

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA UNA  
ESTACIÓN MULTIVARIABLE DIDÁCTICA**

**LUIS EDIER GAÑÁN GAÑÁN  
JULIAN DAVID CASTAÑEDA AGUIRRE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PEREIRA  
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA UNA  
ESTACIÓN MULTIVARIABLE DIDÁCTICA**

**LUIS EDIER GAÑAN GAÑAN  
JULIAN DAVID CASTAÑEDA AGUIRRE**

**Trabajo de Grado**

**Requisito parcial para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica**

**Director**

**M.Sc (c) Marcela González Valencia**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PEREIRA**

**2016**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Tecnológica de Pereira para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.**

**Pereira, Junio de 2016.**

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ *Damos en primer lugar gracias a Dios, por iluminar y fortalecer nuestro espíritu, por darnos la sabiduría y capacidad para llevar a cabo este proyecto.*
- ✓ *A nuestros padres y hermanos por ese apoyo incondicional y por la confianza depositada durante todo este proceso de aprendizaje.*
- ✓ *A nuestra directora de proyecto Marcela González Valencia quien siempre estuvo dispuesta a colaborarnos y a compartir sus conocimientos.*
- ✓ *A los Instructores Norberto Arango y Saúl Erazo del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial - SENA, por compartir sus conocimientos y brindar apoyo para la culminación de este proyecto.*
- ✓ *A la Universidad Tecnológica de Pereira, que nos ha brindado la oportunidad, los espacios, los medios y un talento humano capacitado para tener un alto desarrollo profesional.*
- ✓ *Al Ingeniero Juan de Dios Ríos, Asistente de Instrumentación. Departamento de Energía y Mantenimiento Eléctrico. Ingenio Risaralda por su asesoría técnica en la ejecución del proyecto.*

**Julián Castañeda**  
**Luis Edier Gañan**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	16
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>1. DEFINICION DEL PROBLEMA</b> .....	19
1.1. Planteamiento del Problema.....	19
1.2. Formulación del Problema.....	19
1.3. Sistematización del Problema .....	20
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	21
2.1. Objetivo General.....	21
2.2. Objetivos Específicos.....	21
<b>3. ALCANCES DEL PROYECTO</b> .....	22
3.1. Metodología de Desarrollo .....	22
3.2. Antecedentes .....	23
3.2.1. El Inicio del Control a Distancia .....	24
3.2.2. Las Primeras Interfaces Hombre-Máquina.....	25
3.2.3. Antecedentes de los Sistemas SCADA en el ámbito local .....	26
3.2.4. Descripción del Proceso Antes de Ser Intervenido. ....	27
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	31
4.1. Variable Temperatura.....	31
4.1.1. Definición de Temperatura .....	31
4.1.2. Escala de Temperatura .....	31
4.1.3. Instrumentos de Medición de Temperatura .....	32
4.2. Variable Caudal .....	35
4.2.1. Instrumentos de Medición de Caudal .....	37
4.2.2. Medidores Térmicos de Caudal.....	44
4.2.3. Medidor de Coriolis .....	45
4.3. Variable Nivel .....	46

4.3.1. Medidores de Nivel de Líquidos .....	47
4.3.2. Instrumentos de Medida Directa.....	47
4.3.3. Instrumentos Basados en Presión Hidrostática .....	50
4.3.4. Medidor de Nivel Por Ultrasonido.....	52
4.4. Variable Presión .....	53
4.4.1. Elementos Utilizados Para la Medida de Presión.....	54
4.5. Sistemas SCADA .....	57
4.5.1. Objetivo de los Sistemas SCADA.....	58
4.5.2. Ventajas de los Sistemas SCADA.....	61
4.5.3. El entorno de los sistemas SCADA.....	62
4.5.4. Enlace OPC .....	62
<b>5. VARIABLES EN LA ESTACION MULTIVARIABLE DIDACTICA .....</b>	<b>65</b>
5.1. Variadores de velocidad .....	66
5.2. PLC Unitronics Vision 280 .....	68
5.3. Controlador T640 EURO THERM.....	69
5.4. Registrador EURO THERM 5100E.....	69
5.5. Control de Temperatura en la Estación Multivariable .....	70
5.5.1. Calibración del Control PID en la Variable Temperatura.....	71
5.5.2. Sintonización del Control en la Variable Temperatura .....	73
5.5.3. Método de Sintonización Proceso de Temperatura.....	74
5.6. Control de Flujo en la Estación Multivariable.....	74
5.6.1. Calibración del Control PID en la Variable Flujo .....	75
5.6.2. Método de Sintonización Proceso de Flujo .....	77
5.7. Control de Nivel en la Estación Multivariable.....	78
5.7.1. Calculo de Valores Máximo y Mínimos en el Control de Nivel .....	78
5.7.2. Configuración de un Transmisor de Nivel .....	79
5.7.3. Modalidades de Acción de un Controlador de Nivel.....	80
5.7.4. Método de Sintonización Proceso de Nivel .....	82
5.8. Control de Presión en la Estación Multivariable .....	83
5.8.1. Calibración del Control PID en la Variable Presión .....	84
5.8.2. Configuración del Controlador Para Control de Presión.....	84
5.8.3. Método de Sintonización Control de Presión .....	85
5.8.4. Calibración de un Transmisor de Presión .....	86

<b>6. SCADA EN LA ESTACION MULTIVARIABLE DIDACTICA .....</b>	<b>87</b>
6.1. Configuración de SCADA Intouch de Wonderware .....	88
6.1.1. Configuración Inicial.....	88
6.1.2. Interfaces Graficas .....	90
6.1.3. Tendencias.....	91
6.1.4. Alarmas y Eventos .....	92
6.1.5. Registro y Archivo .....	93
6.1.6. Generación de Informes.....	94
6.1.7. Control de Proceso.....	95
6.1.8. Recetas .....	96
6.1.9. Comunicaciones.....	96
6.2. Interfaz OPC SCADA Intouch y PLC Vision 280 .....	97
6.2.1. Como usar UniOPC.....	97
6.2.2. Comunicación RS232 Entre Aplicaciones .....	98
6.2.3. Agregar un PLC a Un Sistema OPC .....	99
6.2.4. Configuración OPCLink.....	101
6.2.5. Prueba desde SCADA Intouch.....	102
<b>7. DISEÑO E IMPLEMENTACION SCADA INTOUCH .....</b>	<b>106</b>
7.1. Pasos Iniciales en la Estación Multivariable .....	106
7.2. Configuración SCADA Intouch y PLC Vision 280 .....	107
<b>8. RECURSOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>116</b>
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>122</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Desarrolladores Software SCADA. ....	24
Tabla 2. Margen de trabajo del elemento.....	33
Tabla 3. Tipos de Medidores volumétricos. ....	36
Tabla 4: Medidores volumétricos de caudal más utilizados. ....	44
Tabla 5. Tipo de usuarios para el proceso. ....	110
Tabla 6. Presupuesto utilizado para la culminación del proyecto.....	117

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de monitorización de forma remota. ....	24
Figura 2. Interfaz gráfica Windows 1.0.....	25
Figura 3. Diseño Estación Multivariable didáctica.....	28
Figura 4. Variadores de velocidad SIEMENS Y Allen Bradley.....	29
Figura 5. Válvulas proporcionales hidráulicas.....	29
Figura 6. PLC Vision 280 Unitronics.....	30
Figura 7. Primer diagrama inicial de la Estación Multivariable.....	30
Figura 8. Termómetro de vidrio.....	33
Figura 9. Termómetro bimetálico.....	33
Figura 10. Termómetro tipo bulbo.....	34
Figura 11. Sondas de resistencia.....	34
Figura 12. Termistores para medición de temperatura.....	35
Figura 13. Unión termopar.....	35
Figura 14. Presión diferencial creada por la placa orificio.....	37
Figura 15. Rotámetro elemento de área variable.....	37
Figura 16. Medición del caudal tipo vertedero.....	38
Figura 17. Medición del caudal tipo turbina.....	38
Figura 18. Transductores de ultrasonidos para medición de caudal.....	38
Figura 19. Medidor de placa.....	39

Figura 20. Medidor magnético de caudal magnético.....	40
Figura 21. Medidor de disco basculante.....	41
Figura 22. Medidor de pistón oscilante.....	42
Figura 23. Medidor de pistón alternativo.....	43
Figura 24. Medidor rotativo cicloidal - lóbulos Root.....	43
Figura 25. Medidor térmico de caudal.....	44
Figura 26. Anemómetro de hilo caliente de temperatura constante.....	45
Figura 27. Medidor de Coriolis.....	46
Figura 28. Instrumentos de medida directa a) sonda, b) gancho, c) Plomada....	47
Figura 29. Medidor de nivel en cristal, a.....	48
Figura 30. Instrumentos de nivel de flotador (a) directo y b) magnético).....	49
Figura 31. Medidor de nivel por palpador servooperado.....	49
Figura 32. Medidor de nivel magnetoestrictivo.....	50
Figura 33. Medidor manométrico.....	51
Figura 34. Medidor de tipo burbujeo.....	51
Figura 35. Medidor de presión diferencial.....	52
Figura 36. Transductor ultrasónico de nivel.....	52
Figura 37. Clases de presión atmosférica.....	53
Figura 38. Tubo Bourdon.....	54
Figura 39. Manómetro de presión absoluta.....	54

Figura 40. Elementos resistivos (tipo Bourdon o cápsula).....	55
Figura 41. Transductor de inductancia variable (LVDT).....	56
Figura 42. Transductor capacitivo.....	56
Figura 43. Elemento piezoeléctrico.....	57
Figura 44. Parque eólico.....	58
Figura 45. Línea de extrusionado (realizado con WinCC. Siemens).....	59
Figura 46. Principio de redundancia en la pirámide de automatización.....	62
Figura 47. Logotipo inicial de OPC FOUNDATION.....	64
Figura 48. Estructura básica de un sistema basado en OPC.....	64
Figura 49. Generador de señal FLUKE 715.....	65
Figura 50. P&ID estación Multivariable.....	66
Figura 51. Variador MICROMASTER 420 de Siemens.....	66
Figura 52. Variador Power Flex 4 de Allen Bradley.....	67
Figura 53. Motobombas Siemens.....	67
Figura 54. Tangues de agua fría y caliente de la estación Multivariable.....	68
Figura 55. PLC VISION 280 DE UNITRONICS.....	68
Figura 56. Controlador T640 EURO THERM.....	69
Figura 57. Registrador EURO THERM-MODELO 5100 E.....	70
Figura 58. Respuesta del control PID para Temperatura.....	71
Figura 59. Diagrama P&I Estación Multivariable Temperatura.....	73
Figura 60. Respuesta del control PID para Flujo.....	75

Figura 61. Diagrama P&I Estación Multivariable Para Flujo.....	77
Figura 62. Método de NOTCH para control de Flujo.....	77
Figura 63. Realización pruebas de medidas de Nivel.....	78
Figura 64. Conexión para configurar un transmisor de Nivel.....	80
Figura 65. Ecuación de la recta para control de Nivel.....	82
Figura 66. Método de sintonización para el cálculo de Nivel.....	83
Figura 67. Control de Presión en la Multivariable.....	84
Figura 68. Respuesta del control PID para presión.....	84
Figura 69. Calibración transmisor de Presión.....	86
Figura 70. Icono de Intouch de Wonderware.....	87
Figura 71. Administración de premisos para usuarios con WinCC (Siemens)....	89
Figura 72. Herramientas de trabajo Intouch de Wonderware.....	89
Figura 73. Primera interfaz gráfica estación Multivariable.....	90
Figura 74. Symbol Factory by Reichard Software.....	91
Figura 75. Grafica de tendencias del proceso software Intouch.....	92
Figura 76. Ejemplo d una pantalla de alarmas en Intouch.....	93
Figura 77. Configuración y guardado de alarmas en Intouch.....	94
Figura 78. Configuración base de datos Intouch.....	95
Figura 79. Programación interna (script) con Intouch.....	96
Figura 80. OPC UniOPC Server de Unitronics.....	97

Figura 81. Protocolo RS232 para conexión SCADA y PLC.....	98
Figura 82. Configuración de la velocidad de transferencia RS232.....	99
Figura 83. Adicionar un PLC al UniOPC.....	100
Figura 84. Configuración correcta del UniOPC.....	100
Figura 85. Configuración OPCLink en el SCADA Intouch.....	101
Figura 86. Definir conexión con el PLC.....	102
Figura 87. Directorio donde se guardara la configuración.....	102
Figura 88. Configuración de parámetros en el SCADA Intouch.....	103
Figura 89. Configuración del acceso desde el SCADA Intouch.....	103
Figura 90. Tagname dictionary.....	104
Figura 91. Enlace SCADA y la dirección del PLC.....	104
Figura 92. Entorno grafico SCADA Intouch (Prueba).....	105
Figura 93. Diagrama P&I para la puesta en marcha de la estación Multivariable...	107
Figura 94. Características iniciales de Intouch de Wonderware.....	108
Figura 95. Selección y puesta en marcha del proyecto.....	108
Figura 96. Ventana de Inicio Aplicación SCADA Intouch.....	109
Figura 97. Entorno grafico del proceso de la estación didáctica desde Intouch...	109
Figura 98. Ventana Nivel de Acceso y usuarios.....	110
Figura 99. Ventanas Control Discreto.....	111
Figura 100. Ventana Control de Temperatura y del calentador.....	112
Figura 101. Ventana Control Lazos Proporcionales.....	113

Figura 102. Ventana Tendencia para Sintonización de Lazos de Control.....114

Figura 103. Selección de los Lazos de control a Sintonizar.....115

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Guía sobre configuración del HMI del PLC Unitronics Vision 280.

ANEXO B. Guía para el manejo del registrador EUROTHERM-MODELO 5100 E.

ANEXO C. Manual Para Usar las Estrategias Precargadas del Controlador T640.

ANEXO D. Configuración Eléctrica del Variador de Velocidad SIEMENS.

ANEXO E. Reconocimiento y Verificación del Plano Eléctrico de la Estación.

ANEXO F. Reconocimiento y Verificación del Plano Eléctrico de Control.

ANEXO G. Prueba de Planos Para Las Motobombas.

ANEXO H. Parámetros que se modificaron en el variador de velocidad MICROMASTER 420.

ANEXO I. Parámetros Modificados en el Variador de Velocidad POWERFLEX 40.

ANEXO J. Programación PLC Y Visualización en HMI Vision 280.

## RESUMEN.

Este proyecto busca monitorear y controlar mediante un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) llamado Intouch perteneciente a la compañía Invensys de Wonderware, una Estación Multivariable Didáctica la cual maneja de forma independiente o conjunta las cuatro variables base de cualquier sistema industrial como son: caudal, temperatura, nivel y presión, que permitirá realizar de forma segura un análisis y estudio de los diferentes procesos para un control óptimo y eficiente antes de ir a un proceso real en la industria.

La Estación Multivariable Didáctica a la cual se le diseñara e implementar el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) se encuentra ubicado en el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas Risaralda, se inicia con la necesidad de unificar un proyecto donde se involucre la comunidad estudiantil de dicho centro en el desarrollo de un prototipo donde se reúnan las cuatro principales variables encontradas en todo proceso industrial. Tomando como modelo de referencia estaciones de la marca Labvolt la cual trabaja cada variable caudal, temperatura, nivel y presión de forma independiente.

Este proyecto inicia a mediados del año 2009 con la construcción de la planta y termina a finales del año 2011 con un sistema controlado mediante un Autómata programable (PLC) Unitronics referencia vision 280 con interfaz HMI integrada de fabricación Israelí, soportado con un controlador alterno Foxboro referencia T640 para realizar prácticas donde se realice la simulación de un proceso de aplicación real donde el controlador principal puede llegar a fallar y se cuente con un controlador alterno que realice las funciones del control principal, también cuenta con un graficador digital marca EUROTHERM 5100E, y toda la parte de instrumentación con elementos de referencias y marcas reconocidas que se encuentran en las industrias de la región como son variadores de frecuencia Siemens y Allen Bradley, electroválvulas neumáticas FESTO, transmisores HONEYWELL, complementado por protocolos de comunicación HART, RS 485, RS232 Y Ethernet.

Como valor agregado se plantea la necesidad de poder monitorear este sistema de forma local y remota, es allí donde se decide diseñar e implementar un sistema de supervisión y control para todo el proceso o solo una variable del proceso utilizando un software SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) de uso industrial como lo es Intouch de Wonderware, recomendado por representantes del ingenio Risaralda ya que ellos cuentan con este software para monitorear y controlar todos sus procesos comprobando así que es el más usado, eficiente y seguro del mercado.

## INTRODUCCIÓN

Debido a los constantes avances tecnológicos así como a la globalización e inclusión de nuestro país en los mercados mundiales hace necesario incorporar nuevas estrategias de producción que consigan aumentar la productividad y mejorar la calidad de nuestros productos para hacerlos más competitivos, es así como las herramientas innovadoras y el desarrollo de software se están incorporando en los diferentes niveles de los procesos automatizados haciéndolos más eficientes y seguros. Es el caso de la utilización del software “SCADA” (Supervisory Control And Data Acquisition), estos sistemas permiten controlar y supervisar el comportamiento de cualquier variable física por medio de una interfaz HMI o computador con diversas ventajas como el control y monitoreo en tiempo real así como almacenar en una base de datos conocidos como históricos todos los registros y novedades del sistemas en el transcurso del tiempo.

Por lo anterior cabe destacar que en la actualidad existe una gran variedad de software “SCADA” para aplicaciones industriales y que varían de acuerdo a la capacidad, robustez y confiabilidad sobre el proceso que se desea controlar es el caso de WinCC de Siemens, RS View de Allen Bradley, CX Supervisory de Omron, Intouch de Wonderware, este último uno de los más utilizados en los grandes entornos industriales por su características de confiabilidad, robustez e integración con múltiples marcas de Autómatas programables (PLC) con diferentes protocolos de comunicación.

En la actualidad el centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas cuenta con la Estación Multivariable didáctica cuyo objetivo es controlar las variables de temperatura, presión, nivel y caudal mediante un autómatas programable (PLC) Vision 280 de Unitronics, además cuentan con el software “SCADA” (Supervisory Control And Data Acquisition) Intouch de Wonderware con sus respectivas licencias, esto permite realizar el diseño e implementación del sistema SCADA para la Estación Multivariable ya que en la actualidad no cuenta con este sistema.

Este documento describe todo lo necesario acerca de las fases de diseño e implementación de un sistema SCADA aplicado a un control y monitoreo de un proceso donde intervienen diferentes variables, como es el caso de la Estación Multivariable, y lo esperado al terminar este proyecto es contar con un equipo funcional que pueda ser utilizado en los diferentes programas de formación para la realización de una buenas practicas Industriales.

## JUSTIFICACIÓN.

Sin duda alguna la importancia del presente proyecto radica en tener una herramienta didáctica elaborada con componentes de aplicación industrial y de marcas reconocidas en el mercado de la instrumentación y control como es el caso de FOXBORO, HONEYWELL, FESTO, UNITRONICS, ALLEN BRADLEY, SIEMENS, EUROTERM, EMERSON, entre muchos otros, enfocado como apoyo para la formación de técnicos, tecnólogos y profesionales en el áreas afines a la Mecatrónica, automatización e instrumentación industrial, donde puedan conocer los equipos e experimentar prácticas y simular problemas encontrados frecuentemente en los entornos industriales reales ya que incorpora variables continuas como presión, nivel, temperatura y caudal.

Uno de los principales objetivos de la Estación Multivariable Didáctica es que se pueden orientar diversos contenidos pedagógicos en los diferentes campos de la instrumentación, Automatización y la Mecatrónica como es el caso de las redes de comunicación industrial ya que la estación cuenta con protocolos HART, RS232 Y RS485, programación de PLC mediante lenguaje LADDER (escalera), diferentes tipos de sensores, además de la parametrización de transmisores de presión, flujo nivel y temperatura, terminando con el diseño de interfaces hombre-máquina (HMI), y desarrollo de sistemas "SCADA" (Supervisory Control And Data Acquisition) Intouch de Wonderware.

Con base en lo anterior, puede afirmarse que a través de la experiencia adquirida, los estudiantes obtendrán muy buenas bases para interiorizar conceptos de control industrial aplicado, potencialices su capacidad reflexiva y analítica, estén en la capacidad de resolver problemas presentados en un entorno industrial real, logrando de esta forma que haya un aprendizaje significativo que permita articular el contexto netamente académico con el sector industrial.

## **1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

Debido a la gran demanda que existe en el país por nuevas tecnologías, innovación e incorporación de nuevos procesos y productos sumado a la necesidad del sector industrial por estar a la vanguardia y al pie de estas mismas; se hace necesario estar a un nivel de competencias claras, a las que muy frecuentemente se encuentran los profesionales de hoy en el país; la automatización y control de procesos permite por secuencias reconocer en un instante de trabajo; como se está operando y como es la producción, la adquisición de datos del proceso permite una valoración, dando por consecuencia la toma de decisiones; de validar estas operaciones para que se efectúen en acciones, y que se reflejen dentro del proceso.

La necesidad de un entrenador como es la Estación Multivariable, donde se puede observar, preparar, controlar, decidir y accionar; más; que una herramienta, resulta muy beneficiosa para consolidar experiencias, actividades y evaluar aún mejor con una visión periférica de a donde se repliegan estos procesos, haciéndose más fácil su estudio, optimizando tiempos y mejoras en el proceso. Dando una visión del perfil como ingeniero Mecatrónico donde se asocian disciplinas como la electricidad, la electrónica, la información y comunicación dicho lo anterior una cara muy innovadora hacia la educación, a lo que serían los procesos industriales hoy y hacia un futuro.

### **1.1. Planteamiento del Problema**

A nivel de procesos industriales, es importante distinguir entre el manejo de las señales de tipo discreto y aquellas que son continuas.

En el caso de las variables discretas, su señal de salida va a tomar un valor específico; así: cero o uno. En contraposición, las señales de tipo continuo son aquellas que cambian a lo largo del tiempo y su tratamiento requiere un acondicionamiento de la señal antes de su posterior uso.

Esta estación, forma parte de un proyecto de formación desarrollado por instructores del área de Automatización del SENA con el acompañamiento de aprendices del área de Mecatrónica.

Con base en lo anterior, se plantea el montaje de la automatización para medición de diferentes variables tales como: presión, caudal, temperatura y nivel, realizar la implementación de un PLC y un sistema SCADA para la supervisión y control de la estación.

### **1.2. Formulación del Problema.**

¿Es posible el diseño y la implementación de un sistema SCADA automatizar una Estación Multivariable didáctica?

### **1.3. Sistematización del Problema.**

- ¿Será posible automatizar con un sistema SCADA una Estación Multivariable didáctica?
- ¿Es viable realizar el control secuencial de la Estación Multivariable usando un Controlador Lógico Programable (PLC)?
- ¿Puede establecerse una comunicación bidireccional entre la estación Multivariable y el sistema SCADA?

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1. Objetivo General.**

- Diseñar e implementar un sistema SCADA para una Estación Multivariable didáctica.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

- Implementar la automatización necesaria a una Estación Multivariable didáctica con el propósito de medir y controlar presión, nivel, temperatura y caudal.
- Implementar la programación de un PLC para el desarrollo secuencial de las operaciones de la Estación Multivariable
- Desarrollar un sistema SCADA para la supervisión y monitoreo de la Estación Multivariable.
- Controlar de forma local o remota la estación Multivariable a través del protocolo de comunicación RS232-RS485.

### **3. ALCANCES DEL PROYECTO.**

Con el proyecto de Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para una Estación Multivariable Didáctica se alcanzara el funcionamiento del 100% de la Estación, dejándola óptima para el desarrollo de prácticas donde se ponga a prueba la sintonización y el control de las principales variables encontradas en todo proceso industrial como son Temperatura, Nivel, Caudal y presión y sin duda alguna aportando al Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial del SENA Dosquebradas un equipo que va a contribuir con la capacitación de cientos de Risaraldenses en el campo de la instrumentación y control de procesos industriales.

Además de poner a punto el sistema para la capacitación de los instructores y aprendices del SENA Risaralda, esta estación quedara equipada con los instrumentos de campo, controladores, trasmisores, elementos de mando y potencia eléctrica y neumática de marcas reconocidas por su uso industrial y trayectoria en este campo, que le permitirá a cualquier persona que trabaje con este sistema garantizar aplicación del conocimiento adquirido en un equipo que cumple las normas y necesidades de las industria de la región de contar con el personal idóneo para solucionar los problemas presentados en un proceso industrial continuo de cualquier tipo.

#### **3.1. Metodología de Desarrollo.**

La metodología para el desarrollo de este proyecto se basa en la recuperación de la estación Multivariable didáctica del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Risaralda la cual se encontraba en un 60 % de operación, donde se presentaban problemas en la sintonización de los diferentes lazos de control y un desajuste en sus instrumentos de medida y no contar con un diagrama P&ID actualizado que permitiera la ubicación correcta de los elementos de la estación a esto incluyendo la falta de un sistema de control y supervisión descentralizado como un sistema SCADA que permitiera acceder al control de las diferentes variables del sistema desde un computador.

Para iniciar se empieza por verificación del funcionamiento de cada uno de los instrumentos de la estación para comprobar su funcionamiento, probar la red eléctrica de control y potencia, limpieza de las bombas de agua fría y caliente, lavado de la tubería y mantenimiento general.

Para lo anterior fue necesario realizar una búsqueda de información sobre cada elemento que permitiera saber su funcionamiento, rangos de operación y formas de calibración y contar con el apoyo de instructores del SENA Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial para obtener los permisos y acceso al equipo así como los planos iniciales de la estación, los software y equipos que se requerían para la puesta en marcha de la Estación Multivariable.

### **3.2. Antecedentes.**

Sin duda alguna todo avance e implementación tecnológica tiene sus principios en la revolución industrial a mediados del siglo XIX, donde el hombre comienza a ver la necesidad de optimizar sus procesos industriales.

Alrededor de los años sesenta la tendencia en automatización era la de que cada fabricante debía resolver sus problemas de automatización y control por sí solo, por lo anterior quien se encontraba ante un problema de automatización desarrollaba un elemento electrónico específico para solventarlo, estos sistemas contaban con una memoria reducida era lo normal en estos elementos, por lo cual necesitaban comunicarse constantemente con sus sistemas de control centrales para enviar los datos e incluían una serie de entradas y salidas fijas y utilizaban generalmente lenguajes de programación poco conocidos.

Y a finales de los años setenta aparecer una nueva generación de autómatas de la mano de fabricantes de equipos eléctricos como Siemens, Square-D y Allen-Bradley, estos implementaron autómatas capaces de controlar grandes cantidades de entradas y salidas, ideales para industrias tales como en automotriz y todo lo que implicara el uso de motores para generar movimiento, sin duda alguna este tipo de entornos no eran amigables para ningún tipo de elemento electrónico, por lo cual estos controles estaban diseñados para soportar las condiciones más severas y, por tanto, eran grandes, pesados y muy caros.

Otra de las consecuencias de la evolución de los sistemas de visualización está ligada a los avances en el campo de la electrónica con la reducción de los componentes, lo que permitió realizar una disminución progresiva de tamaño, peso y coste en todos los niveles industriales de control. Resultado de esto fue la introducción de los micros-PLC, en los años ochenta estos permitían realizar controles modulares que se adaptaban a las necesidades del momento y venían provistos ahora de sistemas de programación genéricos (Ladder o escalera), lo que les deparó un éxito inmediato en todo el ámbito industrial.

De una forma u otra, cada vez que se ha realizado el control de un sistema, grande o pequeño, ha sido necesario tener información visual de cómo está funcionando el equipo en esta medida los sistemas de control han ido evolucionando y se han hecho cada vez más complejos, ha aumentado también la complejidad de los elementos que proporcionan la información al usuario.

Con la aparición de la informática, permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla. Ahora ya no sería necesario tener a verdaderos expertos en sistemas de automatización cada vez que hiciera falta cambiar el ajuste de un temporizador en un sistema de control.

Los grandes cuadros de control empezaban a convertirse en monitores que podían mostrar la misma información. Pero cualquier cambio en la presentación era más sencillo de realizar, solo bastaban unas modificaciones en el código de la aplicación

para que en la pantalla apareciera, por ejemplo, un contador de piezas olvidado en el momento de realizar el diseño e implementación del proceso.

En vista de la necesidad de mejorar y simplificar tecnologías en el campo de la visualización de los procesos, varios fabricantes desarrollaron entonces paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron así una flexibilidad de uso que no se imaginada hasta el momento. Esta tendencia ha ido en aumento, de tal manera que hoy día las opciones existentes son numerosas, pero quienes iniciaron en el desarrollo de este tipo de programas fueron: (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Desarrolladores Software SCADA.

Intellution	IFIX
Omron	SCS
Siemens	WinCC
Rockwell Automation	RS-View
Wonderware	InTouch
GE-Fanuc	Cimplicity

Fuente: (Sistemas SCADA- 2 edición, 2007).

La evolución de los sistemas operativos ha incrementado también las posibilidades de estos sistemas, permitiendo las estructuras multipuesto gracias a los sistemas de red informáticos.

### 3.2.1 El Inicio del Control a Distancia.

A lo explicado anteriormente se le une, de forma inevitable, la forma en la cual las señales se intercambian entre el sistema a controlar y el sistema que controla. Aparece el concepto de control o medida a distancia, entendido como la transmisión a remota de información sobre algún tipo de magnitud. Si además la presentación de los datos se realiza de forma inteligible ya nos proporciona la base para el desarrollo de un sistema de control y monitorización de un proceso de manera remota. (Ver Figura 1).

**Figura 1.** Proceso de monitorización de forma remota.



Fuente: (stern-side.webnode.es).

### 3.2.2 Las Primeras Interfaces Hombre-Máquina.

La invención del tubo de rayos catódicos, CRT (Cathodic Ray Tube), unida a la del teclado, sustituyó a las máquinas de escribir, teletipos y tarjetas perforadas. La distribución típica de las tarjetas perforadas, utilizadas en los primeros sistemas de cálculo automatizados, era de ochenta columnas de veinticinco líneas cada una, esto más tarde se amplió el juego de caracteres ASCII para incluir caracteres gráficos.

Los lenguajes de programación gráfica iniciales se fueron adaptando a las nuevas posibilidades que ofrecía la tecnología del momento. Por ejemplo, permitieron cambiar los colores de cada celda de las 2.000 presentes en una pantalla de ordenador, casualmente, 80 x 25.

Los primeros paquetes de software para el control y adquisición de datos, SCADA, como Genesis (Iconics), utilizaban las capacidades gráficas del lenguaje BASIC sobre la parrilla de 80x25 celdas.

El siguiente avance vino con el sistema operativo Windows en los años ochenta (Ver Figura 2) y la aceptación por parte del gran público del sistema operativo de esta nueva herramienta con la versión 3.11.

**Figura 2.** Interfaz gráfica Windows 1.0.



Fuente: ([www.muycomputer.com](http://www.muycomputer.com)).

En esa época los principales desarrolladores de sistemas de interfaz gráfica eran Cimplicity e Intellution:

- **Cimplicity** fue un encargo original que se hizo para el gobierno estadounidense. Se basaba en DOS y era muy complicado de utilizar.
- **Intellution** se basaba también en DOS, con los gráficos del programa Dr. Halo, mucho más sencillos de manejar. ¿Recuerdan el programa SCADA Mitor, que utilizaba las imágenes con formato del editor de gráficos Dr. Halo?

Desde hacía tiempo una compañía llamada Wonderware utilizaba Windows para trabajar con un paquete de visualización llamado InTouch, cuya primera versión apareció en 1989.

### **3.2.3 Antecedentes de los Sistemas SCADA en el Ámbito Local.**

En el año 2013 los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la universidad Tecnológica de Pereira, John James García Montoya, Edwin Andrés Hernández Hernández y Leonardo Fabio Muñoz Valencia realizaron la adecuación tecnológica de la máquina de inyección de plástico del laboratorio de mecánica, de la Universidad Tecnológica de Pereira, donde un SCADA interactúa con la máquina a través de una comunicación serial con un Controlador Lógico Programable S7-200 Siemens este dispositivo es el intermediario entre el SCADA y las diferentes variables del proceso de modelado de plástico.

En el año 2013, los estudiantes de Tecnología Mecatrónica de la universidad tecnológica de Pereira, Andrés Felipe González Gonzáles, Cristián David Valderrama Vargas, realizaron el Diseño de un sistema SCADA domótico con protocolo Modbus para el control de variables de seguridad, ahorro energético y confort por medio de un PLC donde se requiere un sistema SCADA básico de ahorro energético, confort y seguridad, que pueda ser implementado en Colombia con un protocolo funcional, estable y práctico y de fácil mantenimiento y accesibilidad.

En el año 2013 los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Lina Alejandra Alcalde Iglesias, Lennin Fernando Patiño Idarraga, realizaron un trabajo de grado que tuvo como objetivo desarrollar un SCADA bajo la plataforma de Labview con el fin de monitorear y almacenar de forma constante variables como distancia recorrida por un vehículo, consumo de combustible, velocidad y rendimiento.

En el año 2014, los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Johny Andrés López Londoño y Victor José Zapata Correa realizaron el Diseño de un sistema de control para un taladro electro-neumático de banco, bajo Norma Gemma y Ambiente SCADA, con seguimiento a ciclos de operación. Este trabajo de grado presenta el diseño y la simulación de un sistema de control para un taladro electro-neumático de banco, usando una plataforma SCADA.

En el año 2014, los estudiantes de Tecnología Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Jenny Adalgisa León Tabares y Juan Pablo Gómez Ramírez realizaron el Diseño y simulación de máquina perforadora de piezas por medio de PLC y sistema SCADA debido a que en este caso el proceso de taladrar piezas de madera de forma cuadrada en el centro de las mismas, puede ser difícil para una persona, pues tendría que tener mucha precisión en el momento de posicionar la pieza, además de los movimientos implicados en la acción de taladrar.

En el año 2014, los estudiantes de Tecnología Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Daniel Felipe Castañeda Marín, Natalie López Correa y Christian Stid Barrera Ordoñez, realizaron el Control y supervisión de un proceso hidráulico con una plataforma SCADA y utiliza una interfaz hombre-máquina (HMI) con el objeto de supervisar el proceso con el software WinCC ofrecido por SIEMENS.

En el año 2015, la estudiante de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Ingrid Johana González Sánchez, realizó el Diseño y prototipo de secador de café excelso automatizado con sistema SCADA, donde implementar una interfaz SCADA para la medición y el control del proceso de secado del café, el cual, involucra variables tales como: el encendido y apagado del ventilador, encendido y apagado del calentador, medición de la temperatura y humedad del horno.

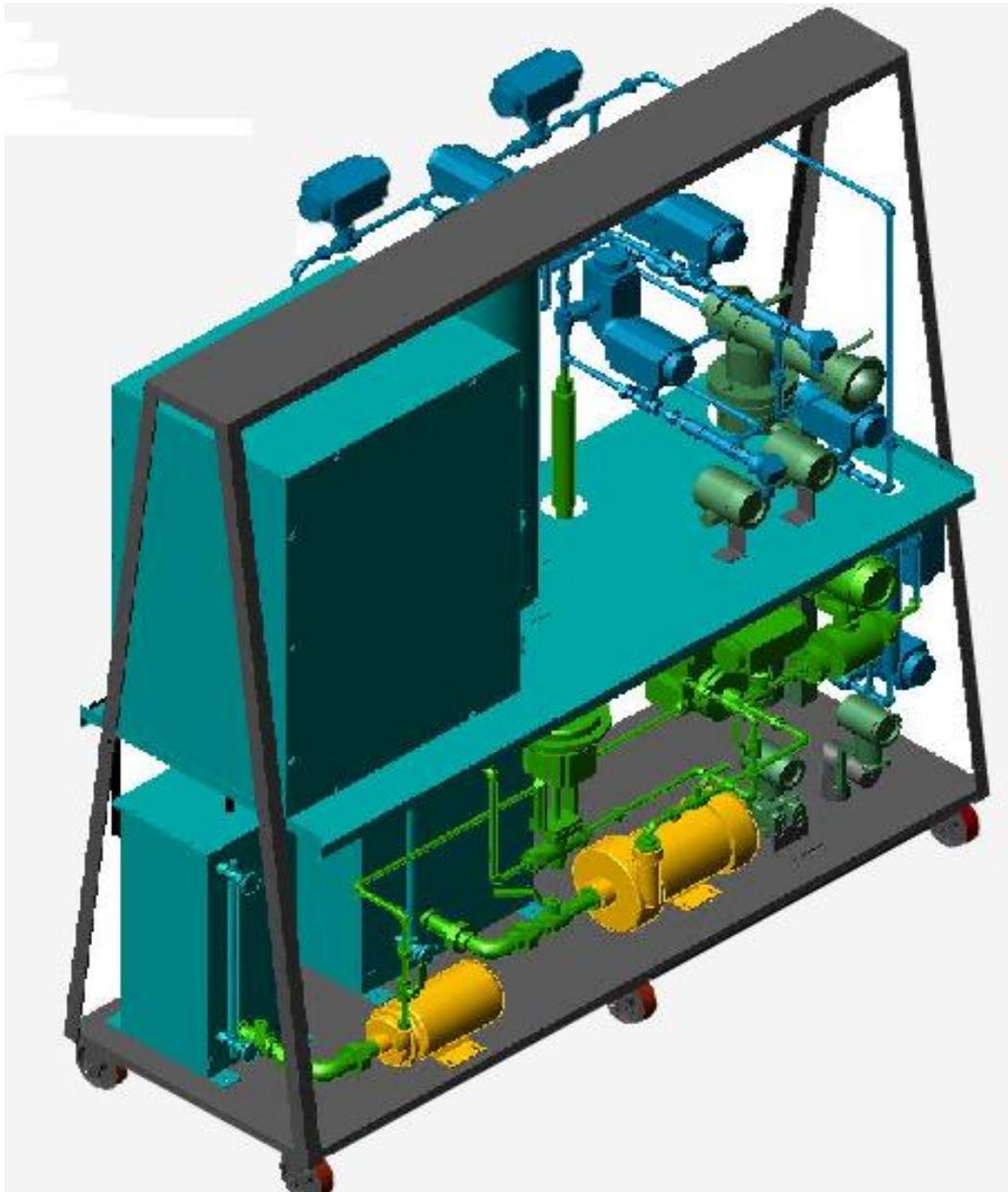
En el año 2015, los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira, David Stiven Escobar Velásquez, Andrés Fabián García Castro y Nathalia Rodríguez Bermúdez, realizaron el Diseño e implementación de un SCADA para una máquina extrusora de plástico implementando la supervisión de los procesos de manufactura que es algo necesario en la industria de la región.

En el año 2015, el estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Jorge Eliecer Suárez Pinzón realizó el Diseño e implementación de sistemas SCADA para automatismos, basados en hardware y software libre utilizando una terminal que se comunica con Arduino, una plataforma electrónica abierta que recoge información del entorno y controla luces, motores y otros actuadores.

### **3.2.4 Descripción del Proceso Antes de Ser Intervenido.**

La estación didáctica Multivariable (Ver Figura 3) cuenta con un diseño y unas características muy importantes que la convierten en un proyecto muy interesante, donde se puede aplicar todas las tecnologías vistas dentro de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, cabe resaltar que cuenta con instrumentos de uso industrial y marcas reconocidas por su alto grado de confiabilidad que a la vez hacen que estos equipos sean muy costosos. Además de contar con la posibilidad de trabajar de forma conjunta o independiente las cuatro variables como temperatura, nivel, caudal y presión mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) o un controlador industrial Foxboro T640, con la necesidad de ser configurados de tal manera que se pueda realizar prácticas de los diferentes lazos control desde cualquiera de estos dispositivos.

**Figura 3.** Diseño Estación Multivariable didáctica.



Fuente. (Los Autores).

También se encontró montado sobre la estación dos variadores de frecuencia SIEMENS y ALLEN BRADLEY, (Ver Figura 4) que requerían ser configurados para controlar las dos motobombas una para agua fría y otra para agua caliente que se encuentran en la estación.

**Figura 4.** Variadores de velocidad SIEMENS Y Allen Bradley.



Fuente. (Los Autores).

Se cuenta también con una red neumática y electroneumática para accionar dos válvulas proporcionales (Ver Figura 5) y válvulas marca FESTO que permitirán direccionar el flujo del agua en la dirección indicada de acuerdo a la estrategia de control que se utilice.

**Figura 5.** Válvulas proporcionales hidráulicas.



Fuente. (Los Autores).

La red eléctrica requiere ser revisada pues hay señales de los elementos que no llegan a su destino que son las terminales digitales y análogas del PLC UNITRONICS VISION 280 y del controlador Foxboro T640.

Como interfaz gráfica para establecer la comunicación entre el operario y el proceso, se cuenta solamente con un PLC UNITRONICS Vision 280 el cual trae incorporado una HMI monocromática de 3 pulgadas (Ver Figura 6) que permite interactuar mediante los símbolos básicos y entornos reducidos con las variables del proceso.

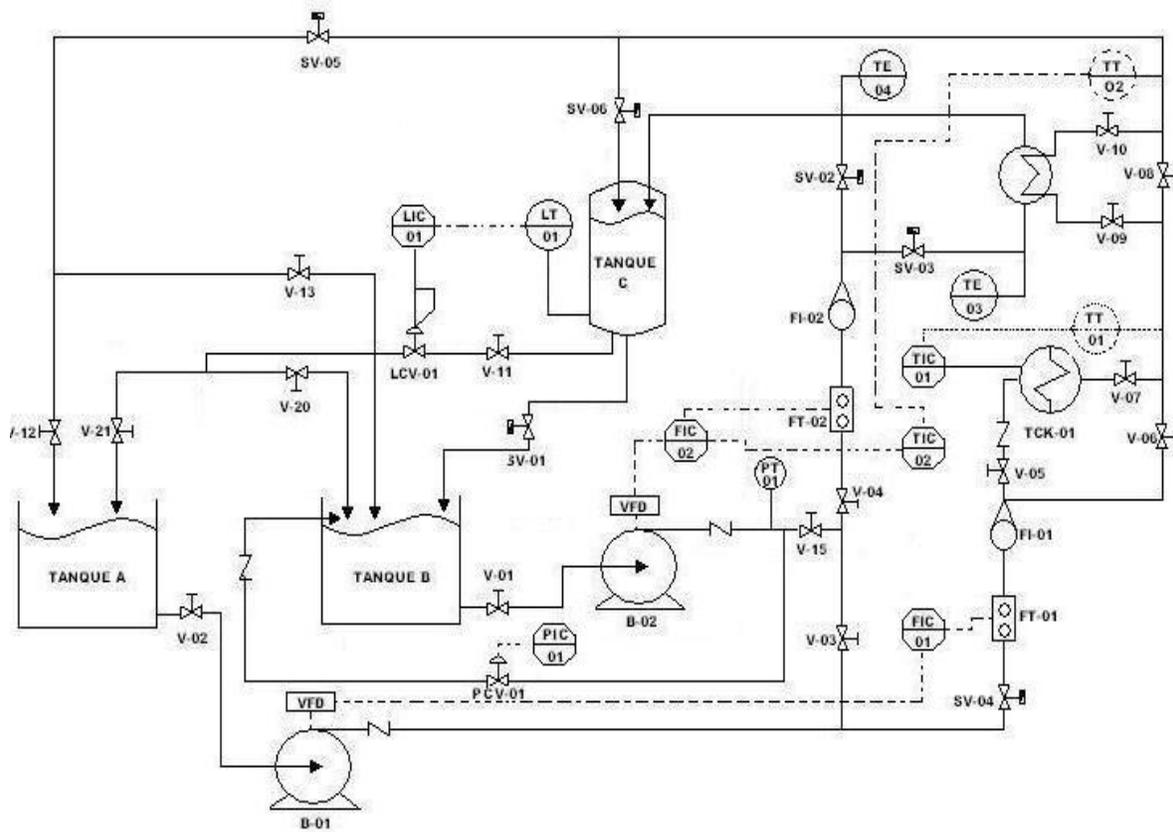
**Figura 6.** PLC Vision 280 Unitronics.



Fuente. (Los Autores).

También es necesario actualizar el diagrama P&ID (Ver Figura 7) ya que según el reordenamiento de la estación se modificarán la ubicación de algunos elementos de acuerdo a los requerimientos y normas establecidas.

**Figura 7.** Primer diagrama P&ID de la Estación Multivariable.



Fuente. (Los Autores).

## **4. MARCO TEÓRICO.**

A continuación se referencia la estructura teórica del proyecto “Diseño e Implementación de un Sistema SCADA Para Una Estación Multivariable Didáctica”, donde sin duda alguna es muy importante conocer toda la fundamentación teórica de las diferentes variables del proceso como base de la estructura de un proyecto de desarrollo e innovación tecnológica, partiendo de los conocimientos y estudios realizados sobre el tema de instrumentación y control de procesos industriales tomando como referente entre muchos otros los libros, los de Antonio Creus Solé.

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROYECTO:

### **4.1. Variable Temperatura.**

La temperatura de los cuerpos es un concepto que el hombre primitivo (pre-científico) captó a través de sus sentidos. Las primeras valoraciones de la temperatura dadas a través del tacto son simples y poco matizadas. De una sustancia sólo podemos decir que está caliente, tibia (caliente como el cuerpo humano), templada (a la temperatura del ambiente), fría y muy fría.

Llevándolo al campo industrial la temperatura es una de las variables más comunes y de suma importancia en los procesos industriales, ya que por lo general esta variable es factor de referencia en casi todos los procesos, el ejemplo más simple puede enfocarse a los procesos químicos donde domina la energía calórica como agente catalizador, o como agente modificador de algunas propiedades físicas de gases o líquidos.

#### **4.1.1 Definición de Temperatura.**

La temperatura se define como la cantidad de calor expresada en grados que contiene un cuerpo. Es decir, la temperatura mide o nos da la idea del grado de calor de un cuerpo, siendo el calor una de las formas de presentarse la energía.

#### **4.1.2 Escala de Temperatura**

Debido a que todos los cuerpos y materiales, no tienen la misma temperatura, la medición de esta se hace tan importante en los diferentes procesos industriales que se realizan.

Existen varias escalas de temperatura conocidas a nivel internacional. La Conferencia General de Pesas y Medidas adoptó una escala internacional de temperaturas. Su objetivo era proporcionar una escala práctica de temperaturas que fuera fácil y exactamente reproducible, y que ofreciera con la máxima aproximación las temperaturas termodinámicas. Esta escala fue revisada en 1948, en 1960 y en 1968. Se la conoce como la escala práctica internacional de temperaturas de 1968 (IPTS-68).

A partir de esos valores, cada escala es dividida en su correspondiente gama de valores, es decir:

- Para la escala Fahrenheit, los puntos de fusión y ebullición del agua son  $32^{\circ}$  y  $212^{\circ}$  K respectivamente.
- Para la escala Kelvin, tiene un cero absoluto de equivalente a  $-273,2^{\circ}\text{C}$  y los puntos de fusión y ebullición del agua son  $273,16^{\circ}\text{K}$  y  $373,16^{\circ}$  K respectivamente.
- Para la escala Ranking, tiene un cero absoluto equivalente de  $-459,9^{\circ}\text{F}$  y un valor asignado de  $491,69^{\circ}\text{R}$  para el punto de fusión y  $671,9^{\circ}\text{R}$  para el punto de ebullición del agua.

#### 4.1.3 Instrumentos de Medición de Temperatura

Con el diseño de aparatos se pudieron establecer escalas para una valoración más precisa de la temperatura. El primer termómetro (vocablo que proviene del griego *thermes* y *metrón*, medida del calor) se atribuye a Galileo que diseñó uno en 1592 con un bulbo de vidrio del tamaño de un puño y abierto a la atmósfera a través de un tubo delgado.

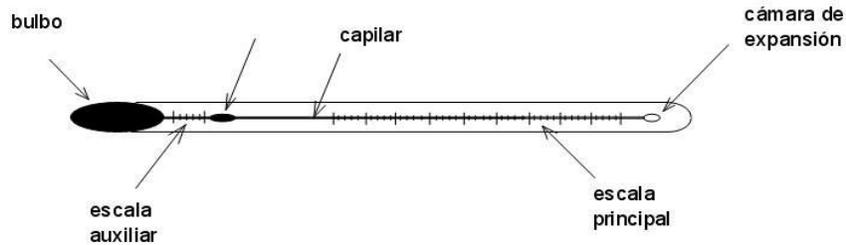
Estos instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran.

- a) Variación en volumen o en estado de los cuerpos (sólido, líquidos o gases).
- b) Variación de resistencia de un conductor (sondas resistencias).
- c) Variación de la resistencia de un semiconductor (termistores).
- d) F.E.M creada por la unión de dos metales distintos (termopares).
- e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- f) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido de un gas, frecuencia de resonancia de un cristal).

Por lo anterior se emplean los siguientes instrumentos:

**Termómetro de vidrio:** El termómetro de vidrio (Ver Figura 8) consta de un depósito de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar. Estos cuentan con un margen de trabajo de acuerdo al fluido empleado. (Ver Tabla 2).

**Figura 8.** Termómetro de vidrio.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

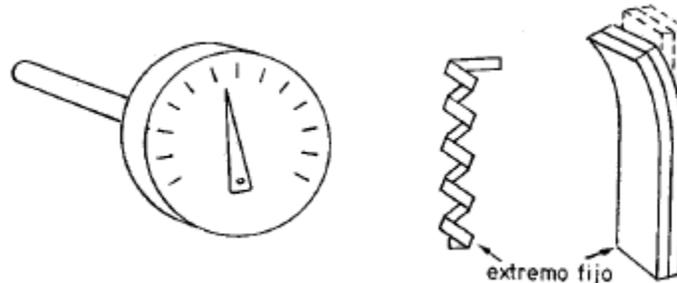
**Tabla 2.** Margen de trabajo del elemento.

Elemento	Margen de trabajo
Mercurio	-35 hasta +280° C
Pentano	-200 hasta +20° C
Alcohol	-110 hasta +50° C
Tolueno	-70 hasta +100° C

Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Termómetro bimetalico:** Los termómetros bimetalicos (Ver Figura 9) tienen un principio de funcionamiento que se basa en el coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de Ferroníquel o Invar (35,5% de níquel) laminados conjuntamente.

**Figura 9.** Termómetro bimetalico.

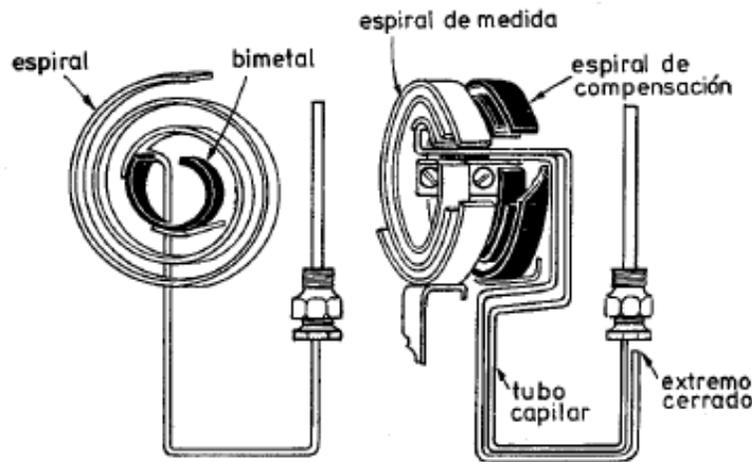


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Termómetro de bulbo y capilar:** Los termómetros tipo bulbo (Ver Figura 10) consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral.

Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expande y la espira tiende a desarrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar el incremento de la temperatura sobre el bulbo.

**Figura 10.** Termómetro tipo bulbo.

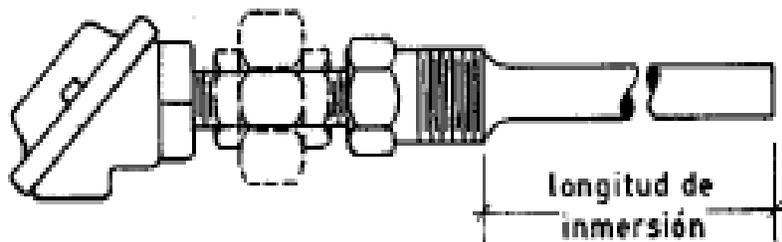


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Termómetros de resistencia:** Este termómetro se caracteriza por la resistencia en función de la temperatura que es propias de algunos elementos de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino de un conductor adecuado entre capas de materiales aislantes y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. (Ver Figura 11).

**Figura 11.** Sondas de resistencia.

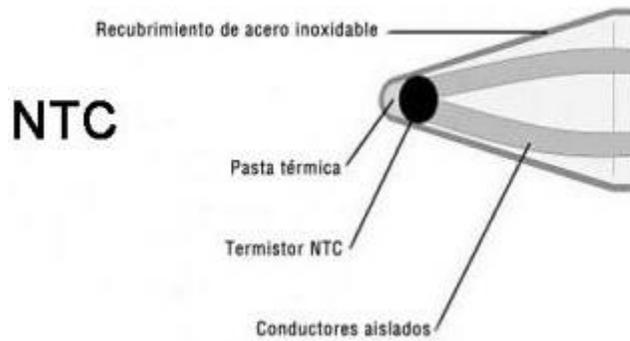


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Termistores:** Los termistores (Ver Figura 12) son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que estas presentan una variación rápida y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños de temperatura.

Estos se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobre, cobalto, manganeso, titanio y otros metales.

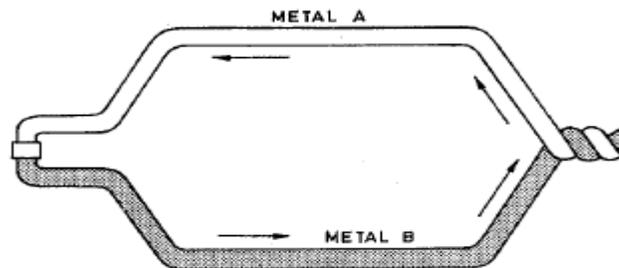
**Figura 12.** Termistores para medición de temperatura.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Termopares:** Los termopares (Ver Figura 13) se basan en la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantiene a distinta temperatura esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados.

**Figura 13.** Unión termopar.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.2. Variable Caudal.

En física e ingeniería, caudal es la cantidad de fluido que circula por unidad de tiempo en determinado sistema o elemento. Se expresa en la unidad de volumen dividida por la unidad de tiempo (e.g.:  $m^3/s$ ).

Las medidas de caudal son muy importantes en todos los procesos industriales, ya que la manera en la que la razón de flujo se cuantifica depende de si la cantidad fluido es un sólido, líquido o gas. En el caso de sólidos, es apropiado medir la razón de cambio del flujo de la masa, mientras que en el caso de líquidos y gases, se mide el flujo normalmente en cuanto a razón de cambio del volumen. Un ejemplo típico sería medir la cantidad de combustible usado en un cohete, para esto es necesario medir la masa del líquido.

GALILEO en 1612 elaboró el primer estudio sistemático de los fundamentos de la Hidrostática. Un alumno de Galileo, TORRICELI, enunció en 1643 la ley del flujo libre de líquidos a través de orificios.

Los fundamentos teóricos de la Mecánica de Fluidos como una ciencia se deben a Daniel Bernoulli y a Leonhard Euler en el siglo XVIII. En 1738 en su "Hidrodinámica", formuló la ley fundamental del movimiento de los fluidos que da la relación entre presión, velocidad y cabeza de fluido.

Existen varios métodos para medir caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Entre los transductores más importantes figuran: (Ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Tipos de Medidores volumétricos.

<i>Sistema</i>	<i>Elemento</i>
Presión diferencial	Placa Orificio
	Tobera
	Tubo Venturi
	Tubo Pilot
	Tubo Annubar
Área variable	Rotámetro
Velocidad	Vertedero con Flotador
	Turbina
	Sondas Ultrasónicas
Fuerza	Placa de Impacto
Tensión Inducida	Medidor Magnético
Desplazamiento Positivo	Disco Giratorio
	Pistón Oscilante
	Pistón Alternativo
	Medidor Rotativo
	Medidor de Paredes Deformadas
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia
	Condensador
	Ultrasonido
Oscilante	Válvula Oscilante

Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

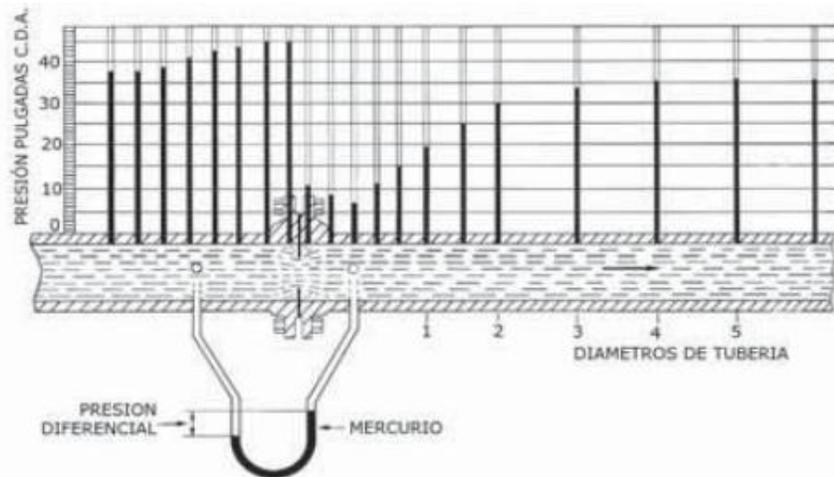
Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen de fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción o inferencia (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Es necesario señalar que la medida de caudal volumétrico en la industria se lleva a cabo principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera, el tubo Venturi, el tubo Pitot y el tubo Annubar.

#### 4.2.1 Instrumentos de Medición de Caudal.

Los elementos de presión diferencial se basan en la diferencia de presiones provocada por un estrechamiento en la tubería por donde circula el Fluido (líquido, gas o vapor). La presión diferencial provocada por el estrechamiento (Ver Figura 14) es captada por dos tomas de presión situadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del mismo, o bien a una corta distancia. Su valor es mayor que la pérdida de carga real que debe compensar el sistema de bombeo del Fluido.

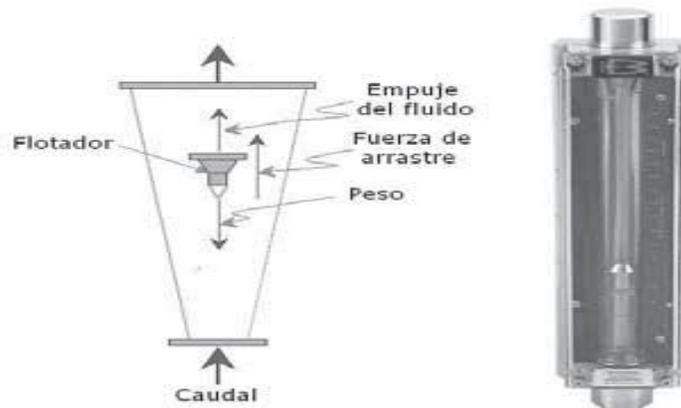
**Figura 14.** Presión diferencial creada por la placa orificio.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Área variable (rotámetros):** Los elementos de área variable se caracterizan por el cambio de área que se produce entre el elemento primario en movimiento y el cuerpo del medidor (Ver Figura 15). Pueden asimilarse a una placa-orificio cuyo diámetro interior fuera variable dependiendo del caudal y de la fuerza de arrastre producida por el fluido.

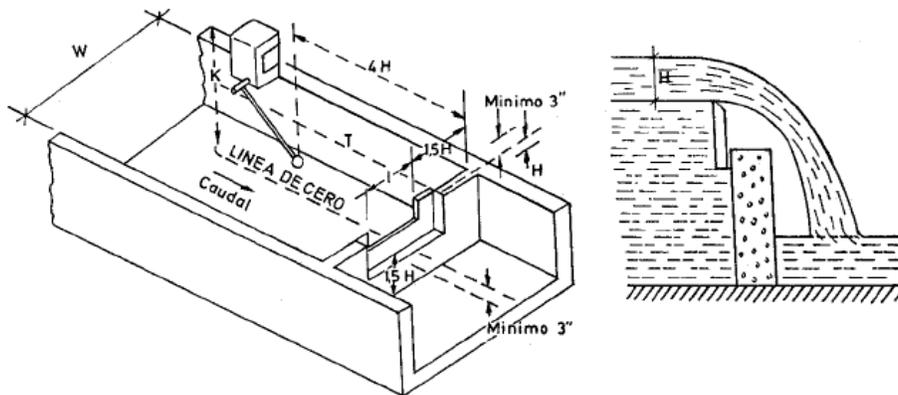
**Figura 15.** Rotámetro elemento de área variable.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

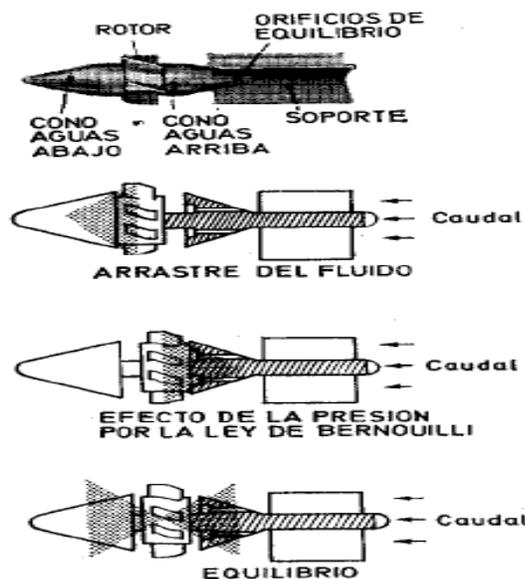
**Velocidad:** En la medición del caudal en canales abiertos se utilizan vertederos (Ver Figura 16) de formas variadas que provocan una diferencia de alturas del líquido en el canal, entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo, en algunos casos se utilizan medidores de turbina (Ver Figura 17) consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal, en la actualidad están en auge los transductores de ultrasonidos (Ver Figura 18) se basan en el fenómeno "ultrasonico" caracterizado porque las pequeñas perturbaciones de presión en el seno de un fluido se propagan a la velocidad del sonido correspondiente al fluido y si además, el fluido posee también velocidad, entonces la velocidad absoluta de la propagación de la perturbación de presión es la suma algebraica de ambas.

**Figura 16.** Medición del caudal tipo vertedero.



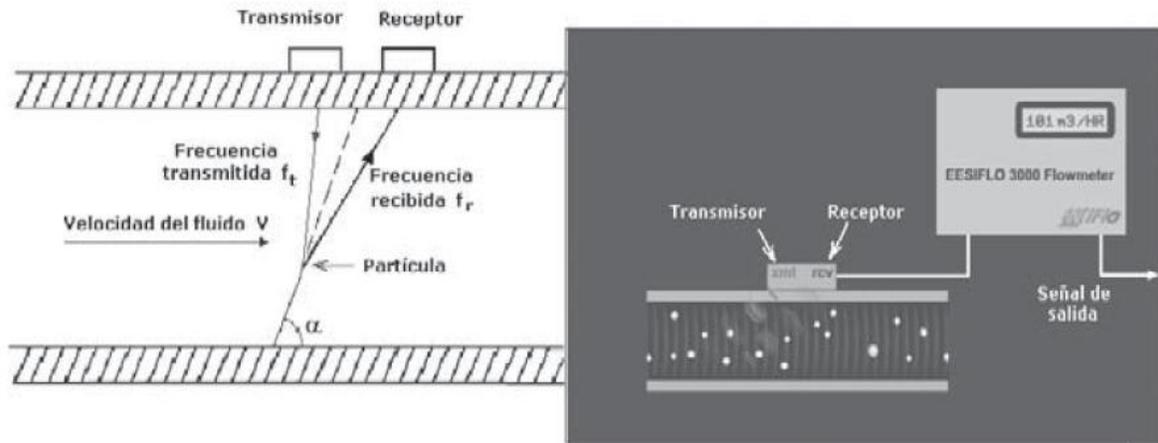
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Figura 17.** Medición del caudal tipo turbina.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Figura 18.** Transductores de ultrasonidos para medición de caudal.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Fuerza (medidor de placa):** El medidor de placa (Ver Figura 19) consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje o fuerza de impacto del fluido. La fuerza originada es proporcional a la energía cinética del fluido y depende del área anular entre las paredes de la tubería y la placa. Corresponde a la siguiente ecuación:

$$F = \frac{v^2}{2g} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A$$

En la que:

$F$  = fuerza total en la placa

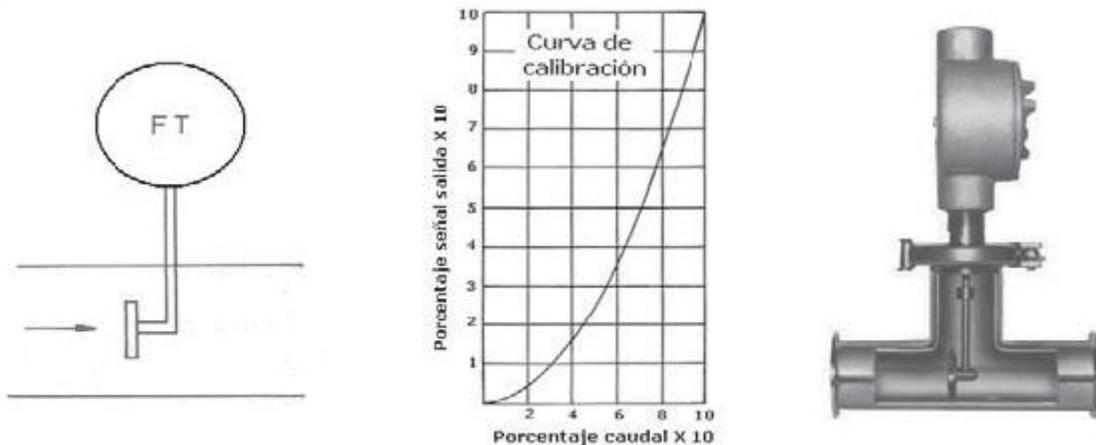
$v$  = velocidad del fluido

$\rho$  = densidad del fluido

$C_d$  = constante experimental (coeficiente de rozamiento del disco)

$A$  = área de la placa

**Figura 19.** Medidor de placa.



Fuente: (Aliant, 2010).

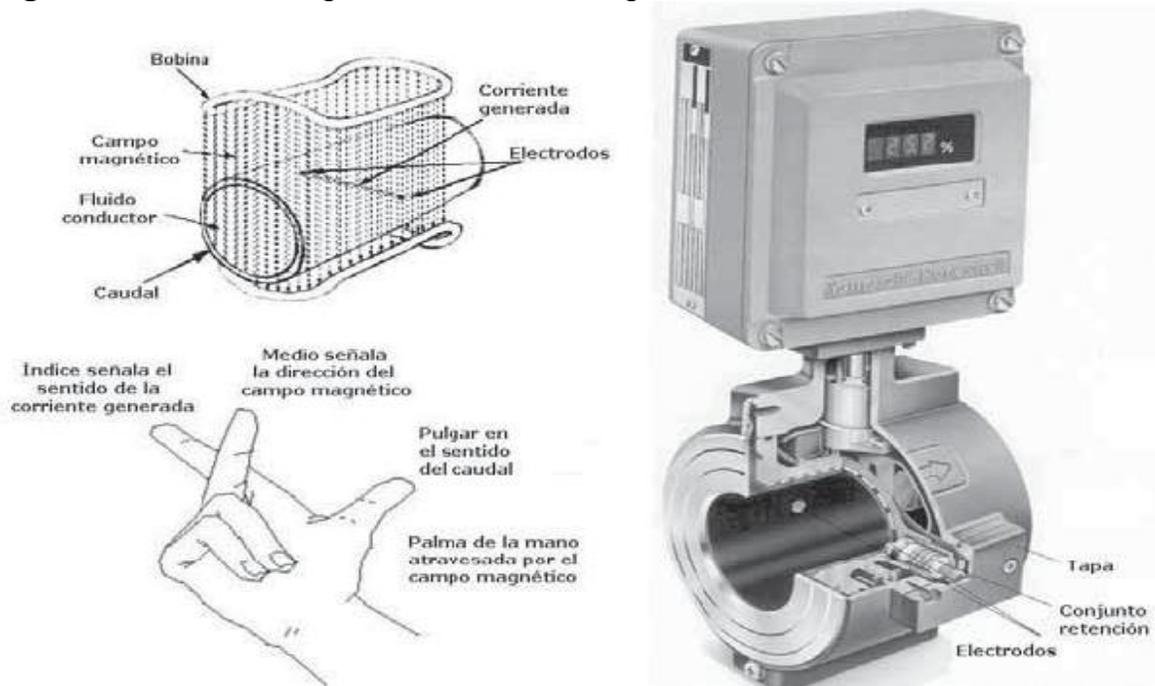
**Tensión inducida (medidor magnético):** La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La regla de la mano derecha nos indica que colocando la mano derecha abierta, con la palma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y los dedos en el sentido de la corriente del fluido, el pulgar señala el sentido de la corriente inducida.

Faraday intentó aplicar esta teoría en la medición de la velocidad del río Támesis en 1832. Suponía que el agua del río circulaba perpendicularmente al campo magnético de la Tierra y que el agua era un conductor relativamente bueno. Sumergió una probeta en el agua y esperaba obtener una señal que variara directamente con la velocidad.

No tuvo éxito debido a que no disponía de indicadores sensibles y a que el campo magnético de la Tierra es bajo. No obstante, su teoría fue aceptada. Los holandeses fueron los primeros en el mundo que adaptaron este principio. En 1950 practicaron el bombeo de grandes cantidades de agua de una zona a otra en las tierras bajas de Holanda. Era importante tener una indicación del caudal para supervisar los caudales manejados.

En 1950, cuando se desarrollaron ampliamente las técnicas más avanzadas de corriente alterna, se diseñaron amplificadores más fiables y económicos y, sólo entonces, pasó a utilizarse el medidor magnético de caudal (Ver Figura 20) en una gran variedad de aplicaciones industriales.

**Figura 20.** Medidor magnético de caudal magnético.



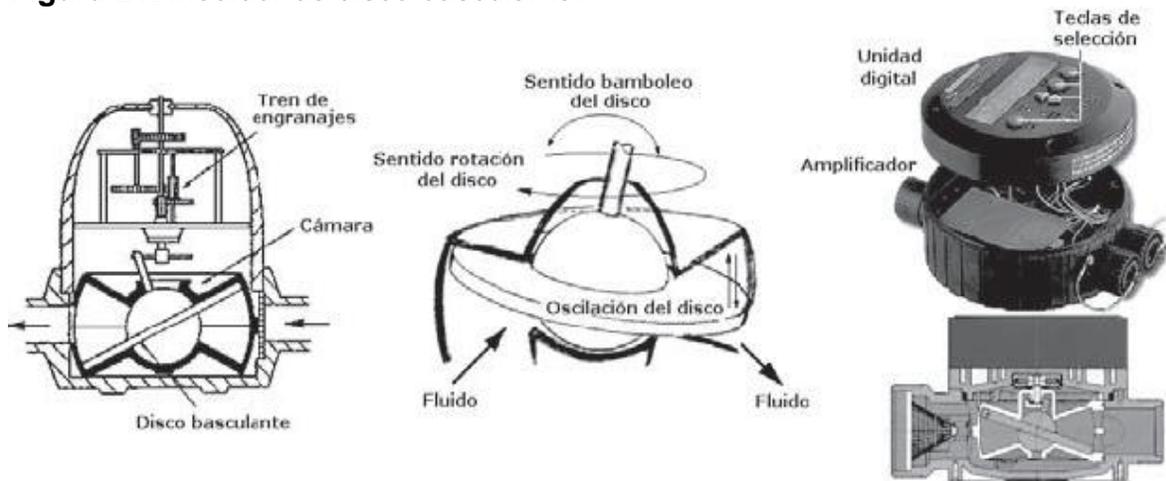
Fuente: (Honeywell, 2010)

**Desplazamiento positivo:** Los medidores de desplazamiento positivo miden el caudal, en volumen, contando o integrando volúmenes separados del líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido y dan lugar a una pérdida de carga. La exactitud depende de los huelgos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento.

**Medidor de disco basculante:** El instrumento dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de una ranura en la que está intercalada una placa fija. Esta placa separa la entrada de la salida e impide el giro del disco durante el paso del fluido. La cara baja del disco está siempre en contacto con la parte inferior de la cámara en el lado opuesto, de modo que la cámara queda dividida en compartimientos móviles separados de volumen conocido.

Cuando pasa el fluido, el disco toma un movimiento parecido al de un trompo caído, de modo que cada punto de su circunferencia exterior sube y baja alternativamente, estableciendo contacto con las paredes de la cámara desde su parte inferior a la superior. Este movimiento de bamboleo se transmite mediante una bola y el eje del disco a un tren de engranajes (Ver Figura 21).

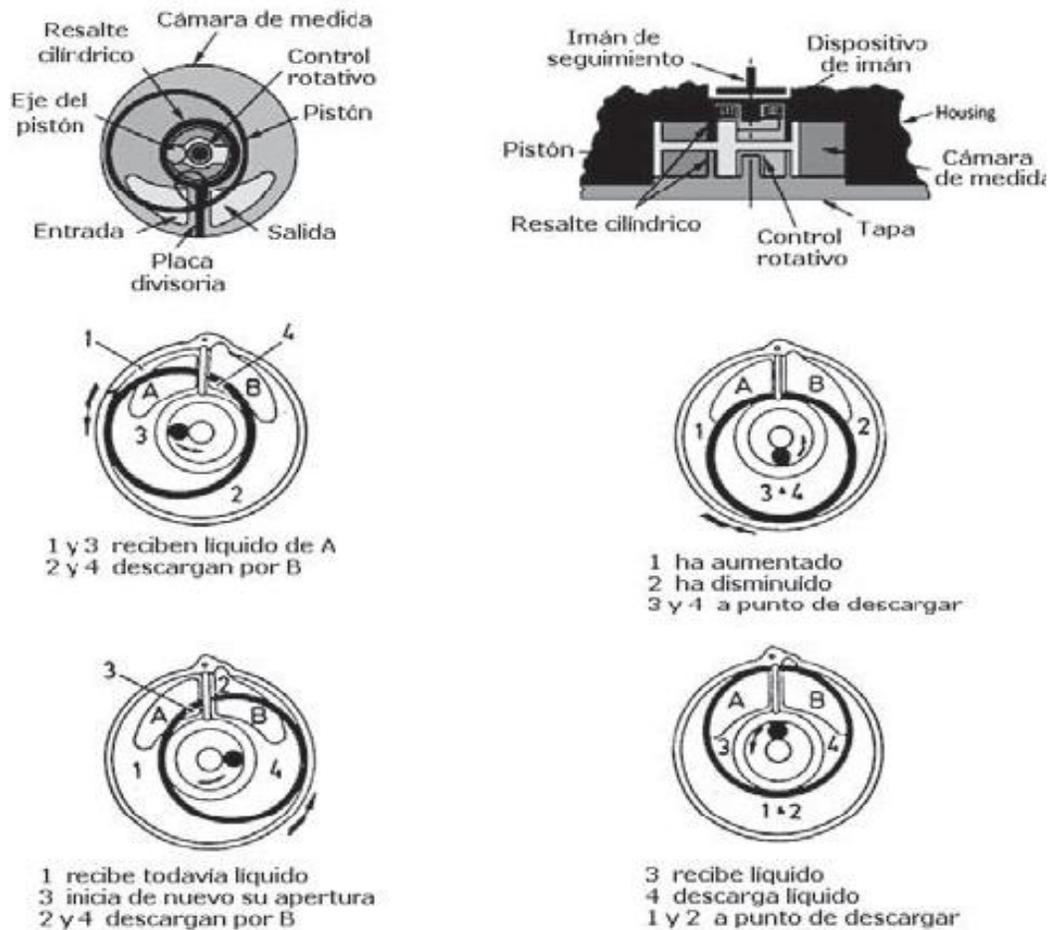
**Figura 21.** Medidor de disco basculante.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Medidor de pistón oscilante:** El instrumento (Ver Figura 22) se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisora que separa los orificios de entrada y de salida. La única parte móvil es un pistón cilíndrico que oscila suavemente, en un movimiento circular, entre las dos caras planas de la cámara, y que está provisto de una ranura que se desliza en la placa divisora fija y que hace de guía del movimiento oscilante. El eje del pistón, al girar, transmite su movimiento a un tren de engranajes y a un contador. El par disponible es elevado de modo que el instrumento puede accionar los accesorios mecánicos que sean necesarios y transmitir mediante un transmisor de impulsos.

**Figura 22.** Medidor de pistón oscilante.

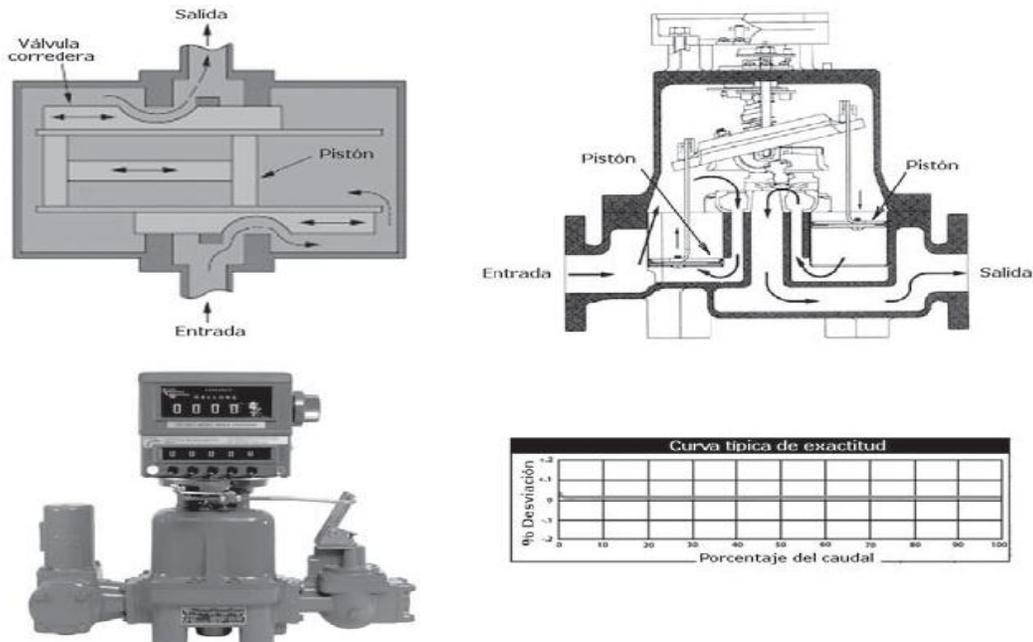


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Medidor de pistón alternativo:** El medidor de pistón convencional (Ver Figura 23) es el más antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. El instrumento se fabrica en muchas formas: de varios pistones, pistones de doble acción, válvulas rotativas, válvulas deslizantes, horizontales. Estos instrumentos se han empleado mucho en la industria petroquímica y pueden alcanzar una precisión del  $\pm 0,2\%$ .

Su capacidad es pequeña comparada con los tamaños de otros medidores. Su costo inicial es alto, dan una pérdida de carga alta y son difíciles de reparar.

**Figura 23.** Medidor de pistón alternativo.

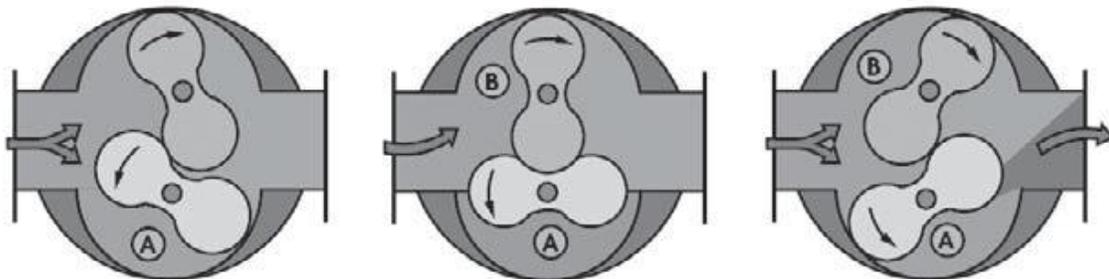


Fuente: (Total Control System, 2010).

**Medidor rotativo:** Este tipo de instrumento tiene válvulas rotativas que giran excéntricamente rozando con las paredes de una cámara circular y transportan el líquido, en forma incremental, de la entrada a la salida. Se emplean mucho en la industria petroquímica para la medida de crudos y de gasolina, con intervalos de medida que van de unos pocos l/min de líquidos limpios de baja viscosidad hasta 64.000 l/min de crudos viscosos.

Hay varios tipos de medidores rotativos, siendo los cicloidales (Ver Figura 24), los de dos rotores (birrotor) y los ovales los más empleados.

**Figura 24.** Medidor rotativo cicloidal - lóbulos Root.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Medidores de caudal de masa:** Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones

de servicio, en ocasiones interesa medir el caudal masa, sea inferencial mente por compensación de la presión, la temperatura o la densidad, o bien aprovechando características medibles de la masa con sistemas básicos de medida directa, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de Coriolis.

**Tabla 4:** Medidores volumétricos de caudal más utilizados.

Sistema	Elemento
Térmico	Diferencia temperaturas en dos sondas.
Momento	Medidor Axial
	Medidor axial de doble turbina
Fuerza de Coriolis	Tubo en Vibración.

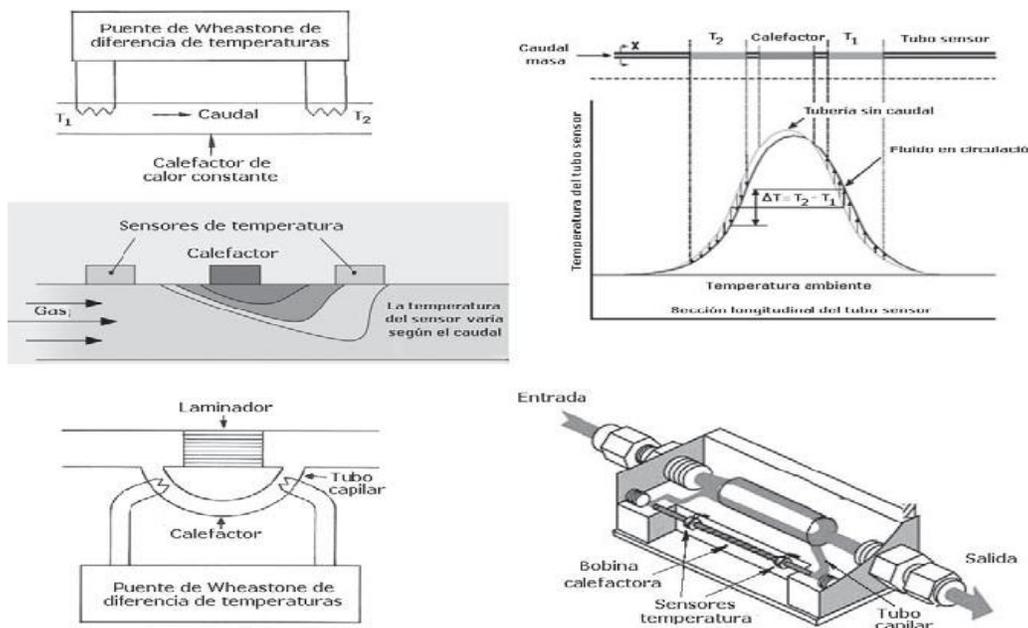
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.2.2 Medidores Térmicos de Caudal:

Miden el caudal masa directamente y se basan en la elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente (Ver Figura 25). El primer instrumento de esta clase fue proyectado por Thomas en 1911 para medir el caudal masa de gas en una tobera. Por este motivo, estos aparatos reciben también el nombre de medidores de caudal Thomas.

Consisten en una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el que circula el fluido. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura.

**Figura 25.** Medidor térmico de caudal.



Fuente: (Shell Research, Amsterdam, The Netherlands, 2010).

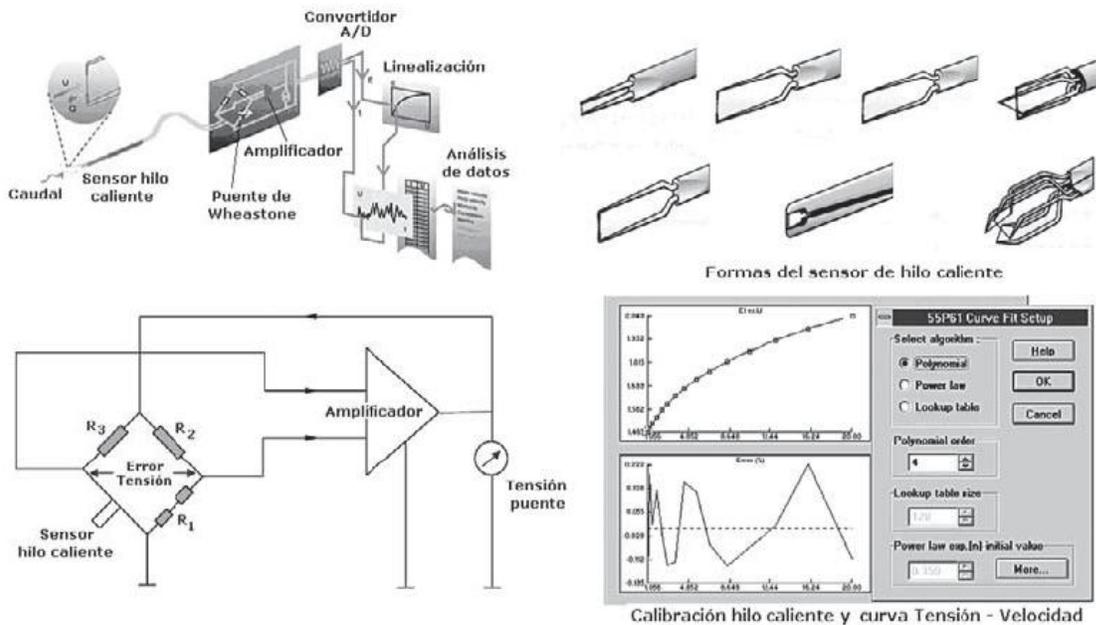
**Anemómetro de hilo caliente:** Consiste en un conductor de hilo delgado (0,004 mm de diámetro y 1,27 mm de largo) o bien una película delgada, soportado en sus extremos y calentado por una corriente eléctrica. El hilo suele ser de tungsteno, material rígido de alto coeficiente de temperatura de resistencia. El sensor está dispuesto en una tubería por la que circula el gas, con lo que se enfría y la tasa de enfriamiento es proporcional al caudal de masa. Se utilizan para velocidades de 15 a 3.600 m/minuto y en fluidos con turbulencias.

Los anemómetros de hilo caliente (Ver Figura 26) se caracterizan por una buena respuesta de alta frecuencia, un bajo ruido electrónico y son inmunes a la rotura del sensor cuando el gas deja de circular súbitamente.

Tienen las desventajas de su inestabilidad, deriva y alto ruido que enmascaran la medida de fluidos de baja velocidad.

Se utilizan para medir perfiles de velocidades y en investigación de turbulencias. Su fragilidad y su susceptibilidad a los errores causados por la suciedad no los hacen adecuados para el entorno industrial. Pero en entornos limpios y en medidas esporádicas de caudal son perfectamente utilizables para medir la velocidad y lógicamente el caudal (velocidad  $\times$  sección tubería).

**Figura 26.** Anemómetro de hilo caliente de temperatura constante.



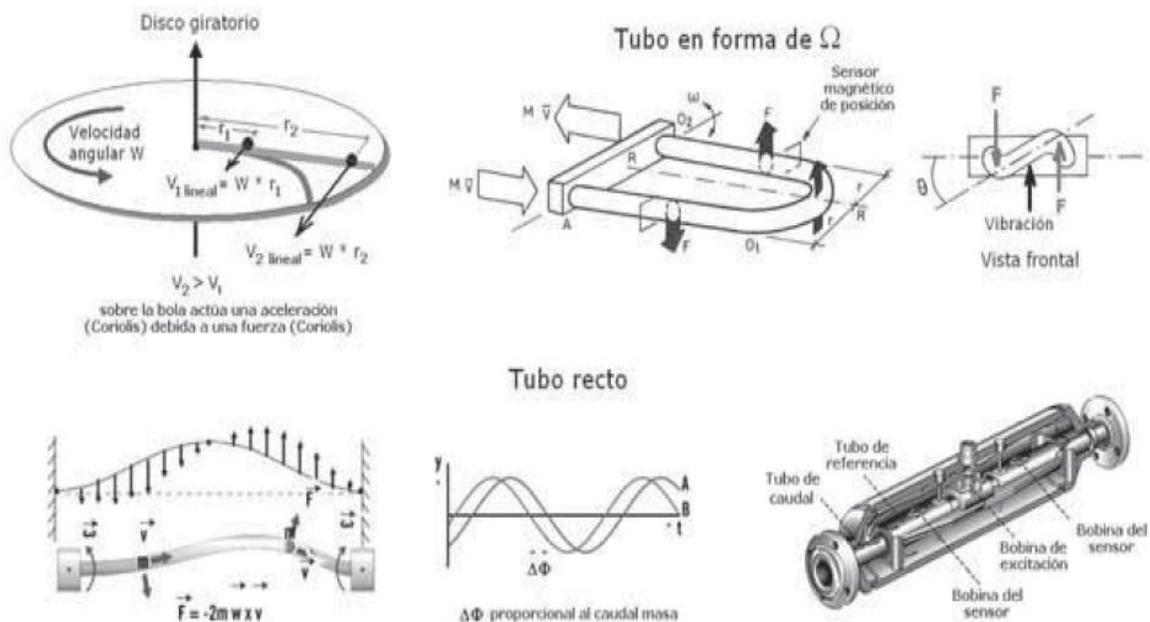
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.2.3 Medidor de Coriolis:

El medidor de Coriolis (Ver Figura 27) se basa en el teorema de Coriolis, matemático francés (1795-1843) que observó que un objeto de masa  $m$  que se desplaza con una velocidad lineal  $V$  a través de una superficie giratoria, que gira con velocidad

angular constante  $\omega$ , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular  $\times$  radio de giro) tanto mayor cuanto mayor es su alejamiento del centro. Si el móvil se desplaza del centro hacia la periferia experimentará un aumento gradual de su velocidad tangencial, lo cual indica que se le está aplicando una aceleración y, por lo tanto, una fuerza sobre su masa. Como el radio de giro va aumentando gradualmente, la velocidad tangencial también varía, con lo que se concluye que una variación de velocidad comporta una aceleración que, a su vez, es debida a una fuerza que actúa sobre la bola. Estas son, respectivamente, la aceleración y la fuerza de Coriolis. La fuerza de Coriolis es, pues, una manifestación de la inercia del objeto según la primera ley del movimiento de Newton. Además, también es válida la segunda ley de Newton (Fuerza = Masa  $\times$  Aceleración), lo que permite, al hacer circular el fluido por un tubo especial provisto de un mecanismo de vibración y de sensores de la fuerza desarrollada, determinar el caudal masa del fluido.

**Figura 27.** Medidor de Coriolis.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

### 4.3. Variable Nivel.

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitudes en la lectura altas, del orden del  $\pm 0,2\%$ , en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso.

El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en rotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

#### 4.3.1 Medidores de Nivel de Líquidos.

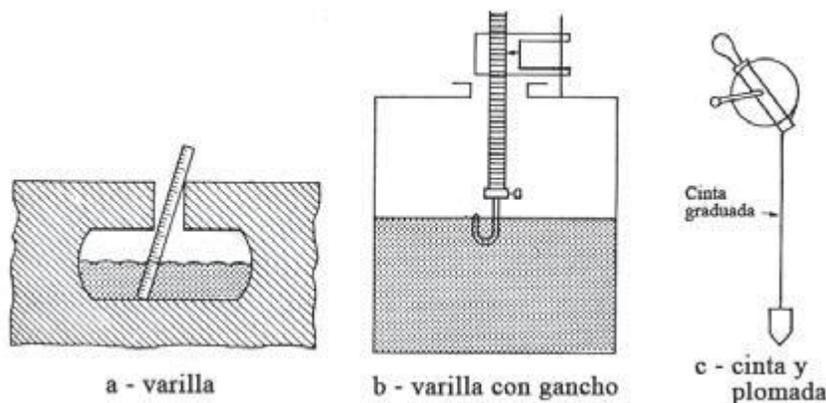
Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servo operado y magnetoestrictivo.

#### 4.3.2 Instrumentos de Medida Directa.

El medidor de sonda (Ver Figura 28.a) consiste en una varilla o regla graduada de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza, generalmente, en tanques de fuel-oíl o gasolina.

**Figura 28.** Instrumentos de medida directa a) sonda, b) gancho, c) Plomada.



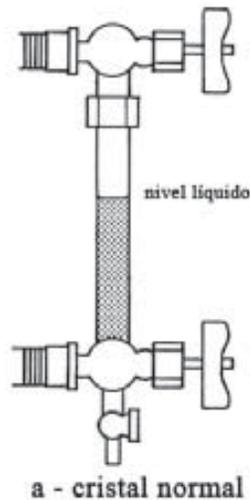
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

Otro medidor consiste en una varilla graduada con un gancho que se sumerge en el seno del líquido y se levanta después hasta que el gancho rompe la superficie del líquido (Ver Figura 28.b), la distancia desde esta superficie hasta la parte superior del tanque representa indirectamente el nivel. Se emplea en tanques de agua a presión atmosférica. Otro sistema parecido es el medidor de cinta graduada y

plomada, representado en la (Ver Figura 28.c) que se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque.

**El nivel de cristal:** Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque, generalmente, mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido, en caso de rotura del cristal, y una de purga (Ver Figura 29.a).

**Figura 29.** Medidor de nivel en cristal, a.

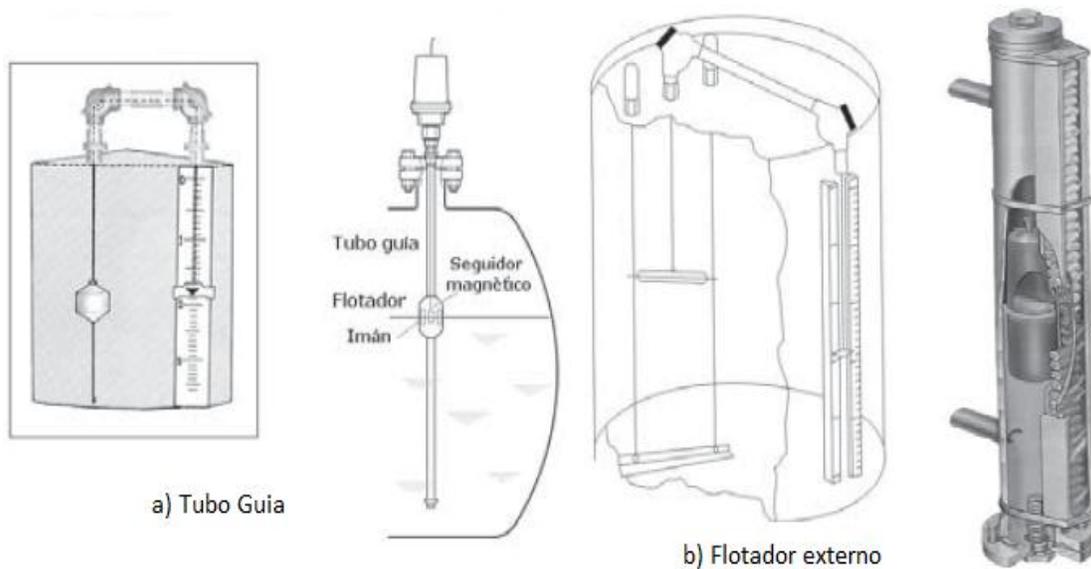


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**El indicador de nivel magnético:** se basa en el seguimiento magnético de un flotador que desliza por un tubo guía y que contiene un potente electroimán. Hay dos modelos básicos:

1. Flotador tubo guía situados verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética sigue al flotador en su movimiento y mediante un cable y un juego de poleas arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque. El instrumento puede, además, incorporar un transmisor neumático, electrónico o digital. Su repetitividad es de  $\pm 0,01$  o  $0,4$  mm. (Ver Figura 30.a).
2. Flotador que desliza a lo largo de un tubo guía sellado acoplado externamente al tanque. El flotador contiene un potente imán y, en la parte externa, hay un tubo de vidrio no poroso herméticamente sellado, dotado de un indicador fluorescente o de pequeñas cintas magnéticas que siguen el campo magnético del flotador. (Ver Figura 30.b).

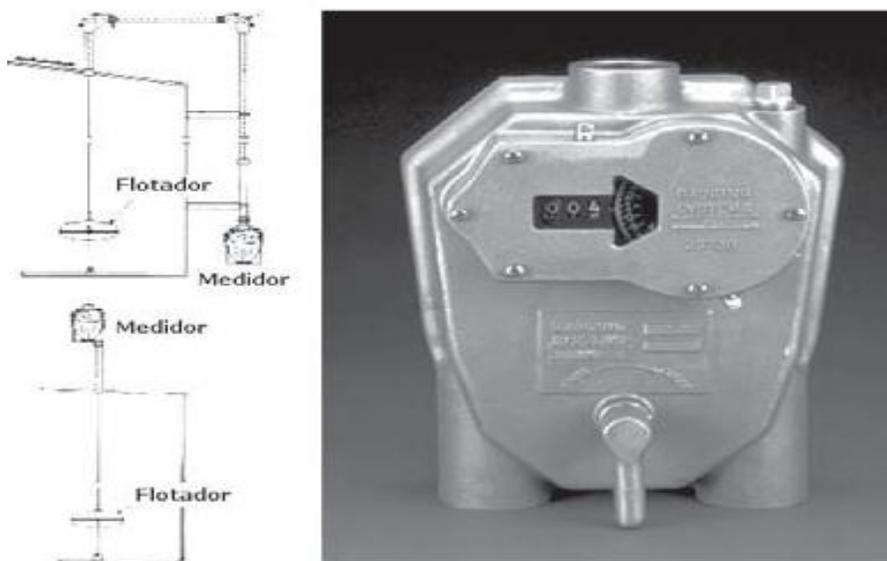
**Figura 30.** Instrumentos de nivel de flotador (a) directo y b) magnético).



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Los medidores por palpador servo operado:** (Ver Figura 31) disponen de un elemento de medida que consiste en un disco de desplazamiento suspendido por una cinta perforada (o un cable) de acero inoxidable que está acoplada a un tambor ranurado, el cual almacena o dispensa la cinta. El tambor está conducido por un servomotor controlado y montado en unos cojinetes de precisión. Cuando el nivel del producto sube o baja, el desplazador es subido o bajado automáticamente manteniendo el contacto con la superficie del producto.

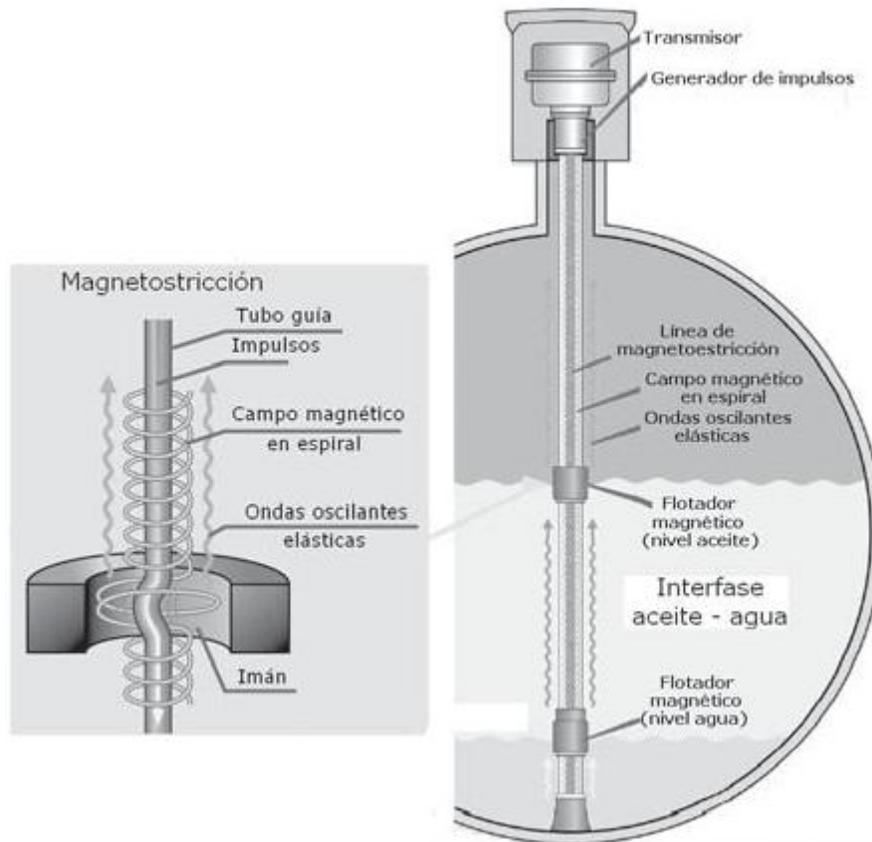
**Figura 31.** Medidor de nivel por palpador servo operado.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**El medidor de nivel magnoestriectivo:** utiliza un flotador cuya posición, que indica el nivel, se determina por el fenómeno de la magneto-estricción. Para detectar la posición del flotador, el transmisor envía un impulso alto de corriente de corta duración (impulso de interrogación) hacia abajo al tubo de guía de ondas, con lo que crea un campo magnético tubular que interacciona inmediatamente con el campo magnético generado por los imanes del flotador. (Ver Figura 32).

**Figura 32.** Medidor de nivel magnetoestriectivo.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.3.3 Instrumentos Basados en Presión Hidrostática:

El medidor manométrico (Ver Figura 33) consiste en un sensor de presión piezo-resistivo suspendido de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido. El sensor con\_ene un puente de Wheastone y, bajo la presión del líquido, el sensor se flexa y la tensión que crea es captado por las galgas extensiométricos, dando lugar a un desequilibrio del puente y a una señal de salida proporcional a la presión aplicada, es decir, al nivel. El sensor está contenido en una caja protectora con un diafragma flexible y relleno de aceite de silicona lo que le da una gran robustez. Puede estar acoplado a un transmisor electrónico o digital de 4-20 mA c.c. y comunicaciones HART, Fielbus, etc. Su exactitud es de,  $\pm 0,25\%$ .

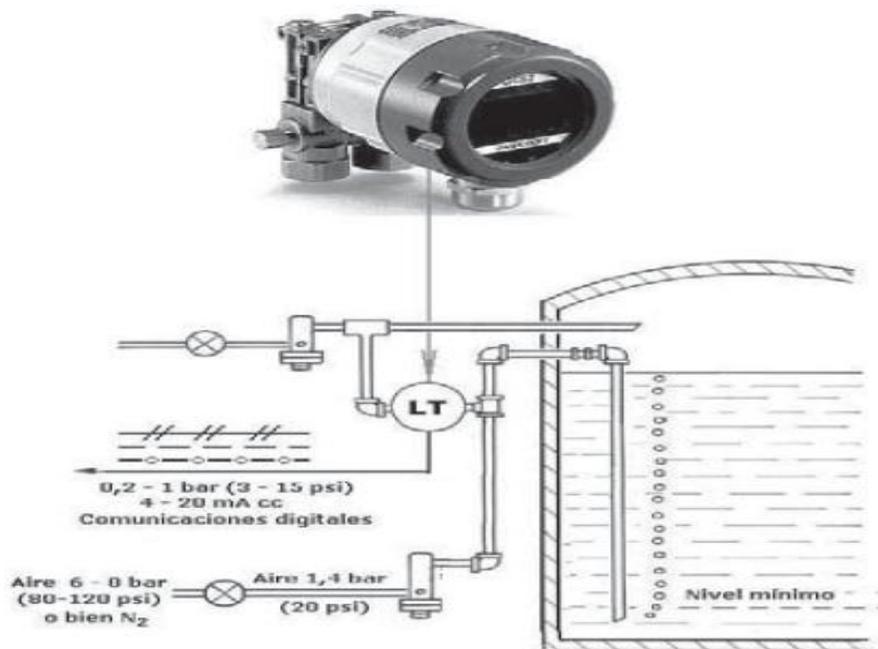
**Figura 33.** Medidor manométrico.



Fuente: (ABB, 2010).

**El medidor de tipo burbujeo:** Emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado (Ver Figura 34). La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido, es decir, al nivel. El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante (unos 150 l/h) a través del líquido, independientemente del nivel. La tubería empleada suele ser de 1/2" con el extremo biselado para una fácil formación de las burbujas de aire. Una tubería de menor diámetro tipo capilar reduciría el tiempo de respuesta pero, en el caso de tanques pequeños y cambios de nivel rápidos, produciría un error en la medida provocado por la pérdida de carga del tubo.

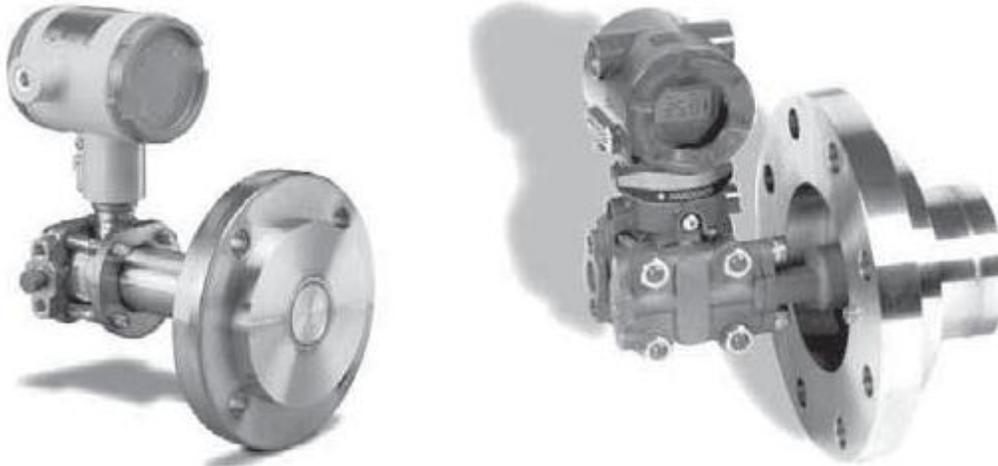
**Figura 34.** Medidor de tipo burbujeo.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**El medidor de presión diferencial:** consiste en un diafragma en contacto con el líquido que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto, esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico (Ver Figura 35).

**Figura 35.** Medidor de presión diferencial

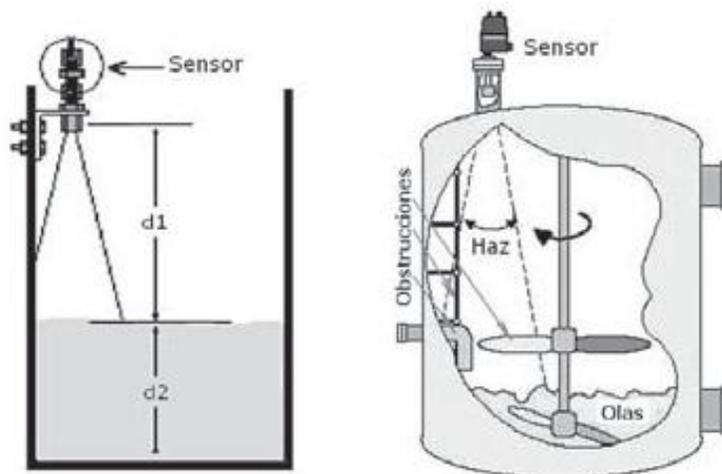


Fuente: (Honeywell y Yokogawa, 2010).

#### 4.3.4 Medidor de Nivel Por Ultrasonidos:

El sistema ultrasónico de medición de nivel (Ver Figura 36) se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

**Figura 36.** Transductor ultrasónico de nivel.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.4. VARIABLE PRESIÓN.

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14, que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, y según la recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal.

En la industria los tipos de presión que comúnmente se trabajan son:  
Presión absoluta: que se mide con relación al cero absoluto de presión.

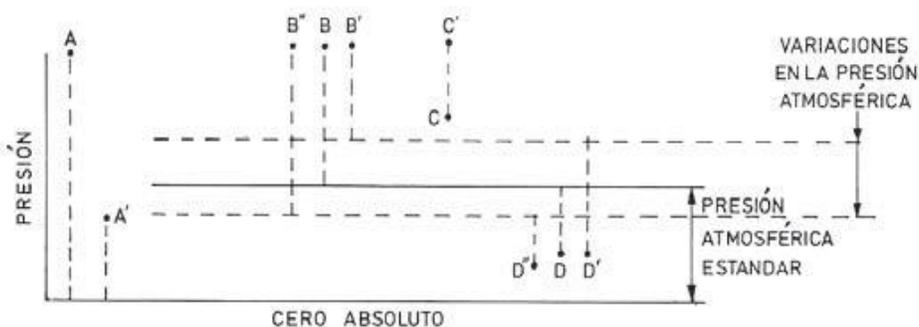
Presión atmosférica: Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas) o bien 1,01325 bar o 1,03322 Kg/cm<sup>2</sup> y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

Presión relativa: que es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se realiza la medición (punto B de la Figura 37). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B' y B''), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

Presión diferencial: es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'.

Vacío: es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D''). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

**Figura 37.** Clases de presión atmosférica.



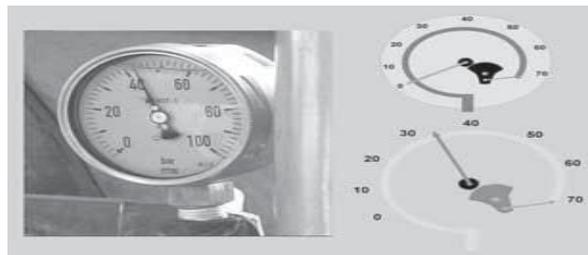
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.4.1 Elementos Utilizados Para la Medida de Presión:

Podemos dividirlos en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana) y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contienen.

**El tubo de Bourdon:** (Ver Figura 38) Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.

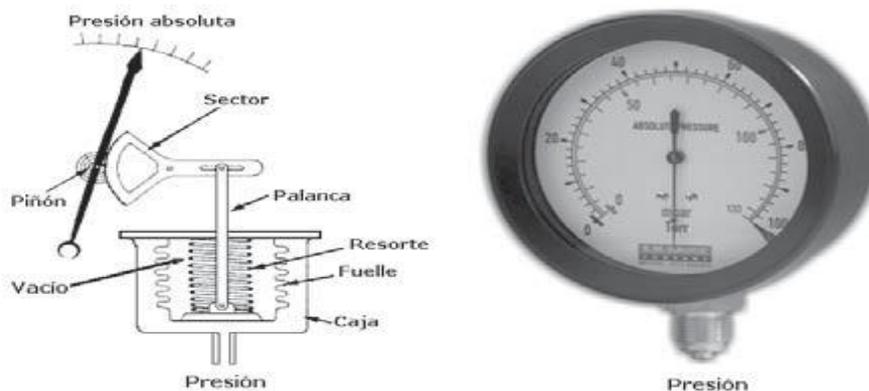
**Figura 38.** Tubo Bourdon.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Los elementos primarios de presión absoluta:** (Ver Figura 39) Consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido. El material empleado para los fuelles es latón o acero inoxidable. Se utilizan para la medida exacta y el control preciso de bajas presiones, a las que puedan afectar las variaciones en la presión atmosférica.

**Figura 39.** Manómetro de presión absoluta.



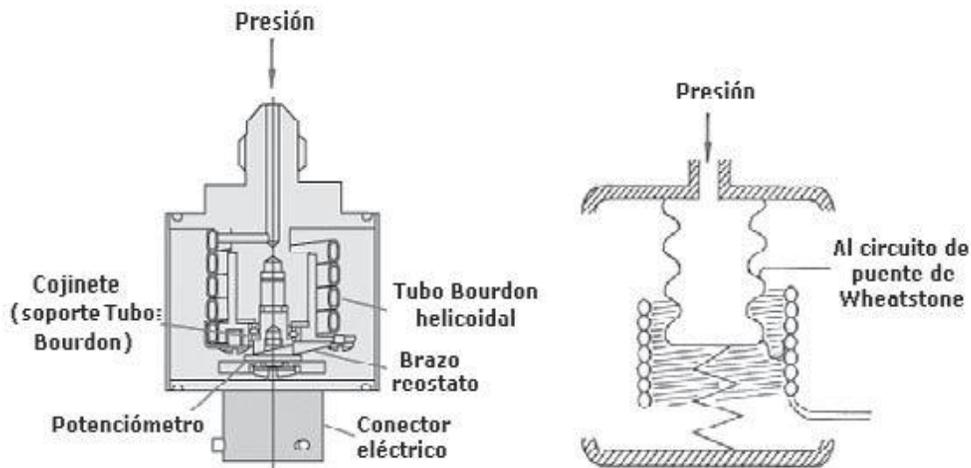
Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Elementos electromecánicos:** Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico combinado con un transductor eléctrico, que genera la correspondiente señal eléctrica. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

**Los elementos resistivos:** (Ver Figura 40) están constituidos de un elemento elástico (tipo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un sólo hilo continuo, o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia.

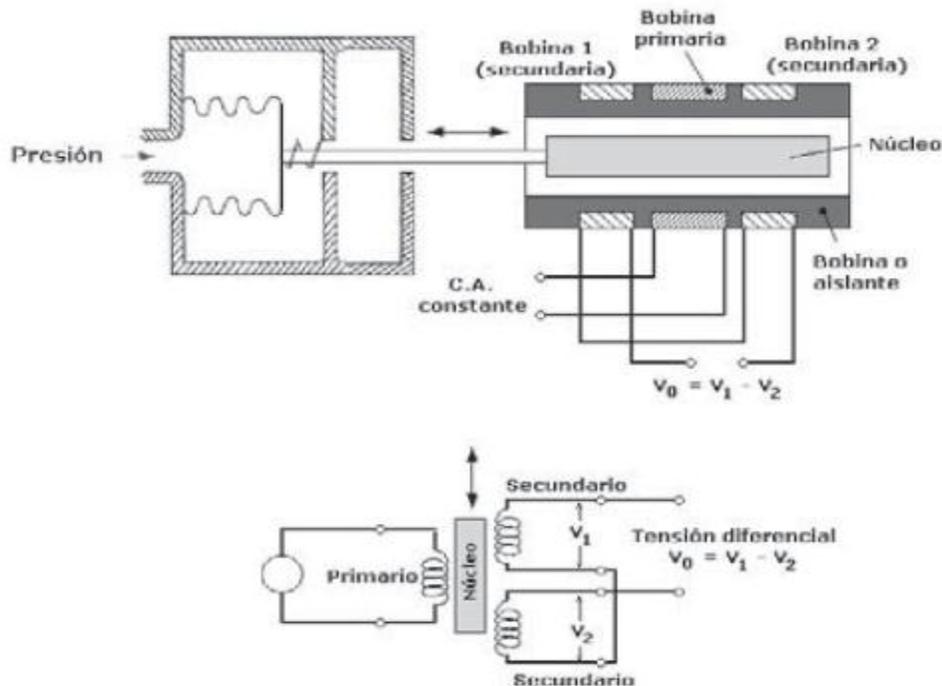
**Figura 40.** Elementos resistivos (tipo Bourdon o cápsula).



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Los elementos de inductancia variable:** (Ver Figura 41) utilizan el transformador diferencial variable lineal (LVDT = Linear Variable Diferencial Transformer) que proporciona una señal en c.a. proporcional al movimiento de una armadura de material magnético situada dentro de un imán permanente o una bobina que crea un campo magnético. Al cambiar la posición de la armadura, por un cambio en la presión del proceso, varía el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.

**Figura 41.** Transductor de inductancia variable (LVDT).

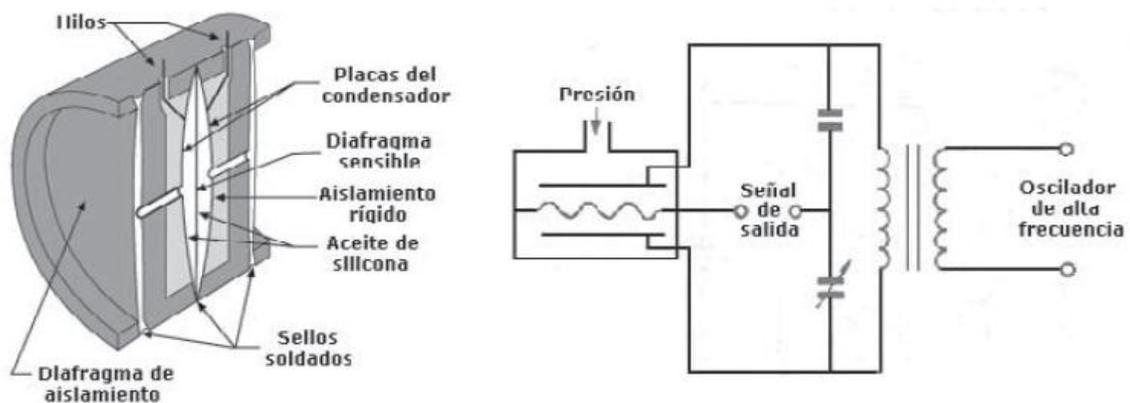


Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Los elementos capacitivos:** (Ver Figura 42) se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas.

De este modo, se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

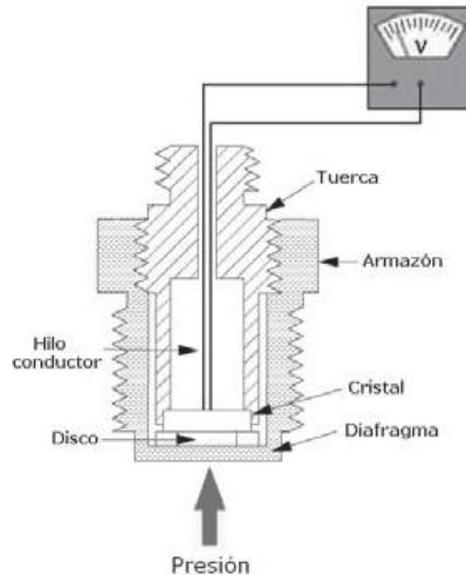
**Figura 42.** Transductor capacitivo.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

**Los elementos piezoeléctricos:** (Ver Figura 43) son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan un potencial eléctrico. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150 °C en servicio continuo y de 230 °C en servicio intermitente.

**Figura 43.** Elemento piezoeléctrico.



Fuente: (Instrumentación y control- 8 Edición, 2010).

#### 4.5. Sistemas SCADA.

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Adquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o 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.

Por lo anterior no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad de software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interfaces entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior.

Cabe resaltar que la topología de un sistema SCADA (su distribución física) variará de acuerdo a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionaran bien en configuración en bus, otros en configuración de anillo, unos necesitaran equipos redundantes debido a las características del proceso, etc.

#### 4.5.1 Objetivos de los Sistemas SCADA:

Los sistemas SCADA se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus objetivos podemos destacar:

**Economía:** Es más fácil ver que ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea.

**Accesibilidad:** si tenemos un parque eólico como el de la figura 44 (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Sera posible modificar los parámetros de funcionamiento de cada auto-generador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías.

**Figura 44.** Parque eólico.



Fuente: ([www.energiaestrategica.com](http://www.energiaestrategica.com))

**Mantenimiento:** la adquisición de los datos materializa la posibilidad de obtener datos del proceso, almacenarlos y presentarlos de manera intangible para usuario no especializado.

**Ergonomía:** es la ciencia que procura hacer al relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible.

**Gestión:** todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, etc., que permitan explorar el sistema con el mejor rendimiento posible.

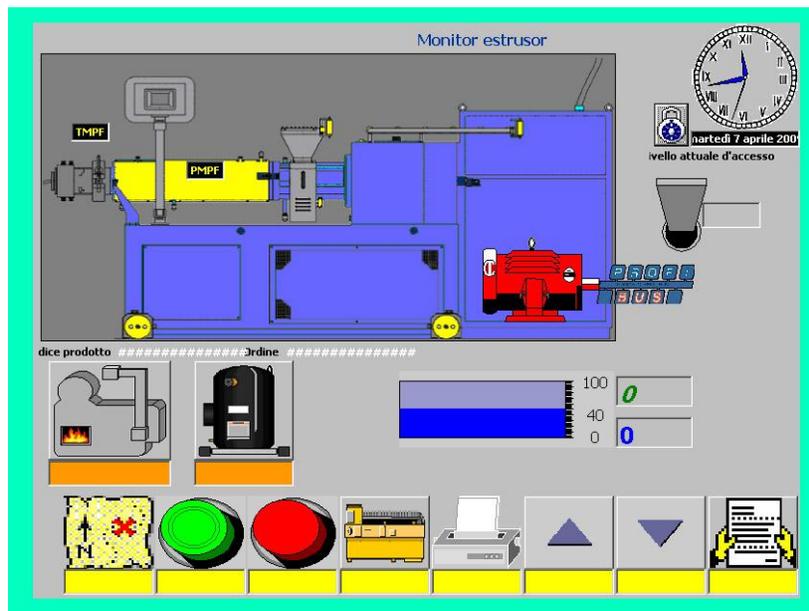
**Flexibilidad:** cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización (añadir el estado de un contador de piezas realizar algún calculo) no significa algún gasto de tiempo y medios ya que no hay modificaciones físicas que requieran instalación de cableado.

**Conectividad:** se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite a interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en La seguridad.

Todos los sistemas, de mayor o menor complejidad, orientados a lo anteriormente dicho, aparecen bajo uno de los nombres más habituales para definir esta relación:

**Prestaciones:** El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interfaces hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador. (Ver Figura 45).

**Figura 45.** Línea de extrusionado (realizado con WinCC. Siemens).



Fuente: (www.simatic.net).

Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

**La monitorización:** Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia.

**La supervisión:** Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas.

**La adquisición de datos de los procesos en observación:** Un sistema de captación solar se puede observar mediante herramientas registradoras y obtener así un valor medio de la irradiación en la zona, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso).

**La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos):** Reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.

**El mando:** Posibilidad de que Los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros). Se escriben datos sobre los elementos de control.

**Grabación de acciones o recetas:** En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando.

**Garantizar La seguridad de los datos:** Tanto él envió como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, etc.).

**Garantizar la seguridad en los accesos:** Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.

**Posibilidad de programación numérica:** Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).

#### **4.5.2 Ventajas de los Sistemas SCADA:**

Cuando hablamos de un sistema SCADA no hay que olvidar que hay algo más que las pantallas que nos informan de cómo van las cosas en nuestra instalación. Tras estas se encuentran multitud de elementos de regulación y control, sistemas de comunicaciones y múltiples utilidades de software que pretenden que el sistema funcione de forma eficiente y segura.

Las ventajas más evidentes de los sistemas de control automatizado y supervisado (SCADA) se pueden enumerar a continuación:

- El actual nivel de desarrollo de los paquetes de visualización permite la creación de aplicaciones funcionales sin necesidad de ser un experto en la materia.
- Un sistema PLC está concebido para trabajar en condiciones adversas, proporcionando robustez y fiabilidad al sistema que controla.
- La modularidad de los autómatas permite adaptarlos a las necesidades actuales y ampliarlos posteriormente si es necesario.
- Cualquier tipo de sensores y actuadores puede integrarse en un programa de PLC mediante las múltiples tarjetas de adquisición disponibles (tensión, comente, sondas de temperatura, etc.).
- Gracias a las herramientas de diagnóstico se consigue una localización más rápida de errores. Esto permite minimizar los periodos de paro en las instalaciones y repercute en la reducción de costes de mantenimiento.
- Un sistema de control remoto (RTU) puede definirse de manera que pueda funcionar de forma autónoma, aún sin comunicaciones con la estación maestra.
- El concepto de tele-mantenimiento permite realizar modificaciones de software en las estaciones remotas (RTU) desde el centro de control.
- Los programas de control pueden documentarse convenientemente de manera que puedan ser fácilmente interpretados por los técnicos de mantenimiento.

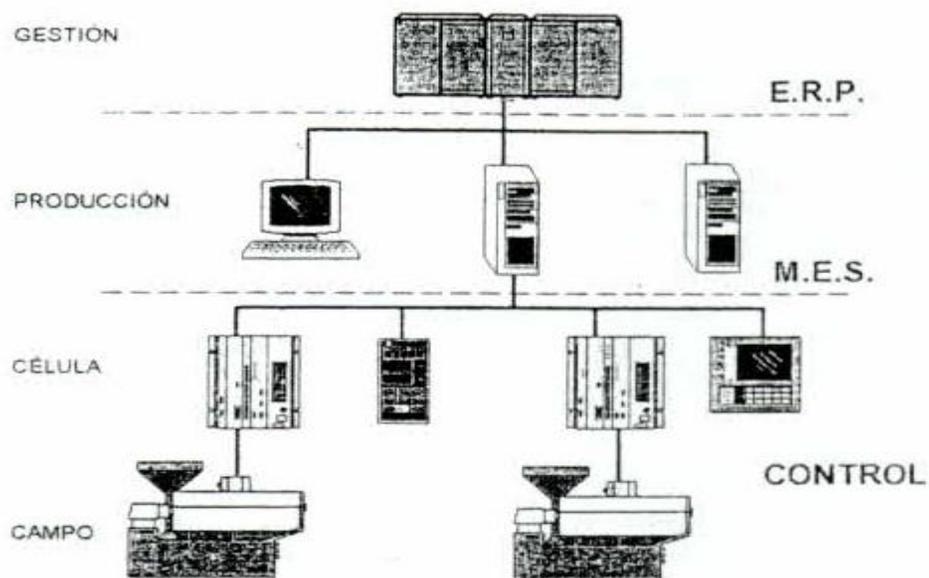
- Un conjunto de manuales de usuario y documentación técnica adecuados permitirán el manejo satisfactorio por terceras personas.
- Generación y distribución automática de documentación. El sistema de visualización puede recoger los datos del autómeta y presentarlos en formatos fácilmente exportables otras aplicaciones de uso común, tales como hojas de cálculo.
- La tecnología Web permite el acceso desde cualquier punto geográfico a nuestro sistema de control.
- Aumento de calidad del producto mediante las herramientas de diagnóstico. El operador es notificado en el momento en que se detecta una incidencia.

#### 4.5.3 El Entorno de los Sistemas SCADA:

La automatización de sistemas, desde el estado inicial de alistamiento productivo, ha pasado a formar parte del ámbito corporativo y se engloba dentro del paquete empresarial con la finalidad de optimizar la productividad y mejorarla calidad.

El esquema que representa los flujos de información dentro de la empresa y representa cómo se realiza la integración a todos los niveles es similar a la conocida pirámide de automatización (Ver Figura 46) CIM (Computer Integrated Manufacturing).

**Figura 46.** Principio de redundancia en la pirámide de automatización.



Fuente: (Sistemas SCADA- 2 edición, 2007).

Presenta la estructura corporativa dividida en tres niveles, que engloban las funciones principales que se desarrollan en cada uno de ellos:

ERP (Enterprise Resource Planning o Planificación de Recurso Empresariales engloba la parte de gestión: finanzas, compras, ventas, logística.

MES (Manufacturing Execution System o Gestión de la Producción): comprende la gestión de calidad, documentación, gestión de producción, mantenimiento y optimización.

CONTROL: engloba toda la parte de automatización y control de procesos.

#### **4.5.4 Enlace OPC:**

En un sistema de automatización hay múltiples elementos de control y monitorización, cada uno con su protocolo de comunicación específico (Modbus, AS-i, Ethernet, RS232, etc.) y con un sistema operativo propio tal como DOS, UNIX, Linux o Windows, con sus propias características.

Cada conexión significa un programa exclusivo dedicado al diálogo entre el elemento de control (p.ej. un PLC) y el elemento de monitorización (p.ej, un paquete de visualización).

Cada fabricante proporciona este programa controlador de comunicaciones o driver que comunica su producto con un equipo determinado. El acceso a los datos se hace de forma oscura, sin acceso por parte del usuario. Las interfaces se ocupan de convertir los datos del equipo en datos útiles para nuestro sistema de control o captación.

El problema implícito en este método es que, para cualquier ampliación o modificación del sistema, debemos dirigirnos al fabricante del equipo para que realice las modificaciones necesarias en el driver o desarrolle uno nuevo.

OPC (Ver Figura 47) nació con la idea de suprimir este problema creando un estándar orientado al modo de intercambio de datos, independientemente de la tecnología utilizada para hacerlo. Cualquiera que sea la fuente de los datos (un PLC, un regulador de temperatura, un piano) el formato de presentación y acceso a los datos será fijo. De esta manera permitirá intercambiar datos con cualquier equipo que cumpla el estándar OPC y permitirá una reducción de costes considerable, pues cada driver se deberá escribir una sola vez.

**Figura 47.** Logotipo inicial de OPC FOUNDATION.

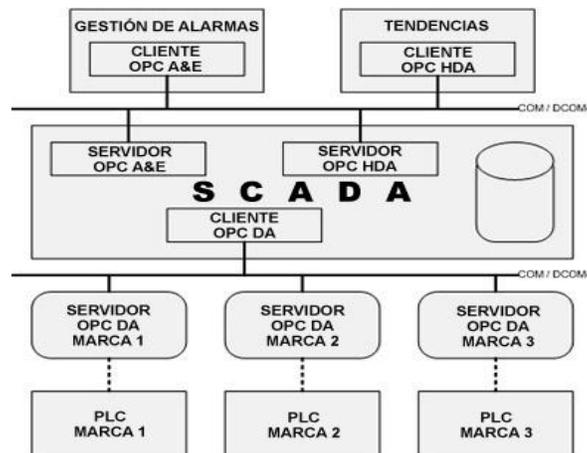


**Definición de OPC:** OPC son las siglas de Ole for Process Control (OLE para control de procesos) y es una tecnología diseñada para comunicar aplicaciones. Es un estándar para la interconexión de sistemas basados en el SO Windows y hardware de control de procesos.

La ISA (International Standards Association) hace el primer anuncio de OPC en 1995. Las especificaciones OPC se mantienen a través de la OPC Foundation. Actualmente, OPC Foundation agrupa a compañías de software, hardware y usuarios finales de todo el mundo.

Es un estándar abierto que permite un método fiable para acceder a los datos desde aparatos de campo. El método de acceso es el mismo sin depender del tipo y origen de los datos. De esta manera, los usuarios finales son libres de escoger el software y hardware que satisfaga sus requerimientos de producción sin preocuparse por la disponibilidad de software de control específico. OPC permite definir una interfaces estandarizadas que, mediante el desarrollo de aplicaciones del tipo Cliente-Servidor, hace posible la comunicación entre elementos que cumplan el estándar. (Ver Figura 48).

**Figura 48.** Estructura básica de un sistema basado en OPC.



Fuente. (es.slideshare.net).

## 5. VARIABLES EN LA ESTACIÓN MULTIVARIABLE DIDÁCTICA.

Cuando se inicia con el desarrollo del proyecto fue necesario verificar cuál era el estado de la estación Multivariable, empezamos por conocer las partes y componentes que la conforman.

Probamos y comprobamos por medio de un proceso de evaluación mediante equipos como generadores de señal y multímetros marca FLUKE (Ver Figura 49) para verificar cual era el estado de los trasmisores, válvulas, tuberías, bombas, controlador, el PLC, redes eléctricas, componentes eléctricos, relés, los variadores, etc.

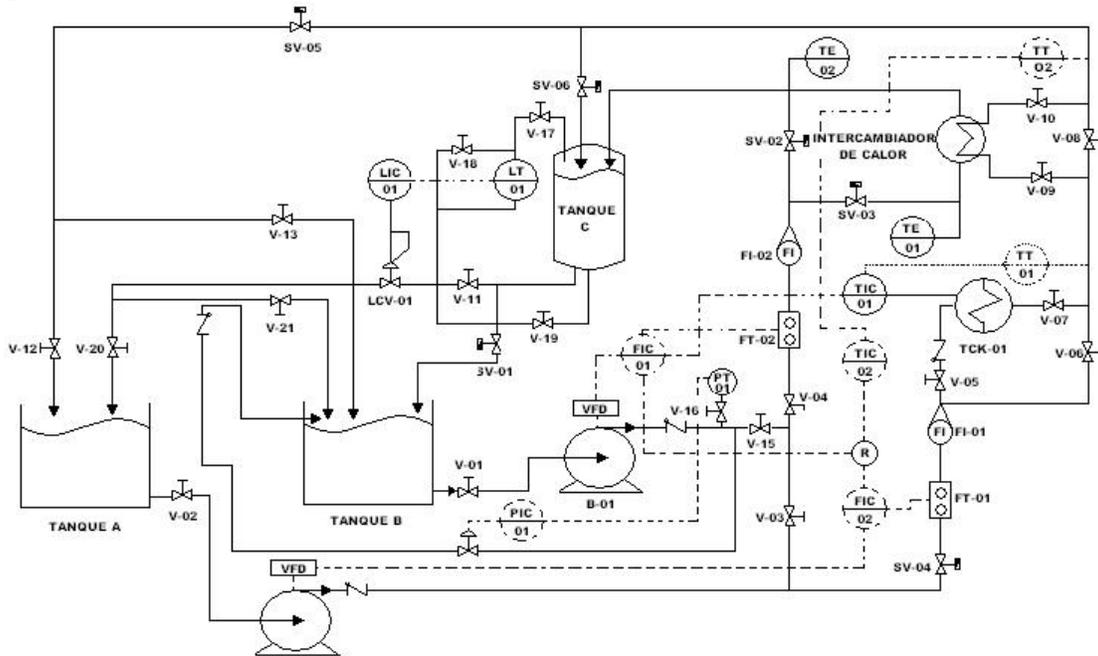
**Figura 49.** Generador de señal FLUKE 715.



Fuente. ([www.en-us.fluke.com](http://www.en-us.fluke.com)).

Hasta ese momento se encontró el esquema de la Figura 50, correspondiente al primer diagrama **P&ID** dibujado cuando se dio por finalizada la primera etapa de la Estación Multivariable.

**Figura 50.** P&ID Estación Multivariable.



Fuente. (Los Autores).

Partiendo del diagrama de la Figura 50 y siguiendo cada variable y que estas cuentan con su respectivo lazo de control y es necesario identificar cada elemento que lo interviene, por lo anterior a continuación se describe las principales características de los equipos utilizados en la Estación Multivariable.

### 5.1. Variadores de Velocidad.

La estación Multivariable cuenta con dos variadores de velocidad marca SIEMENS referencia MICROMASTER 420 (Ver Figura 51) y ALLEN BRADLEY referencia POWER FLEX 4 (Ver Figura 52).

**Figura 51.** Variador MICROMASTER 420 de Siemens.



Fuente: (www.programacionsiemens.com)

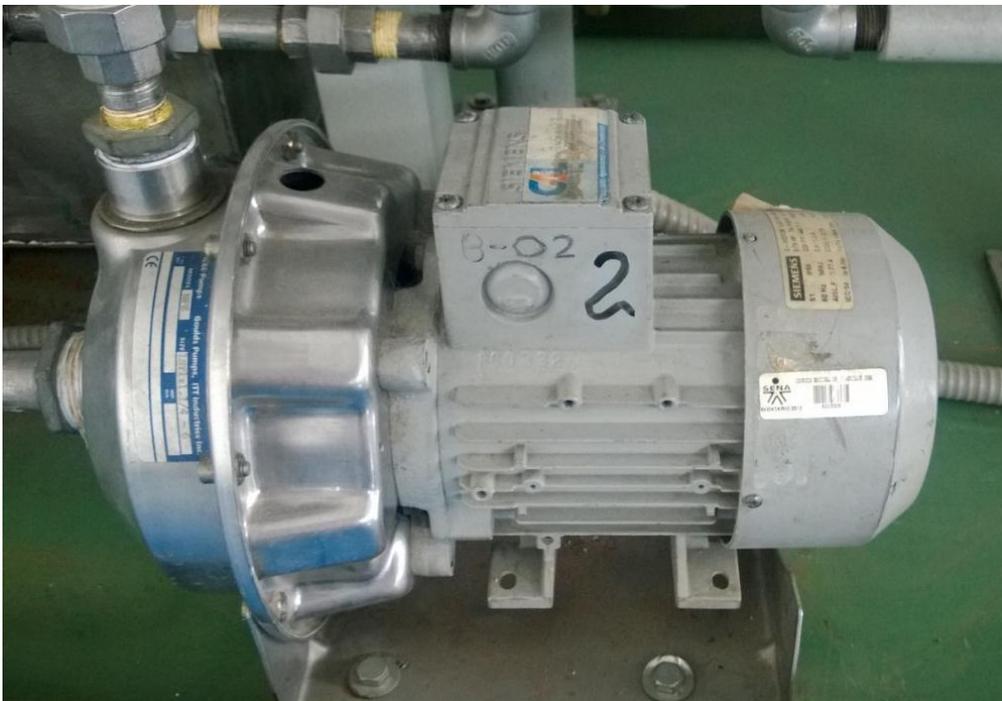
**Figura 52.** Variador Power Flex 4 de Allen Bradley.



Fuente: [ab.rockwellautomation.com](http://ab.rockwellautomation.com)

Estos variadores cumplen con la función de controlar las motobombas (Ver Figura 53) de los tanques de agua fría y caliente (Ver figura 54) de la Estación Multivariable.

**Figura 53.** Motobombas Siemens.



Fuente. (Los Autores)

**Figura 54.** Tangues de agua fría y caliente de la estación Multivariable.



Fuente. (Los Autores).

## 5.2. PLC Unitronic Vision 280.

El PLC (Controlador Lógico Programable) es el encargado de realizar el control principal sobre los diferentes procesos de la Estación Multivariable, este PLC vision 280 (Ver Figura 55) de fabricación Israelí se utilizó porque cuenta con un panel de mando integral, son de diseño compacto además de ser compatibles con diferentes tipos de Entradas y salidas tanto digitales como análogas de referencia Unitronics y contar con comunicación RS232, opciones de red CANbus, y un reloj de tiempo real (RTC).

**Figura 55.** PLC Vision 280 de Unitronics.



Fuente. (www.unitronics.com).

### 5.3. Controlador T640 EUROTHERM.

El controlador T640 (Ver Figura 56) es el encargado de realizar el control secundario en la estación Multivariable, además de permitir realizar múltiples estrategias de control al simular fallos en el control principal y que inmediatamente este controlador asuma las funciones y lazos de control realizadas por el PLC en una configuración maestro- esclavo.

**Figura 56.** Controlador T640 EUROTHERM.



Fuente. ([www.eurotherm.net.au/epa/product/t640.php](http://www.eurotherm.net.au/epa/product/t640.php)).

Dentro de las características de este controlador T640 EUROTHERM, está la configuración estructurada por Bloques, 4 Loops de Control, Panel Frontal con Indicadores y Pushbuttons, 7 estrategias de control seleccionables mediante un Switch interno, permitiendo que cada lazo de control pueda trabajar de forma independiente o en conjunto con otro controlador en cascada.

### 5.4. Registrador EUROTHERM 5100 E.

Este registrador EUROTHERM-MODELO 5100 E (Ver Figura 57), permite observar y registrar el comportamiento de cada variable de forma independiente o conjunta además de guardar esta información para luego ser procesada y analizada, muy importante a la hora de comparar datos entre el sistema SCADA y el proceso,

también para verificar el comportamiento de la variable y tiempos de respuesta del de la estrategia de control planteada.

**Figura 57.** Registrador EURO THERM-MODELO 5100 E.



Fuente. ([www.eurotherm.es/products/recorders/graphic](http://www.eurotherm.es/products/recorders/graphic))

Este registrador cuenta con unas características técnicas importantes como seis canales de entradas, totalmente configurables con pantalla a color de LCD y teclado TOUCH SCREEN.

Las entradas de cada canal pueden ser programadas, para aceptar las siguientes señales o sensores:

TERMOCUPLAS tipo: B, C, D, E, G2, J, K, L, N, R, S, T, U, NI.

RTD (con conexión de 2 O 3 hilos tipo: PT100, PT100A, PT1000, NI100, NI120, NI1000, JPT100, CU10, CU53).

### **5.5. Control de Temperatura en la Estación Didáctica.**

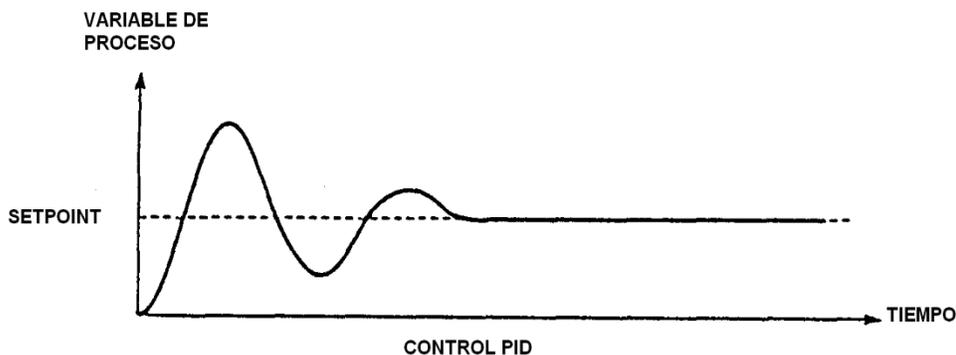
En la estación didáctica Multivariable para controlar temperatura manipulamos flujo cuyo elemento final de control son los variadores de velocidad de las motobombas. Para este control se requiere esencialmente un control en cascada, es decir con dos variables.

Para controlar temperatura también es necesario controlar el calentador de agua resistivo por el método ON-OFF para que se mantenga en el valor deseado Set

point, de tal forma que si lo sobrepasa se apague o si disminuye la Medida con respecto al Set point el calentador se encienda.

Para controlar temperatura utilizaremos el control PID, el control PID es la salida del controlador que combina una respuesta proporcional con la acción precisa de respuesta del control integral (Ver Figura 58) y la rápida acción de respuesta del control derivativo. Este tipo de salida del controlador suministra una rápida acción controladora que elimina el error.

**Figura 58.** Respuesta del control PID para Temperatura.



Fuente. (Estación control de temperatura, Manuales Lab-Volt).

Para obtener un proceso estable eliminando el error OFFSET al máximo usando el control PID para un proceso de temperatura, ya que algunos procesos no toleran el error Offset y necesitan una buena estabilidad, en este caso es usado un modo de control que combine las ventajas de la acción proporcional + integral y derivativa.

Si la variable del proceso cambia rápidamente, el controlador en derivativo responderá con mayor cantidad de acción controladora.

### 5.5.1 Calibración Control PID de la Variable Temperatura.

Listado de instrumentos:

- Controlador o PLC
- Transmisor de temperatura
- RTD's
- Registrador

Configuración del controlador o PLC:

- Controlador en manual
- Set Point al 50% de la variable
- Modo PID
- BP al 100%.
- TI: AL MAXIMO.
- TD AL MINIMO
- Acción Incremento/Decremento.

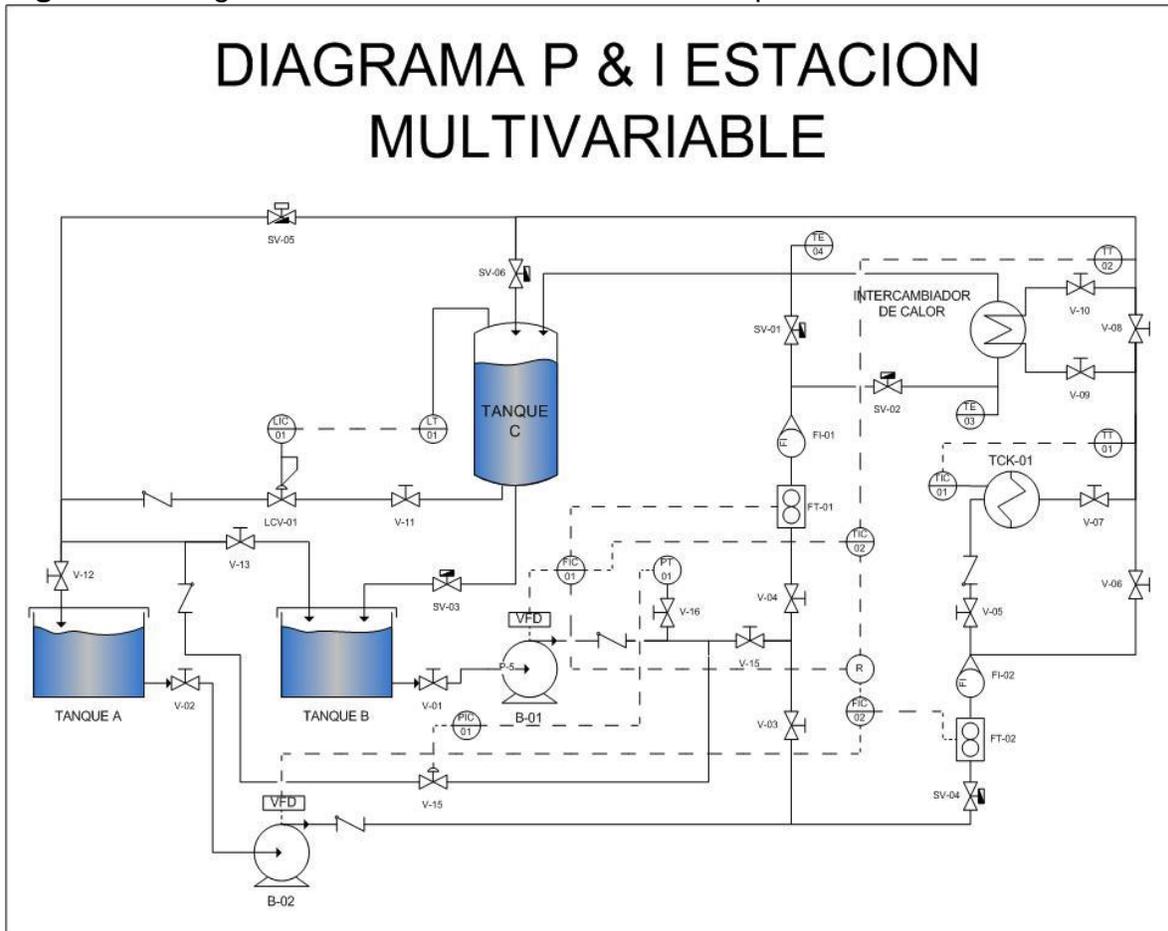
**Procedimiento:**

1. Verificar la conexión de los equipos según diagrama P&I y plano eléctrico. (Ver Figura 59).
2. Manualmente se debe ajustar la salida del controlador hasta que la medida iguale el Set Point y coloque el controlador en automático.
3. Se procede a encender el graficador.
4. Se debe crear una perturbación en el proceso abriendo la válvula V6 y cerrando la V5 por 3 segundos, provocando el BY PASS del agua caliente, o modificando el Set Point y pare el graficador cuando el proceso se estabilice.
5. Se procede a disminuir la banda proporcional de 10 en 10 repitiendo el paso anterior.
6. Se disminuye el tiempo integral y en cada disminución repetir el paso 4.
7. Se incrementa el tiempo derivativo repitiendo el paso 4.
8. Después se reajusta la banda proporcional al 100%, tiempo integral en 0.1 min/rep y tiempo derivativo en 0.05 min. Arranque el graficador, rápidamente decremente el Set Point al 20 %, pare el graficador cuando el proceso se estabilice y reajuste el Set Point al 50%.
9. Se debe incrementar la ganancia como respuesta al cambio en el Set Point.
10. Se debe ajustar la banda proporcional y repita el paso 8.
11. Se debe incrementar la acción integral: ajuste el tiempo integral y repita el paso 8.

12. Se debe incrementar la acción derivativa: ajuste el tiempo derivativo en minutos y repita el paso 8.

13. Se observa y toma nota de la salida frente a la medida del proceso en cada uno de los pasos realizados.

**Figura 59.** Diagrama P&I Estación Multivariable Temperatura.



Fuente. (Los Autores).

### 5.5.2 Sintonización del Control en la Variable Temperatura.

Para realizar la sintonización estandarizada de un proceso donde interviene la variable temperatura, se debe observar y analizar los efectos del Set Point y la banda efectuando cambios en el proceso. La sintonización se hace para lograr que el proceso sea lo más estable posible y no halla error.

Configuración del controlador o PLC:

- Controlador en Automático.
- Set Point al 50% de la variable

- Modo PID
- BP al 100%.
- TI: AL MAXIMO.
- TD AL MINIMO
- Acción Incremento/Decremento

### 5.5.3 Método de Sintonización Proceso de Temperatura.

Método de ZEIGLER & NICHOLS para sintonización de un proceso de temperatura.

- PROPORCIONAL:

$$BP = 2x BPU$$

- PROPORCIONAL INTEGRAL.

$$BP = 2.2x BPU$$

$$TI = P_u / 1.2$$

- PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVA.

$$TI = P_u / 2$$

$$TD = P_u / 8$$

$$BP = 1.66 x Bpu$$

### 5.6. Control de Flujo en la Estación Multivariable.

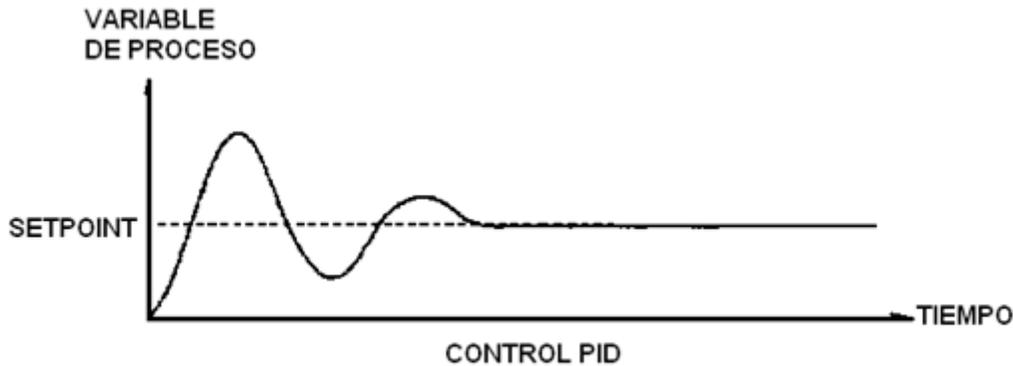
Durante la realización del proceso de control de flujo en la Estación didáctica Multivariable serán necesarios aplicar los conocimientos de instrumentación y control de procesos. Realizando análisis y observaciones acerca de los efectos del cambio de la ganancia y el Set Point en un control proporcional más Integral y Derivativo (PID) para controlar la variable flujo en el proceso. (Ver Figura 60).

Para entender como un controlado responde a las perturbaciones de la ganancia en un proceso, es importante saber calibrar los instrumentos usados en el control del mismo. Un método fácil de observar como los ajustes de un controlador afectan las características del proceso, es realizando perturbaciones manuales y observando en un registrador los efectos causados en el proceso mediante la gráfica generada.

Para procesos en los que sí puede haber ciclos continuos, se usa un control Proporcional. Para procesos en los que no pueda haber ciclos continuos o error Offset se usa un control Proporcional + Integral (PI), para procesos que necesitan

estabilidad y no puede tener error offset, se usa un control Proporcional + integral + Derivativo.

**Figura 60.** Respuesta del control PID para Flujo.



Fuente. (Estación control de Flujo, Manuales Lab-Volt).

### 5.6.1 Calibración del Control PID en la Variable Flujo.

Listado de instrumentos para la calibración del control PID en la variable flujo.

- Estación Multivariable
- Controlador PID (FIC) T640
- Medidor de flujo eletromagnético IMT 25
- Registrador Eurotherm Cheesser 5100e

Configuración del controlador:

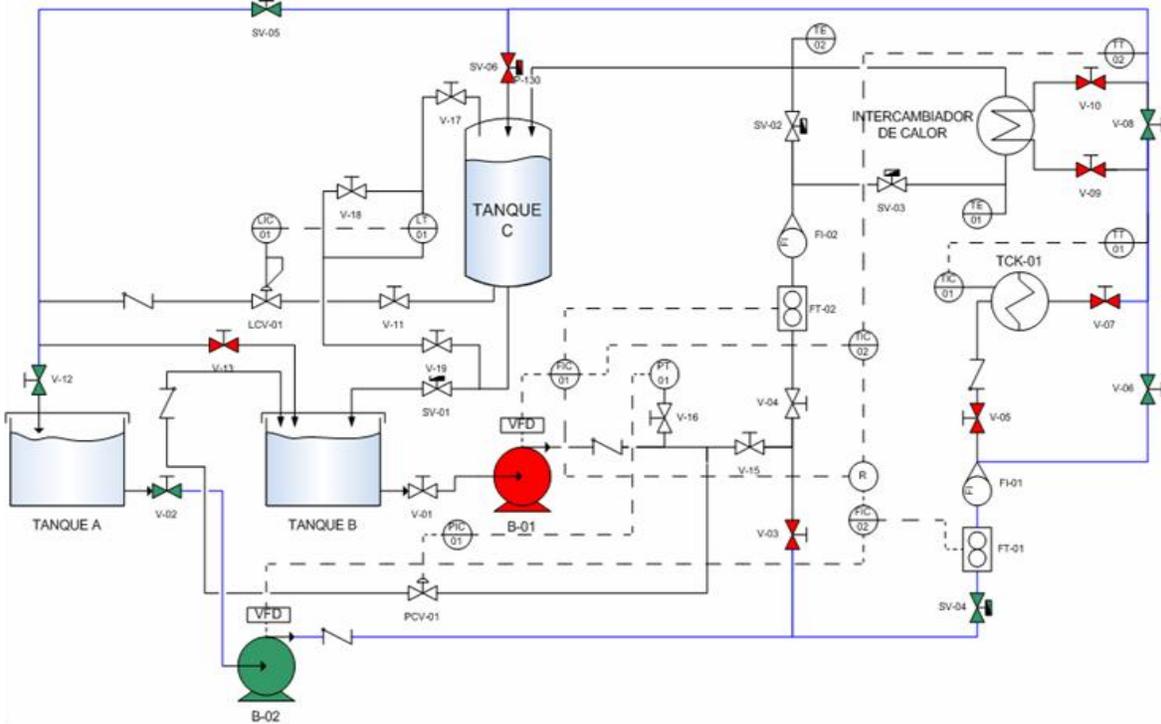
- Auto/Manual: = Manual
- Set Point = 50%
- Modo = PID (Proporcional + Integral + Derivativo)
- Salida 2 = Medida del Proceso
- Ganancia = 1 (PB = 100%)
- Reset = 10 rep/min. (0.1 minutos de tiempo integral)
- Tiempo Derivativo = 0.05 Mm

### Procedimiento

1. Seleccionar y conectar los instrumentos designados en el diagrama del lazo de control. (Ver Figura 61).

2. Verificar la calibración del transmisor y configurar el controlador con los datos obtenidos.
3. Manualmente se debe abrir y cerrar las válvulas que intervienen en el proceso de acuerdo al diagrama P&I.
4. Manualmente ajustar la salida del controlador hasta la medida sea equivalente al Set Point. Encender el registrador y ponga el controlador en automático.
5. El efecto de la ganancia original en respuesta a los cambios del Set Point.
  - Ubicar la ganancia en 1 (PB= 100%), y ajustar el tiempo integral en 10 rep/min (0.1 min/rep).
  - Encender el registrador.
  - Rápidamente disminuir el Set Point al 30%
  - Detener el registrador cuando el proceso se halla estabilizado.
  - Ajuste el Set Point al 50% y espere que el proceso se estabilice.
6. Incremento de la acción integral y disminución de la ganancia en respuesta al cambio de Set Point.
  - Ajustar la ganancia a 0.3 (333 % PB) y el RESET al rep/min.
  - Enciende el registrador
  - Rápidamente disminuir el Set Point a 30%.
  - Detener el registrador cuando el proceso se estabilice
  - Ajustar el Set Point a 50% y dejar que el proceso se estabilice.
7. Incrementar el tiempo derivativo y disminuir el tiempo integral en respuesta al cambio de Set Point.
  - Ajuste el RESET a 10 rep/min y el tiempo derivativo a min/rep
  - Encender el registrador
  - Rápidamente disminuya el Set Point a 30%
  - Detener el registrador cuando el proceso se estabilice.
  - Ajustar el Set Point a 50% y deje que el proceso se estabilice.
8. Apague la bomba

**Figura 61.** Diagrama P&I Estación Multivariable Para Flujo.

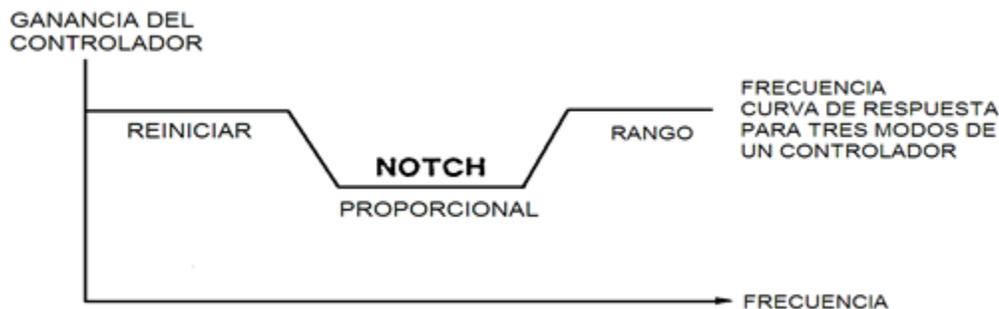


Fuente. (Los Autores).

### 5.6.2 Método de Sintonización Proceso Flujo.

Método de NOTCH para sintonizar un proceso de flujo: El método de NOTCH de sintonizar un controlador es un medio sistemático para determinar correctamente la acción proporcional directa, la acción integral y acción derivativa. Consiste en hacer pequeños cambios en el ajuste, perturbando el proceso, luego evaluar la respuesta para determinar que valores en la configuración causa una ganancia unitaria del proceso. Estos valores son utilizados en la ecuación para luego calcular los ajustes apropiados para lograr un cuarto de amplitud en el proceso. (Ver Figura 62).

**Figura 62.** Método de NOTCH para control de Flujo.



Fuente. (Estación control de Flujo, Manuales Lab-Volt).

## 5.7. Control de Nivel en la Estación Multivariable.

En la estación didáctica Multivariable para controlar Nivel que es una de las variables más utilizadas a nivel industrial, diseñaremos algunos pasos para hacer el control proporcional, proporcional e integral, proporcional integral y derivativo, Y realizar sintonización con uno de los métodos existentes en lazo cerrado utilizando las ecuaciones de Zeigler y Nichols; y en lazo abierto.

### 5.7.1 Calculo de Valores Máximos y Mínimos en el Control de Nivel

Para calcular valores máximos y mínimos del tanque de nivel se pueden tomar los valores con un flexo metro y colocarlos directamente como URV y LRV o con los datos se procede a calcularlos por medio de una formula sencilla.

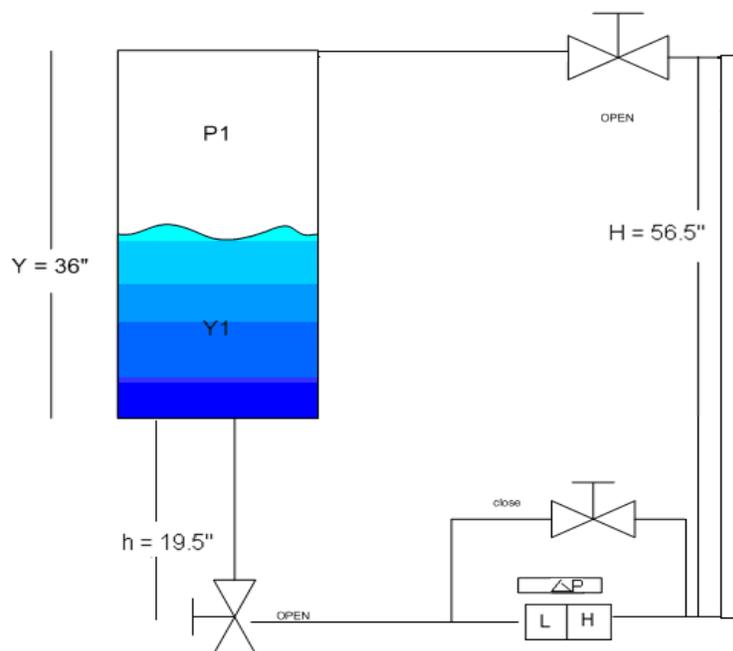
Los parámetros que se tienen en cuenta para realizar las medidas; (Ver Figura 63)

Pierna húmeda o de referencia  $H = 56.5''$

Altura del transmisor a la parte inferior del tanque  $h = 19.5''$

Altura del tanque  $y = 36''$

**Figura 63.** Realización pruebas de medidas de Nivel.



Fuente. (Los Autores).

A partir de las siguientes formulas:

$$\text{URV} = 20 \text{ mA}$$

$$\text{LRV} = 4 \text{ mA}$$

$$\Delta P = H-L$$

$$\Delta P = (H1 + P1)H - (h + Y1 + P1)L$$

$$\Delta P = H1 - (h + Y1)$$

$$\Delta P_{\text{Max}} = 56.5'' \text{ H}_2\text{O} - (19.5'' \text{ H}_2\text{O} + 36'' \text{ H}_2\text{O})$$

$$\Delta P_{\text{Max}} = 56.5'' \text{ H}_2\text{O} - 55.5'' \text{ H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{\text{Max}} = \mathbf{1'' \text{ H}_2\text{O}}$$

$$\Delta P_{\text{min}} = 56.5'' \text{ H}_2\text{O} - (19.5'' \text{ H}_2\text{O} + 0 \text{ H}_2\text{O})$$

$$\Delta P_{\text{min}} = \mathbf{37'' \text{ H}_2\text{O}}$$

El delta p mínimo corresponde al tanque lleno y el máximo al tanque vacío.

$$\text{URV} = \mathbf{1'' \text{ H}_2\text{O}} \quad \text{Equivale a 20 mA}$$

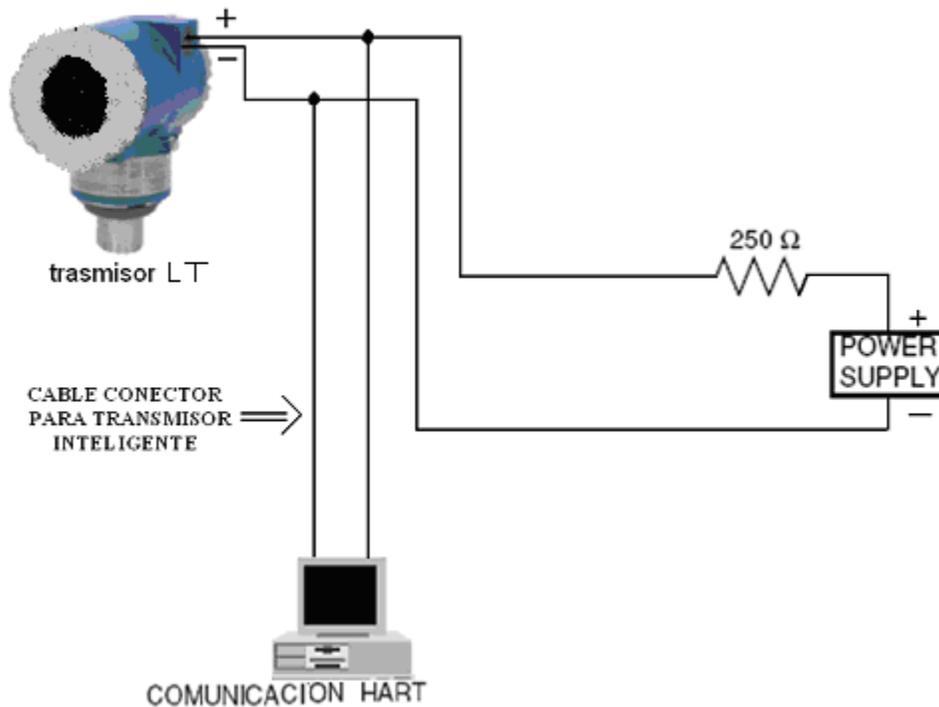
El valor mínimo es de:

$$\text{LRV} = \mathbf{37'' \text{ H}_2\text{O}} \quad \text{Equivale a 4 mA}$$

### 5.7.2 Configuración de un Transmisor de Nivel. (Ver Figura 64).

- Utilizar 4 cables de banana, cable conector para transmisores inteligentes protocolo HART, y multímetro.
- Conecta el positivo del transmisor con un punto de la resistencia, el otro punto de la resistencia es conectado al positivo de la fuente de 24VDC.
- El negativo de la fuente es conectado directamente al negativo del transmisor.
- Conecta el cable conector para transmisores inteligentes desde el computador y en paralelo con el transmisor de temperatura.

**Figura 64.** Conexión para configurar un Transmisor de Nivel



Fuente. Los Autores.

### 5.7.3 Modalidades de Acción de un Controlador de Nivel.

Para realizar control proporcional, proporcional integral y proporcional integral y derivativo; procedemos a probar el estado del controlador de la siguiente manera:

P ONLY

Ingresamos los siguientes datos:

URV= 100.0

LRV= 0.0

BP=20

SP=50%

M = 25% esta medida se ingresa manualmente, para luego realizar los procedimientos necesarios y al colocarla en automático; nos debe dar los resultados calculados.

Este cálculo se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento.

**M = KP**

Donde:

M: es la salida del controlador

KP: es la ganancia

E: es el error

$$E = \frac{R - ME * 100}{URV - LRV}$$

DONDE:

R: Set point

ME: Medida

$$KP = \frac{100}{BP}$$

Donde:

KP: Es la ganancia

BP: Banda proporcional

Entonces con los datos iniciales los reemplazamos en la formulas.

$$E = \frac{R - ME * 100}{URV - LRV} \qquad E = \frac{50 - 45 * 100\%}{100 - 0}$$

$$E = 5\%$$

$$M = KP.E \qquad KP = \frac{M}{E} \qquad KP = \frac{25\%}{5\%}$$

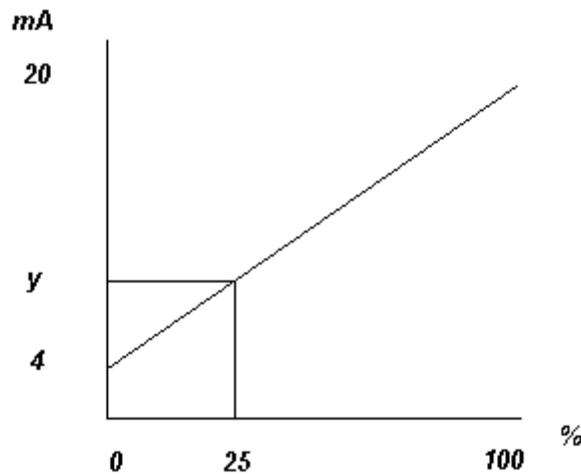
$$KP = 5\%$$

$$KP = \frac{100}{BP} \qquad BP = \frac{100}{5\%}$$

$$BP = 20\%$$

Finalmente se verifica la entrada de mA en la ecuación de la recta (Ver Figura 65).

**Figura 65.** Ecuación de la recta para control de Nivel.



Fuente. (Los Autores).

$$Y_2 - Y_1 = m(X_2 - X_1) \quad m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{20 - 4}{100 - 0} = 0.16$$

$$Y - 4 = 0.16(25 - 0)$$

$$Y - 4 = 4$$

$$Y = 8 \text{ mA}$$

#### 5.7.4 Método de Sintonización Proceso de Nivel.

Método de sintonización PID para el control de nivel en la estación didáctica.

Esta acción conjuntamente con la proporcional y la integral se comporta más sensible a cambios lentos o rápidos en la entrada del proceso, el controlador mide la velocidad del cambio y produce una respuesta instantánea manteniendo el control estable. (Ver Figura 66).

$$PBU = 5 \quad PU = 0.243 \quad TI = PU / 2 \quad TD = PU / 8$$

DATOS

$$URV = 35$$

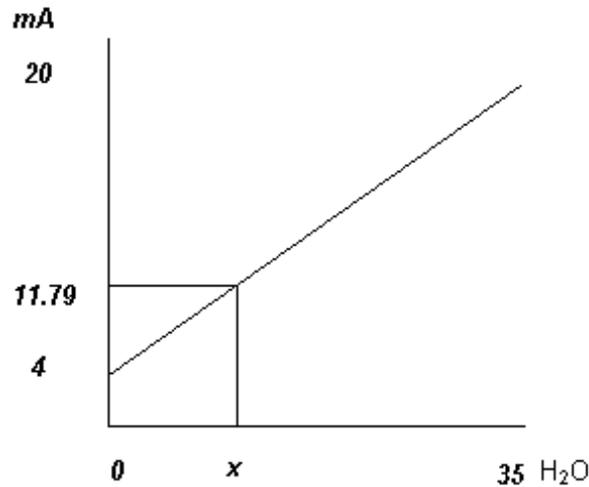
$$LRV = 0$$

$$SP = 50\% \text{ ----- } 17.5'' \text{ H}_2\text{O}$$

M = 11.79 mA ----- conectamos un amperímetro a la entrada

$E = 0.5 \%$   
 $BP = 8 \%$   
 $TI = 0.12$   
 $TD = 0.030$

**Figura 66.** Método de sintonización para el cálculo de Nivel.



Fuente. (Los Autores).

$$Y_2 - Y_1 = m(X_2 - X_1)$$

$$11.79 - 4 = 0.45 X_2$$

$$X_2 = 17.3'' \text{ H}_2\text{O}$$

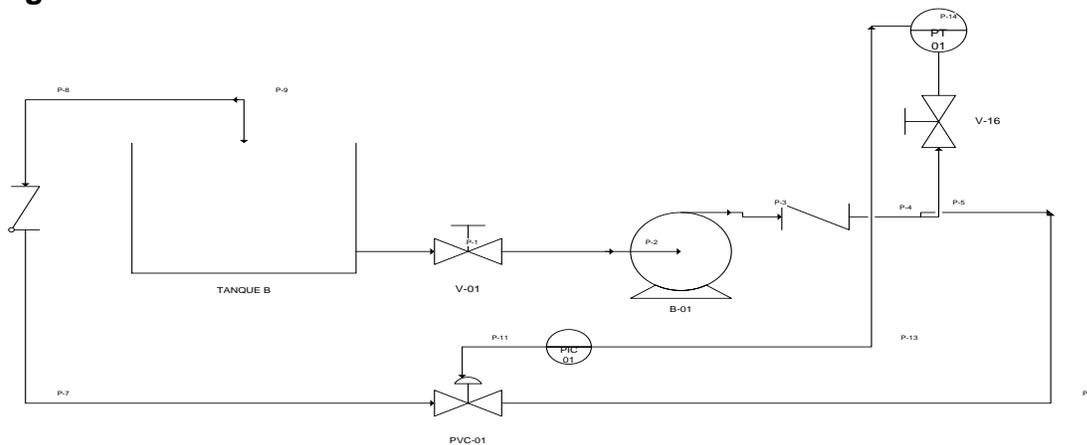
$$E = \frac{17.5 - 17.3}{35} * 100\%$$

$$E = 0.5\%$$

### 5.8. Control de Presión en la Estación Multivariable.

Para el funcionamiento del control de presión de la Multivariable (Ver Figura 67) es necesario que la motobomba 1 este encendida para que empiece a succionar agua del tanque B, V-1 y V-16 se abren para dejar pasar el flujo. Cuando la medida iguala el Set Point el transmisor de presión manda una señal a la válvula de control permitiendo que se abra.

**Figura 67.** Control de Presión en la Multivariable.

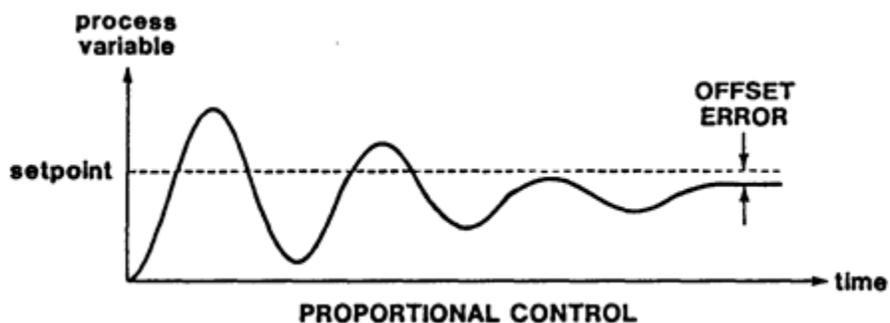


Fuente. (Los Autores).

### 5.8.1 Calibración del Control PID en la Variable Presión.

Método de sintonización proporcional integral y derivativa para el control de Presión en la estación didáctica: El control PID (Ver Figura 68) es la salida del controlador que combina una respuesta proporcional con la acción precisa de respuesta del control integral y la rápida acción de respuesta del control proporcional. Este tipo de salida del controlador suministra una rápida acción controladora que elimina el desajuste para el control de presión.

**Figura 68.** Respuesta del control PID para presión.



Fuente. (Estación control de Presión, Manuales Lab-Volt).

### 5.8.1 Configuración del Controlador Para el Control de Presión.

1. Auto/Manual = Manual
2. Set Point = 50%
3. Modo = PID
4. la ganancia = 1 (Banda Proporcional = 100%)
5. Acción integral = 10 Rep/Min (0.1 Tiempo Integral)

## Procedimiento

1. Calibrar el transmisor de presión.
2. Configurar el controlador según los Datos del instrumento.
3. Manualmente, ajustar la salida del controlador hasta igualar al Set Point.
4. Colocar el controlador en Automático.
5. Abrir totalmente V-1 y V-16.
6. Detener el registrador.
7. Ajustar la ganancia a una banda proporcional de BP%.
8. Ajustar el tiempo derivativo a minutos.
9. Ubicar la ganancia a 1, restablecer a 10 rep/min. Y el derivativo a 0.05min.
10. Activar el registrador y rápidamente disminuya el Set Point a 20%.
11. Detener el registrador cuando el proceso se estabilice y ajustar el Set Point al 50%.
12. Ajustar el tiempo derivativo a minutos y repita el paso 11.

### 5.8.3 Método de Sintonización Control de Presión.

Método de Zeigler y Nichols para control de presión:

PROPORCIONAL:

$$K_p = 0.5 K_u$$

$$B_p = 2 B_{Pu}$$

PROPORCIONAL INTEGRAL:

$$K_p = 0.45 K_u$$

$$T_I = P_u / 1.2$$

$$B_P = 2.2 B_{Pu}$$

$$RPM = 1.2 / P_u$$

PROPORCIONAL INTEGRAL Y DERIVATIVO :

$K_p = 0.6K_u$   
 $T_I = P_u/2$   
 $T_d = P_u/8$   
 $BP = 1.66 B P_u$   
 $RPM = 2/P_u$ .

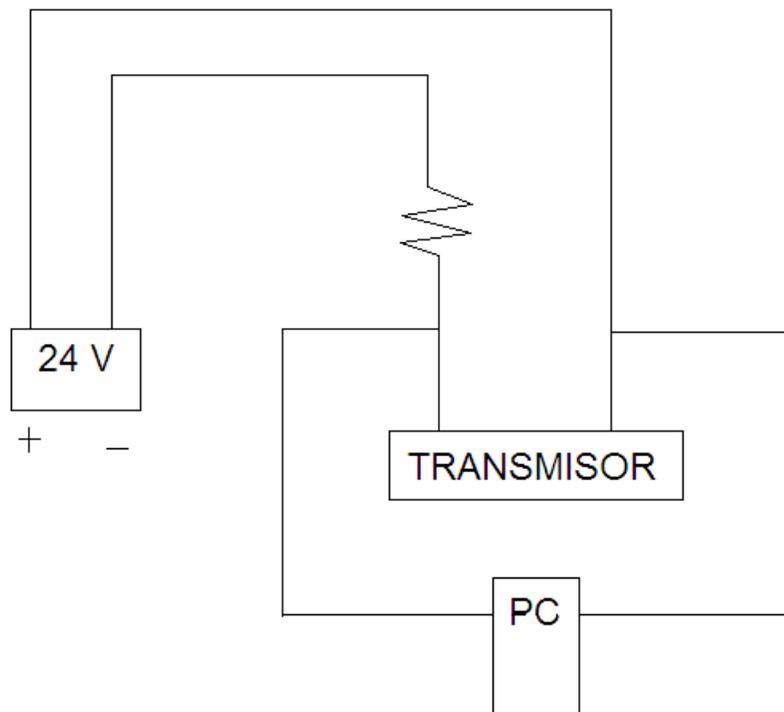
#### 5.8.4 Calibración de un Transmisor de Presión.

En la figura 69, se debe conectar en serie con la fuente de 24v y la resistencia de 250 ohmios.

Luego se debe proceder a conecta al computador un puerto serial RS-232, se utiliza un protocolo HART. El software de comunicación es PACTWARE 2.4.

- agregar aparato + establecer comunicación.
- referencia del transmisor de presión.

**Figura 69.** Calibración transmisor de Presión.



Fuente. (Los Autores).

## 6. SCADA EN LA ESTACIÓN MULTIVARIABLE DIDÁCTICA.

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) utilizado para la estación didáctica Multivariable es lo que la industria hoy en día conoce como Human Machine Interface (HMI) se inició en 1987 con el software InTouch de Wonderware (Ver Figura 70) se empleó este tipo de software ya que ningún otro HMI puede equipararse a InTouch para abanderar la innovación en la industria, así como en la seguridad, integridad y robustez de su arquitectura, la inigualable integración y conectividad de dispositivos, las actualizaciones regulares de versiones y su facilidad de uso.

**Figura 70.** Icono de Intouch de Wonderware.



Fuente. ([www.wonderware.es/hmi-scada](http://www.wonderware.es/hmi-scada)).

Por otro lado el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas cuenta desde hace 10 años con el software Intouch de Wonderware y las licencias para el uso del sistema SCADA en aplicaciones didácticas, Además la preferencia de este software se fundamenta en múltiples desarrollos por grandes empresas de la región que ven en este sistema SCADA altos estándares que permiten incrementar al máximo la productividad, optimizar la efectividad del usuario, mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento, ya que el paquete SCADA ofrece los siguientes beneficios.

- Facilidad de uso que le permite a desarrolladores y operarios ser más productivos de manera simple y rápida.
- Gran integración de dispositivos y conectividad a prácticamente todos los dispositivos y sistemas.
- Sus capacidades de representación gráfica y la interacción con sus operaciones permiten entregar la información correcta a las personas correctas en el momento correcto.

- Migración de versiones de software sin interrupción, lo que significa que la inversión en sus aplicaciones HMI está protegida.

Entre otras ventajas están sus capacidades como software SCADA ya que permite:

- Gráficos de resolución independiente y símbolos inteligentes que visualmente dan vida a su instalación directamente en la pantalla de su computadora.
- Sofisticado sistema de scripting para extender y personalizar aplicaciones en función de sus necesidades específicas.
- Alarmas distribuidas en tiempo real con visualización histórica para su análisis.
- Grafica de tendencias históricas integradas y en tiempo real.
- Integración con controles Microsoft ActiveX y controles .NET.
- Librería extensible con más de 500 de objetos y gráficos prediseñados, “inteligentes” y personalizables.

### **6.1. Configuración SCADA Intouch Wonderware.**

Cualquier sistema de visualización tiene más o menos utilidades para realizar la configuración del sistema de comunicaciones, pantallas. Contraseñas, impresiones o alarmas.

Para lo anterior se describen la configuración más habitual en un paquete SCADA, visto como sistema de desarrollo gráfico más conocida como interfaz gráfica.

#### **6.1.1 Configuración Inicial.**

Permite definir el entorno de trabajo para adaptarlo a las necesidades de la aplicación:

- La estructura de pantallas se organiza de la forma más conveniente, estableciendo un desarrollo lineal o en árbol.
- Los usuarios se clasifican según su importancia, creándose grupos con privilegios que permiten o limitan su influencia en el sistema. Las herramientas de administrador de usuarios, como del SCADA WinCC de

Siemens, permiten una rápida estructuración de los permisos de acceso y utilización de nuestra aplicación (Ver Figura 71).

- Las pantallas de interfaces proporcionan una serie de herramientas que permiten realizar las tareas más comunes de forma rápida y sencilla (picar y arrastrar). (Ver Figura 72).
- Las pantallas de alarmas se pueden organizar de manera distribuida (cada pantalla mostrará un grupo de alarmas) o centralizada (una pantalla única para todas las alarmas).

**Figura 71.** Administración de permisos para usuarios con WinCC (Siemens).



Fuente: ([w3.siemens.com/mcms/human-machine.../en/.../default.aspx](http://w3.siemens.com/mcms/human-machine.../en/.../default.aspx)).

**Figura 72.** Herramientas de trabajo Intouch de Wonderware.

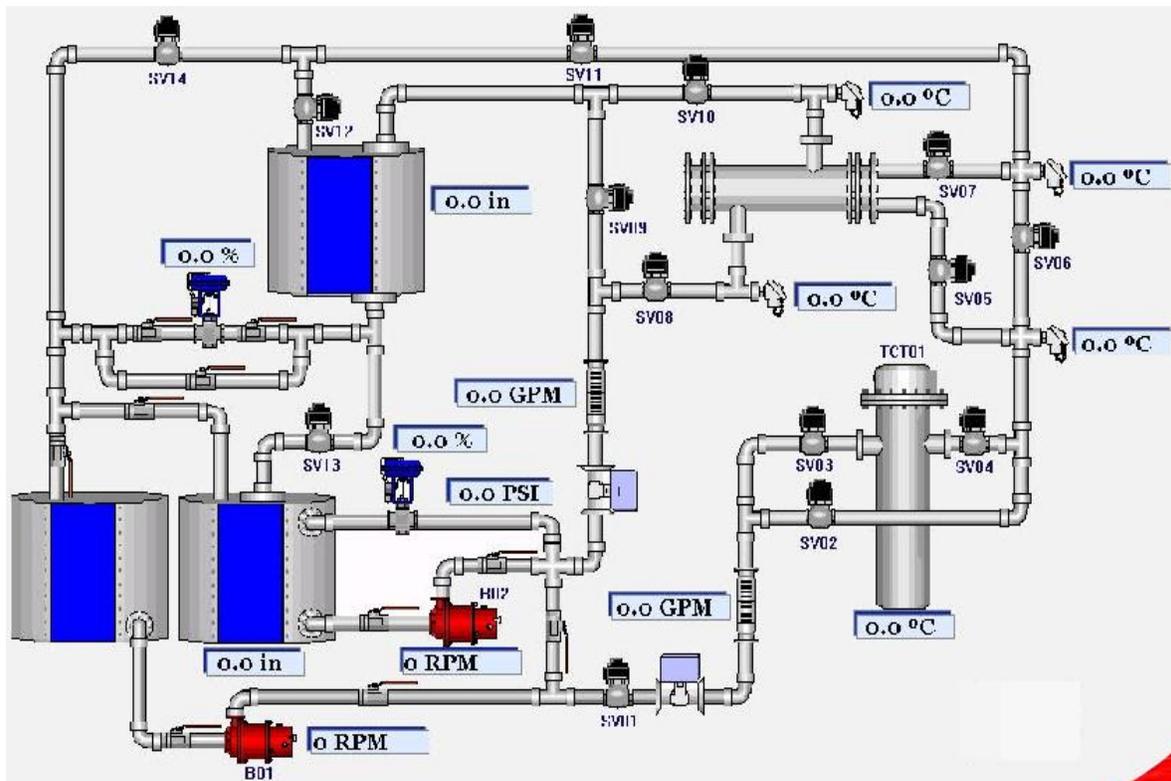


Fuente. (Los Autores).

## 6.1.2 Interfaces Graficas

Las interfaces graficas permite la elaboración de pantallas de usuario con múltiples combinaciones de imágenes y/o textos, definiendo así las funciones de control y supervisión de la planta. (Ver Figura 73).

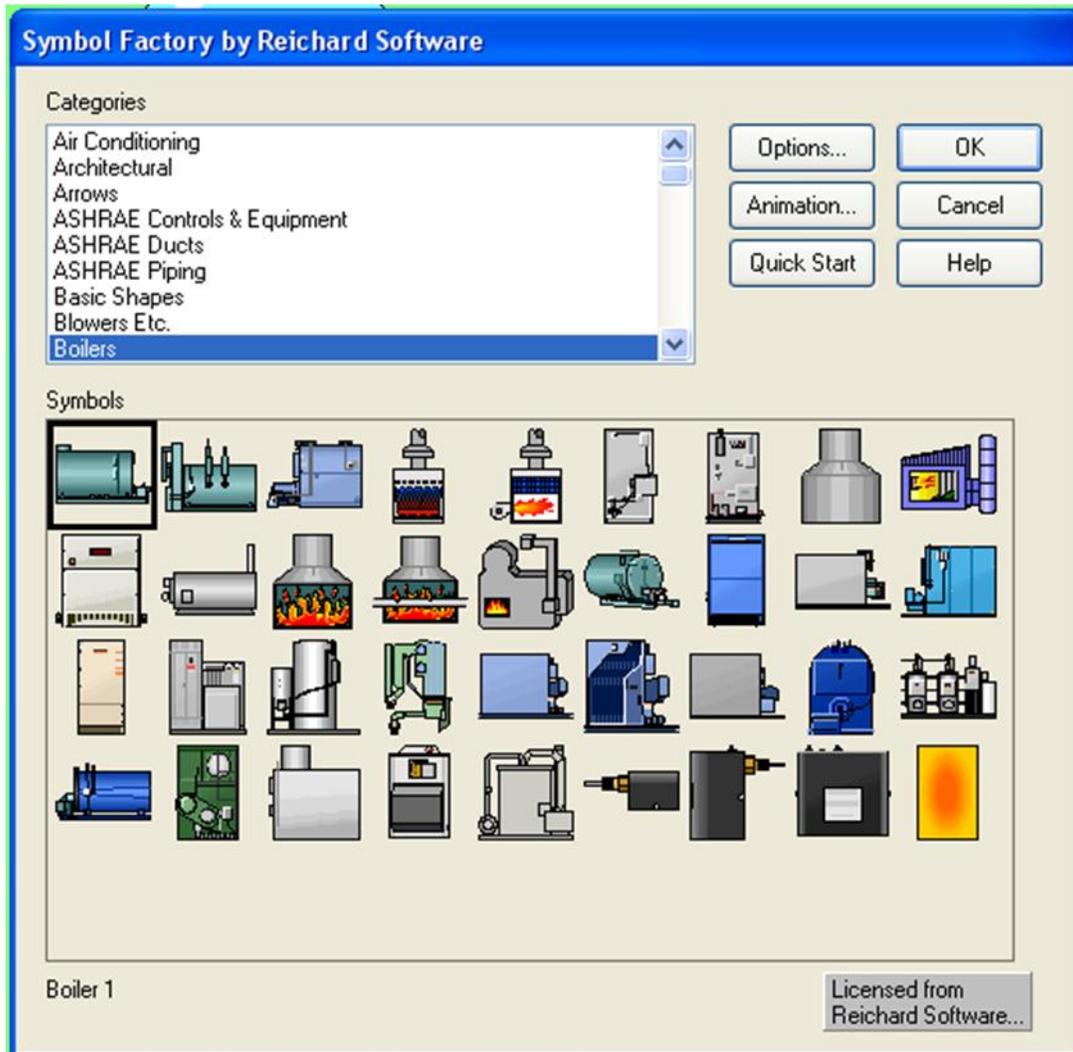
**Figura 73.** Primera interfaz gráfica estación Multivariable.



Fuente: (Los Autores).

Gracias a las librerías de objetos es posible relacionar variables de sistema a objetos ya creados de forma muy sencilla. Por ejemplo, podemos visualizar el estado de una variable analógica mediante un visualizador en forma de barra, arrastrándolo desde la librería hasta la ventana que estamos diseñando. Una vez en la pantalla, será posible editarlo y asignarle la variable a observar. (Ver Figura 74).

**Figura 74.** Symbol Factory by Reichard Software.



Fuente. (Los Autores).

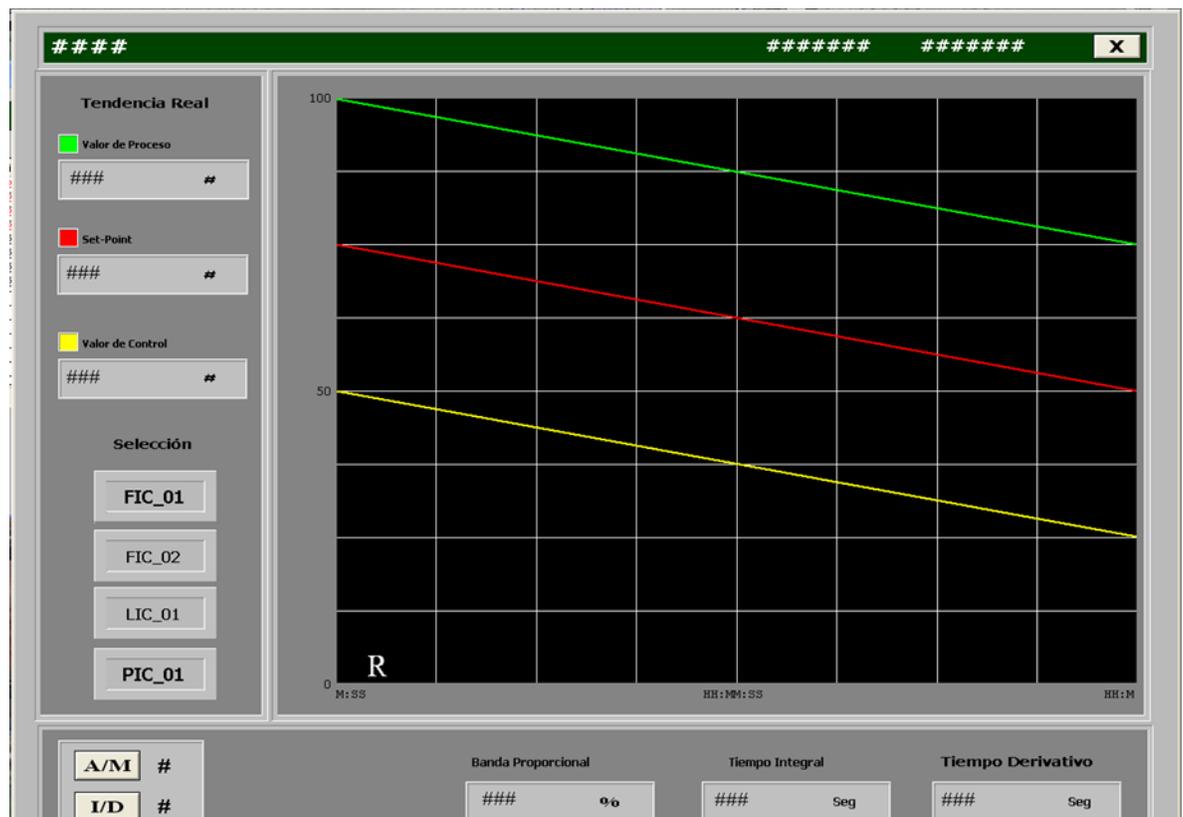
### 6.1.3 Tendencias

Son Las utilidades que permiten representar de forma cómoda la evolución de variables del sistema (Ver Figura 75). Las utilidades más generales son:

- Una carta puede tener los parámetros de representación ya definidos o pueden modificarse durante la ejecución de la aplicación Online.
- Es posible representar varios valores de forma simultánea en una misma carta. La limitación del número de valores (también llamados plumas) suele ser debida a su inteligibilidad (la cantidad de líneas en una ventana es inversamente proporcional a su utilidad).

- Representación en tiempo casi real de variables (Real-time trending) o recuperación de variables almacenadas (Historical Trending).
- Visualización de valores.
- Desplazamiento a lo largo de todo el registro histórico (scroll).
- Ampliación y reducción de zonas concretas de una gráfica.

**Figura 75.** Grafica de tendencias del proceso Software Intouch.



Fuente. (Los Autores).

#### 6.1.4 Alarmas y Eventos

Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema. Son los sucesos no deseables, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento. Este tipo de sucesos requiere la atención de un operario para su solución antes de que se llegue a una situación crítica que detenga el proceso (nivel bajo de aceite en un equipo hidráulico) o para poder seguir trabajando (cargador de piezas vacío).

El resto de situaciones, las llamaremos normales, tales como puesta en marcha, paro, cambios de consignas de funcionamiento, consultas de datos, etc. serán los denominados eventos del sistema o sucesos. Los eventos no requieren de la atención del operador del sistema, registran de forma automática todo lo que ocurre en el sistema. También será posible guardar estos datos para su consulta posterior. (Ver Figura 76).

**Figura 76.** Ejemplo de una pantalla de alarmas en Intouch.

N°	Mensaje	Dirección	Pr	Tipo	Gr	Alter	N° de	Elim	Gua	Ti	Texto	Texto	Carr	N° de
1	Fallo en el motor de inicio	PTMEM:B_AI0_Min	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	9
2	Fallo en el motor sub 1	PTMEM:B_AI1_MS	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	1
3	Fallo en el motor sub 2	PTMEM:B_AI2_MS	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	2
4	Fallo en el motor sub 3	PTMEM:B_AI3_MS	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	3
5	Fallo en el motor sub 4	PTMEM:B_AI4_MS	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	4
6	Fallo en el motor sub 5	PTMEM:B_AI5_MS	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	5
7	Fallo de temperatura en PLANCHAS	PTMEM:B_AI6_Pla	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	6
8	Fallo en el motor de fin	PTMEM:B_AI7_Mfi	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	7
9	Fallo en el motor fuente de film	PTMEM:B_AI8_Fil	1	H	0	OFF	0	OFF	ON	Ar			OFF	8

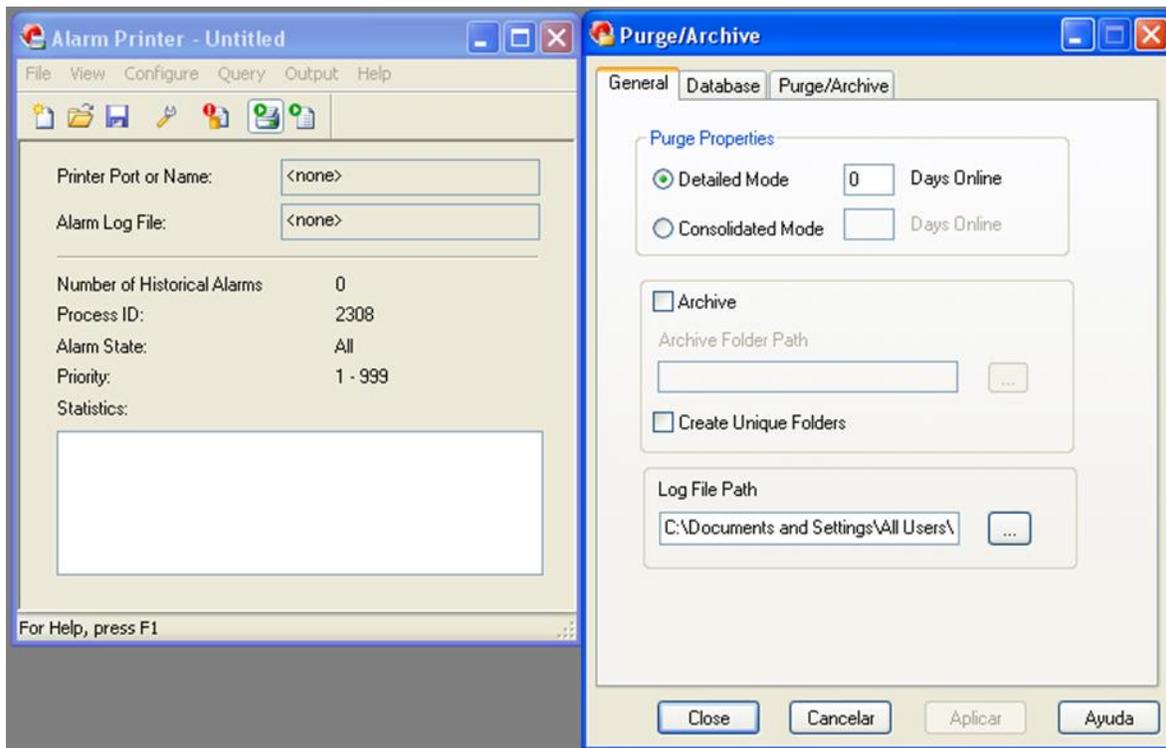
Fuente. (Los Autores).

### 6.1.5 Registro y Archivo

Por registro (logging) se entiende el archivo temporal de valores, generalmente basándose en un patrón cíclico y limitado en tamaño. Por ejemplo, podemos definir un archivo histórico de alarmas de manera que almacene en disco duro hasta mil alarmas de forma consecutiva. En el momento en el cual se produzca la siguiente alarma se escribirá sobre la primera que se guardó (registro de tipo rotativo).

Los datos de alarmas y eventos que ocurren en el sistema suelen ir acompañados de más identificadores, tales como el momento en el cual ocurrieron (Time Stamp) o el usuario activo en ese momento. (Ver Figura 77).

**Figura 77.** Configuración y guardado de alarmas en Intouch.



Fuente. (Los Autores).

### 6.1.6 Generación de Informes.

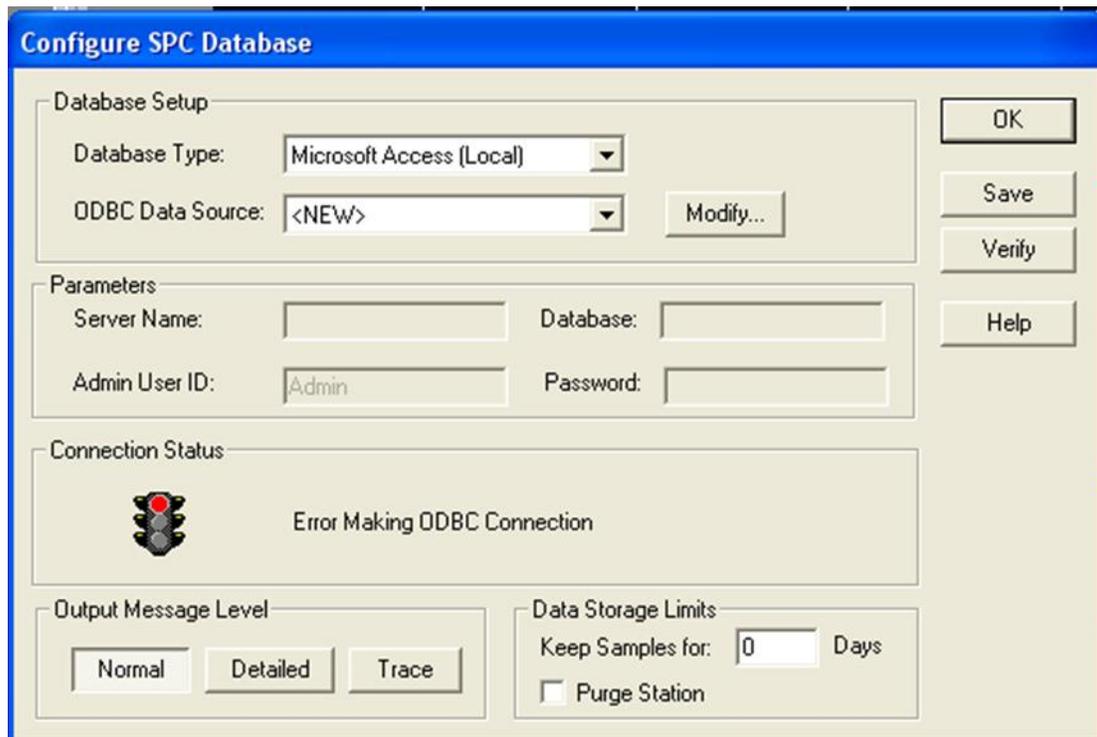
Es cada vez más común la tendencia a complementar las funcionalidades de adquisición, registro de datos y generación de alarmas con la capacidad de generar información capaz de ayudar en la toma de decisiones.

Por ejemplo, será interesante disponer de información referente a:

- Situación de la planta (estado. incidencias).
- Producción en tiempo real.
- Generación y registro de alarmas.
- Adquisición de datos para análisis históricos, control de calidad, cálculo de costes, mantenimiento preventivo.
- Gestión de almacén.
- Gestión de producción.
- Gestión de mantenimiento.

Mediante las herramientas SQL es posible realizar extractos de los archivos, los registros o las bases de datos del sistema, realizar operaciones de clasificación o valoración sin afectar a los datos originales. (Ver Figura 78).

**Figura 78.** Configuración base de datos Intouch.



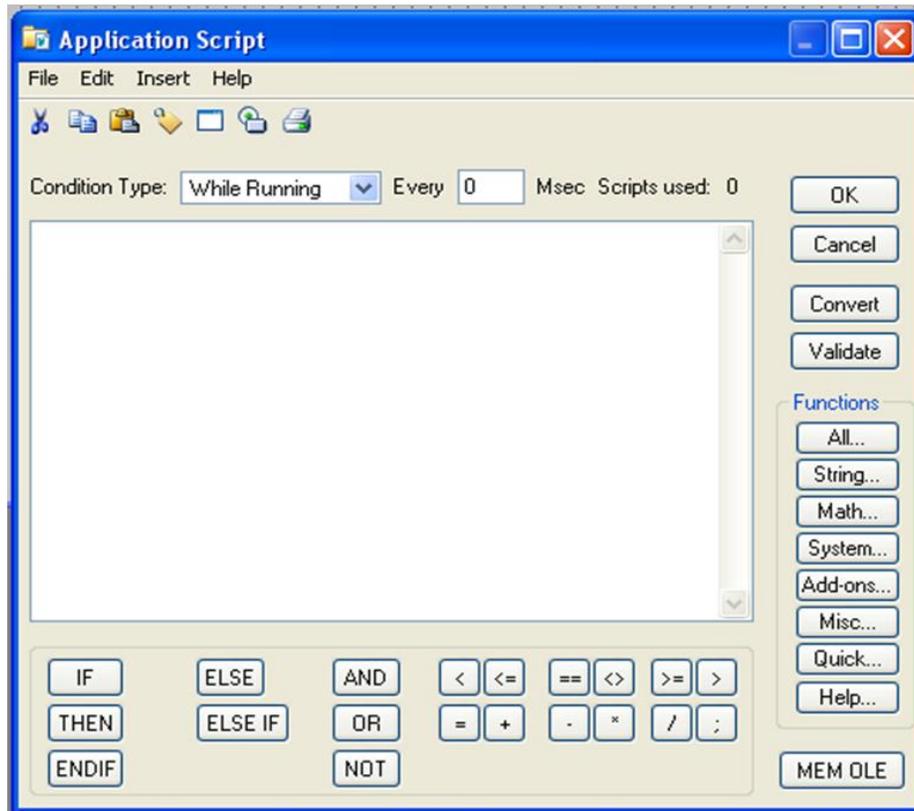
Fuente. (Los Autores).

### 6.1.7 Control de Proceso.

Lenguajes de alto nivel, como Visual Basic, C o Java, incorporados en los paquetes SCADA, permiten programar tareas que respondan a eventos del sistema, tales como enviar un correo electrónico al activarse una alarma concreta, un mensaje a un teléfono móvil del servicio de mantenimiento, o incluso poner en marcha o detener partes del sistema en función de los valores de las variables adquiridas.

Visual Basic For Applications es el lenguaje de programación incorporado en Microsoft Office. Es un lenguaje muy extendido y se ha convertido en un estándar que permite la integración de aplicaciones de terceros y la comunicación directa con cualquier aplicación de MSOffice y de cualquier aplicación compatible con VDA. (Ver Figura 79).

**Figura 79.** Programación interna (script) con Intouch.



Fuente. (Los Autores).

### 6.1.8 Recetas.

Gracias al concepto de receta es posible almacenar y recuperar paquetes de datos que permiten configurar un sistema de forma automática. Se trata de archivos que guardan los datos de configuración de los diferentes elementos del sistema (velocidad de proceso, presiones, temperaturas, niveles de alarma, cantidades de piezas, etc.). De esta manera, el procedimiento de cambiar la configuración de trabajo de toda una planta de proceso quedara reducido al simple hecho de pulsar un botón después de confirmar unos datos de acceso (usuario, contraseña y número o nombre de receta), por ejemplo el sistema SCADA se encargará de enviar los datos a los correspondientes controladores, quedando la planta lista para las nuevas condiciones de trabajo.

### 6.1.9 Comunicaciones.

El sistema de comunicaciones soporta el intercambio de información entre los elementos de planta, la arquitectura de hardware implementada y los elementos gestión.

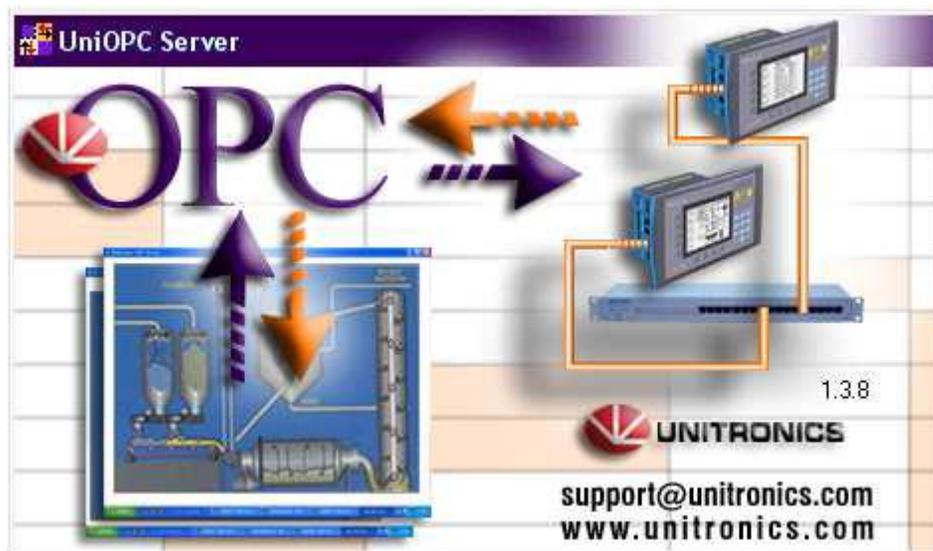
Permite implementar un sistema de controladores que realizará el intercambio de información entre los elementos de campo (autómatas reguladores) y los ordenadores que realizarán la recopilación de datos de información.

## 6.2. Interfaz OPC SCADA Intouch y PLC Vision 280.

Para la conexión entre el sistema SCADA Intouch de Wonderware y el PLC Unitronics Vision 280 es necesario utilizar una interfaz OPC que permita enlazar los diferentes Tags de la estación Multivariable para ser monitoreados y controlados desde el computador donde esté instalado el SCADA Intouch.

Por lo anterior el enlace se realizara utilizando el Software UniOPC Server (Ver Figura 80).

**Figura 80.** OPC UniOPC Server de Unitronics.



Fuente. (Los Autores).

El Unitronics UniOPC Server le permite leer y escribir datos entre PLC's Unitronics y aplicaciones que soportan OPC, como los programas SCADA. El servidor UniOPC es compatible con las normas de la Fundación OPC Data Access a través de la interfaz de encargo a la versión 3.00.

### 6.2.1 Como usar el UniOPC.

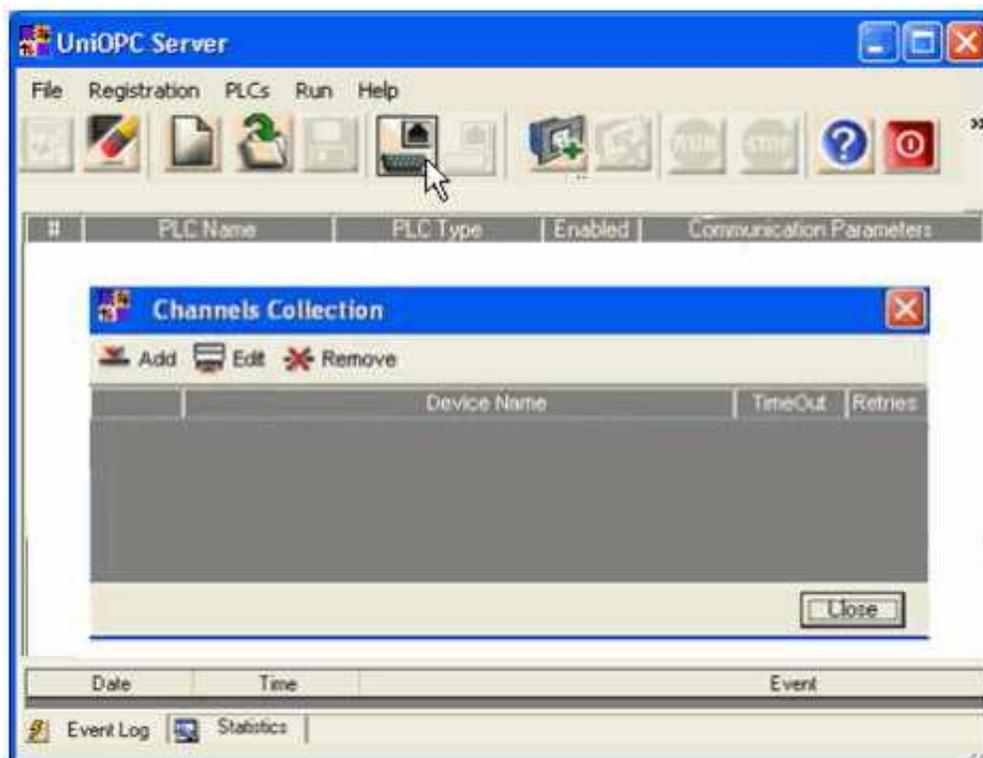
Para utilizar el servidor UniOPC, hay definir una lista de canales de comunicación para el caso de la estación Multivariable didáctica se trabajara con un protocolo de comunicación RS232, después se definen los PLC que desea tener acceso con el servidor de UniOPC, y se ejecuta para habilitar el servidor UniOPC.

Se debe tener en cuenta que los datos se recogen mediante una aplicación de cliente, como un programa SCADA, de acuerdo a las peticiones de los clientes, sin tener en cuenta la frecuencia, ya que UniOPC no inicia las llamadas de datos para el cliente solo realiza un puente entre las aplicaciones.

### 6.2.2 Comunicación RS232 Entre Aplicaciones.

Un canal incluye el puerto y otros parámetros de comunicación del PC. El PC utiliza el canal para acceder a un PLC y recopilar datos, en este caso mediante RS232. (Ver Figura 81).

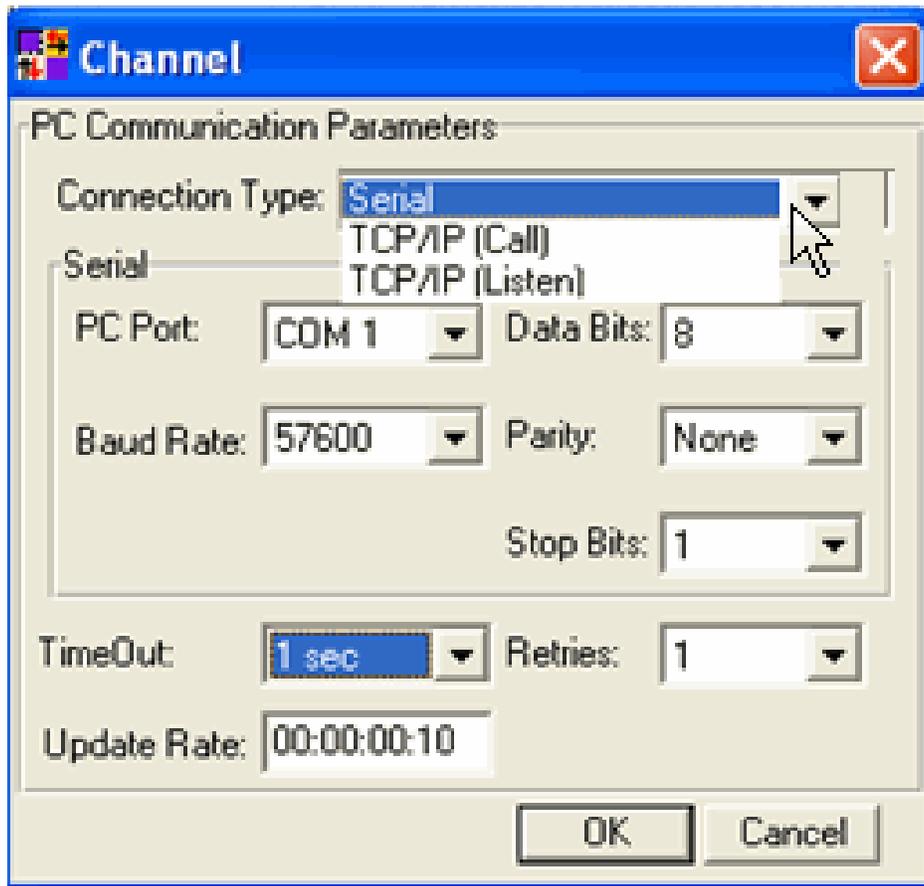
**Figura 81.** Protocolo RS232 para conexión SCADA y PLC.



Fuente. (Los Autores).

La tasa de actualización es la frecuencia con que los servidores UniOPC almacenan los datos de los autómatas relacionados con el canal comunicación. Sin embargo, la velocidad a la que el cliente toma los datos de servidor UniOPC se enmarca en la aplicación cliente. (Ver Figura 82).

**Figura 82.** Configuración de la velocidad de transferencia RS232.

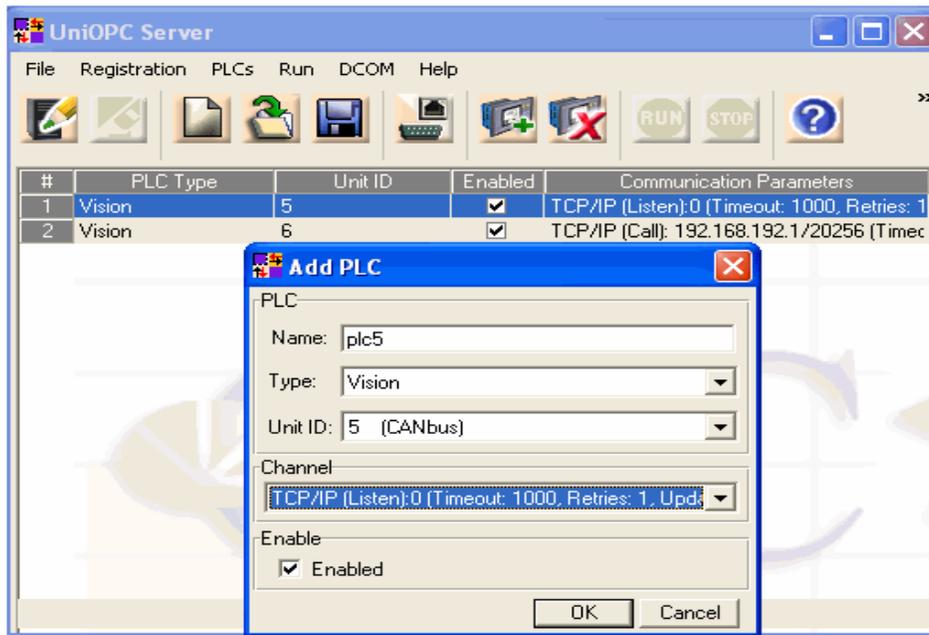


Fuente. (Los Autores).

### 6.2.3 Agregar un PLC a un Sistema OPC.

Se escribe un nombre único del PLC para ser identificado por el sistema SCADA, seguido del tipo o referencia del PLC para así ajustar los parámetros de comunicación de acuerdo al protocolo, en el ID de la unidad para este caso es Directo ya que no se va a configurar ninguna red de comunicación, y el canal se selecciona RS232 ya que es la interfaz que se utilizará. Se debe tener en cuenta que la opción Enabled está seleccionada, lo que permite a una aplicación de cliente acceder a los Tags del PLC inmediatamente y no pierda comunicación en ningún momento. (Ver Figura 83).

**Figura 83.** Adicionar un PLC al UniOPC.



Fuente. (Los Autores).

La figura 84 muestra el resultado final de la configuración OPC para que el SCADA Intouch pueda acceder sin ningún problema a los Tags del PLC y exista una comunicación segura y en tiempo real de los mismos.

**Figura 84.** Configuración correcta del UniOPC.



Fuente. (Los Autores).

## 6.2.4 Configuración OPCLink.

La siguiente parte hace referencia a la configuración del OPCLink donde es necesario definir este t pico para nombrar el servidor y configurarle con que PLC se conectara y a qué velocidad se transferirán los datos mediante un modo de transmisión. (Ver Figura 85).

La figura 86 muestra donde se puede modificar el tipo de PLC con el cual se conectara el UniOPC dentro de una red e dispositivos, debido a que en nuestro proyecto solo existe un PLC solo basta con seleccionar el nombre del PLC el cual se dio anteriormente para adicionarlo.

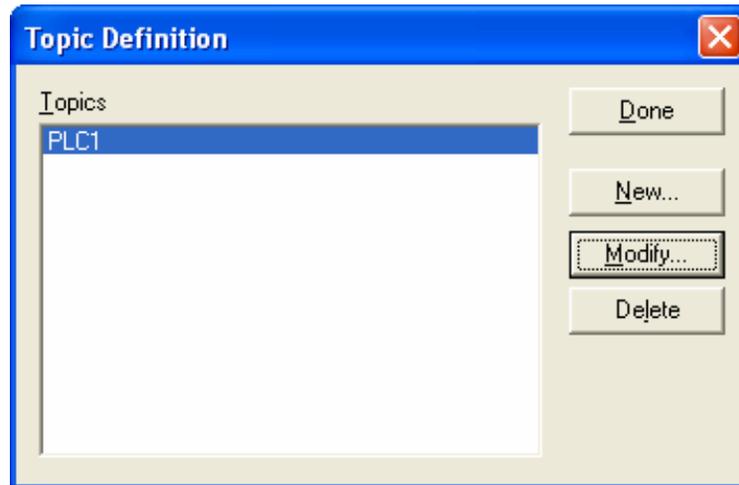
Por último en la figura 87, hace referencia a la ruta donde se guardara la configuración realizada, para que cuando se apague el computador por algún motivo este encuentre la ruta y configuración de manera inmediata sin tener que realizar los pasos anteriores nuevamente.

**Figura 85.** Configuración OPCLink en el SCADA Intouch.

The screenshot shows the 'OPCLink Topic Definition' dialog box. The 'Topic Name' field is set to 'PLC1'. The 'Node Name' field is empty with a browse button. The 'OPC Server Name' dropdown is set to 'UniOPC.Server'. The 'OPC Path' field is set to 'PLC1'. The 'Update Interval' is set to '1000 ms' and the 'Enable access to update interval' checkbox is unchecked. The 'Poke asynchronously' checkbox is checked, and the 'Mode After Poke' dropdown is set to 'None'. The 'Transaction Timeout' is set to '180000 ms'. Under 'Poke mode', the 'Transition mode' radio button is selected. Under 'Lifecycle Settings', the 'Lifecycle' checkbox is unchecked and the 'Timeout' is set to '0 ms'. The dialog includes 'OK', 'Cancel', 'Browse', and 'Help' buttons on the right side.

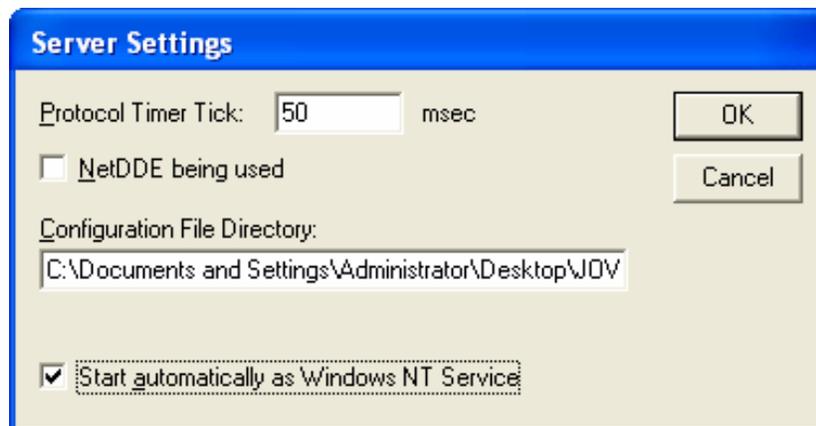
Fuente. (Los Autores).

**Figura 86.** Definir conexión con el PLC.



Fuente. (Los Autores).

**Figura 87.** Directorio donde se guardara la configuración.



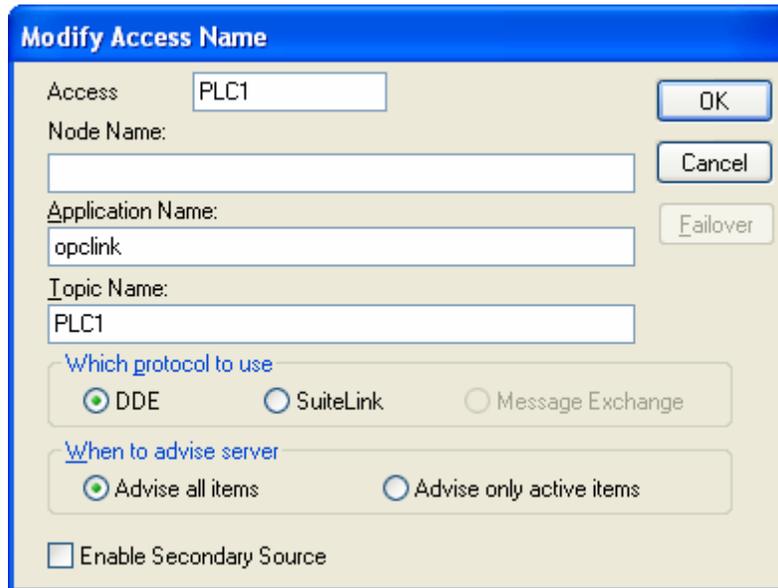
Fuente. (Los Autores).

### 6.2.5 Prueba desde SCADA Intouch.

Antes de comenzar a desarrollar el proyecto en el SCADA Intouch se debe realizar la configuración de los parámetros establecidos en el UniOPC para que el SCADA pueda interactuar con las variables del PLC, adicionalmente se realiza una prueba con un Tag del PLC enlazándolo desde el SCADA para probar la correcta transferencia de los datos entre ambos sistemas.

El la figura 88 se observa la configuración de los parámetros iniciales que debe utilizarse en el SCADA Intouch para que pueda tener acceso a los Tag del UniOPC y así poder realizar las acciones del monitoreo y control en el PLC.

**Figura 88.** Configuración de parámetros en el SCADA Intouch.



Fuente. (Los Autores).

Son los mismos tópicos configurados en el UniOPC, para que así el sistema SCADA pueda saber con quién establece comunicación, por ejemplo en la figura 89 se adiciona con que equipo o PLC se va a conectar.

**Figura 89.** Configuración del acceso desde el SCADA Intouch.

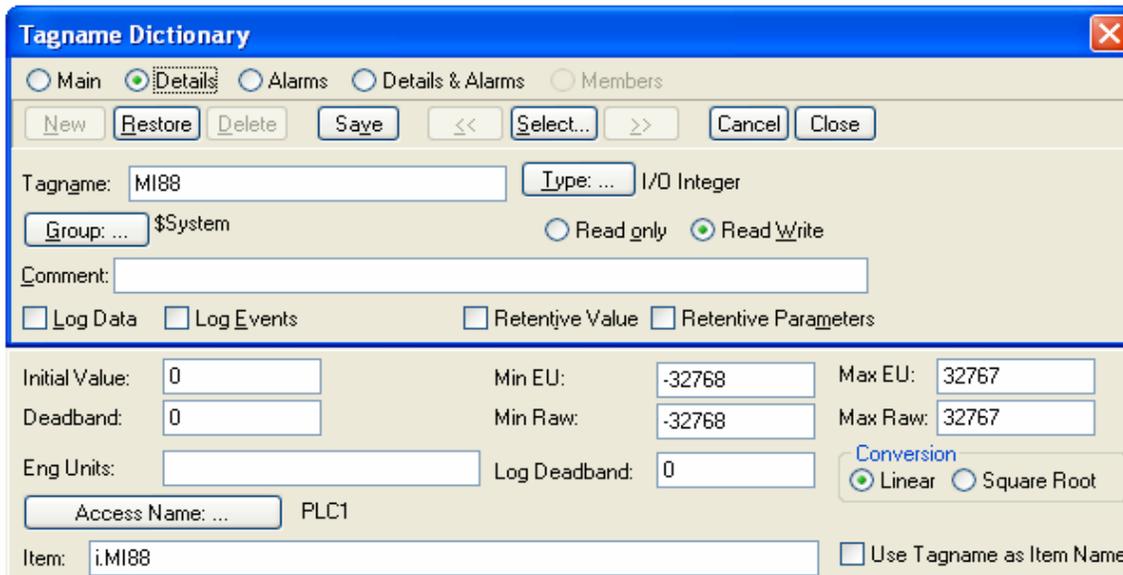


Fuente. (Los Autores).

Después de realizar el enlace desde el SCADA Intouch es recomendable realizar una prueba de control y monitoreo, esto se realiza adicionando una dirección del PLC al sistema SCADA Intouch mediante una herramienta conocida como el “Tagname Dictionary” (Ver Figura 90) el cual corresponde a una base de datos

donde se almacenan todas las direcciones del PLC para luego ser enlazadas a los gráficos.

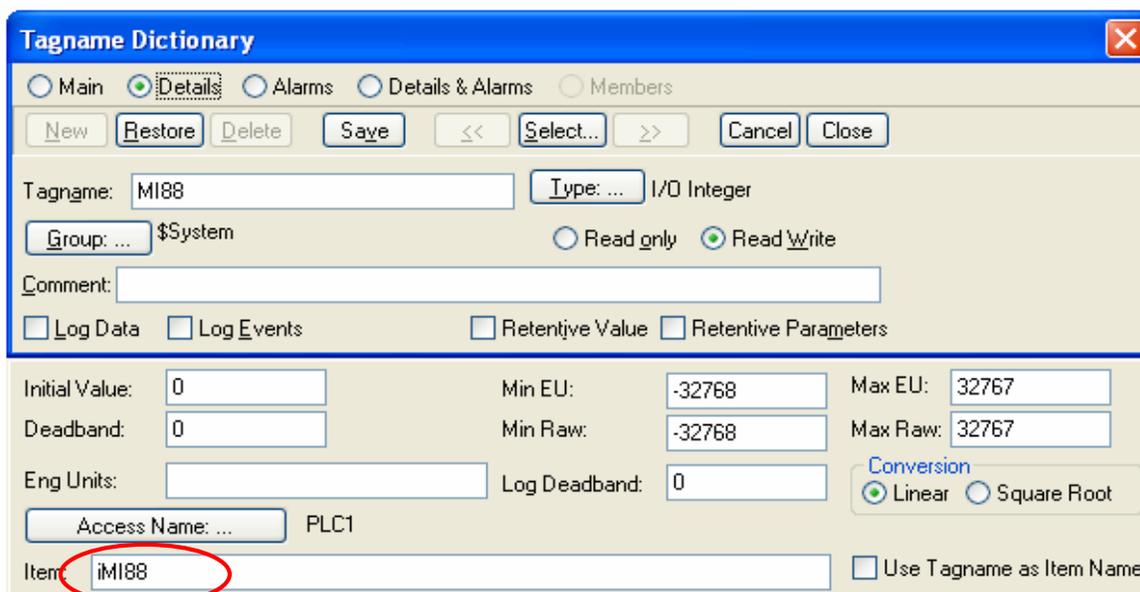
**Figura 90.** Tagname dictionary.



Fuente. (Los Autores).

En la figura 91 se observa la dirección MI88 que se ingresa al “Tagname dictionary” la cual corresponde a una entrada análoga del PLC VISION 280.

**Figura 91.** Enlace SCADA y la dirección del PLC.



Fuente. (Los Autores).

Por último se genera la señal en la entrada análoga y esta se refleja en el entorno grafico del SCADA Intouch. (Ver Figura 92).

**Figura 92.** Entorno grafico SCADA Intouch (Prueba).



Fuente. (Los Autores).

## **7. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN SCADA INTOUCH.**

Corresponde a la fase final del proyecto Diseño e Implementación de un sistema SCADA para una Estación Multivariable didáctica, se inicia con la elaboración de un entorno grafico aplicando normas de diseño acordes al proceso que se va a controlar y monitorear, para que el operario del sistema se familiarice con el proceso siendo este fácil de comprender ya que cuenta con simbología técnica para así sacar el mayor provecho del sistema.

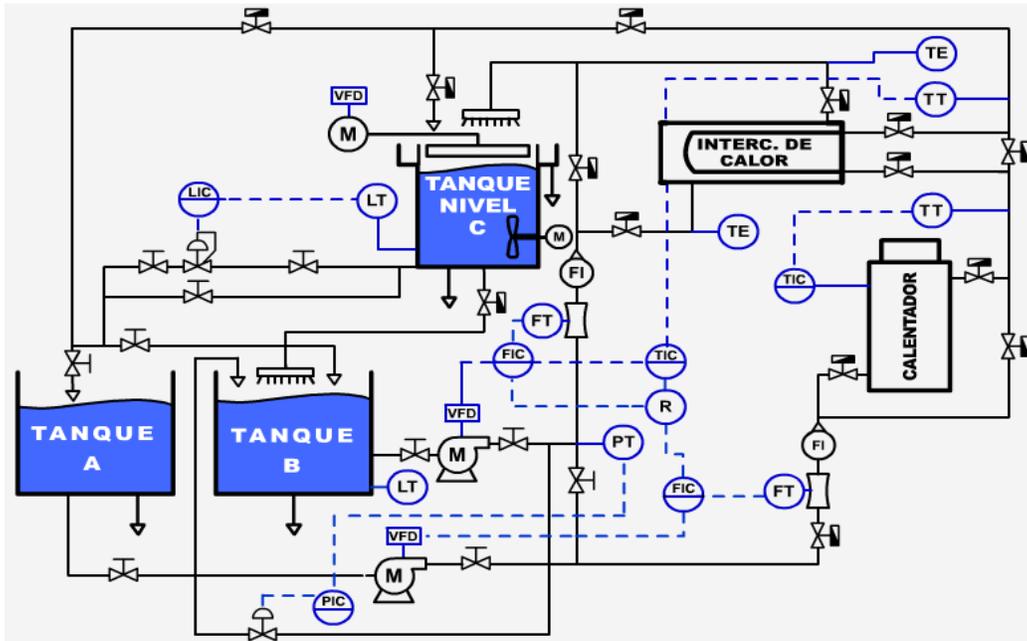
Para esta fase de Diseño e Implementación de un sistema SCADA para una Estación Multivariable didáctica es necesario tener instalados en un computador el Software SCADA InTouch de WonderWare, el UniOPC Server, y el software de programación Visilogic para el PLC Visión 280.

### **7.1. Pasos Iniciales en la Estación Multivariable.**

- Verificar el estado de la Estación.
- Revisar el estado de las Válvulas manuales.
- Revisar el estado de las Válvulas Automáticas On-Off (deben tener suministro Neumático).
- Garantizar un buen Nivel de los Tanque de Agua A y B.
- Conectar Suministro Neumático Principal a la Estación, regular entre 60 y 70 PSI.
- Instalar una alimentación Neumática a la parte superior del Tanque de Proceso (Tanque C) de entre 5 y 10 PSI.
- Llenar si es el caso la Pierna Húmeda de Referencia del Medidor de Nivel.
- Alimentar Eléctricamente la Estación de Control Red de Potencia (220 Vac) y Control (120 Vac Regulado).

Para estos procedimientos se debe seguir el diagrama P&I (Ver Figura 93) como apoyo inicia para ubicar los elementos dentro de la Estación Multivariable.

**Figura 93.** Diagrama P&ID para la puesta en marcha de la estación Multivariable.



Fuente. (Los Autores).

## 7.2. Configuración SCADA Intouch y PLC Vision 280.

Para este punto se deben tener en cuenta los siguientes pasos.

- Encender el PLC (se alimenta a 24 Vdc).
- Conectar el cable de Comunicación entre el PLC y el PC (DB9 al PC y RJ11 al PLC en su puerto nro. 1).
- Garantizar que no exista otra aplicación o servicio que tenga bloqueado el puerto serial, de ser así cerrar dicha aplicación. (Ej. RSLinx de Allen Bradley).
- Abrir la aplicación UNIOPC SERVER. (Esta se encarga de comunicar InTouch con el PLC).

Una vez realizado estos pasos proceder a abrir InTouch de acuerdo a la siguiente ruta:

### 1. Abrir Software Intouch.

Por el menú de programas se selecciona el icono de InTouch de Wonderware abriendo la ventana inicial en la cual se visualiza el código y tiempo de vigencia de la licencia del Software. (Ver Figura 94).

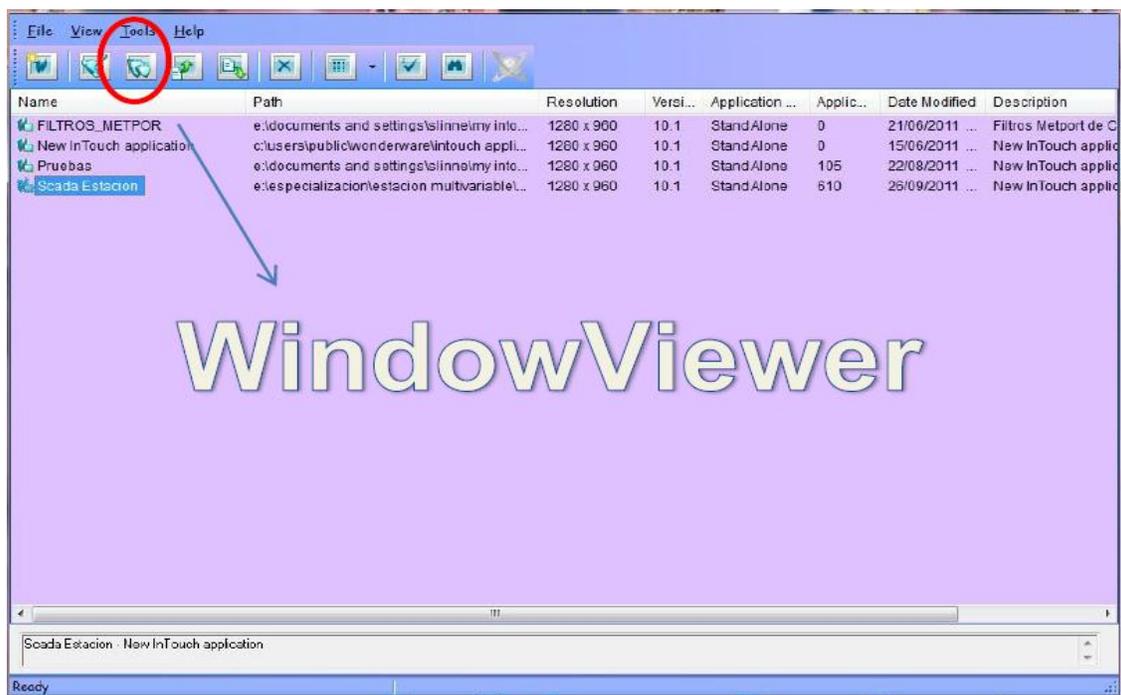
**Figura 94.** Características iniciales de Intouch de Wonderware.



Fuente. (Los Autores).

Después se debe proceder a seleccionar el nombre correspondiente al proyecto que se está trabajando y ejecutar la aplicación WindowViewer. (Ver Figura 95).

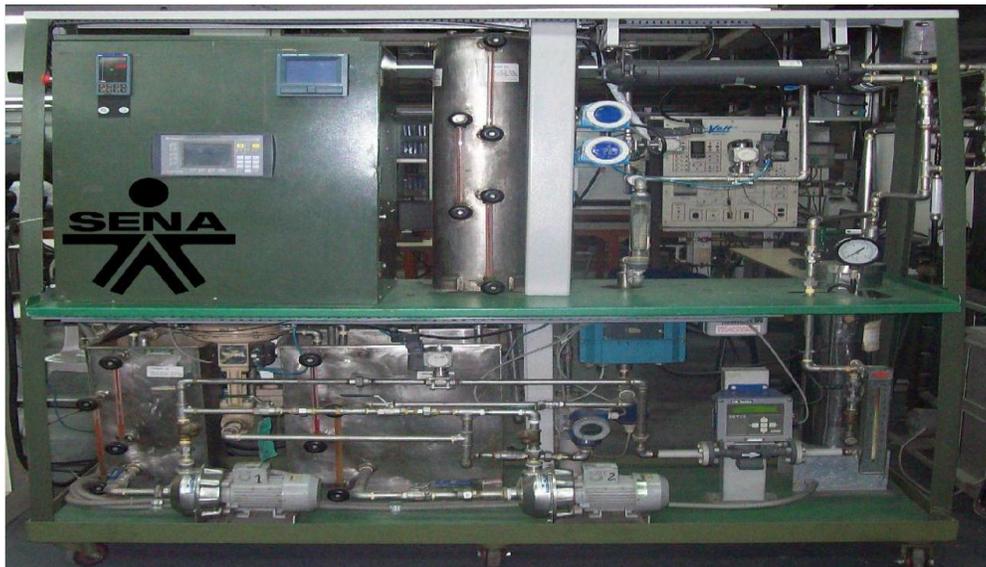
**Figura 95.** Selección y puesta en marcha del proyecto.



Fuente. (Los Autores).

Realizados estos pasos abre la ventana inicial del proyecto dando una bienvenida al usuario con una vista de la estación Multivariable completa, (Ver Figura 96) y la aplicación inicia luego de unos segundos.

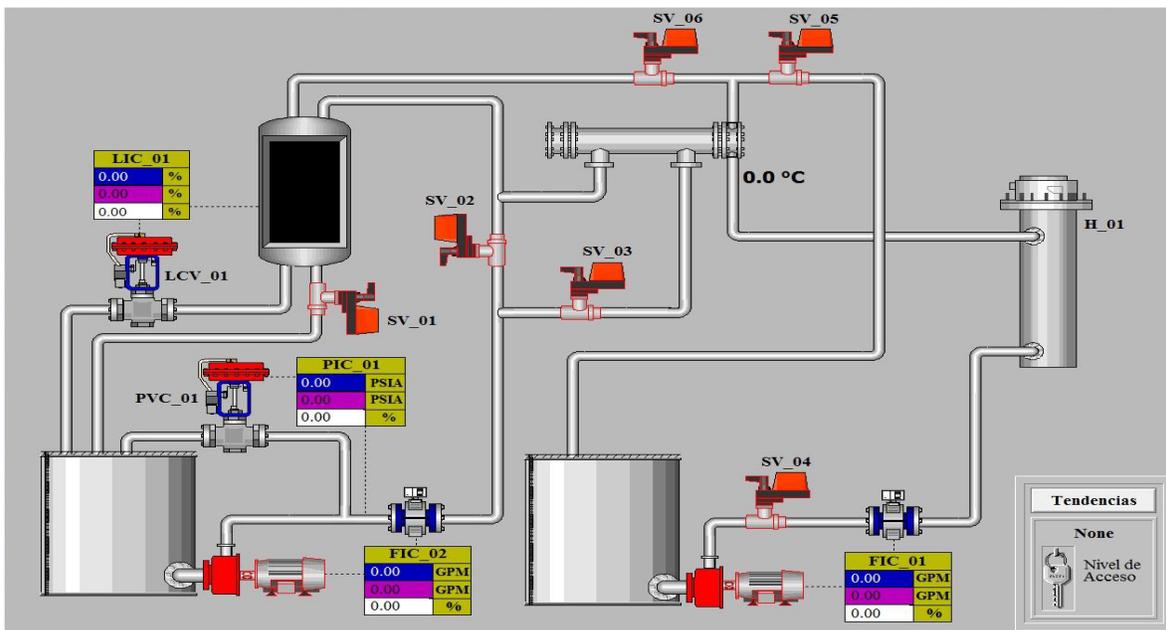
**Figura 96.** Ventana de Inicio Aplicación SCADA Intouch.



Fuente. (Los Autores).

Lo anterior solo indica los pasos que se requieren para colocar en operación la aplicación de la Estación de Control Multivariable en el sistema SCADA, ahora va a proceder a trabajar con la aplicación real, y se reconoce porque una vez abierta la aplicación la ventana de nuestro sistema SCADA muestra un entorno de visualización del proceso, en este caso, toda la Estación de Control. (Ver Figura 97).

**Figura 97.** Entorno grafico del proceso de la estación didáctica desde Intouch.



Fuente. (Los Autores).

En esta ventana se visualiza los diferentes valores de control al igual que se pueden llamar las diferentes ventanas que intervienen en el control de la Estación de Control Multivariable. Es de añadir que para poder modificar un dato o intervenir sobre el control se debe tener con acceso a la aplicación el cual se obtiene por medio de un Usuario y su respectiva Clave de Acceso.

## 2. Acceso de usuarios

Para tener un control sobre la estación se requiere tener un nivel de acceso a ella, sin este permiso no se puede realizar ninguna acción o cambio sobre el proceso, están limitan el nivel del usuario al igual que las acciones que pueden tomar sobre el proceso, estas son: (Ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Tipo de usuarios para el proceso.

Usuario	Clave
Operador	op1
Instrumenta	2357

Fuente: (Los Autores).

Para realizar el cambio de usuario dar clic en la llave que figura en la esquina inferior de la pantalla, y aparece la ventana de manejo de usuarios. (Ver Figura 98).

**Figura 98.** Ventana Nivel de Acceso y usuarios.



Fuente. (Los Autores).

Como se dijo anteriormente cada usuario tiene sus límites sobre el proceso de control, ya que en un entorno industrial real hay parámetros que solo pueden ser manipulados por supervisores o encargados del tema de producción, por ejemplo en este proceso el operador llegado el caso puede requerir modificar el Set-Point del bloque de control respectivo, al igual que manejarlo en modo Manual o Automático llegado el caso. De igual manera puede encender o apagar las bombas

y el calentador de agua, así mismo puede abrir o cerrar las diferentes electroválvulas, pero no podrá acceder a la sintonización de los diferentes lazos de control, para estas diferentes operaciones existen diferentes pantallas o ventanas que le facilitaran las respectivas acciones sobre el control. (Ver Figura 99).

**Figura 99.** Ventanas Control Discreto.



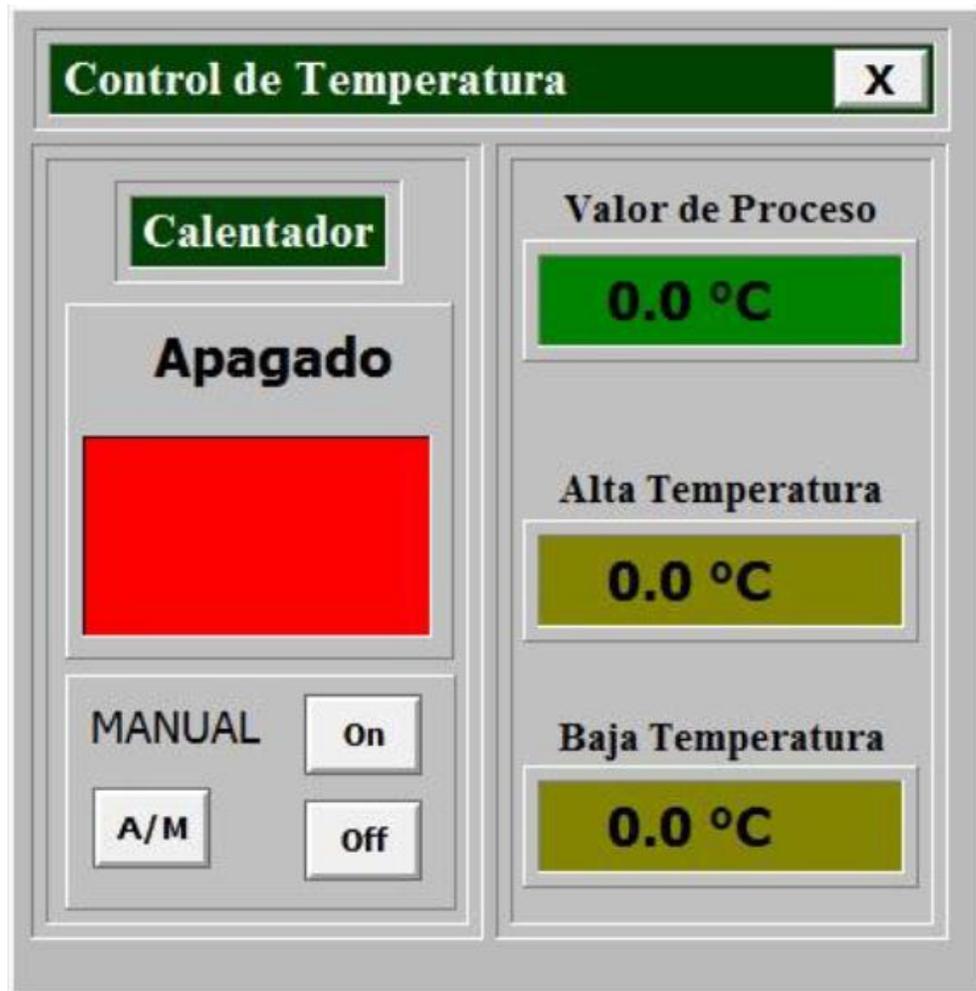
Fuente. (Los Autores).

Para acceder a las ventanas de la figura 99, solo es necesario dar un clic sobre el elemento a intervenir se desplegara la opción para activarla o desactivarla, cada una de ellas tiene detallada la acción a tomar, al igual indica el estado en palabras (Abierta-Cerrada; Encendido-Apagado) o color (Verde-Rojo) dependiendo del caso. Igualmente en la parte superior muestra cual es el Tag del elemento a intervenir.

### **3. Control sobre el calentador.**

Para el control sobre el calentador de agua, es importante tener en cuenta que primero exista un flujo mínimo de agua, esto para evitar daños en el equipo. Al dar un clic sobre la figura del calentador se debe desplegar una ventana para controlar este elemento. (Ver Figura 100).

**Figura 100.** Ventana Control de Temperatura y del calentador.



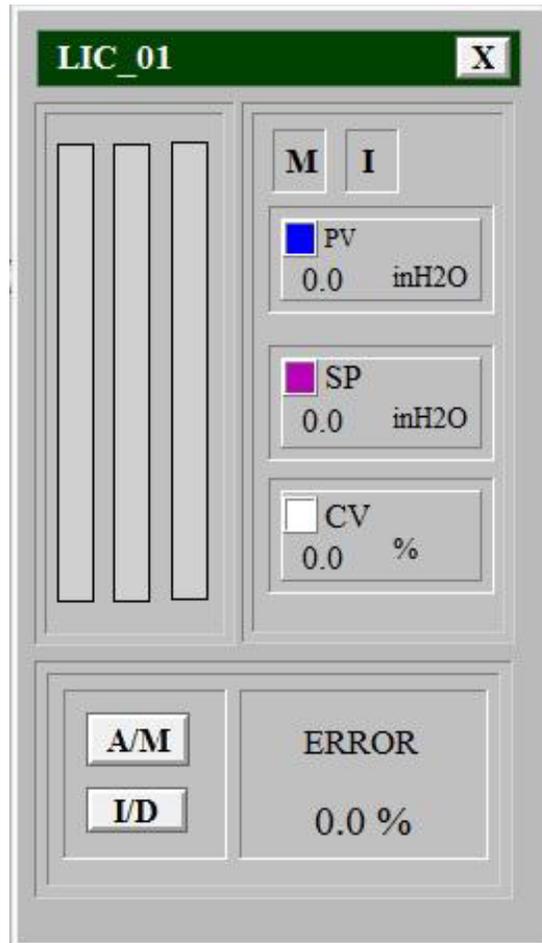
Fuente. (Los Autores).

En estado Manual solo apagará una vez se haya alcanzado una temperatura de disparo, la cual se configura en el pirómetro que se encuentra a un lado del tablero de control de la estación. En modo Automático el calentador responderá de acuerdo a los puntos de disparo que se configuran en esta misma ventana, estos son los valores de baja y Alta temperatura.

#### **4. Control PID.**

En los diferentes controles PID referentes a lazos de control de tipo continuo, el manejo es similar a los explicados anteriormente para el control discreto, salvo que están ligados a los lazos On-Off, al dar clic sobre los respectivos actuadores se abre la siguiente ventana. (Ver Figura 101).

**Figura 101.** Ventana Control Lazos Proporcionales.



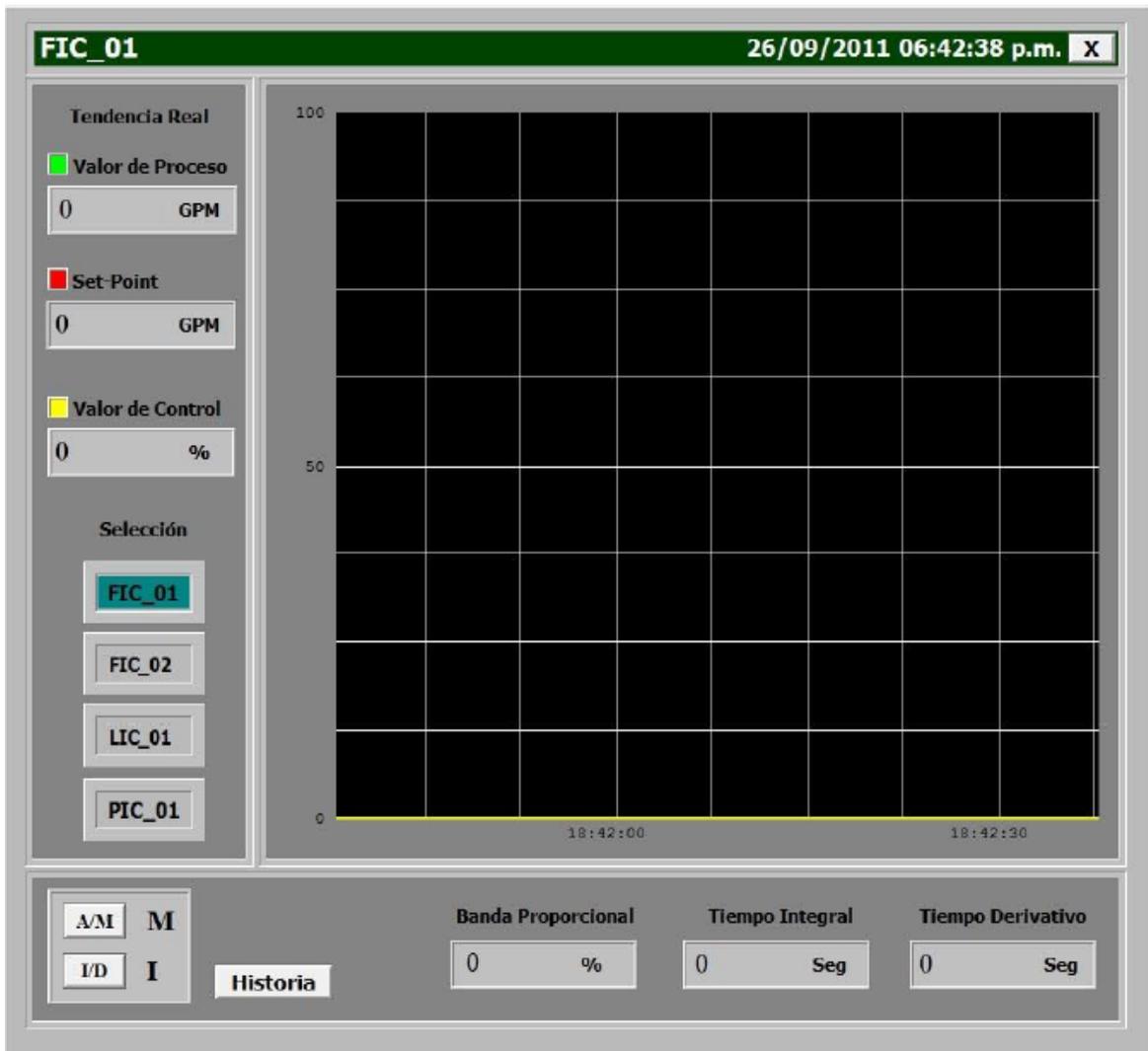
Fuente. (Los Autores).

Donde en la parte superior indica que lazo se está interviniendo, al igual que su estado, valores de proceso, tanto numéricos como gráficos (Barras). En estado Manual puede escribirse sobre la salida del Lazo de Control, en estado Automático se escribe al Set-Point del Lazo de Control. Igualmente se puede cambiar la acción de control del Lazo, esto con el fin de realizar mejores pruebas de los diferentes Lazos de Control. Lo ideal es que el Error sea lo más cercano a Cero (0).

## 5. Sintonización de los lazos de control

Para realizar la sintonización de los diferentes Lazos de Control se debe tener un Nivel de Acceso superior al que tiene el operador, para esto ingresar con el Usuario Instrumenta, con este usuario se habilita la escritura sobre los parámetros de Sintonía, para ello se debe dar clic en el botón Tendencias ubicado al sobre el Usuario, para abrir la ventana de la figura 102.

**Figura 102.** Ventana Tendencia para Sintonización de Lazos de Control.



Fuente. (Los Autores).

En esta ventana se grafica en tiempo real los cambios que se presentan en el proceso, solo es necesario seleccionar el Lazo de Control a sintonizar y la tendencia cambia de inmediato de acuerdo a la figura 103.

**Figura 103.** Selección de los Lazos de control a Sintonizar.

Tendencia Real	Tendencia Real	Tendencia Real	Tendencia Real
<input type="checkbox"/> Valor de Proceso			
0 GPM	0 GPM	0 inH2O	0 PSIA
<input type="checkbox"/> Set-Point	<input type="checkbox"/> Set-Point	<input type="checkbox"/> Set-Point	<input type="checkbox"/> Set-Point
0 GPM	0 GPM	0 inH2O	0 PSIA
<input type="checkbox"/> Valor de Control			
0 %	0 %	0 %	0 %
<b>Selección</b>	<b>Selección</b>	<b>Selección</b>	<b>Selección</b>
<input checked="" type="checkbox"/> FIC_01	<input type="checkbox"/> FIC_01	<input type="checkbox"/> FIC_01	<input type="checkbox"/> FIC_01
<input type="checkbox"/> FIC_02	<input checked="" type="checkbox"/> FIC_02	<input type="checkbox"/> FIC_02	<input type="checkbox"/> FIC_02
<input type="checkbox"/> LIC_01	<input type="checkbox"/> LIC_01	<input checked="" type="checkbox"/> LIC_01	<input type="checkbox"/> LIC_01
<input type="checkbox"/> PIC_01	<input type="checkbox"/> PIC_01	<input type="checkbox"/> PIC_01	<input checked="" type="checkbox"/> PIC_01

Fuente. (Los Autores).

## **8. RECURSOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **Director del proyecto.**

M.Sc (c) Marcela González Valencia. Docente Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad Escuela de Tecnología Eléctrica, Instructora del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas. Área de Electrónica.

### **Asesores del proyecto:**

- Ingeniero Norberto Arango. Instructor del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas. Área de Instrumentación y control.
- Ingeniero Saúl Erazo Vásquez. Instructor del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA Dosquebradas. Área de Automatización Industrial.
- Ingeniero Juan de Dios Ríos Moreno. Asistente de Instrumentación. Departamento de Energía y Mantenimiento Eléctrico. Ingenio Risaralda S.A.
- Diego Hernán Villareal. División de Instrumentación y Control. Ingenio Risaralda S.A.

### **Equipos Necesarios Para El Desarrollo E Implementación Del Proyecto.**

- Estación Multivariable Didáctica (variables de Temperatura, Presión, Nivel y Flujo).
- Computador portátil DELL.
- Interfaz de comunicación RS232, PC a PLC Vision 280.
- Multímetro digital FLUKE 175.
- Generador de señal corriente y voltaje FLUKE 715.
- Interfaz protocolo HART HONEYWELL.
- Pinza Voltiamperimétrica 440 Amperios marca FLUKE.
- Válvulas Solenoides ½" Marca FESTO.
- Cable conversor USB a Serial.
- Cable de control 18 AWG.

## Software Necesario Para el Diseño e Implementación Del Proyecto.

- Software SCADA Intouch de Wonderware Version 10.0
- Software de programación Visilogic Versión 4.0 para PLC Vision 280.
- Software UniOPC para Interfaz OPC entre SCADA y PLC.
- Software Autocad Electrical para realización de planos eléctricos.

## Costos para el Diseño e Implementación del Proyecto.

A continuación se presenta la relación de los precios de los diferentes equipos utilizados en el proyecto, (Ver Tabla 6) aunque cabe destacar que la estación se encontraba 90 % de desarrollo solo se hará referencia a los equipos y elementos adquiridos desde el momento en que se retomó el proyecto, de acuerdo a los inventarios de estos elementos, suministrados por los instructores a cargo del equipo, como parte del apoyo para la culminación de este proyecto para ser utilizado dentro de sus programas de formación técnica.

**Tabla 6.** Presupuesto utilizado para la culminación del proyecto.

Descripción del Elemento	Cantidad	Valor unidad	Valor Total
Software Intouch Development Studio educative Marca WONDERWARE	1	7.350.000	7.350.000
Interfaz HART con software de configuración, confirmación de protocolo abierto a otras marcas de instrumentos.	1	3.500.000	3.500.000
Pinza Voltiamperimetrica 440 Amperios Marca FLUKE.	1	400.000	400.000
Generador de señal corriente y voltaje FLUKE 715.	1	800.000	900.000
Multímetro digital FLUKE 175.	1	600.000	600.000
Relé de control de nivel eléctrico por conductividad tipo WARRICK.	2	850.000	1.700.000
Válvulas Solenoides ½" Marca FESTO.	8	810.000	6.480.000
Termostato con doble Set-Point de dos etapas ASCO	1	1.304.000	1.304.000
Computador Portátil DELL.	1	1.300.000	1.300.000
Cable conversor de USB a serial.	1	45.000	45.000
Cable de control 18 AWG x metro.	20	22.000	22.000
		<b>Total:</b>	<b>23.601.000</b>

Fuente: (Los Autores).

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Sin duda alguna se trata de un proyecto muy importante ya que implica el manejo de equipos de aplicación industrial, generando un alto grado de responsabilidad y una correcta planeación del proyecto, lo anterior para cumplir con las metas propuestas en la culminación y puesta en marcha del proyecto Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para una Estación Multivariable Didáctica.

Por lo descrito anteriormente las dentro de las conclusiones después de trabajar en este proyecto, se encuentran:

- ✓ A la hora de trabajar en proyectos de esta magnitud, es necesario contar con un buen equipo de asesores en diferentes campos tecnológicos, ya que las dudas y los inconvenientes que surgen son muchos.
- ✓ En el campo de los equipos de instrumentación existen muchas marcas, por esto es necesario realizar cálculos para determinar la capacidad del equipo que se requiere.
- ✓ Se debe tener buenos fundamentos en tecnologías como el diseño industrial, la programación, la mecánica, la electricidad y electrónica, Instrumentación y control industrial, sistemas SCADA, ya que proyectos de este tipo requieren habilidades en varios campos y programas como Ingeniería Mecatrónica nos permiten desarrollar estas competencias.
- ✓ Es importante el manejo de herramientas administrativas para una correcta planeación y manejo de los recursos del proyecto.
- ✓ Se deben reconocer los diferentes protocolos de comunicación, ya que de acuerdo al fabricante del equipo estos pueden variar y en este tipo de proyectos es necesario integrarlos a una red de comunicación.
- ✓ Al trabajar en este tipo de proyectos se pueden implementar en una aplicación real de los diferentes lazos de control que existen, reconociendo la aplicación y el objetivo de estos en la industria.
- ✓ Este tipo de proyectos permite incluir sistemas de monitoreo y control como los Software SCADA, permitiendo demostrar cómo esta tecnología se puede incorporar en cualquier aplicaciones industriales.
- ✓ Sin duda una de las conclusiones más importante es integrar diferentes variables como Temperatura, Presión, Nivel y Flujo en un solo sistema que

permite controlar de forma independiente o conjunta un proceso de aplicación industrial.

- ✓ Se debe contar con las bases para seleccionar de manera correcta el controlador Lógico Programable (PLC) que cumpla con las exigencias del sistema.
- ✓ Los conocimientos adquiridos sobre la interfaz entre diferentes tecnologías permite realizar la configuración del sistema SCADA, el OPC y el PLC para el correcto intercambio de datos entre ellos.
- ✓ Se logró el desarrollo de un sistema de control y supervisión en tiempo real mediante Software SCADA muy confiable.

## 10. BIBLIOGRAFIA.

- Temperatura. [Ref. De 3 marzo 2015]. Disponible en web.  
<<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalInteractiva/Calor/historia/historia.htm>>
- Caudal. [Ref. De 3 marzo 2015]. Disponible en web.  
<[http://www.diclib.com/caudal/show/es/es\\_wiki\\_10/6891](http://www.diclib.com/caudal/show/es/es_wiki_10/6891)>
- Gas. [Ref. De 3 marzo 2015]. Disponible en web.  
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Gas>>
- Nivel. [Ref. De 3 marzo 2015]. Disponible en web.  
<<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2001/Alvarez%20Labarca/Medicion%20de%20Niveles.htm>>
- Rodríguez Penin Aquilino. Sistemas SCADA 2ª edición. Ediciones técnicas 2007.  
MARCOMBO, S.A. Barcelona (España).
- Ramos, C.; Herrero, J.; Martínez, ; Blasco, X.  
Internet en el desarrollo de prácticas no presenciales con procesos industriales. EIWISA' 01. Madrid 2001.
- Domínguez, M.; Alonso A.; Reguera, P.; Gonzalez, J.J.; Fuertes J.J.;  
Optimización de tiempos en el proceso remoto vía internet a planta piloto para prácticas. EIWISA' 02. Alicante. España. 2002.
- J. Acedo Sánchez; Automatización  
Editorial ediciones Diaz de Santos.
- Ingeniería de control moderno, Katsuhiko Ogata, editorial Pearson educación, S.A.  
Madrid, 2003.
- Autómatas programables, Josep Balcells, José Luis Romeral. Editorial.  
Marcombo, SA. Barcelona (España).
- Ramos, C.; Herrero, J.; Martínez, ; Blasco, X.  
internet en el desarrollo de prácticas no presenciales con procesos industriales. EIWISA' 01. Madrid 2001.

Domínguez, M.; Alonso A.; Reguera, P.; González, J.J.; Fuertes J.J.;  
Optimización de tiempos en el proceso remoto vía internet a planta piloto  
para prácticas. EIWISA' 02. Alicante. España. 2002.

Variador de frecuencia. [Ref. De 24 marzo 2015]. Disponible en web.  
< [http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)>

Controlador T640.[Ref. De 24 marzo 2015]. Disponible en web.  
< <http://es.scribd.com/doc/56282206/El-Controlador#scribd>>

Comunicación RS232-RS485.[Ref. De 24 marzo 2015]. Disponible en web.  
< <http://www.puntoflotante.net/RS485.htm>>

Berkeley Physics Course, Volumen 2.  
Escrito por Edward M. Purcell en Google Libros.[Ref. De 25 marzo 2015]

Voltaje. [Ref. De 25 marzo 2015]. Disponible en Web:  
< <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/elevol.html> >

Investigacion experimentla.[Ref. De 25 marzo 2015]. Disponible en web:  
< [http://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n\\_experimental](http://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n_experimental)>

## ANEXOS

### ANEXO A. Guía sobre configuración del HMI del PLC Unitronics Vision 280.

Al realizar una aplicación en el PLC Unitronics, es requerido realizar una interfaces HMI, en la que se puede monitorear el proceso desde el mismo PLC. Para realizar esta interfaces se debe realizar desde el software VisiLogic una configuración del Hardware, seleccionando (!Start-Up Module) para abrir la pantalla de la figura 1:

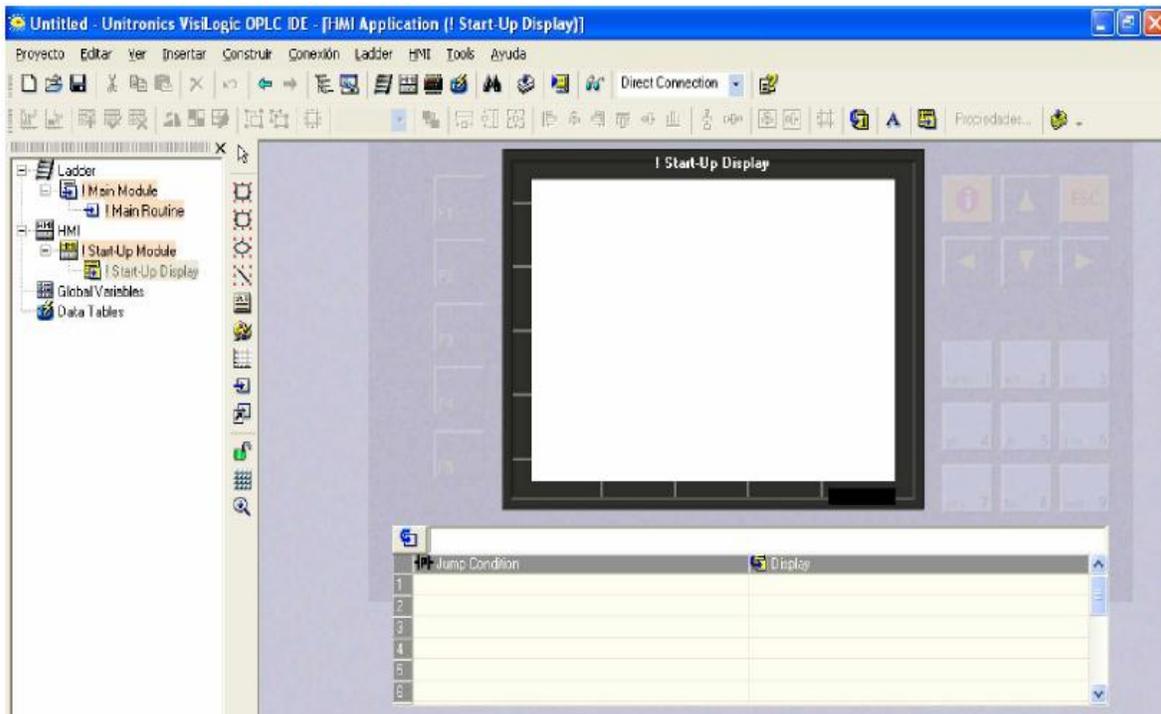


Figura 1. Pantalla de inicio Visilogic.

Al lado izquierdo se encuentra la barra de trabajo, en la que se encuentra el árbol del programa, tanto del LADDER como del HMI, seguida por la barra de elementos en la que se encuentran los Gráficos con lo que realizar el diseño del HMI del programa correspondiente, (según el orden: figuras básicas, texto, Bitmap= ingreso de imagen tipo .bmp, creación de eje estático, variable) las demás se utilizan poco en el desarrollo. Figura 2.

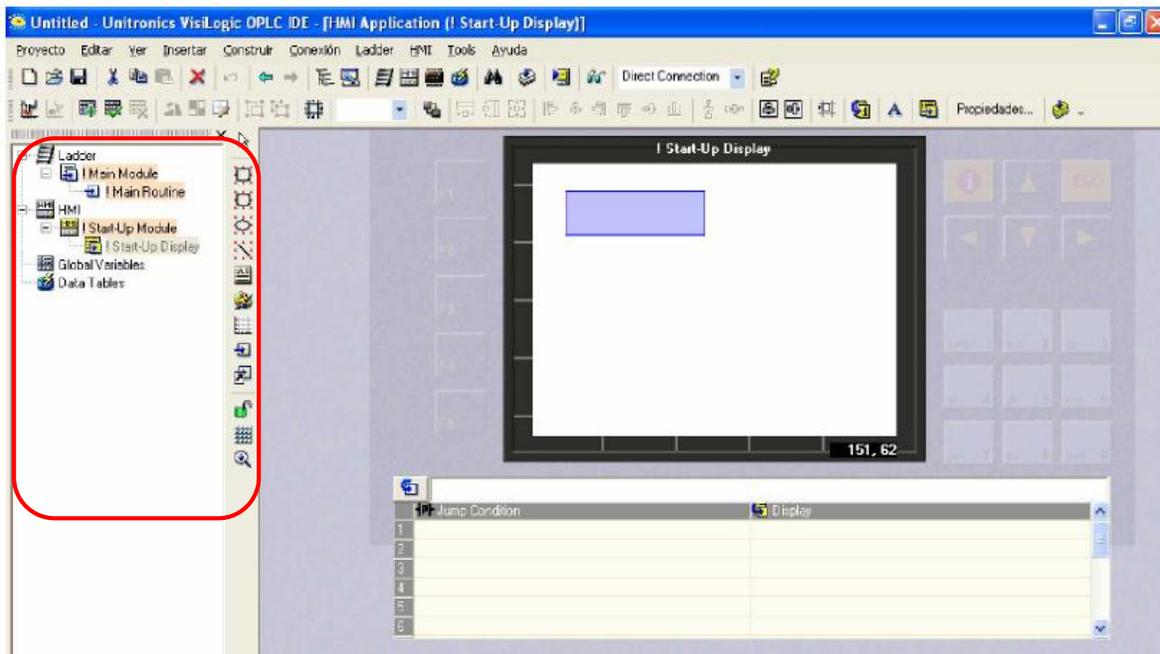


Figura 2. Barra de trabajo HMI.

En la figura Anterior se diseña un rectángulo en la pantalla del PLC, para que luego aparezca la siguiente ventana. Figura 3.

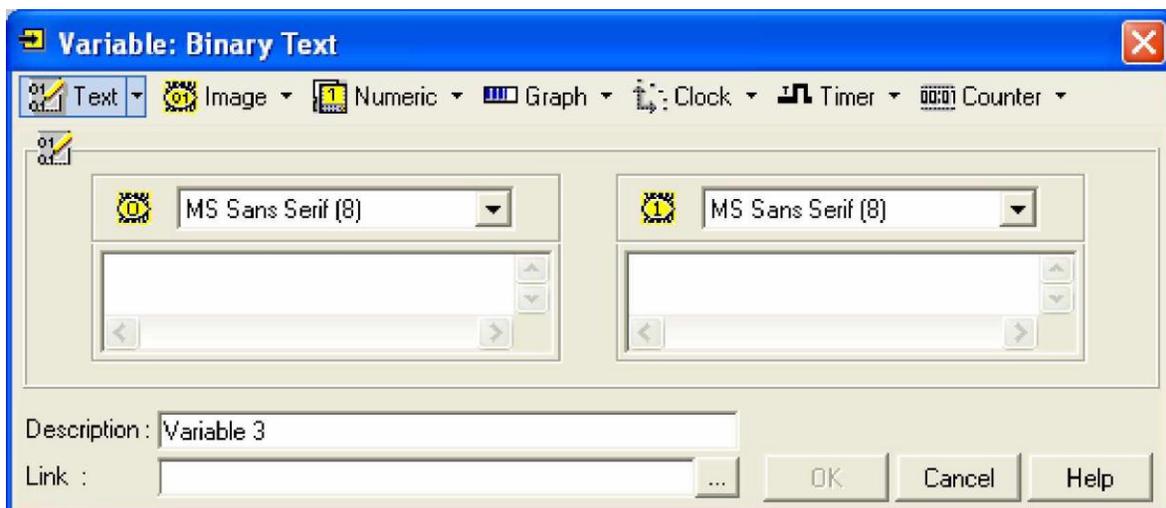


Figura 3. Configuración del rectángulo en la HMI.

En ella se escoge el tipo de variable que se quiere utilizar, ya sea de texto, imagen, numérica, gráfica y demás, dependiendo de la elección pedirá los textos o imágenes que corresponderán a los dos estados binarios del registro (MB) en este caso, o el rango correspondiente de ser un valor entero (MI). Figuras 4 y 5.

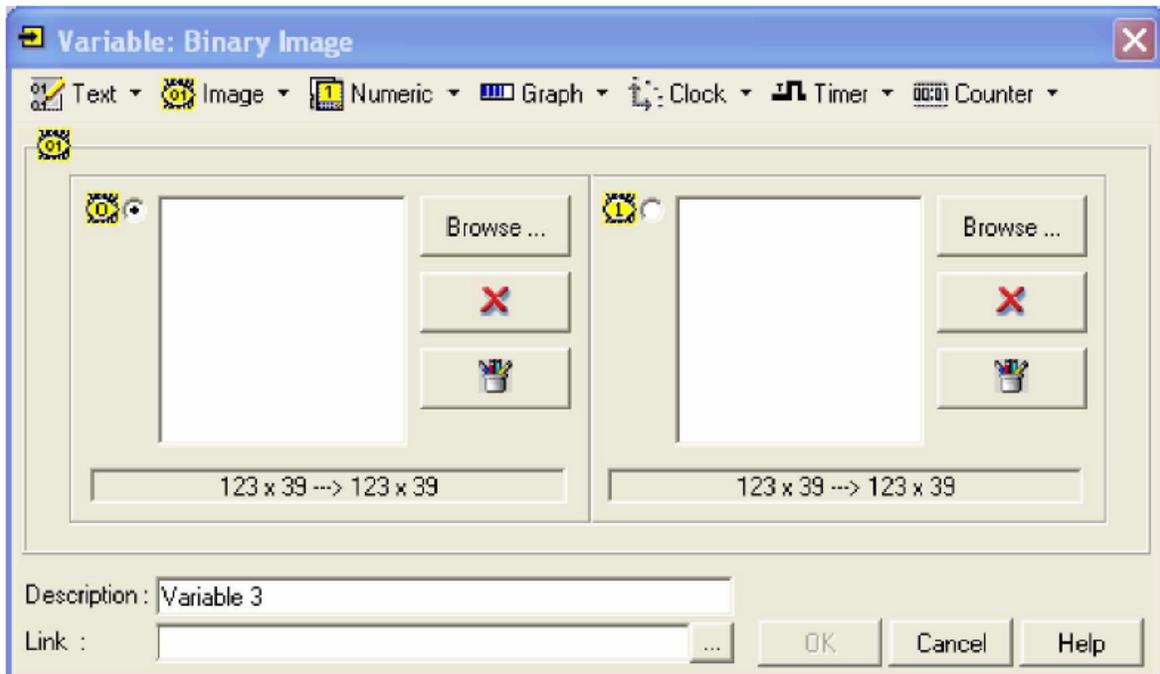


Figura 4. Seleccionar el tipo de variable en la HMI.

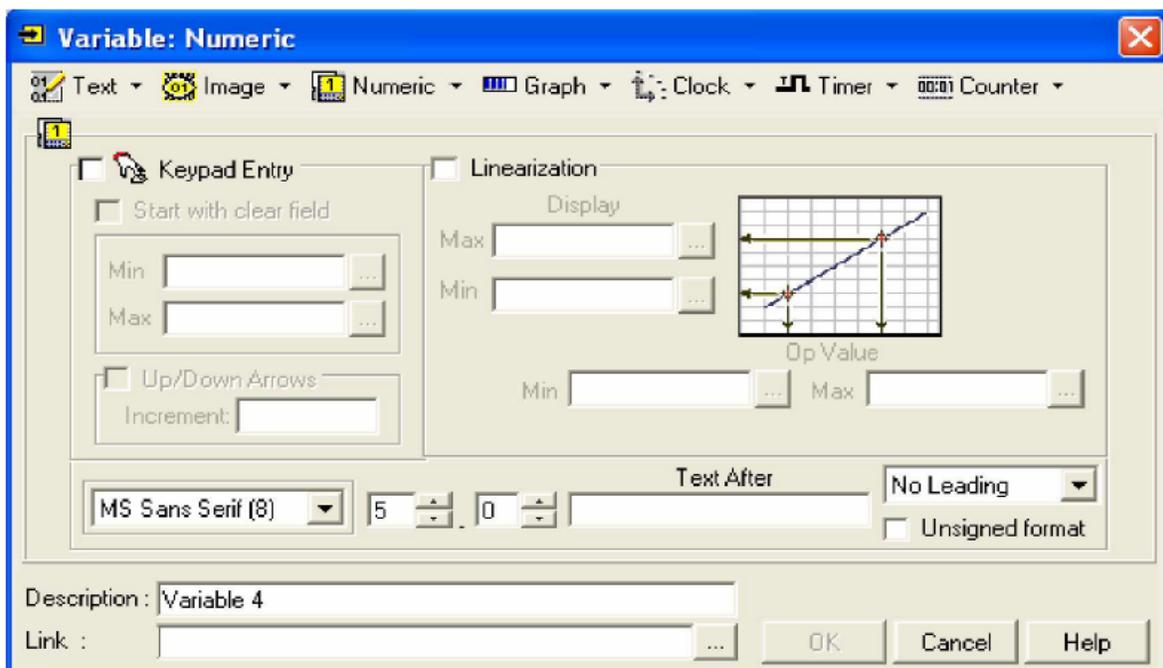


Figura 5. Enlazar la dirección del PLC al icono de la HMI.

En todas es común que pida un link, aquí es en donde buscamos el registro que queremos representar.

En caso de ser una variable numérica, se presenta dos opciones a elegir, una de linealización en la que se ingresan los rangos de la variable, tanto los de entrada

del registro como lo que más fácilmente entiende el operador, la otra es de entrada a través del panel en su opción de TouchScreen.

Para utilizar esta función es similar al anterior salvo que en este caso se utiliza cualquier elemento de diseño, luego de haberlo creado se le asigna la propiedad de Touch dando un clic sobre el elemento escogido con el botón derecho del Mouse o a través del menú HMI de la barra de tareas. Figura 6.

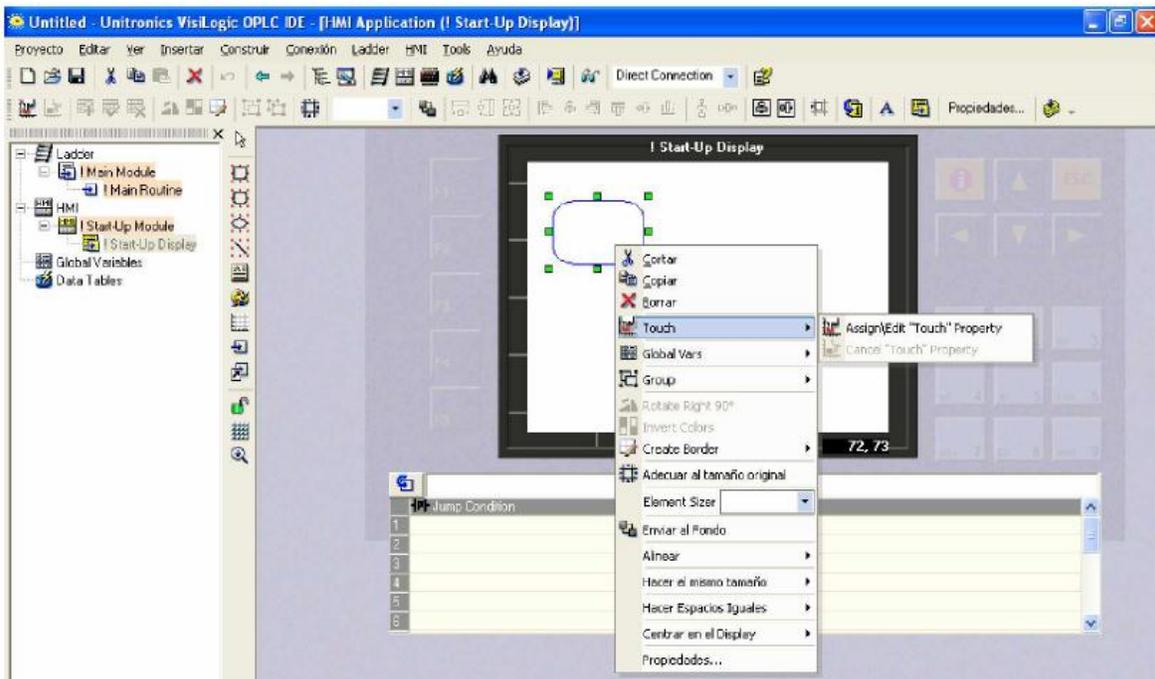


Figura6. Configuración del icono en la HMI.

Después se abre la ventana seleccione operando y dirección. Figura 7.

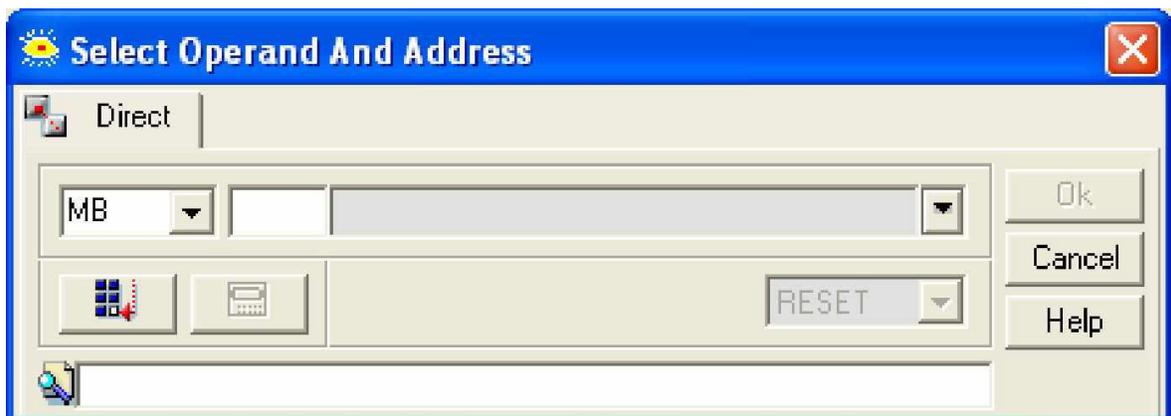


Figura 7. Selección de la dirección asignada en la HMI.

En la que se referencia a un MB o MI del programa ya sea el caso particular. Cuando se acepta el elemento toma tonalidad diferente a los demás.

Por ultimo solo queda realizar una representación gráfica lo más parecido al proceso que se desea supervisar, para ello el software cuenta con una biblioteca de imágenes bitmap, las cuales se convocan con la herramienta Bitmap de la barra del centro.

Para realizar saltos entre diferentes Display se inserta una condición de salto en la que se referencia el registro que hará el salto y a cual Display lo hará. Figura 8.



Figura 8. Configuración del bit para el cambio de pantalla.

## ANEXO B. Guía para el manejo del registrador EUROTHERM-MODELO 5100 E.

Conexiones eléctricas figura 1:

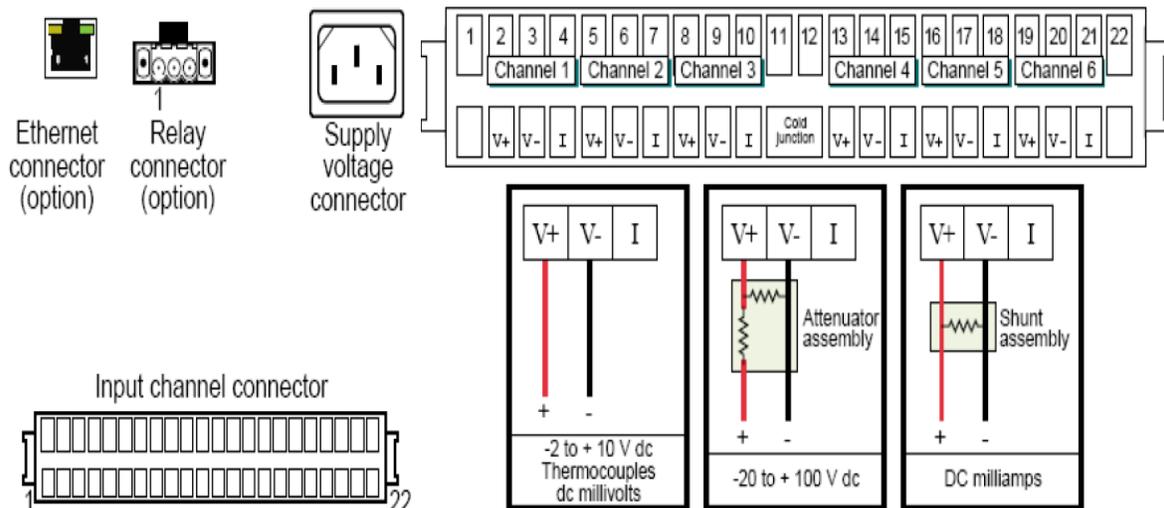


Figura 1. Conexión eléctrica del graficador.

Muestras de las variables en un determinado proceso: Figura 2. Si se quiere saber en qué tiempo transcurrió un determinado suceso (pico de la variable, por ejemplo.) debe dejar oprimida la pantalla donde se está graficando el proceso. A continuación

aparecerá en la pantalla un mensaje que dirá (preparando histórico). Y se deberá oprimir de nuevo la pantalla y saldrá a continuación un cursor, que le indicara la hora en que ocurrió el evento. La hora usted podrá visualizarla en la parte superior derecha del graficador.

Para volver al grafico del proceso, se deberá oprimir el menú principal del usuario que está ubicado en la parte superior izquierda y oprimir la opción inicio.

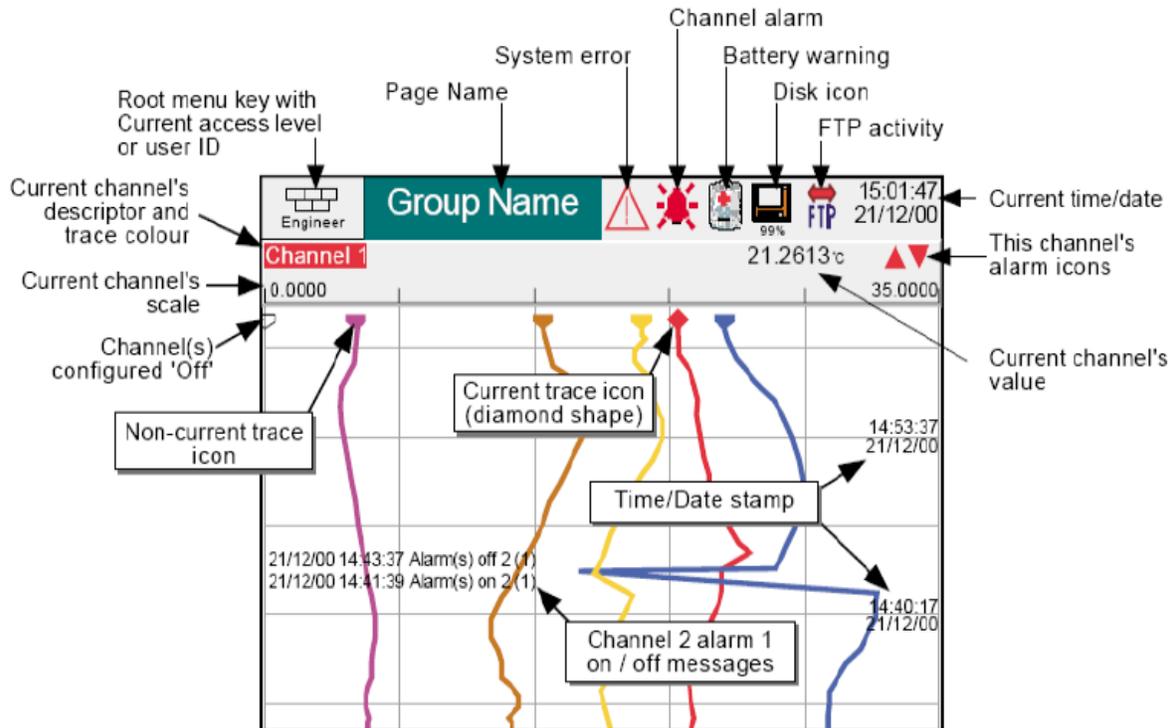


Figura 2. Muestra de las variables.

Opciones del menú del usuario. Figura 3.

Root Menu	
Home	Operator
File	Cycle
Login	Options

Figura 3. Menú de usuario.

Inicio: Este botón le permite al usuario visualizar la gráfica entregada en un determinado proceso, en la opción, "ir a pantalla" (ubicada en el menú) el usuario

también puede observar la misma grafica del proceso en demostración vertical, horizontal y pagina numérica.

**Operador:** Esta opción le permite al usuario ver información específica del registrador, como lo son datos de fábrica, cambio de usuario para iniciar una nueva sesión, y observar y modificar datos en la carpeta del sistema. (Esta opción está ligada al nivel de seguridad y privilegios que posee cada usuario). Estos datos solo pueden ser modificados por el usuario “ingeniería”.

**Fichero:** En esta opción, se encuentran datos del sistema accesibles para cada usuario, también se puede visualizar información encontrada en un disquete (donde haya sido grabado un determinado proceso).

**Conectar:** Esta opción ya mencionada anteriormente en el botón “operador”. Le permite a un usuario abrir o cerrar su sesión, para seleccionar otra cuenta, introduciendo su respectiva clave.

**Opciones:** este acceso le permite al usuario, crear notas para un determinado proceso (por ejemplo, recordar un evento en la gráfica de una determinada variable), también se puede entrar al histórico. (Ya mencionado anteriormente).

#### TENDENCIAS:

En estos modos se observan las variables de los procesos, en las unidades en las que hayan sido configuradas. (por ejemplo °C.).

Tendencia Vertical: Figura 4.

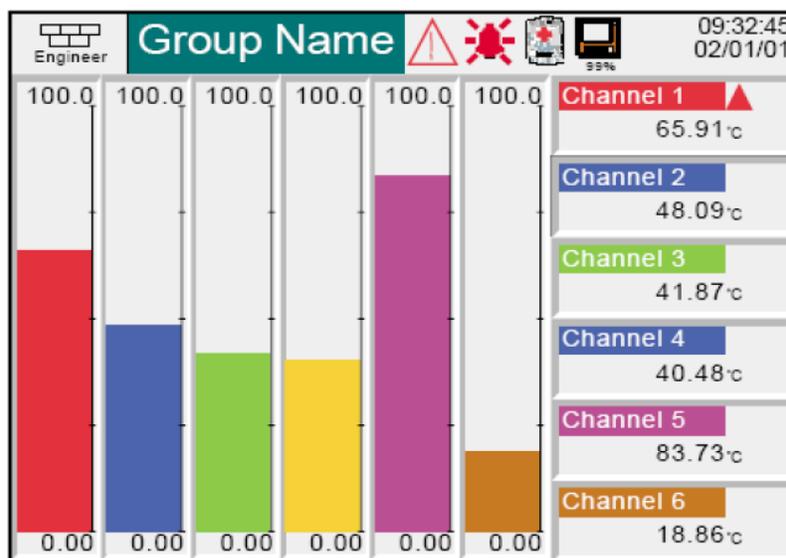


Figura 4. Tendencia en modo vertical

Grafico Barras Horizontales. Figura 5.

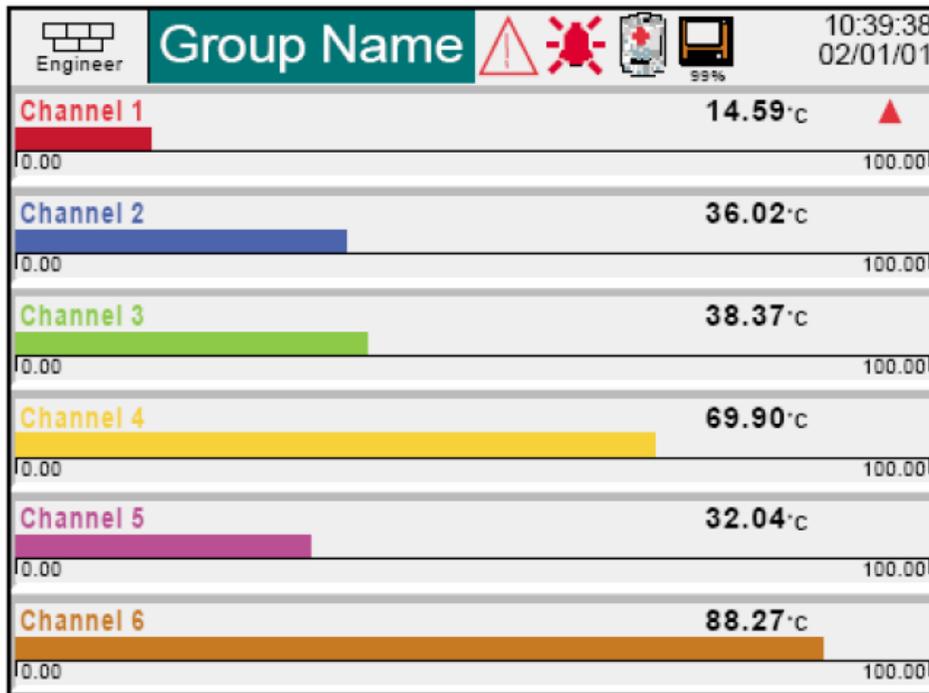


Figura 5. Barras Horizontales

### ANEXO C. Manual Para Usar las Estrategias Precargadas del Controlador T640.

Lo primero que se debe hacer para utilizar una estrategia es seleccionarla por medio del Switch 1 (SW1) que se encuentra dentro del controlador. Para acceder a este Switch se debe destapar el dispositivo moviendo el seguro de abajo hacia la derecha y el de arriba para la izquierda con la ayuda de un destornillador. Una vez hecho esto, se introduce el destornillador en el espacio del seguro de abajo y se empuja hacia abajo el destornillador, con lo cual se logra que el panel se desplace hacia afuera y se pueda retirar de la carcasa junto con todo el hardware interno.

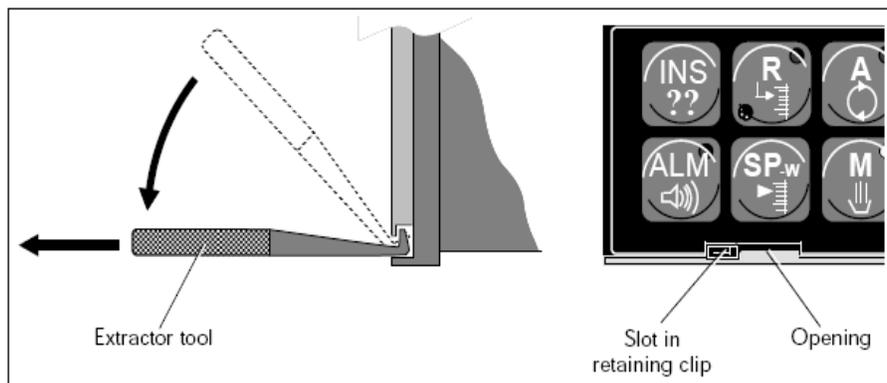


Figure 2-4 Withdrawing T640 from the sleeve

Una vez hecho esto, en la parte de abajo de la tarjeta principal se puede observar el SW1.

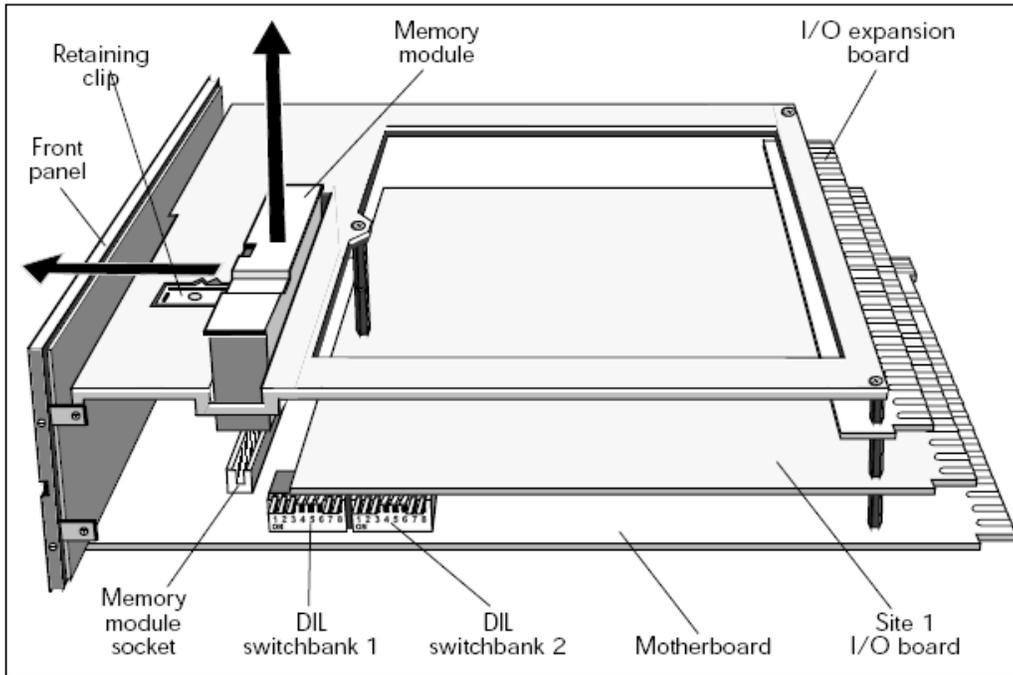


Figure 2-10 T640 internal layout (example)

Para seleccionar la estrategia requerida se utilizan los 3 últimos bits (6, 7 y 8) de este Switch, como se explica en la siguiente figura.

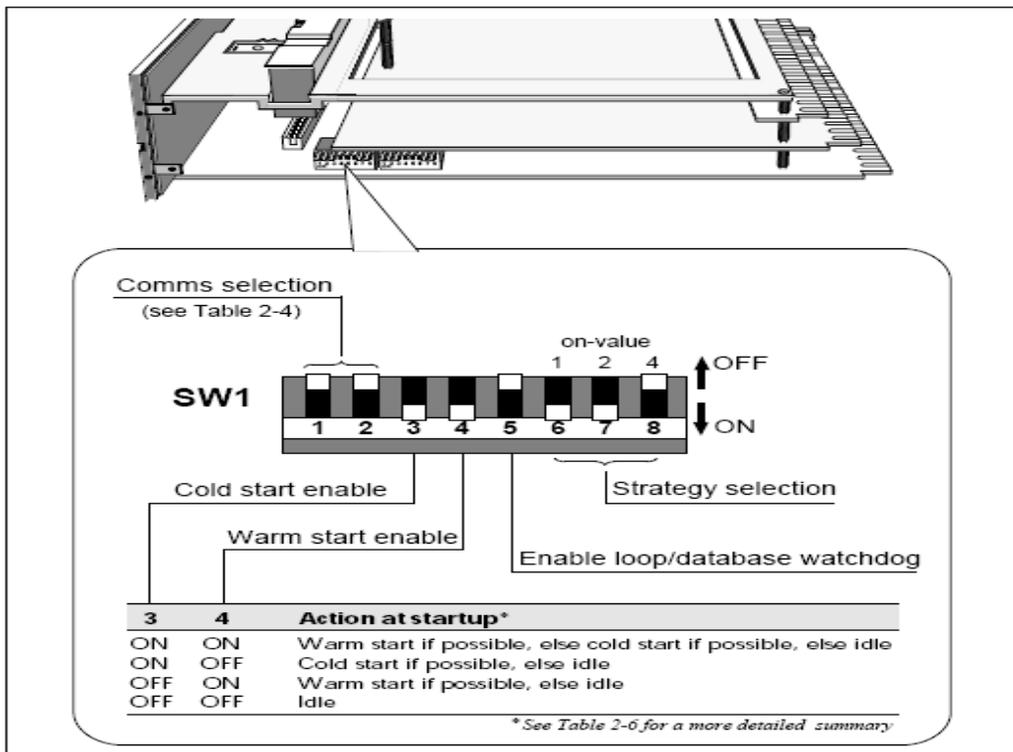


Figure 2-12 SW1 location and functions

Además, con los bits 3 y 4 se selecciona el tipo de arranque del equipo, arranque en caliente (Warm Start) o arranque en frío (Cold Start). Cuando se selecciona el arranque en caliente, el controlador carga la última configuración en la que se trabajó, sin importar si se tiene escogida otra estrategia o ninguna. Por otra parte, al seleccionar arranque en frío, el controlador carga la estrategia seleccionada con sus valores por defecto, es decir, como viene configurada de fábrica, borrando así cualquier configuración realizada previamente. Si se ponen en ON los dos bits (esta es la posición por defecto), el controlador intenta realizar un arranque en caliente con la última configuración trabajada, y en caso de no poder cargar dicha configuración o no tenerla disponible simplemente porque no existe, realiza un arranque en frío.

Para poder usar de manera correcta las estrategias de control precargadas en el controlador T640 se necesitan 2 archivos: El “T640 User Guide.pdf” y el archivo T640CX.doc de la estrategia elegida (donde X es el número de la estrategia) que se encuentra en la carpeta “Estrategias”. Tanto el archivo PDF como la carpeta mencionada se encuentran adjuntos a este documento.

En el archivo “T640 User Guide.pdf” se encuentra la descripción de cada una las estrategias precargadas en el controlador (pág. 5-2, tabla 5-1).

n	Name	Summary
1	T640C1	Two simple PID control loops, each acting as a standalone controller, or as a cascade slave or master to another controller. Both analogue & time-proportioned digital outputs are provided.
2	T640C2	Two cascade pairs of PID controllers. Pair 1 has loop 1 as slave & loop 2 as master. Pair 2 has loop 3 as slave & loop 4 as master. Each pair can be standalone, or can accept a remote setpoint to the master. Both analogue & time-proportioned digital outputs are provided.
3	T640C3	Two simple PID control loops with raise/lower digital outputs, each acting as a standalone controller, or as a cascade slave to another controller. The use of position feedback for display purposes, or of limit switch feedback signals, is optional.
4	T640C4	Two PID control loops: loop 1 controls to a remote setpoint in ratio to loop 3's PV. The ratio is set and displayed on a ratio station in loop 2. Loop 3 can accept a remote setpoint from another controller, as can the ratio station. Both analogue & time-proportioned digital outputs are provided.
5	T640C5	Two PID flow control loops with temperature- and pressure-corrected flow measurements. Each loop can act as a standalone controller, or as a cascade slave to another controller. Both analogue & time-proportioned digital outputs are provided.
6	T640C6	Two PID control loops with heat/cool type outputs, each acting as a standalone controller, or as a cascade slave to another controller. Both analogue & time-proportioned digital outputs are provided for the heat and the cool outputs of each loop. Note that separate PID control functions and displays are used for the heat and the cool phases of each loop — the first loop uses loop 1 (heat) and loop 2 (cool); the second loop uses loop 3 (heat) and loop 4 (cool).
7	T640T1	Two simple PID control loops, acting standalone or together as a cascade pair. Loop 1 has two inputs: mV to suit direct plant wiring, and V to suit a Hi-Level input from a transmitter (1-5V etc.). The control output is a current source. Only one input should be used in any strategy; the other is put in manual with PV configured low. Loop 1 is the Slave if Cascade control is enabled. Loop 2 has one mV input to suit direct plant wiring. The control output is a voltage source (0-10V etc.). Loop 2 is the Master if Cascade control is enabled.

Table 5-1 Summary of the strategies supplied in EEPROM as .PKn files

Si se quiere utilizar, por ejemplo, la estrategia 1 (dos PID's simples), primero se debe destapar el controlador y seleccionar dicha estrategia en el SW1, es decir, poner en ON el bit 6 y en OFF los bits 7 y 8. Después de esto, al encender el controlador la estrategia 1 debe ser cargada automáticamente.

Para saber la asignación de entradas y salidas para esta estrategia, se utiliza el documento T640C1.doc. Aquí también se encuentra la descripción de la estrategia como tal, en que consiste, como funciona y como fue programada. Entonces, para esta estrategia en particular, el Pin-out es el siguiente:

I/O Allocation:

The configuration assumes two High-level I/O boards are fitted.

Block name	Block type	Site/Chn (Terminal)	Function
P_V_1	AN_IP	1/1 (1E)	loop 1 process variable
RSP_1	AN_IP	1/2 (1F)	loop 1 remote setpoint
TRCK1	AN_IP	1/3 (1H)	loop 1 output track value
OUTP1	AN_OUT	1/3 (1A,1B)	loop 1 mA control output
P_V_2	AN_IP	2/1 (2E)	loop 2 process variable
RSP_2	AN_IP	2/2 (2F)	loop 2 remote setpoint
TRCK2	AN_IP	2/3 (2H)	loop 2 output track value
OUTP2	AN_OUT	2/3 (2A,2B)	loop 2 mA control output
DGINS	DG_IN	1/1 (1P)	loop 1 remote enable
		1/2 (1Q)	loop 1 track select
		1/3 (1R)	loop 2 remote enable
		1/4 (1S)	loop 2 track select.
DGPLS	DGPULS_4	1/1 (1T)	loop 1 TPO control output
		1/2 (1U)	loop 1 remote active
		1/3 (1V)	loop 2 TPO control output
		1/4 (1W)	loop 2 remote active
DGOPS	DG_OUT	2/1 (2T)	loop 1 not in Hold or Manual
		2/2 (2U)	loop 2 not in Hold or Manual

En la primera columna se encuentran los nombres de los bloques (señales) programados, en la segunda columna se encuentran especificados los tipo de

bloques, en la tercera se encuentran las asignaciones de las señales al I/O del equipo, y en la cuarta columna se puede observar la función de cada bloque.

Por ejemplo, para el primer PID la variable a sensor se debe conectar a la bornera 1E (Tarjeta 1/Canal 1), y la salida (en este caso de corriente, 4-20mA) corresponde a los pines 1A y 1B (Tarjeta 1/Canal 3).

La numeración de los canales y los puntos de tierra se pueden consultar en el archivo “T640 User Guide.pdf” en el diagrama general de I/O (pág. 216, tabla 2-2).

Terminal (SiteNo=2)		Linked block	Terminal (SiteNo=1)		Linked block
2A	Current output +	AN_OUT <i>OutType</i> = mA	1A	Current output +	AN_OUT <i>OutType</i> = mA
2B	Current output -		1B	Current output -	
2C	TX power supply +		1C	TX power supply +	
2D	TX power supply -		1D	TX power supply -	
2E	Analogue input, Channel 1	AN_IP: <i>InType</i> = Volts	1E	Analogue input, Channel 1	AN_IP: <i>InType</i> = Volts
2F	Analogue input, Channel 2	AN_IP: <i>InType</i> = Volts	1F	Analogue input, Channel 2	AN_IP: <i>InType</i> = Volts
2G	Analogue ground		1G	Analogue ground	
2H	Analogue input, Channel 3	AN_IP: <i>InType</i> = Volts	1H	Analogue input, Channel 3	AN_IP: <i>InType</i> = Volts
2J	Analogue input, Channel 4	AN_IP: <i>InType</i> = Volts	1J	Analogue input, Channel 4	AN_IP: <i>InType</i> = Volts
2K	Analogue ground		1K	Analogue ground	
2L	Analogue output, Channel 1	AN_OUT: <i>OutType</i> = Volts	1L	Analogue output, Channel 1	AN_OUT: <i>OutType</i> = Volts
2M	Analogue output, Channel 2	AN_OUT: <i>OutType</i> = Volts	1M	Analogue output, Channel 2	AN_OUT: <i>OutType</i> = Volts
2N	Analogue ground		1N	Analogue ground	
2P	Digital input Bit0	DG_IN: <i>InType</i> = Volts	1P	Digital input Bit0	DG_IN: <i>InType</i> = Volts
2Q	Digital input Bit1		1Q	Digital input Bit1	
2R	Digital input Bit2		1R	Digital input Bit2	
2S	Digital input Bit3		1S	Digital input Bit3	
2T	Digital output, Bit0	DG_OUT	1T	Digital output, Bit0	DG_OUT, DGPULS_4  N.B. In DGPULS_4 block, Bit0 - Bit3 correspond to Chan1 - Chan4, resp.
2U	Digital output, Bit1		1U	Digital output, Bit1	
2V	Digital output, Bit2		1V	Digital output, Bit2	
2W	Digital output, Bit3		1W	Digital output, Bit3	
2X	(Not connected)		1X	*Pullup: 15V out OR 24V in	
2Y	Digital ground		1Y	Digital ground	
2Z	Digital ground		1Z	Digital ground	

NB. SiteNo, Channel, & Bit numbers refer to the associated I/O function block's corresponding parameters

\*Pullup connects internally to digital outputs of both sites

Table 2-2 Customer terminals for high-level I/O options — Site 2 (left) & Site 1 (right)

## ANEXO D. Configuración Eléctrica del Variador de Velocidad SIEMENS.

Instalación eléctrica:

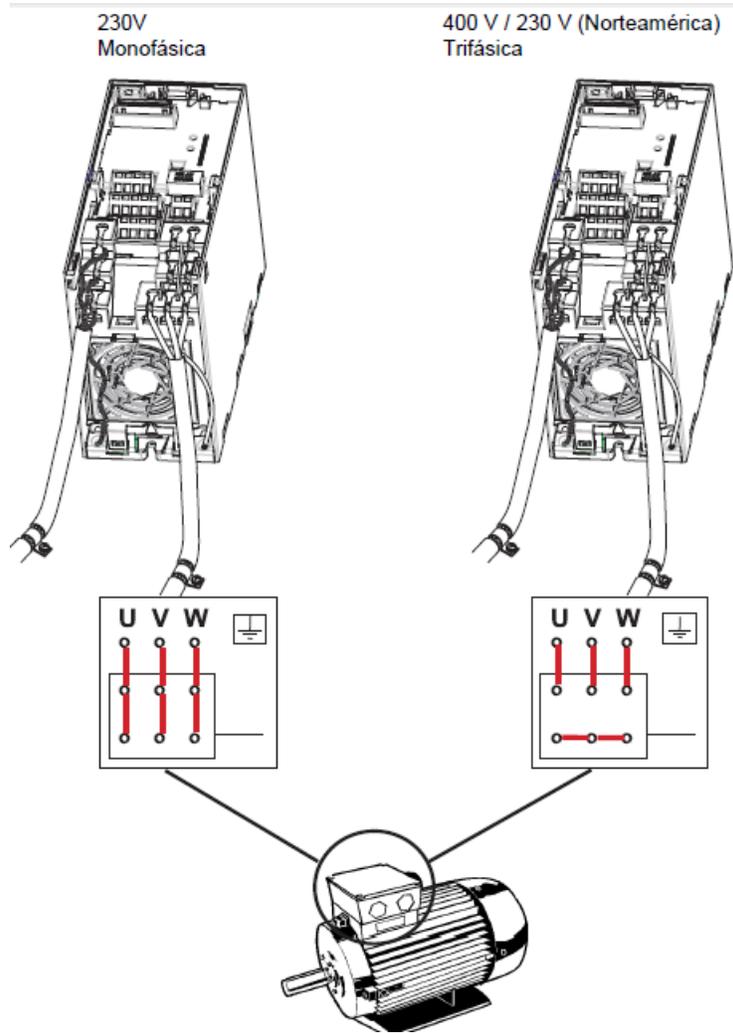


Figura 1. Conexión eléctrica para el variador de velocidad.

### Poner en servicio el convertidor MICROMASTER 420.

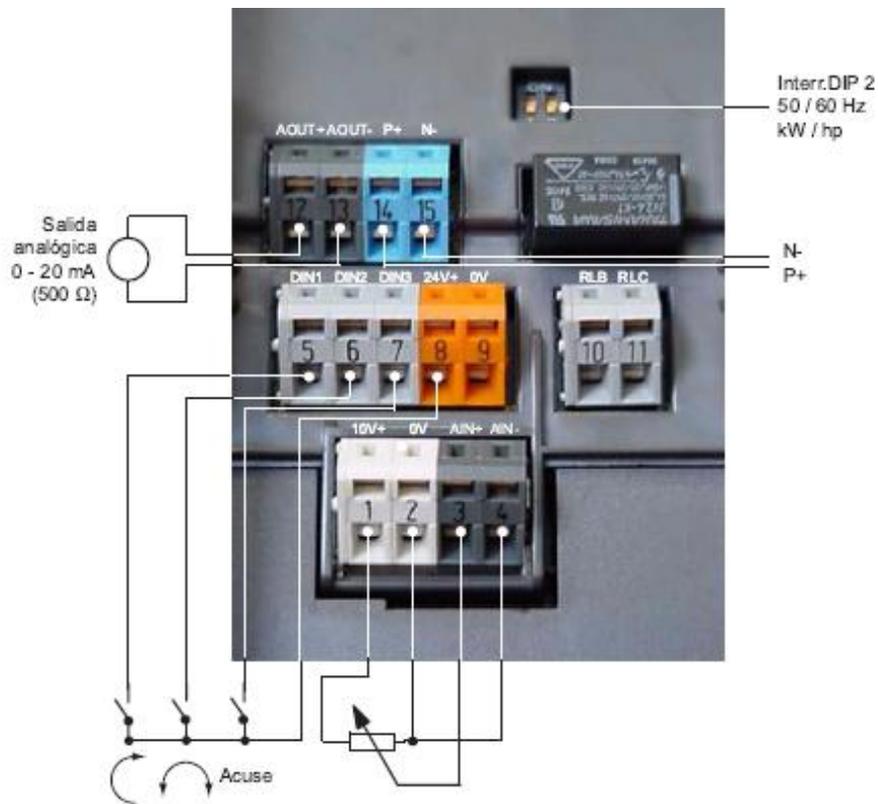
El MM420 se entrega equipado con un panel SDP (Status Display Panel) y parámetros ajustados por defecto que cubren los requisitos siguientes:

- ✓ Los datos nominales del motor – tensión, corriente y frecuencia – son todos compatibles con los datos del convertidor (se recomienda utilizar un motor estándar de Siemens).

- ✓ Característica V/f lineal de variación de velocidad en el motor, controlada por un potenciómetro analógico.
- ✓ Velocidad máxima 3000 min<sup>-1</sup> con 50 Hz (3600 min<sup>-1</sup> con 60 Hz), controlable con un potenciómetro a través de las entradas analógicas del convertidor.
- ✓ Tiempo de aceleración / tiempo de deceleración = 10 s.

Si se requieren ajustes para aplicaciones más complejas, consultar la lista de parámetros en las Instrucciones de uso.

### Ajustes por defecto. Figura 2.



Entrada digital	Borne	Parámetro	Operación por defecto
1	5	P0701 = '1'	ON a derechas
2	6	P0702 = '12'	Giro inverso
3	7	P0703 = '9'	Acuse de fallos
Relé de salida	10/11	P0731 = '52.3'	Señalización de fallos
Salida analógica	12/13	P0771 = '21'	Frecuencia de salida

Figura 2. Ajustes para el variador.

## ANEXO E. Reconocimiento y Verificación del Plano Eléctrico de la Estación.

El objetivo de esta labor a parte de conocer el circuito del PLC era confrontar el mismo con cada una de las conexiones reales de la estación, para tener seguridad en el momento de energizar y hacer las pruebas.

Durante el desarrollo de esta actividad encontramos diferencias entre las conexiones físicas y las propuestas en el plano:

- El controlador indicador de temperatura (TIC03) se encontraba conectado como lo muestra la imagen 1.

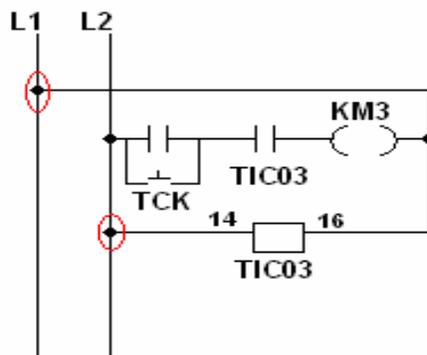


Imagen 1.

Y esta debe ser la conexión tal como aparece en el plano imagen 2.

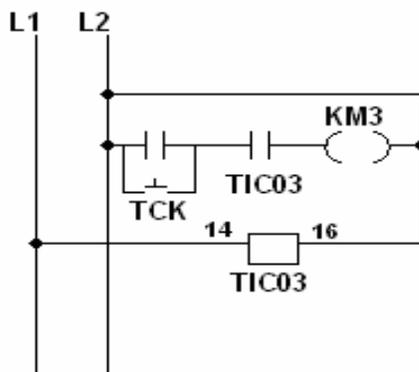


Imagen 2.

- La fuente de 24 voltios del PLC aparece en el plano conectada como lo muestra la imagen 3.

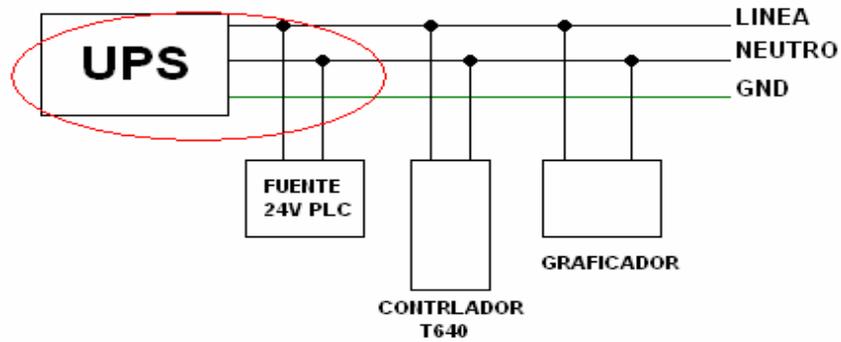


Imagen 3.

En la realidad esta aparece conectada directamente a la red regulada. Imagen 4.

- La fuente de 24 voltios que energiza los relés que accionan las válvulas solenoides solo existe en el plano.
- En el tablero no se han hecho las conexiones eléctricas para los siguientes instrumentos:
  - ✓ Controlador T640
  - ✓ Graficador
  - ✓ Control de nivel Warrick

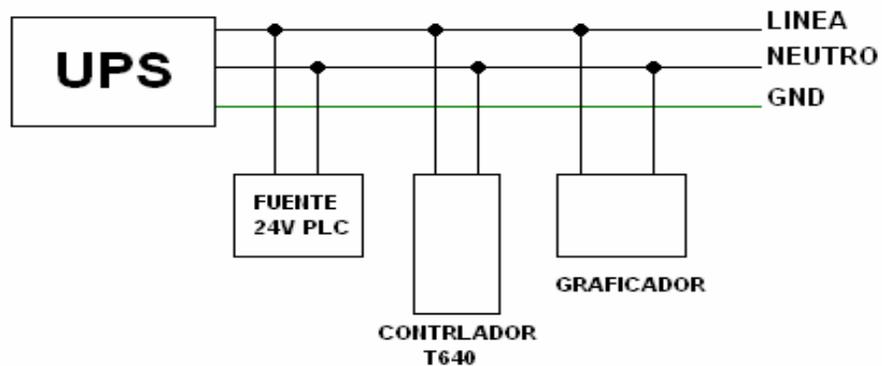


Imagen 4

- ✓ Se debe corregir el plano para la conexión del control de temperatura desde el pirómetro pues esta no tiene lógica. Imagen 5.

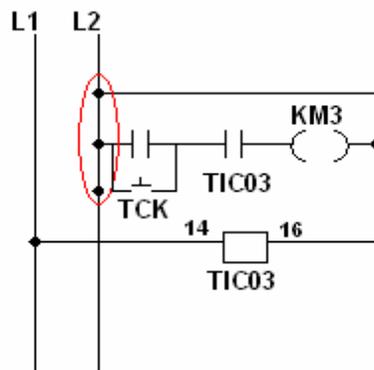


Imagen 5.

Se debe tener en cuenta que la bobina KM3 del Contactor se energiza con 220 voltios y de esta forma no se puede hacer la conexión.

### ANEXO F. Reconocimiento y Verificación del Plano Eléctrico de Control:

Para el cumplimiento de esta labor se plantearon dos tareas fundamentales:

- ✓ Confrontar el plano eléctrico con las conexiones físicas y verificar en el programa para el PLC si las entradas y salidas tanto análogas como digitales corresponden a las conexiones en el plano y en el tablero eléctrico. Imagen 6.

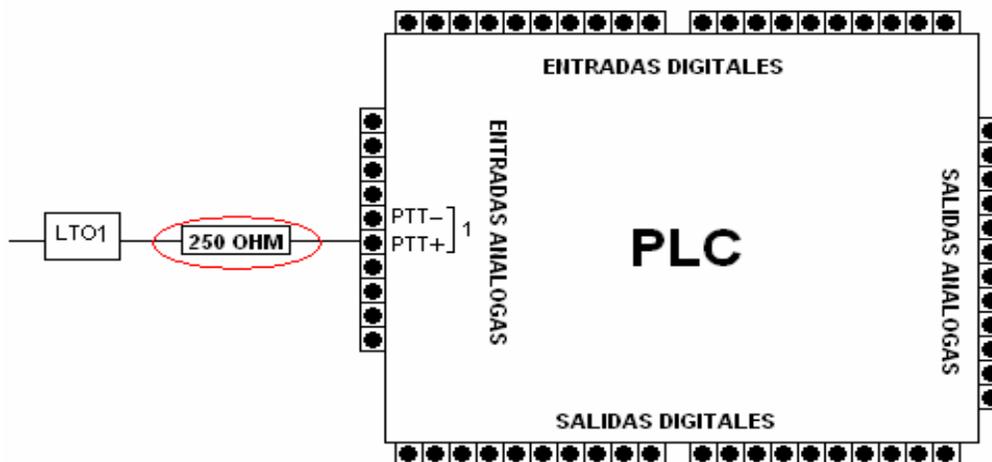


Imagen 6.

- ✓ En la parte de control del tablero eléctrico hace falta montar las resistencias de 250 ohmios que van a ser usadas para llevar la señal de 1 a 5 voltios para el Graficador. Imagen 7.

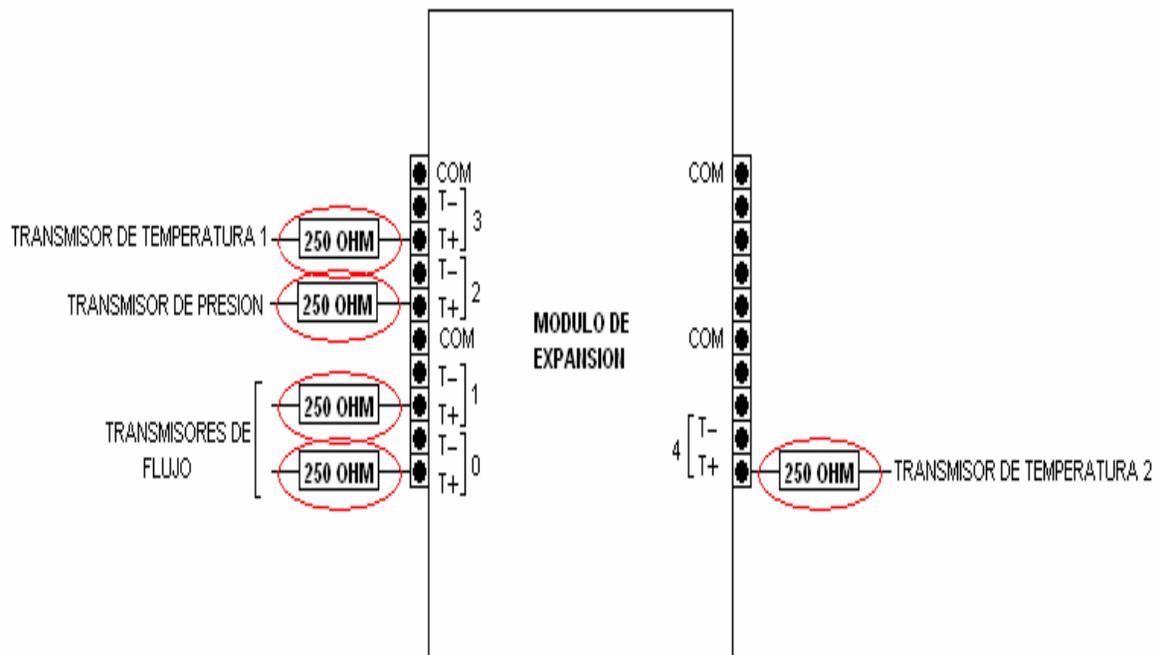


Imagen 7.

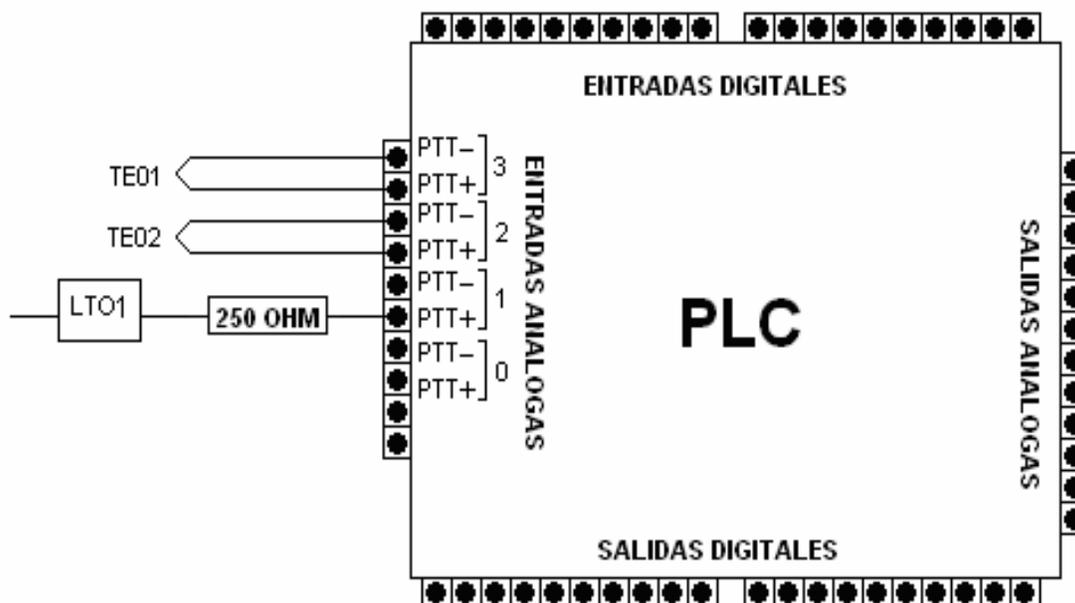
En la otra parte de la verificación se confrontaron las entradas análogas que se mencionan en el programa del PLC con el plano y con el tablero.

V200-18-E3/4XB

Digital Inputs   
  Digital Outputs   
  Analog Inputs   
  Analog Outputs   
  High Speed

No.	Type	Filter	Mode	Op	Addr	Description
0	None	No filter				
1	4-20mA	No filter	12 bit	MI	0	Entrada de Nivel
2	T/C type J	No filter	*C	MI	6	Entrada de Temperatura 3
3	T/C type J	No filter	*C	MI	7	Entrada de Temperatura 4

ENTRADAS ANALOGAS DEL PLC. (Programa)



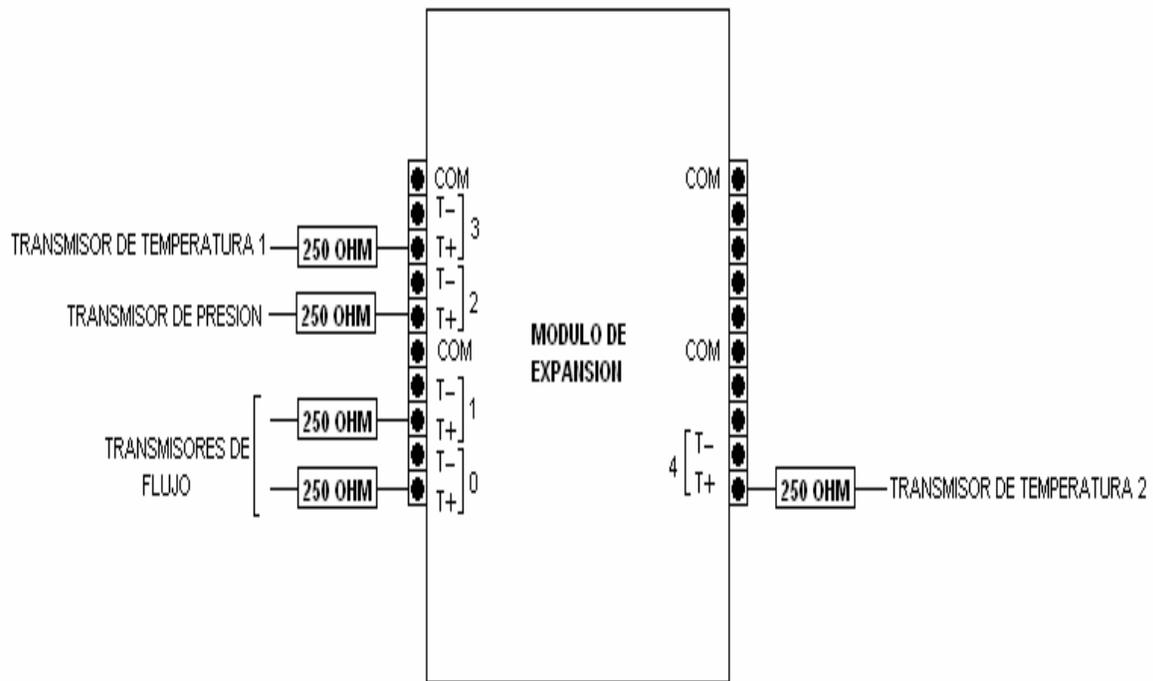
ENTRADAS ANALOGAS DEL PLC. (Plano).

IO-ATC8

Analog Inputs

No.	Type	Filter	Mode	Op	Addr	Description
0	4-20mA	No filter	Normal	MI	3	Entrada de Caudal 2
1	4-20mA	No filter	Normal	MI	2	Entrada de Caudal 1
2	4-20mA	No filter	Normal	MI	1	Entrada de Presion
3	4-20mA	No filter	Normal	MI	4	Entrada de Temperatura 1
4	4-20mA	No filter	Normal	MI	5	Entrada de Temperatura 2
5	None	No filter				
6	None	No filter				
7	None	No filter				

ENTRADAS ANALOGAS DEL MODULO DE EXPANSION. (Programa)



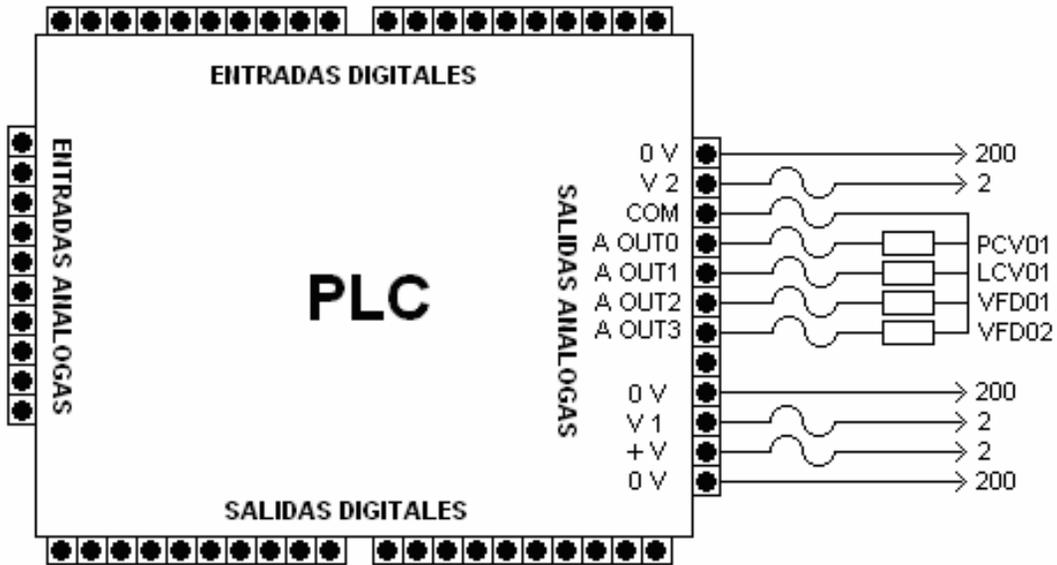
ENTRADAS ANALOGAS DEL MODULO DE EXPANSION. (Plano)

V200-18-E3/4XB

Digital Inputs  
  Digital Outputs  
  Analog Inputs  
  Analog Outputs  
 High Speed

No.	Type	Op	Addr	Description
0	4-20mA	MI	9	Salida Presion
1	4-20mA	MI	8	Salida Nivel
2	4-20mA	MI	2	Entrada de Caudal 1
3	4-20mA	MI	11	Salida Caudal 2

SALIDAS ANALOGAS DEL PLC. (Programa)



SALIDAS ANALOGAS DEL PLC. (Plano)

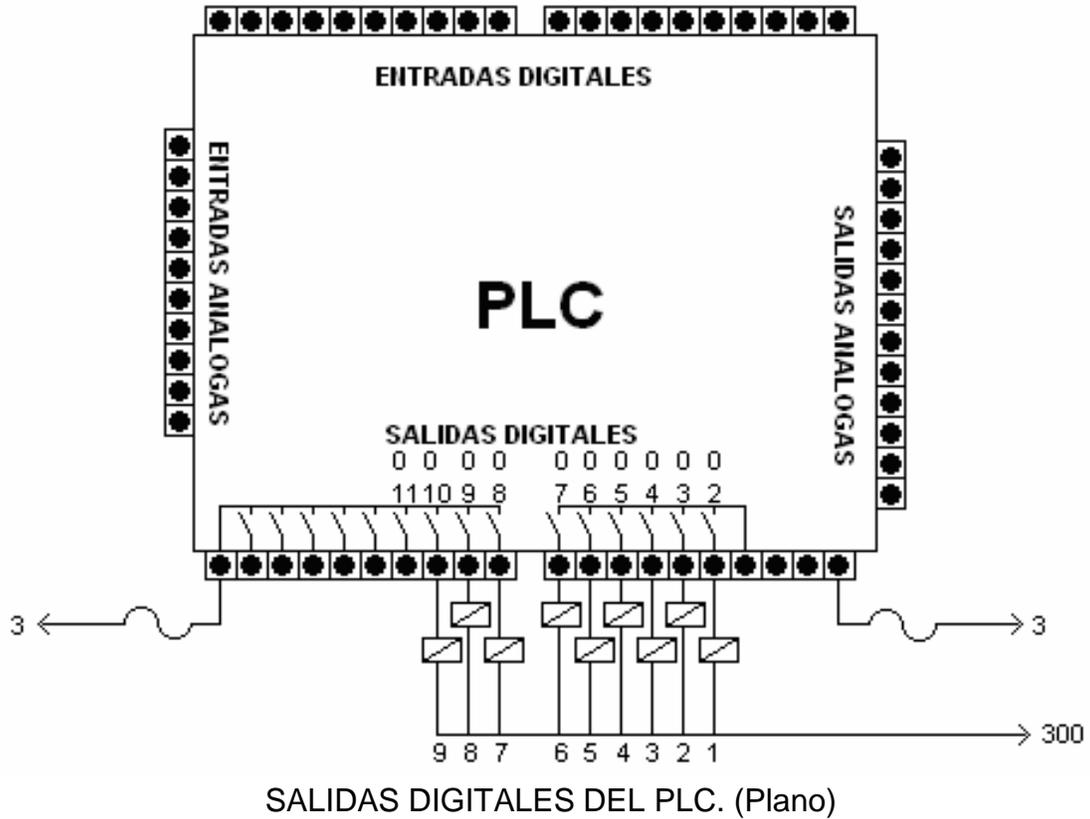
- ✓ PCV 01: Válvula de control de nivel (salida de presión).
- ✓ LCV 01: Válvula de control de nivel (salida de nivel).
- ✓ VFD 01: Variador de velocidad # 01 (salida de caudal 1).
- ✓ VFD 02: Variador de velocidad # 02 (salida de caudal 2).

V200-18-E3/4XB

Digital Inputs    Digital Outputs    Analog Inputs    Analog Outputs    High

	Op	Addr	Description
PNP	0	0	
	0	1	
RELAY	0	2	Calentador
	0	3	B01
	0	4	B02
	0	5	SV01
	0	6	SV02
	0	7	SV03
	0	8	SV04
	0	9	SV05
	0	10	SV06

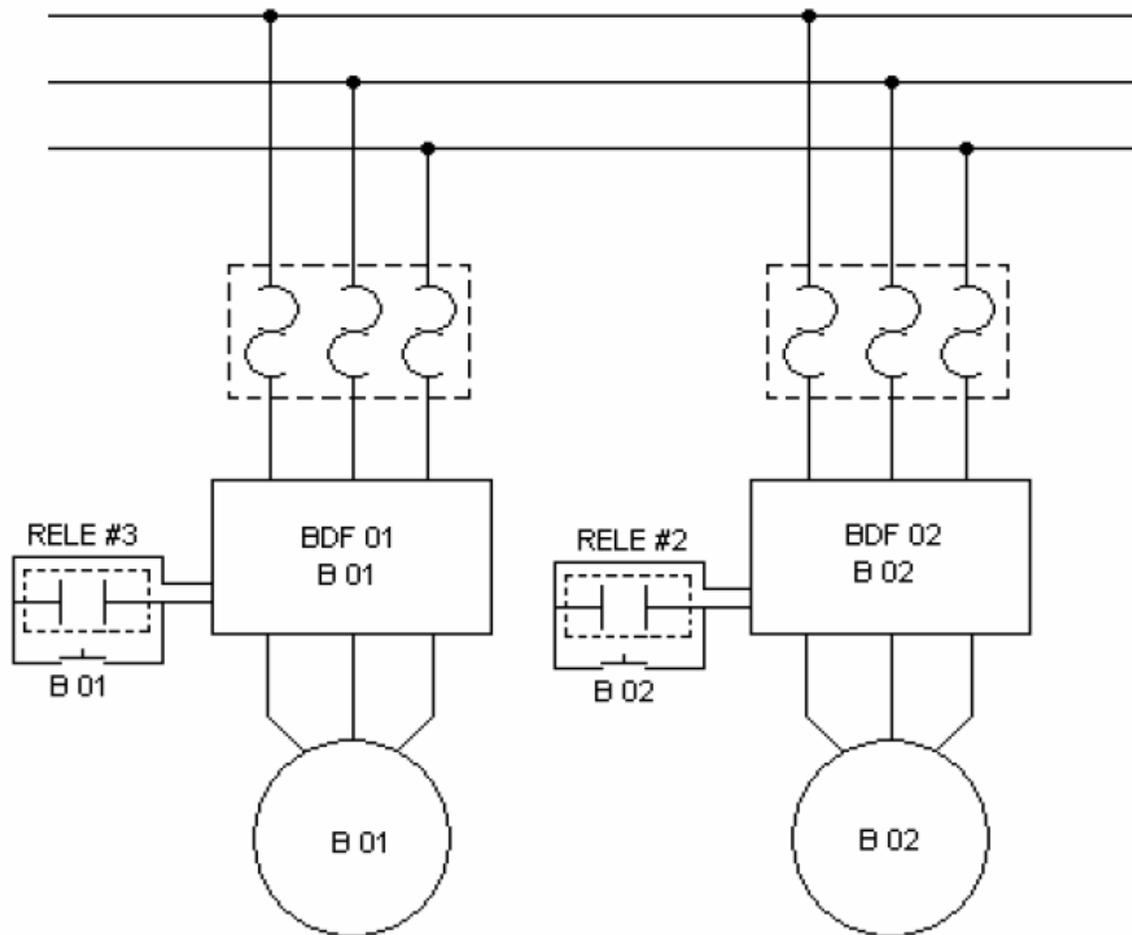
SALIDAS DIGITALES DEL PLC. (Programa)



1. TCK: Calentador (salida 2).
2. B01: Variador de velocidad 01 (salida 3).
3. B02: Variador de velocidad 02 (salida 4).
4. SV01: Válvula solenoide 01(salida 5).
5. SV02: Válvula solenoide 02(salida 6).
6. SV03: Válvula solenoide 03(salida 7).
7. SV04: Válvula solenoide 04(salida 8).
8. SV05: Válvula solenoide 05(salida 9).
9. SV06: Válvula solenoide 06(salida 10).

### **ANEXO G. Prueba de Planos Para Las Motobombas.**

Para la prueba de los planos de control de las motobombas se debían revisar las conexiones de potencia y las conexiones de control en los variadores de velocidad.



PLANOS DE POTENCIA PARA MOTOBOMBAS

Entre las conexiones del plano y las físicas en el tablero eléctrico de la estación no se encontró discrepancia alguna; sin embargo para realizar las pruebas de la tubería se modificaron algunos de los parámetros de los variadores de velocidad para así poder arrancar de forma manual desde el teclado.

#### **ANEXO H. Parámetros que se modificaron en el variador de velocidad MICROMASTER 420.**

##### **\*P0010 Comenzar puesta en servicio rápida**

0 Listo para Marcha

1 Puesta en servicio rápida

30 Ajustes de fábrica.

**Nota:** Hay que volver a poner el P0010 a '0' antes de arrancar el motor. Sin embargo, si está ajustado P3900 = 1 después de la puesta en servicio, esto se realiza automáticamente.

Este parámetro fue modificado colocando su valor en **1** para acceder a la puesta en servicio rápida y poder parametrizar el variador con otros rangos.

**\*P0700 Selección de la fuente de comandos**

(On / off / reverse)

0 Ajuste de fábrica

1 Panel BOP

2 Bornes / entradas digitales

El parámetro P0700 se modificó para seleccionar el panel BOP como control del variador de velocidad.

**\*P1000 Selección de la consigna de frecuencia**

0 Sin consigna de frecuencia

1 Control de frecuencia BOP ↑↓

2 Consigna analógica.

Este parámetro se modificó en **1** con el fin de seleccionar la frecuencia desde las teclas “subir y bajar valor”.

Una vez finalizada la parametrización del variador de velocidad y con el fin de encender el motor debimos volver al parámetro P0010 y darle el valor de 0 y de esta manera seleccionar la función “listo para marcha”.

**ANEXO I. Parámetros Modificados en el Variador de Velocidad POWERFLEX 40.**

**\*P036 [Fuente Arranque] 0/6**

0 = “Teclado” (1)

1 = “3 Hilos”

2 = “2 Hilos”

3 = “Sens Niv 2-W”

4 = “Alt Vel 2-W”

5 = “Puerto Com”

6 = “Av./Ret.Impul”

Establece el esquema de control utilizado para poner en marcha el variador.

(1)Al estar activa, la tecla de retroceso también está activa a menos que se le inhabilite por medio del A095 [Inver Deshab.].

Este parámetro se modificó para poder tener control desde el teclado del variador.

### \*P038 [Referencia Veloc] 0/7

0 = "pot. Var."

1 = "FrecInterna"

2 = "Ent 0-10V"

3 = "Entrada 4-20mA"

4 = "Frec presel"

5 = "Puerto com."

6 = "Paro Lógico"

7 = "Múlt.Ent.Anl"

Establece la fuente de referencia de velocidad para el variador.

**Importante:** Cuando A051 o A052 [Sel. ent digit x] está configurado en la opción 2, 4, 5, 6, 13 ó 14 y la entrada digital está activa, A051, A052, A053 o A054 anulará la referencia de velocidad indicada por este parámetro.

Consulte el Capítulo 1 del *Manual del Usuario* del PowerFlex 40 en el CD para obtener más detalles.

Al tener el parámetro P036 en 0, es decir, para trabajar con el teclado podemos seleccionar en el parámetro 38 la opción 0 para elegir los valores de frecuencia desde el potenciómetro del variador.

## ANEXO J. Programación PLC Y Visualización en HMI Vision 280

La programación es realizada en un PLC Unitronics Vision 280 de gran alcance con un sistema incorporado en el panel de operador HMI comprende un 128 x 64 píxeles de pantalla gráfica y un teclado personalizable, se programan en un entorno único, fácil de usar. Figura 1.

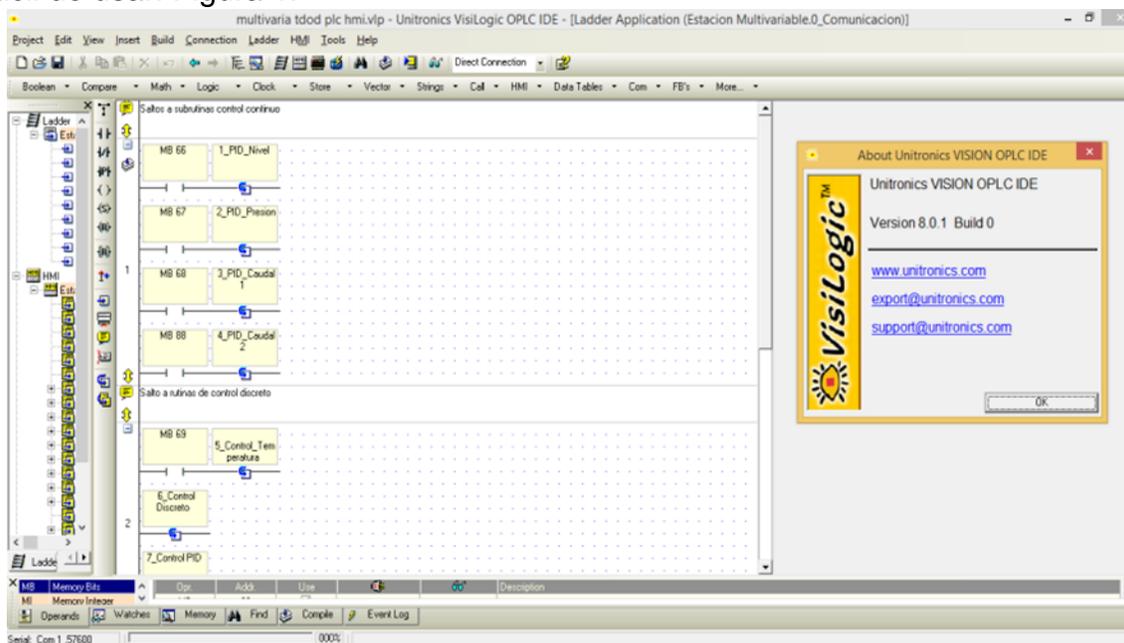
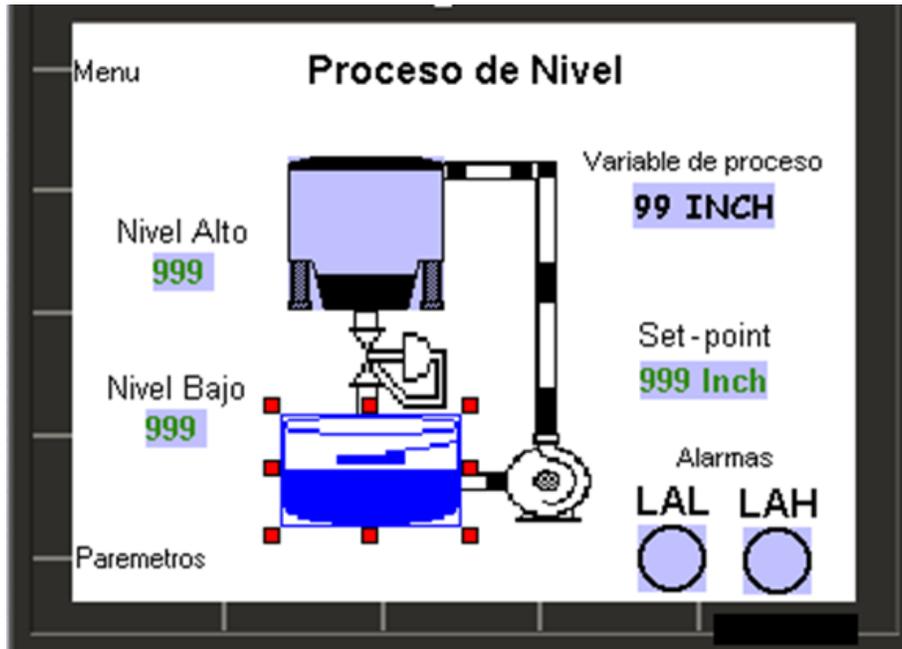


Figura 1. Software Visilogic

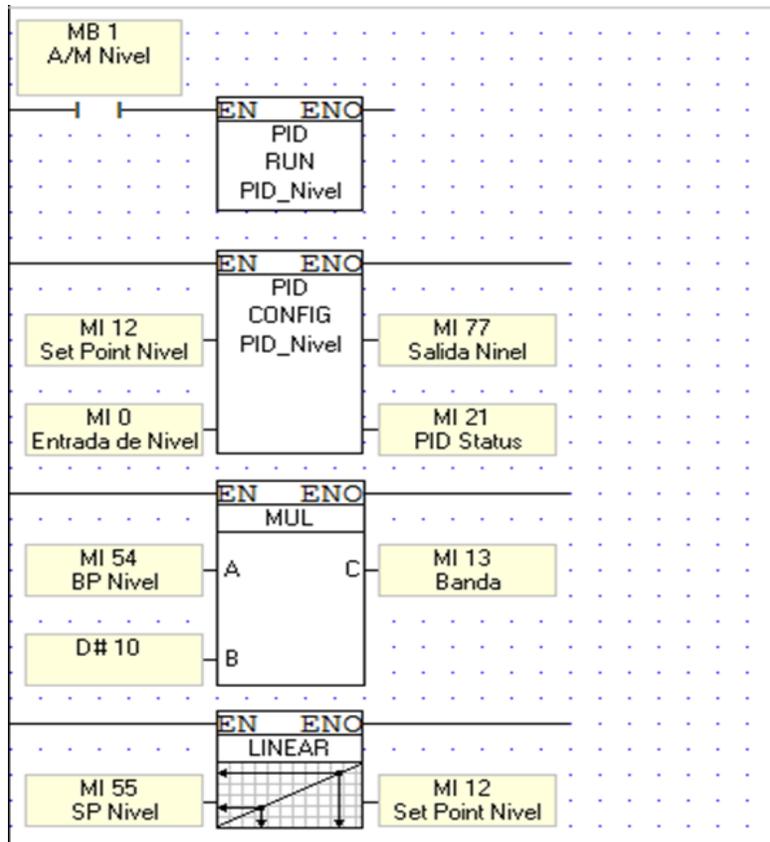
## Programación LADDER Control de Nivel y Visualización en HMI.



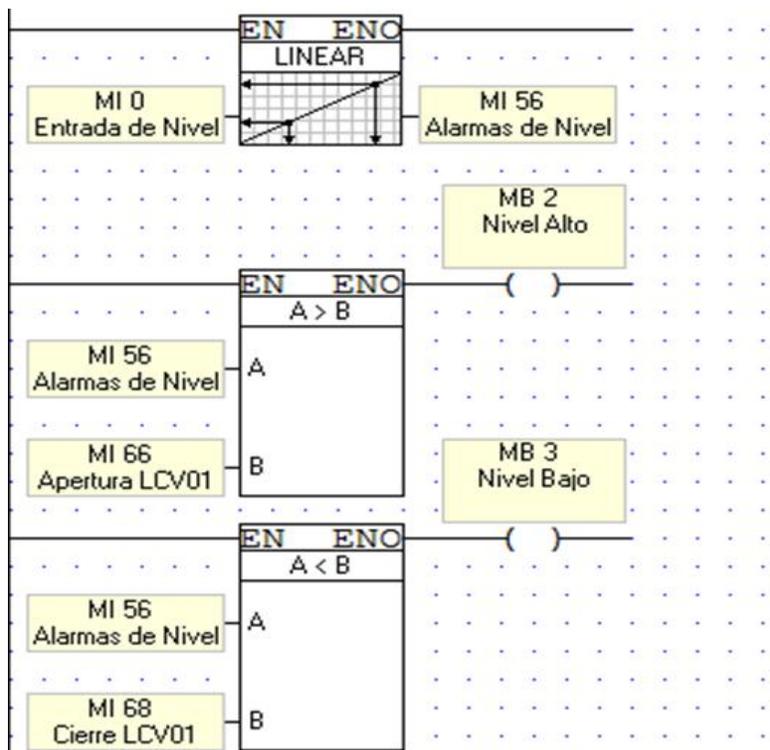
*Interfaz HMI Proceso de Nivel.*



*Parámetros de Nivel en la HMI*

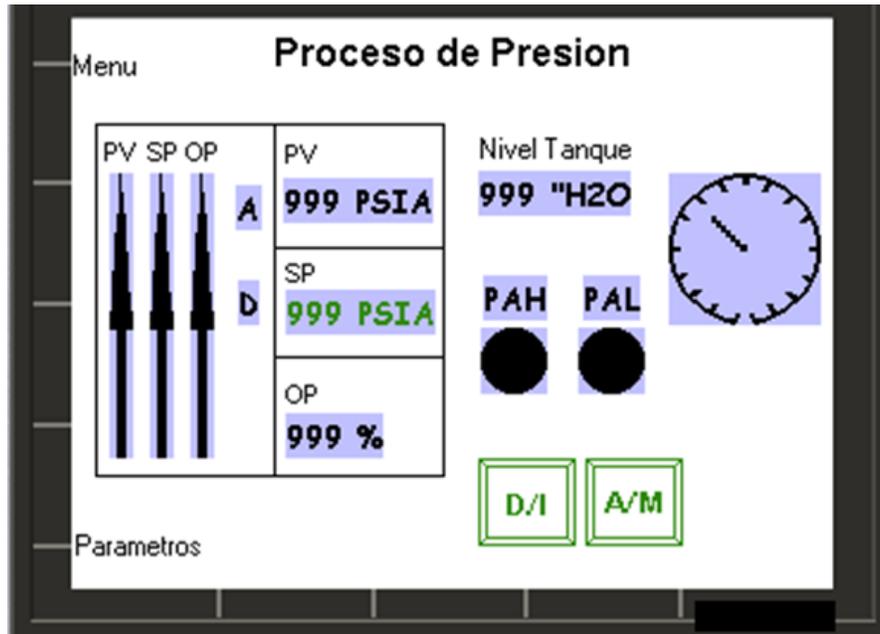


Control PID Para Nivel



Alarmas de Nivel.

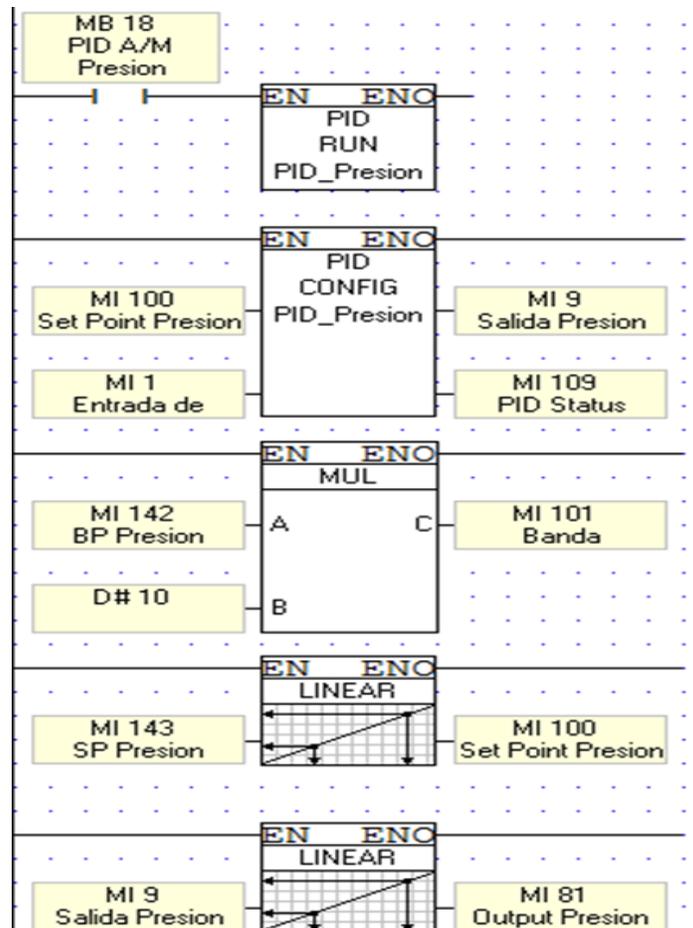
## Programación LADDER Control de Presión y Visualización en HMI.



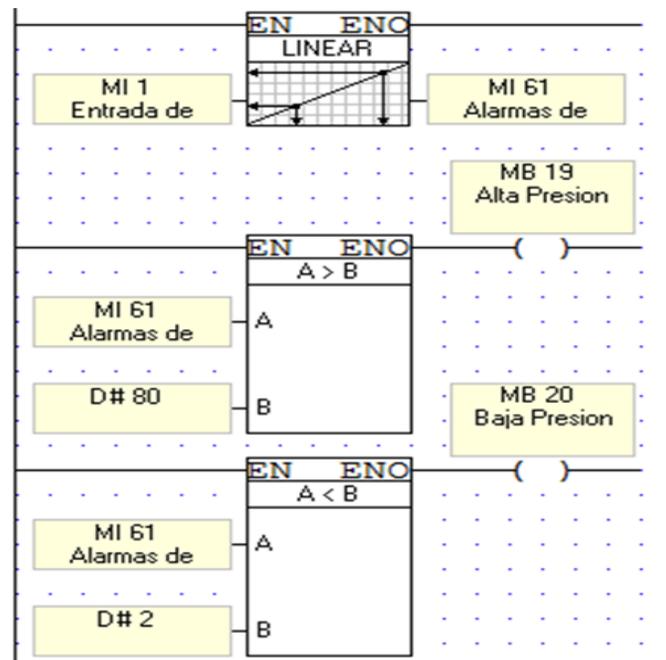
*Interfaz HMI Proceso de Presión.*



*Parámetros de Presión en la HMI.*

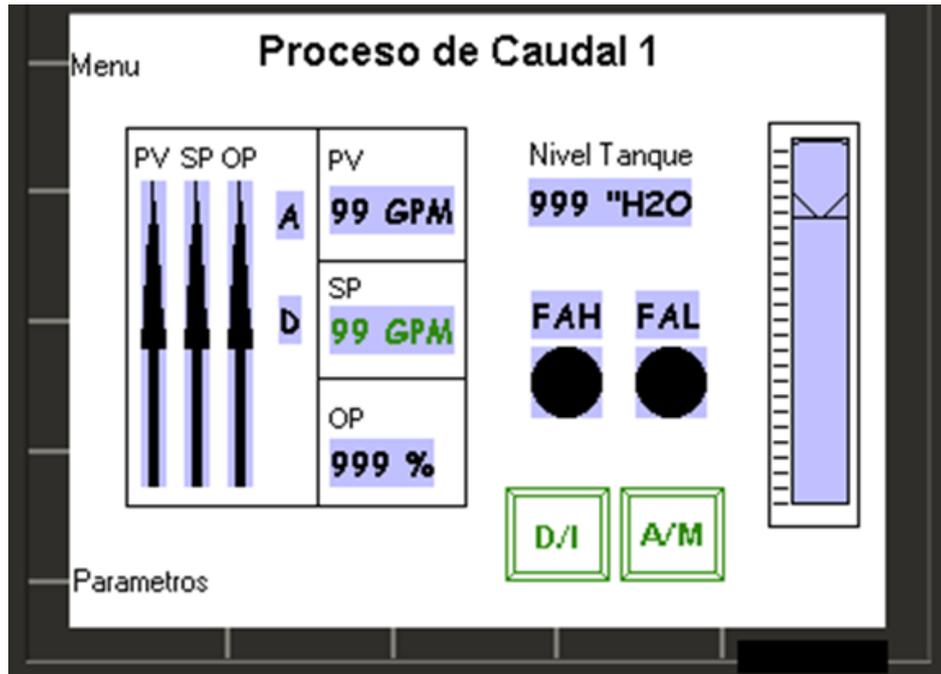


Control PID Para Presión



Alarmas de Presión.

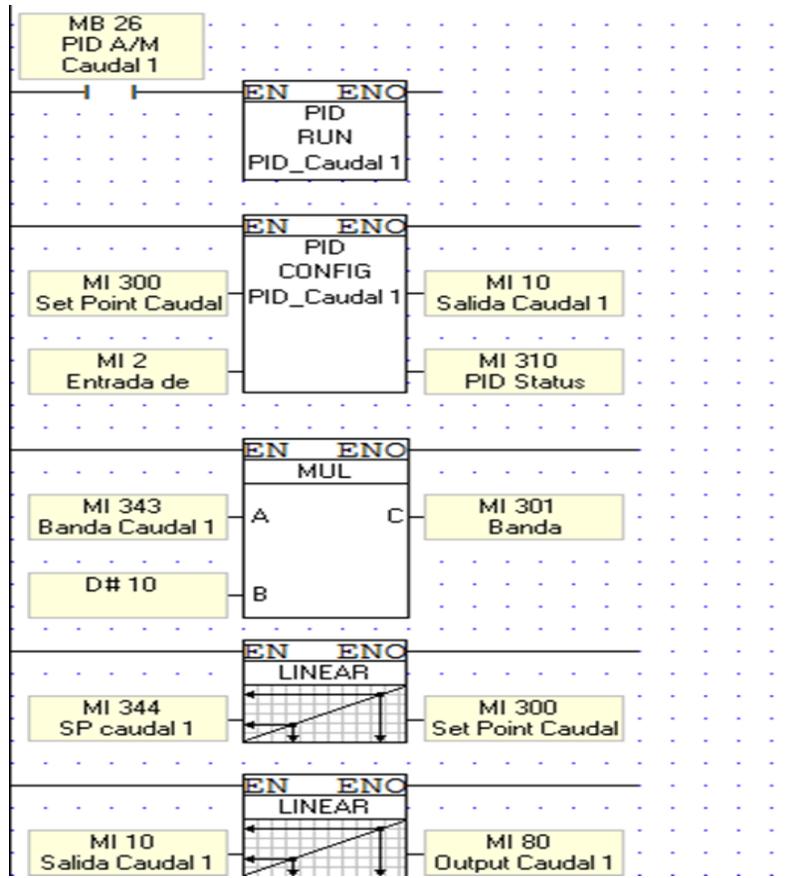
## Programación LADDER Control de Caudal y Visualización en HMI.



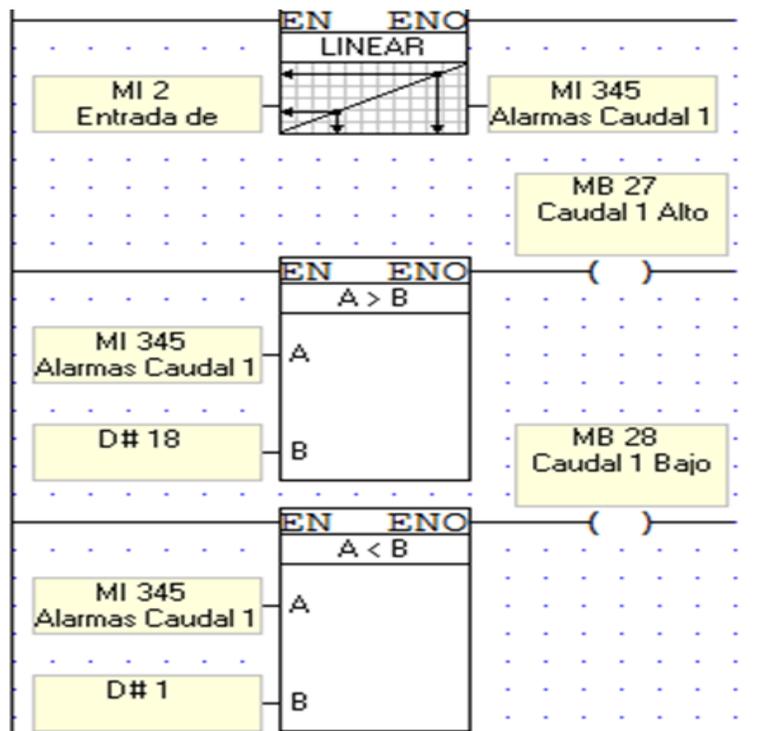
*Interfaz HMI Proceso de Caudal.*



*Parámetros de Caudal en la HMI.*

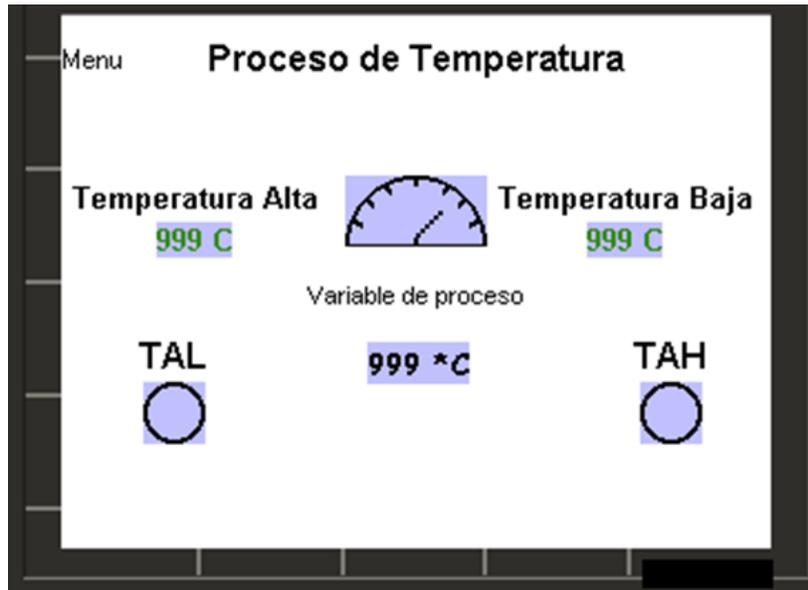


Control PID Para caudal

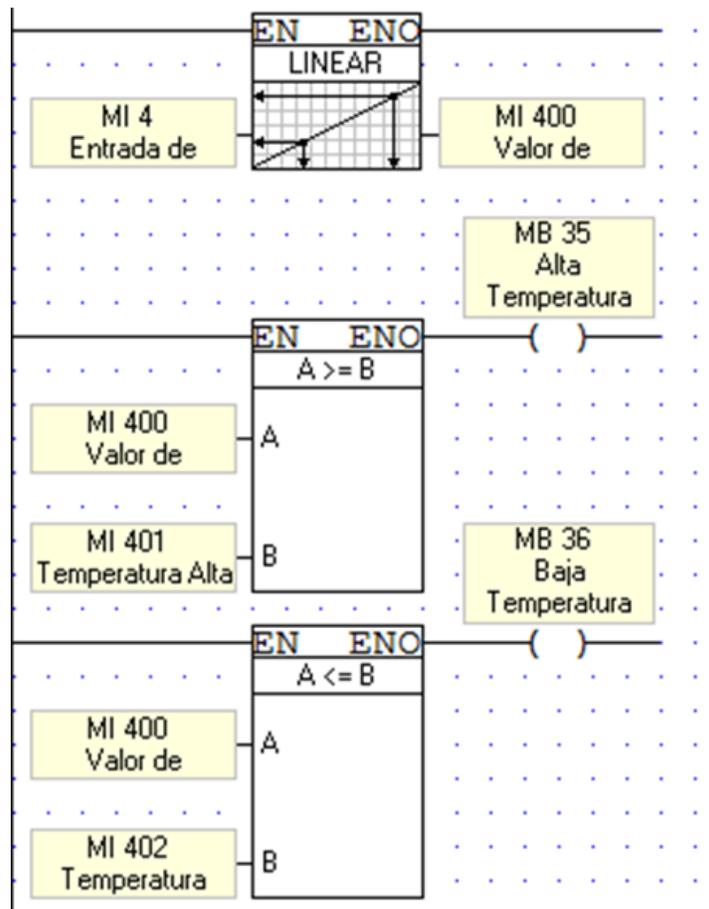


Alarmas de Caudal.

## Programación LADDER Control de Temperatura y Visualización en HMI.



*Interfaz HMI Proceso de Temperatura.*



*Lectura y comparación de Temperatura.*

## GLOSARIO.

**Alcance (span):** Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

**Amplicador:** Instrumento cuya señal de salida equivale a la señal de entrada incrementada y que se alimenta de una fuente distinta de la señal de entrada.

**Banda proporcional.** Porcentaje de variación de la variable controlada necesario para provocar una carrera completa del elemento final de control. Es el recíproco de la ganancia.

**Bit:** Unidad de información o dígito binario.

**Calibración:** Ajuste de la salida de un instrumento a valores deseados dentro de una tolerancia específica para valores particulares de la señal de entrada.

**Campo de medida (range):** Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento.

**Campo de medida con supresión de cero:** Campo de medida en que el valor cero de la variable o señal medida es menor que el valor inferior del campo.

**Capacidad:** Medida de la máxima cantidad de energía o de material que puede almacenarse dentro del recinto de un equipo.

**Caudal crítico:** Caudal en condiciones determinadas que se caracteriza porque la velocidad media del fluido es independiente de la presión aguas abajo.

**Compensación:** Provisión de un aparato suplementario o de materiales especiales para contrarrestar fuentes conocidas de error.

**Compresibilidad:** Grado de disminución de volumen por unidad de volumen al aumentar la presión hidrostática.

**Control adaptativo:** Controlador que ajusta automáticamente sus parámetros para compensar los cambios que puedan producirse en el proceso.

**Control avanzado:** Técnicas que se apartan del control convencional PID y que se aplican en procesos muy complejos, no lineales, con retardos importantes y acoplamiento entre las variables.

**Control derivativo:** Forma de control en la que existe una relación lineal continúa entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

**Control en cascada.** Sistema de control en que la señal de salida de un controlador (primario) es el punto de consigna de otro controlador (secundario).

**Control integral.** Forma de control en que el elemento final se mueve de acuerdo con una función integral en el tiempo de la variable controlada.

**Control Multivariable.** Tipo de control que compensa las perturbaciones en las variables del proceso y desacopla las mismas, de tal modo que si, por ejemplo, se cambia el punto de consigna de una de las variables sólo ésta queda afectada sin modificar o perturbar las restantes.

**Control proporcional.** Forma de control en la que existe una relación lineal entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

**Diafragma:** Elemento sensible formado por una membrana colocada entre dos volúmenes. La membrana es deformada por la presión diferencial que le es aplicada.

**Error:** Diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.

**Estabilidad:** Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificado.

**Exactitud (*accuracy*):** Calidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

**Ganancia:** Es la relación de magnitudes entre la señal de salida resultante y la señal de entrada de excitación.

**HART (*Highway Addressable Remote Transducer*):** Protocolo de comunicaciones híbrido que modula en frecuencia una señal de  $\pm 0,5$  mA de amplitud superpuesta a la señal analógica de salida del transmisor de 4-20 mA c.c. Codifica en forma senoidal los estados lógicos 1 y 0 con las frecuencias de 1.200 Hz para el 1 y 2.200 Hz para el 0.

**HMI (*Human Machine Interface*):** Es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona (operador) y la máquina (proceso).

**Lazo abierto de control:** Es el camino que sigue la señal sin realimentación.

**Lazo cerrado de control:** Camino que sigue la señal desde el controlador hacia la válvula, al proceso y realimentándose a través del transmisor hacia un punto de suma con el punto de consigna.

**Medidor másico de nivel (HTG = Hydrostatic Tank Gauging):** Mide directamente el contenido másico de un tanque mediante presión hidrostática con dos transmisores de presión de muy alta precisión, estabilidad y repetibilidad, separados entre sí por una distancia fija y una sonda de temperatura.

**Offset:** Desviación permanente que existe en el control proporcional cuando el punto de consigna está fijo.

**OPC:** Significa OLE (Object Linking and Embedding - enlace e incrustación de objetos) para Control de Procesos (*Process Control*) y es un estándar abierto para compartir datos entre dispositivos de campo y aplicaciones de ordenador.

**Precisión:** Calidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.

**PID:** Un PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

**Rangeabilidad (rangeability):** Gama de caudales regulables que la válvula es capaz de regular dentro de la exactitud de la característica inherente de la válvula.

**Resolución:** Magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida al ir variando continuamente la medida en todo el campo.

**Sensibilidad:** Razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

**Señal:** Salida o información que emana de un instrumento. Información representativa de un valor cuantificado.

**Señal de salida:** Señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

**Señal de salida analógica:** Señal de salida del instrumento que es una función continua de la variable medida.

**Sensor:** Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

**Set Point:** Es el punto de referencia al cual se desea con una variable definida.

**Tiempo muerto.** Retraso definido entre dos acontecimientos relacionados entre sí