**Figura 5.1.3.1.3. 13** Conexión del PLC mediante protocolo TCP/IP

### 5.1.3.2 Módulo externo (Transmisores de presión)

Este módulo funciona de la siguiente manera, se alimenta con una tensión de 24VCD, y dentro del bloque de circuito electrónico, la función de este se describe a continuación:

- *Rango de medida < 1 bar (< 14.5 psi)*

La célula de medida de silicio del transmisor de presión está dotada de un puente de resistencias piezoeléctricas, al cual la presión de servicio "p" se transmite por aceite de silicona y una membrana de acero inoxidable.

La tensión de salida de la célula de medida se conduce hacia el amplificador y se transforma en una señal de salida tipo corriente de 4 a 20 mA. La corriente de salida es linealmente proporcional a la presión de entrada.

- *Rango de medida  $\geq 1$  bar ( $\geq 14.5$  psi)*

La célula de medida de película fina dispone de un puente de resistencias de película fina, al cual la presión de servicio "p" se transmite a través de una membrana cerámica.

La tensión de salida de la célula de medida se conduce hacia el amplificador y se transforma en una señal de salida tipo corriente de 4 a 20 mA o en una tensión de salida de 0 a 10 V DC.

La corriente y la tensión de salida son linealmente proporcionales a la presión de entrada.

## **5.2 Descripción del software**

### **5.2.1 Descripción de la interfaz de usuario.**

### 5.2.1.1 Diseño de la interfaz

Con el software DAQFactory para la supervisión y adquisición de datos SCADA mas la interfaz humano maquina HMI, hacen que se conviertan en una poderosa herramienta, flexible y económica para lograr toda clase de desafío en la comunicación entre un software y los equipos en tiempo real. Esta herramienta permite realizar cambios en cualquier intervalo de tiempo de cada proceso sin detenerlo.

DAQFactory es una herramienta muy confiable y accesible, por esta razón es utilizada en diferentes tipos de industrias alrededor de todo el mundo, por mencionar algunas industrias como; las encargadas del espacio aéreo, automotrices, la agricultura, de energía, construcción, fabricación, agua y aguas negras, irrigación, minería, militares, ciencia e investigación de la tecnología y la educación.

DAQFactory HMI / SCADA es el software más completo y la solución mas apropiada en la automatización, gracias a:

- La gran variedad de dispositivos para la adquisición de datos, entre los que destacan; la comunicación Modbus, Allen Bradley DF1, Mitsubishi, OPC, etc.
- Permite las comunicaciones seriales y Ethernet, DAQFactory puede actuar como un esclavo Modbus
- Registro continuo o condicional de datos ASCII a archivos binarios o a bases de datos ODBC. Los archivos de persistencia automáticos hacen que la recuperación del historial de datos sea muy fácil
- Pantallas de usuarios ilimitadas con 43 componentes diferentes como texto básico, paneles, cajas de revisión, medidas, perillas, gráficos de tendencia, gráficos tridimensionales, y mucho más
- Una multiasignación con la flexibilidad para proporcionar una automatización total.

- Control de lazo PID.
- Alarmas con varias notificaciones, incluyendo el correo electrónico, el buscador de personas y la voz para notificaciones sobre el teléfono.
- Conexión de red en tiempo real y capacidades de servidor web.

A diferencia de otros paquetes HMI / SCADA, DAQFactory te permite realizar cambios de procesos en marcha, sin tener que detener y correr nuevamente la aplicación. Con la licencia apropiada, usted aún puede cambiar una instalación de tiempo de ejecución al modo de desarrollo, hacer un cambio, y volver al tiempo de ejecución sin alguna vez necesidad pararse y reconstruir el uso.

## Ventajas

- **Adquiera datos de múltiples fuentes como locales y remotas**  
Solamente conectando los o el PLC a la PC con DAQFactory HMI mediante los puertos seriales o Ethernet, y con ello conseguirá que todos los datos de uno o más procesos se reúnan en una sola PC.
- **Vea y analice los datos de sus procesos en una sola pantalla en tiempo real**  
Adquiera los datos de múltiples procesos y muestre los mismos sobre una pantalla para revisión constante, además puede utilizar múltiples gráficos y con ello obtener un mejor análisis visual. Otra herramienta que puede utilizar con este software son los análisis matemáticos e instrumentos de manipulación de datos en tiempo real
- **Permite realizar cambios en marcha**  
Este software permite realizar cambios y añadir nuevos elementos mientras el software este en marcha.

- **Alarmas** **y** **notificaciones**

Con la utilización de diferentes formas de alarmas y notificaciones en la pantalla, además del envío de correos, o voz para cuando los valores del proceso salgan del rango permitido y con ello ayudar a que la persona encargada resuelva el problema rápidamente.

- **Herramienta** **Ethernet**

Con esta puede utilizar múltiples de protocolos para la comunicación y control de diferentes equipos, y así corregir problemas sin necesidad ir a donde se encuentran los equipos.

### **Dispositivos seriales y Ethernet**

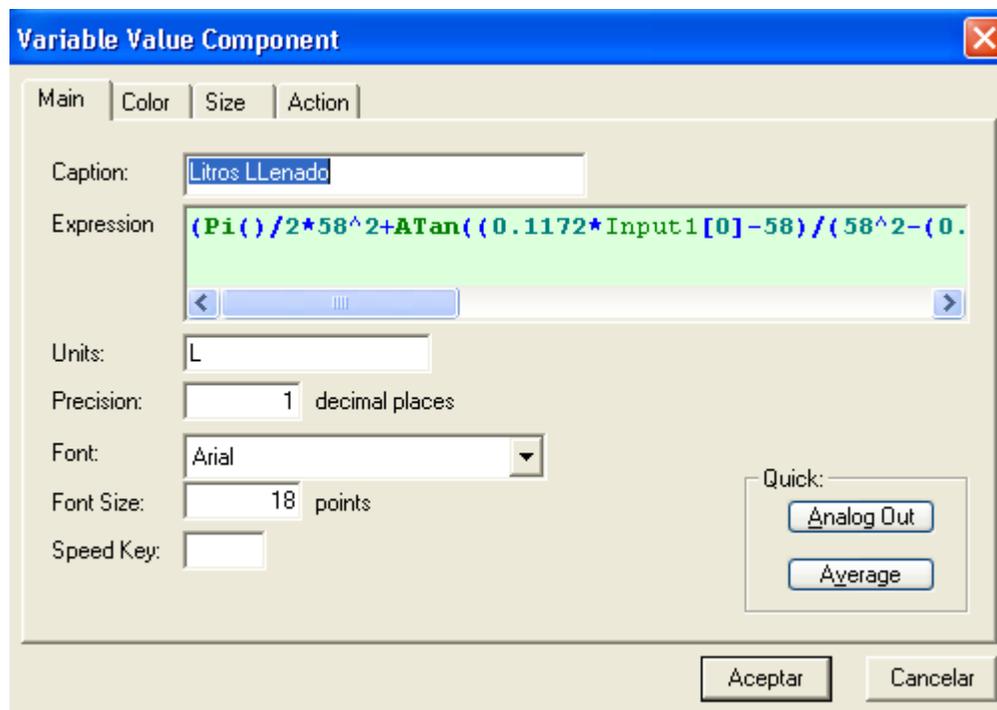
- RS232 / 422 / 485
- Clientes TCP / UDP y servidores TCP
- Usa cualquier protocolo serial o Ethernet
- Creación de monitoreo avanzado para la depuración de comunicación
- Crea tu propio protocolo para comunicarte con cualquier dispositivo
- Protocolos incluidos:
  - Modbus RTU maestro y esclavo
  - Modbus TCP maestro y esclavo
  - Modbus ASCII maestro y esclavo
  - Allen Bradley DF1
  - DataForthisoLynx
  - Mitsubishi A/Q series
  - Mitsubishi FX direct serial

Para el diseño con la creación de un nuevo proyecto y a partir de una hoja en blanco que se genera se empieza a elaborar la interfaz gráfica; no se requiere de mucho conocimiento sobre el software, debido a que por sí solo el aprendizaje es rápido.

Se inicia haciendo un click derecho en una pantalla en blanco, y en la opción **static** escogemos **panely** a partir de aquí tenemos un base para el comienzo de la interfaz, y así sucesivamente para los demás detalles, existe la opción de agregar texto y colores, esto con el fin de hacer la interfaz más amigable con el usuario.

Es necesario e importante de crear valores variables mediante la opción **display**, es aquí donde se configuran los canales de entrada para la lectura de los datos que se desean desplegar en la interfaz, esto nos permite visualizar y supervisar la toma de información, estos valores de variables se configuran mediante una expresión matemática la cual determina la cantidad de litros así como el faltante y un porcentaje.

Ahora bien para hacer más amigable la interfaz y al ser un proyecto sobre la medición de los niveles de diesel, este permite agregar imágenes de acuerdo al proyecto que se desarrolla, en este caso en la opción **tools**, de la barra de herramientas seleccionamos Symbol Factory y en la sección **tanks** se muestra una serie de dibujos de tanques los cuales uno puede seleccionar para el diseño de la interfaz, cabe destacar que cada símbolo que se utilice deberá ser configurado de manera tal que simule la medición de los niveles de diesel en tiempo real, esto logrando mediante la ecuación 3.7.12 de la sección 3.7 un valor real en litros de la cantidad de líquido en el tanque. Se muestra en la figura 5.2.1.1.1 la configuración del símbolo, en donde se escribe la expresión que es equivalente al volumen en litros de líquido contenidos, así como las unidades y la precisión.



**Figura 5.2.1.1. 1** Configuración del símbolo variable

Se presenta en la figura 5.2.1.1.1 la interfaz de muestra los niveles de diesel en los tanques de combustible donde hay variables configuradas que muestran la cantidad de llenado así como el faltante y el porcentaje de su capacidad total.

La utilización de este software permite realizar sistemas de supervisión y adquisición de datos de fácil interacción con el usuario, por eso se decidió realizar el programa de manera que fuera lo más "intuitivo" para el usuario, lo cual se logró mediante la disminución de la cantidad de opciones y eliminar accesos a opciones que no son necesarias solicitar en un momento específico.



**Figura 5.2.1.1. 2** Interfaz Gráfica de los Niveles de combustible

Utilizando el comando de graficar, **percent** y la opción **percentbase** pueden visualizar los datos como se muestra en la figura 5.2.1.1.3.

Se observan las opciones que permite el comando de Ayuda, el cual tiene el propósito de brindarle al usuario un manual de cómo utilizar el software desarrollado, brindándonos así como configurar la barra y obtener la simulación del proceso, este tipo de visualización refleja la altura del líquido en el tanque mediante un porcentaje.

La expresión matemática se toma a partir de la ecuación 3.2.14 Pascal, que estudiamos en la sección 3.2 del presente documento.



**Figura 5.2.1.1. 3** Interfaz Gráfica de los Porcentajes de combustible

### 5.2.1.2 Alarmas

Para realizar la implementación del sistema de alarmas se deberá crear un canal de entrada, que será la lectura del registro de salida (4x) del adaptador de comunicación. Cada alarma muestra la hora de inicio, la hora de reinicio y el tiempo de reconocimiento, para ello se crearon botones que ejecutan la pausa y la activación de las mismas en caso de un nuevo evento.

Se explica a continuación el mecanismo de crear una alarma, generalmente las alarmas se establecen de modo automático, proporcionando una expresión que incluye una restricción. Por ejemplo:  $\text{Input1}[0] > 5$  se active un disparo de alarma, ahora bien para restablecer el sistema se puede configurar el sistema

como: Input1[0]<4. Esto evita que la alarma se vuelva iniciar varias veces por alguna señal ruidosa.

- **Paso 1:** Crear el nombre del canal, posteriormente se selecciona el tipo de comunicación, luego el tipo de entrada de lectura hacia el adaptador de comunicación que es quien envía la información y finalmente definir el número de registro de salida (4x) al cual se hará la lectura del valor final obtenido por la medición del transmisor. Se muestra a continuación la configuración de uno de los canales de lectura del sistema:

**Channel Name:** Input1

**Device Type:** ModbusTCP

**D#:** 1

**I/O Type:** Read Holding S16 (3)

**Chn #:** 40011

**Timing:** 1

**Offset:** 0

Finalmente se hace Click**Apply**, y el canal queda configurado, y así sucesivamente con cada canal.

Nota: Se utiliza Read Holding S16(3) debido a que se requiere leer un registro de 16 bits con signo.

- **Paso 2:** para crear una alarma, nos ubicamos en AlarmSummary y agregamos un nuevo evento llamado: Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo con la siguientes condiciones:

## Main Tab-

**Condition:** $((\text{Pi}()/2*39^2+\text{ATan}((0.1172*\text{Input4}[0]-39)/(39^2-(0.1172*\text{Input4}[0]-39)^2)^{0.5})*39^2+(0.1172*\text{Input4}[0]-39)*(39^2-(0.1172*\text{Input4}[0]-39)^2)^{0.5})*0.123)<165$

**ResetCondition:** AlarmReset

**ResetEventtab:**añadimos la siguiente secuencia como un script

AlarmReset = 0

Y finalmente hacemos Click**Apply**

Esto creara una alarma que se activara cuando el nivel del liquido sea inferior a 165 litros, el evento de inicio es un script que se ejecuta cuando la alarma se restablece, en este caso se establece la variable de AlarmReset a cero para así mantener la alarma restablecida de inmediato para el próximo evento en que se pueda volver a generar la alarma.

- **Paso 3:** para crear una secuencia que permita llevar a cabo la ejecución de la alarma se nombra una secuencia llamada StartUp1 con el siguiente código:

```
globalAlarmReset = 0
```

```
// This code allow us to reset the variables only once.
```

```
if(Alarm.Tanque_Diario_Planta_Cummins_Nivel_bajoFired)
```

```
AlarmReset = 1
```

```
endif
```

```
// Call the function to acknowledge all alarms
```

```
Alarm.AckAllAlarms()
```

Esta secuencia inicia la variable AlarmReset y reconoce todas las alarmas, así con esto nos da un punto de partida para llevar a cabo las pruebas correspondientes

- **Paso 4:** dentro del diseño de la interfaz diseñada en una pagina en blanco haciendo click derecho en cualquier área, seleccionamos la opción de crear un botón o interruptores de reset y reconocimiento (pausa) de la alarma, y se realiza la siguiente configuración:

**.Main Tab-**

**Text:** Reset

**Action Tab-**

**Action:** Quick Sequence

**Sequence:** Copy and paste following code

```
if(Alarm.Tanque_Diario_Planta_Cummins_Nivel_bajo.Fired)
```

```
AlarmReset = 1
```

```
endif
```

Click**OK**

Este botón nos permite restablecer la alarma mediante el establecimiento de la variable AlarmReset a 1. El caso de () declaración nos impide restablecer la alarma antes de que sea reiniciado. El script de Alarm.Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo.Fired devolverá un 1 si se alarmo el sistema.

**Main Tab-**

**Text:** Pausa

**Action Tab-**

**Action:** Quick Sequence

**Sequence:** se debe copiar el siguiente script.

```
Alarm.Ack("Tanque_Diario_Planta_Cummins_Nivel_bajo")
```

Finalmente hacemos Click**OK**

- **Paso 5:** Ahora bien para visualizar el valor de entrada se crea una variable donde se visualizará el valor que toma la entrada que se esta midiendo, para este

**Main Tab-**

**Caption:** Litros

**Expression:**  $(\text{Pi}()/2*58^2+\text{ATan}((0.1172*\text{Input2}[0]-58)/(58^2-(0.1172*\text{Input2}[0]-58)^2)^{0.5})*58^2+(0.1172*\text{Input2}[0]-58)*(58^2-(0.1172*\text{Input2}[0]-58)^2)^{0.5})*0.194$

Finalmente hacemos Click**OK**

Para visualizar la hora de activación, de reset y de pausado realizamos lo siguiente:

**MainTab-**

**Caption:** Tiempo de activación

**Expression:** `FormatDateTime("%c",Tanque_Diario_Planta_Cummins_Nivel_bajo.TimeFired)`

Finalmente hacemos Click**OK**

**MainTab-**

**Caption:** Tiempo de reset

Expression:

`FormatDateTime("%c",Tanque_Diario_Planta_Cummins_Nivel_bajo.TimeReset)`

ClickOK

### MainTab-

**Caption:** tiempo de reconocimiento o pausado

Expression:FormatDateTime("%c",Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo.TimeAck)

ClickOK

Estas variables son componentes que nos permiten visualizar el valor actual del sensado así como los tiempos de los eventos generados por distintas alarmas

El formato FormatDateTime("%c",...) permite al Daqfactory brindar la fecha, hora y ubicación del evento, y el Alarm.Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo.TimeFired es simplemente una variable de la alarma que indica que existe un evento que se cumplió.

Paso 6: Para generar un símbolo o alguna señal que indique que existe un evento alarmado se siguen los siguientes pasos:

### MainTab-

**Expression:** Alarm.Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo.Fired

### Color Tab-

#### Background Color

**Threshold: 0, Color: Green**

**Threshold: 1, Color: Red**

### Size Tab-

#### Blink:

**Expression:** !Alarm.Tanque\_Diario\_Planta\_Cummins\_Nivel\_bajo.Acked

Finalmente hacemos Click **OK**

El diseño de esta luz, muestra el estado de la alarma mediante el uso de la variable Fired. Como se mencionó antes, la variable Fired, devuelve un 1 si la alarma se ha activado y un 0 si la alarma está inactiva. La tabla de colores de fondo muestra la condición de alerta, cuando está en 0 no se activa y cuando está en 1 se activa, así mismo esta parpadea cuando esta activada una alarma mediante la variable ACK.

- **Paso 7:** Una vez creada las secuencias que ejecutara el sistema de alarmas, se selecciona la secuencia que se desea iniciar para un caso específico, y utilizando los botones de reinicio y pausa restablecemos el sistema de alarma de la secuencia específica.

Se muestra en la figura 5.2.1.2.1, el panel con el resumen de alarmas creadas para el sistema de monitorización de los niveles de diesel en los tanques, existen dos categorías de alarma, cuando el sistema alcanza un 50% de su totalidad y un 33% cada una con prioridad de estado critico o de advertencia para tener una supervisión más exacta y en tiempo real del proceso de medición

| Status: | Name:          | Description:           | Priority: | Time of Alarm:     | Time Reset:        | Time Acknowledged: |
|---------|----------------|------------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 33% | Critical  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 11h10m55 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 33% | Critical  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 10h04m16 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 33% | Critical  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 10h04m18 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Diario_ | Nivel de diesel al 33% | Critical  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 10h04m23 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 50% | Advisory  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 11h10m54 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 50% | Advisory  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 11h10m57 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Planta_ | Nivel de diesel al 50% | Advisory  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 10h04m14 | 11y11m08d 09h07m57 |
| nactive | Tanque_Diario_ | Nivel de diesel al 50% | Advisory  | 11y11m03d 16h39m57 | 11y11m08d 10h03m58 | 11y11m08d 09h07m57 |

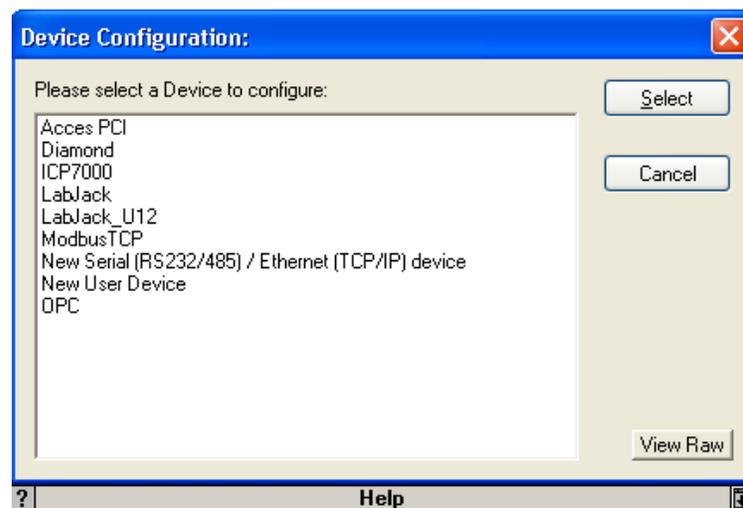
**Figura 5.2.1.2. 1**Resumen de alarmas del sistema

## 5.2.2 Descripción de comunicación al adaptador del procesador.

Para conectarse a un dispositivo de comunicación Modbus, necesitamos crear mediante el software Daqfactory una conexión Ethernet que nos permita un enlace del tipo de protocolo TCP/IP para poner en funcionamiento ambos sistemas y poder recibir los datos adquiridos desde el adaptador de procesador.

El Daqfactory maneja las comunicaciones en serie por medio de la división de la capa de transporte; RS-232, RS-422, RS-485, Ethernet, entre otras mediante los protocolos: Modbus, DF1, NMEA.

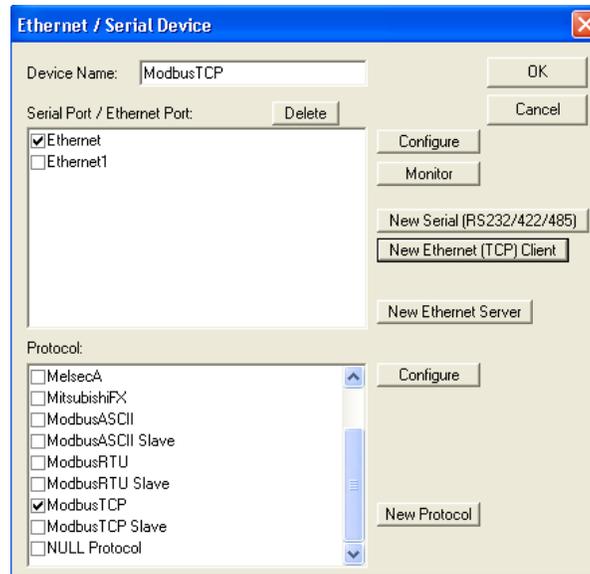
Como paso para iniciar el proceso de configuración del protocolo de comunicación se realiza lo siguiente: se selecciona Quick – DeviceConfiguration desde el menú principal del DaqFactory, se selecciona una nueva comunicación, en este caso se escoge Ethernet (TCP/IP) Device, debido a que nuestro adaptador de procesador se comunica mediante la capa TCP/IP, esto abrirá una ventana de configuración de dispositivos de serie, como se muestra en la figura 5.2.2.1



**Figura 5.2.2. 1** Configuración de la red de comunicación

Agregamos un nombre al dispositivo llamándolo Modbus, y creamos un nuevo puerto de Ethernet (TCP) Client, y seleccionamos el protocolo que

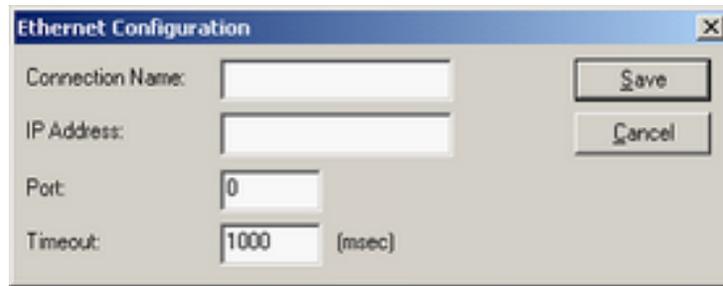
queremos que “hable” nuestro sistema SCADA con el adaptador de procesador que contiene la información. Como se muestra en la siguiente figura 5.2.2.2.



**Figura 5.2.2. 2** Configuración del dispositivo de comunicación

Las tres formas de conexión en serie que se puedan utilizar con RS232, RS422, RS485 como lo mencionamos anteriormente, que puede utilizar e identificar el Daqfactory. Un convertidor de USB a serial, aparecerá como un puerto estándar de comunicación en un PC, también el servidor Ethernet suele ser utilizado cuando se utiliza el protocolo Modbus, como es el caso en el que se trabaja el proyecto.

Como se muestra en la figura 5.2.2.3, debido a que vamos a trabajar mediante una configuración tipo Ethernet dentro de la configuración del dispositivo configuramos nuestra red Ethernet, mediante una dirección IP, esta dirección IP deberá ser la misma a la que se configuro el adaptador de procesador, debido a que es aquí donde el sistema leerá los datos de salida (registros) del dispositivo y los desplegara en nuestro sistema SCADA.



**Figura 5.2.2. 3**Configuración de la red Ethernet

Es así como asignando una dirección IP al puerto de comunicación. El puerto de configuración estándar para Modbus TCP es de 502, y finalmente un tiempo de espera de 1000 milisegundos es adecuada. Finalmente se guarda la configuración y se inicia con la comunicación entre el sistema SCADA y el adaptador de procesador.

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio, es realmente un gran paquete de líneas de comunicación diferente si se puede mencionar así, cabe mencionar que Modbus TCP utiliza el puerto típicamente 502 para llevar a cabo la comunicación.

Se muestra en la figura 5.2.2.4 un resumen de los canales de entrada configurados cada uno con su protocolo de comunicación, así como el tipo de lectura de los registros tipo palabra y los registros a los cuales se deberá leer los datos provenientes del adaptador de procesador.

Channel Table View:

ICE-SJ-Avenida Seg

| Channel Name: | Device Type: | D#: | I/O Type:            | Chn #: | Timing: |
|---------------|--------------|-----|----------------------|--------|---------|
| > Input1      | ModbusTCP    | 1   | Read Holding S16 (3) | 40011  | 1.00    |
| Input2        | ModbusTCP    | 2   | Read Holding S16 (3) | 40013  | 1.00    |
| Input3        | ModbusTCP    | 3   | Read Holding S16 (3) | 40015  | 1.00    |
| Input4        | ModbusTCP    | 4   | Read Holding S16 (3) | 40017  | 1.00    |

**Figura 5.2.2. 4**Tabla de configuración de los canales de entrada

Es así como queda configurada la etapa de comunicación del sistema de monitorización y supervisión para la adquisición de datos y posteriormente su visualización.

## Capítulo 6: Análisis de Resultados

### 6.1 Trasmisores de presión

Para seleccionar los transmisores de presión se realizaron los cálculos correspondientes a la presión máxima que soporta cada uno de los tanques a los cuales se les hizo la implementación del sistema de supervisión y adquisición de datos, mediante la ley de Pascal, se obtuvo lo siguiente:

I. Tanque Planta Kohler IP 1

$$\text{Altura } 116\text{cm} = 1160\text{mm} \times 0,87 = 1009,20$$

$$1009,2\text{mmH}_2\text{O} \approx 100,2\text{mbar} \approx 98,9687\text{mbar}$$

II. Tanque Planta Kohler IP 2

$$\text{Altura } 116\text{cm} = 1160\text{mm} \times 0,87 = 1009,20$$

$$1009,2\text{mmH}_2\text{O} \approx 100,2\text{mbar} \approx 98,96\text{mbar}$$

III. Tanque Planta Cummins

$$\text{Altura } 150\text{cm} = 1500\text{mm} \times 0,87 = 1305,00$$

$$1305,00\text{mmH}_2\text{O} \approx 130,5\text{mbar} \approx 127,9767\text{mbar}$$

IV. Tanque Planta Cummins Diario

$$\text{Altura } 78\text{cm} = 780\text{mm} \times 0,87 = 678,60$$

$$678,6\text{mmH}_2\text{O} \approx 67,8\text{mbar} \approx 66,5479\text{mbar}$$

Experimentalmente la corriente es equivalente a la presión en el instrumento por lo que de acuerdo a la ecuación (3.2.14) la altura del agua se divide entre los promedio de altura del diesel para una misma presión (corriente equivalente a la salida del instrumento). Obteniéndose la siguientes sub tablas:

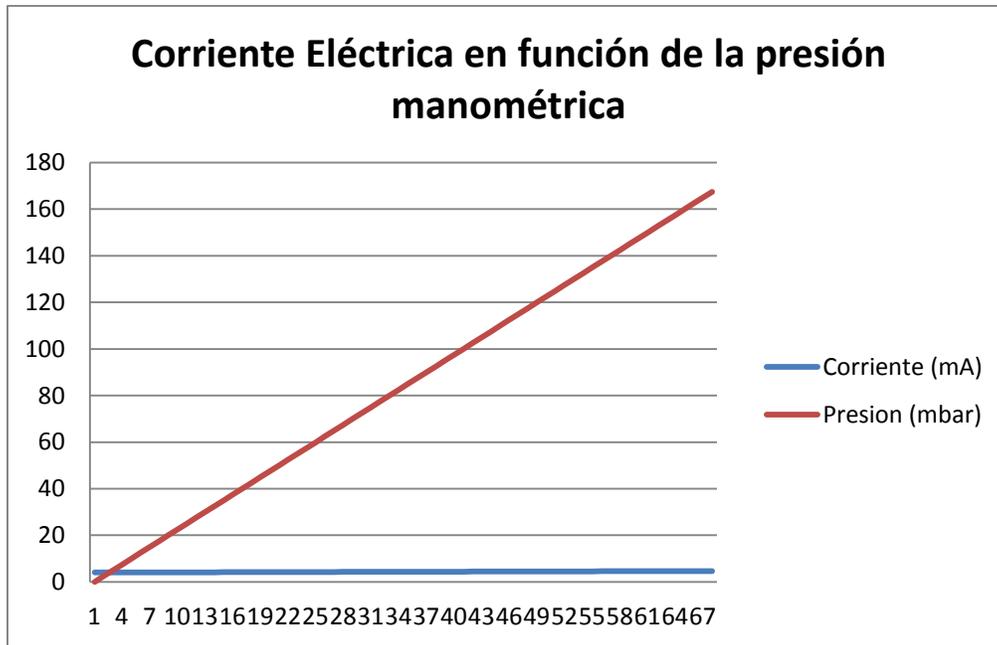
**SubTabla 6.1. 1**Valores de Corriente en función de la presión manométrica

| <b>Corriente (mA)</b> | <b>Presión (mbar)</b> | <b>Corriente (mA)</b> | <b>Presión (mbar)</b> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4                     | 0                     | 4,34                  | 85                    |
| 4,01                  | 2,5                   | 4,35                  | 87,5                  |
| 4,02                  | 5                     | 4,36                  | 90                    |
| 4,03                  | 7,5                   | 4,37                  | 92,5                  |
| 4,04                  | 10                    | 4,38                  | 95                    |
| 4,05                  | 12,5                  | 4,39                  | 97,5                  |
| 4,06                  | 15                    | 4,4                   | 100                   |
| 4,07                  | 17,5                  | 4,41                  | 102,5                 |
| 4,08                  | 20                    | 4,42                  | 105                   |
| 4,09                  | 22,5                  | 4,43                  | 107,5                 |
| 4,1                   | 25                    | 4,44                  | 110                   |
| 4,11                  | 27,5                  | 4,45                  | 112,5                 |
| 4,12                  | 30                    | 4,46                  | 115                   |
| 4,13                  | 32,5                  | 4,47                  | 117,5                 |
| 4,14                  | 35                    | 4,48                  | 120                   |
| 4,15                  | 37,5                  | 4,49                  | 122,5                 |
| 4,16                  | 40                    | 4,5                   | 125                   |
| 4,17                  | 42,5                  | 4,51                  | 127,5                 |

**SubTabla 6.1. 2**Valores de Corriente en función de la presión manométrica

| Corriente (mA) | Presión (mbar) | Corriente (mA) | Presión (mbar) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4,18           | 45             | 4,52           | 130            |
| 4,19           | 47,5           | 4,53           | 132,5          |
| 4,2            | 50             | 4,54           | 135            |
| 4,21           | 52,5           | 4,55           | 137,5          |
| 4,22           | 55             | 4,56           | 140            |
| 4,23           | 57,5           | 4,57           | 142,5          |
| 4,24           | 60             | 4,58           | 145            |
| 4,25           | 62,5           | 4,59           | 147,5          |
| 4,26           | 65             | 4,6            | 150            |
| 4,27           | 67,5           | 4,61           | 152,5          |
| 4,28           | 70             | 4,62           | 155            |
| 4,29           | 72,5           | 4,63           | 157,5          |
| 4,3            | 75             | 4,64           | 160            |
| 4,31           | 77,5           | 4,65           | 162,5          |
| 4,32           | 80             | 4,66           | 165            |
| 4,33           | 82,5           | 4,67           | 167,5          |

Los valores obtenidos teóricamente muestran como la presión manométrica es proporcional a la corriente eléctrica, esta aumenta conforme el valor de corriente eléctrica varia. El comportamiento se muestra en la gráfica 6.1.1, que se presenta a continuación:



**Gráfico 6.1. 1** Corriente Eléctrica en función de la presión manométrica

Como se muestra en la gráfica la variación de la corriente eléctrica es mínima, debido a que se trabaja con un transmisor de presión con un rango de 0 a 4 bar, y una salida de 4 a 20mA; se toma en cuenta que el rango máximo de presión es aproximadamente 128 mbar, es por ello que la variación de esta corriente eléctrica, pareciera ser constante gráficamente, pero si existe una variación mínima en el orden de mili.

Se muestra el cálculo de la relación de corriente a presión mediante la ecuación de la recta:

$$y = m \cdot x + b \quad (6.1.1) \quad \text{Donde la pendiente será } m = \frac{4}{16}$$

Por lo que 1mA equivale a 0,25 bar

Los instrumentos de medición de nivel por presión manométrica son altamente confiables por múltiples razones, ya sea por su precisión, confiabilidad pero por sobre todo tanto por su simplicidad en el modo de operación como en la facilidad de obtención de datos del nivel del proceso en que estén empleados.

El transmisor mide la presión a la altura  $h$  que hay en el tanque por lo que mediante la ley de pascal despejamos,  $h$  que es la altura del líquido, y mediante la tabla 15 vemos que la densidad del diesel es  $0.84 \text{ kg/cm}^3$  y  $g$  la aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ), también mediante la ecuación 3.7.12, que permite determinar el volumen de líquido dentro de un tanque en posición horizontal, finalmente obtenemos una relación lineal entre ambas medidas la cual se muestran en las siguientes subtablas:

**SubTabla 6.1. 3** Cantidad de litros en función de la presión manométrica

| Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) | Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 4,661625866          | 0,8526            | 2523,536973          | 63,945            |
| 13,15837208          | 1,7052            | 2566,2958            | 64,7976           |
| 24,12430861          | 2,5578            | 2609,043066          | 65,6502           |
| 37,06592455          | 3,4104            | 2651,771059          | 66,5028           |
| 51,69490104          | 4,263             | 2694,472055          | 67,3554           |
| 67,8146281           | 5,1156            | 2737,138314          | 68,208            |
| 85,27923434          | 5,9682            | 2779,76208           | 69,0606           |
| 103,9744934          | 6,8208            | 2822,335571          | 69,9132           |
| 123,8075225          | 7,6734            | 2864,850979          | 70,7658           |
| 144,7006562          | 8,526             | 2907,300463          | 71,6184           |
| 166,5875392          | 9,3786            | 2949,676148          | 72,471            |
| 189,4104997          | 10,2312           | 2991,970113          | 73,3236           |
| 213,1187069          | 11,0838           | 3034,174395          | 74,1762           |
| 237,6668362          | 11,9364           | 3076,280979          | 75,0288           |
| 263,0140731          | 12,789            | 3118,281793          | 75,8814           |
| 289,1233541          | 13,6416           | 3160,168706          | 76,734            |
| 315,9607756          | 14,4942           | 3201,933518          | 77,5866           |

**SubTabla 6.1. 4** Cantidad de litros en función de la presión manométrica

| <b>Cantidad<br/>(litros)</b> | <b>Presión<br/>(mbar)</b> | <b>Cantidad<br/>(litros)</b> | <b>Presión<br/>(mbar)</b> |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 343,4951254                  | 15,3468                   | 3243,567959                  | 78,4392                   |
| 371,6975066                  | 16,1994                   | 3285,063679                  | 79,2918                   |
| 400,5410313                  | 17,052                    | 3326,412246                  | 80,1444                   |
| 430,000568                   | 17,9046                   | 3367,605135                  | 80,997                    |
| 460,0525311                  | 18,7572                   | 3408,633728                  | 81,8496                   |
| 490,6747048                  | 19,6098                   | 3449,4893                    | 82,7022                   |
| 521,8460927                  | 20,4624                   | 3490,163014                  | 83,5548                   |
| 553,5467899                  | 21,315                    | 3530,645916                  | 84,4074                   |
| 585,7578734                  | 22,1676                   | 3570,928924                  | 85,26                     |
| 618,4613063                  | 23,0202                   | 3611,002819                  | 86,1126                   |
| 651,6398547                  | 23,8728                   | 3650,85824                   | 86,9652                   |
| 685,2770154                  | 24,7254                   | 3690,485668                  | 87,8178                   |
| 719,3569514                  | 25,578                    | 3729,875419                  | 88,6704                   |
| 753,8644356                  | 26,4306                   | 3769,017634                  | 89,523                    |
| 788,7848003                  | 27,2832                   | 3807,902265                  | 90,3756                   |
| 824,1038923                  | 28,1358                   | 3846,519063                  | 91,2282                   |
| 859,8080325                  | 28,9884                   | 3884,857563                  | 92,0808                   |

**Sub Tabla 6.1. 5** Cantidad de litros en función de la presión manométrica

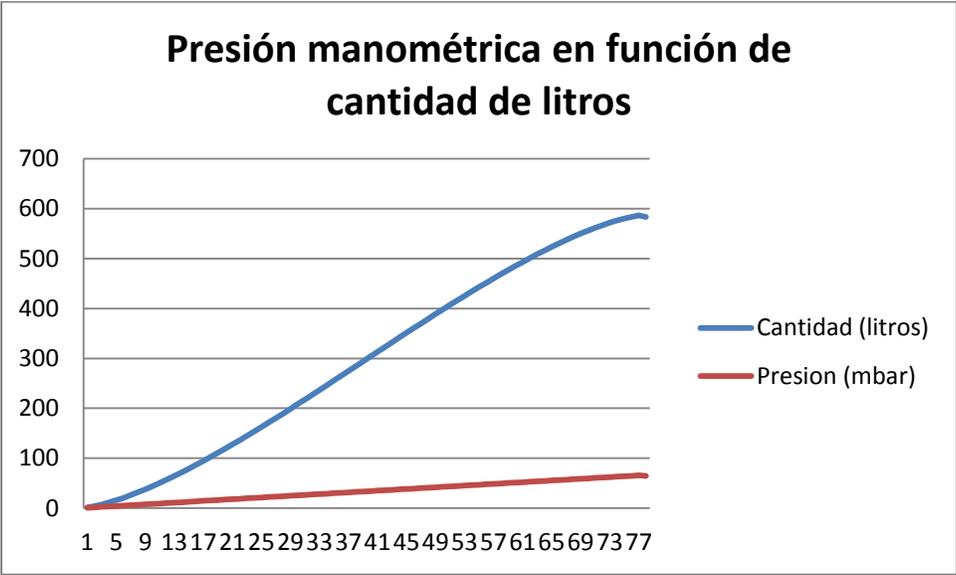
| Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) | Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 895,88398            | 29,841            | 3922,907074          | 92,9334           |
| 932,3188994          | 30,6936           | 3960,656654          | 93,786            |
| 969,1003311          | 31,5462           | 3998,095103          | 94,6386           |
| 1006,216164          | 32,3988           | 4035,210936          | 95,4912           |
| 1043,654613          | 33,2514           | 4071,992368          | 96,3438           |
| 1081,404194          | 34,104            | 4108,427288          | 97,1964           |
| 1119,453704          | 34,9566           | 4144,503235          | 98,049            |
| 1157,792205          | 35,8092           | 4180,207375          | 98,9016           |
| 1196,409003          | 36,6618           | 4215,526467          | 99,7542           |
| 1235,293634          | 37,5144           | 4250,446832          | 100,6068          |
| 1274,435849          | 38,367            | 4284,954316          | 101,4594          |
| 1313,8256            | 39,2196           | 4319,034252          | 102,312           |
| 1353,453027          | 40,0722           | 4352,671413          | 103,1646          |
| 1393,308448          | 40,9248           | 4385,849961          | 104,0172          |
| 1433,382344          | 41,7774           | 4418,553394          | 104,8698          |
| 1473,665352          | 42,63             | 4450,764478          | 105,7224          |
| 1514,148254          | 43,4826           | 4482,465175          | 106,575           |

**SubTabla 6.1. 6** Cantidad de litros en función de la presión manométrica

| Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) | Cantidad<br>(litros) | Presión<br>(mbar) |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 1554,821968          | 44,3352           | 4513,636563          | 107,4276          |
| 1595,677539          | 45,1878           | 4544,258736          | 108,2802          |
| 1636,706132          | 46,0404           | 4574,3107            | 109,1328          |
| 1677,899022          | 46,893            | 4603,770236          | 109,9854          |
| 1719,247589          | 47,7456           | 4632,613761          | 110,838           |
| 1760,743309          | 48,5982           | 4660,816142          | 111,6906          |
| 1802,377749          | 49,4508           | 4688,350492          | 112,5432          |
| 1844,142561          | 50,3034           | 4715,187913          | 113,3958          |
| 1886,029474          | 51,156            | 4741,297194          | 114,2484          |
| 1928,030288          | 52,0086           | 4766,644431          | 115,101           |
| 1970,136872          | 52,8612           | 4791,192561          | 115,9536          |
| 2012,341155          | 53,7138           | 4814,900768          | 116,8062          |
| 2054,63512           | 54,5664           | 4837,723728          | 117,6588          |
| 2097,010804          | 55,419            | 4859,610611          | 118,5114          |
| 2139,460289          | 56,2716           | 4880,503745          | 119,364           |
| 2181,975697          | 57,1242           | 4900,336774          | 120,2166          |
| 2224,549188          | 57,9768           | 4919,032033          | 121,0692          |
| 2267,172954          | 58,8294           | 4936,496639          | 121,9218          |
| 2309,839213          | 59,682            | 4952,616367          | 122,7744          |
| 2352,540209          | 60,5346           | 4967,245343          | 123,627           |
| 2395,268201          | 61,3872           | 4980,186959          | 124,4796          |
| 2438,015468          | 62,2398           | 4991,152895          | 125,3322          |
| 2480,774294          | 63,0924           | 4999,649642          | 126,1848          |

Los valores de presión son totalmente proporcionales a la cantidad de líquido de diesel que el tanque pueda tener en el momento de la medición, con lo cual nos genera una gráfica totalmente lineal, donde se muestra que a medida que la cantidad de litros aumenta, también aumenta su presión de salida y viceversa.

Se muestra en la gráfica 6.1.2 la relación lineal entre la cantidad de líquido (litros) y la presión de salida del tanque, al igual que la gráfica anterior se muestra un leve ascenso en la presión de salida, esto debido a que el sensor utilizado está sobre dimensionado:



**Grafico 6.1. 2** Presión manométrica en función de cantidad de litros

Ahora bien la cantidad de litros es proporcional a la altura, conforme la cantidad de líquido aumente o disminuye se verá una variación en la altura, debido a que el volumen está en función de la altura, por eso se muestra la siguientes subtablas que muestran, como dependiendo de la cantidad de litros, la columna de nivel de altura varia.

**SubTabla 6.1. 7**Valores de cantidad de litros en función de la altura

| Altura (cm) | Cantidad (litros) | Altura (cm) | Cantidad (litros) |
|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| 1           | 4,661625866       | 75          | 2523,536973       |
| 2           | 13,15837208       | 76          | 2566,2958         |
| 3           | 24,12430861       | 77          | 2609,043066       |
| 4           | 37,06592455       | 78          | 2651,771059       |
| 5           | 51,69490104       | 79          | 2694,472055       |
| 6           | 67,8146281        | 80          | 2737,138314       |
| 7           | 85,27923434       | 81          | 2779,76208        |
| 8           | 103,9744934       | 82          | 2822,335571       |
| 9           | 123,8075225       | 83          | 2864,850979       |
| 10          | 144,7006562       | 84          | 2907,300463       |
| 11          | 166,5875392       | 85          | 2949,676148       |
| 12          | 189,4104997       | 86          | 2991,970113       |
| 13          | 213,1187069       | 87          | 3034,174395       |
| 14          | 237,6668362       | 88          | 3076,280979       |
| 15          | 263,0140731       | 89          | 3118,281793       |
| 16          | 289,1233541       | 90          | 3160,168706       |
| 17          | 315,9607756       | 91          | 3201,933518       |
| 18          | 343,4951254       | 92          | 3243,567959       |
| 19          | 371,6975066       | 93          | 3285,063679       |
| 20          | 400,5410313       | 94          | 3326,412246       |
| 21          | 430,000568        | 95          | 3367,605135       |
| 22          | 460,0525311       | 96          | 3408,633728       |
| 23          | 490,6747048       | 97          | 3449,4893         |
| 24          | 521,8460927       | 98          | 3490,163014       |
| 25          | 553,5467899       | 99          | 3530,645916       |
| 26          | 585,7578734       | 100         | 3570,928924       |

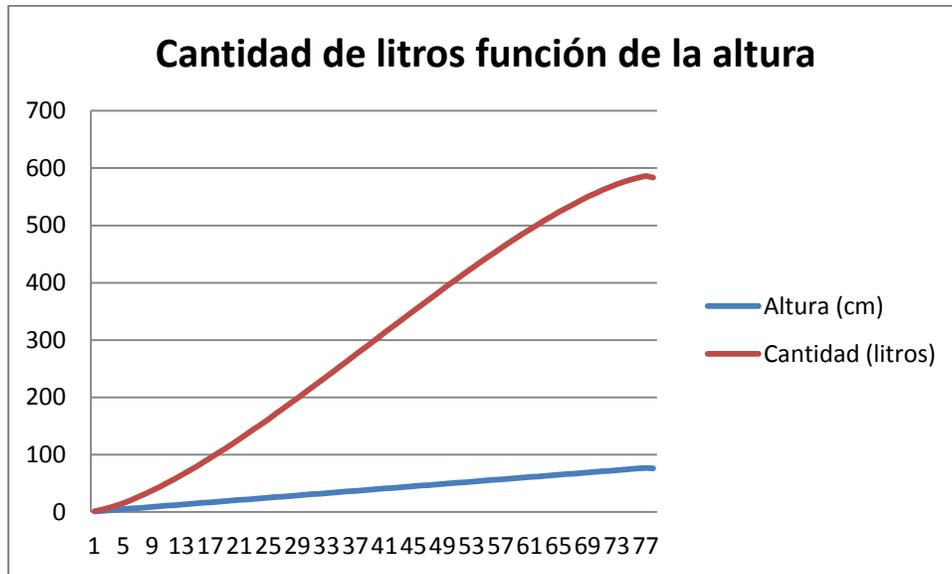
**SubTabla 6.1. 8**Valores de cantidad de litros en función de la altura

| Altura (cm) | Cantidad (litros) | Altura (cm) | Cantidad (litros) |
|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| 27          | 618,4613063       | 101         | 3611,002819       |
| 28          | 651,6398547       | 102         | 3650,85824        |
| 29          | 685,2770154       | 103         | 3690,485668       |
| 30          | 719,3569514       | 104         | 3729,875419       |
| 31          | 753,8644356       | 105         | 3769,017634       |
| 32          | 788,7848003       | 106         | 3807,902265       |
| 33          | 824,1038923       | 107         | 3846,519063       |
| 34          | 859,8080325       | 108         | 3884,857563       |
| 35          | 895,88398         | 109         | 3922,907074       |
| 36          | 932,3188994       | 110         | 3960,656654       |
| 37          | 969,1003311       | 111         | 3998,095103       |
| 38          | 1006,216164       | 112         | 4035,210936       |
| 39          | 1043,654613       | 113         | 4071,992368       |
| 40          | 1081,404194       | 114         | 4108,427288       |
| 41          | 1119,453704       | 115         | 4144,503235       |
| 42          | 1157,792205       | 116         | 4180,207375       |
| 43          | 1196,409003       | 117         | 4215,526467       |
| 44          | 1235,293634       | 118         | 4250,446832       |
| 45          | 1274,435849       | 119         | 4284,954316       |
| 46          | 1313,8256         | 120         | 4319,034252       |
| 47          | 1353,453027       | 121         | 4352,671413       |
| 48          | 1393,308448       | 122         | 4385,849961       |
| 49          | 1433,382344       | 123         | 4418,553394       |
| 50          | 1473,665352       | 124         | 4450,764478       |
| 51          | 1514,148254       | 125         | 4482,465175       |
| 52          | 1554,821968       | 126         | 4513,636563       |

**SubTabla 6.1. 9** Valores de cantidad de litros en función de la altura

| Altura (cm) | Cantidad (litros) | Altura (cm) | Cantidad (litros) |
|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| 53          | 1595,677539       | 127         | 4544,258736       |
| 54          | 1636,706132       | 128         | 4574,3107         |
| 55          | 1677,899022       | 129         | 4603,770236       |
| 56          | 1719,247589       | 130         | 4632,613761       |
| 57          | 1760,743309       | 131         | 4660,816142       |
| 58          | 1802,377749       | 132         | 4688,350492       |
| 59          | 1844,142561       | 133         | 4715,187913       |
| 60          | 1886,029474       | 134         | 4741,297194       |
| 61          | 1928,030288       | 135         | 4766,644431       |
| 62          | 1970,136872       | 136         | 4791,192561       |
| 63          | 2012,341155       | 137         | 4814,900768       |
| 64          | 2054,63512        | 138         | 4837,723728       |
| 65          | 2097,010804       | 139         | 4859,610611       |
| 66          | 2139,460289       | 140         | 4880,503745       |
| 67          | 2181,975697       | 141         | 4900,336774       |
| 68          | 2224,549188       | 142         | 4919,032033       |
| 69          | 2267,172954       | 143         | 4936,496639       |
| 70          | 2309,839213       | 144         | 4952,616367       |
| 71          | 2352,540209       | 145         | 4967,245343       |
| 72          | 2395,268201       | 146         | 4980,186959       |
| 73          | 2438,015468       | 147         | 4991,152895       |
| 74          | 2480,774294       | 148         | 4999,649642       |

Finalmente se graficaron todos los valores donde se muestra que conforme se realiza un llenado en el tanque la altura de la columna de líquido también aumenta proporcionalmente debido a la relación que existe una con otra.



**Grafico 6.1. 3** Cantidad de litros en función de la altura

## 6.2 Adaptador de procesador y comunicación

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 5, en la sección 5.2.2 Modulo Principal, se deberá realizar la conexión al adaptador de procesador y comunicación modelo: 171 CCC 98030 de la compañía Schneider, mediante la dirección IP que se le asignó al dispositivo; una vez realizada la conexión Online del PLC, en la opción editor de datos de referencia, se ingresa el nombre de la variable que se desea leer, así como el tipo de dato si es una palabra o real, la dirección o registro al cual se desea leer, para finalmente obtener el valor de lectura.

Las primeras pruebas se realizaron en la empresa Schneider Electric, quienes nos brindaron asesoría, así como el préstamo de equipo para realizar las pruebas (simulaciones) respectivas, estas pruebas se realizaron mediante un variador de potencia de un motor eléctrico el cual genera una señal de corriente en el rango de 4 a 20mA que simularía el transmisor de presión, se muestra en la figura 6.2.1, como se obtiene primeramente el valor de entrada previo a ser escalado como una cuenta de datos en formato tipo palabra, el cual se escala

mediante una función previamente programada, donde existe una relación de resolución de entrada con respecto a la señal de salida de 4 a 20mA, donde 0 bits equivale a 4mA y 32768 bits equivale a 20mA, conforme a esto internamente en la función programada se resuelve una ecuación de pendiente y se obtienen los valores escalados.

Para realizar una simulación generamos una tabla de editor de datos de referencia como se mencionó anteriormente, y mediante el botón de mando de activar/desactivar animación, podemos realizar las simulaciones correspondientes.

En la figura 6.2.1, además se muestra el valor de la entrada que equivale aproximadamente a  $2^{14}$  lo que implica que mediante la ecuación de recta que permite escalar el valor de entrada y convertirlo a un valor real, tomando en cuenta que la señal de salida del transmisor es de 4 a 20mA obtenemos que es 8098.14 que si dividimos este valor por un factor de  $1 \times 10^6$  obtenemos que son 8mA, cabe destacar que este factor o valor de escala se puede configurar en el mismo FBD.

|    | Variable Name            | Data Type | Address | Value   | Set Value | Format |
|----|--------------------------|-----------|---------|---------|-----------|--------|
| 1  | Entrada_Analogica_1      | WORD      | 3:1     | 26536   |           | Dec    |
| 2  | Entrada_Analogica_Scalin | REAL      | 4:10    | 8098.14 |           | Real   |
| 3  |                          |           |         |         |           | Dec    |
| 4  |                          |           |         |         |           |        |
| 5  |                          |           |         |         |           |        |
| 6  |                          |           |         |         |           |        |
| 7  |                          |           |         |         |           |        |
| 8  |                          |           |         |         |           |        |
| 9  |                          |           |         |         |           |        |
| 10 |                          |           |         |         |           |        |
| 11 |                          |           |         |         |           |        |
| 12 |                          |           |         |         |           |        |

**Figura 6.2. 1** Prueba de lectura de valores tipo palabra y real a partir de un variador de potencia correspondiente a una entrada

Una vez que se tiene la lectura de los registros de entrada, y debidamente escalados y ubicados en los registros de salida para su lectura mediante en el protocolo de comunicación Modbus TCP se envía los datos a la fuente receptora, en este caso el sistema SCADA.

### 6.3 Visualización Gráfica

Después de tener el sistema SCADA debidamente configurado, con el protocolo Modbus TCP, el Daqfactory permite realizar un monitoreo del proceso de transmisión y recepción de información, para asegurar que la comunicación, como se muestra en la siguiente figura 6.3.1

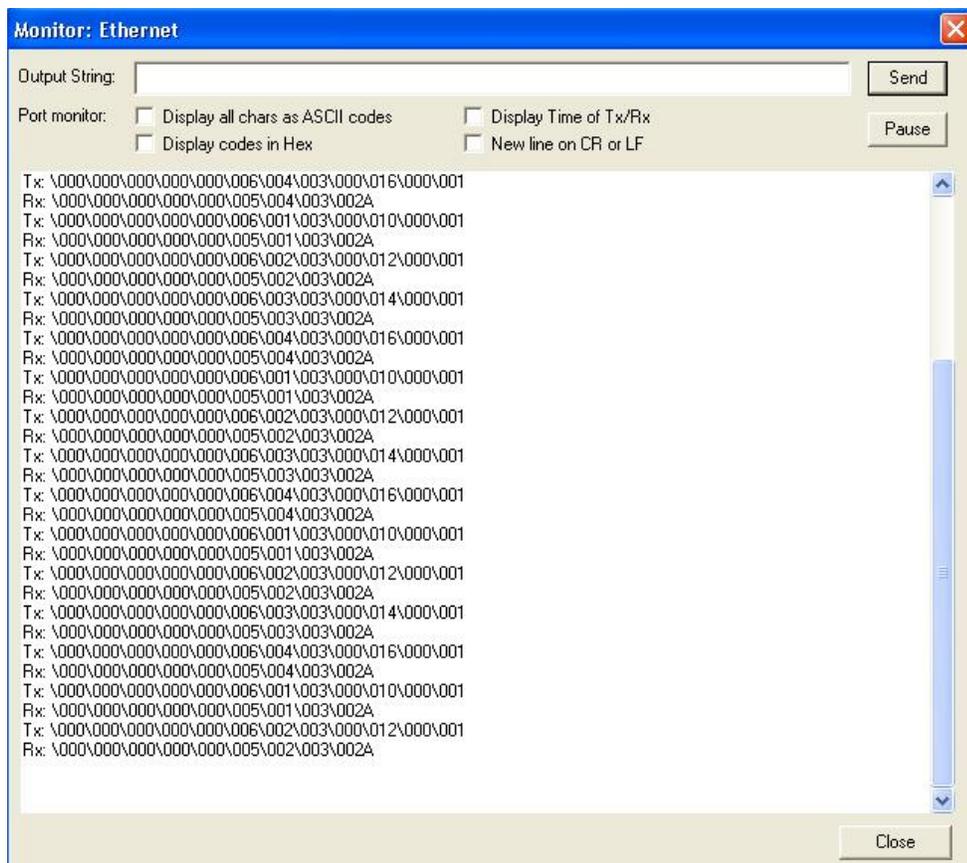


Figura 6.3. 1Monitorización de comunicación del Sistema SCADA al adaptador de procesador y comunicación.

Mediante esta ventana podemos dar un seguimiento a los paquetes de red que envían la información adquirida desde el adaptador de comunicación proveniente de las señales emitidas de los transmisores de presión

#### **6.4 Sistema de alarmas**

En el diseño de las alarmas para el sistema de monitorización y adquisición de datos cada alarma se configuro y se creó como se indica en la sección 5.2.1.2 de este documento, cada una de estas se catalogó con un prioridad, a como lo solicito la empresa.

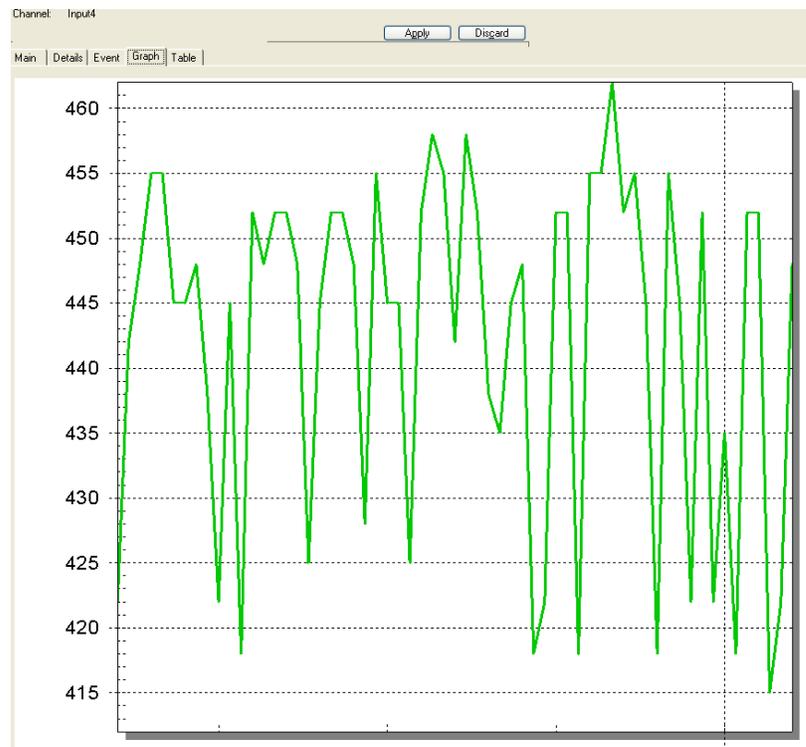
Se tienen dos tipos de alarmas que generan un aviso al usuario, una es cuando el tanque se encuentra con un valor menor o igual al 33% y otra al 50% de su llenado, catalogando cada una respectivamente como alarma grave y alarma leve, cada una cuenta con un botón para su desactivación y activación para continuar con el proceso y la supervisión del evento en la cual se realiza la monitorización.

Mediante una simulación de valores a los cuales el tanque se encontraba, este generaba una alarma la cual indicaba que el evento ameritaba una supervisión como se muestra en la figura 5.2.1.2.1, cada alarma tiene su tiempo y fecha de reconocimiento, desactivación y activación para continuar con el proceso, y se comprobó que el sistema de alarmas está en su funcionamiento

#### **6.5 Posibles errores de la medición**

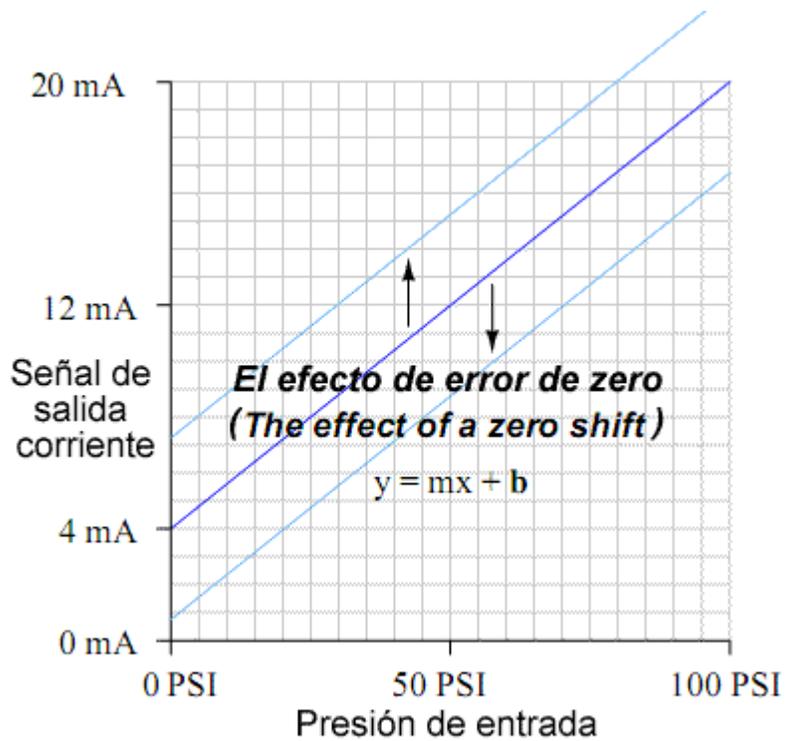
Gráficamente podemos observar el comportamiento del transmisor de presión al obtener los datos que son enviados por el adaptador de comunicación, mostrándonos datos aleatorios los cuales presenta un error de medición, cabe destacar que los transmisores de presión utilizados tienen un rango de medición

de 0 a 4 bar, y nuestra máxima medición es de 0 a 160mbar dándonos con esto un error de medición significativo, no obstante encontrándose en un promedio que se considera aceptable, donde su porcentaje de error es del 10%, para el tanque diario de la Planta Cummins; sus valores se encuentran como mínimo 418 litros y como máximo 458 litros, se toma un promedio entre todas las mediciones generadas por el sistema SCADA y se saca un porcentaje de error de medición, cabe destacar que en la sección de la recomendaciones del documento se especifica claramente que tipo de sensor se debe utilizar.



**Figura 6.5. 1** Comportamiento del transmisor de presión

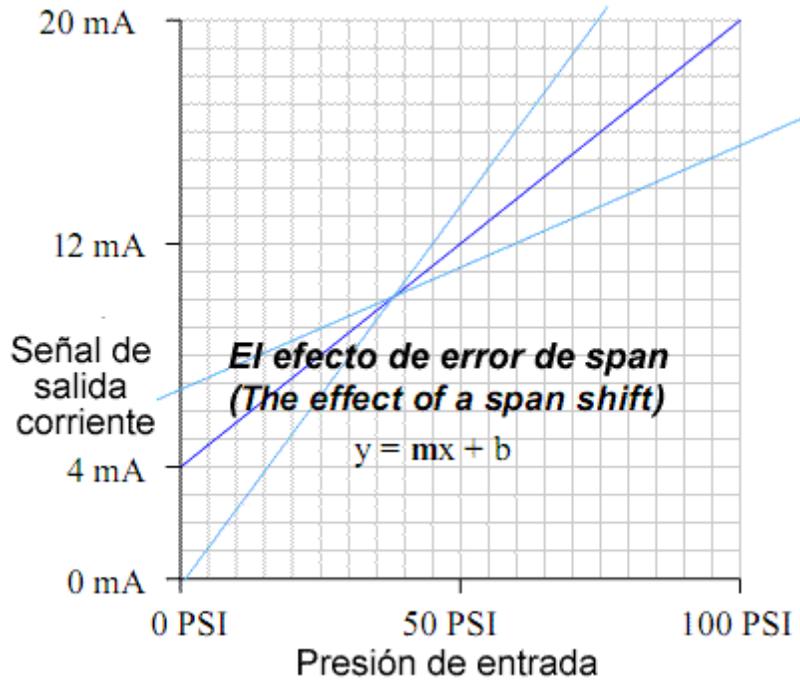
Uno de los posibles errores es el error de desfase de cero en una calibración provoca un desfase o desplazamiento vertical de la gráfica de la ecuación, lo cual es equivalente a modificar el valor de  $b$  de la ecuación. Este error afecta a todos los puntos o valores de calibración de la misma manera, provocando el mismo porcentaje de error dentro de todos los puntos o valores del rango del instrumento.



**Figura 6.5. 2** Efecto de error cero

Si un transmisor tiene un error de calibración por cero, ese error puede ser corregido ajustando cuidadosamente el "cero" hasta llegar a la respuesta ideal, esencialmente alteramos el valor de  $b$  de la ecuación lineal.

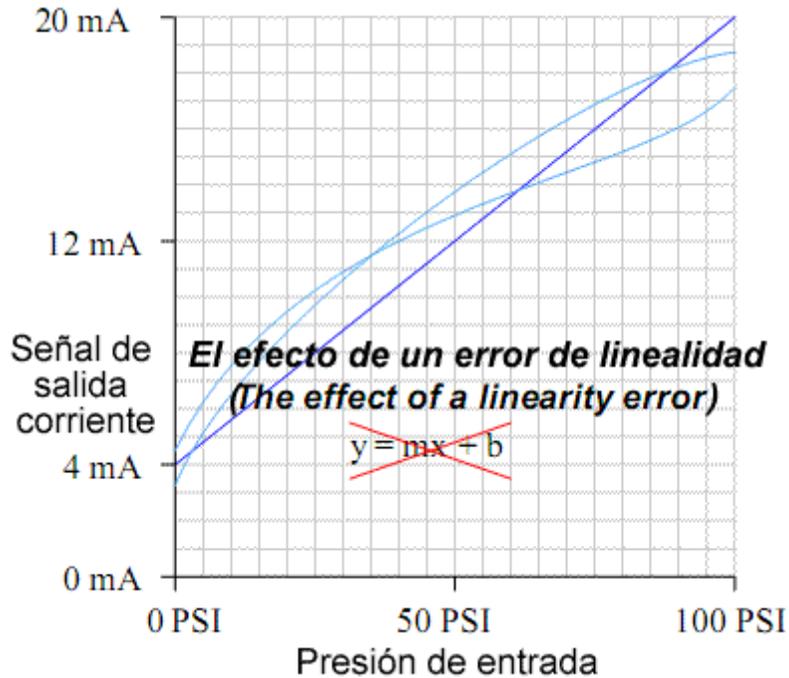
Un error de desfase de ganancia en una calibración ocasiona la variación de la pendiente de la función, lo cual es equivalente a alterar el valor de  $m$  en la ecuación lineal. Este error afecta de manera desigual en los diferentes valores o puntos a través del rango del instrumento.



**Figura 6.5. 3** Efecto de error de span

Si un transmisor tiene un error de calibración por span, ese error puede ser corregido ajustando cuidadosamente el span hasta lograr una respuesta ideal, esencialmente alterar el valor de  $m$  en la ecuación lineal.

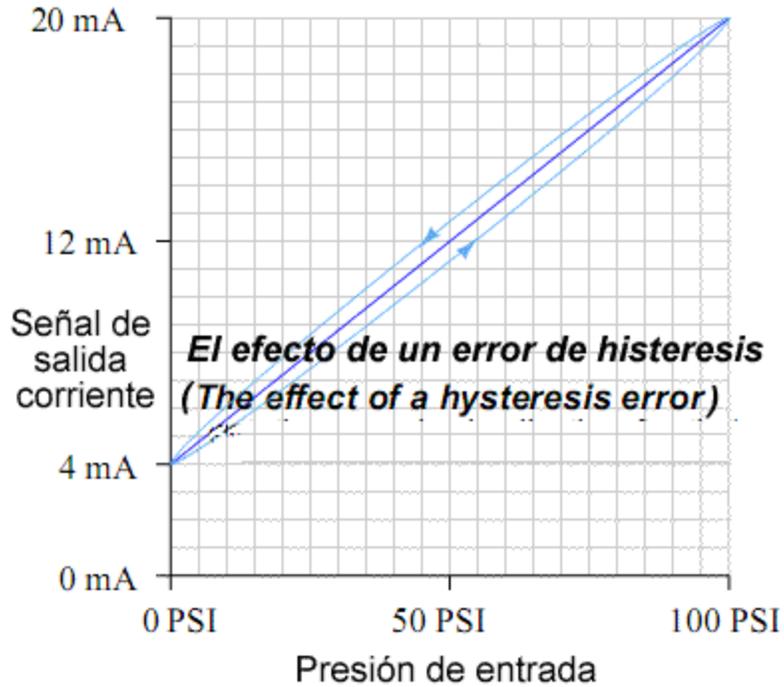
Un error de linealidad en una calibración causa que la función de respuesta del instrumento deje de ser una línea recta. Este tipo de error no está directamente relacionado con desfases de cero ( $b$ ) o de span ( $m$ ) porque la ecuación anterior solo describe líneas rectas.



**Figura 6.5.** Efecto de un error de linealidad

Algunos instrumentos proveen la posibilidad de ajustar la respuesta de linealidad, en ese caso este parámetro deberá ser modificado con extremo cuidado. El comportamiento del ajuste de linealidad es única para cada modelo de instrumento, por tanto debemos consultar la documentación del fabricante para conocer los detalles de cómo trabaja a exactitud ese parámetro. Si el instrumento no provee la posibilidad de modificar su linealidad, lo mejor que podemos hacer ante este tipo de error es "dividir o partir el error" entre los extremos alto y bajos del rango, por tanto el error máximo absoluto en cualquier punto del rango será minimizado.

Un error de histéresis en una calibración ocurre cuando la respuesta del instrumento en puntos o valores determinados es diferente al incrementar la señal de entrada que al decrementar la señal de entrada. La única manera de detectar este tipo de error es hacer una prueba up-down en la calibración, es decir tomar nota de valores determinados ante un incremento de señal de entrada y comprarlos con los mismos valores pero decrementando la señal de entrada.



**Figura 6.5. 5** Efecto de un error de histéresis

Los errores por histéresis son casi siempre causados por una fricción mecánica del sensor (y/o una pérdida de acoplamiento entre elementos mecánicos) como los tubos de bourdon, fuelles, diafragmas, pivots, etc. La fricción siempre actúa en dirección opuesta a la de movimiento relativo. Los errores de histéresis no pueden ser rectificadas simplemente haciendo ajustes de calibración en el instrumento por lo general se debe reemplazar los componentes defectuosos o corregir los problemas de acoplamiento en el mecanismo del instrumento.

## Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- Mediante un sistema SCADA nos permite supervisar y adquirir datos de manera tal que podamos obtener un sistema de gestión capaz de monitorizar las variables del proceso a controlar.
- La interfaz desarrollada para el usuario es considerada amigable debido a la escasa interacción que requiere del usuario y a su manejo intuitivo.
- La utilización de sistemas de comunicación, le permite al usuario no estar presente en el evento, permitiéndole una monitorización vía la red de internet mediante los puertos de comunicación Ethernet.
- El protocolo Modbus TCP/IP se utilizó para realizar la implementación de una red de control industrial capaz de ser accedida a través de internet u la Intranet local, usando los protocolos TCP/IP.
- El protocolo Modbus/TCP es muy difundido por ser abierto, lo cual le permite la comunicación con gran diversidad de elementos industriales.
- Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipo industrial tal como Controladores Lógicos Programables (PLC), computadores, motores, sensores, y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red. Modbus/TCP fue introducido por Schneider Automation como una variante de la familia MODBUS ampliamente usada, los protocolos de comunicaciones simples y abiertas, destinadas para la supervisión y el control de equipo de automatización.

- El protocolo cubre el uso de mensajes MODBUS en un entorno intranet o internet usando los protocolos TCP/IP.
- La especificación Modbus/TCP define un estándar interoperable en el campo de la automatización industrial, el cual es simple de implementar para cualquier dispositivo que soporta sockets TCP/IP
- MODBUS es un protocolo de comunicación sin estado, es decir, cada solicitud del maestro es tratada independientemente por el esclavo y es considerada una nueva solicitud no relacionada a las anteriores, de esta forma haciendo a las transacciones de datos altamente resistentes a rupturas debido a ruido y además requiriendo mínima información de recuperación para ser mantenida la transacción en cualquiera de los dos terminales.
- El adaptador de procesador y comunicación 171CCC 980 30, adquiere las señales de corriente enviadas por el transmisor de presión y estas mediante una programación en FBD se encarga de escalar los valores analógicos de corriente, a valores reales, mediante una relación de ecuación de la pendiente.
- El cálculo del volumen de un líquido dentro de un tanque en posición horizontal, no es el mismo para un tanque en posición vertical debido a que la forma afecta al mismo.
- Los errores en las mediciones de la presión del líquido dentro de los tanques se debe a un factor llamado resolución, impidiendo que la lectura de la información sea inexacta, debido al rango tan grande con el que se esta trabajando (0-4bar), ya que el mínimo debería estar en el rango permisible de 0 a 130mbar.

- Las variables de presión y altura son directamente proporcionales a la cantidad de litros en el tanque de combustible, conforme aumenta la presión aumenta la columna de diesel.
- Mediante la creación de una interfaz grafica que permite la interacción entre el proceso y el usuario se puede visualizar un sistema de alarmas que le indica al operario la gravedad, estado y prioridad.
- En la ventana del sistema de alarmas se observó como dependiendo de la prioridad nos indica una alarma leve o de advertencia(color amarillo) y el color rojo una alarma grave o critica (color rojo).
- La ventana Monitor del Daqfactory permitió visualizar los paquetes de red que envían la información adquirida desde el adaptador de comunicación proveniente de las señales emitidas de los transmisores de presión.

## 7.2 Recomendaciones

### 7.2.1 Transmisores de Presión

#### Transmisores de Presión Hidrostática

##### I. Tanque Planta Kohler IP 1

Descripción: Transmisor de Presión Hidrostática, cable Teflón, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ .

Para este tanque se recomienda el uso de un transmisor de presión con un rango de 0 a 100 mbar, para así evitar variaciones en la medición de la presión y el valor obtenido de la cantidad de litros confinada en el tanque sea mas exacto según los cálculos matemáticos.

##### II. Tanque Planta Kohler IP 2

Descripción: Transmisor de Presión Hidrostática, cable Teflón, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ .

Al igual que para el Tanque de la Planta Kohler IP 1 se necesitara de un mismo transmisor de presión con el rango de 0 a 100mbar debido a que ambos tanques poseen una presión máxima de 98.96mbar.

##### III. Tanque Planta Cummins

Descripción: Transmisor de Presión Hidrostática, cable Teflón, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ .

Se recomienda la implementación de un transmisor de presión de 130mbar como máximo, debido a que su presión máxima de salida es de 127.97mbar, con esto se eliminan las variaciones en la medición de presión.

#### IV. Tanque Diario Planta Cummins

Descripción: Transmisor de Presión Hidrostática, cable Teflón, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50$ .

La presión máxima para el Tanque Diario de la Planta Cummins es de 66.54mbar, se recomienda un transmisor de presión de 70mbar, para el sistema para una medición mas precisa de la presión.

#### V. Tanque Planta Kohler

Descripción: Transmisor de Presión Hidrostática, cable Teflón, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ , Longitud de cable de 26 metros

Se hace la recomendación de si no se es posible adquirir los transmisores de presión hidrostática debido a su precio tan elevado, se podrá adquirir los transmisores de presión manométrica, con las mismas características descritas anteriormente con su respectivo rango de presión para una medición mas precisa.

#### Transmisores de Presión Manométrica

##### I. Tanque Planta Kohler IP 1

Descripción: Transmisor de Presión Manométrica, Presión Relativa, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ , Rango de Temperatura: -25 - 80°C compensado, Temperatura media permisible: -25 - 100°C, Longitud de cable teflón de 12 metros, Conexión al proceso: G ½"

##### II. Tanque Planta Kohler IP 2

Descripción: Transmisor de Presión Manométrica, Presión Relativa, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ , Rango de Temperatura: -25 - 80°C compensado, Temperatura media permisible: -25 - 100°C, Longitud de cable teflón de 12 metros, Conexión al proceso: G ½"

### III. Tanque Planta Cummins

Descripción: Transmisor de Presión Manométrica, Presión Relativa, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ , Rango de Temperatura: -25 - 80°C compensado, Temperatura media permisible: -25 - 100°C, Longitud de cable teflón de 5 metros, Conexión al proceso: G ½"

### IV. Tanque Diario Planta Cummins

Descripción: Transmisor de Presión Manométrica, Presión Relativa, 0-160mbar, Salida 4-20mA, II 1G EExia IIB / IIC T4, Derivación  $\leq \pm 0.50\%$ , Rango de Temperatura: -25 - 80°C compensado, Temperatura media permisible: -25 - 100°C, Longitud de cable teflón de 4 metros, Conexión al proceso: G ½"

### V. Tanque Planta Kohler

Este tanque al estar enterado no puede utilizar este tipo de Transmisor

## 7.2.2 Protocolo de Comunicación

La utilización del protocolo de comunicación BACnet (de *BuildingAutomation and Control Networks*) se podría utilizar ya que es un protocolo de comunicación de datos diseñado para comunicar entre sí a los diferentes aparatos electrónicos presentes en los edificios actuales (alarmas, sensores de paso, Aire Acondicionado, Calefactores, entre otros).

Además permite el control desde una central de todos los dispositivos de un edificio de grandes dimensiones, con lo cual se recomienda debido a que en el departamento de Operación y Mantenimiento Electromecánico hay presente una serie dispositivos electrónicos que pueden ser monitorizados mediante la implementación de este protocolo.

### **7.2.3 Protocolo SMTP**

Para hacer más amplio el proyecto se puede además utilizar el protocolo SMTP, Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) Protocolo Simple de Transferencia de correo, este protocolo de la capa de aplicación protocolo de red basado en textos es utilizado para el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras u otros dispositivos, con lo cual mejora aún más el sistema de supervisión de cualquier proceso

## Bibliografía

➤ Páginas de Internet:

- **Adaptador opcional y adaptador del procesador M1 Momentum Manual de Usuario**

1. ][http://www.global-download.schneider-electric.com/852575A6007E5FD3/all/7F027D265B7BB89A8525770E00283501/\\$File/h474286\\_2.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/852575A6007E5FD3/all/7F027D265B7BB89A8525770E00283501/$File/h474286_2.pdf)

- **Base Analógica 170 AAI 140 00**

2. [http://v1.graybar.com/automation/ga\\_manuels/Hardware/TsxMomentum/870USE00200%20Ver.4%20Chpt%2007%20&08%20-%20170%20AAI%20140%2000.pdf](http://v1.graybar.com/automation/ga_manuels/Hardware/TsxMomentum/870USE00200%20Ver.4%20Chpt%2007%20&08%20-%20170%20AAI%20140%2000.pdf)

- **Concept 2.5 User Manual, Vol 1**

3. <http://www.alamedaelectric.com/Modicon%20Documents/PLC%20Concept%20Software%202.6%20User%20Manual%20Vol%201.pdf>

- **ModiconModbus Ethernet TCP**

4. <http://www.broadwin.com/downloads/pdf/ModbusTCPIP.pdf>
5. <http://www.uco.es/investigacion/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>
6. <http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/SCADA%20System%C2%B4s%20&%20Telemetry.pdf>
7. <http://control-accesos.es/scada/%C2%BFque-es-un-sistema-scada>

8. <http://escert.upc.edu/userfiles/SCADA.pdf>
9. <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>
10. [http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumento\\_de\\_medici%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumento_de_medici%C3%B3n)
11. <http://bvs.per.paho.org/bvsacd/scan/017069/017069-14.pdf>
12. [http://www.danfoss.com/Spain/BusinessAreas/IndustrialControls/Products\\_information/Transmisores+de+presion.htm](http://www.danfoss.com/Spain/BusinessAreas/IndustrialControls/Products_information/Transmisores+de+presion.htm)
13. [http://www.endress.com/es/medidores\\_transmisores\\_medicion\\_presion\\_absoluta\\_relativa\\_diferencial.html](http://www.endress.com/es/medidores_transmisores_medicion_presion_absoluta_relativa_diferencial.html)
14. <http://www.tecnoficio.com/docs/doc60.php>
15. <http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm>
16. [http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte\\_IV.nivel.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf)
17. [www.sapiens.itgo.com/documents/doc61.htm](http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc61.htm)

➤ Libros

1. Drey Heywood. "Redes con Microsoft TCP/IP". Segunda edición. Prentice Hall. 1999.
2. Alberto León García, Indira Widjaja, "Redes de Comunicaciones" Segunda Edición 1999.

3. Kevin Stoltz, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A “Redes de Computadoras”, Última Edición 2005.
4. Andrew S. Tanenbaum; Prentice Hall Hispanoamericana, “Redes de Computación”, Última Edición 2004.
5. ForouzanBerhrouz, “Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones”. Segunda Edición 2002.
6. Deon Reynders, Edwin Wright, “Practical TCP/IP and Ethernet networking” First published 2003.

## Apéndices

### A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

**Analógica:** señal cuya magnitud se representa mediante variables continuas.

**Baudios:** Unidad de medida de velocidad de transmisión con que se mide un modem.

**Bit:** Unidad de medida

**Byte:** unidad básica de almacenamiento de datos

**Com 1:** Abreviatura de comunicación serial.

**Control:** Regulación manual o automática sobre un sistema

**CPU:** Unidad Central de Procesamiento

**E/S:** Puertos de Entrada/Salida

**Ethernet:** Norma o estándar (IEEE 802.3) que determina la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico.

**FBD:** Function Block Diagram se basa en bloques que realizan operaciones matemáticas simples para poder determinar una salida.

**HMI / SCADA:** Hardware adicional, para adquisición y control de datos.

**MTU:** Unidad máxima de transferencia o Unidad Maestra.

**Modbus:** protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del modelo OSI

**Modelo OSI:** modelo de red descriptivo

**PC:** Computador Personal

**PLC:** Controlador Lógico Programable

**RAM:** memoria de acceso aleatorio.

**RS232:** Protocolo de comunicación de PC mediante código ASCII

**RS485:** Estándar de comunicación en bus de la capa física del Modelo OSI

**RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados

**RTU:** Terminal de Unidad Remota

**SCADA:** Control de Supervisión y Adquisición de Datos.

**Software:** El software es un conjunto de instrucciones indispensables para el funcionamiento del computador.

**TCP/IP:** Internet Protocolo, conjunto de reglas establecidas entre dos dispositivos para permitir la comunicación entre ambos

**Transmisores:** Es un elemento que produce una señal sea eléctrica, u otra.

## **A.2 Información sobre la empresa/institución**

### **A.2.1 Descripción de la empresa**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto-Ley No.449 del 8 de abril de 1949. Actualmente el ICE forma parte de un grupo de empresas nacionales llamado "Grupo ICE" integrado por la Radiográfica Costarricense S.A (RACSA S.A) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL).

La creación nació para solucionar los problemas de la escasez de energía eléctrica que Costa Rica presentaba en los años 40; como uno de los objetivos primordiales del ICE es utilizar de forma racional los recursos naturales respetando las normativas del derecho ambiental, es así como el ICE desarrolla de manera sostenible fuentes productoras de energías (geotérmica, hidroeléctrica, eólica, entre otras) existentes en el país y brindar el servicio de electricidad; con el

crecimiento de la población nacional desde su creación hasta el día de hoy estableció mejoras y con ello el desarrollo de servicios de comunicaciones telefónicas, radio telefónicas, entre otras las cuales generaron instalaciones de centrales telefónicas en distintas partes del territorio nacional y a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo.

Es así como una de las centrales telefónicas del ICE, sede San José, ubicado en Avenida Segunda, es un punto de interconexión del sistema de redes telefónicas que la institución brinda a todo el gran área metropolitana, además es donde se evalúa la calidad de las telecomunicaciones se fortalece dándole garantía al cliente de que va a estar recibiendo todo el tiempo la calidad de servicio contratado.

#### **A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto**

El Departamento de Operación y Mantenimiento del ICE-San José, esta encargado de la supervisión, mantenimiento y reparación de todo el equipo electromecánico del edificio, como son aires acondicionados, rectificadores, inversores, UPS, plantas eléctricas, banco de baterías; todo esto conforma el respaldo energético del edificio, es por ello que del departamento depende el funcionamiento adecuado de cada dispositivo electrónico de comunicación y energía que se encuentra en distintas salas del edificio.

Para ellos es de suma importancia el desarrollo e implementación de sistemas de gestión que logren monitorizar cada una de sus variables medibles posibles, para brindar una calidad de servicio al edificio y a los usuarios del ICE.

## **Anexos**

# SIEMENS

## Pressure transmitter

### SITRANS P220 (7MF1567)

#### Operating Instructions



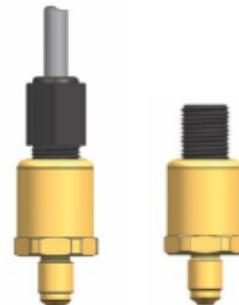
**7MF1567 with plug complying with EN 175301-803-A**

- Type 7MF1567-xxxxx-1\*\*1
- Type 7MF1567-xxxxx-5\*\*1



**7MF1567 with plug M12x1**

- Type 7MF1567-xxxxx-2\*\*1



**7MF1567 with cable (2 m)**

- Type 7MF1567-xxxxx-3\*\*1

**7MF1567 with fast-fit cable gland**

- Type 7MF1567-xxxxx-4\*\*1

#### Range of application SITRANS P220, type 7MF1567

The pressure transmitter is used to measure relative pressure and absolute pressure of gases and liquids in the following industrial sectors:

- Mechanical engineering
- Power engineering
- Water supply
- Shipbuilding
- Chemicals
- Pharmaceuticals

#### Device design without explosion protection

The pressure transmitter consists of a piezoresistive measuring cell with a diaphragm, installed in a stainless steel housing. It can be electrically connected using a plug complying with EN 175301-803-A (IP65), a round plug M12 (IP67), a cable (IP67) or a fast-fit cable gland (IP67). The output signal is 4 to 20 mA or 0 to 10 V.

#### Device design with explosion protection

The pressure transmitter consists of a piezoresistive measuring cell with a diaphragm, installed in a stainless steel housing. It can be electrically connected with a plug complying with EN 175301-803-A (IP65) or a round plug M12 (IP67). The output signal is 4 to 20 mA.

#### Installation

- The location of the device has no influence on the precision of the measurement.
- Before installation, compare the process data with the data of the name plate.
- The medium being measured must be suitable for the parts of the pressure transmitter in contact with the medium.
- The overload limit must not be exceeded.
- Connect the devices to a fixed cable installation.

#### Grounding for devices

The pressure transmitter must be connected to the equipotential bonding system of the plant via the metal housing (process connection) and the ground conductor of the plug.

|   |                |
|---|----------------|
|  | Direct current |
|---|----------------|

#### Safety instructions

| Symbol  | Explanation of the warning symbol on the device    |
|---|--|
|  | Read the information in the operating instructions |

In terms of a safety-instrumented system, this device left the factory in perfect condition. To maintain this status and to ensure safe operation of the device, observe the following notes:

- ⚠ The device may only be used for the purposes specified in these instructions.
- When connecting up, installing and operating the device, the directives and laws of your country apply.
- Devices with the type of protection "intrinsic safety" lose their approval, if they are operated on electrical circuits that do not conform to the test certification valid for your country.
- Connect the device to a low voltage power supply with safe separation (SELV).
- The device should only be supplied with limited energy according to UL 61010-1 Second Edition, Section 9.3 or IPE in conformance with UL 60950-1 or class 2 in compliance with UL 1310 or UL 1585.
- The device can be operated both at high pressure and with aggressive and hazardous media. This means that if the device is not used properly, serious bodily injury and/or considerable damage to property cannot be excluded. This should be kept in mind particularly when the device was in use and is replaced.
- The installation, mounting and commissioning of the  devices should be performed only by trained personnel and should comply with the standards EN 60079-14 and EN 61241-14.
- The overload limit should be monitored and kept to at all times.
- The device is maintenance-free

## Technical data

| Mode of operation                             |   |
|---|---|
| Measuring range $\geq 2.5 \dots \leq 600$ bar | Piezoresistive with stainless steel diaphragm |

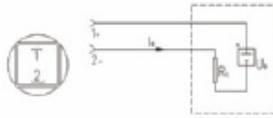
| Input   |                                  |                |
|---|----------------------------------|----------------|
| Measured variable input                                 |                                  |                |
| Measuring range for gauge pressure                      | Overload limit                   | Burst pressure |
| 0 ... 2.5 bar g   | $\geq -0.8 / \leq 6.25$ bar g    | 25 bar g       |
| 0 ... 4 bar g   | $\geq -0.8 / \leq 10$ bar g      | 40 bar g       |
| 0 ... 6 bar g   | $\geq -1 / \leq 15$ bar g        | 36 bar g       |
| 0 ... 10 bar g  | $\geq -1 / \leq 25$ bar g        | 60 bar g       |
| 0 ... 16 bar g  | $\geq -1 / \leq 40$ bar g        | 96 bar g       |
| 0 ... 25 bar g  | $\geq -1 / \leq 62.5$ bar g      | 150 bar g      |
| 0 ... 40 bar g  | $\geq -1 / \leq 100$ bar g       | 240 bar g      |
| 0 ... 60 bar g  | $\geq -1 / \leq 150$ bar g       | 360 bar g      |
| 0 ... 100 bar g   | $\geq -1 / \leq 250$ bar g       | 600 bar g      |
| 0 ... 160 bar g   | $\geq -1 / \leq 400$ bar g       | 960 bar g      |
| 0 ... 250 bar g   | $\geq -1 / \leq 625$ bar g       | 1 500 bar g    |
| 0 ... 400 bar g   | $\geq -1 / \leq 1 000$ bar g     | 2 400 bar g    |
| 0 ... 600 bar g   | $\geq -1 / \leq 1 500$ bar g     | 3 600 bar g    |
| Measuring range for gauge pressure (for US market only) | Overload limit                   | Burst pressure |
| 0 ... 30 psi g  | $\geq -5.8 / \leq 80$ psi g      | 420 psi g      |
| 0 ... 60 psi g  | $\geq -11.5 / \leq 140$ psi g    | 500 psi g      |
| 0 ... 100 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 300$ psi g    | 520 psi g      |
| 0 ... 150 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 350$ psi g    | 870 psi g      |
| 0 ... 200 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 550$ psi g    | 1 390 psi g    |
| 0 ... 300 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 800$ psi g    | 2 170 psi g    |
| 0 ... 500 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 1 400$ psi g  | 3 480 psi g    |
| 0 ... 750 psi g   | $\geq -14.5 / \leq 2 000$ psi g  | 5 220 psi g    |
| 0 ... 1 000 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 2 000$ psi g  | 5 220 psi g    |
| 0 ... 1 500 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 3 500$ psi g  | 8 700 psi g    |
| 0 ... 2 000 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 5 500$ psi g  | 13 920 psi g   |
| 0 ... 3 000 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 8 000$ psi g  | 21 750 psi g   |
| 0 ... 5 000 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 14 000$ psi g | 34 800 psi g   |
| 0 ... 6 000 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 14 000$ psi g | 34 800 psi g   |
| 0 ... 8 700 psi g                                       | $\geq -14.5 / \leq 21 000$ psi g | 52 200 psi g   |

| Output                      |  |
|-----------------------------|--|
| Current signal              | 4 ... 20 mA  |
| • Burden                    | $(U_b - 10 \text{ V}) / 0.02 \text{ A}$                                |
| • Auxiliary power $U_b$     | DC 7 ... 33 V $\overline{\text{---}}$ (10 to 30 V for hazardous areas) |
| • Current consumption $I_b$ | $\leq 20$ mA   |
| Voltage signal              | 0 ... 10 VDC $\overline{\text{---}}$                                   |
| • Burden                    | $\geq 10 \text{ k}\Omega$  |
| • Auxiliary power $U_b$     | 12 ... 33 VDC $\overline{\text{---}}$                                  |
| • Current consumption       | $< 7 \text{ mA}$ at $10 \text{ k}\Omega$                               |
| Characteristic              | Linear rising  |

| Measuring accuracy  |  |
|---|--|
| Measurement deviation at 25 °C (77 °F). Characteristic deviation, hysteresis and repeatability included | <ul style="list-style-type: none"> <li>typically: 0.25 % of full scale value</li> <li>maximum: 0.5 % of full scale value</li> </ul>  |
| Setting T99   | $< 0.1 \text{ s}$  |
| Long-term drift   |  |
| • Start-of-scale value and measuring span   | 0.25 % of full scale value/year  |
| Ambient temperature influence   |  |
| • Start-of-scale value and measuring span   | 0.25 %/10 K of full-scale value  |
| • Vibration influence (complying with IEC 60068-2-6)  | 0.005 %/g to 500 Hz in all directions  |
| • Auxiliary power influence   | 0.005 %/V  |
| Conditions during operation   |  |
| • Process temperature   | -30 ... +120 °C (-22 to +248 °F)   |
| • Ambient air temperature   | -25 ... +85 °C (-13 to +185 °F)  |
| - Altitude  | max. 2 000 m ASL<br>Use an appropriate power supply for altitudes higher than 2000 m ASL.  |
| - Relative humidity   | 0 ... 100 %  |
| • Storage temperature   | -50 ... +100 °C (-58 to +212 °F)   |
| • Degree of protection (complying with EN 60529)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>IP65 with plug complying with EN 175301-803-A</li> <li>IP67 with M12 plug</li> <li>IP67 with cable</li> <li>IP67 with fast-fit cable gland</li> </ul>   |
| Electromagnetic compatibility   | <ul style="list-style-type: none"> <li>complying with EN 61326-1</li> <li>complying with EN 61326-2-3</li> <li>complying with NAMUR NE21, only for ATEX device and max. measured value deviation of <math>\leq 1 \%</math></li> </ul>                            |
| Construction  |  |
| Weight  | approx. 0.090 kg (0.198 lb)  |
| Process connections   | Dimension drawings   |
| Electrical connections  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Plug complying with EN 175301-803-A Form A with cable inlet M16x1.5 or 1/2-14NPT or Pg 11</li> <li>M12 plug</li> <li>2- or 3-wire (0.5 mm<sup>2</sup>)</li> <li>Cable (Ø 5.4 mm)</li> <li>Fast-fit cable gland</li> </ul> |
| Material of the parts in contact with measured material   |  |
| • Measuring cell  | stainless steel, material no. 1.4016   |
| • Process connection  | stainless steel, material no. 1.4404 (SST 316 L)   |
| Material of parts not in contact with the medium  |  |
| • Housing   | stainless steel, material no. 1.4404 (SST 316 L)   |
| • Pin and socket connector housing  | <ul style="list-style-type: none"> <li>plastic</li> <li>CuZn, nickel-plated (plug M12)</li> </ul>  |
| • Cable   | • PVC spec.  |

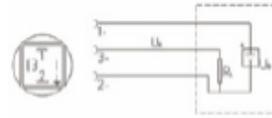
## Electrical connections

Connecting with current output and plug complying with EN 175301



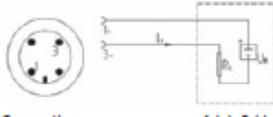
Connection 1 (+) 2 (-)

Connecting with voltage output and plug complying with EN 175301



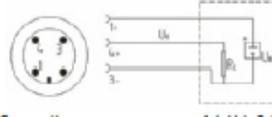
Connection 1 (+U<sub>o</sub>) 2 (-) 3 (+U<sub>o</sub>)

Connecting with current output and plug M12x1



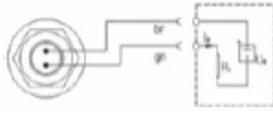
Connection 1 (+) 3 (-)

Connecting with voltage output and plug M12x1



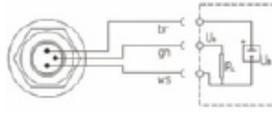
Connection 1 (+U<sub>o</sub>) 3 (-) 4 (+U<sub>o</sub>)

Connecting with current output and cable



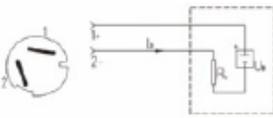
Connection br (+) gn (-)

Connecting with voltage output and cable



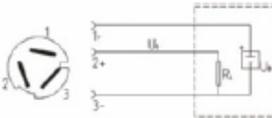
Connection br (+U<sub>o</sub>) gn (-) ws (+U<sub>o</sub>)

Connecting with current output and fast-fit cable gland



Connection 1 (+) 2 (-)

Connecting with voltage output and fast-fit cable gland

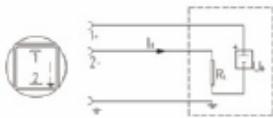


Connection 1 (+U<sub>o</sub>) 3 (-) 2 (+U<sub>o</sub>)

### Device design with explosion protection: 4 to 20 mA

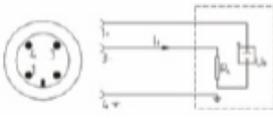
The grounding connection is conductively connected to the transmitter housing

Connecting with current output and plug complying with EN 175301 (Ex)



Connection 1 (+) 2 (-)

Connecting with current output and plug M12x1 (Ex)



Connection 1 (+) 3 (-) 4 (⚡)

### Key

$I_o$  = output current

$U_A$  = auxiliary power

$R_b$  = burden

$U_o$  = output voltage

⚡ = grounding

### Correction of zero point and span

The transmitter is preset to the specific measuring range at the manufacturer's plant. An additional setting is not possible.

### Maintenance

The transmitter is maintenance-free.

Check the start of scale value of the device from time to time

