

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE NIVEL Y DE PRESIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA, EN LA CPU EDUTRAINER® COMPACT S7-313C, REALIZANDO UN SISTEMA HMI/SCADA PARA EL MÓDULO MPS PA COMPACT WORKSTATION, VÍA COMUNICACIÓN MPI, EQUIPOS PERTENECIENTES A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS SUR.

AUTORES:

DAVID ALEJANDRO ESPÍN REYES

EDISON EDUARDO ORTEGA NARVÁEZ

DIRECTOR/A

DIRECTOR JOHANNA CELI

Quito, mayo 2013

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

David Alejandro Espín Reyes y Edison Eduardo Ortega Narváez declaramos bajo juramento que la presente investigación y elaboración de la Tesis, que versa sobre **“ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE NIVEL Y DE PRESIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA, EN LA CPU EDUTRAINER® COMPACT S7-313C, REALIZANDO UN SISTEMA HMI/SCADA PARA EL MÓDULO MPS PA COMPACT WORKSTATION, VÍA COMUNICACIÓN MPI, EQUIPOS PERTENECIENTES A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS SUR”**, así como todas las expresiones vertidas en la misma son de autoría de los comparecientes, quienes hemos realizados la recopilación bibliográfica de los contenidos presentados, y consultas en Internet.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo de investigación, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Quito, mayo del 2013.

David Alejandro Espín Reyes

Edison Eduardo Ortega Narváez

C.I. 1717839409

C.I. 1717791519

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo, primero a Dios por habernos dado la salud y permitirnos llegar a cumplir con nuestros objetivos.

Al esfuerzo de nuestros padres quienes día a día nos supieron sacar adelante, y así poder superarnos y poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

David Alejandro Espín Reyes

y

Edison Eduardo Ortega Narváez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por los conocimientos impartidos en nuestra formación académica.

Agradecemos de manera muy especial a la Ing. Johanna Celi, quien nos ayudó durante la realización de este proyecto de Titulación.

David Alejandro Espín Reyes

y

Edison Eduardo Ortega Narváez

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad utilizar el módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION del laboratorio de control de procesos, en el cual se pueden aplicar varias técnicas de control convencionales y técnicas nuevas como el control difuso.

Se hizo un estudio sobre la lógica difusa y el diseño de controladores aplicando dicho concepto para la creación de un sistema de control difuso para el proceso de nivel y para el proceso de presión.

Adicionalmente se realizó un breve análisis de las herramientas computacionales: InTouch, Step 7 y WinCC flexible de Siemens utilizadas en el desarrollo del proyecto.

En los experimentos realizados se analizaron los resultados del desempeño de los distintos controladores implementados sobre el sistema mediante los cuales se puede comparar las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos.

ABSTRACT

This project aims to use the module MPS PA COMPACT WORKSTATION control laboratory processes, which can be applied several conventional control techniques and new techniques such as fuzzy control.

They did a study on fuzzy logic controller design and applying this concept to the creation of a fuzzy control system for the process level and pressure process.

Additionally there was a brief analysis of the computational tools: InTouch, Step 7 and WinCC from Siemens used in the development of the project.

In experiments analyzed the results of the performance of the different controllers implemented on the system by which you can compare the advantages and limitations of each.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	2
1.2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
1.3. HIPÓTESIS.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPÍTULO II.....	4
ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1. EL SISTEMA SCADA.....	4
2.1.1. <i>Objetivos</i>	4
2.1.2. <i>Prestaciones</i>	4
2.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA SCADA.....	5
2.2.1. <i>Hardware</i>	5
2.2.1.1. Interface Hombre-Máquina (HMI, MMI).....	6
2.2.1.2. Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit).....	7
2.2.1.3. Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit).....	7
2.2.1.4. Sistema de comunicación.....	8
2.2.2. <i>Software</i>	8
2.3. MÓDULO MPS COMPACT WORKSTATION.....	9
2.3.1. <i>Diagrama de Instrumentación de la Planta</i>	12
2.3.2. <i>Sensores y actuadores involucrados en el control de nivel y presión</i>	13
2.3.2.1. Unidad de mantenimiento.....	13
2.3.2.2. Interruptores de proximidad.....	14
2.3.2.3. Interruptor de flotador.....	14
2.3.2.4. Sensor ultrasónico.....	15
2.3.2.5. Tanque de Presión.....	15
2.3.2.6. Indicador de Presión.....	16
2.3.2.7. Bomba Centrífuga.....	16
2.3.2.8. Sensor de Flujo.....	16
2.3.2.9. Sensor de Presión.....	17
2.3.2.10. 2/2 W Válvula Solenoide de bola.....	18
2.3.3. <i>CPU Edutrainer Compact S7-313C</i>	18
2.3.3.1. Características de la CPU.....	20
2.3.3.2. Módulo de Comunicación de Procesos (CP).....	21
2.4. SOFTWARE SIMATIC STEP7.....	22
2.4.1. <i>Herramientas de Step 7</i>	22
2.4.1.1. Administrador Simatic.....	23
2.4.1.2. Lenguajes de programación.....	23
2.4.1.3. Módulos del Programa de Usuario.....	23
2.4.1.4. Tipos de operadores.....	24
2.5. INTERFACE MPI.....	25
2.5.1. <i>Datos técnicos</i>	25
2.5.2. <i>Modo de acceso (bus token)</i>	26
2.6. INDUSTRIAL ETHERNET.....	27

2.6.1.	<i>Modo de acceso</i>	28
2.6.2.	<i>Datos técnicos</i>	28
2.7.	COMUNICACIÓN OPC.....	28
2.7.1.	<i>Cliente OPC (OPC client)</i>	29
2.7.2.	<i>Servidor OPC (OPC server)</i>	29
2.8.	TEORÍA LÓGICA DIFUSA.....	30
2.9.	TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS.....	30
2.9.1.	<i>Conjuntos Clásicos</i>	30
2.9.2.	<i>Conjuntos Difusos</i>	31
2.9.3.	<i>Funciones de pertenencia</i>	31
2.10.	SISTEMAS DIFUSOS.....	33
2.10.1.	<i>Fuzzyficacion</i>	33
2.10.2.	<i>Inferencia</i>	33
2.10.3.	<i>Defuzzyficacion</i>	34

CAPÍTULO III.....35

DISEÑO DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN35

3.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DIFUSO PARA NIVEL.....	35
3.1.1.	<i>Variable de entrada Nivel Actual</i>	35
3.1.2.	<i>Variable de entrada Diferencia de Nivel</i>	37
3.1.3.	<i>Variable de salida porcentaje de trabajo de la BOMBA</i>	38
3.1.4.	<i>Reglas de Inferencia para nivel</i>	38
3.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DIFUSO PARA PRESIÓN.....	39
3.2.1.	<i>Variable de entrada Presión Actual</i>	39
3.2.2.	<i>Variable de entrada Diferencia de presión</i>	40
3.2.3.	<i>Variable de salida incremento de la bomba</i>	41
3.2.4.	<i>Reglas de Inferencia para presión</i>	41
3.3.	FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.....	42
3.3.1.	<i>Control de nivel</i>	42
3.3.2.	<i>Control de presión</i>	43
3.4.	TOPOLOGÍAS IMPLEMENTADAS.....	43
3.4.1.	<i>Topología 1</i>	43
3.4.2.	<i>Topología 2</i>	44
3.5.	CREACIÓN DE NUEVO PROYECTO EN STEP7.....	45
3.5.1.	<i>Inicio del administrador SIMATIC</i>	46
3.5.2.	<i>Insertar y configurar CPU S7-313C</i>	46
3.5.3.	<i>Insertar y configurar Estación HMI de SIMATIC</i>	51
3.5.3.1.	<i>Configuración de la estación HMI para topología 1</i>	52
3.5.3.2.	<i>Configuración de la estación HMI para topología 2</i>	53
3.6.	PROGRAMACIÓN DE LA CPU S7-313C.....	54
3.6.1.	<i>Lógica de programación de nivel</i>	55
3.6.2.	<i>Lógica de programación de presión</i>	56
3.6.3.	<i>Insertar bloque de organización y función</i>	56
3.6.4.	<i>Tabla de símbolos</i>	57
3.6.5.	<i>OB1. Bloque de organización principal</i>	59
3.6.5.1.	<i>Control de usuarios y bomba manual</i>	60
3.6.5.2.	<i>Encendido y apagado de la bomba analógica</i>	61
3.6.5.3.	<i>Escalamiento sensores de nivel y caudal</i>	61
3.6.5.4.	<i>Variables de entrada del control de nivel</i>	62
3.6.5.5.	<i>Fuzzyficacion de entradas del control de nivel</i>	62

3.6.5.6.	Rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel	63
3.6.5.7.	Combinaciones posibles conjuntos de entrada	64
3.6.5.8.	Calcular el máximo de los conjuntos de salida repetidos.....	64
3.6.5.9.	Muestreo y construcción de la salida final	64
3.6.5.10.	Defuzzyficación total de nivel.....	65
3.6.5.11.	Escalamiento de la bomba y alarmas para nivel.....	66
3.6.5.12.	Control ON-OFF	66
3.6.5.13.	Escalamiento sensor de presión.....	67
3.6.5.14.	Variables de entrada del control de presión	68
3.6.5.15.	Fuzzyficacion de entradas del control de presión.....	68
3.6.5.16.	Rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel	69
3.6.5.17.	Combinaciones posibles conjuntos de entrada	69
3.6.5.18.	Calcular el máximo de los conjuntos de salida repetidos.....	69
3.6.5.19.	Muestreo y construcción de la salida final	70
3.6.5.20.	Defuzzyficación total de presión	71
3.6.5.21.	Incremento de la bomba para presión.....	72
3.6.5.22.	Alarmas de presión	72
3.6.6.	<i>Función FC1 leer y mover variables</i>	<i>72</i>
3.6.7.	<i>Función FC4 ecuación de la línea</i>	<i>73</i>
3.6.8.	<i>Función FC8 calcular menor de 2 números</i>	<i>74</i>
3.6.9.	<i>Función FC10 calcular mayor de 6 números</i>	<i>74</i>
3.6.10.	<i>Función FC2 escalamiento del sensor de nivel</i>	<i>75</i>
3.6.11.	<i>Función FC15 fuzzyficacion de nivel.....</i>	<i>76</i>
3.6.12.	<i>Función FC5 rangos de nivel.....</i>	<i>77</i>
3.6.13.	<i>Función FC14 reglas de inferencia</i>	<i>78</i>
3.6.14.	<i>Función FC7 cálculo de mínimos de nivel.....</i>	<i>79</i>
3.6.15.	<i>Función FC9 cálculo máximo de mínimos.....</i>	<i>81</i>
3.6.16.	<i>Función FC11 muestreo de 5 en 5 % de nivel</i>	<i>83</i>
3.6.17.	<i>Función FC12 construcción salida final nivel.....</i>	<i>84</i>
3.6.18.	<i>Función FC13 defuzzyficacion total de nivel.....</i>	<i>84</i>
3.6.19.	<i>Función FC3 escalamiento bomba para nivel.....</i>	<i>85</i>
3.6.20.	<i>Función FC16 alarmas de nivel.....</i>	<i>86</i>
3.7.	WINCC FLEXIBLE	87
3.7.1.	<i>Componentes de WinCC flexible.....</i>	<i>87</i>
3.8.	PROGRAMACIÓN WINCC FLEXIBLE	90
3.8.1.	<i>Configuración de comunicaciones.....</i>	<i>90</i>
3.8.2.	<i>Pantalla de carátula.....</i>	<i>91</i>
3.8.3.	<i>Pantalla de inicio</i>	<i>92</i>
3.8.4.	<i>Pantalla seteo de nivel</i>	<i>92</i>
3.8.5.	<i>Pantalla seteo de presión.....</i>	<i>93</i>
3.8.6.	<i>Pantalla de proceso.....</i>	<i>94</i>
3.8.7.	<i>Pantalla de lógica difusa</i>	<i>94</i>
3.8.8.	<i>Pantalla de alarmas</i>	<i>98</i>
3.8.9.	<i>Pantalla de curvas.....</i>	<i>99</i>
3.8.10.	<i>Administración de usuarios.....</i>	<i>100</i>
3.8.11.	<i>Transferencia del proyecto</i>	<i>101</i>
3.9.	SOFTWARE KEPSERVEREX.....	102
3.10.	CONFIGURACION KEPSERVEREX	103
3.10.1.	<i>Configuración del Channel.....</i>	<i>103</i>
3.10.1.1.	<i>Channel MPI.....</i>	<i>103</i>

3.10.1.2. Channel Ethernet	106
3.10.2. <i>Configuración del device</i>	108
3.10.2.1. Device MPI.....	108
3.10.2.2. Device Ethernet	109
3.10.3. <i>Configuración de los tags</i>	110
3.10.4. <i>Quick Client</i>	113
3.11. SOFTWARE INTOUCH.....	114
3.11.1. <i>WindowMaker</i>	115
3.11.1.1. Herramientas de Dibujo.....	115
3.11.1.2. Tagnames.....	115
3.11.1.3. Animation Links	116
3.11.1.4. InTouch Quickscripts	117
3.11.1.5. Alarmas.....	117
3.11.1.6. Curvas Reales e Históricas	118
3.11.1.7. Comunicaciones I/O	119
3.11.1.8. Seguridad.....	119
3.12. PROGRAMACION INTOUCH.....	119
3.12.1. <i>Creación nuevo proyecto</i>	119
3.12.2. <i>Programación ventanas InTouch</i>	121
3.12.2.1. Ventana Login	123
3.12.2.2. Configuración de Usuarios	124
3.12.2.3. Configuración del Access Name	127
3.12.2.4. Configuración del Tagname Dictionary	129
3.12.2.5. Ventana Inicio	131
3.12.2.6. Ventana Control de Nivel.....	132
3.12.2.7. Ventana Fuzzyficacion Nivel	134
3.12.2.8. Ventana Reglas de Inferencia.....	135
3.12.2.9. Ventana Defuzzyficacion Control de Nivel	136
3.12.2.10. Ventana Control de Presión	136
3.12.2.11. Ventana Fuzzyficacion Presión	137
3.12.2.12. Ventana Reglas Inferencia Presión.....	138
3.12.2.13. Ventana Defuzzyficacion Presión.....	138
3.12.2.14. Ventana Alarmas.....	139
3.12.2.15. Ventana Alarma 1	143
3.12.2.16. Ventana Alarma 2	144
3.12.2.17. Ventana Alarma 3	144
3.12.2.18. Ventana Base de Datos	145
3.12.2.19. Ventana Trends Nivel	157
3.12.2.20. Ventana Trends Presión.....	158
3.12.2.21. Ventana Diagrama de Instrumentación de la planta	159

CAPÍTULO IV160

PRUEBAS Y RESULTADOS.....	160
4.1. RESOLUCIÓN TEÓRICA	160
4.1.1. <i>Ejemplo teórico para el control de nivel</i>	160
4.1.2. <i>Ejemplo teórico para el control de presión</i>	163
4.2. ANÁLISIS DE LÓGICA DIFUSA.....	167
4.2.1. <i>Comparación de lógica difusa</i>	169
4.2.2. <i>Análisis gráfico pruebas de presión</i>	170
4.3. ANÁLISIS DE SETEO DE NIVEL	172

4.3.1.	<i>Cálculo del error relativo</i>	172
4.3.2.	<i>Cálculo de repetibilidad de nivel</i>	173
4.3.3.	<i>Análisis gráfico pruebas de nivel</i>	174
4.4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONTROL DIFUSO	176
4.4.1.	<i>Comparación Control Difuso vs. Control ON/OFF de nivel</i>	176
4.5.	ANÁLISIS DE SETEO DE PRESIÓN	177
4.5.1.	<i>Cálculo del error relativo</i>	177
4.5.2.	<i>Cálculo de repetibilidad de presión</i>	178
4.5.3.	<i>Tiempo de estabilización</i>	178
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180
	BIBLIOGRAFIA	183
	ANEXOS	185
	MANUAL DE USUARIO	185

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 2. 1	Scada arquitectura básica de hardware.	6
Figura 2. 2	Interface HMI.	7
Figura 2. 3	Concepto de driver o controlador.	9
Figura 2. 4	MPS Compact Workstation.	10
Figura 2. 5	Componentes MPS Compact Workstation.	11
Figura 2. 6	Diagrama de Instrumentación de la planta.	13
Figura 2. 7	Unidad de mantenimiento.	13
Figura 2. 8	Interruptores de Proximidad.	14
Figura 2. 9	Interruptor de flotador.	14
Figura 2. 10	Sensor Ultrasónico.	15
Figura 2. 11	Tanque de presión.	15
Figura 2. 12	Bomba Centrífuga.	16
Figura 2. 13	Sensor de Flujo.	17
Figura 2. 14	Sensor de Presión.	17
Figura 2. 15	Válvula solenoide de Bola.	18
Figura 2. 16	Conexión EDUTRAINER® COMPACT S7-313.	18
Figura 2. 17	Partes de la EDUTRAINER COMPACT S7-313C.	19
Figura 2. 18	Módulo CP343 – 1Lean.	21
Figura 2. 19	Leds indicadores CP343 – 1Lean.	21
Figura 2. 20	Herramientas de Simatic Step 7.	22
Figura 2. 21	Ejemplo de subred MPI.	25
Figura 2. 22	Bus token.	27
Figura 2. 23	Ejemplo de subred Industrial Ethernet.	27
Figura 2. 24	Funcionamiento OPC.	29
Figura 2. 25	Ejemplo de conjunto difuso.	31
Figura 2. 26	Función de transferencia para un conjunto difuso triangular.	32
Figura 2. 27	Función de transferencia para un conjunto difuso trapezoidal.	32
Figura 2. 28	Sistema difuso.	33
Figura 2. 29	Defuzzyficacion.	34

Capítulo III

Figura 3. 1	Librería Fuzzy Logic de MATLAB.....	35
Figura 3. 2	Variables de entrada y salida.	36
Figura 3. 3	Conjuntos difusos variable NIVELACTUAL.	37
Figura 3. 4	Conjuntos difusos variable DIFNIVEL.	37
Figura 3. 5	Conjuntos difusos variable BOMBA.....	38
Figura 3. 6	Reglas de Inferencia ingresadas en el FIS. Editor.	39
Figura 3. 7	Conjuntos difusos variable PRESIONACTUAL.....	40
Figura 3. 8	Conjuntos difusos variable DIFERENCIAPRESION.	40
Figura 3. 9	Conjuntos difusos variable incremento de la bomba.	41
Figura 3. 10	Topología 1.....	43
Figura 3. 11	Topología 2.....	44
Figura 3. 12	Esquema de conexiones HMI/SACADA.....	45
Figura 3. 13	Administrador Simatic.....	46
Figura 3. 14	Guardar nuevo proyecto en Simatic Step 7.	46
Figura 3. 15	Insertar la CPU SIMATIC 300.....	47
Figura 3. 16	Configurar Hardware de la CPU Simatic 300.	47
Figura 3. 17	Insertar el bastidor.	48
Figura 3. 18	Insertar CPU 313C.....	48
Figura 3. 19	Dirección CPU 313C en la red MPI.	49
Figura 3. 20	Insertar Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.....	49
Figura 3. 21	Propiedades Interface Ethernet CP 343-1 Lean.....	50
Figura 3. 22	Nueva Subred Industrial Ethernet.....	50
Figura 3. 23	CP 343-1 Lean en red.	51
Figura 3. 24	Insertar Estación HMI de Simatic.....	51
Figura 3. 25	Tipo de Pantalla touch.	52
Figura 3. 26	Configuración Estación HMI de SIMATIC.	52
Figura 3. 27	Propiedades – Interface Ethernet HMI IE.	53
Figura 3. 28	Dirección Estación HMI de SIMATIC.....	53
Figura 3. 29	Diagrama de flujo de la programación.	54
Figura 3. 30	Insertar Bloque de organización.	57
Figura 3. 31	Insertar función.....	57
Figura 3. 32	Programación control de usuarios WinCC e InTouch.....	60
Figura 3. 33	Programación de encendido y apagado.	61
Figura 3. 34	Programación escalamiento de sensores (caudal y nivel).....	61
Figura 3. 35	Programación para variables de entrada de nivel.	62
Figura 3. 36	Programación fuzzyficacion nivel actual y diferencia de nivel.....	63
Figura 3. 37	Programación rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel.....	63
Figura 3. 38	Programación para calcular mínimos de cada combinación.....	64
Figura 3. 39	Programación para calcular el máximo de cada conjunto.	64
Figura 3. 40	Programación de muestreo y construcción final.....	65
Figura 3. 41	Programación defuzzyficacion de nivel.....	65
Figura 3. 42	Programación escalamiento bomba y alarmas nivel.....	66
Figura 3. 43	Programación control ON-OFF.	67
Figura 3. 44	Programación para escalar el sensor de presión.	67
Figura 3. 45	Programación de las variables de entrada para presión.....	68
Figura 3. 46	Programación fuzzyficacion presión actual y diferencia de presión. ...	68
Figura 3. 47	Programación rangos de entrada y reglas de inferencia de presión.....	69
Figura 3. 48	Programación para calcular mínimos de cada combinación.....	69
Figura 3. 49	Programación para calcular el máximo de cada conjunto.	70

Figura 3. 50 Programación de muestreo y construcción final.....	70
Figura 3. 51 Programación defuzzyficacion de presión.....	71
Figura 3. 52 Programación para el incremento de la bomba para presión.....	72
Figura 3. 53 Programación para visualizar las alarmas de presión.....	72
Figura 3. 54 Programación de FC1.....	73
Figura 3. 55 Programación de FC4.....	73
Figura 3. 56 Programación FC8.....	74
Figura 3. 57 Programación FC9.....	75
Figura 3. 58 Programación FC2.....	76
Figura 3. 59 Programación FC15.....	76
Figura 3. 60 Programación FC5.....	78
Figura 3. 61 Programación FC14.....	79
Figura 3. 62 Programación FC7.....	80
Figura 3. 63 Programación FC9.....	81
Figura 3. 64 Programación FC11.....	83
Figura 3. 65 Construcción salida final nivel.....	84
Figura 3. 66 Programación de FC13.....	85
Figura 3. 67 Programación de FC3.....	86
Figura 3. 68 Programación FC16.....	87
Figura 3. 69 Pantalla de comunicaciones WinCC flexible.....	91
Figura 3. 70 Pantalla de presentación.....	91
Figura 3. 71 Pantalla de inicio.....	92
Figura 3. 72 Pantalla de Setpoint de nivel.....	93
Figura 3. 73 Pantalla de Setpoint de presión.....	93
Figura 3. 74 Pantalla de proceso de la planta.....	94
Figura 3. 75 Pantalla lógica difusa de nivel.....	95
Figura 3. 76 Fuzzyficacion nivel actual y diferencia de nivel.....	96
Figura 3. 77 Pantalla reglas de inferencia de nivel.....	97
Figura 3. 78 Pantalla defuzzyficacion de nivel.....	97
Figura 3. 79 Pantalla alarmas.....	98
Figura 3. 80 Configuración de Avisos de bits.....	99
Figura 3. 81 Pantalla curvas.....	99
Figura 3. 82 Creación de grupos.....	100
Figura 3. 83 Usuarios y grupos de usuarios.....	101
Figura 3. 84 Transferencia del proyecto.....	102
Figura 3. 85 Software KEPServerEx.....	102
Figura 3. 86 New channel - Identification KEPServerEx.....	104
Figura 3. 87 New Channel - Device Driver KEPServerEx.....	104
Figura 3. 88 New Channel Communications KEPServerEx.....	105
Figura 3. 89 New Channel – Driver Setup KEPServerEx.....	106
Figura 3. 90 New channel - Identification KEPServerEx.....	106
Figura 3. 91 New Channel – Device Driver.....	107
Figura 3. 92 New Channel – Network Interface.....	107
Figura 3. 93 Añadir dispositivo KEPServerEx.....	108
Figura 3. 94 Device ID Nuevo dispositivo KEPServerEx.....	108
Figura 3. 95 New Device – Name.....	109
Figura 3. 96 New Device – Model.....	109
Figura 3. 97 New Device – ID.....	110
Figura 3. 98 Ventana añadir nuevo tag KEPServerEx.....	111
Figura 3. 99 Acceso a Quick Client de KEPServerEx.....	113

Figura 3. 100	Ventana Quick Client de KEPServerEx.	114
Figura 3. 101	Software InTouch.	115
Figura 3. 102	Animation Links.	117
Figura 3. 103	InTouch 8.0 Application Manager.	120
Figura 3. 104	Asistente nuevo proyecto InTouch.	120
Figura 3. 1055	Nuevo proyecto InTouch 8.0 creado.	121
Figura 3. 106	WindowMaker de InTouch 8.0.	121
Figura 3. 107	Propiedades de la nueva Ventana.	122
Figura 3. 108	Ventana de Login.	123
Figura 3. 109	Animación botón LOGIN.	123
Figura 3. 110	Programación botón LOGIN.	124
Figura 3. 111	Log ON en InTouch.	124
Figura 3. 112	Ventana LOG ON.	125
Figura 3. 113	Opciones Security habilitadas.	125
Figura 3. 114	Ventana Configure Users.	126
Figura 3. 115	Configuración Usuario SUPERVISION.	126
Figura 3. 116	Configuración Usuario MONITOREO.	127
Figura 3. 117	Ventana de Access Names.	127
Figura 3. 118	Ventana Alias Map de KEPServerEx.	128
Figura 3. 119	Access Name configuración.	128
Figura 3. 120	Tagname Dictionary.	129
Figura 3. 121	Configuración tag tipo I/O.	130
Figura 3. 122	Configuración tag tipo Memory.	130
Figura 3. 123	Ventana INICIO.	131
Figura 3. 124	Configuración botón para mostrar ventana.	132
Figura 3. 125	Ventana Control de Nivel.	132
Figura 3. 126	Librería Symbol Factory de InTouch	133
Figura 3. 127	Ventana Fuzzyficacion Nivel.	134
Figura 3. 128	Ventana Reglas de Inferencia Control de Nivel.	135
Figura 3. 129	Ventana Defuzzyficacion de Nivel.	136
Figura 3. 130	Ventana Control de Presión.	137
Figura 3. 131	Ventana Fuzzyficacion Presión.	137
Figura 3. 132	Ventana Reglas de Inferencia Presión.	138
Figura 3. 133	Ventana Defuzzyficacion Presión.	139
Figura 3. 134	Ventana Alarmas	140
Figura 3. 135	Configuración tag de alarma.	140
Figura 3. 136	Configuración tag de alarma tipo real.	141
Figura 3. 137	Distributed Alarm Display.	142
Figura 3. 138	Configuración del Alarm Display.	142
Figura 3. 139	Configuración window script ventanas de alarmas	143
Figura 3. 140	Ventana Alarma 1.	143
Figura 3. 141	Ventana Alarma 2.	144
Figura 3. 142	Ventana Alarma 3.	144
Figura 3. 143	Ventana Base de Datos.	145
Figura 3. 144	Administrador de Orígenes de datos ODBC	147
Figura 3. 145	Crear nuevo origen de datos.	148
Figura 3. 146	Configuración de ODBC de Microsoft Access.	148
Figura 3. 147	Seleccionar base de datos.	149
Figura 3. 148	Herramienta Bind List.	149
Figura 3. 149	Agregar Bind List.	149

Figura 3. 150	Bind List Configuration.....	150
Figura 3. 151	Escribir en la tabla RegistrosP de la Base de Datos.	152
Figura 3. 152	Escribir en la tabla RegistrosP de la Base de Datos.	153
Figura 3. 153	Escribir en la tabla Alarmas de la Base de Datos.	153
Figura 3. 154	Historical Logging Properties.....	154
Figura 3. 155	Activar Log data del tagname histórico.....	154
Figura 3. 156	Hist Trend.	155
Figura 3. 157	Configurar Hist Trend.....	155
Figura 3. 158	Agregar tagnames históricos al Hist Trend.	156
Figura 3. 159	Trend Zoom/Pan Panel.	156
Figura 3. 160	Configuración Trend Zoom/ Pan Panel.	156
Figura 3. 161	Ventana Trends Nivel.....	157
Figura 3. 162	Configuración Real-Time Trend Nivel.....	158
Figura 3. 163	Ventana Trends Nivel.....	158
Figura 3. 164	Configuración Real-Time Trend Presión.....	159
Figura 3. 165	Ventana Diagrama de Instrumentación de la planta.	159

Capítulo IV

Figura 4. 1	Salida conjunto Casi_Mínima.....	161
Figura 4. 2	Salida conjunto Media.	161
Figura 4. 3	Salida conjunto Casi_Mínima.....	161
Figura 4. 4	Salida conjunto Media.	162
Figura 4. 5	Construcción de la salida final.....	162
Figura 4. 6	Salida conjunto Normal.	164
Figura 4. 7	Salida conjunto Grande.....	164
Figura 4. 8	Salida conjunto Normal.	165
Figura 4. 9	Salida conjunto Grande.....	165
Figura 4. 10	Construcción de la salida final.....	165
Figura 4. 11	Tiempo de alcance SP. Presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.	171
Figura 4. 12	Salida difusa. Presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.	172
Figura 4. 13	Tiempo de llenado nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.	175
Figura 4. 14	Porcentaje de trabajo de la bomba nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.	176

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo II

Tabla 2. 1	Simbología diagrama de instrumentación planta.	12
Tabla 2. 2	Características CPU S7-313C.	20
Tabla 2. 3	Características CP343 – 1Lean	21
Tabla 2. 4	Tipos de datos Step 7.	24
Tabla 2. 5	Tabla datos técnicos interface MPI.	26
Tabla 2. 6	Tabla datos técnicos interface MPI.	28

Capítulo III

Tabla 3. 1	Tipo de conjuntos difusos variable NIVELACTUAL.	36
Tabla 3. 2	Tipo de conjuntos difusos variable DIFNIVEL.	37
Tabla 3. 3	Tipo de conjuntos difusos variable BOMBA.....	38

Tabla 3. 4 Reglas de Inferencia para nivel.....	38
Tabla 3. 5 Tipo de conjuntos difusos variable PRESIONACTUAL.....	39
Tabla 3. 6 Tipo de conjuntos difusos variable DIFERENCIAPRECION.....	40
Tabla 3. 7 Tipo de conjuntos difusos variable incremento de la bomba.....	41
Tabla 3. 8 Reglas de Inferencia para presión.....	41
Tabla 3. 9 Direcciones Topologia 1.....	43
Tabla 3. 10 Direcciones Topologia 2.....	44
Tabla 3. 11 Tabla de símbolos.....	59
Tabla 3. 12 Tabla conjunto Nivel actual y variables.....	77
Tabla 3. 13 Tabla conjunto Diferencia de nivel y variables.....	77
Tabla 3. 14 Todas las combinaciones posibles conjuntos de entrada nivel.....	81
Tabla 3. 15 Valor final conjunto Minimo.....	82
Tabla 3. 16 Valor final conjunto Casi_Minimo.....	82
Tabla 3. 17 Valor final conjunto Medio.....	82
Tabla 3. 18 Valor final conjunto Casi_Total.....	82
Tabla 3. 19 Valor final conjunto Total.....	82
Tabla 3. 20 Muestreo de conjuntos de salida.....	84
Tabla 3. 21 Tabla Opciones de WinCC flexible Engineering System.....	89
Tabla 3. 22 Tabla Opciones de WinCC flexible Runtime.....	90
Tabla 3. 23 Usuarios y contraseñas WINCC.....	101
Tabla 3. 24 Tipos de Tags configurados en KEPServerEx.....	111
Tabla 3. 25 Tags Configurados KEPServerEx.....	113
Tabla 3. 26 Tipo de Tagnames.....	116
Tabla 3. 27 Tipos de Alarmas.....	118
Tabla 3. 28 Tabla Registros Base de Datos.....	146
Tabla 3. 29 Tabla RegistrosP Base de Datos.....	146
Tabla 3. 30 Tabla Alarmas Base de Datos.....	147
Tabla 3. 31 Tagnames y Columns Bind List Registros DB.....	151
Tabla 3. 32 Tagnames y Columns Bind List RegistrosP DB.....	151
Tabla 3. 33 Tagnames y Columns Bind List Alarmas DB.....	152

Capítulo IV

Tabla 4. 1 Tabla xi, <i>uxi</i> , ejercicio teórico.....	163
Tabla 4. 2 Datos lógica difusa de nivel para prueba 1.....	168
Tabla 4. 3 Datos lógica difusa de nivel para prueba 2.....	168
Tabla 4. 4 Datos lógica difusa de presión para prueba 1.....	169
Tabla 4. 5 Datos lógica difusa de presión para prueba 2.....	169
Tabla 4. 6 Comparación de salida difusa de nivel.....	170
Tabla 4. 7 Comparación de salida difusa de presión.....	170
Tabla 4. 8 Datos presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.....	171
Tabla 4. 9 Error relativo seteo de nivel cada 0.5 L.....	173
Tabla 4. 10 Repetibilidad para control de nivel.....	174
Tabla 4. 11 Datos nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.....	175
Tabla 4. 12 Comparación control difuso vs. Control ON/OFF.....	177
Tabla 4. 13 Error relativo seteo de presión.....	177
Tabla 4. 14 Repetibilidad para control de presión.....	178
Tabla 4. 15 Tiempo de estabilización.....	179

INTRODUCCIÓN

Para la teoría de control el modelamiento matemático de la planta ha llegado a ser de gran importancia para poder resolver los problemas que se presenten al tratar de deducir la respuesta del proceso ante diferentes tipos de entradas, para prescindir de la utilización de este procedimiento se han desarrollado nuevas metodologías de control, es así como se llega a la aplicación de los campos de la lógica difusa, la cual en lugar de usar un modelamiento matemático, se basa en reglas basados en la experiencia y el sentido común para su funcionamiento.

La carrera de Ingeniería Electrónica posee equipos en los cuales se puede implementar diferentes tipos de sistemas de control, tal como el MPS COMPACT WORKSTATION en el cual se puede manipular cuatro variables: nivel, temperatura, presión y caudal. En la implementación del sistema de control difuso se realizará un control para las variables de nivel y de presión.

Como principal objetivo planteado es implementar el diseño de un sistema difuso para el control de los procesos de nivel y de presión en la CPU EduTrainer Compact S7-313C, además de la realización de un sistema HMI/SCADA para el módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION.

Para la obtención del objetivo planteado fue necesario el análisis de los sensores y actuadores empleados para los controles y además de realizar un estudio de las herramientas computacionales para el desarrollo del sistema HMI/SCADA como son: InTouch 8.0 y WinCC Flexible.

En el proyecto se aplican los conceptos de lógica difusa en la práctica y se obtiene el control de las dos variables del proceso: nivel y presión, con lo que se establece las ventajas y desventajas de este tipo de control, además que con el desarrollo del sistema SCADA se consigue un sistema óptimo de supervisión, control y gestión de datos.

CAPÍTULO I

1.1. Justificación e Importancia del Proyecto

El propósito de desarrollar este proyecto es aplicar el estudio teórico de lógica difusa adquirida durante la carrera de la Ingeniería Electrónica, a una implementación en un proceso real en donde se puede analizar el comportamiento de las variables de presión y nivel.

Con la finalidad de explotar el uso del módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION del Laboratorio de Procesos, se ha visto la necesidad de desarrollar nuevas aplicaciones para potenciar el conocimiento de nuevas técnicas de control.

La lógica difusa emplea reglas basadas en la experiencia y el sentido común, evitando así realizar un control con las técnicas convencionales que requieren un modelamiento matemático del proceso a controlar.

Para lo cual se pretende implementar un algoritmo FUZZY en la CPU EduTrainer Compact S7-313C del módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION del laboratorio de Procesos para el control de nivel y presión, los cuales se podrán controlar y monitorear mediante el desarrollo de un sistema HMI/SCADA.

1.2. Alcance del Proyecto

Se desarrollará un sistema de lógica difusa para el control del proceso de nivel y presión en la estación MPS PA COMPACT WORKSTATION, en la CPU EduTrainer Compact S7-313C utilizando el software Step 7 Professional.

Se diseñará un sistema SCADA usando el software InTouch que se comunicará con el PLC S7-300 mediante una interfaz Ethernet, se desarrollará HMIs usando el software WinCC flexible vía comunicación MPI y se mostrarán en la panel Touch Simatic de Siemens.

Se analizará los resultados obtenidos al implementar lógica difusa en el módulo, estableciendo las ventajas y desventajas de este tipo de control para estas dos variables presión y nivel. Para futuros proyectos se podría implementar controles difusos para las variables restantes, temperatura y caudal.

1.3. Hipótesis

Con la programación de lógica difusa para el control del proceso de nivel y de presión del módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION se comprobará la funcionalidad de una nueva forma de control basado en la experiencia y el sentido común, incorporado en un sistema HMI/SCADA.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar el diseño y análisis para el control del proceso nivel y presión mediante el Control FUZZY en la CPU EduTrainer Compact S7-313C, realizando un sistema HMI/SCADA para el módulo MPS PA COMPACT WORKSTATION.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la operación y funcionamiento de los sensores y actuadores del proceso de nivel y presión a utilizarse del módulo de Control de Procesos MPS PA COMPACT WORKSTATION.
- Implementar el algoritmo de programación para el control FUZZY en la CPU EduTrainer Compact S7-313C.
- Monitorear, supervisar y generar una base de datos desarrollando un sistema HMI/SCADA con el software InTouch, y el HMI de cada proceso usando WinCC Flexible, vía comunicación MPI (Multi Point Interface), y Ethernet.
- Analizar los resultados obtenidos con el control FUZZY estableciendo conclusiones de las ventajas y desventajas de este tipo de control.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1. El Sistema Scada

Para el siguiente tema se realizó un resumen tomado del libro Sistemas SCADA de Aquilino Rodriguez.

La palabra Scada proviene de las siglas Supervisory Control And Data Acquisition (Control con Supervisión y Adquisición de Datos), este nombre se da a cualquier software que permite el acceso remoto a datos de un proceso y permite el control de los mismos.

No es un sistema de control, sino es una utilidad de software de supervisión que realiza la interface entre los niveles de control y los de gestión.

2.1.1. Objetivos

Un sistema Scada se crea principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Sus objetivos más relevantes son:

- **Economía:** para poder tener una vista general de toda la planta y ver lo que ocurre desde la oficina y no tener que enviar a un operario a realizar esta tarea.
- **Accesibilidad:** será posible cambiar los parámetros de funcionamiento de cada parte de la planta con tan solo un clic, ver el estado de cada segmento de la planta y poder parar los equipos que están trabajando innecesariamente.

2.1.2. Prestaciones

El sistema Scada comprende una serie de utilidades y funciones orientadas a brindar una comunicación clara entre el proceso y el operador.

Las prestaciones que más destacan son:

- **La monitorización:** lectura de los datos del autómeta en tiempo real, los datos pueden ser monitoreados a kilómetros de distancia de la planta.
- **La adquisición de datos de los procesos en observación:** se puede registrar los valores de un proceso, guardando dichos valores y evaluándolos para la posterioridad, para realizar mejoras en el rendimiento del proceso.
- **La visualización de los estados de las señales del sistema (alarma y eventos):** acontecimientos de eventos excepcionales en la planta y su inmediata puesta en conocimiento al operario para realizar la acción pertinente.
- **Garantizar los seguros en los accesos:** restringiendo el acceso a zonas no autorizadas, registrando todos los accesos y acciones realizadas por el operador.¹

2.2. Elementos del Sistema Scada

El sistema Scada posee elementos que cumplen funciones específicas como: controlar el sistema, monitorear y visualizar el proceso y recopilar datos, etc. Por esto se divide en dos grandes grupos, el hardware y el software.

2.2.1. Hardware

Un sistema Scada está dividido en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** registran datos de los elementos de control del proceso, por ejemplo, reguladores, autómetas, etc., y procesan estos datos para su utilización. Son los servidores del sistema.
- **Utilizadores de datos:** utilizan la información que recogen los captadores de datos. Son los clientes.

¹ RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcombo S.A, Barcelona-España, 2007, p.19-23.

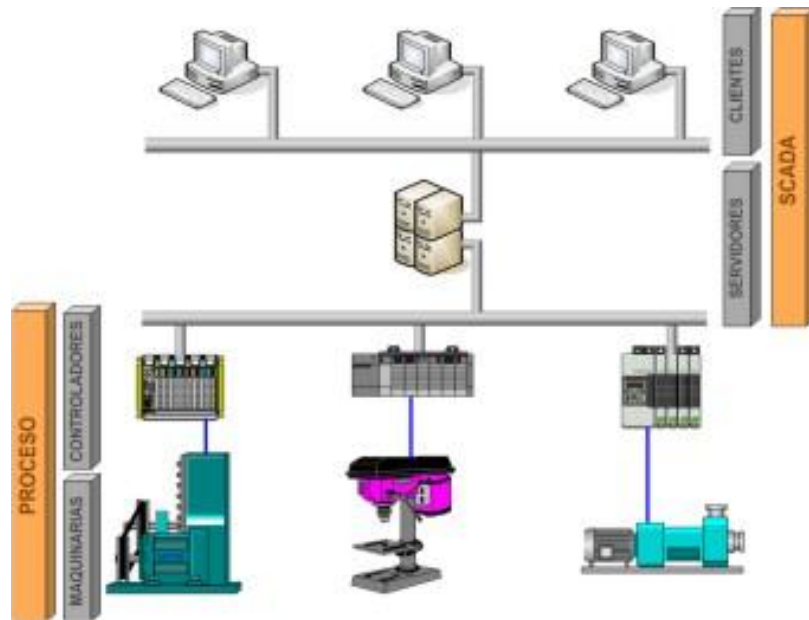


Figura 2. 1 Scada arquitectura básica de hardware.

Mediante los buses de campo los autómatas programables o sistemas de regulación, envían la información a niveles superiores del sistema automatizado.

Estos sistemas están compuestos por los siguientes elementos:

- Interface Hombre – Máquina
- Unidad Central
- Unidad Remota
- Sistema de Comunicaciones

2.2.1.1. Interface Hombre-Máquina (HMI, MMI)

Comprende las partes principales de control y la representación gráfica del proceso. Los paneles sinópticos deben representar de forma simplificada, el sistema bajo control, (por ejemplo, una red de distribución eléctrica, un sistema de aprovisionamiento de agua.). De esta forma el usuario tiene una visión más clara y completa del sistema.



Figura 2. 2 Interface HMI.

2.2.1.2. Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit)

Centraliza el mando del sistema, usa protocolos abiertos lo cual permite interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. Este tipo de control permite intercambiar información en tiempo real entre centros de control y subestaciones. El Centro de Control realiza la recopilación y archivado de datos, y también se encarga de:

- Recopilar datos de todas las estaciones remotas (RTU).
- Envío de información.
- Comunicación con los operadores.
- Análisis.
- Impresión.

2.2.1.3. Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)

Una Unidad o Estación Remota es el elemento o conjunto de elementos que se encargan de las labores de control y/o supervisión de un proceso, comunicados con el Centro de Control mediante algún canal de comunicación.

Dentro de esta clasificación podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados:

- RTU (Remote Terminal Unit): especializado en comunicación.
- PLC (Programmable Logic Controller): tareas generales de control.
- IED (Intelligent Electronic Device): tareas específicas de control.

2.2.1.4. Sistema de comunicación

Los servidores de datos recopilan de manera cíclica información de los diferentes elementos de campo como autómatas, registradores, reguladores, etc.

Un servidor de datos puede encargarse de varios protocolos a la vez, estando limitado por su capacidad física (tarjetas de comunicación). Éstas permiten el intercambio de datos de forma bidireccional entre la Unidad Central y las unidades remotas (RTU) por medio de un determinado protocolo de comunicación.²

2.2.2. Software

Un programa HMI se ejecuta en un ordenador o terminal gráfico, este programa se puede comunicar con los dispositivos de control y los elementos de gestión mediante los determinados controladores (o driver) de comunicación, estos controladores realizan la traducción entre el lenguaje del programa Scada y el del Autómata, o entre el Scada y la red de gestión.

² RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcocombo S.A, Barcelona, 2007, p.34-43.

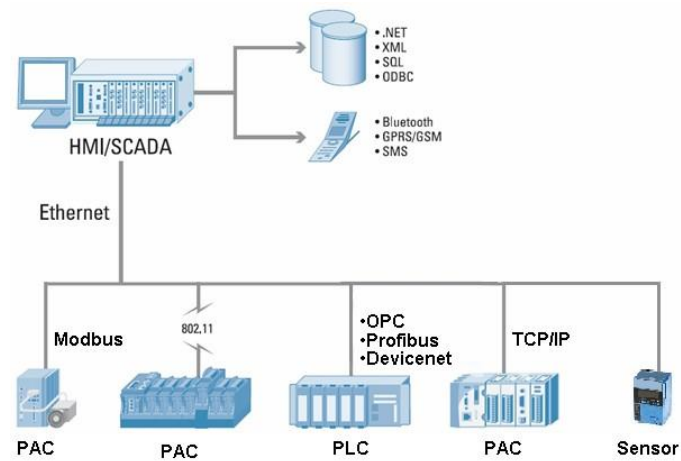


Figura 2. 3 Concepto de driver o controlador.

Cuando los datos de la planta se han procesado, se pueden transferir a otras aplicaciones, como base de datos u hojas de cálculos, lo que se denomina gestión de datos, que permite analizar eventos, alarmas, producción, etc, ocurridos durante el proceso.

En un sistema Scada se tiene dos bloques bien definidos, el programa de desarrollo y el programa de ejecución o Run-time.

El programa de desarrollo se relaciona con la creación y edición de las diferentes partes de la aplicación como ventanas, textos, propiedades de los objetos, etc.

El programa Run-time permite la ejecución de la aplicación creada en el programa de desarrollo.³

2.3. Módulo MPS Compact Workstation

En este tema se realizó un resumen del manual MPS PA Compact Workstation de Jürgen Adiro.

³ RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcocombo S.A, Barcelona, 2007, p.44.

Es una estación de trabajo, la cual combina cuatro lazos cerrados con sensores y actuadores análogos y digitales, con un PLC o un controlador, es posible realizar individualmente o en conjunto los siguientes controles:

- Sistema de control de nivel
- Sistema de control de caudal
- Sistema de control de presión
- Sistema de temperatura controlada



Figura 2. 4 MPS Compact Workstation.

Los componentes básicos de la estación MPS PA Compact Workstation son:

- Sensor Ultrasónico.
- Sensor de Presión, Piezoeléctrico.
- Indicador de Presión.
- Sensor de temperatura PT100.
- Interruptores de Proximidad.
- Interruptor de flotador de umbral.
- Interruptor de flotador de nivel máximo.

- Interruptor de Flotador protección para el calentador.
- Controlador de motor para bomba.
- Bomba Centrífuga.
- Válvula proporcional con control electrónico.
- Válvula de bola 2W con manejo rotacional neumático.
- Terminal para señales analógicas.
- Convertidores de señal: corriente a voltaje, frecuencia a voltaje, PT100 a voltaje.
- PLC.
- Sistema de tuberías.
- Tanque de presión.
- Tanques de Agua.
- Válvula Manual.

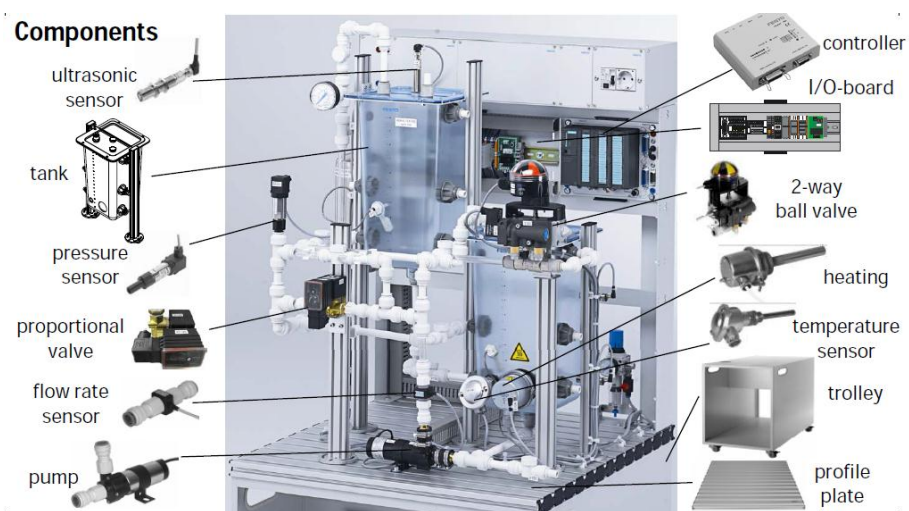


Figura 2. 5 Componentes MPS Compact Workstation.⁴

⁴ ADIRO, Jürgen, *MPS PA Compact Workstation Manual*, Esslingen-Alemania, 2008 p. 17-19.

2.3.1. Diagrama de Instrumentación de la Planta

El diagrama de instrumentación del MPS Compact Workstation de la Figura 2.6, tiene los siguientes componentes:

Símbolo	Significado
V105	Válvula manual
PUMP 101	Bomba centrífuga
LSL B113	Sensor de nivel bajo B113
LSH B114	Sensor de nivel alto B114
TIC B104	Controlador e Indicador de Temperatura B104
E104	Sensor de temperatura
LS S117	Interruptor de Nivel S117
B101	Tanque 1
LA S111	Alarma de Nivel S111
V102	Válvula solenoide de bola
V104	Válvula manual
V109	Válvula manual
V110	Válvula manual
V112	Válvula manual
FIC B102	Controlador e Indicador de Flujo B102
V101	Válvula manual
V103	Válvula manual
V106	Válvula proporcional
V107	Válvula manual
V108	Válvula manual
LS S112	Sensor de Nivel S112
B102	Tanque 2
LIC B101	Controlador e Indicador de Nivel B101
PIC B103	Controlador e Indicador de Presión B103
PI 105	Indicador de Presión
B103	Tanque de Presión

Tabla 2. 1 Simbología diagrama de instrumentación planta.

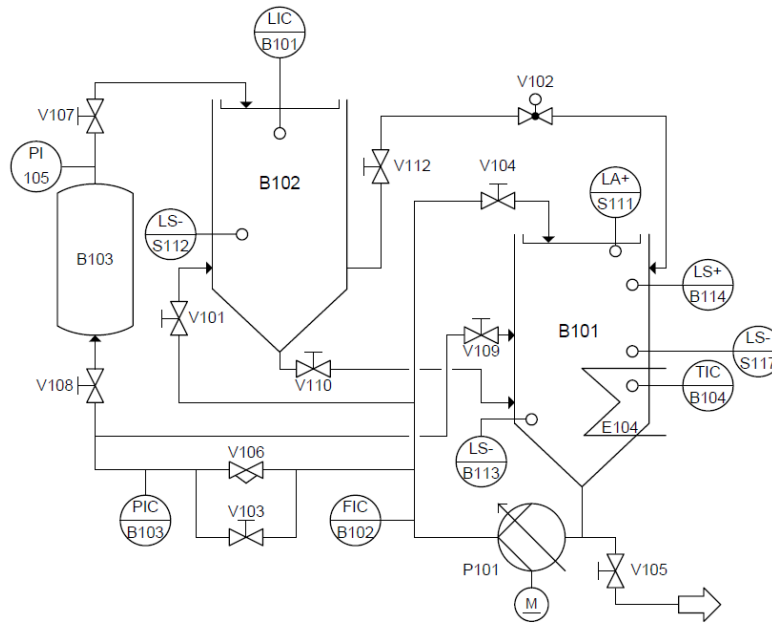


Figura 2. 6 Diagrama de Instrumentación de la planta.

2.3.2. Sensores y actuadores involucrados en el control de nivel y presión

2.3.2.1. Unidad de mantenimiento

El regulador de presión ajusta el aire comprimido suministrado a la presión de operación de regulación y compensa las fluctuaciones de presión. Una flecha en la carcasa indica la dirección del flujo. El manómetro indica la presión establecida. La válvula de 3/2 se acciona a través del mango deslizante azul.

La unidad de mantenimiento está montada sobre un elemento de retención giratoria.

Rango de operación: 1- 8 bar.⁵



Figura 2. 7 Unidad de mantenimiento.

⁵ FESTO Didactic, *PA Collection of data sheet*, Esslingen – Alemania, 2001 p.7-9.

2.3.2.2. Interruptores de proximidad

El tanque, Tank 101 tiene dos sensores de proximidad capacitivos B113, B114, los cuales se encuentran a un lado del depósito montado sobre una placa de perfil.

Los interruptores de proximidad pueden ser mecánicamente ajustados. La distancia de detección a través de la pared del tanque se puede ajustar mediante un tornillo.

- Voltaje de operación digital: 0/24 V.

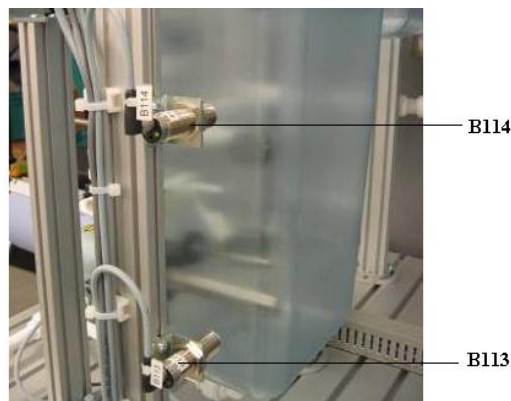


Figura 2. 8 Interruptores de Proximidad.

2.3.2.3. Interruptor de flotador

El desbordamiento del tanque, Tank 101, es monitoreado con el interruptor de flotador S111, donde si el nivel del tanque supera el nivel máximo del cilindro transparente flotador, es empujado hacia arriba, y activa un contacto que se encuentra dentro del cilindro.

- Voltaje de operación digital: 0/24 V



Figura 2. 9 Interruptor de flotador.

2.3.2.4. Sensor ultrasónico

El tanque, Tank 102, tiene en la parte superior ubicado el sensor ultrasónico, B101, para determinar el nivel del líquido dentro del tanque. El sensor detecta la distancia a la superficie

- Rangos de Operación: 50 – 300 mm, 4-20 mA
- Transductor de corriente a voltaje: 4 – 20 mA, 0 – 10 VDC



Figura 2. 10 Sensor Ultrasónico.

2.3.2.5. Tanque de Presión

El tanque de presión, B103, es usado para almacenar el valor de la presión media. Su capacidad es de 2 L, el rango de presión va desde -0.95 a 16 bares.⁶



Figura 2. 11 Tanque de presión.

⁶ ADIRO, Jürgen, *MPS PA Compact Workstation Manual*, Esslingen-Alemania, 2008 p. 20-29.

2.3.2.6. Indicador de Presión

El indicador de presión, PI 105, muestra la presión de forma analógica, la máxima presión que soporta el indicador para no sufrir desperfectos es de $\frac{3}{4}$ de la escala total, en operación continua.

- Rangos de Indicación: 0 – 1 bar.
- Presión de operación: 0 – 0,7 bar.⁷

2.3.2.7. Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga P101, es el dispositivo de control para el proceso de nivel y presión, la bomba lleva el fluido, desde el tanque, Tank 101, a través del sistema de tuberías.

Su funcionamiento puede ser: on/off o analógico dependiendo de la aplicación.

Rangos de Funcionamiento:

- Digital 0 / 24 V 0 / 6 L/min.
- Analógico 0 – 10 V 0 – 6 L/min.



Figura 2. 12 Bomba Centrífuga.

2.3.2.8. Sensor de Flujo

La velocidad del rotor es proporcional al caudal y se detecta sin contacto a través del sistema optoelectrónico incorporado.

⁷ FESTO Didactic, *PA Collection of data sheet*, Esslingen – Alemania, 2001 p.12.

Un filtro protector está montado en el lado de entrada todos los componentes de la carcasa del sensor en contacto con el medio están hechas de fluoruro de polivinilideno.

Rangos de operación: Frecuencia 40 – 1200 Hz, Caudal 0.3 – 0.9 L/min



Figura 2.13 Sensor de Flujo.

2.3.2.9. Sensor de Presión

El sensor utiliza una celda cerámica de presión para su funcionamiento.

El voltaje de salida del sensor comprende el rango de 0 – 10 VDC. Posee un plug de conexión flexible que puede ser usado dentro de un sistema de tuberías.



Figura 2.14 Sensor de Presión.

2.3.2.10. 2/2 W Válvula Solenoide de bola

La 2/2 W válvula solenoide de bola es controlada directamente. Si la corriente eléctrica no circula a través de la bobina, la válvula se cierra por medio de un actuador giratorio neumático.

- Tipo de funcionamiento OPEN/CLOSE.
- Presión de Operación: 3 – 8 bares.⁸



Figura 2.15 Válvula solenoide de Bola

2.3.3. CPU Edutrainer Compact S7-313C

El control de los sensores y actuadores de la estación MPS Compact Workstation se lo realiza por medio del EDUTRAINER COMPACT S7-313C.

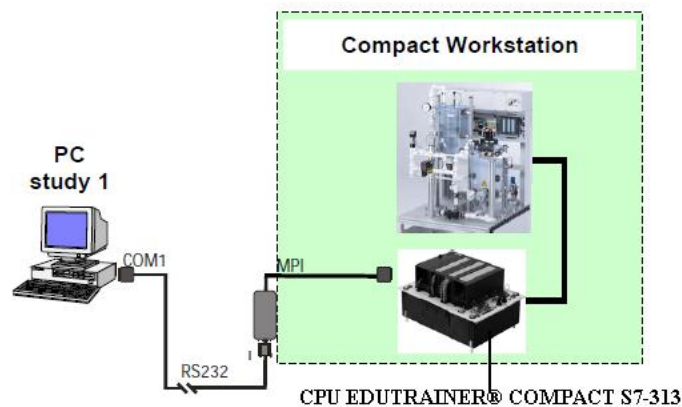


Figura 2.16 Conexión EDUTRAINER® COMPACT S7-313

⁸ ADIRO, Jürgen, *MPS PA Compact Workstation Manual*, Esslingen-Alemania, 2008 p. 24-34.

El Simatic S7-300 es un PLC de sistema modular de Siemens diseñado para uso industrial. Este ha sido integrado para ambientes didácticos en Festo Didactic.

Módulos de la familia S7-300 han sido seleccionados para convertir al PLC en un módulo Trainer, como es el caso del EDUTRAINER COMPACT S7-313C.⁹

La CPU S7-313 está compuesta por los siguientes partes:



Figura 2. 17 Partes de la EDUTRAINER COMPACT S7-313C.

1. Tarjeta de memoria Micro.
2. CPU313C-2DP. Entradas y salidas analógicas.
3. CPU313C-2DP. Entradas y salidas digitales botonera.
4. 24 V tomas de seguridad.
5. Tomas de corriente de parada de emergencia.
6. Conectores valores digitales hacia la botonera.
7. Conector sub-D de valores analógicos.
8. 0 V enchufes de seguridad.

⁹ ACKERMANN, Roland y SCHWARZENBERGER, Doris, *S7 EduTriner Compact Operating instructions*, Denkendorf-Alemania, 2003. p.33.

9. Módulo de Comunicación Ethernet CP343 1Lean.

2.3.3.1. Características de la CPU

La Tabla 2.2 muestra las características principales de la CPU S7-313

CPU 313	
Tensión de alimentación	24 V DC
Rango Permitido	de 20,4 a 28,8 V CC
Consumo de corriente	0,7 A
RAM	32 Kbytes
Almacenamiento en búfer	Requiere una micro tarjeta de memoria
Banderas	2048
Contadores	256
Temporizadores	256
Interfaz integrada	MPI
Entradas Digitales Integradas	24 Voltaje de Entrada Nominal 24 V DC Para señal "1" 15 - 30 V Para señal "0" -3 - +5 V Corriente de entrada Para la señal "1" 8 mA
Salidas digitales integradas	16 Carga nominal de tensión L + / L 1 24 V DC Perm. Rango 20,4 a 28,8 VDC Tensión de salida Para señal "1", máx. L + / - 0,8 V Corriente de salida Para señal "1" 0,5 A Corriente mínima 5 mA Para señal "0", máx. 0,5 mA
Entradas analógicas Integradas	4 Tensión ± 10 V, 0 - 10 V Corriente ± 20 mA, 0/4 - 20 mA Resolución 11 bits + signo
Entradas analógicas Integradas	1 Resistencia 0-600 Ω, Pt 100 Resolución 11 bits + signo
Salidas analógicas Integradas	2 Tensión ± 10 V, 0 - 10 V Corriente ± 20 mA, 0/4 - 20 mA

Tabla 2. 2 Características CPU S7-313C.

2.3.3.2. Módulo de Comunicación de Procesos (CP)

Posee un módulo de comunicación de procesos de la serie CP343 – 1Lean, que permite la comunicación de la CPU S7-300 a través de Ethernet Industrial.

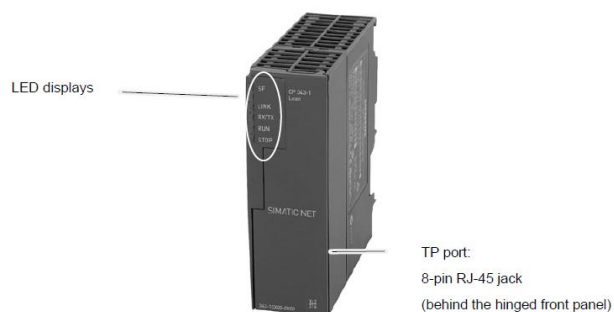


Figura 2. 18 Módulo CP343 – 1Lean.

En el panel frontal de la CP343 – 1Lean – 1Lean hay 5 leds, los cuales indican el modo de funcionamiento de la CP, y dependiendo de algunas combinaciones de encendido de estos leds indican algunos errores que se producen en la CP que pueden ser ocasionados por mala configuración o una mala conexión.

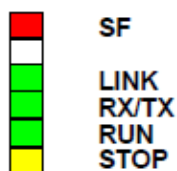


Figura 2. 19 Leds indicadores CP343 – 1Lean.

En la Tabla 2.3, se observan las características principales de la CP343 – 1Lean

Característica	Explicación
Número de conexiones simultáneas para Industrial Ethernet	Máximo 12
Número de conexiones para comunicación S7 Industrial Ethernet	4 HMI 4 Comunicaciones S7 configuradas
LAN Interface – longitud de registro por PDU Enviando Recibiendo	240 bytes/PDU 240 bytes/PDU

Tabla 2. 3 Características CP343 – 1Lean

2.4. Software Simatic Step7

Para el siguiente tema se realizó un resumen del manual Programar con STEP 7 de SIEMENS, SIMATIC.

El software Simatic, propiedad de Siemens, dispone de potentes herramientas de configuración y programación que se han integrado en la interfaz de usuario a través del Simatic Manager (Step 7), y que comparten una estructura de proyecto común.

Simatic Step 7 es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización Simatic. Step 7 forma parte del software industrial Simatic.

Para aplicaciones en sistemas de automatización Simatic S7-300/400, se tienen las siguientes funciones:

- Posibilidad de parametrizar bloques de función y de comunicación.
- Transferencia de datos controlada por eventos con bloques de comunicación y defunción.
- Configuración de enlaces.¹⁰

2.4.1. Herramientas de Step 7

Las herramientas de Step 7 se muestran en la Figura 2.20.

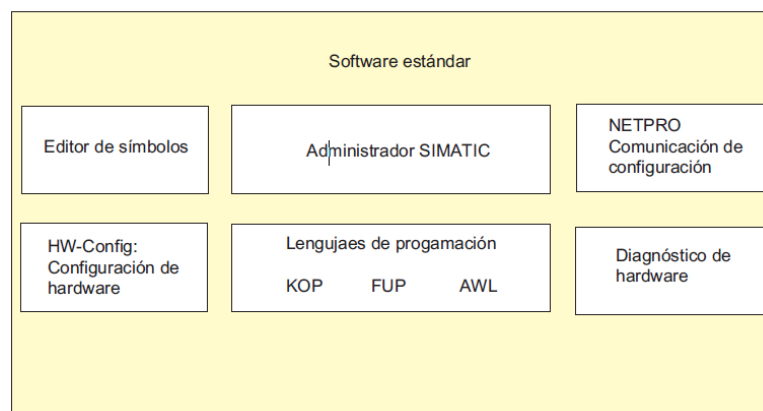


Figura 2. 20 Herramientas de Simatic Step 7.

¹⁰ SIEMENS, *SIMATIC Programar con STEP7 Manual*, Nürnberg-Alemania, 2006, p.19-20.

2.4.1.1. Administrador Simatic

El Administrador Simatic gestiona todos los datos pertenecientes al proyecto de Automatización, arranca automáticamente las herramientas necesarias para tratar los datos u objetos seleccionados.

2.4.1.2. Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación KOP, AWL y FUP para S7-300/400 son parte integrante del software estándar Simatic Step7.

- **KOP** (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. La sintaxis de las instrucciones es similar a la de un esquema de circuitos.
- **AWL** (lista de instrucciones) es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU ejecuta el programa.
- **FUP** (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica.
- **S7-GRAPH** es un lenguaje de programación que permite describir cómodamente controles secuenciales (programación de cadenas secuenciales) dividiendo el proceso en diferentes etapas.

2.4.1.3. Módulos del Programa de Usuario

El software de programación Step 7 permite dividir el programa de usuario en diferentes partes o módulos. Los tipos de módulos que el usuario tiene a su disposición son los siguientes:

- **Módulos de organización (OB):** definen la estructura del programa de usuario. El sistema operativo llama cíclicamente al OB 1 y arranca la ejecución cíclica del programa de usuario. La ejecución cíclica se programa escribiendo el programa de usuario con Step 7 en el OB 1 y en los bloques ahí llamados.

- **Módulos de función (FB):** son módulos con "memoria" que puede programar el mismo usuario. Estos módulos pueden ser programados en cualquier tipo de lenguaje de programación de Step 7.
- **Módulos de Código (FC):** son módulos que el usuario puede programar, contienen rutinas de programa para funciones frecuentes. La FC contiene un programa que se ejecuta cada vez que la FC es llamada por otro bloque lógico. Las funciones se pueden utilizar para devolver un valor de función al bloque invocante, o ejecutar una función específica.
- **Módulos de datos (DB):** al contrario de los módulos lógicos, los módulos de datos no contienen instrucciones Step 7. En cambio, sirven para depositar datos de usuario, es decir que los bloques de datos contienen datos variables con los que trabaja el programa de usuario. Los bloques de datos globales contienen datos de usuario utilizables desde otros bloques.¹¹

2.4.1.4. Tipos de operadores

Los operandos de las instrucciones se componen de un dato que puede ser de distintos tipos. Los tipos de datos posibles se muestran en la Tabla 2.4.

Símbolo	Significado
E	Entrada
A	Salida
M	Marca
P	Periferia(acceso directo)
L	Datos locales
T	Temporizador
Z	Contador
DB	Módulos de datos

Tabla 2. 4 Tipos de datos Step 7.

¹¹ SIEMENS, *SIMATIC Programar con STEP7 Manual*, Nürnberg-Alemania, 2006, p.69-86.

2.5. Interface MPI

En este tema se realizó un resumen tomado del manual Comunicación con SIMATIC de SIEMENS.

La interface multipunto MPI- Multi Point Interface- (Interface Multipunto), es una interface de comunicación integrada en cada autómatas programable Simatic S7. Se utiliza para interconexiones de redes sencillas, las cuáles permiten conectar varios PGs, OPs o autómatas programables.¹²

- Posibilidad de interconectar pocos interlocutores con intercambio de pequeñas cantidades de datos mediante funciones básicas.
- La comunicación por datos globales ofrece una sencilla posibilidad de comunicación configurable.

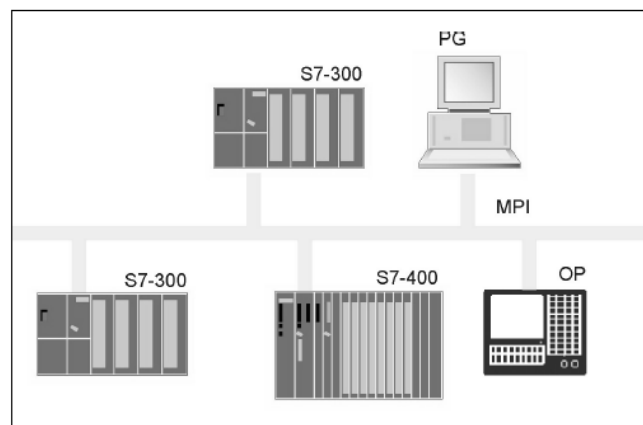


Figura 2. 21 Ejemplo de subred MPI

2.5.1. Datos técnicos

Normalización	Específica de SIEMENS
Equipos	32 como máximo
Método de acceso	Token (paso de trestigo)
Velocidad transferencia	19.2Kbit/s, 187.5Kbit/s ó 12Mbit/s
Soporte de transmisión	Cable bifilar apantallado Fibra óptica (vidrio o plástico)
Extensión de red	Longitud de segmento 50m, Vía repetidores RS 485 hasta 1.100m,

¹² SIEMENS, *Comunicación con SIMATIC*, Nürnberg-Alemania, 1999, p. 79-82.

	Por fibra óptica vía OLM(Optical Link module) > 100Km
Topología	Eléctrica: Línea Óptica: Árbol, estrella, anillo
Servicios de comunicaciones	Funciones PG/OP Funciones S7 Funciones básicas S7 Comunicación por datos globales

Tabla 2. 5 Tabla datos técnicos interface MPI.

2.5.2. Modo de acceso (bus token)

Las estaciones del bus conectadas, en orden numérico, a la interface MPI constituyen un anillo Token lógico. Este orden es independiente de la disposición topológica de las estaciones activas en el bus. Por anillo Token se entiende una unión organizativa de estaciones (maestros) en la que se pasa un Token (testigo) siempre de una estación a la próxima. Este Token y, por consiguiente, el derecho de acceso al soporte de transmisión se retransmite entre las estaciones del bus activas a través de un telegrama Token especial. Cuando una estación tiene el Token, puede enviar telegramas mientras dure el denominado tiempo de retención del Token.

Una vez transcurrido éste, la estación ya sólo puede enviar un mensaje de alta prioridad. Si una estación no tiene ningún mensaje que enviar, pasa el Token directamente a la siguiente estación en el anillo lógico. De esto se exceptúa la estación activa con la máxima dirección existente en el bus HSA (Highest Station Address). La misma pasa el Token exclusivamente a la estación del bus activa con la mínima dirección de bus, para que se cierre nuevamente el anillo Token lógico.

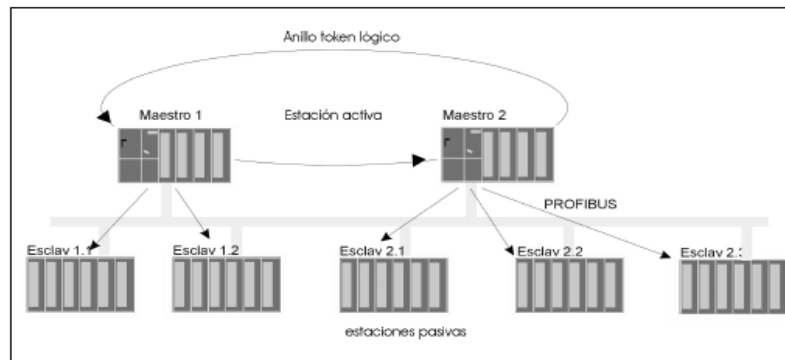


Figura 2. 22 Bus token.

2.6. Industrial ETHERNET

En este tema se realizó un resumen tomado del manual Comunicación con SIMATIC de SIEMENS.

Industrial Ethernet es una subred de nivel de control central y nivel de célula para la comunicación entre ordenadores y sistemas de automatización. Ayuda en el intercambio de una gran cantidad de datos y para comunicarse a grandes distancias. En la parte física, Ethernet es una red eléctrica sustentada en un cable coaxial apantallado, un cable de par trenzado (Twisted Pair) o una red óptica basada en fibras ópticas.¹³

- Industrial Ethernet utiliza los protocolos ISO y TCP/IP.
- Mediante las funciones S7 se tiene acceso a CPUs S7/M7/C7 y PCs.
- Mediante las funciones PG/OP se tiene acceso a SIMATIC OPs/OSs y PCs.

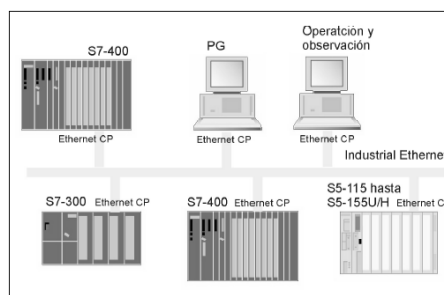


Figura 2. 23 Ejemplo de subred Industrial Ethernet.

¹³ SIEMENS, *Comunicación con SIMATIC*, Nürnberg-Alemania, 1999, p. 90-91.

2.6.1. Modo de acceso

El acceso se da por el método CSMA/CD- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection- (Acceso múltiple con escucha de portadora y Detección de Colisiones), antes de emitir, cada equipo comprueba si hay otros equipos que estén transmitiendo, si ningún equipo está transmitiendo se puede iniciar inmediatamente la transmisión. Cuando se produce una colisión por transmisión simultánea, los dos equipos interrumpen la transmisión y tras un periodo de espera repiten la emisión.

En Industrial Ethernet todos los equipos tienen el mismo derecho para transmitir debido al método que utilizan.

2.6.2. Datos técnicos

Normalización	IEEE 802.3	
Equipos	Más de 1000	
Método de acceso	CSMA/CD	
Velocidad transferencia	100 Mbit/s	
Soporte de transmisión	Eléctrico:	Cable coaxial de doble pantalla Industrial Twisted Pair
	Óptico:	Fibra óptica
Extensión de red	Eléctrica:	1.5 Km
	Óptica:	4.5 Km
Topología	Árbol, estrella, anillo, línea	
Servicios de comunicaciones	PD/OP Funciones S7 Funciones compatibles con S5 Comunicación por datos globales (ISO-Transport, ISO-on-TCP, UDP) Funciones estándar (servicio MMS según MAP 3.0)	

Tabla 2. 6 Tabla datos técnicos interface MPI.

2.7. Comunicación OPC

En este tema se realizó un resumen tomado del libro Sistemas SCADA de Aquilino Rodriguez.

El intercambio de datos OPC (Ole for Process Control). Es un estándar abierto que brinda la capacidad de realizar un método fiable para acceder a los datos desde dispositivos de campo. El procedimiento de acceso siempre es el mismo y independientemente del tipo y origen de los datos.

Su base es la tecnología COM (Component Object Model), de Microsoft, que puede definir cualquier unidad de campo mediante sus propiedades creando así una interface estándar. Por este método es posible conectar fácilmente cualquier unidad o dispositivo de campo a un servidor de datos local (COM), o remoto (DCOM).



Figura 2. 24 Funcionamiento OPC

Los componentes OPC se pueden clasificar en clientes o servidores:

2.7.1. Cliente OPC (OPC client)

Es una aplicación que maneja datos. Cualquier cliente OPC se puede comunicar con cualquier servidor OPC indistintamente del tipo de dispositivo que recoge esos datos

2.7.2. Servidor OPC (OPC server)

Es una aplicación que realiza el almacenamiento de datos de los diversos elementos o dispositivos de campo de un proceso automatizado y permite el acceso libre a estos elementos desde otras aplicaciones que pidan sus servicios (clientes OPC).¹⁴

¹⁴ RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcombo S.A, Barcelona-España, 2007, p.45-46.

2.8. Teoría Lógica Difusa

Para este tema se realizó un resumen del libro *Introducción a la lógica borrosa* de Trillas Enric.

En la lógica clásica las proposiciones siempre son verdaderas o falsas, en algunos casos determinar la verdad o falsedad de una proposición puede ser algo inmediato, y en otros casos el proceso puede llevar un extenso trabajo de investigación.

Los predicados que consideran los seres humanos no pertenecen al contexto de la lógica clásica, existen predicados que son muy imprecisos (pobre, bueno, gordo, etc.). El lenguaje ordinario utiliza cuantificadores imprecisos (casi todos, casi siempre, algunos, etc.), en los razonamientos usuales se acostumbra a divergir claramente de los razonamientos científicos.

La lógica difusa trata de contribuir modelos que permiten avanzar en el estudio de los predicados vagos así como de las formas de razonamiento usuales.¹⁵

2.9. Teoría De Conjuntos Difusos

Para este tema se hizo un resumen de la página web www.catarina.udlap.mx.

La lógica difusa brinda la habilidad para trabajar con datos o información que no son exactos o que tiene un alto nivel de imprecisión, a diferencia de la lógica clásica que trabaja con datos exactos. La principal desventaja de la lógica clásica es la poca capacidad de expresión.¹⁶

2.9.1. Conjuntos Clásicos

Los seres humanos en la necesidad de clasificar objetos y conceptos crea los conjuntos clásicos, estos conjuntos se pueden declarar mediante una función de pertenencia μ que toma el valor de 0 ó 1, es decir no posee valores intermedios, o por medio de un conjunto de elementos bien definidos.

A un conjunto clásico se lo define con la función de pertenencia de la ecuación 3.1

¹⁵ TRILLAS, Enric & otros, *Introducción a la lógica borrosa*, Barcelona-España, 1995, p.127-128.

¹⁶ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \notin A \\ 1 & \text{si } x \in A \end{cases}$$

2.9.2. Conjuntos Difusos

Los conjuntos difusos surgen del hecho que existen conceptos que no poseen límites definidos. Los conjuntos difusos están unidos por un valor lingüístico que se define por una palabra, adjetivo o etiqueta lingüística.

En un conjunto difuso el valor de pertenencia puede poseer valores que pueden estar en el rango de 0 y 1, la transición del valor es gradual y no cambia de manera instantánea. Un conjunto difuso en un universo se lo puede definir mediante la ecuación 3.2

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

Donde $\mu_A(x)$ es la función de pertenencia de la variable x , y U es el universo.

Mientras más cerca este la pertenencia del conjunto A al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable x al conjunto A .

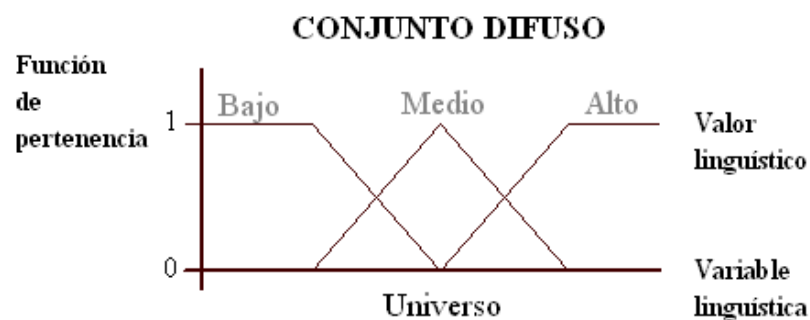


Figura 2. 25 Ejemplo de conjunto difuso.

2.9.3. Funciones de pertenencia

En este tema se tomo como referencia la página web www.dma.fi.upm.es.

Es el grado de pertenencia o membresía de un elemento en un conjunto difuso, es el aspecto clave en los conjuntos difusos, el valor de pertenencia puede variar entre 0 y 1, siendo 1 el valor de máxima correspondencia.

Aunque cualquier función puede ser válida para determinar un conjunto difuso, existen funciones que se utilizan más por su sencillez matemática, por esta razón las más utilizadas son las triangulares y trapezoidales.

➤ **Función triangular**

Definida mediante el límite inferior **a**, el superior **b** y el valor modal **m**, tal que **a < m < b**. La función no tiene porqué ser simétrica.

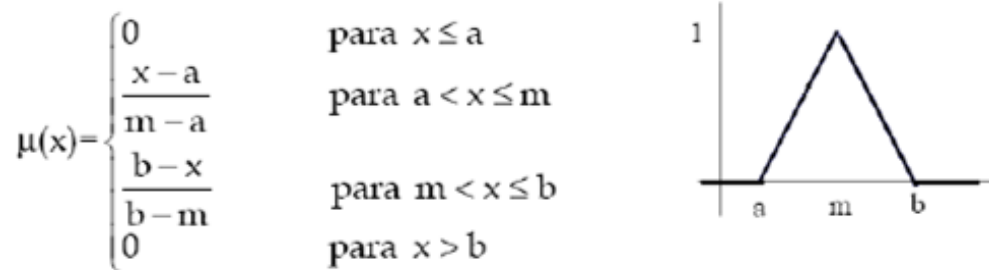


Figura 2. 26 Función de transferencia para un conjunto difuso triangular.

➤ **Función trapezoidal**

Definida por sus límites inferior **a**, superior **d**, y los límites de soporte inferior **b** y superior **c**, tal que **a < b < c < d**.

En este caso, si los valores de **b** y **c** son iguales, se obtiene una función triangular.¹⁷

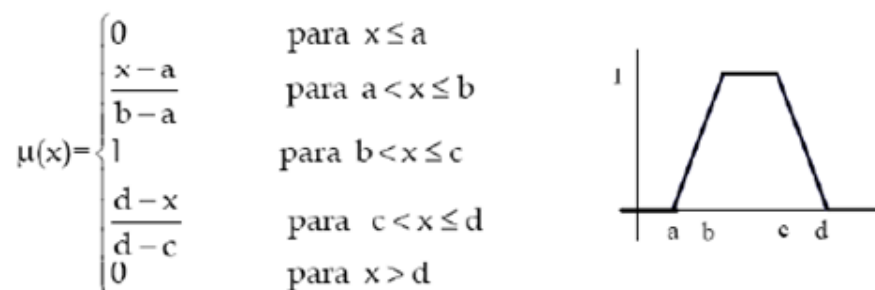


Figura 2. 27 Función de transferencia para un conjunto difuso trapezoidal.

¹⁷ <http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/tutfuzzy/contenido3.html>

2.10. Sistemas Difusos

En este tema se tomo como referencia la página web www.members.tripods.com.

Se constituye por tres bloques principales: el bloque de fuzzyficacion que transforma los valores a valores de lógica difusa, el motor de inferencia que emplea las reglas, y por último el bloque de defuzzyficacion, que transforma la lógica difusa en valores numéricos.¹⁸



Figura 2. 28 Sistema difuso.

2.10.1. Fuzzyficacion

La fuzzyficacion es un proceso que convierte al mundo difuso un determinado valor de entrada, asignándole un grado de pertenencia de los diferentes conjuntos difusos definidos para el sistema.

2.10.2. Inferencia

Para este tema se tomo como referencia el libro Aplicaciones de la lógica borrosa de Trillas y Gutiérrez

La inferencia borrosa es un sistema que interpreta las reglas de tipo Si Entonces (If Then) de una base de reglas, y su finalidad es obtener los valores de salida.

Las reglas se definen de la siguiente manera:

IF <antecedente> **THEN** <consecuente>

¹⁸ http://members.tripod.com/jesus_alfonso_lopez/FuzzyIntro2.html

Estas reglas borrosas combinan uno o más conjuntos de entrada a los cuales se les denomina antecedente o premisas y se las asocia a un conjunto borroso de salida al cual se lo llama consecuente o consecuencia.

Los antecedentes o premisas se asocian conjuntos lógicos como el Y (AND) y el O (OR).

Ejemplo:

SI (el error es grande) **Y** (su derivada pequeña y positiva) **ENTONCES** (el control será grande y positivo).

2.10.3. Defuzzyficacion

Cuando se quiere obtener una solución a un problema de decisión lo que se debe obtener es un número y no un conjunto borroso, por esta razón es necesario realizar una transformación de la salida del motor de inferencia a un número.

El método más utilizado para la defuzzyficacion es el cálculo del centro de gravedad o centroide, el cual da como resultado el centro del área bajo la curva.¹⁹

Ejemplo:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)}$$

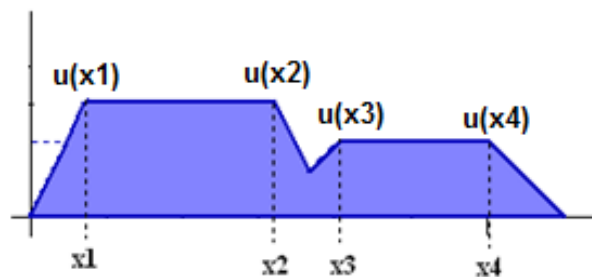


Figura 2. 29 Defuzzyficacion.

¹⁹ TRILLAS & GUTIÉRREZ, *Aplicaciones de la lógica borrosa*, Madrid-España, 1992, p.170-171.

CAPÍTULO III

DISEÑO DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Diseño del Sistema Difuso para Nivel

Para el diseño del sistema difuso a implementarse en el módulo, MPS PA COMPACT WORKSTATION, se utiliza la librería Fuzzy Logic del software de simulación MATLAB.

La librería a utilizarse es Fuzzy Logic, que se la encuentra en Start, Toolboxes, Fuzzy Logic, FIS Editor Viewer.

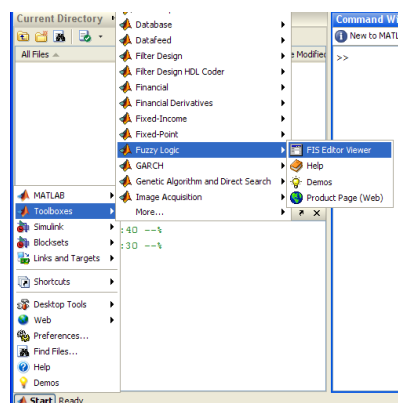


Figura 3. 1 Librería Fuzzy Logic de MATLAB.

El sistema difuso diseñado tendrá las siguientes variables:

Variables de Entrada:

- Nivel Actual
- Diferencia de Nivel

Variable de Salida:

- Porcentaje trabajo Bomba

3.1.1. Variable de entrada Nivel Actual

Para configurar variables en el Membership Function Editor Viewer se realiza seleccionando, Edit, FIS Properties, en donde se puede asignar el nombre a la

variable, además se puede añadir nuevas variables seleccionando Edit, Add Variable, Input.

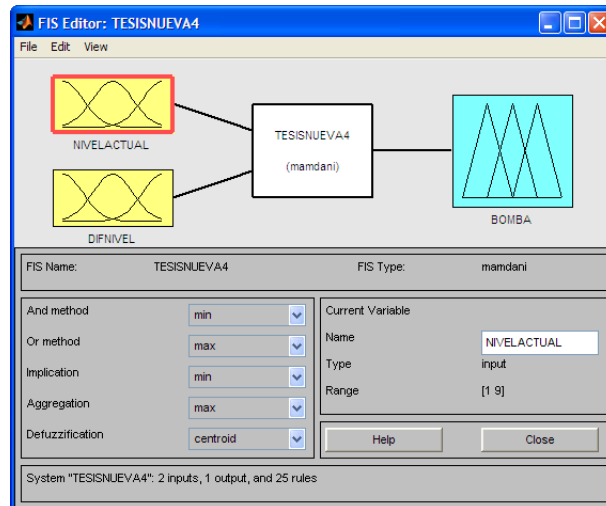


Figura 3. 2 Variables de entrada y salida.

Para configurar los conjuntos de salida que pertenecen a la variable NIVELACTUAL se ingresa en la variable.

En la ventana que se muestra en la Figura 3.3 se pueden configurar los diferentes parámetros para cada conjunto:

- El rango de la variable de entrada NIVELACTUAL
- Nombre de cada conjunto
- Tipo de conjunto: triangular, trapezoidal, campana de bell, gaussiana
- Límites de cada conjunto

Para el diseño implementado, el rango de la variable NIVELACTUAL va de 1 a 9 L. y se utilizaron 5 conjuntos de entrada mostrados a continuación:

Conjunto	Nombre	Tipo
MB	Muy Bajo	Triangular
B	Bajo	Trapezoidal
M	Medio	Triangular
A	Alto	Trapezoidal
MA	Muy Alto	Triangular

Tabla 3. 1 Tipo de conjuntos difusos variable NIVELACTUAL.

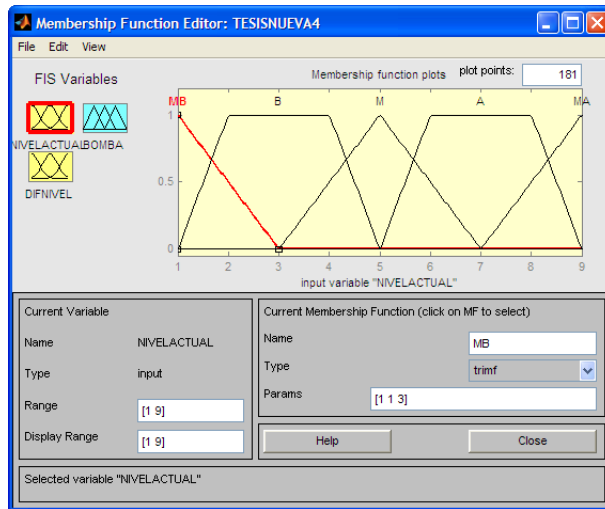


Figura 3.3 Conjuntos difusos variable NIVELACTUAL.

3.1.2. Variable de entrada Diferencia de Nivel

Para el diseño implementado, el rango de la variable DIFNIVEL va de 0 a 8 L, se utilizaron 5 conjuntos de entrada que se muestran a continuación:

Conjunto	Nombre	Tipo
MB	Muy Bajo	Triangular
B	Bajo	Trapezoidal
M	Medio	Triangular
A	Alto	Trapezoidal
MA	Muy Alto	Trapezoidal

Tabla 3.2 Tipo de conjuntos difusos variable DIFNIVEL.

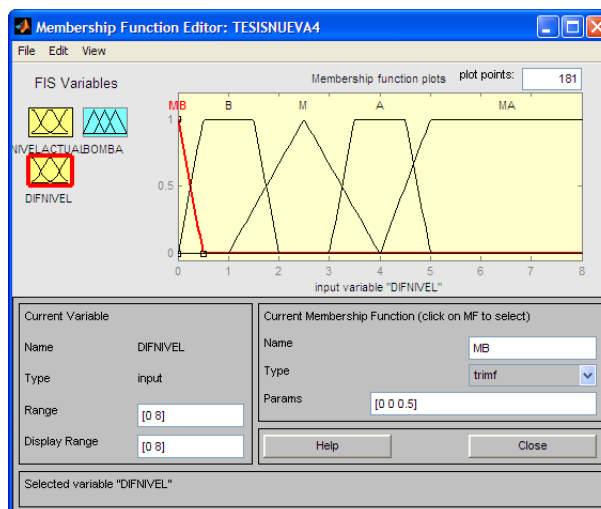


Figura 3.4 Conjuntos difusos variable DIFNIVEL.

3.1.3. Variable de salida porcentaje de trabajo de la BOMBA

Para el diseño implementado, el rango de la variable BOMBA va de 0 a 100%, se utilizaron 5 conjuntos que se muestran a continuación:

Conjunto	Nombre	Tipo
MIN	Mínimo	Triangular
CASIMIN	Casi Mínimo	Trapezoidal
MEDIA	Medio	Triangular
CASITOTAL	Casi Total	Trapezoidal
TOTAL	Total	Trapezoidal

Tabla 3.3 Tipo de conjuntos difusos variable BOMBA.

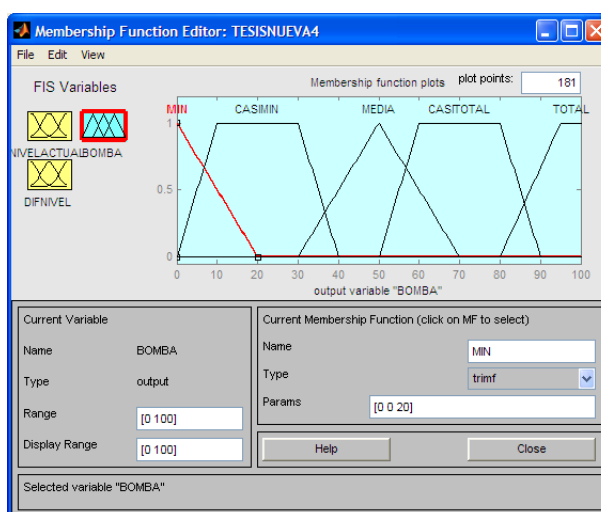


Figura 3.5 Conjuntos difusos variable BOMBA.

3.1.4. Reglas de Inferencia para nivel

Las reglas de tipo IF(antecedente), THEN(consecuente) utilizadas en el diseño de control de nivel son de tipo AND (mínimo), que se detallan a continuación:

NIVELACTUAL DIFNIVEL	MB	B	M	A	MA
MB	MIN	CASIMIN	MEDIA	CASITOTAL	TOTAL
B	MIN	MEDIA	MEDIA	CASITOTAL	TOTAL
M	MIN	CASIMIN	MEDIA	CASITOTAL	TOTAL
A	MIN	CASIMIN	MEDIA	CASITOTAL	TOTAL
MA	MIN	CASIMIN	MEDIA	CASITOTAL	TOTAL

Tabla 3.4 Reglas de Inferencia para nivel.

Para ingresar las reglas de inferencia en el FIS Editor, se ingresa en Edit, Rules Editor.

En la ventana se pueden configurar las diferentes reglas a utilizarse, solo seleccionando los conjuntos difusos que intervienen en cada regla y el operador que para este diseño solo se utilizará el operador lógico and.

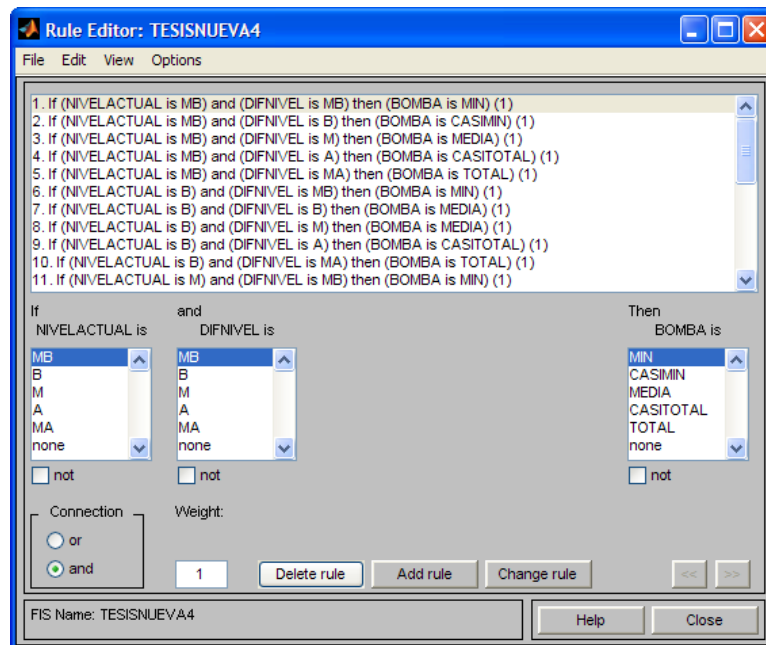


Figura 3. 6 Reglas de Inferencia ingresadas en el FIS. Editor.

3.2. Diseño del Sistema Difuso para Presión

3.2.1. Variable de entrada Presión Actual

Para el diseño implementado, el rango de la variable PRESIONACTUAL va de 7 a 2100 mbar y se utilizaron 5 conjuntos de entrada mostrados a continuación:

Conjunto	Nombre	Tipo
MB	Muy Bajo	Triangular
B	Bajo	Trapezoidal
M	Medio	Triangular
A	Alto	Trapezoidal
MA	Muy Alto	Triangular

Tabla 3. 5 Tipo de conjuntos difusos variable PRESIONACTUAL.

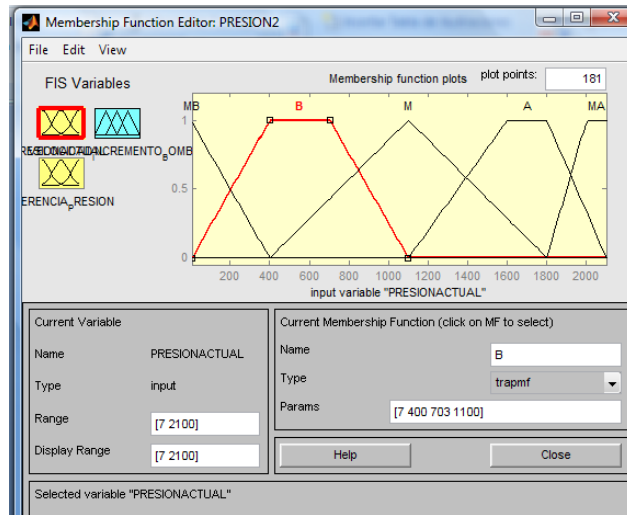


Figura 3. 7 Conjuntos difusos variable PRESIONACTUAL.

3.2.2. Variable de entrada Diferencia de presión

Para el diseño implementado, el rango de la variable DIFNIVEL va de 7 a 2100 mbar, se utilizaron 5 conjuntos de entrada que se muestran a continuación:

Conjunto	Nombre	Tipo
MB	Muy Bajo	Triangular
B	Bajo	Trapezoidal
M	Medio	Triangular
A	Alto	Trapezoidal
MA	Muy Alto	Trapezoidal

Tabla 3. 6 Tipo de conjuntos difusos variable DIFERENCIAPRECION.

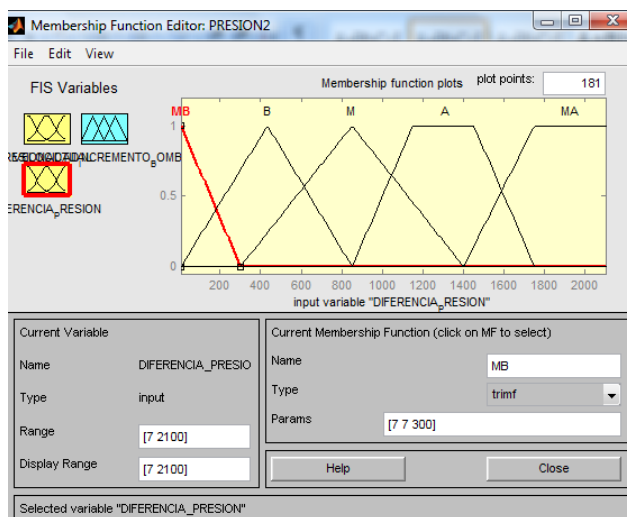


Figura 3. 8 Conjuntos difusos variable DIFERENCIAPRESION.

3.2.3. Variable de salida incremento de la bomba

Para el diseño implementado, el rango de la variable incremento de la bomba va de 0 a 100 U, se utilizaron 5 conjuntos que se muestran a continuación:

Conjunto	Tipo
MUY_POCO	Triangular
POCO	Trapezoidal
NORMAL	Triangular
GRANDE	Trapezoidal
MUY_GRANDE	Trapezoidal

Tabla 3. 7 Tipo de conjuntos difusos variable incremento de la bomba.

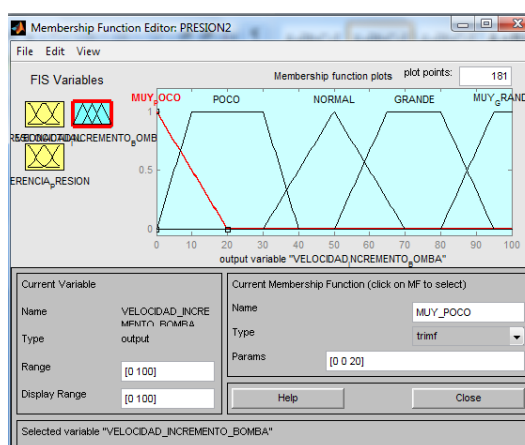


Figura 3. 9 Conjuntos difusos variable incremento de la bomba.

3.2.4. Reglas de Inferencia para presión

Las reglas de tipo IF(antecedente), THEN(consecuente) utilizadas en el diseño del control de presión son de tipo AND (mínimo), que se detallan a continuación:

PRESIÓNACTUAL DIFPRESION	MB	B	M	A	MA
MB	POCO	MUY POCO	NORMAL	GRANDE	MUY GRANDE
B	POCO	MUY POCO	NORMAL	GRANDE	MUY GRANDE
M	POCO	MUY POCO	NORMAL	GRANDE	MUY GRANDE
A	POCO	MUY POCO	NORMAL	GRANDE	MUY GRANDE
MA	POCO	MUY POCO	NORMAL	GRANDE	MUY GRANDE

Tabla 3. 8 Reglas de Inferencia para presión.

3.3. Funcionamiento de la Planta

Para empezar a ejecutar el control de la planta se debe escoger que tipo de control se va a operar, teniendo dos posibilidades: control de nivel o control de presión.

Para monitorear o supervisar la planta se tienen dos estaciones de control: un panel touch (Simatic Panel, OP 177B 16'' color PN/DP) y una PC (laptop) provista con el software InTouch. Se podrá monitorear la planta desde las dos estaciones pero solo se podrá supervisar en una estación a la vez, por este motivo cuando se empieza la sesión en InTouch como "SUPERVISION", se bloquea la pantalla del panel quedando como única estación operativa la PC, una vez que se cierra la sesión como SUPERVISION y se inicia sesión como MONITOREO se desbloquea el panel y se podrá iniciar sesión como "monitor" o "supervisor" en el panel.

Condiciones de inicio de la planta

- La llave del panel de la planta debe estar en la posición Auto.
- Las válvulas manuales V107, V104, V109, V105, V110 y V108 deben estar cerradas.
- Las válvulas manuales V101, V103 y V112 deben estar abiertas.

3.3.1. Control de nivel

Para el control de nivel se debe tener la válvula manual V110 cerrada y la válvula manual V101 abierta, el nivel del tanque, tank 102, debe ser mayor o igual a 1 litro y el nivel del tanque, tank 101, debe ser mayor a 8 litros.

Se debe elegir el Setpoint de nivel que puede ser desde 1.5 hasta 9 litros, si el Setpoint es mayor al nivel actual de agua del tanque, tank 102, se inicia el control de lógica difusa, activando la bomba para alcanzar el Setpoint deseado.

Si el Setpoint es menor al nivel actual de agua del tanque, tank102, se inicia el control ON – OFF, activando la válvula solenoide de bola hasta llegar al Setpoint que se eligió.

3.3.2. Control de presión

Para el control de presión las válvulas manuales V107 y V101 deben estar cerradas y la válvula V108 debe estar abierta, el nivel de los tanques es indiferente para este control.

Se elige el Setpoint de presión que puede ser desde 600 hasta 2000 milibares, si el Setpoint es mayor a la presión actual, se inicia el control de lógica difusa, activando la bomba para llegar a dicho Setpoint.

Si el Setpoint de presión es menor a la presión actual la bomba inicia desde cero el proceso hasta llegar al nuevo Setpoint.

3.4. Topologías Implementadas

Para el proyecto se utilizó dos tipos de topologías que varían según el tipo de conexión de los dispositivos.

3.4.1. Topología 1

La primera topología implementada se muestra en la Figura 3.10, donde se encuentra conectado el PLC a la Estación HMI vía Ethernet, y el PLC a la PC vía MPI.

Las direcciones MPI y Ethernet de la topología 1 se muestran en la Tabla 3.9.

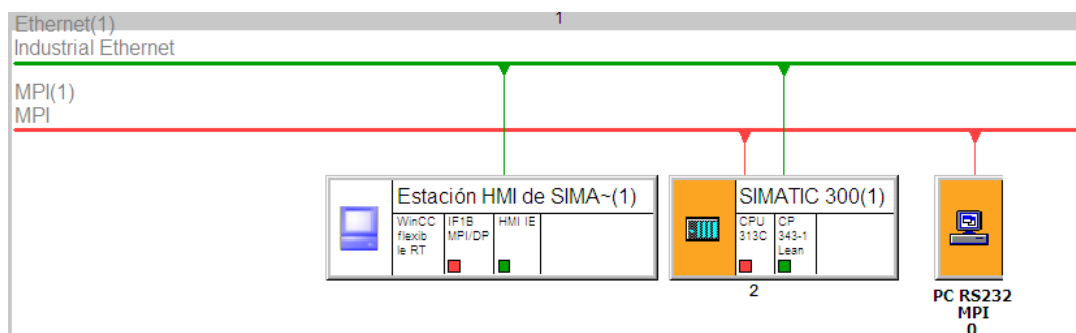


Figura 3.10 Topología 1.

Dispositivo	Direccion MPI	Direccion Ethernet
PLC S7-300	2	192.168.0.10
ESTACION HMI	----	192.168.0.100
PC	0	----

Tabla 3.9 Direcciones Topología 1.

3.4.2. Topología 2

La segunda topología implementada se muestra en la Figura 3.11, donde se encuentra conectado el PLC a la Estación HMI vía MPI, y el PLC a la PC vía Ethernet.

Las direcciones MPI y Ethernet de la topología 2 se muestran en la Tabla 3.10.

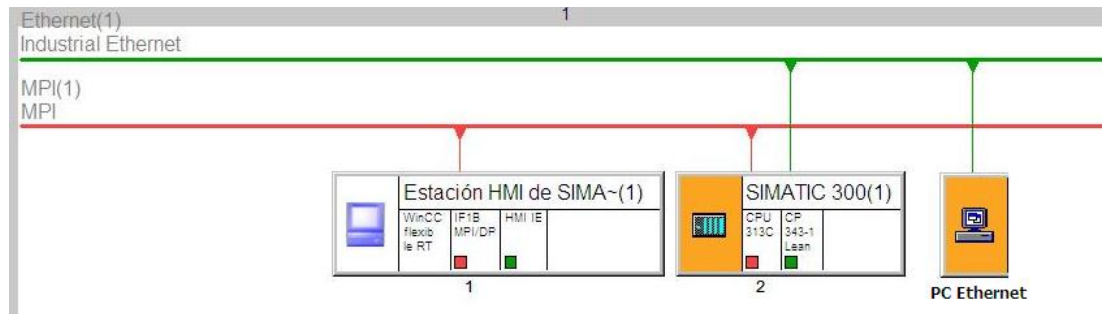


Figura 3.11 Topología 2.

Dispositivo	Dirección MPI	Dirección Ethernet
PLC S7-300	2	192.168.0.10
ESTACION HMI	1	----
PC	----	192.168.0.11

Tabla 3.10 Direcciones Topología 2.

En la siguiente figura se muestra como se realiza la comunicación entre el PLC y los diferentes componentes que integran el HMI/SACADA.

El diagrama de conexiones correspondiente a la segunda a topología se muestra en la Figura 3.12.

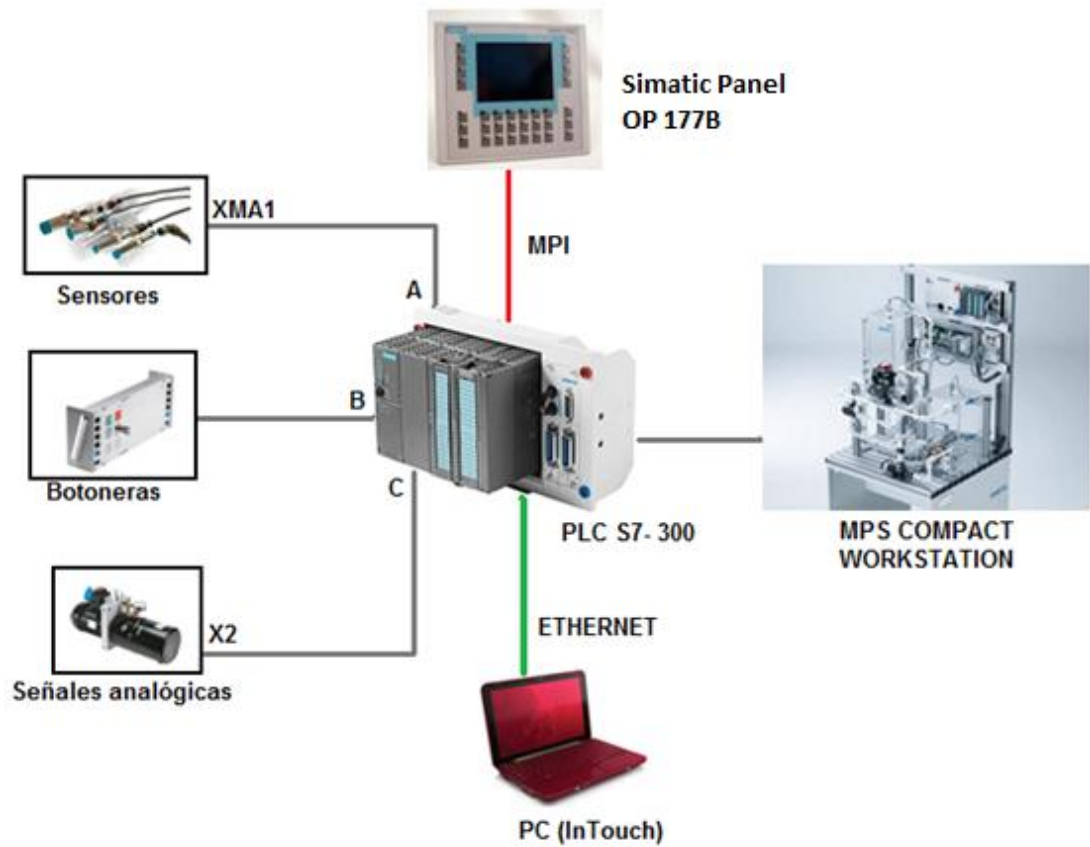


Figura 3. 12 Esquema de conexiones HMI/SACADA.

3.5. Creación de Nuevo Proyecto en Step7

Toda la configuración de la CPU S7-313C se realiza en el software Simatic Step 7, versión 5.4

Para crear un nuevo proyecto en Simatic Step 7 es necesario seguir los siguientes pasos.

3.5.1. Inicio del administrador SIMATIC

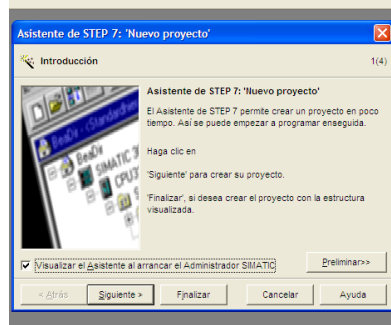


Figura 3. 13 Administrador Simatic.

Finalizar la ventana Asistente de Step 7: ‘Nuevo Proyecto’

Para crear el nuevo proyecto se ingresa en Archivo, Nuevo, y se muestra la ventana de la Figura 3.14.

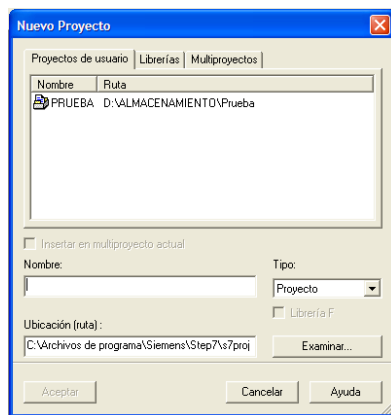


Figura 3. 14 Guardar nuevo proyecto en Simatic Step 7.

En esta ventana se ingresa el nombre y la ubicación donde se guardará el proyecto.

3.5.2. Insertar y configurar CPU S7-313C

Se elige el nuevo proyecto que se creó y se escoge la opción Insertar nuevo objeto, Simatic S7-300.

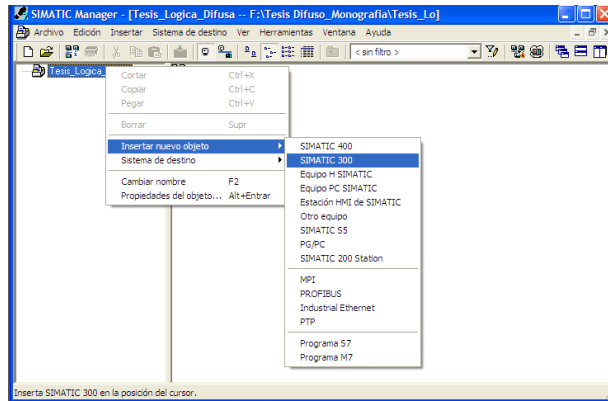


Figura 3. 15 Insertar la CPU SIMATIC 300.

Para la configuración se selecciona Hardware, de la CPU insertada.

Y se muestra la siguiente ventana.

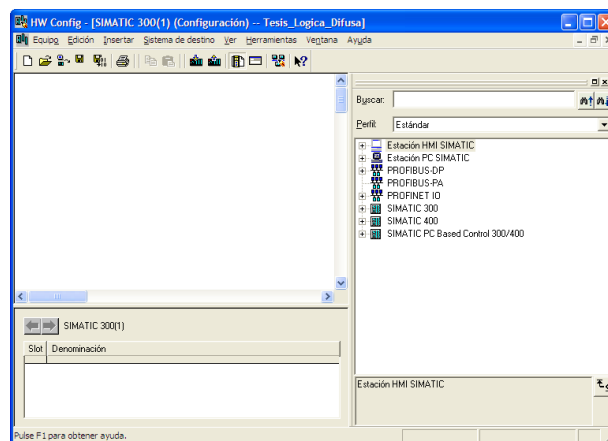


Figura 3. 16 Configurar Hardware de la CPU Simatic 300.

Primero se inserta el bastidor donde se ubicarán los distintos módulos que contiene la CPU. El bastidor se encuentra en Simatic 300, BASTIDOR 300, Perfil soporte.

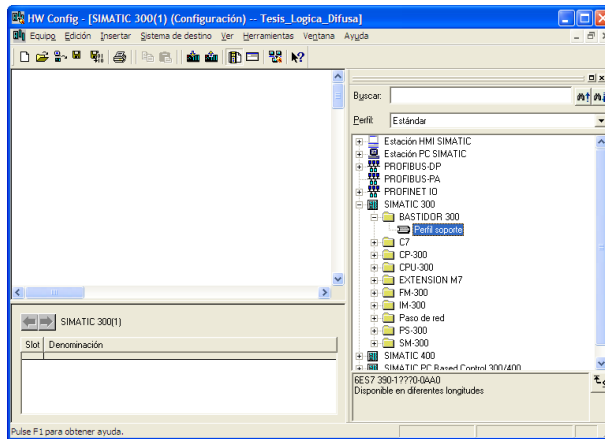


Figura 3. 17 Insertar el bastidor.

Luego se inserta la versión de la CPU a utilizarse, se encuentra en CPU 313C, 6ES7 313-5BE01-0AB0

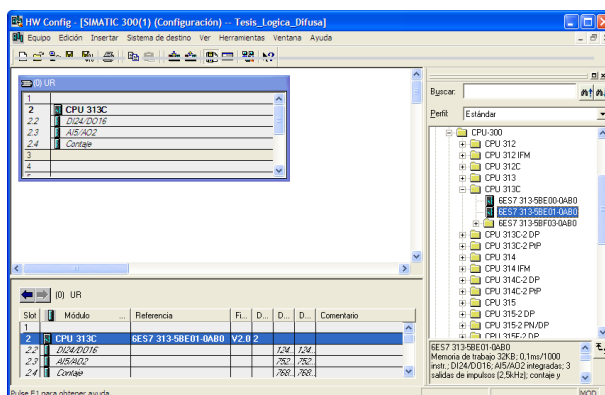


Figura 3. 18 Insertar CPU 313C.

Se ingresa la dirección que tendrá la CPU 313C dentro de la red MPI

Para insertar la dirección se elige las propiedades de la CPU 313C, en esta ventana se elige General, Propiedades y se configura la dirección 2 y se marca MPI(1) 187,5kbit/s para indicar a la CPU que pertenece a la red MPI (1) con su respectiva velocidad.

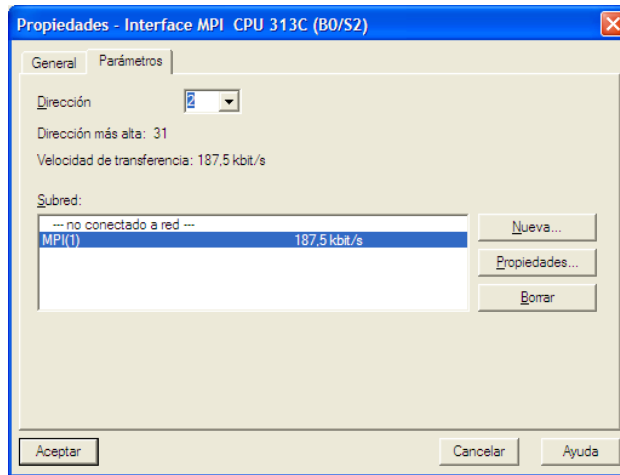


Figura 3. 19 Dirección CPU 313C en la red MPI.

En el slot 4 del bastidor se inserta el módulo de comunicación Ethernet del PLC S7-300 , se lo encuentra en SIMATIC 300, CP - 300, Industrial Ethernet, 6GK7 343-1CX10-0XE0, V2.0, como se muestra en la Figura 3.20.

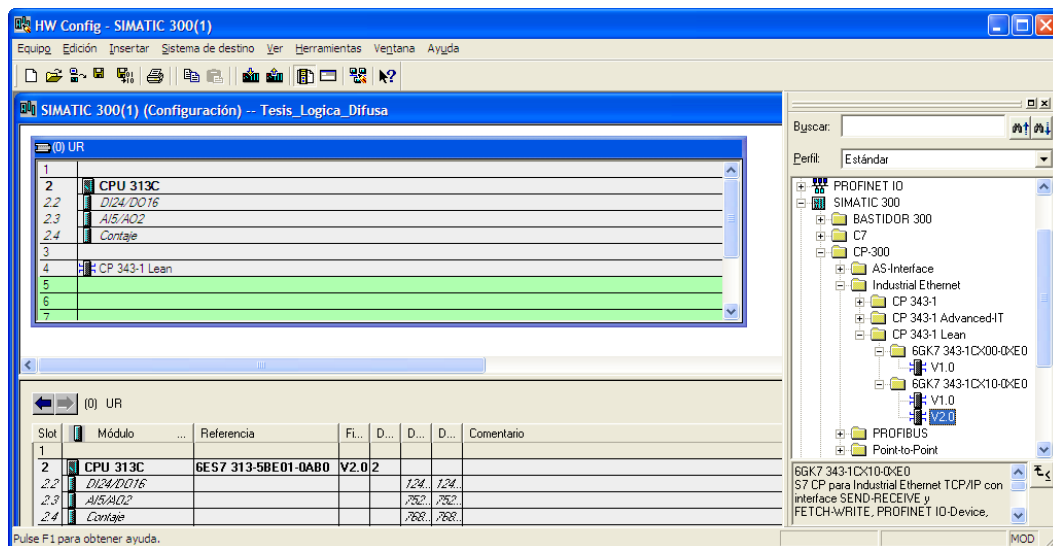


Figura 3. 20 Insertar Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.

La configuración de la CP 343-1 Lean se realiza en las propiedades de la Interfaz Ethernet, Figura 3.21, aquí se ingresa la dirección IP y la máscara de subred.

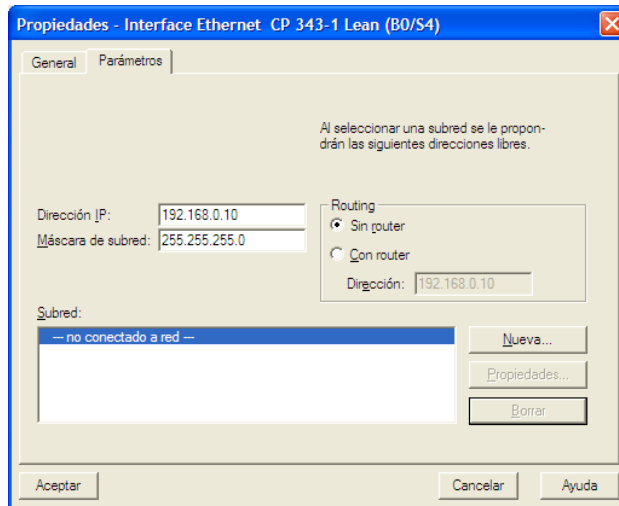


Figura 3. 21 Propiedades Interface Ethernet CP 343-1 Lean.

En la parte de Subred se debe agregar una nueva, como se muestra en la Figura 3.22, aquí todo se deja por defecto.

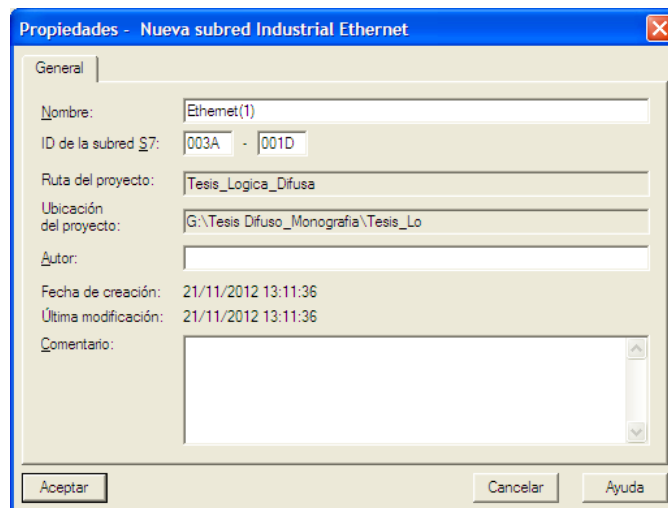


Figura 3. 22 Nueva Subred Industrial Ethernet.

Con esto la ventana Propiedades – Interface Ethernet CP 343-1 Lean, añade al módulo Ethernet a la subred creada Ethernet (1).

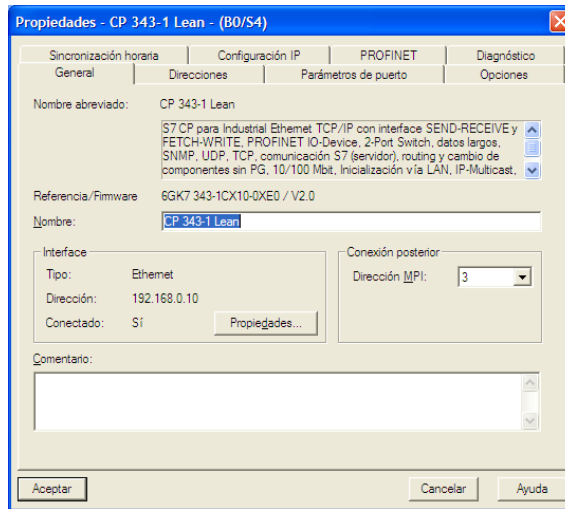


Figura 3. 23 CP 343-1 Lean en red.

3.5.3. Insertar y configurar Estación HMI de SIMATIC

Se elige el nuevo proyecto creado, Insertar nuevo objeto, Estación HMI de Simatic.

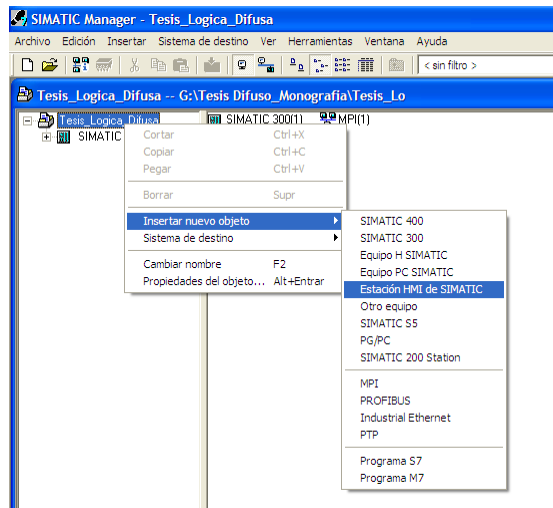


Figura 3. 24 Insertar Estación HMI de Simatic.

En la ventana de Propiedades – WinCC flexible RT, se elige el tipo de Pantalla Touch. El modelo de Pantalla Touch a utilizarse se la encuentra en, Panels, 170, OP 177B 6” color PN/DP y la versión es la 1.1.1.0

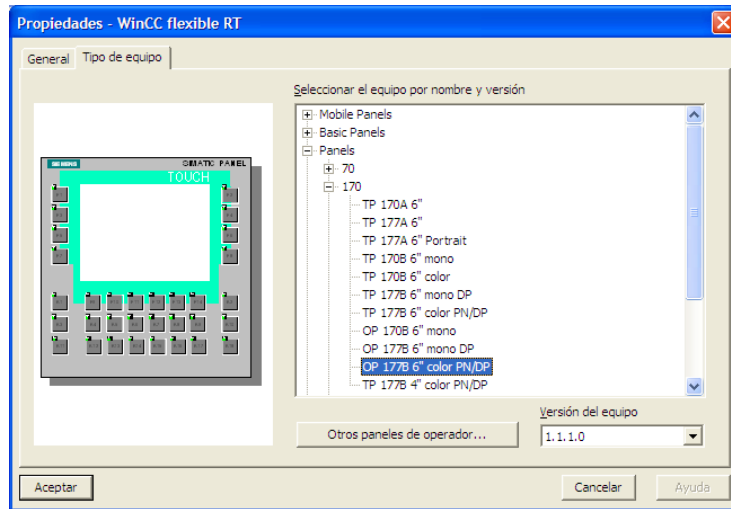


Figura 3. 25 Tipo de Pantalla touch.

Para configurar la dirección de la Estación se elige Configuración y se muestra la siguiente pantalla.

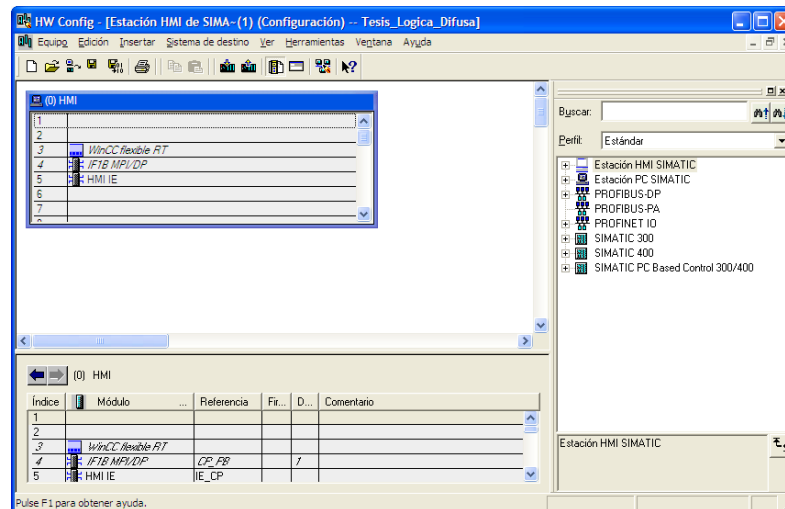


Figura 3. 26 Configuración Estación HMI de SIMATIC.

3.5.3.1. Configuración de la estación HMI para topología 1

Para ingresar la dirección Ethernet de la estación HMI, se elige las propiedades del HMI IE del slot 5 de la configuración de la estación HMI, con lo que se despliega la ventana de la Figura 3.27, Propiedades – Interface Ethernet HMI IE, aquí se ingresan la dirección IP y máscara de subred de la estación HMI, esta dirección tiene que pertenecer a la subred que se asignó al PLC, las direcciones se muestran en la Tabla 3.9.

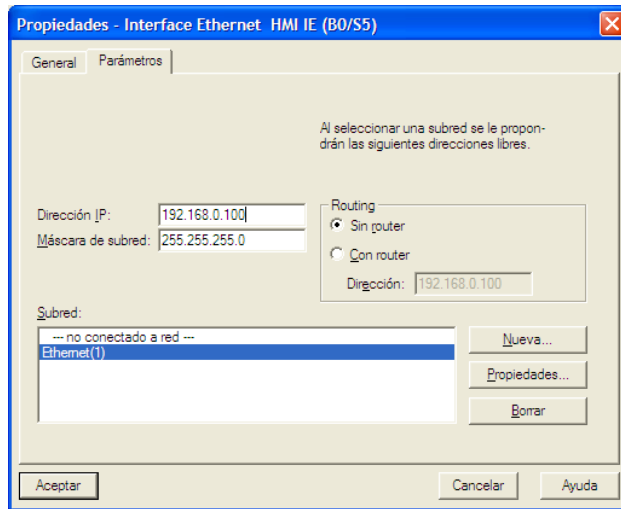


Figura 3. 27 Propiedades – Interface Ethernet HMI IE.

3.5.3.2. Configuración de la estación HMI para topología 2

Para ingresar la dirección MPI de la Estación HMI, se elige IF1B MPI/DP ubicado en el slot 4 del bastidor.

En la ventana de la Figura 3.28 se elige la pestaña General y aquí se elige propiedades y se configura la Dirección 1, y se marca la opción, MPI (1) 187,5kbit /s que corresponden a la red a la que pertenece la Estación HMI y la velocidad a la que funcionará.

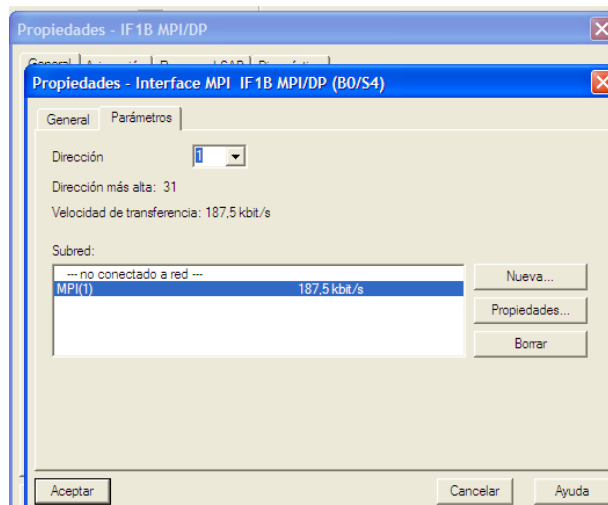


Figura 3. 28 Dirección Estación HMI de SIMATIC.

3.6. Programación de la Cpu S7-313c

La programación se realizará en funciones (FC), que realizarán tareas específicas dentro del programa, y el bloque de Organización OB1 que será el bloque principal en el cual se llamarán a las funciones creadas.

En la Figura 3.29 se muestra el diagrama de flujo de la programación.

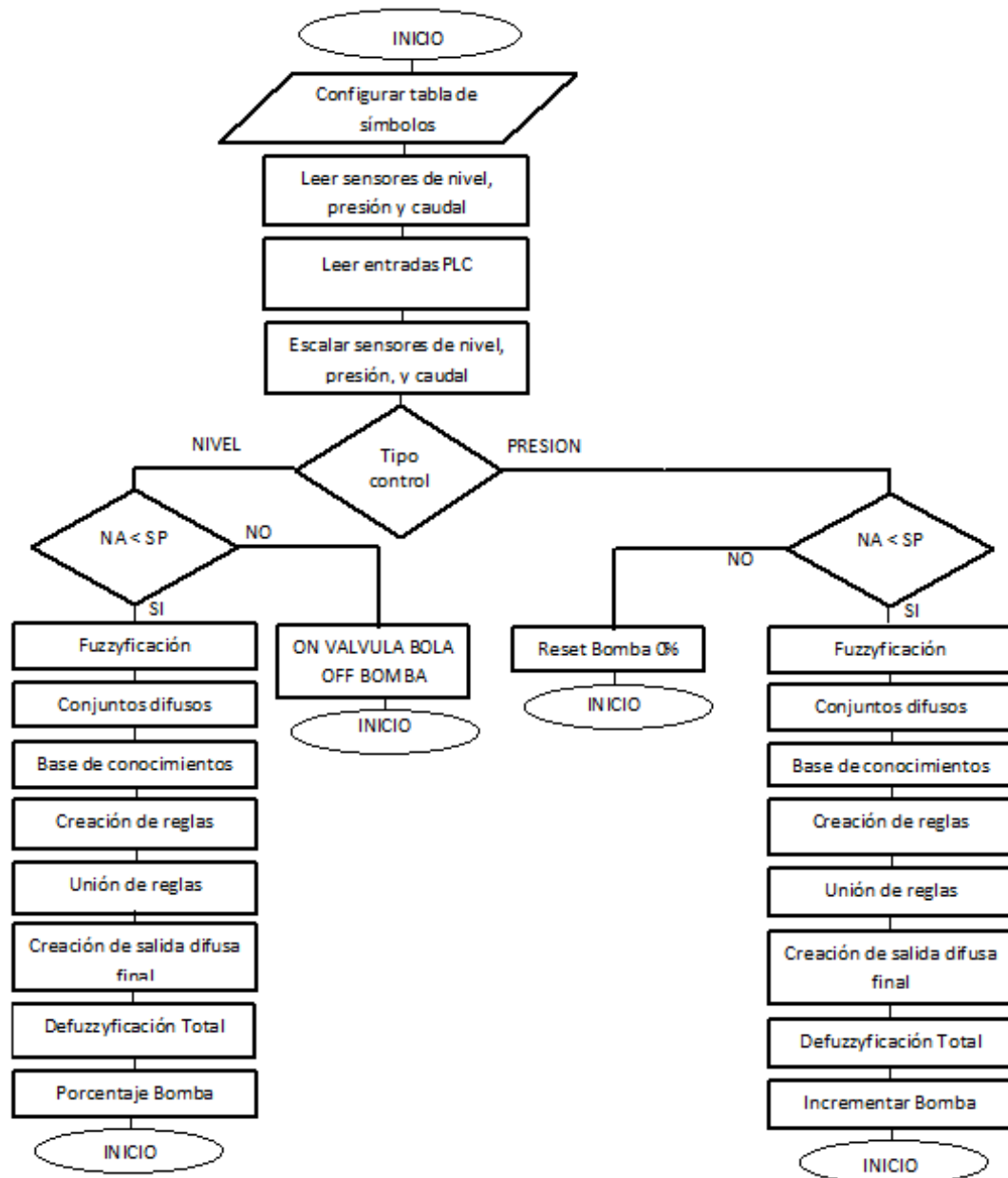


Figura 3. 29 Diagrama de flujo de la programación.

3.6.1. Lógica de programación de nivel

La programación se inicia con la configuración de la tabla de símbolos luego se procede a lectura de las entradas del PLC, las marcas del Panel Touch y las marcas de InTouch, que sirven para determinar en que usuario se encuentra iniciada la sesión en InTouch.

A continuación se lee los registros analógicos de los sensores involucrados tanto para el proceso de nivel como para el proceso de presión con lo que se realiza el escalamiento de estos sensores, para obtener valores entre 1 y 10 L para nivel y valores entre 0 y 2200 mbar para presión.

Si el tipo de control elegido nivel se procede a realizar los siguientes procedimientos que se repiten mientras que el nivel actual sea menor que el Setpoint:

- Fuzzyficacion Entradas
- Indicadores conjuntos de entrada
- Indicadores Reglas de Inferencia
- Mínimos combinaciones posibles
- Muestreo conjuntos de salida cada 5 %
- Máximo valor de las reglas que tengan el conjunto repetido
- Construcción salida total
- Defuzzyficacion

Con estos procedimientos se implementa el algoritmo de lógica difusa y se obtiene un valor en la salida difusa comprendido entre 0 y 100 %.

Esta salida difusa de nivel nos indica el porcentaje de trabajo de la bomba.

Por ejemplo si la salida difusa adquiere un valor de 50%, la bomba trabaja al 50% de su capacidad.

3.6.2. Lógica de programación de presión

La programación para el control de presión realiza los mismos procedimientos que el control de nivel hasta llegar a obtener un valor en la salida difusa, comprendida entre 0 y 100 unidades de incremento por cada 250 ms(U/250ms) de tiempo transcurrido .

Esta salida difusa indica en cuantas unidades se incrementará el valor del registro analógico de la bomba por cada 250 milisegundos de tiempo transcurrido, este registro analógico en el proyecto va desde 13000 a 32000 unidades, que corresponden al 0 y 100 % de trabajo de la bomba.

Por ejemplo si la salida difusa de presión es de 60 U/250 ms, y el registro análogo tiene un valor de 14000, entonces luego de haber transcurrido 250 ms el registro analógico de bomba tendrá el valor de 14060 U, y luego de 500 ms tendrá el valor de 14120 y así sucesivamente hasta que el valor incremento o salida difusa se mínimo con lo cual el sistema llega a estabilizarse

A continuación se presenta la programación para el control de nivel, se describe cada función que se utilizó y como se emplea cada una de ellas en las diferentes etapas de programación.

3.6.3. Insertar bloque de organización y función

El Bloque de Organización se lo encuentra en la CPU insertada anteriormente, SIMATIC 300(1), CPU 313C, Programas, Bloques, Insertar nuevo objeto, Bloque de organización.

En la Figura 3.30 se ingresa el nombre del bloque de organización y el lenguaje de programación que en este caso será lenguaje KOP

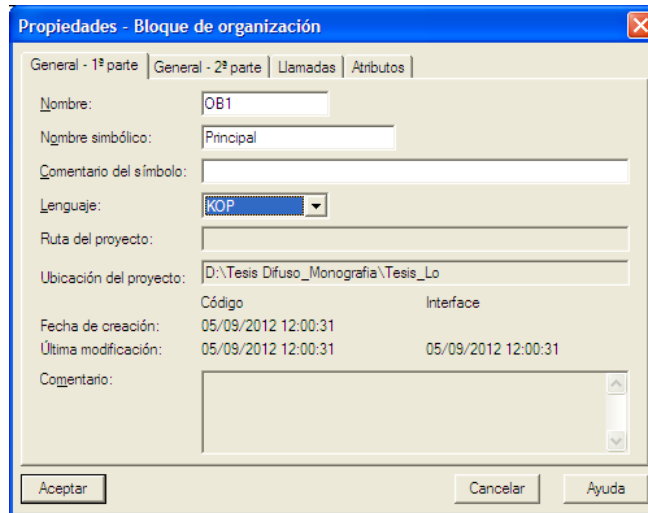


Figura 3. 30 Insertar Bloque de organización.

Para insertar las funciones se las ubica en la CPU insertada anteriormente, SIMATIC 300(1), CPU 313C, Programas, Bloques, Insertar nuevo objeto, Función.

En la ventana de la Figura 3.31 se ingresa el nombre de la función y el lenguaje de programación que es este caso se utilizará el lenguaje de programación KOP

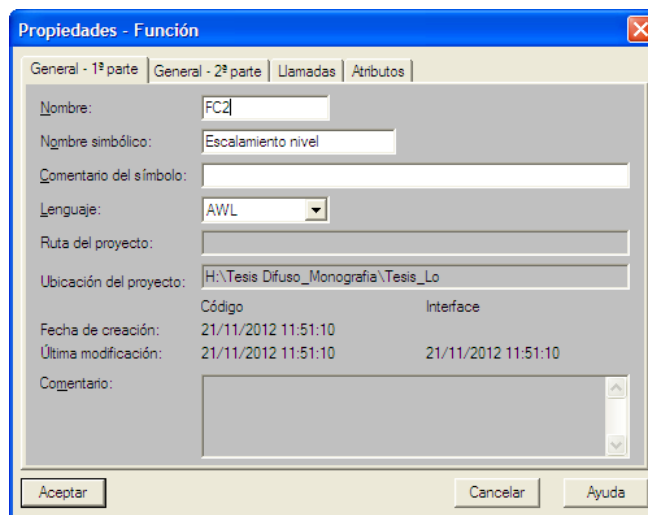


Figura 3. 31 Insertar función.

3.6.4. Tabla de símbolos

El programa Step 7 ofrece la creación de una tabla de símbolos donde se puede agregar nombre a cada variable, así como todos los bloques de funciones que se utilizan.

Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
Valvula_de_bola	A 0.0	BOOL	
SELECT ANALOG BOM	A 0.0	BOOL	
BOMBA	A 0.3	BOOL	
VALVULA PROPORCIONAL	A 0.4	BOOL	
led_start	A 1.0	BOOL	
led_reset	A 1.1	BOOL	
led_Q1	A 1.2	BOOL	
led_Q2	A 1.3	BOOL	
Bloqueo bomba bola	A 8.0	BOOL	
tanque_2_bajo	E 0.3	BOOL	
tanque_2_alto	E 0.4	BOOL	
START	E 1.0	BOOL	
STOP	E 1.1	BOOL	
LLAVE	E 1.2	BOOL	
RESET	E 1.3	BOOL	
mover variables nivel	FC 1	FC 1	
escalamiento de nivel	FC 2	FC 2	
escalamiento bomba nivel	FC 3	FC 3	
calculo pertenencia line	FC 4	FC 4	fórmula para calcular función de pertenencia de línea
rangos_entradas_nivel	FC 5	FC 5	
en blanco	FC 6	FC 6	
calcular minimos nivel	FC 7	FC 7	mínimo de 2 conjuntos difusos
metodo menor 2 numeros	FC 8	FC 8	calcula el menor de 2 números ingresados
Calcula max de min nivel	FC 9	FC 9	Calcula el máximo de los mínimos de cada regla de inferencia de nivel
calcular el max de 6 num	FC 10	FC 10	calcula el máximo de 6 números
muestreo nivel (5 en 5)	FC 11	FC 11	
desfusi nivel (muestre)	FC 12	FC 12	
desfusi TOTAL nivel	FC 13	FC 13	
reglas_inferencia_nivel	FC 14	FC 14	
Fuzzyficacion nivel	FC 15	FC 15	Fuzzificar Nivel Actual Y Diferencia de Nivel
Alarmas_nivel	FC 16	FC 16	
valvula de bola	FC 17	FC 17	
escalamiento presion	FC 18	FC 18	

fuzzyfizacion_presion	FC 19	FC 19	
rangos_entradas_presion	FC 20	FC 20	
reglas inferncia presion	FC 21	FC 21	
calcular minimos presion	FC 22	FC 22	
calcu max de min presion	FC 23	FC 23	
muestreo presion (5en 5)	FC 24	FC 24	
desfusi presion	FC 25	FC 25	
desfusi TOTAL presion	FC 26	FC 26	
escalamaiento bomba pres	FC 27	FC 27	
Alarmas_presion	FC 28	FC 28	
Escalamiento_caudal	FC 29	FC 29	
Nivel Muy Bajo	M 52.0	BOOL	
Nivel Bajo	M 52.1	BOOL	
Nivel Medio	M 52.2	BOOL	
Nivel Alto	M 52.3	BOOL	
Nivel Muy Alto	M 52.4	BOOL	
Diferencia Muy Baja	M 53.0	BOOL	
Diferencia Baja	M 53.1	BOOL	
Diferencia Media	M 53.2	BOOL	
Diferencia Alta	M 53.3	BOOL	
Diferencia Muy Alta	M 53.4	BOOL	
Salida_Minima	M 54.0	BOOL	
Salida_Casi Minima	M 54.1	BOOL	
Salida_Media	M 54.2	BOOL	
Salida_Casi Total	M 54.3	BOOL	
Salida_Total	M 54.4	BOOL	
variable escribir bomba	MW 2	WORD	
sensor de nivel	MW 4	WORD	
resultado escala nivel	MW 6	WORD	
resultado escala bomba	MW 8	WORD	
principal	OB 1	OB	

Tabla 3. 11 Tabla de símbolos.

3.6.5. OB1. Bloque de organización principal

A continuación se muestran las partes más importantes que contiene el bloque de organización principal, OB1.

3.6.5.1. Control de usuarios y bomba manual

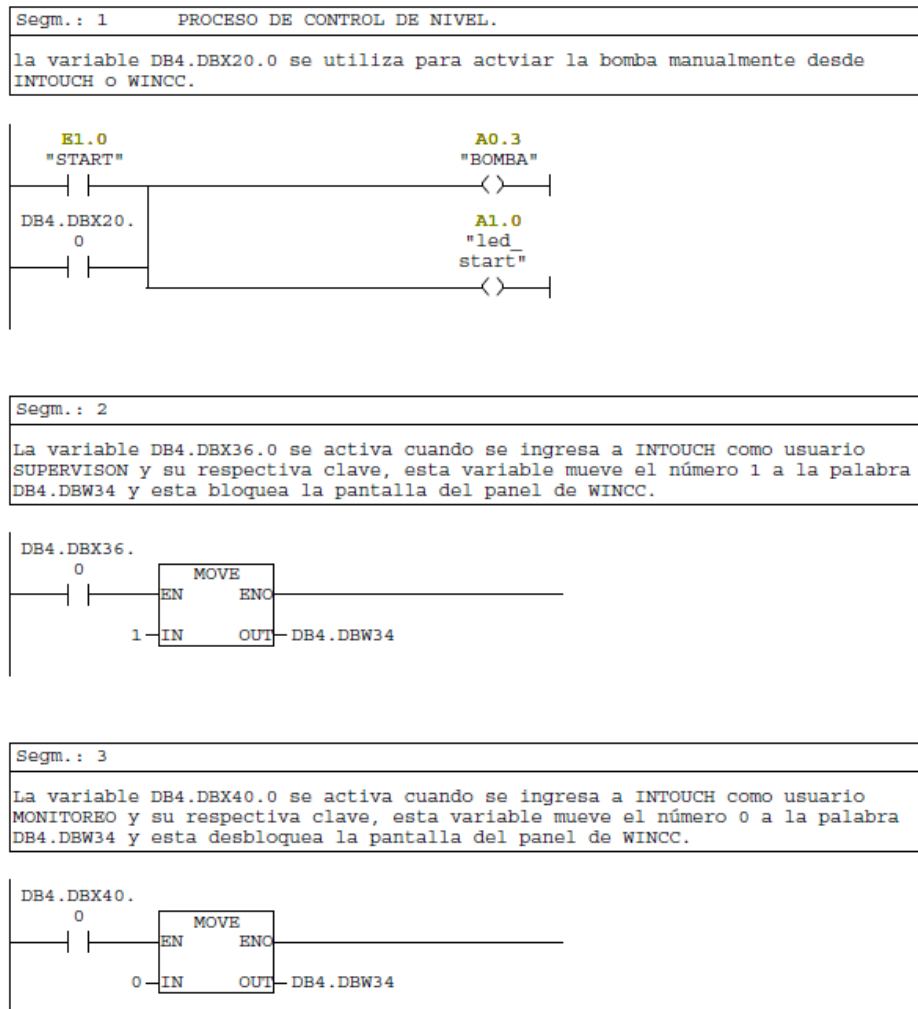


Figura 3. 32 Programación control de usuarios WinCC e InTouch.

3.6.5.2. Encendido y apagado de la bomba analógica

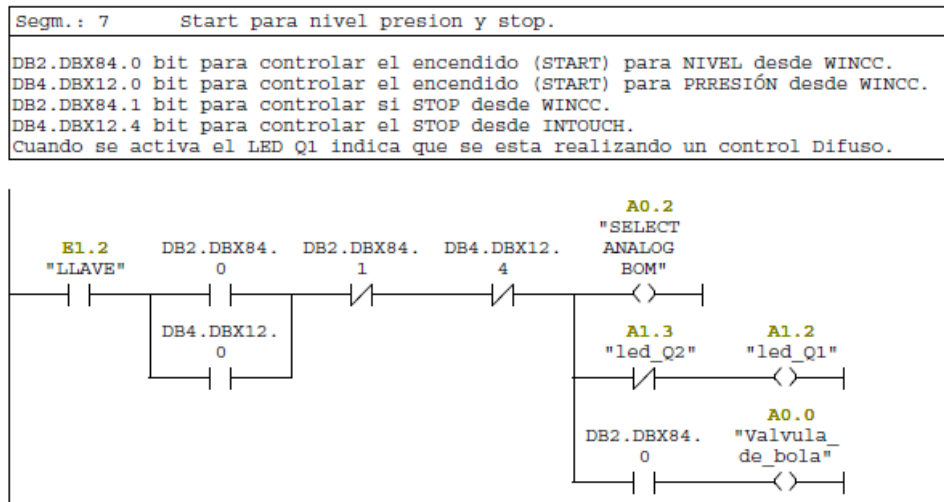


Figura 3. 33 Programación de encendido y apagado.

3.6.5.3. Escalamiento sensores de nivel y caudal

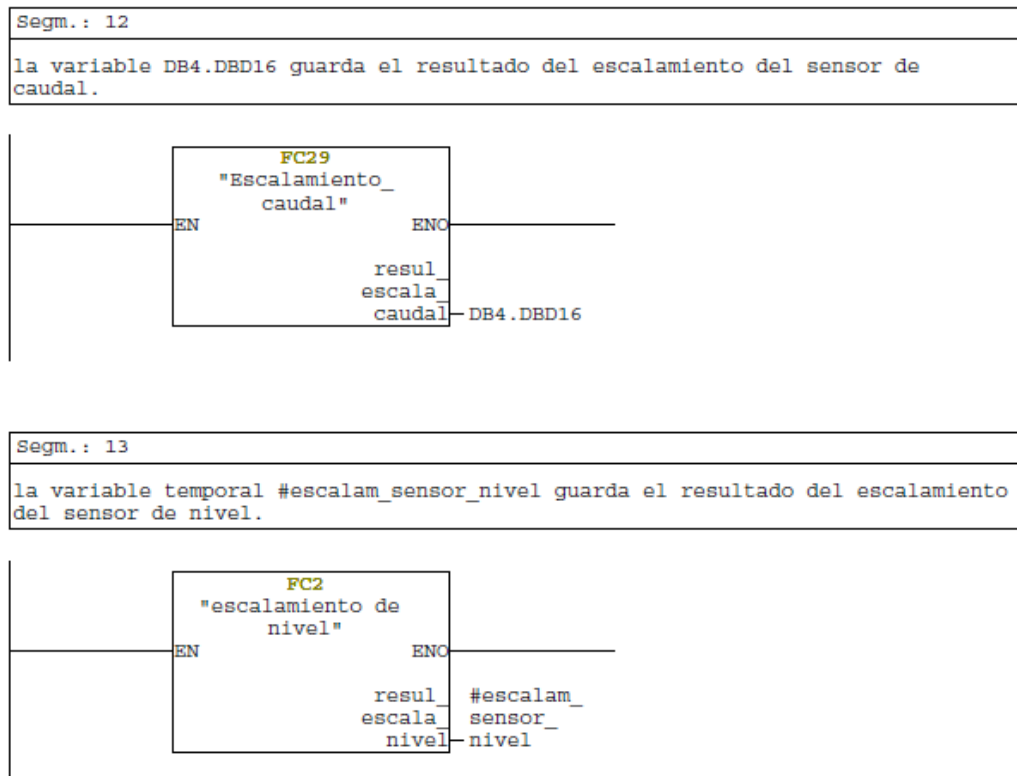


Figura 3. 34 Programación escalamiento de sensores (caudal y nivel).

3.6.5.4. Variables de entrada del control de nivel

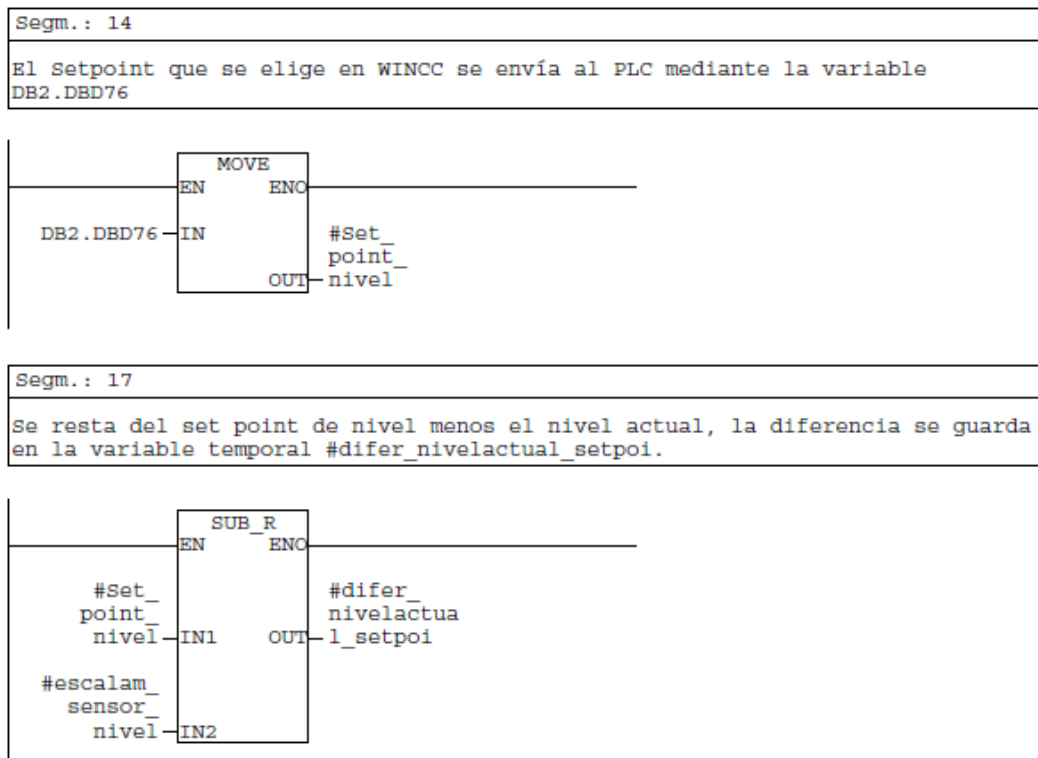


Figura 3. 35 Programación para variables de entrada de nivel.

3.6.5.5. Fuzzyficacion de entradas del control de nivel

Dependiendo del valor del escalamiento de nivel y del Setpoint de nivel, se determina el conjunto de entrada al que pertenece y su respectivo valor de pertenencia.

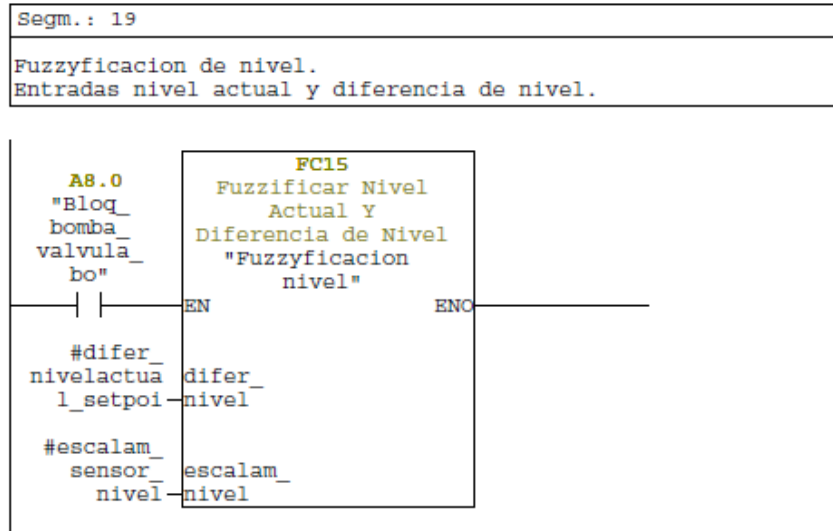


Figura 3. 36 Programación fuzzyficacion nivel actual y diferencia de nivel.

3.6.5.6. Rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel

Se crea indicadores para cada conjunto de entrada de nivel, para indicar que conjuntos están activos y poder utilizarlos posteriormente en las reglas de inferencia.

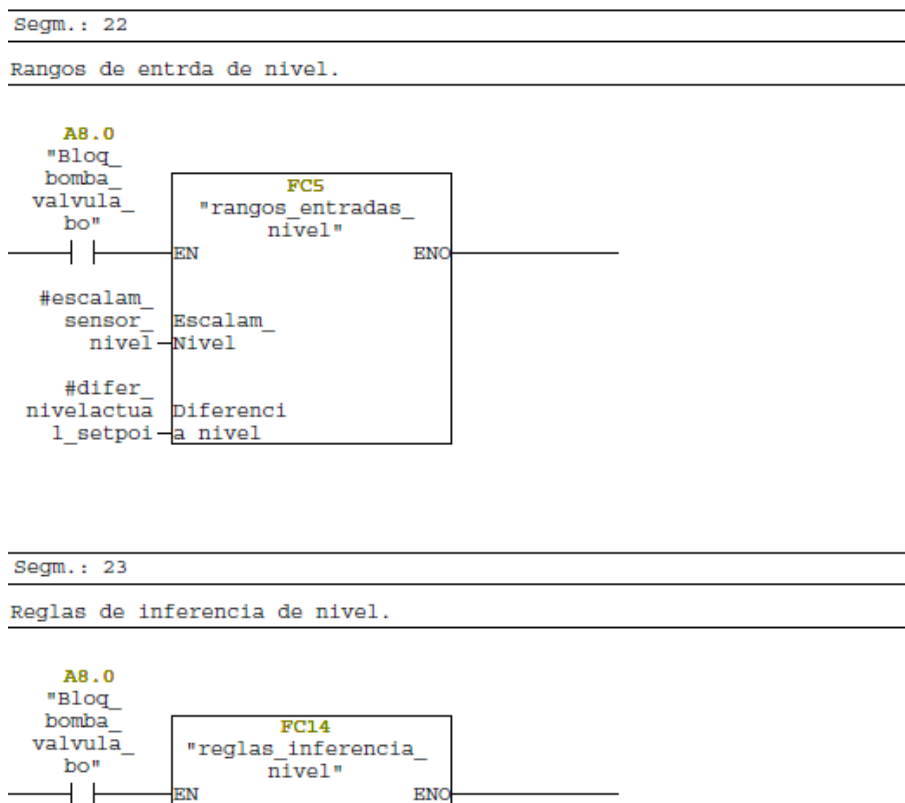


Figura 3. 37 Programación rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel.

3.6.5.7. Combinaciones posibles conjuntos de entrada

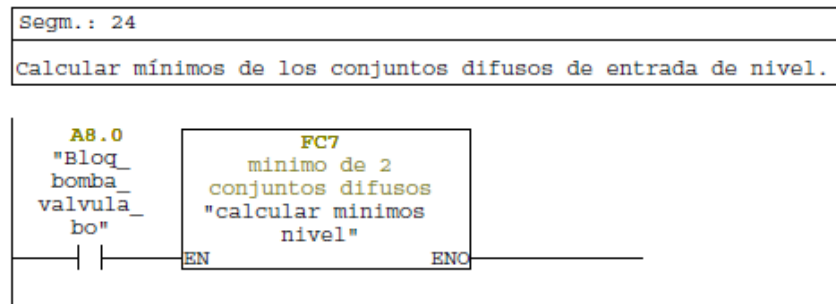


Figura 3. 38 Programación para calcular mínimos de cada combinación.

3.6.5.8. Calcular el máximo de los conjuntos de salida repetidos

Puesto que existen varias reglas con el mismo conjunto de salida se tiene que determinar el máximo valor para cada conjunto de salida.

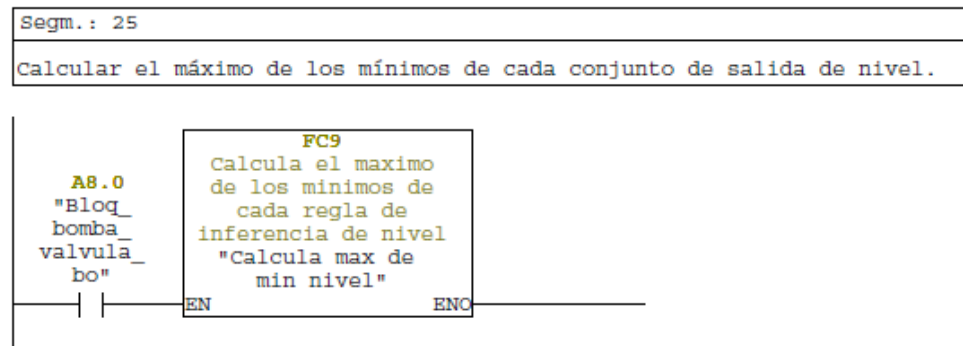


Figura 3. 39 Programación para calcular el máximo de cada conjunto.

3.6.5.9. Muestreo y construcción de la salida final

Se muestrea todos los conjuntos de salida cada 5 por ciento y estos valores se los utiliza posteriormente en la construcción de la salida final.

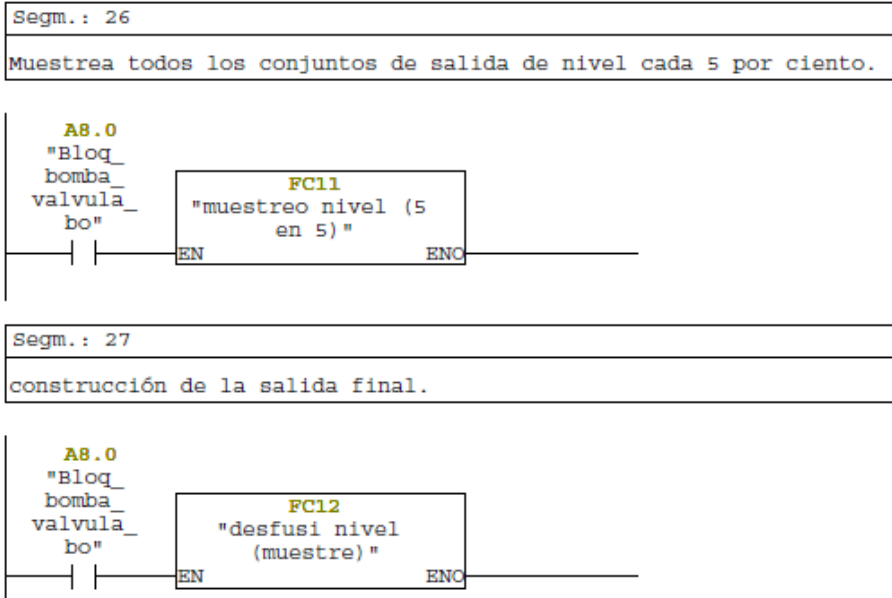


Figura 3. 40 Programación de muestreo y construcción final.

3.6.5.10. Defuzzyficación total de nivel

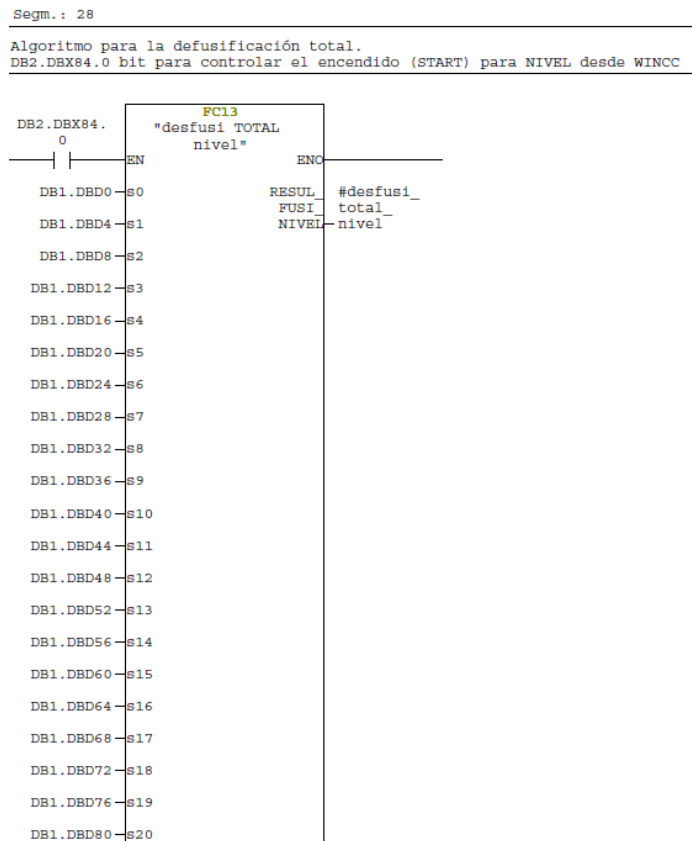


Figura 3. 41 Programación defuzzyficacion de nivel.

3.6.5.11. Escalamiento de la bomba y alarmas para nivel

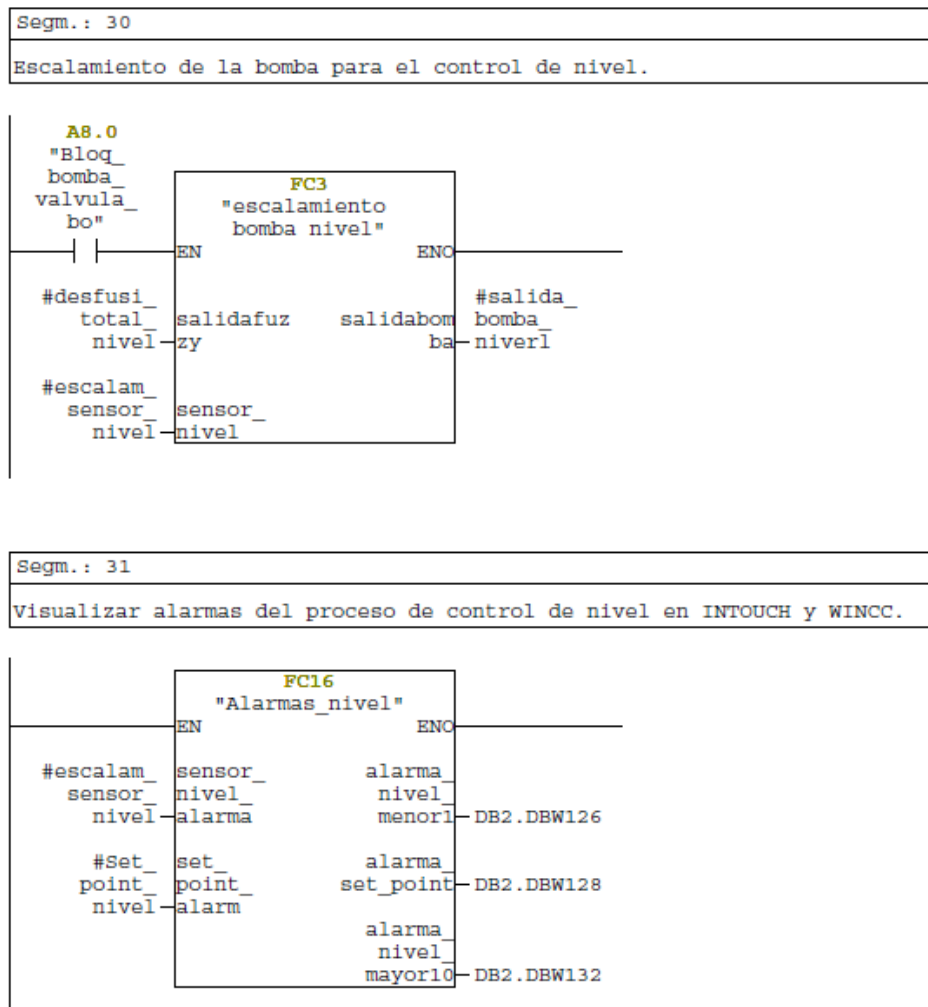


Figura 3. 42 Programación escalamiento bomba y alarmas nivel.

3.6.5.12. Control ON-OFF

El control ON-OFF se realiza cuando se elige un Setpoint de nivel menor al nivel actual, activando la válvula solenoide de bola y desactivando la bomba.

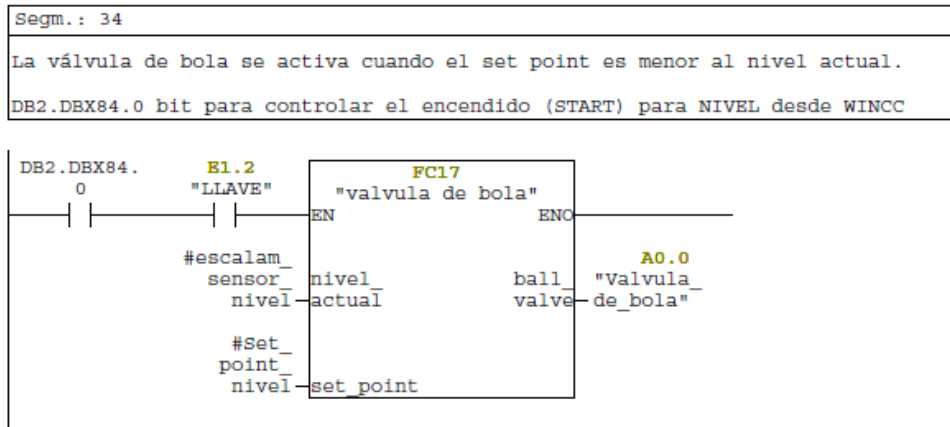


Figura 3. 43 Programación control ON-OFF.

3.6.5.13. Escalamiento sensor de presión

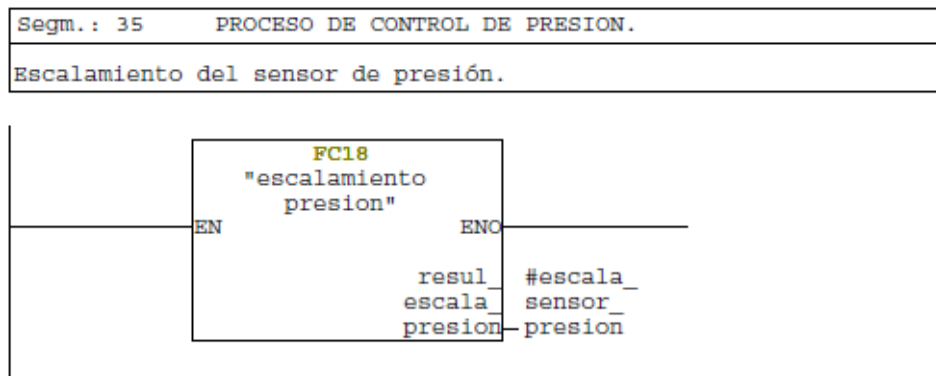


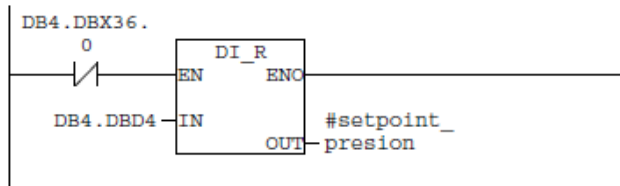
Figura 3. 44 Programación para escalar el sensor de presión.

3.6.5.14. Variables de entrada del control de presión

Segm.: 38

La variable DB4.DBD4 se utiliza para ingresar el setpoint de presión desde WINCC.

DB4.DBX36.0 para bloquear a WINCC desde INTOUCH.



Segm.: 39

Se resta del set point de presión menos la presión actual, la diferencia se guarda en la variable temporal #difer_presion

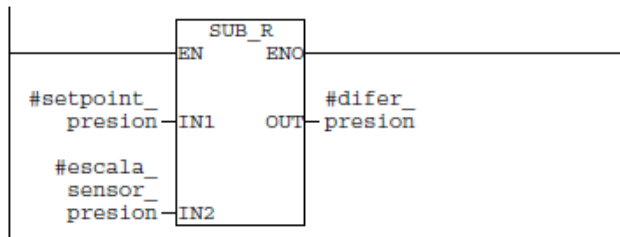


Figura 3. 45 Programación de las variables de entrada para presión.

3.6.5.15. Fuzzyficacion de entradas del control de presión

Segm.: 40

Fuzzyficacion de presión.

Entradas: presión actual y diferencia de presión.

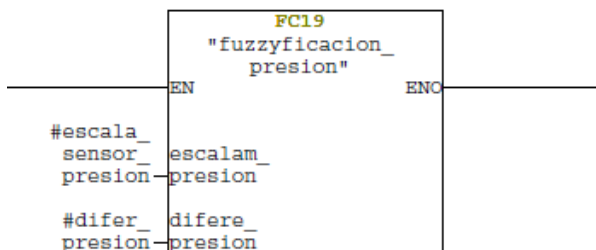


Figura 3. 46 Programación fuzzyficacion presión actual y diferencia de presión.

3.6.5.16. Rangos de entrada y reglas de inferencia de nivel

Se crea indicadores para cada conjunto de entrada de presión, para indicar que conjuntos están activos y poder utilizarlos posteriormente en las reglas de inferencia.

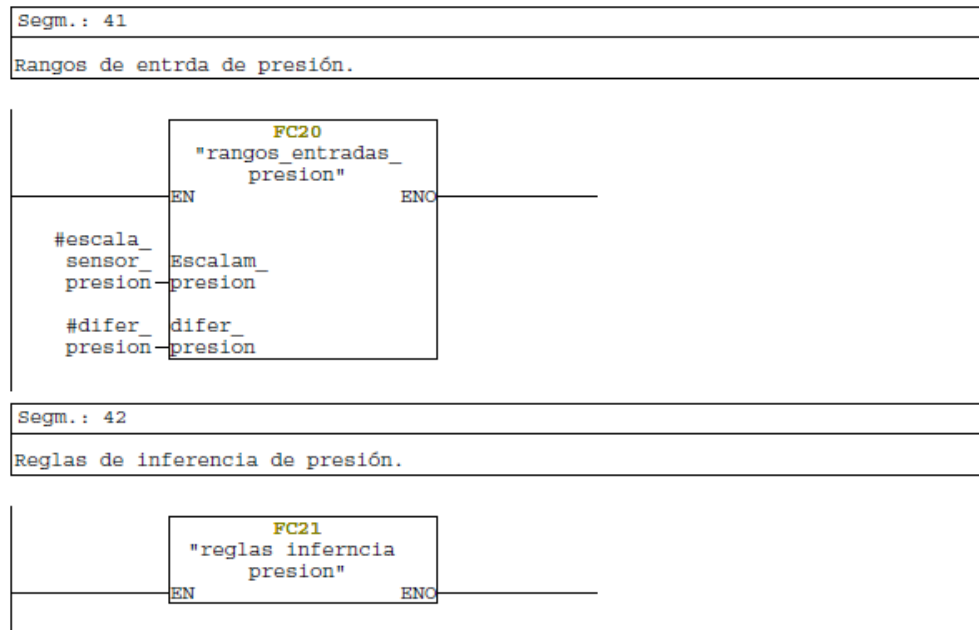


Figura 3. 47 Programación rangos de entrada y reglas de inferencia de presión.

3.6.5.17. Combinaciones posibles conjuntos de entrada

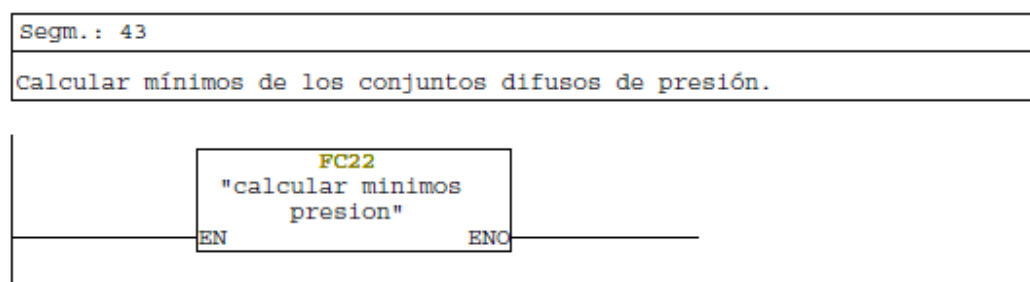


Figura 3. 48 Programación para calcular mínimos de cada combinación.

3.6.5.18. Calcular el máximo de los conjuntos de salida repetidos

Puesto que existen varias reglas con el mismo conjunto de salida se tiene que determinar el máximo valor para cada conjunto de salida.

Segm.: 44

Calcular el máximo de los mínimos las reglas de inferencia repetidas de presión.

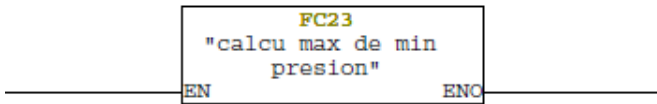


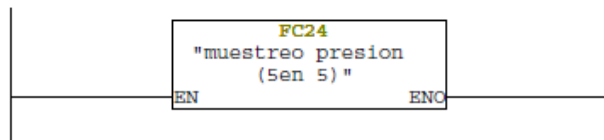
Figura 3. 49 Programación para calcular el máximo de cada conjunto.

3.6.5.19. Muestreo y construcción de la salida final

Se muestrea todos los conjuntos de salida cada 5 unidades por cada 250 milisegundos de tiempo transcurrido y estos valores se los utiliza posteriormente en la construcción de la salida final.

Segm.: 45

Muestrea todos los conjuntos de salida de presión cada 5



Segm.: 46

Construcción final de los conjuntos de salida.

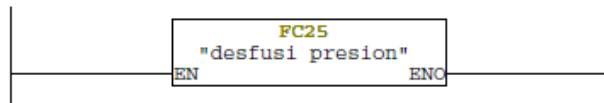


Figura 3. 50 Programación de muestreo y construcción final.

3.6.5.20. Defuzzyficación total de presión

Segm.: 47

Algoritmo para la defusificación total.

DB4.DBX12.0 bit para controlar el encendido (START) para NIVEL desde WINCC

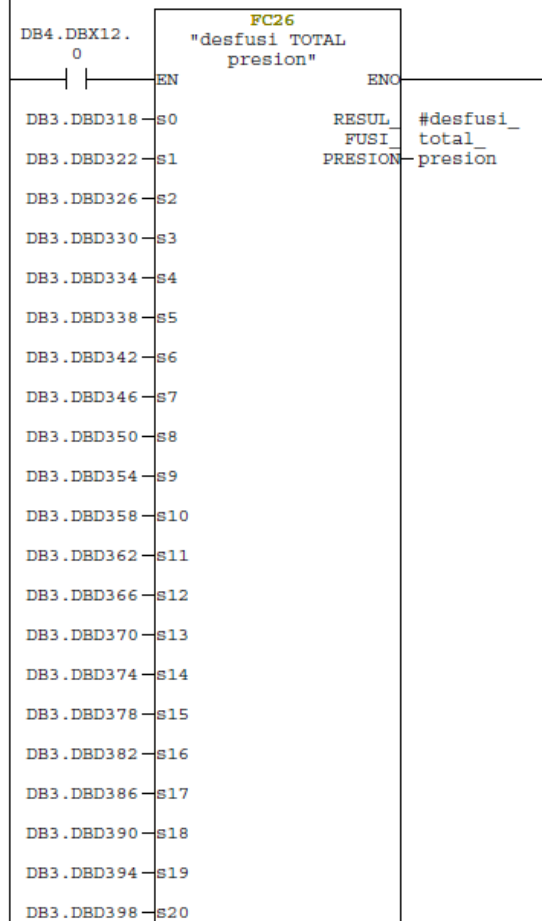


Figura 3. 51 Programación defuzzyficacion de presión.

3.6.5.21. Incremento de la bomba para presión

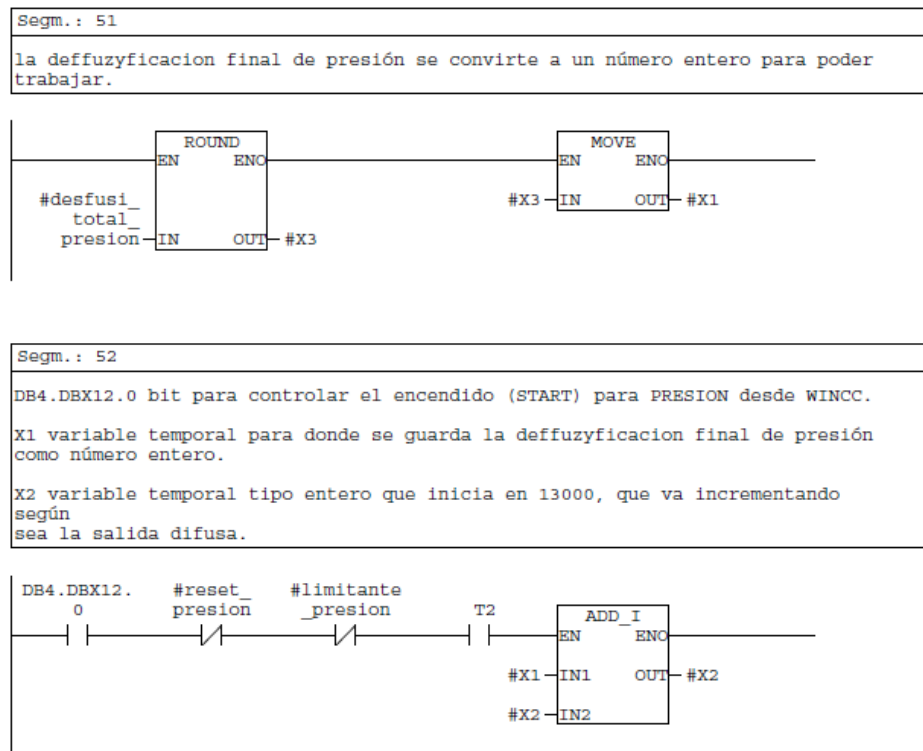


Figura 3. 52 Programación para el incremento de la bomba para presión.

3.6.5.22. Alarmas de presión

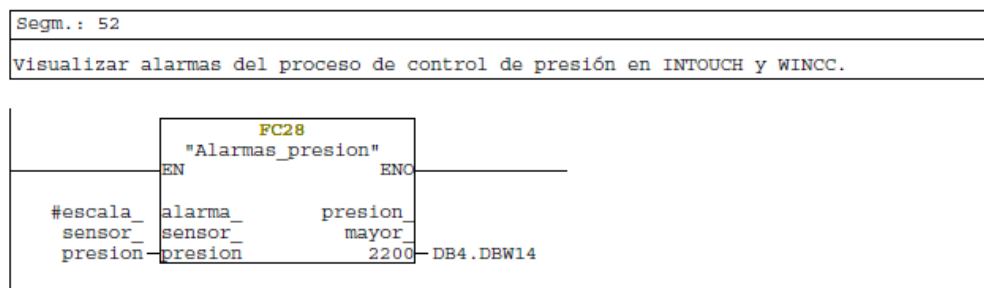


Figura 3. 53 Programación para visualizar las alarmas de presión.

3.6.6. Función FC1 leer y mover variables

En la función FC1 se va leer y mover los valores correspondientes a los sensores de nivel, presión y caudal.

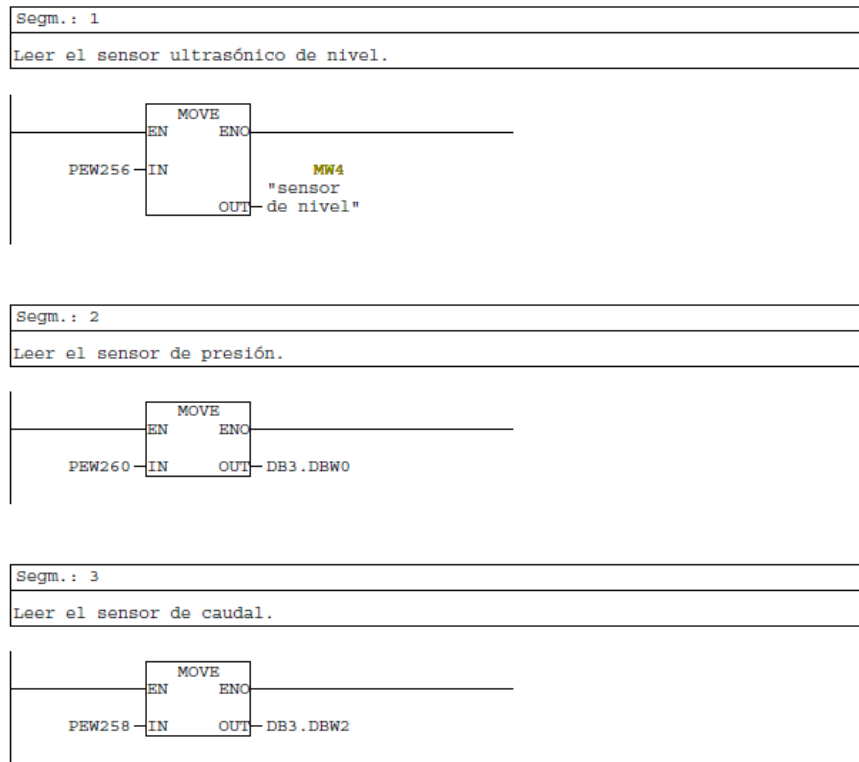


Figura 3. 54 Programación de FC1.

3.6.7. Función FC4 ecuación de la línea

En esta función se realiza la operación matemática que corresponde a la siguiente ecuación $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$, que se utilizará en las funciones posteriores.

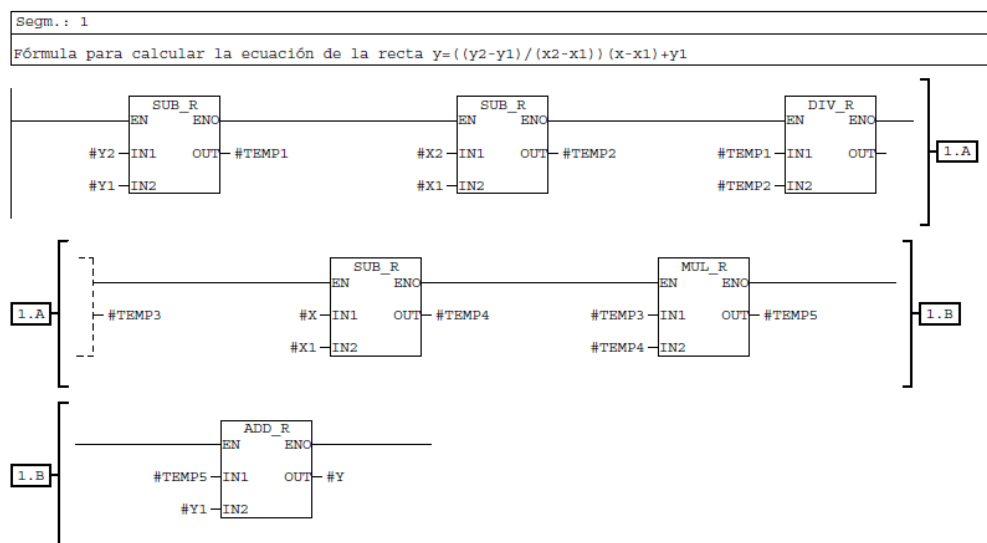


Figura 3. 55 Programación de FC4.

3.6.8. Función FC8 calcular menor de 2 números

El objetivo de esta función es calcular el menor de dos números, para lograr este propósito se compara si el primer valor, N1, es menor al segundo valor, N2, entonces el resultado es N1, caso contrario el resultado será N2.

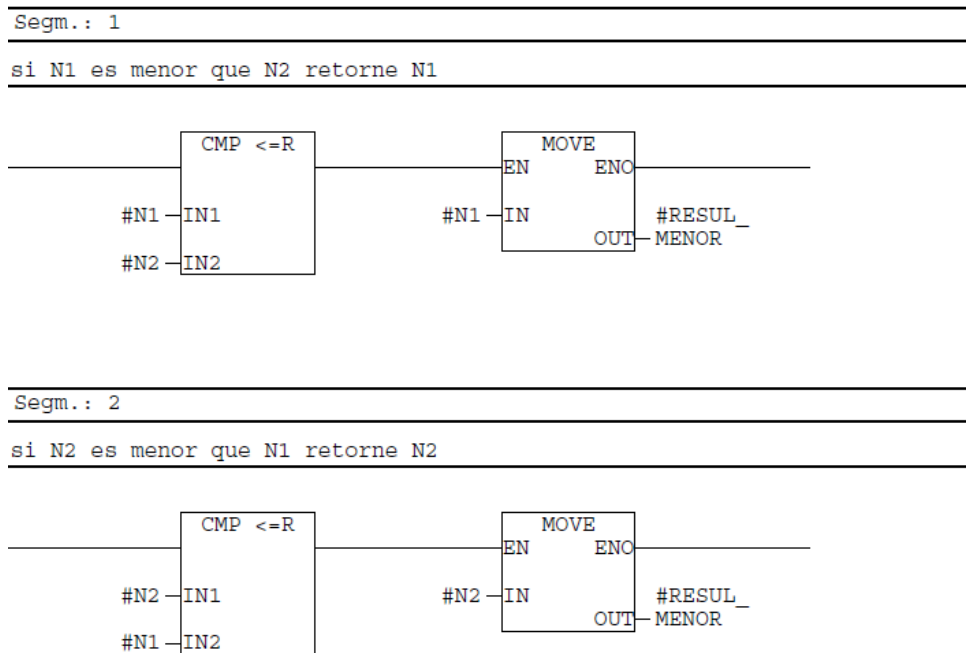


Figura 3. 56 Programación FC8

3.6.9. Función FC10 calcular mayor de 6 números

El propósito de esta función es calcular el mayor de seis números, para esto se compara los valores ingresados de dos en dos, VALOR_1 con VALOR_2, VALOR_3 con VALOR_4, VALOR_5 con VALOR_6, retornando los valores de cada pareja comparada, los resultados se vuelven a comparar en parejas, TEMP1 con TEMP2, el resultado de esta comparación se guarda en TEMP4 y por último TEMP3 se compara con TEMP4, retornando el mayor valor.

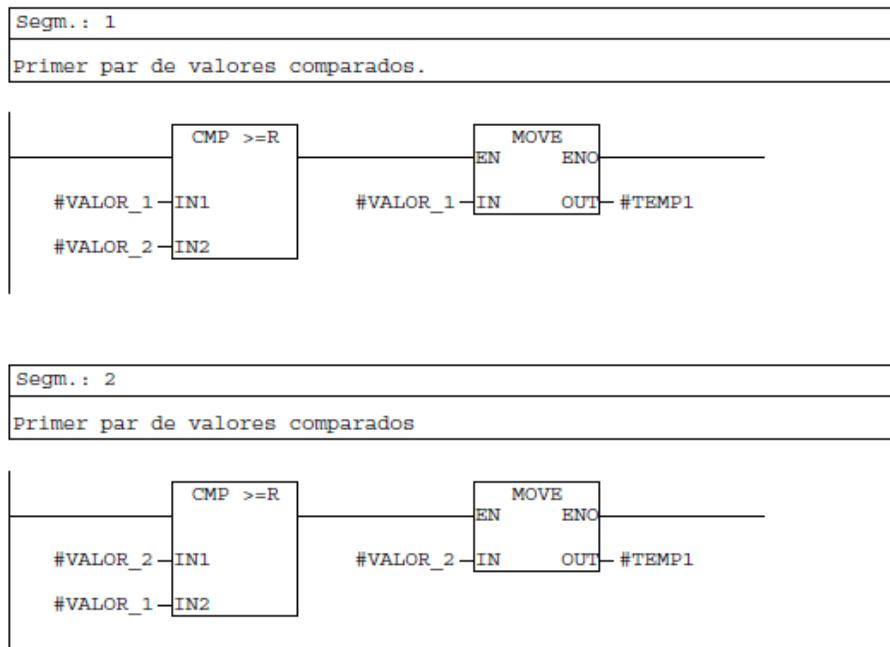


Figura 3. 57 Programación FC9.

3.6.10. Función FC2 escalamiento del sensor de nivel

El escalamiento se realiza por cada nivel, es decir existen ocho escalamientos. El valor del sensor de nivel comprendido entre 0 y 32000, se compara con valores máximos y mínimos dependiendo de cada nivel para determinar en qué nivel se encuentra actualmente, una vez determinado el nivel actual de sensor se procede a escalar el valor del sensor mediante la función FC4, ecuación de la línea, donde se ingresa los siguientes parámetros.

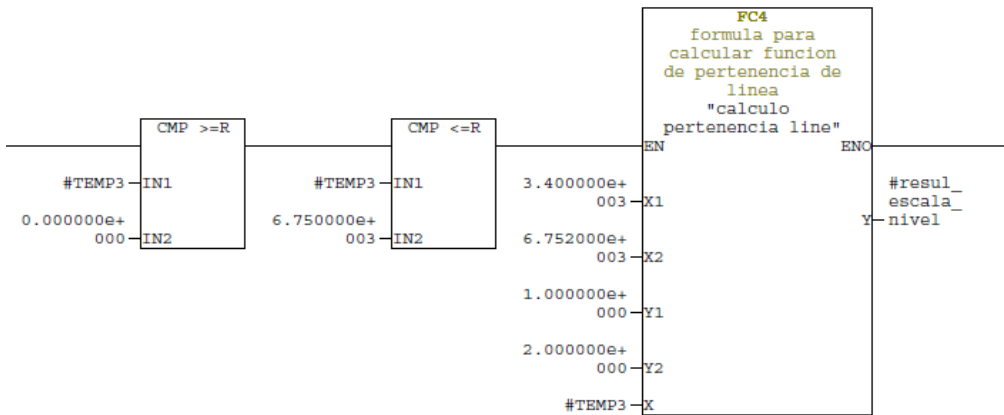
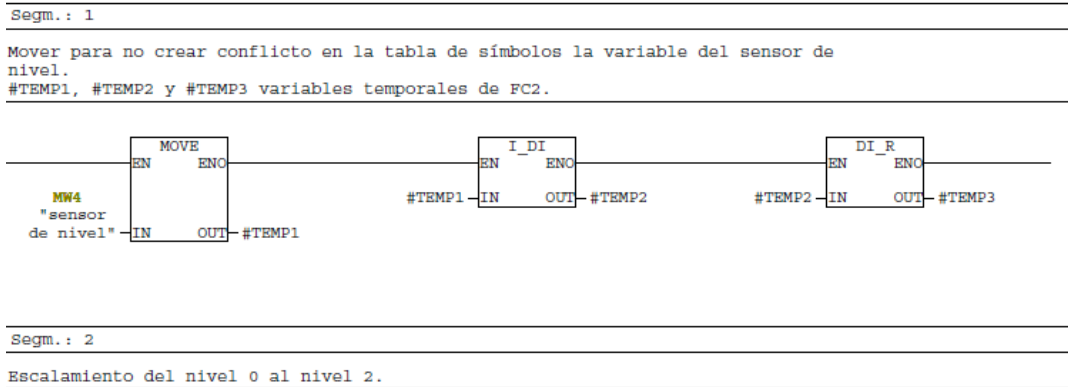


Figura 3. 58 Programación FC2.

3.6.11. Función FC15 fuzzyfizacion de nivel

Dependiendo del valor del escalamiento de nivel y del Setpoint, se determina a que conjunto de entrada pertenece y por medio de la función FC4 se calcula su respectivo valor de pertenencia.

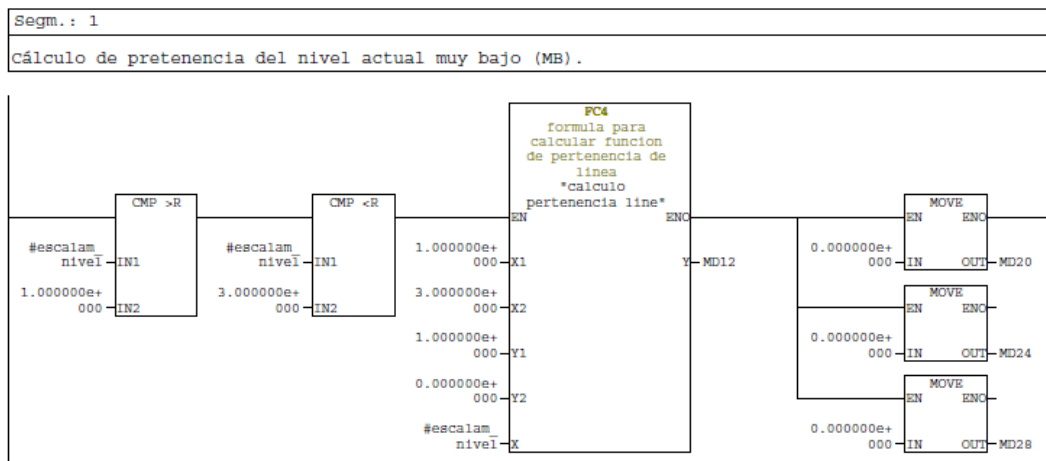


Figura 3. 59 Programación FC15.

Los valores de pertenencia del conjunto de entrada Nivel actual se muestran en la Tabla 3.12.

Conjunto de entrada nivel actual	Variable
Muy_Bajo	MD12
Bajo	MD16
Medio	MD20
Alto	MD24
Muy_Alto	MD28

Tabla 3. 12 Tabla conjunto Nivel actual y variables.

Los valores de pertenencia del conjunto de entrada Diferencia de nivel se muestran en la Tabla 3.13.

Conjunto de entrada diferencia de nivel	Variable
Muy_Bajo	MD32
Bajo	MD36
Medio	MD40
Alto	MD44
Muy_Alto	MD48

Tabla 3. 13 Tabla conjunto Diferencia de nivel y variables.

3.6.12. Función FC5 rangos de nivel

Para cada conjunto de entrada de nivel se realiza dos comparaciones entre el rango superior y el rango inferior de cada conjunto, cuando estas comparaciones son verdaderas se activa una marca que indica que dicho conjunto esta activado.

Por ejemplo en la Figura 3.60 para el conjunto nivel actual muy bajo se realiza las comparaciones en el rango de 1 a 3, si la variable de entrada esta dentro de estos rangos la marca se activa, indicando que el conjunto nivel actual muy bajo esta activo.

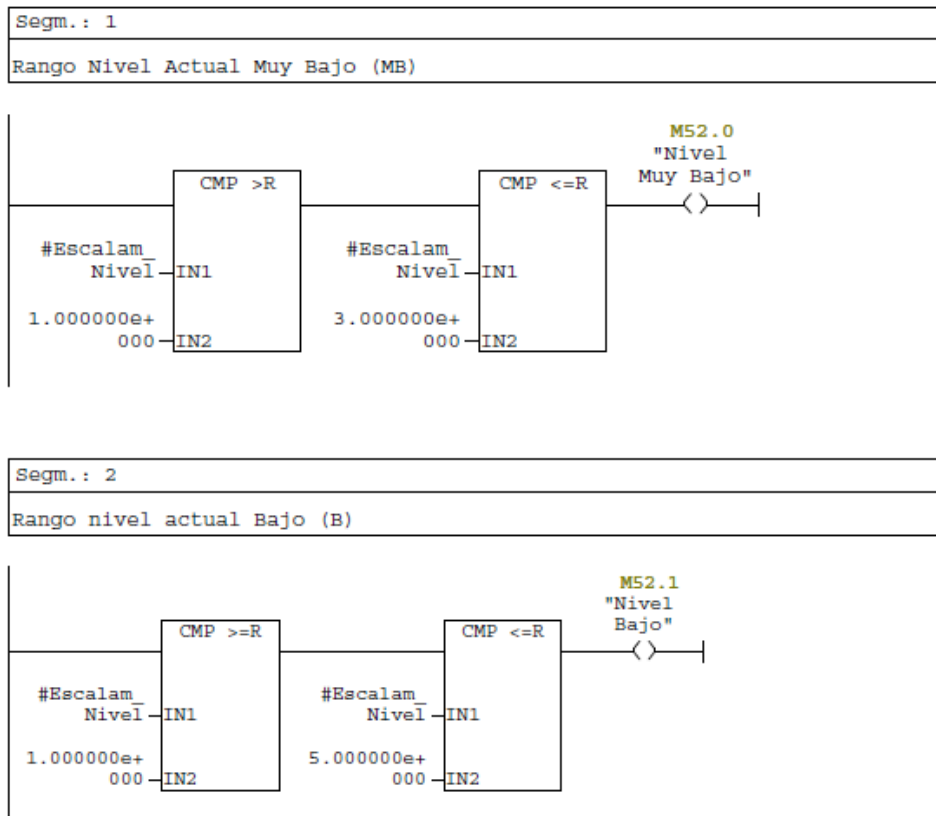


Figura 3. 60 Programación FC5.

3.6.13. Función FC14 reglas de inferencia

Las reglas de inferencia indican que conjuntos de salida están activados, dependiendo de la combinación de conjuntos de entrada que estén habilitados. Para el control de nivel se cuenta con dieciséis reglas de inferencia.

Por ejemplo en la Figura 3.61 se muestra la programación para las reglas 1, 2, 6 y 7, la combinación de los conjuntos de entradas que deben estar activos son Nivel_Muy_Bajo, Nivel_Bajo, Diferencia_Baja y Diferencia_Muy_Baja. El resultado de estas combinaciones es la activación de los conjuntos de salida, Salida_Minima y Salida_Media.

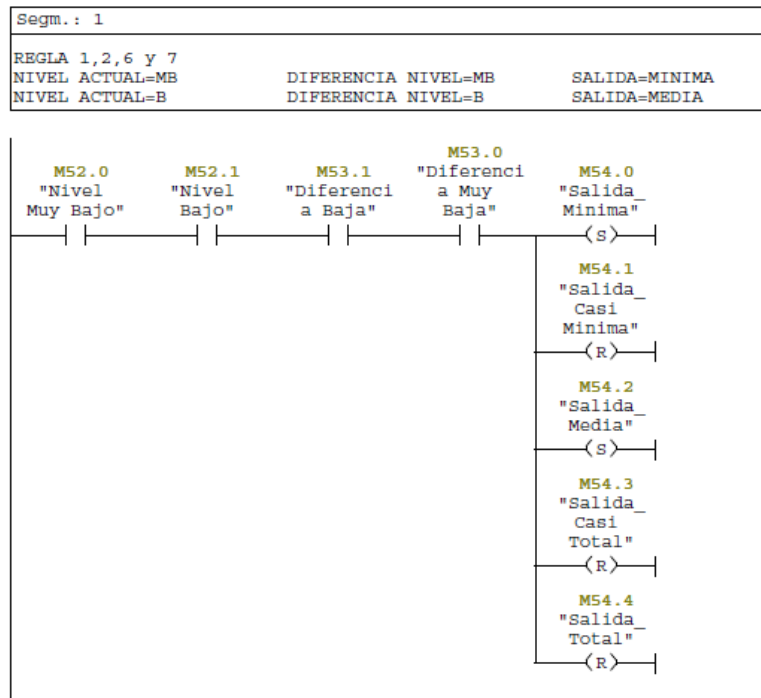


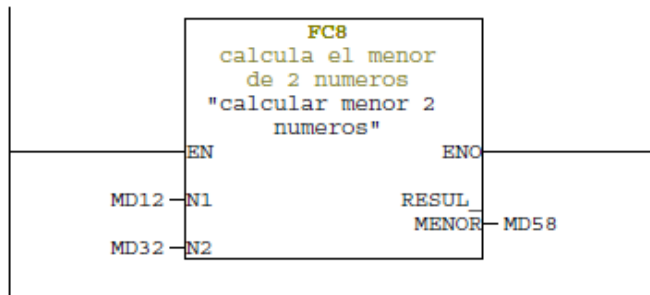
Figura 3. 61 Programación FC14.

3.6.14. Función FC7 cálculo de mínimos de nivel

En esta función se calculan todas las combinaciones posibles entre los conjuntos de entrada de nivel y los conjuntos de entrada diferencia de nivel, con su respectivo valor de pertenencia anteriormente calculado en la fuzzyficacion, en el FC15. Este cálculo se consigue por medio de la función FC8 que calcula el menor entre dos números.

Se escoge el menor valor de las combinaciones puesto que el tipo de reglas de inferencia que se está utilizando son del tipo IF (nivel actual AND diferencia de nivel) THEN (bomba).

Segm. : 1		
CALCULAR MINIMO ENTRE PERTENENCIA	NIVEL	MB
	DIFERENCIA	MB



Segm. : 2		
CALCULAR MINIMO ENTRE PERTENENCIA	NIVEL	MB
	DIFERENCIA	B

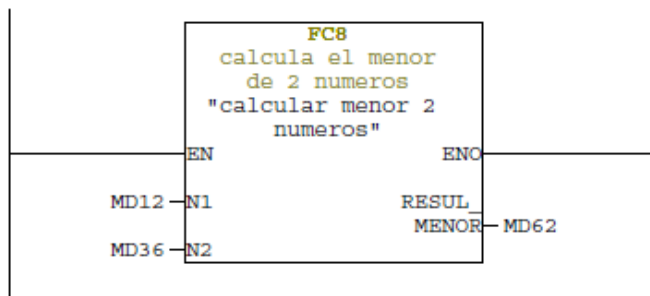


Figura 3. 62 Programación FC7.

En la Tabla 3.14 se muestra las variables donde se guardarán los resultados de todas las combinaciones posibles entre los conjuntos de nivel actual y diferencia de nivel.

Conjunto Nivel actual	Conjunto Diferencia de nivel	Variable
MD12	MD32	MD58
MD12	MD36	MD62
MD12	MD40	MD64
MD12	MD44	MD68
MD12	MD48	MD72
MD16	MD32	MD76
MD16	MD36	MD80
MD16	MD40	MD84
MD16	MD44	MD88
MD16	MD48	MD92
MD20	MD32	MD96
MD20	MD36	MD100
MD20	MD40	MD104
MD20	MD44	MD108
MD20	MD48	MD 112

MD24	MD32	MD116
MD24	MD36	MD120
MD24	MD40	MD124
MD24	MD44	MD128
MD24	MD48	MD132
MD28	MD32	MD136
MD28	MD36	MD140
MD28	MD40	MD144
MD28	MD44	MD148
MD28	MD48	MD152

Tabla 3. 14 Todas las combinaciones posibles conjuntos de entrada nivel.

3.6.15. Función FC9 cálculo máximo de mínimos

Puesto que en la tabla de reglas de inferencia existen reglas que tienen el mismo conjunto de salida, se necesita realizar un cálculo para determinar el valor máximo del conjunto de salida repetido. Para realizar el cálculo del máximo valor se emplea la función FC10 que se detalló anteriormente.

Por ejemplo en la Figura 3.63 se muestra la programación para calcular el valor máximo del conjunto de salida Minima, las reglas que se repiten se encuentran en las variables MD58, MD76, M96, MD116 y M136 que corresponden a las reglas 1, 6, 11, 16 y 21 de la Tabla 3.4 de reglas de inferencia, de estas variables se elige la de mayor valor.

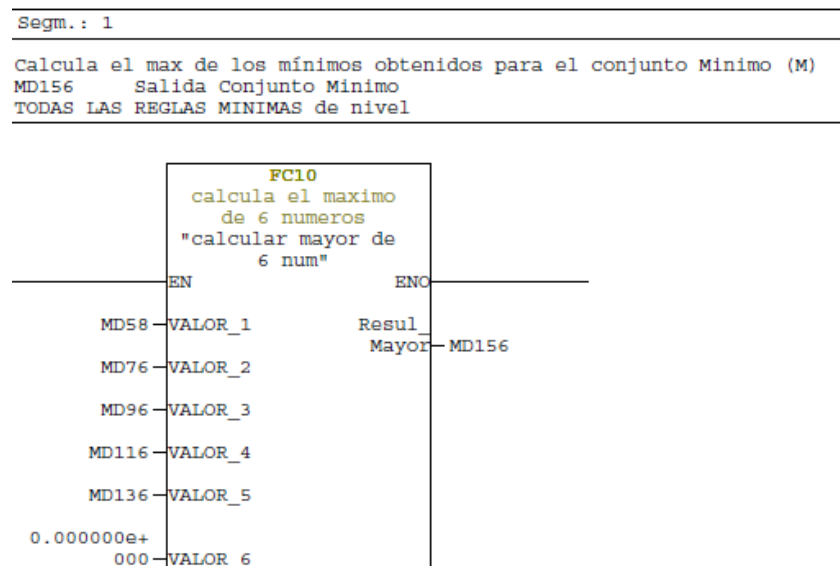


Figura 3. 63 Programación FC9.

En las siguientes tablas se detalla las variables de las reglas que se repiten y las variables donde se guardan los valores máximos para cada conjunto.

Variables repetidas salida Minima	Salida conjunto minimo
MD58	MD156
MD72	
MD92	
MD116	
MD136	

Tabla 3. 15 Valor final conjunto Minimo.

Variables repetidas salida Casi_Minima	Salida conjunto Casi_Minimo
MD62	MD160
MD100	
MD120	
MD140	

Tabla 3. 16 Valor final conjunto Casi_Minimo.

Variables repetidas salida Media	Salida conjunto Medio
MD80	MD164
MD64	
MD84	
MD104	
MD124	
MD144	

Tabla 3. 17 Valor final conjunto Medio.

Variables repetidas salida Casi_Total	Salida conjunto Casi_Total
MD68	MD168
MD88	
MD108	
MD128	
MD148	

Tabla 3. 18 Valor final conjunto Casi_Total.

Variables repetidas salida Total	Salida conjunto Total
MD72	MD172
MD92	
MD112	
MD132	
MD152	

Tabla 3. 19 Valor final conjunto Total.

3.6.16. Función FC11 muestreo de 5 en 5 % de nivel

Esta función dependiendo del indicador del conjunto de salida activo, guardara el valor de pertenencia de cada conjunto de salida cada 5 por ciento, esto se realiza utilizando la función FC4 (ecuación de la línea recta).

En la Figura 3.65 se muestra la programación para el cálculo de pertenencia en 5 por ciento del conjunto de salida Mínimo el cual tiene como límites en la escala del eje de las x 0 y 2 y en el eje de las y 0 y 1 correspondientemente.

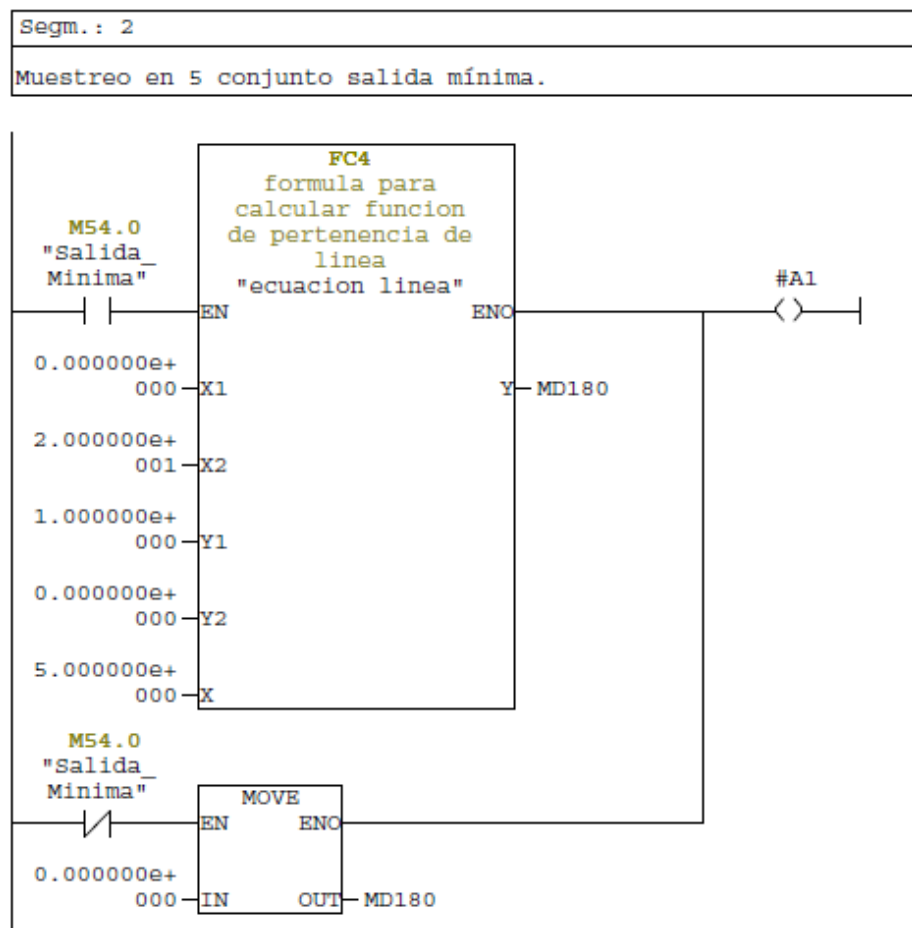


Figura 3. 64 Programación FC11.

En la Tabla 3.20 se indican los muestreos de cada conjunto de salida y sus respectivas variables donde se guardan los valores de pertenencia.

Muestreo Conjunto	Variable
Muestreo conjunto salida Mínimo 0 - 20	MD176 – MD192
Muestreo conjunto salida Casi_Minimo 0 - 40	MD196 – MD228
Muestreo conjunto salida Medio 30 - 70	MD232 – MD252 DB2.DBD0 - DB2.DBD8
Muestreo conjunto salida Casi_Total 50 - 90	DB2.DBD12 - DB2.DBD48
Muestreo conjunto salida Total 80 - 90	DB2.DBD52 - DB2.DBD68

Tabla 3. 20 Muestreo de conjuntos de salida.

3.6.17. Función FC12 construcción salida final nivel

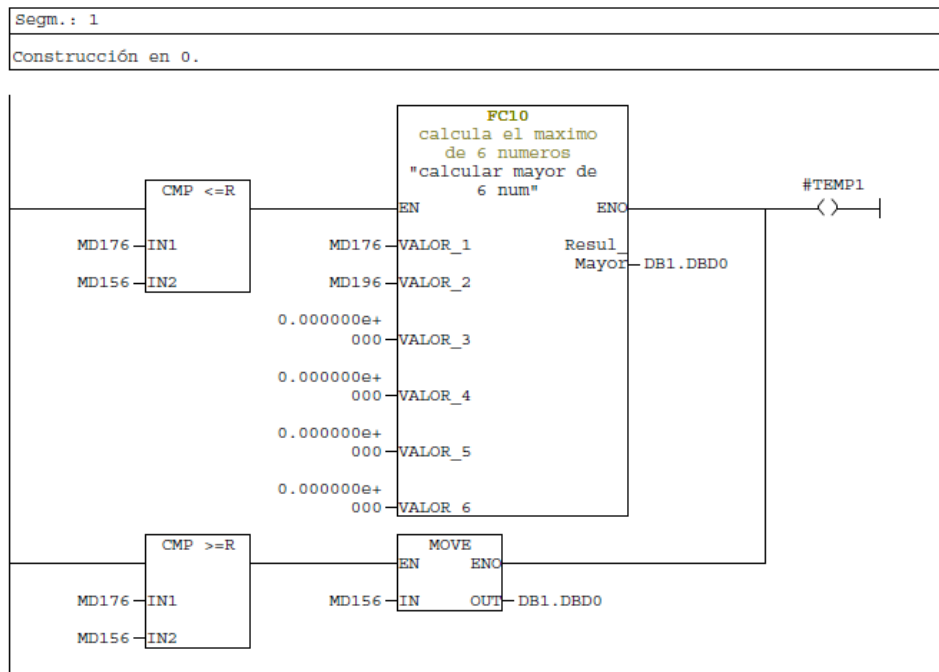


Figura 3. 65 Construcción salida final nivel

3.6.18. Función FC13 defuzzyfizacion total de nivel

En esta función se realiza la operación matemática que corresponde a la ecuación

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n xi \cdot u(xi)}{\sum_{i=1}^n u(xi)}$$

, que corresponde a la ecuación del centroide para calcular la defuzzyfizacion final.

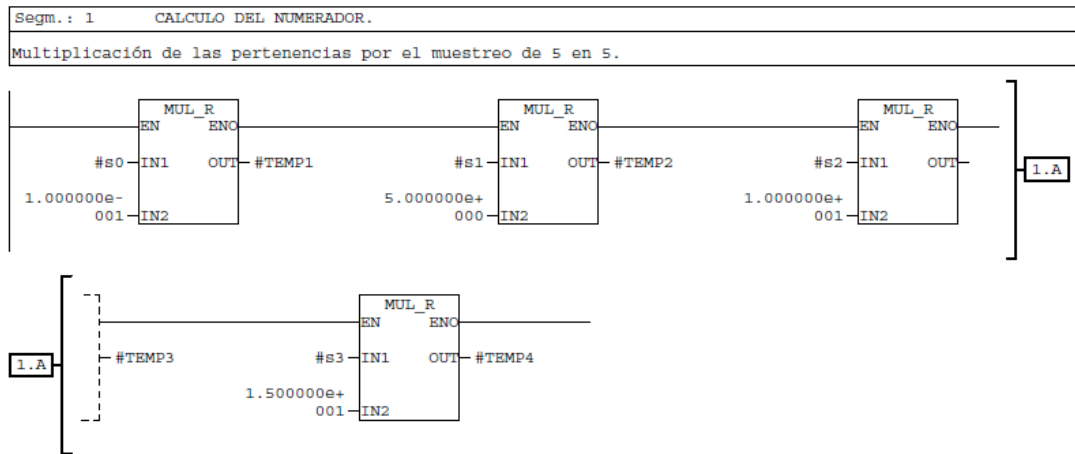


Figura 3. 66 Programación de FC13.

3.6.19. Función FC3 escalamiento bomba para nivel

En esta función se convertirá el valor total de la defuzzyficacion a un valor que el actuador (la bomba) pueda trabajar. Se realiza un escalamiento para cada nivel con el objetivo de tener una mejor respuesta del control.

Para cada nivel se realizan dos comparaciones con el fin de verificar en que rango se encuentra el escalamiento del sensor de nivel, si las comparaciones son verdaderas se procede a realizar el escalamiento por medio de la FC4, ecuación de la línea, la cual retorna un valor comprendido entre 0 y 32000, valor que se escribirá en la variable análoga de la bomba.

Por ejemplo en la Figura 3.67 se muestra la programación del escalamiento de la bomba, cuando el escalamiento del sensor de nivel se encuentre entre 2 y 3. En la función FC4 los valores de X1, X2, Y1, Y2 corresponden a los valores límites en los cuales la bomba trabaja a su mínima y máxima capacidad correspondientemente. El valor de salidafuzzy determinará el porcentaje de trabajo actual de bomba.

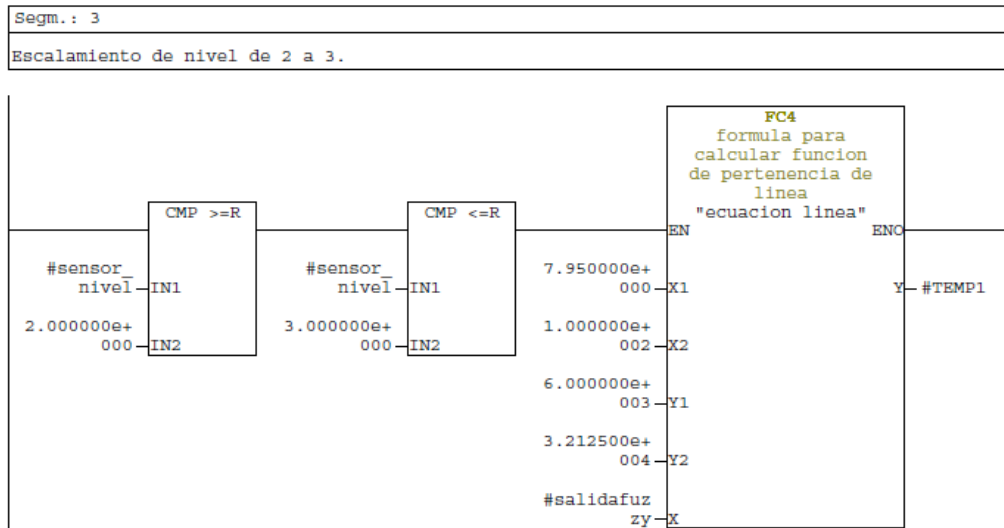


Figura 3. 67 Programación de FC3.

3.6.20. Función FC16 alarmas de nivel

En esta función se realiza la programación de las diferentes alarmas de nivel como son: nivel menor a 1 litro y nivel mayor a 10 litros. Para lograr este objetivo solo se compara el escalamiento del sensor, cuando este escalamiento es menor a uno se mueve el valor 1 a la variable alarma_nivel_menor1. Cuando el escalamiento es mayor a diez se mueve el número 1 a la variable alarma_nivel_mayor10.

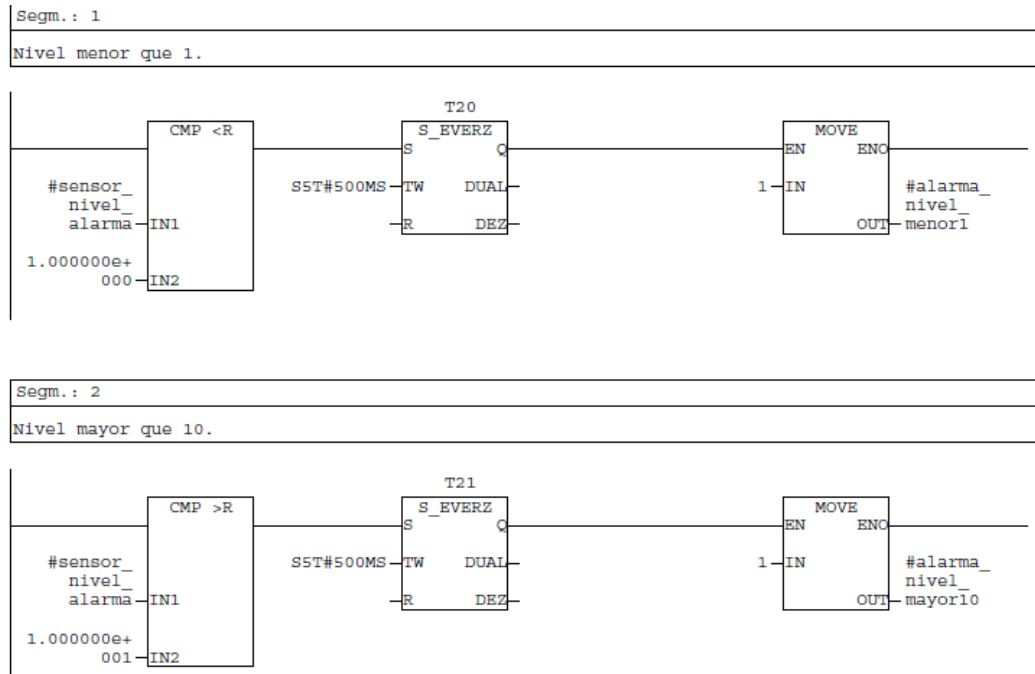


Figura 3. 68 Programación FC16.

3.7. WinCC Flexible

Se realizó un resumen de la Ayuda SIMATIC WinCC flexible de SIEMENS y de la página web www.automation.siemens.com.

WinCC flexible es un software para el desarrollo de HMIs en el ámbito de automatización industrial, hace de la ingeniería un área más sencilla y eficaz. WinCC flexible reúne algunas características como claridad, flexibilidad y sencillez.²⁰

3.7.1. Componentes de WinCC flexible

WinCC flexible Engineering System

Es el software que permite realizar todas las tareas de configuración necesarias (por ejemplo, configuración de pantallas, botones, alarmas, etc.). El software de ingeniería ofrece además de una interfaz de usuario sencilla y amigable las siguientes características:

²⁰ SIEMENS, *Ayuda SIMATIC WinCC flexible 2008 Advanced*, 2008

- Bibliotecas con objetos y bloques listos para utilizarse y que se pueden reeditar en cada pantalla.
- Herramientas inteligentes para crear proyectos de una manera más rápida y eficaz, configuración de pantallas jerárquicas y configuración de datos en bloque.
- Posee una amplia gama de prestaciones que va desde los Micro Paneles hasta la visualización sencilla en PC.
- Brinda soporte para configuraciones multilenguaje con traducción automática de texto.²¹

WinCC flexible Runtime

Runtime ofrece la posibilidad de controlar y monitorear el proceso. Dependiendo de los equipos que conforman el hardware del proceso, se obtienen diferentes perfiles de rendimiento. Las funcionalidades del Runtime pueden expandirse usando las diferentes opciones para este software.

Funcionalidad del software básico runtime:

- Administración de usuarios y protección de acceso.
- Compatible con la interfaz de usuario de Windows con soporte de idiomas.
- Presentaciones de procesos con gráficos vectoriales, campos de I/O, gráficos de barras, etc.
- Registro de alarmas del sistema, reconocimiento y archivado.
- Comunicación OPC.
- Conceptos Smart-Client-/Server
- Presentación de informes y seguimiento de las acciones del operador.²²

²¹ <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-engineering/Pages/Default.aspx>

Según la licencia adquirida, WinCC flexible Runtime permite utilizar un número predeterminado de variables de proceso (Powertags):

- WinCC flexible Runtime 128: soporta 128 variables de proceso.
- WinCC flexible Runtime 512: soporta 512 variables de proceso.
- WinCC flexible Runtime 2048: soporta 2048 variables de proceso.

Opciones de WinCC flexible

Las opciones de WinCC flexible permiten extender sus funcionalidades básicas. Se puede obtener funciones de extensión individuales tanto en WinCC flexible Engineering System como en WinCC flexible Runtime.

Las siguientes opciones están disponibles para WinCC flexible Engineering System:

Opciones de SIMATIC WinCC flexible	Función	Disponibilidad
WinCC flexible /ChangeControl	Administración de versiones y trazabilidad de los cambios de configuración	WinCC flexible Compact/Standard/Advanced

Tabla 3. 21 Tabla Opciones de WinCC flexible Engineering System.

Las opciones para WinCC flexible Runtime dependen del sistema de destino empleado.

Opciones de SIMATIC WinCC flexible RT	Función	Paneles de operador no basados en PCs	Panel PCs SIMATIC
WinCC flexible /Archives	Función de grabación en runtime	A partir de Panel 270	x
WinCC flexible /Recipes	Función de recetas en runtime	Existe en función del equipo; no	x

²² <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-runtime/Pages/Default.aspx>

		requiere licencia.	
WinCC flexible /Sm@rtAccess	Manejo y visualización remotos así como comunicación entre los diferentes sistemas SIMATIC HMI	A partir de Panel 270	x
WinCC flexible /Sm@rtService	Tareas de mantenimiento y servicio técnico remotos de máquinas/instalaciones a través de Internet/Intranet	A partir de Panel 270	x
WinCC flexible /OPC-Server	Utilización de un panel de operador como servidor OPC	Multipanel	x
WinCC flexible /ProAgent	Diagnóstico de procesos en runtime	A partir de Panel 270	x

Tabla 3. 22 Tabla Opciones de WinCC flexible Runtime.

3.8. Programación WinCC Flexible

3.8.1. Configuración de comunicaciones

La comunicación entre WinCC y Step 7 se la realiza mediante la pantalla conexiones, aquí se configura el tipo de comunicación, la velocidad de transferencia, el driver de comunicación, el interlocutor y el nodo, una vez establecidos estos parámetros la importación de variables será de forma automática todas las variables creadas en Step 7 se podrán utilizar para programar WinCC.

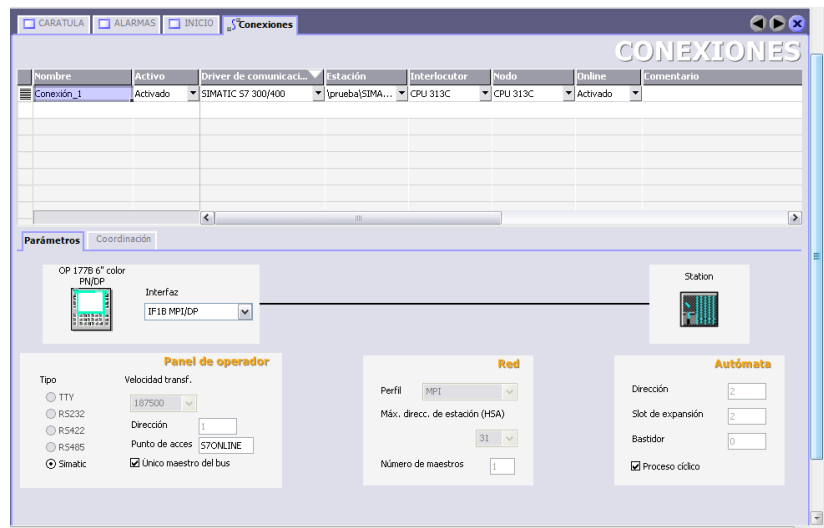


Figura 3. 69 Pantalla de comunicaciones WinCC flexible.

3.8.2. Pantalla de carátula

En la pantalla de presentación se muestra el título del proyecto y un botón para iniciar sesión con un nombre de usuario y su respectiva contraseña.

Para mostrar el cuadro de inicio de sesión, se elige la pestaña eventos al hacer clic en el botón y se selecciona la opción MostrarDialogoIniciarSesión.



Figura 3. 70 Pantalla de presentación.

3.8.3. Pantalla de inicio

Se encuentra un menú en el cuál se muestran diferentes opciones como el seteo de nivel, seteo de presión, el proceso, como se está desarrollando la lógica difusa, alarmas y curvas. También cuenta con un botón para cerrar la sesión.

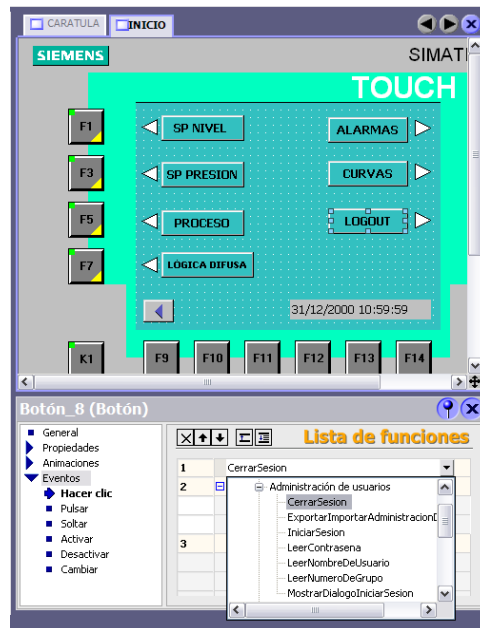


Figura 3. 71 Pantalla de inicio.

3.8.4. Pantalla seteo de nivel

El Setpoint de nivel se ingresa mediante teclado el cual puede estar entre de 1.5 a 9 litros, se puede observar el nivel actual del tanque y como va aumentando o disminuyendo en tiempo real.

Posee un botón STOP el cual detiene el proceso de control de nivel y un botón para activar la bomba manualmente.

Para realizar las animaciones se cuenta con las variables del PLC que fueron configuradas previamente.

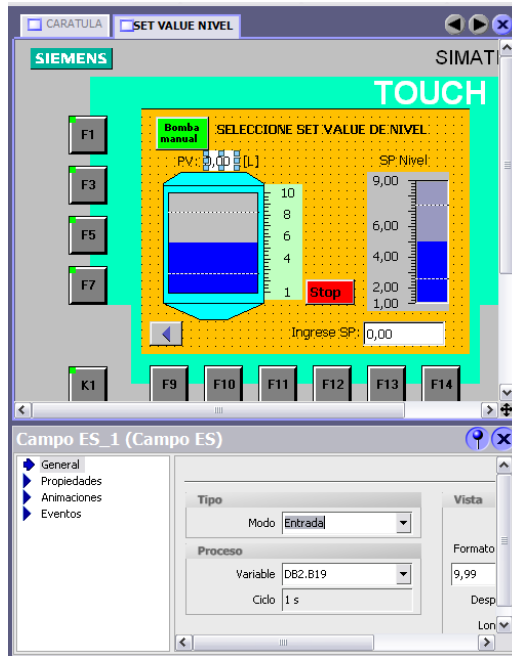


Figura 3. 72 Pantalla de Setpoint de nivel.

3.8.5. Pantalla seteo de presión

El Setpoint de presión se ingresa mediante una barra deslizador la cual varía entre 600 y 2000 milibares, se puede observar la presión actual en milibares, adicionalmente el botón STOP detiene el proceso de control de presión.

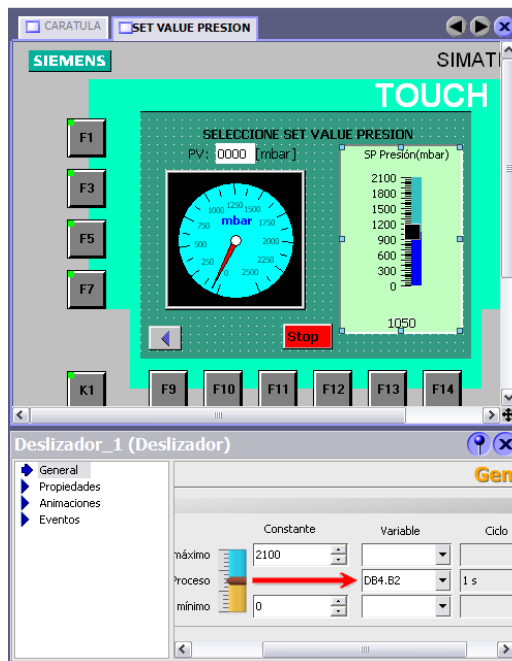


Figura 3. 73 Pantalla de Setpoint de presión.

3.8.6. Pantalla de proceso

La realización de esta pantalla fue posible gracias a las prestaciones gráficas de WinCC, que cuenta con librerías de Symbol Factory Graphics, en esta librería se puede elegir las tuberías, los tanques, los actuadores y los diferentes sensores que conforman la planta.

Se puede observar en tiempo real los valores de los sensores, el nivel de los tanques y cuando se acciona cada actuador.

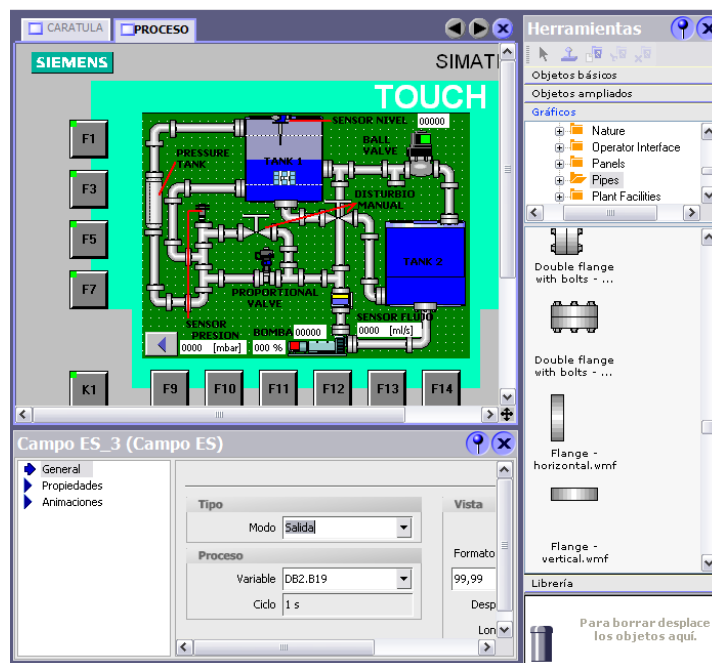


Figura 3. 74 Pantalla de proceso de la planta.

3.8.7. Pantalla de lógica difusa

La lógica difusa consta tanto para el control de nivel como para el control de presión, cada uno se lo puede visualizar dependiendo de qué control se esté realizando.

En la pantalla de lógica difusa se encuentran cuatro botones, los cuales permite visualizar las diferentes etapas de la lógica difusa implementada tanto para nivel como para presión.

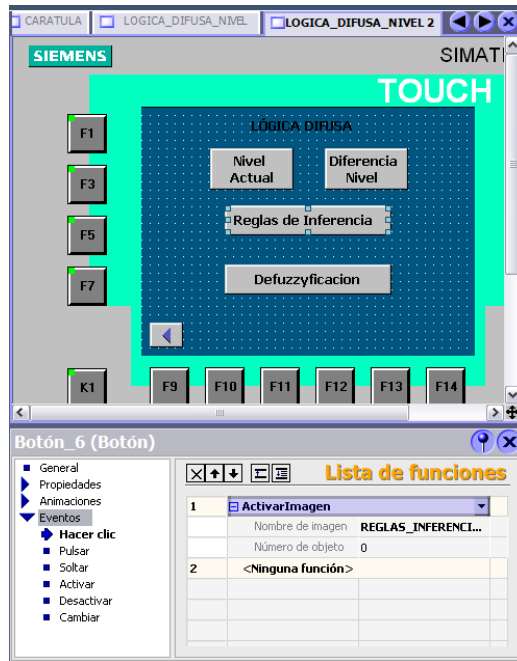


Figura 3. 75 Pantalla lógica difusa de nivel.

Los botones nivel actual y diferencia de nivel muestran cada uno de los conjuntos de entrada del proceso y como los valores de los conjuntos van cambiando. Cada barra que representa a cada conjunto está animada con su respectiva variable del PLC.

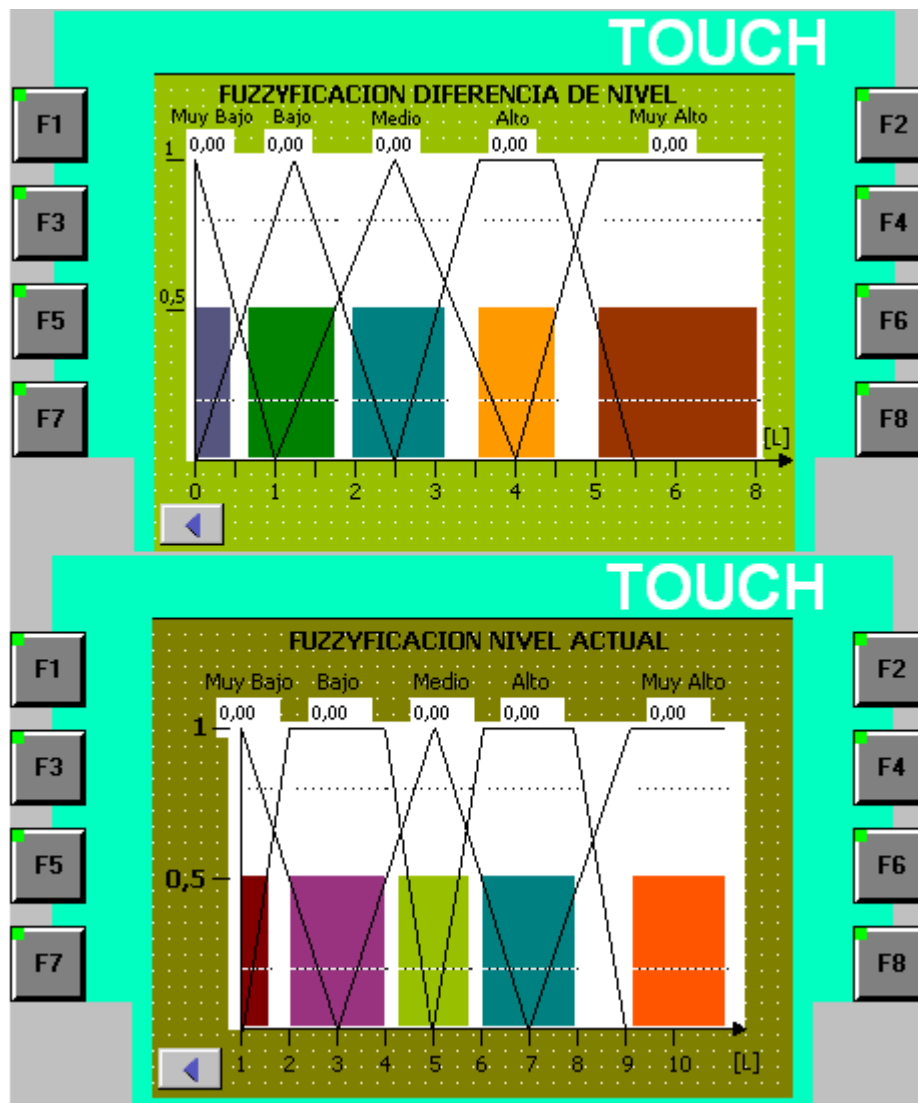


Figura 3. 76 Fuzzyfizacion nivel actual y diferencia de nivel.

Al hacer clic en el botón reglas de inferencia se abre una imagen en la cual se muestra el estado actual del proceso de lógica difusa, es decir la combinación de conjuntos de entrada que se activan.

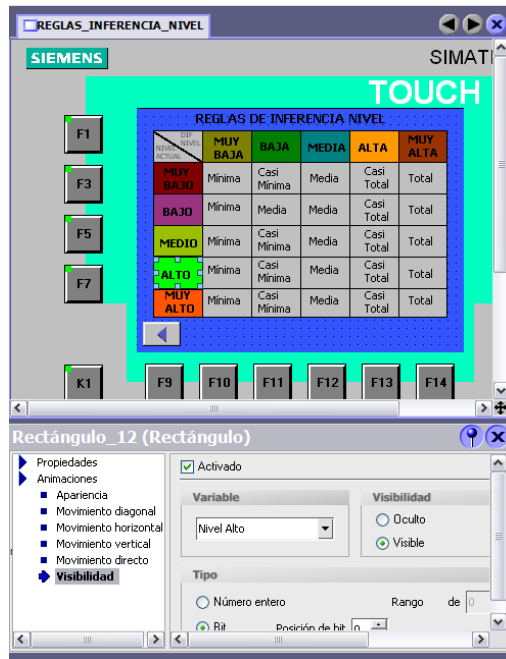


Figura 3. 77 Pantalla reglas de inferencia de nivel.

Al hacer clic en el botón defuzzyficacion se abre una imagen, en la que se muestra la construcción del conjunto final de salida y el valor del centroide que varía de 0 a 100.

Cada barra de la defuzzyficacion está animada con la respectiva variable del proceso en el PLC.

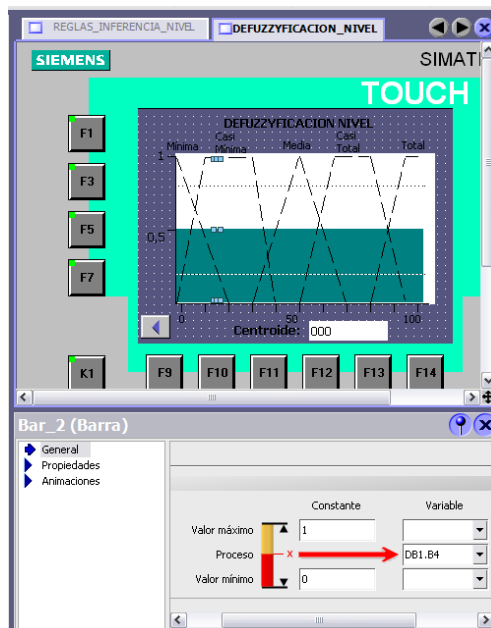


Figura 3. 78 Pantalla defuzzyficacion de nivel.

3.8.8. Pantalla de alarmas

En esta pantalla se registrará todas las alarmas que se hayan configurado tales como nivel actual menor a 1 litro, nivel actual mayor a 10 litros y presión actual mayor a 2200 mbar. Para crear una lista de avisos inserta la opción Vista de avisos.

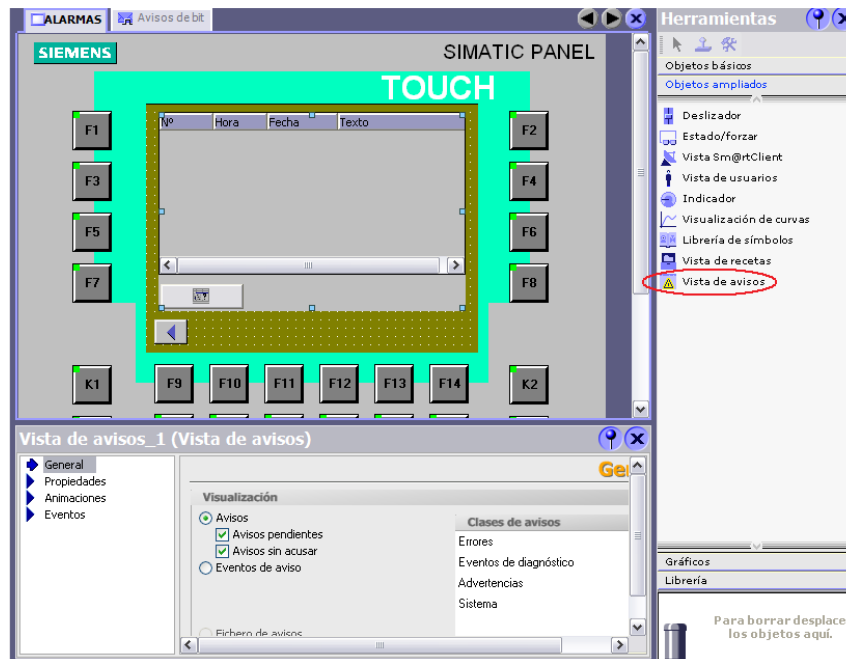


Figura 3. 79 Pantalla alarmas.

Para configurar las alarmas se debe configurar los avisos de bit, se requiere configurar el tipo de aviso sea una advertencia o un error, la variable de disparo, el número de bit en el que va a ocurrir el disparo y por último la dirección del disparo del PLC. Adicionalmente en cada aviso se puede crear un texto de ayuda para entender de mejor manera de que se trata el aviso o que error se está cometiendo al momento de operar la planta.

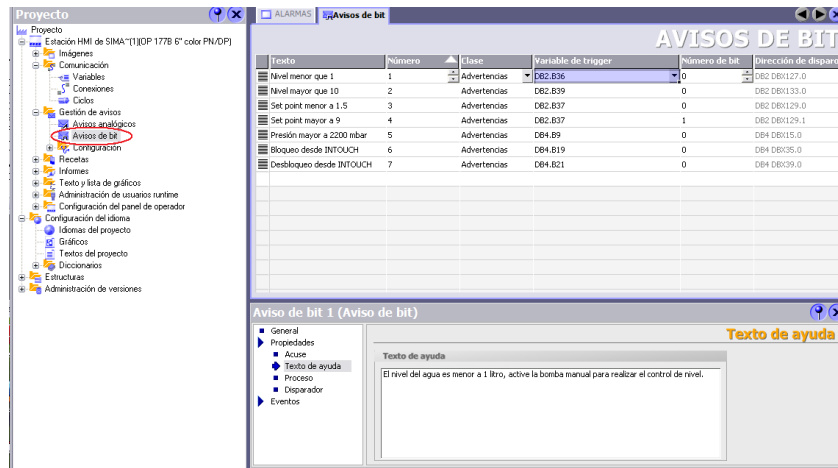


Figura 3. 80 Configuración de Avisos de bits.

3.8.9. Pantalla de curvas

En la pantalla de curvas se puede observar la curva de nivel o de presión dependiendo del tipo de control que se esté realizando.

Para visualizar una curva se inserta la opción Visualización de curvas y en esta se configura algunas propiedades como son la visualización, la representación, los ejes, la escala y en la opción Configuración de la fuente se ingresa la variable de la curva.

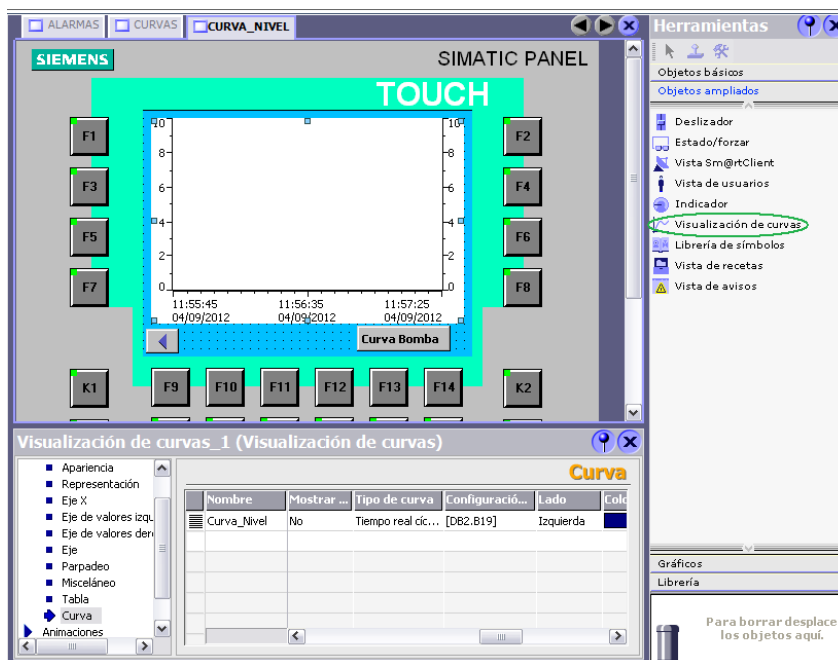


Figura 3. 81 Pantalla curvas.

3.8.10. Administración de usuarios

La administración de usuarios y contraseñas en WinCC se configura en la pestaña Administración de usuarios runtime, se desplegarán tres opciones, Grupos, Usuarios, Configuración de seguridad en runtime. En la ventana grupos se crearan distintos grupos y se designará a cada grupo su respectivo nivel de autorización.

Se crearán dos grupos, Supervisores y Monitoreo y se les asignarán diferentes niveles de autorización, el grupo Supervisores tendrá acceso total al manejo y supervisión de la planta mientras que el grupo Monitoreo tendrá acceso limitado.

Los grupos Administradores y Usuarios están creados por defecto en WinCC y no se los puede eliminar.

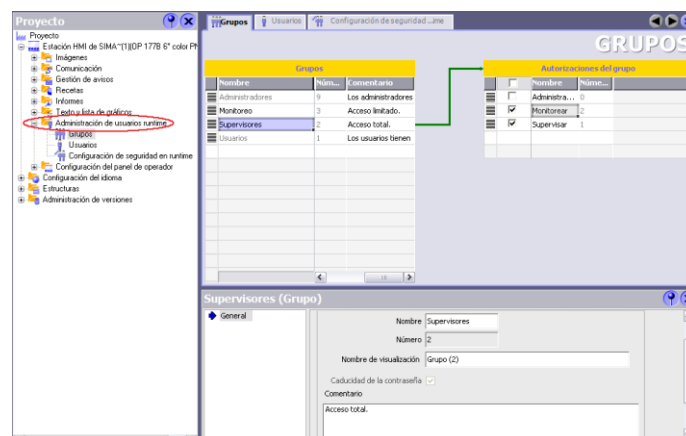


Figura 3. 82 Creación de grupos.

En la ventana de usuarios se define el nombre de los usuarios y sus respectivas contraseñas, a cada usuario se le asigna un grupo de usuarios.

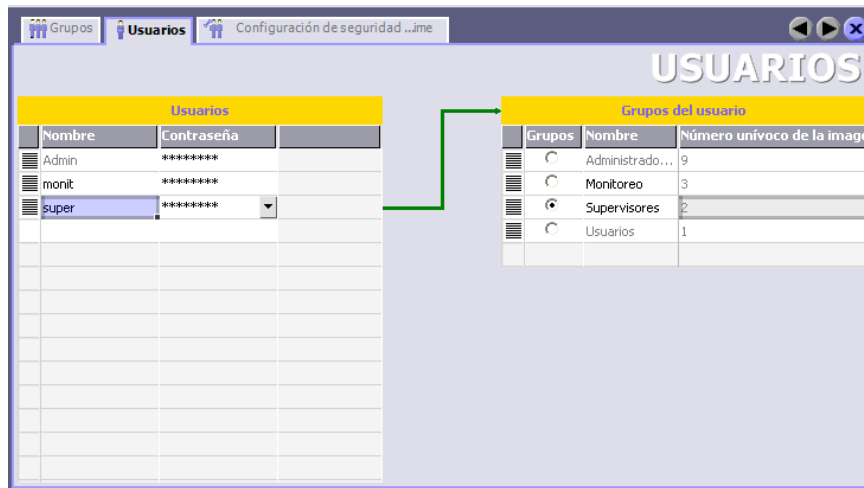


Figura 3. 83 Usuarios y grupos de usuarios.

Se crearán dos nombres de usuario y sus respectivas claves para poder iniciar sesión, los cuales se muestran en la Tabla 3.23. El usuario Admin esta creado por defecto y no se puede eliminar.

Usuario	Clave
Admin	admin
monit	monit
super	super

Tabla 3. 23 Usuarios y contraseñas WINCC.

3.8.11. Transferencia del proyecto

Para transferir el proyecto al panel OP 177B 16'' color PN/DP se da clic en el botón transferencia, se muestra una ventana que pide el modo de transferencia y el nombre o dirección IP. En el modo de transferencia se elige Ethernet y en la dirección IP se coloca la dirección del panel que es 192.168.0.100.

Para transferir los datos de administración de usuarios se debe marcar la casilla Sobrescribir administración de usuarios y por último se da clic en el botón Transferir.

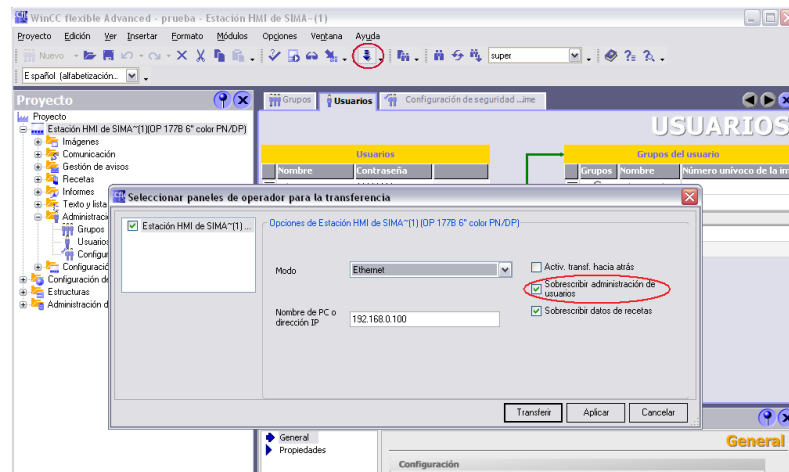


Figura 3. 84 Transferencia del proyecto.

3.9. Software Kepserverex

Este servidor basado en software está diseñado para comunicaciones precisas, instalación rápida y la interoperabilidad entre aplicaciones cliente de dispositivos y sistemas industriales. El servidor provee una amplia gama de controladores para dispositivos plug-in que se adaptan a la mayoría de necesidades de comunicación.

El diseño plug-in y la simple interfaz de usuario proveen acceso coherente a las aplicaciones basadas en estándares tales como OPC.

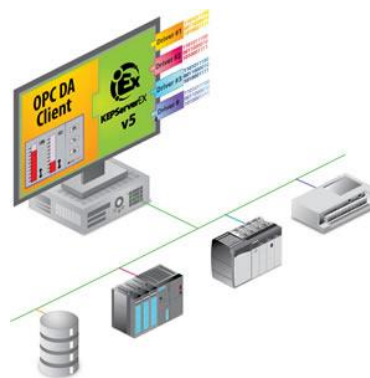


Figura 3. 85 Software KEPServerEx

El servidor KEPServerEx implementa la arquitectura cliente / servidor, Los componentes que se incluyen son Configuración, Runtime, Administración, y Event Log.

- **Configuración:** es la interfaz cliente – usuario que se usa para modificar el Runtime del proyecto. La configuración puede ser puesta en marcha por múltiples usuarios.
- **Runtime:** son los componentes del servidor que se inicializan como un servicio por defecto. Los clientes pueden conectarse al runtime remotamente o localmente.
- **Administración:** es usada para ver y/o modificar parámetros y poner en marcha aplicaciones que pertenecen a la administración del usuario.
- **Event Log:** es un servicio que recolecta información, eventos de alerta y error. Estos eventos se envían entonces a la configuración del Event Log para que puedan ser visualizados y revisados.²³

3.10. Configuración KepsServerEx

El software KEPServerEx servirá como medio de obtención de las señales desde el PLC, para que InTouch las pueda leer y escribir conforme sea la necesidad en el desarrollo del SCADA.

3.10.1. Configuración del Channel

3.10.1.1. Channel MPI

Para obtener los datos a través de la red MPI, por medio del PC Adapter Serial, es necesario configurar el Channel de la siguiente manera:

Crear un nuevo proyecto en KEPServerEx, clic en Clic to add channel en la ventana de la Figura 3.86 ingresar el nombre del channel que en este proyecto se llamará PLC 300.

²³ KEPWARE, Technologies, *KEPServerEX V5 Help*, Portland-Estados Unidos, 2012, p.9-16.

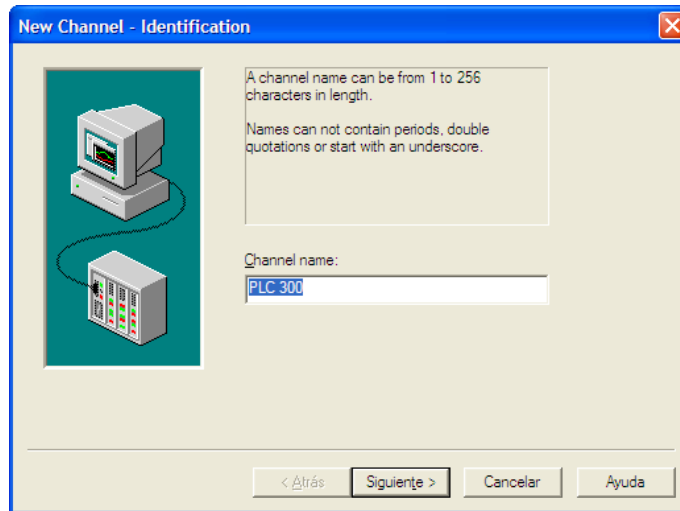


Figura 3. 86 New channel - Identification KEPServerEx.

Clic en siguiente y se muestra la ventana de la Figura 3.87, New Channel – Device Driver, se elige el tipo de controlador dependiendo del medio físico por el cual se obtendrán las señales desde el PLC hacia el KEPServerEx, en este caso como el medio físico por el cual se obtienen las señales es el PC Adapter Serial entonces el Device Driver es Siemens S7 MPI.

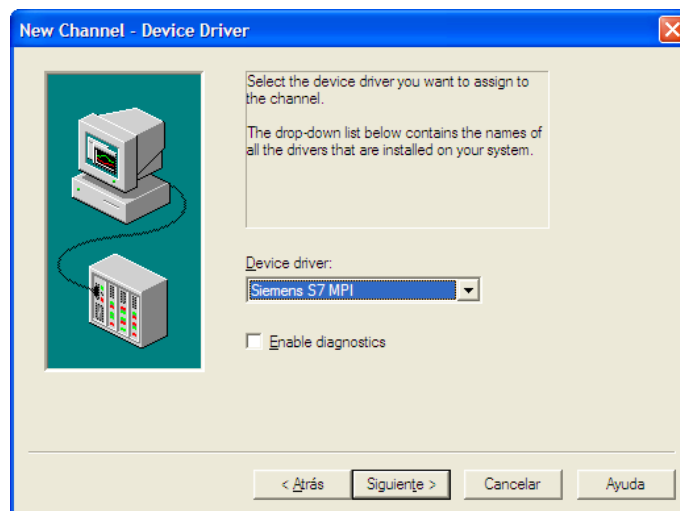


Figura 3. 87 New Channel - Device Driver KEPServerEx.

Clic en siguiente y se muestra la ventana de la Figura 3.88, New Channel Communications, donde se configuran los parámetros de comunicación del puerto COM del PC por el cual se obtendrán los datos de las señales desde el plc, para

establecer correctamente la comunicación entre el PC y PLC es necesario ajustar los siguientes parámetros:

ID: Numero de puerto del Pc donde se conecta el PC Adapter Serial.

Baud Rate: La velocidad a la que transfiere el PC Adaptar Serial del lado al que se conecta el PC, que puede ser 19,2 kbps o 38,2 kbps, dependiendo de la posición de los dip switch de configuración de velocidad del PC Adapter Serial.

Data Bits: número de bits de datos que en este proyecto se lo deja por defecto los 8 bits.

Stop bits: número de bits de parada se lo deja por defecto en 1 bit.

Flow Control: el tipo de control de flujo se lo deja por defecto RTS Always.

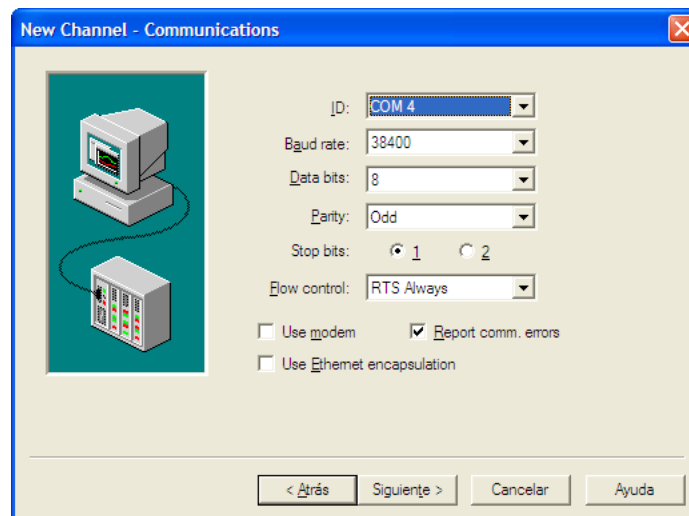


Figura 3. 88 New Channel Communications KEPServerEx.

Clic en siguiente, y en la ventana de la Figura 3.89 New Channel – Driver Setup, se ingresa la dirección PC dentro de la red MPI configurada que en este proyecto será 0

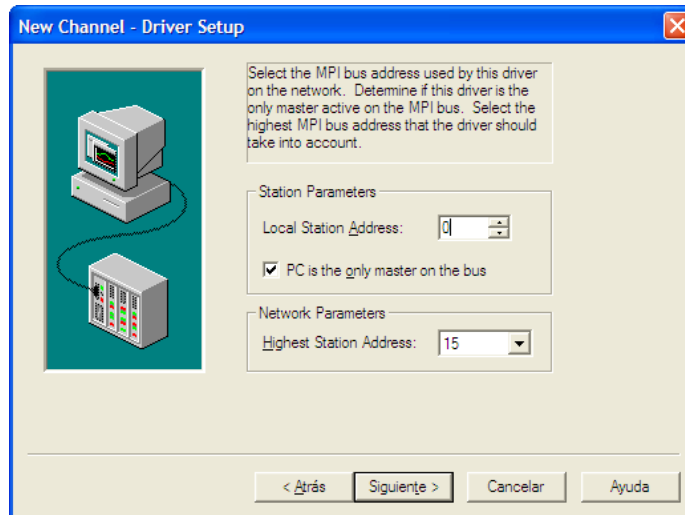


Figura 3. 89 New Channel – Driver Setup KEPServerEx.

3.10.1.2. Channel Ethernet

Para obtener las señales a través del módulo de Comunicación del PLC, CP 343-1 Lean, con el puerto Ethernet del PC, es necesario configurar el channel de la siguiente manera.

Crear un nuevo proyecto en KEPServerEx, Elegir Clic to add channel en la ventana de la Figura 3.90, New Channel – Identification, ingresar el nombre del channel que en este proyecto se llama PLC 300

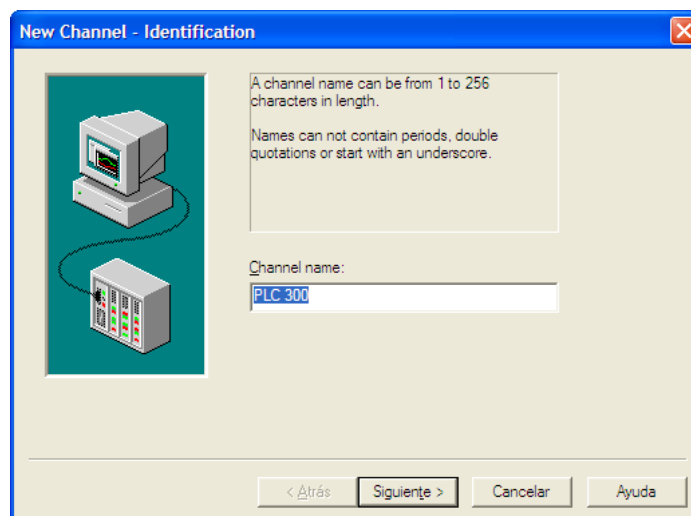


Figura 3. 90 New channel - Identification KEPServerEx.

Clic en siguiente y se muestra la ventana de la Figura 3.91, New Channel – Device Driver, se elige el tipo de controlador dependiendo del medio físico por el cual se obtendrán las señales desde el PLC hacia el KEPServerEx, para obtener las señales a través del puerto Ethernet del PC es necesario elegir el driver Siemens TCP/IP Ethernet.

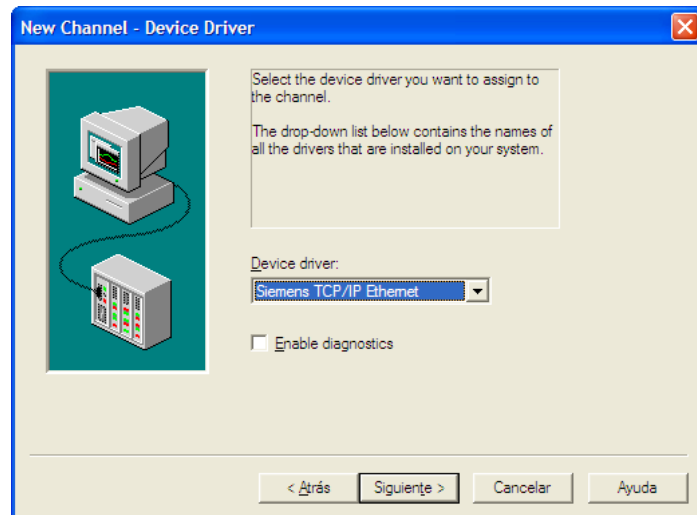


Figura 3. 91 New Channel – Device Driver.

Clic en siguiente, y en la ventana de la Figura 3.92, New Channel - Network Interface, se elige la tarjeta de red que se encuentra conectado con el PLC, que en la PC utilizada para el proyecto, la tarjeta de red utilizada es la LAN (Red de Área Local), Marvell Yukon 88E..(192.168.0.102).

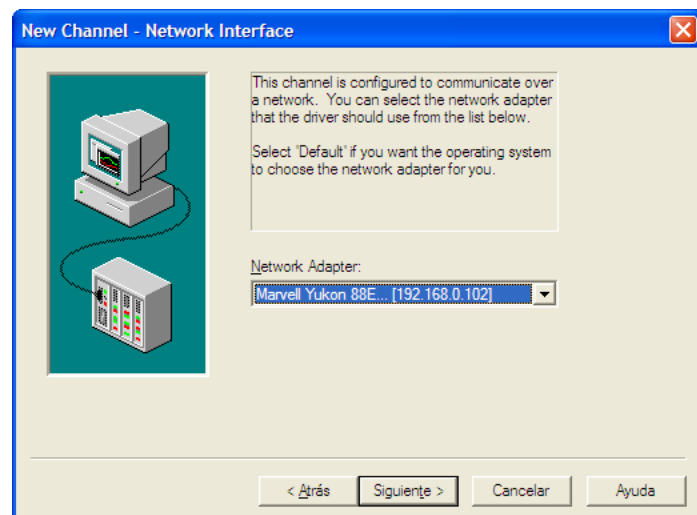


Figura 3. 92 New Channel – Network Interface.

3.10.2. Configuración del device

3.10.2.1. Device MPI

Una vez agregado el channel, es necesario añadir el dispositivo, para esto elegir, Click to add device, se abre una ventana como la que se muestra en la Figura 3.93, se coloca el nombre al dispositivo que se va a añadir.

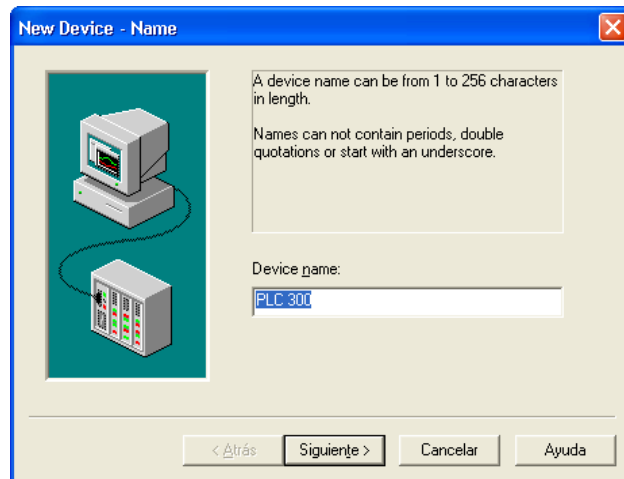


Figura 3. 93 Añadir dispositivo KEPServerEx.

En la ventana que se muestra en la Figura 3.94 se va a insertar el Device ID, que corresponde al número que tiene el PLC dentro de la red configurada que para este caso, como se había visto en la configuración de la red MPI el PLC, tendrá como ID el número 2.

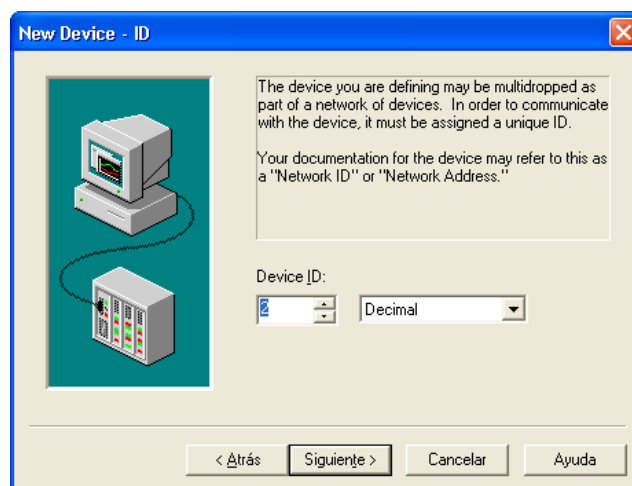


Figura 3. 94 Device ID Nuevo dispositivo KEPServerEx.

Todos los parámetros siguientes se los configurará por defecto y por último clic en finalizar con lo que se ha añadido correctamente el nuevo dispositivo.

3.10.2.2. Device Ethernet

Elegir Click to add devive en la ventana de la Figura 3.95, New Device, se tiene que ingresar el nombre del device, que será PLC1.

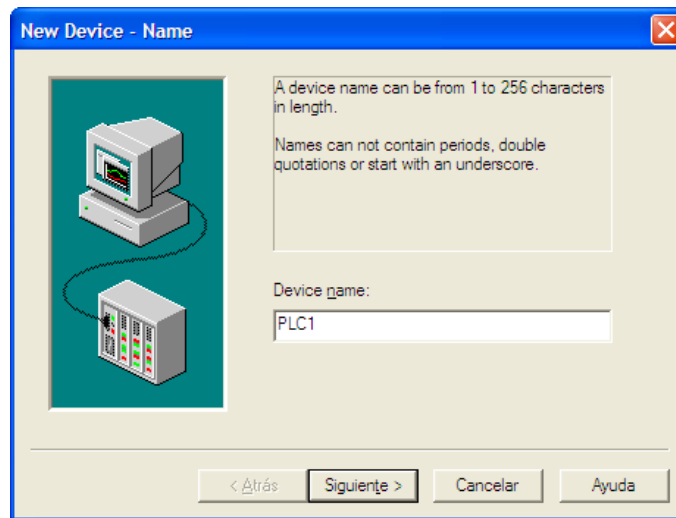


Figura 3.95 New Device – Name.

Clic en siguiente y se muestra la ventana de la Figura 3.96, New Device – Model, aquí se ingresa el tipo de PLC que se utiliza, que para el proyecto es el PLC S7-300.

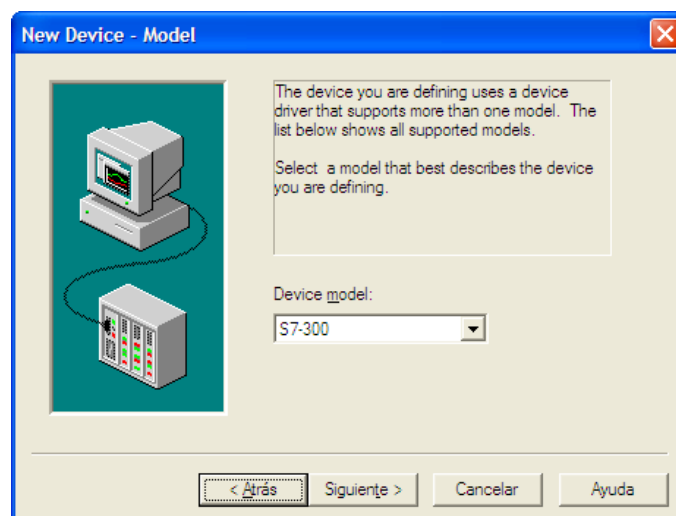


Figura 3.96 New Device – Model.

Clic en siguiente y se muestra la ventana de la Figura 3.97, New Device – ID, aquí se ingresa la dirección IP del PLC, previamente configurada en Step 7, la dirección IP del PLC que se utiliza es la 192.168.0.100

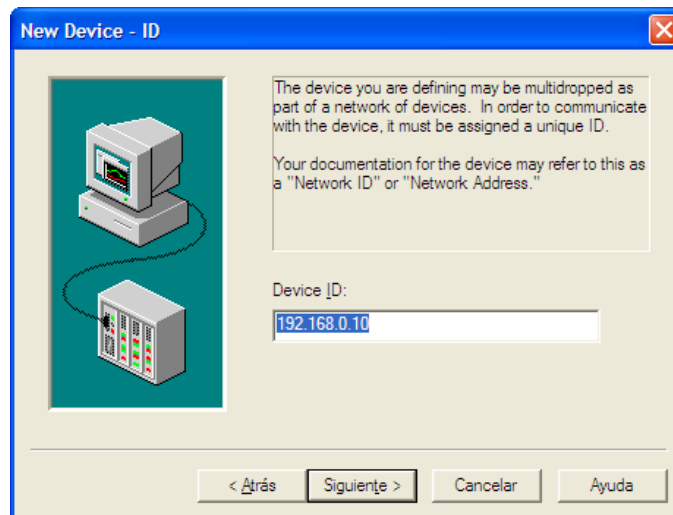


Figura 3. 97 New Device – ID.

Los siguientes parámetros de configuración del device se los deja por defecto.

3.10.3. Configuración de los tags

Los tags que se van a agregar, corresponden a todas las variables que el InTouch va a utilizar tanto para leer, como para escribir, sin importar que Channel se vaya a utilizar, puede ser MPI o Ethernet, la configuración de los tags es la misma .

Para añadir un nuevo tag, Clic to add static tag donde se despliega la ventana que se muestra en la Figura 3.98.

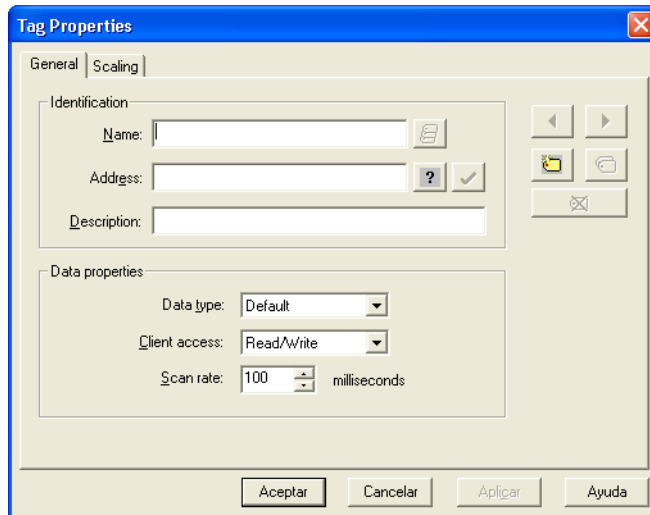


Figura 3. 98 Ventana añadir nuevo tag KEPServerEx.

En la ventana Tag Properties se puede configurar las diferentes variables que se van a leer o escribir del PLC S7-300.

En el campo Name, se va a ingresar el nombre de la variable, este nombre no puede tener espacios, para no crear problemas al momento de importarlas a InTouch.

En el campo Address se va a colocar la dirección de la variable en el PLC, los diferentes tipos de variables que se ingresaron se las puede observar en la Tabla 3.24.

PLC	Tipo de Dato	Ejemplo Address
Entradas	Boolean	E0.3
Salidas	Boolean	A0.4
Marcas	Word	MW4
	Float	MD24
DB	Boolean	DB3.DBX44.0
	Word	DB3.DBW0
	DWord	DB4.DBD4
	Float	DB2.DBD80

Tabla 3. 24 Tipos de Tags configurados en KEPServerEx.

Los principales Tags que se utilizaron se muestran en la Tabla 3.25, con sus respectivos tagnames, address, y tipo de dato.

PLC S7-300	Tagname	Address	Tipo de Dato
Entrada	START	E1.0	Boolean
Entrada	STOP	E1.1	Boolean

Entrada	LLAVE	E1.2	Boolean
Entrada	TANQUE2BAJO	E0.3	Boolean
Entrada	TANQUE2ALTO	E0.4	Boolean
Salida	VALVULABOLA	A0.0	Boolean
Salida	ANALOGO BOMBA	A0.2	Boolean
Salida	BOMBA	A0.3	Boolean
Salida	VALVULAPROPORCIONAL	A0.4	Boolean
Salida	BLOQUEOBOMBA	A8.0	Boolean
Marca	NINDNAMB	M52.0	Boolean
Marca	SENSOR NIVEL	MW4	Word
Marca	UNIVELACTUALMB	MD12	Float
Marca	UNIVELACTUALB	MD16	Float
Marca	UNIVELACTUALM	MD20	Float
Marca	UNIVELACTUALA	MD24	Float
Marca	UNIVELACTUALMA	MD28	Float
Marca	UDIFERENCIANIVELMB	MD32	Float
Marca	UDIFERENCIANIVELB	MD36	Float
Marca	UDIFERENCIANIVELM	MD40	Float
Marca	UDIFERENCIANIVELA	MD44	Float
Marca	UDIFERENCIANIVELMA	MD48	Float
DB	INTOUCH SUPERVISION	DB4.DBX36.0	Boolean
DB	INTOUCH MONITOREO	DB4.DBX40.0	Boolean
DB	START NIVEL	DB2.DBX84.0	Boolean
DB	START PRESION	DB4.DBX12.0	Boolean
DB	STOPINTOUCH	DB4.DBX12.4	Boolean
DB	BOMBAMANUAL	DB4.DBX20.0	Boolean
DB	ESCALAMIENTO NIVEL	DB2.DBD72	Float
DB	SETPOINT NIVEL	DB2.DBD76	Float
DB	BOMBA ANALOGO	DB2.DBD80	Float
DB	LEERSPPRESION	DB4.DBD4	DWord
DB	SPPRESION	DB4.DBD28	Float
DB	ESCALAMIENTO FLUJO	DB4.DBD16	Float

DB	ESCALAMIENTOPRESION	DB4.DBD0	Float
DB	SENSORPRESION	DB3.DBW0	Word
DB	SENSORCAUDAL	DB3.DBW2	Word
DB	UPRESIONACTUALMB	DB3.DBD4	Float
DB	UPRESIONACTUALB	DB3.DBD8	Float
DB	UPRESIONACTUALM	DB3.DBD12	Float
DB	UPRESIONACTUALA	DB3.DBD16	Float
DB	UPRESIONACTUALMA	DB3.DBD20	Float
DB	UDIFERENCIAPRESIONMB	DB3.DBD24	Float
DB	UDIFERENCIAPRESIONB	DB3.DBD28	Float
DB	UDIFERENCIAPRESIONM	DB3.DBD32	Float
DB	UDIFERENCIAPRESIONA	DB3.DBD36	Float
DB	UDIFERENCIAPRESIONMA	DB3.DBD40	Float
DB	BOMBAPRESION	DB4.DBD8	Float
DB	BOMBAPRESION100	DB4.DBD42	Float
DB	SALIDAPRESIONBOMBA	DB4.DBD22	DWord
DB	NALARMMENOR1	DB2.DBW126	Word
DB	NALARMMAYOR10	DB2.DBW132	Word
DB	PALARMMAYOR2200	DB4.DBW14	Word

Tabla 3. 25 Tags Configurados KEPServerEx.

3.10.4. Quick Client

Para correr el software KEPServerEx y poder visualizar los datos del PLC en tiempo real, es necesario correr el Quick Client, el cual se encuentra en la barra de herramientas del KEPServerEx, como se muestra en la Figura 3.99.

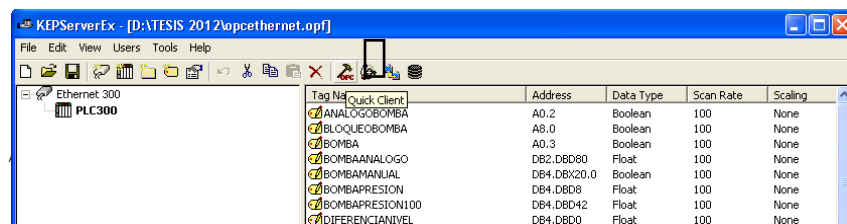


Figura 3. 99 Acceso a Quick Client de KEPServerEx.

La Figura 3.100 muestra la ventana del Quick Client, en la que si todo se ha configurado correctamente muestra los valores del PLC, en tiempo real.

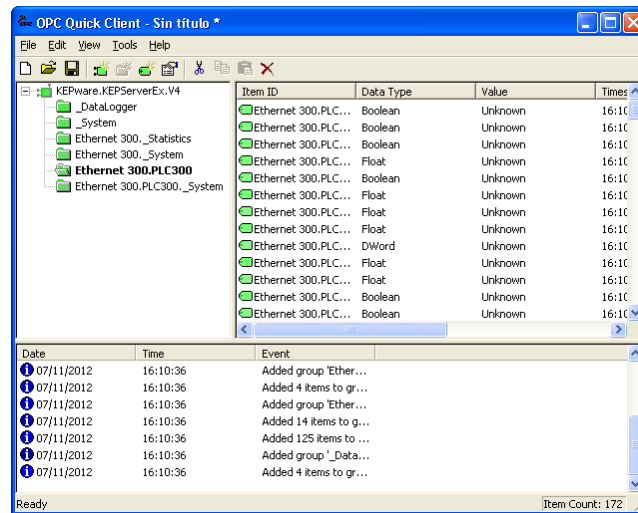


Figura 3. 100 Ventana Quick Client de KEPServerEx.

3.11. Software InTouch

En este tema se realizó un resumen del manual Curso básico de InTouch V7.1 de LOGITEK y del libro Sistemas SCADA de Aquilino Rodríguez.

InTouch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interface hombre-máquina bajo entorno PC. InTouch utiliza como sistema operativo el entorno WINDOWS 95/98/NT/2000/XP. El software consta básicamente de dos elementos: WINDOWMAKER y WINDOWVIEWER.

- WINDOWMAKER es el sistema de desarrollo. Permite todas las funciones necesarias para crear ventanas animadas interactivas conectadas a sistemas de e/s externos o a otras aplicaciones Windows.
- WINDOWVIEWER es el sistema runtime utilizado para rodar las aplicaciones creadas con WINDOWMAKER.

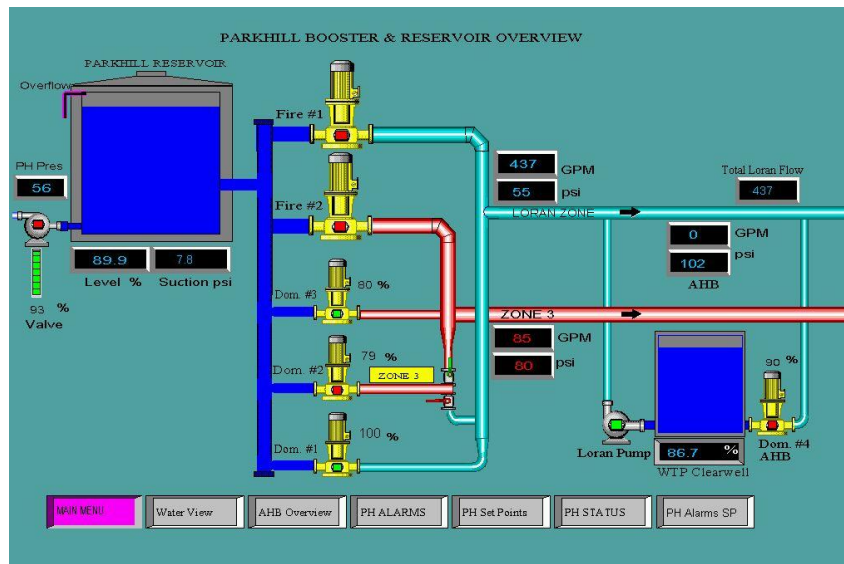


Figura 3. 101 Software InTouch.

3.11.1. WindowMaker

WindowMaker de InTouch dispone de los siguientes de funciones:

3.11.1.1. Herramientas de Dibujo

Dispone de una Barra de Herramientas, que permite una edición rápida de cualquier elemento.

Básicamente se puede decir que se crea objetos (círculos, rectángulos, etc.) independientes unos de otros. Ello facilita la labor de edición del dibujo y, lo que es más importante, permite una enorme sencillez y potencia en la animación de cada uno de los objetos, independientemente o por grupos.²⁴

3.11.1.2. Tagnames

Tagname, diccionario de nombre, es la parte primordial de InTouch, puesto que durante el runtime este diccionario contiene todos los valores de las variables de entrada y salida, en la base de datos. Para crear esa base de datos, InTouch necesita saber qué elementos la van a componer. Se debe, por lo tanto, crear una base de datos con todos aquellos datos de entrada salida que se necesite para la aplicación.

²⁴ LOGITEK, Curso básico InTouch V7.1, Barcelona-España, p.9-10.

A cada uno de estos datos (tags) se asigna un nombre. Al final, se dispondrá de un diccionario con todos los tagnames o datos que se crearon.

En la Tabla 3.26 se detallan los tipos de Tagnames que se pueden crear en InTouch.

TIPO DE TAGNAME	DEFINICIÓN
MEMORY	Tags de registro Interno de InTouch.
I/O	Registros de enlace con otros programas.
INDIRECT	Tags de tipo indirecto.
GROUP VAR	Tags de los grupos de alarmas.
HISTTREND	Tag asociado a los gráficos históricos.
TagID	Información acerca de los tags que están siendo visualizados en una gráfica histórica.
System	Tags del sistema, que da información acerca de parámetros tales como fecha/hora, errores de impresora, actividad del Historical Logging, etc. Todos estos tags empiezan por el signo \$.

Tabla 3. 26 Tipo de Tagnames.

3.11.1.3. Animation Links

Tras haber creado un objeto gráfico o un símbolo, éste puede ser animado mediante las Animation Links. Las Animation Links provocan que el objeto cambie de apariencia reflejando cambios en los valores de la base de datos.

Para asignar una Animation link a un objeto, éste deberá estar seleccionado. Haciendo dos veces clic sobre el objeto o símbolo deseado. Los tipos de animaciones dentro de Animation Links se observan en la Figura 3.102.²⁵

²⁵ RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcombo S.A, Barcelona-España, 2007, p.381-409.

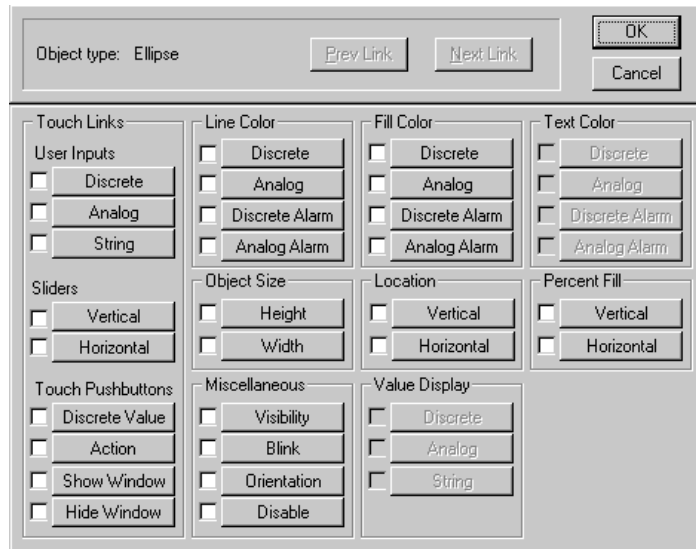


Figura 3. 102 Animation Links.

3.11.1.4. InTouch Quickscripts

La lógica (SCRIPT) de InTouch es un programa que permitirá llevar a cabo acciones determinadas mediante una estructura IF...THEN...ELSE. La lógica estará activa de acuerdo al tipo de lógica elegida (por aplicación, por ventana, etc.). Básicamente, los 6 tipos distintos de lógica actúan del mismo modo.

La lógica Script puede ser asociada a:

Toda una aplicación (APPLICATION SCRIPTS)

Una sola ventana (WINDOW SCRIPTS)

Una condición (CONDITION SCRIPTS)

3.11.1.5. Alarmas

InTouch soporta la visualización e impresión de alarmas tanto digitales como analógicas, y permite la notificación al operador de condiciones del sistema de dos modos distintos: Alarmas y Eventos. Una alarma es un proceso anormal que puede ser perjudicial para el proceso y que normalmente requiere de algún tipo de actuación por parte del operador. Un evento es un mensaje de estado normal del sistema que no requiere ningún tipo de respuesta por parte del operador.

Los tipos de alarma son los siguientes:

Condición de Alarma	Tipo
Discrete	DISC
Deviation	Major LDEV
Deviation	Minor SDEV
Value	LoLo LOLO
Value	Lo LO
Value	Hi HI
Value- Value	HiHi HIHI

Tabla 3. 27 Tipos de Alarmas.

Cada alarma se asocia a un tag. Dependiendo del tipo de tag se podrá crear diferentes tipos de alarmas.

3.11.1.6. Curvas Reales e Históricas

CURVAS REALES

Las curvas en tiempo real no almacenan el valor mostrado, sino que simplemente representan un valor o registro real del PLC (o interno de InTouch) y lo representan en la pantalla en forma de curva.

CURVAS HISTÓRICAS

Las curvas históricas permiten visualizar la evolución con respecto al tiempo de un dato en forma de curva o tendencia. Este dato debe haber sido almacenado previamente, por lo que el tagname visualizado en este tipo de curvas debe haber sido previamente definido como del tipo log data, al momento de crear el tagname.

UTILIDAD HISTDATA

HistData permite convertir datos de ficheros históricos generados por InTouch a ficheros de tipo csv (Comma Separated Value). Estos ficheros son fácilmente manejables por programas tales como Excel, y permiten de este modo generar todo tipo de informes.²⁶

²⁶ RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2da Edición, Marcombo S.A, Barcelona-España, 2007, p.420-430.

3.11.1.7. Comunicaciones I/O

COMUNICACIÓN DDE

DDE es un protocolo de comunicaciones desarrollado por Microsoft para intercambio de datos entre aplicaciones Windows.

DDE es un sistema estándar en WINDOWS de fácil uso, en el que la comunicación se establece automáticamente entre programas que contemplan la estructura DDE (cliente-servidor).

Un programa que puede mandar datos al bus DDE es un programa servidor. Un programa cliente puede recibir datos DDE. Ello permite que se pueda muy fácilmente crear programas con gestiones especiales en VBASIC, EXCEL, etc. Y pasar los datos a InTouch sin necesidad de crear un programa de comunicaciones.

Así ocurre con los servidores de autómatas que dispone WONDERWARE, entre los cuales están, KEPServerEx, TOPServer, entre los que se incluyen la práctica totalidad de los PLCs más conocidos del mundo con comunicación tanto punto a punto como en red. Por supuesto, se puede direccionar un servidor DDE a un puerto de comunicaciones y otro servidor a otro puerto, con lo que se puede compartir información que venga de distintos PLCs o sistemas de campo.

3.11.1.8. Seguridad

El concepto de seguridad en InTouch se refiere a la opción de proteger ciertas partes del programa para filtrar el acceso al mismo por parte de los distintos operadores. Por ejemplo, se puede disponer de un nivel de acceso que permita visualización y otro para la modificación de parámetros, etc.

3.12. Programacion Intouch

3.12.1. Creación nuevo proyecto

Para crear un nuevo proyecto en el software InTouch 8.0 es necesario, Abrir el programa InTouch, en la Figura 3.103 se muestra la ventana Application Manager.

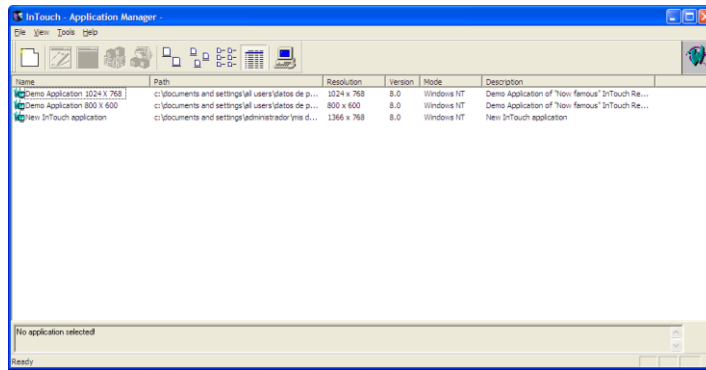


Figura 3. 103 InTouch 8.0 Application Manager.

Para agregar un nuevo proyecto se ingresa en File, New, en la que se despliega el asistente para la creación de un nuevo proyecto, Figura 3.104.

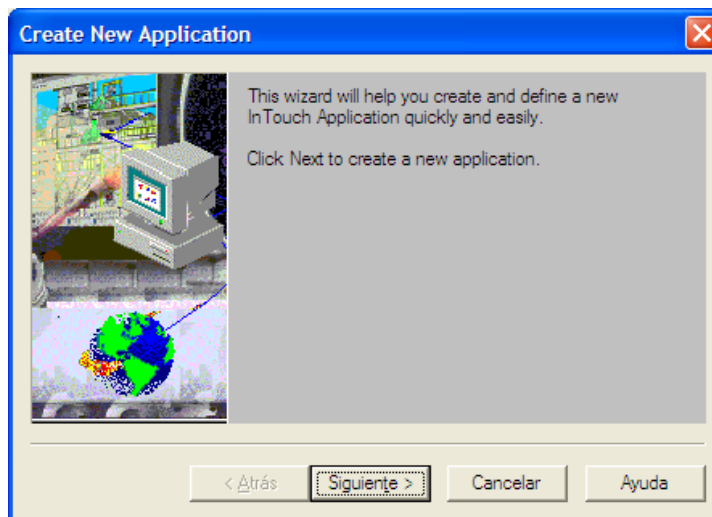


Figura 3. 104 Asistente nuevo proyecto InTouch.

Clic en siguiente, luego se ingresa la ubicación donde se guardará el proyecto, el nombre del proyecto y por último clic en finalizar. El proyecto es agregado a la ventana Application Manager como se muestra en la siguiente Figura 3.105.

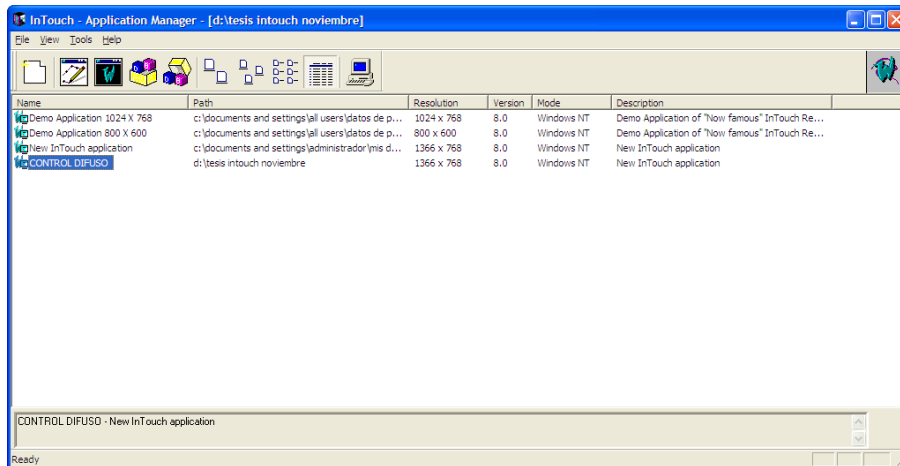


Figura 3. 1055 Nuevo proyecto InTouch 8.0 creado.

3.12.2. Programación ventanas InTouch

Al iniciar el nuevo proyecto se despliega el WindowMaker de InTouch, donde se realiza el diseño del SCADA (Control con Supervisión y Adquisición de Datos). La ventana de la Figura 3.106 muestra el WindowMaker.

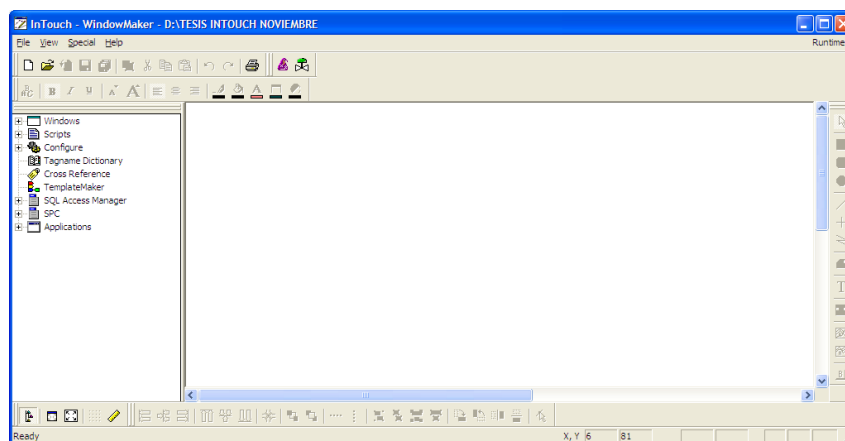


Figura 3. 106 WindowMaker de InTouch 8.0.

Para añadir las diferentes ventanas que tendrá el SCADA a desarrollarse, es necesario dar clic derecho en la opción Windows, parte izquierda de la Figura 3.106, y seleccionar New. La Figura 3.107 nos muestra las propiedades que tendrá la nueva ventana, Windows Properties, aquí se ingresa el nombre de la ventana, el comentario

de la ventana, Además se pueden modificar propiedades como son: el tipo de ventana, el estilo del contorno, la barra de título, el control de tamaño, el tamaño de la ventana, la posición de la ventana, y el color de fondo.

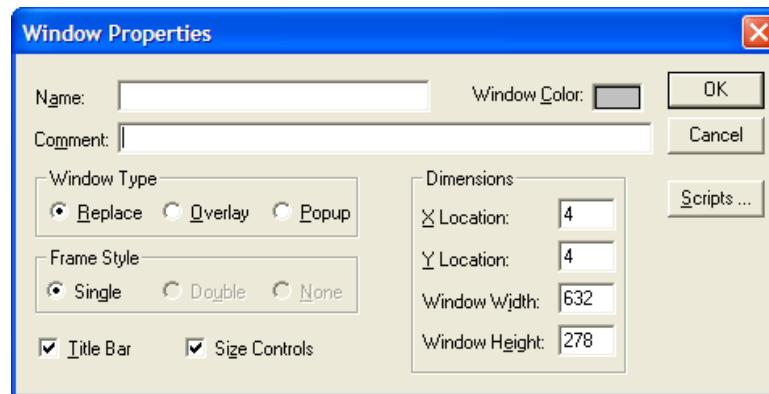


Figura 3. 107 Propiedades de la nueva Ventana.

El SCADA desarrollado para el control del proceso de nivel y presión estará conformado por las siguientes ventanas principales:

1. Login.
2. Inicio.
3. Control de Nivel.
4. Fuzzyficacion Nivel.
5. Reglas Inferencia Nivel.
6. Defuzzyficacion Nivel.
7. Control de Presión.
8. Fuzzyficacion Presión.
9. Reglas Inferencia Presión.
10. Defuzzyficacion Presión.
11. Alarmas.
12. Trends.

13. Diagrama de Instrumentación

3.12.2.1. Ventana Login

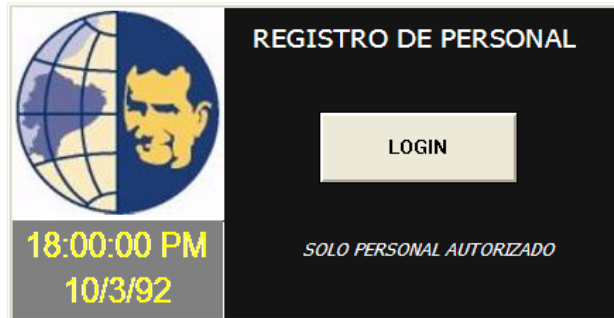


Figura 3. 108 Ventana de Login.

La Figura 3.108 muestra la ventana Login, en la cual se tiene configurado la imagen de la Universidad Politécnica Salesiana, la hora, y el botón LOGIN, que se utiliza para iniciar sesión, tanto como Supervisor o como Monitoreo.

El botón LOGIN, se configura en Animation Links, Touch Pushbuttons, Action.

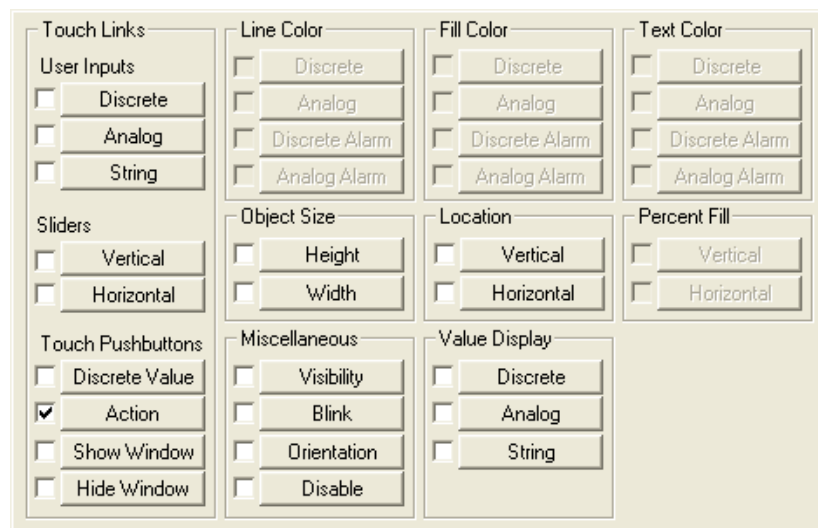


Figura 3. 109 Animación botón LOGIN.

La programación del botón LOGIN se muestra en la Figura 3.110, para que al dar clic en el botón se abra el cuadro de diálogo para iniciar sesión, en donde se ingresa el Name y Password.

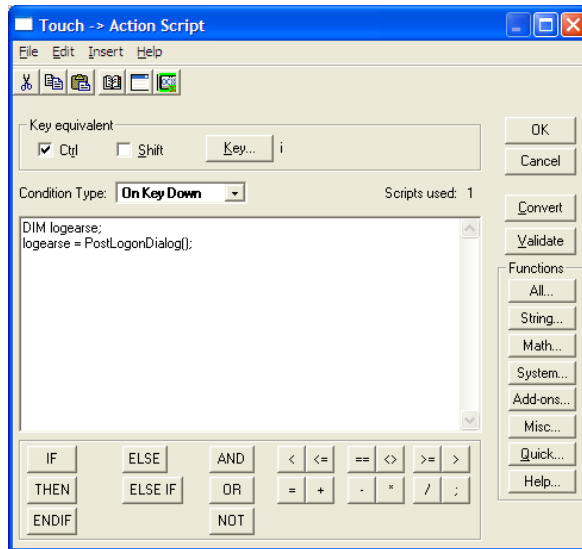


Figura 3. 110 Programación botón LOGIN.

3.12.2.2. Configuración de Usuarios

El proyecto tendrá dos niveles de seguridad, es decir dos usuarios y son los siguientes:

MONITOREO: nivel de acceso = 2000.

SUPERVISION: nivel de acceso = 5000.

Para la configuración de estos usuarios se tiene que ir al menú Special, Security, Select Security Type y seleccionar InTouch. Luego se tiene que ingresar en Special, Security, Log ON.

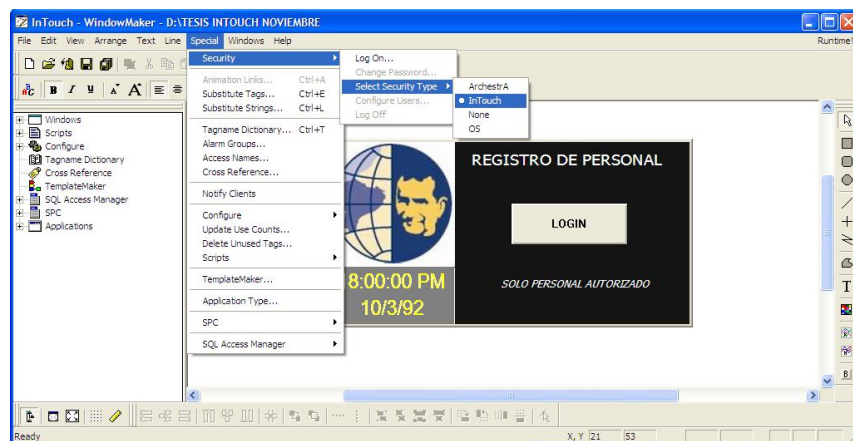


Figura 3. 111 Log ON en InTouch.

Al ingresar se despliega la ventana de la Figura 3.112, para acceder se tiene que ingresar:

Name: Administrator.

Password: wonderware.

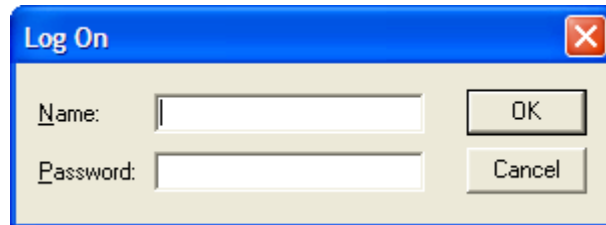


Figura 3. 112 Ventana LOG ON.

Una vez ingresado correctamente Name y Password se habilitan todas las opciones del menú Special, Security, como se muestra la Figura 3.113.

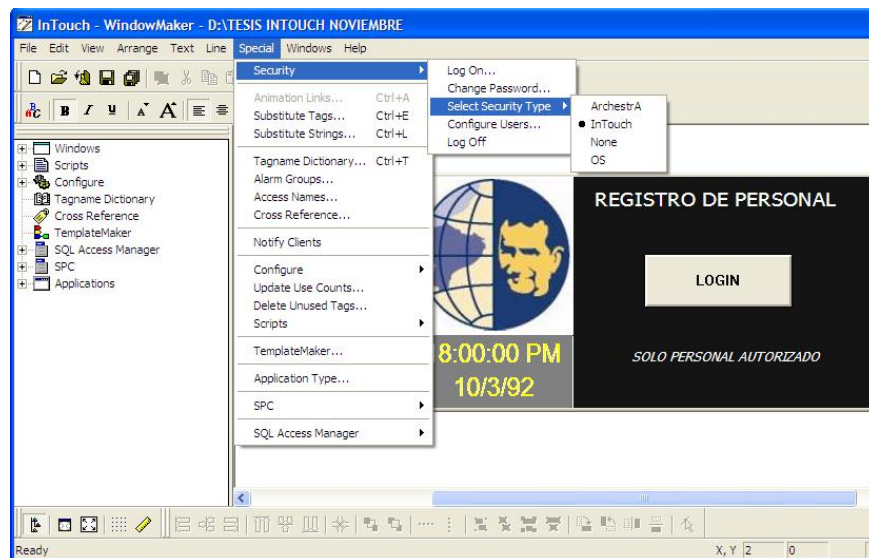


Figura 3. 113 Opciones Security habilitadas.

Para añadir los usuarios como son MONITOREO y SUPERVISION. Se debe ingresar en el menú Special, Security, Configure Users. La Figura 3.114 muestra la ventana que se abre.

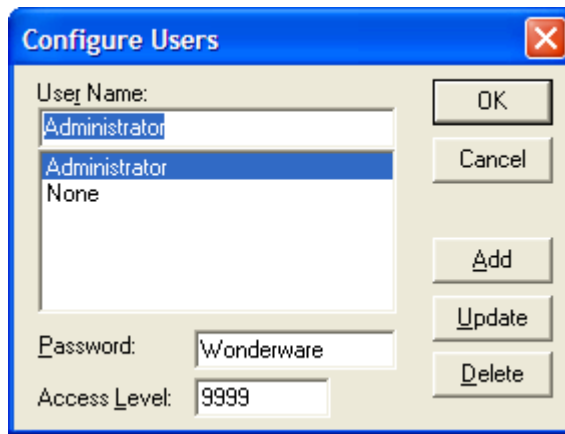


Figura 3. 114 Ventana Configure Users.

En la ventana Configure Users, se pueden añadir los usuarios con su respectivo nivel de acceso.

Se puede observar en la Figura 3.114, que el usuario Administrator es creado por defecto por InTouch, y que su nivel de acceso es de 9999, es decir que si se accede a este usuario se tiene acceso a todas las funciones configuradas.

Para añadir los usuarios SUPERVISION y MONITOREO es necesario asignar el User Name, Password, Access Level, y dar clic en Add para que el nuevo usuario se agregue a la lista de usuarios de InTouch.

La Figura 3.115, y Figura 3.116, muestra los parámetros de configuración para los dos usuarios.

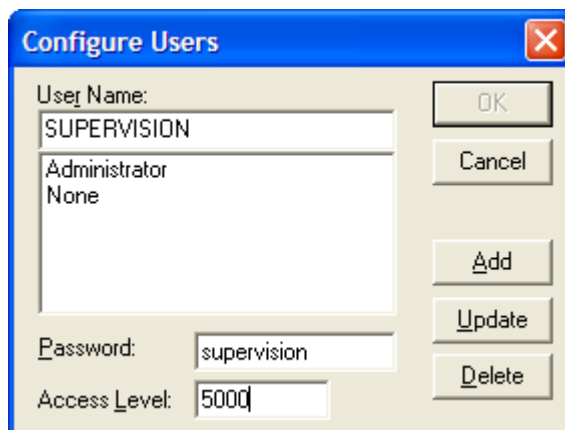


Figura 3. 115 Configuración Usuario SUPERVISION.

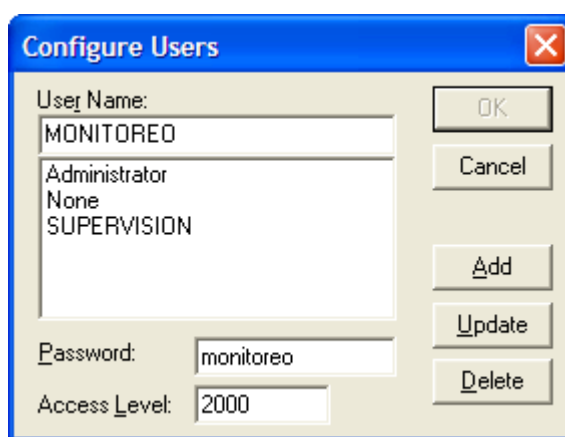


Figura 3. 116 Configuración Usuario MONITOREO.

3.12.2.3. Configuración del Access Name

El AccessName es el enlace de datos DDE (Dinamic Data Exchange) desde KEPServerEx hacia el InTouch.

Para añadir el Access Name se tiene que ir al Menú, Special, Access Names y se muestra la ventana de la Figura 3.117, donde se observa que hay un Access Name por defecto configurado en InTouch, llamado Galaxy, el cual no se puede modificar.

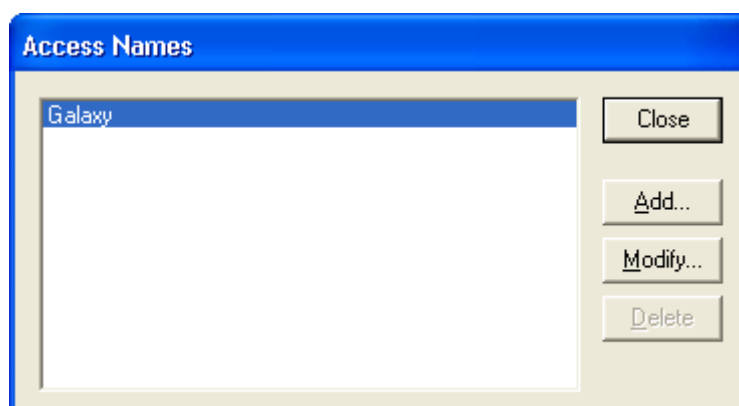


Figura 3. 117 Ventana de Access Names.

Para añadir un nuevo Access Name, se elige Add y se abre la ventana de la Figura 3.119.

En la ventana Add Access Names se tienen que ingresar los siguientes parámetros:

- **Access:** Ingresar el nombre del nuevo Access Name.

- **Node Name:** Ingresar localhost, puesto que los datos se van a obtener del mismo PC pero de otro software (KEPServerEx).
- **Application Name:** ingresar servermain, ya que este es el nombre del proceso del Quick Client de KEPServerEx en donde se alojan los datos de todas las variables que se van a leer o escribir.
- **Topic Name:** para obtener este nombre es necesario abrir el KEPServerEx, clic en Edit, Alias Map y se abre una ventana como se muestra en la Figura 3.118. El nombre que se va a seleccionar es el que no sea nombre de sistema (System) o estadístico (Statistics), de la columna Alias. El Topic Name a usarse es Ethernet 300_PLC300.

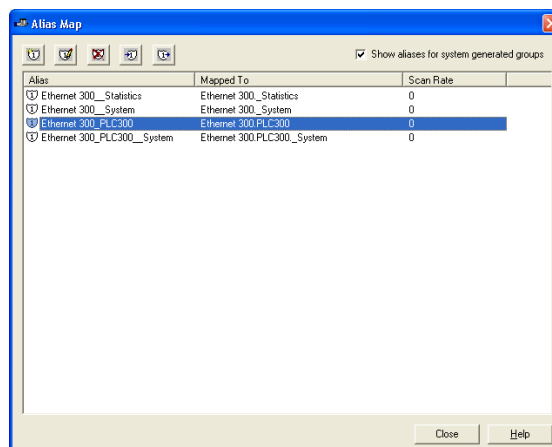


Figura 3. 118 Ventana Alias Map de KEPServerEx.

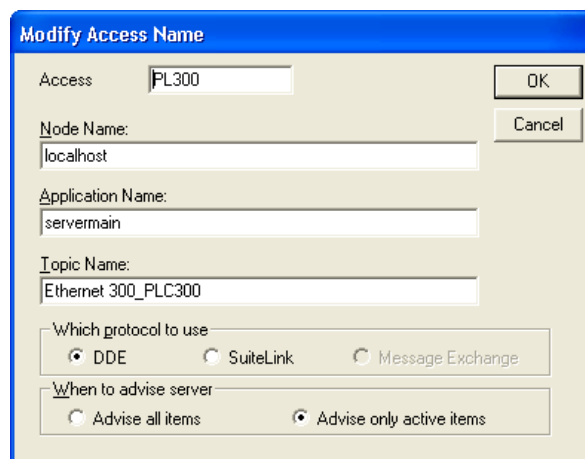


Figura 3. 119 Access Name configuración.

- **Which protocol to use:** elegir DDE (Data Dynamic Exchange), puesto que es el tipo de comunicación de InTouch a utilizarse.
- **When to advise server:** elegir Advise only active items.

3.12.2.4. Configuración del Tagname Dictionary

Para la configuración del tagname Dictionary se tiene que acceder al menú Special.

La Figura 3.120 muestra la ventana tagname Dictionary, donde para ingresar un nuevo tagname se tiene que dar clic en new.

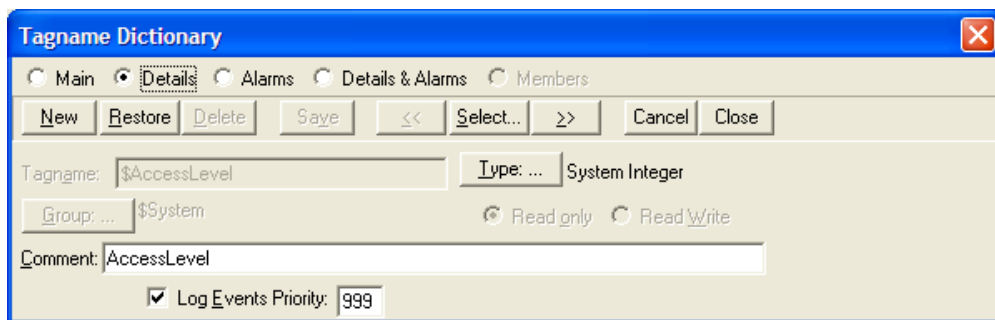


Figura 3. 120 Tagname Dictionary.

Los tagnames que se crean en el proyecto pueden ser de los siguientes tipos:

TAGNAME TIPO I/O

El tagname de Tipo I/O se configura siempre y cuando el valor de la variable se obtiene desde el KEPServerEx.

En la Figura 3.121 se observa la configuración del tag START, que corresponde a la entrada E0.1 del PLC S7-300, por lo que es un tag de tipo I/O Discrete.

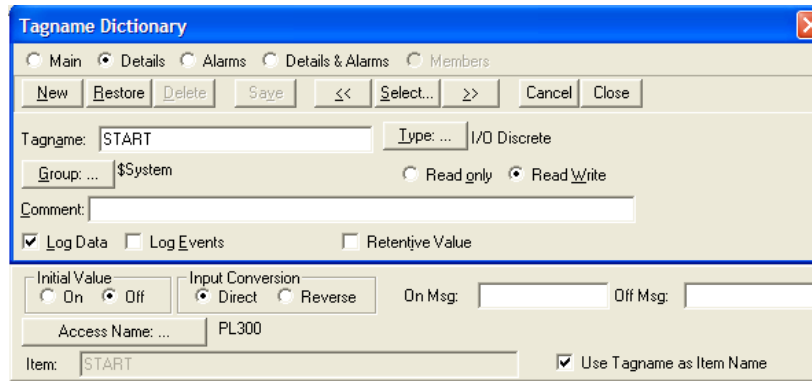


Figura 3. 121 Configuración tag tipo I/O.

Para que el tag START obtenga su valor a través del KEPServerEx, es necesario asignarle el Access Name anteriormente configurado, denominado PL300.

Para que el tag START de InTouch, se relacione correctamente con el tag START del KEPServerEx, primero el nombre tiene que ser el mismo y posteriormente se tiene que activar la opción Use tagname as Item Name de la Figura 3.121.

Esta configuración se la tiene que realizar para todos los tags cuyos valores se obtienen desde el KEPServerEx, teniendo en cuenta que el tag tiene que tener el mismo nombre y el mismo tipo en InTouch y en el KEPServerEx.

TAGNAME TIPO Memory

El tagname de tipo memory se configura siempre y cuando su valor se genera en InTouch, es decir que no se lee desde otro software.

La configuración de este tipo de tags se muestra en la Figura 3.122, aquí se configura el nombre del Tag y el tipo.

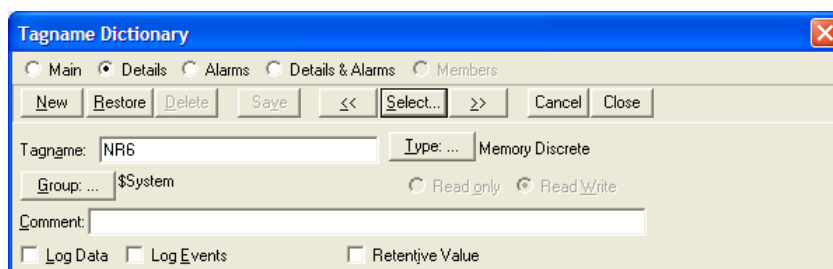


Figura 3. 122 Configuración tag tipo Memory.

3.12.2.5. Ventana Inicio

La ventana Inicio se la observar en la Figura 3.123, aquí se configura la carátula del proyecto, y en la parte inferior de la ventana se tiene el menú de navegación del sistema SCADA, en el cuál se tienen los siguientes botones, que mostrarán su respectiva ventana.

- INICIO: muestra la ventana de la carátula del proyecto.
- CONTROL DE NIVEL: muestra la ventana del control del proceso de nivel.
- CONTROL DE PRESION: muestra la ventana del control del proceso de presión.
- ALARMAS: muestra la ventana de alarmas.
- BASE DE DATOS: muestra la ventana donde se guarda la base de datos y donde se pueden generar informes.
- ESQUAMA: muestra la ventana Diagrama de Instrumentación de la planta
- LOGOUT: finaliza la sesión y abre la ventana de Login.



Figura 3. 123 Ventana INICIO.

Para configurar el botón para que muestre cualquier ventana deseada, se lo realiza en AnimationLinks, Touchpushbuttons, Show Window, y aparece la ventana de la

Figura 3.124, donde se elige la ventana que se muestra cada vez que se dé clic en el botón.

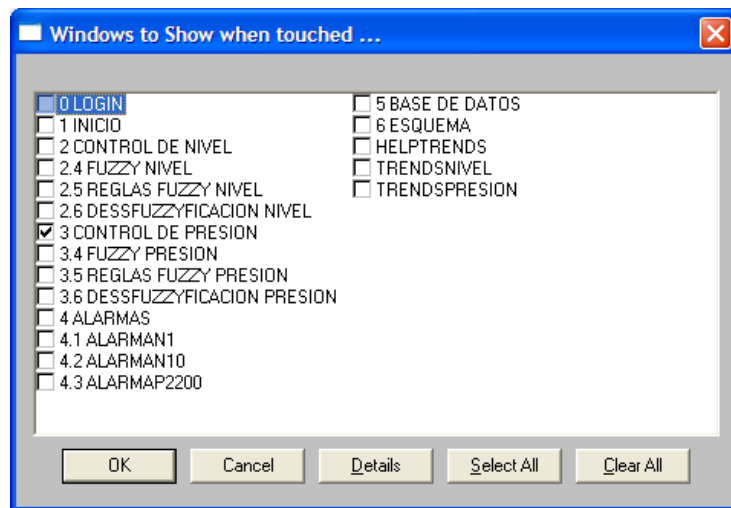


Figura 3. 124 Configuración botón para mostrar ventana.

3.12.2.6. Ventana Control de Nivel

La ventana Control de Nivel se muestra en la Figura 3.125.

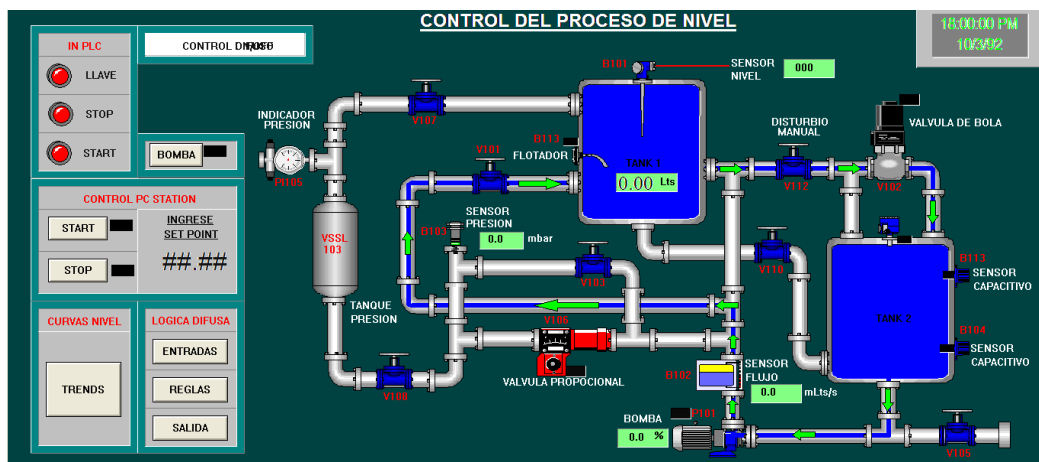


Figura 3. 125 Ventana Control de Nivel.

Se encuentra configurado lo siguiente:

- **Estado de la Planta:** Comprende el sistema de tuberías, tanques, sensores y actuadores que posee la estación COMPACT WORKSTATION. Para el diseño de esta interfaz se utilizó los diferentes símbolos de la librería Symbol

Factory, que se muestra en la Figura 3.126. Además están configurados los diferentes indicadores para poder visualizar, el valor de los escalamientos de los sensores, el porcentaje de trabajo de la bomba, el estado de las válvulas.

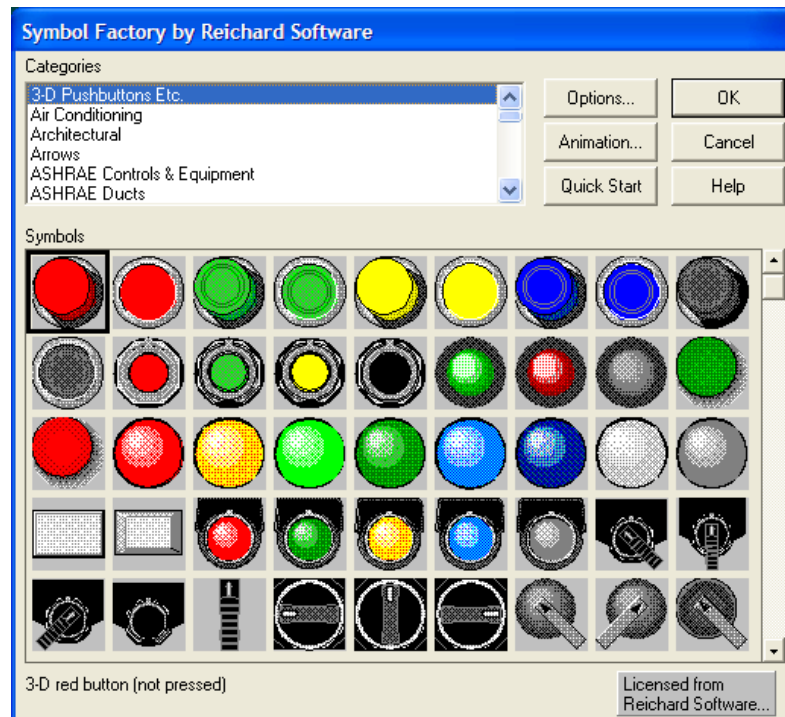


Figura 3. 126 Librería Symbol Factory de InTouch

- **Panel IN PLC:** se pueden observar las entradas del PLC: START, STOP, RESET, LLAVE que corresponden a las entradas del PLC S7-313C.
- **Panel CONTROL PC STATION:** se encuentra alojados los botones de Start y Stop para iniciar o parar el control del proceso de nivel desde InTouch, además se encuentra el valor del Setpoint para el control de nivel, estos botones y el valor del Setpoint estarán habilitados siempre y cuando el usuario sea SUPERVISION, mientras que si es monitoreo estos botones se ocultarán.
- **Panel Curvas Nivel:** aquí se encuentra el botón TRENDS que muestra la ventana Trends de Nivel.
- **Panel LOGICA DIFUSA:** se encuentran alojados los botones que muestran cómo se aplica el proceso de lógica difusa en sus diferentes etapas.

El botón ENTRADAS muestra la ventana Fuzzyficacion Nivel.

El botón REGLAS muestra la ventana Reglas de Inferencia Nivel

El botón SALIDA muestra la ventana Defuzzyficacion Nivel.

3.12.2.7. Ventana Fuzzyficacion Nivel

La ventana Fuzzyficacion Nivel se observa en la Figura 3.127, en esta se encuentran configurados los conjuntos difusos para las dos entradas: Nivel Actual y Diferencia de Nivel las cuales corresponden al PV (variable de proceso) y MV (Variable Manipulada) respectivamente, variables utilizadas en la teoría de control de procesos.

Los tags utilizados para la animación de cada conjunto corresponden a las variables de la función FC15, Fuzzyficacion Nivel, de la programación del PLC S7-300.

Los conjuntos son de forma triangular y trapezoidal están animados de acuerdo al valor de su variable comprendida entre valores de 0 y 1. Es decir que si la variable se acerca a cero el conjunto se encoge, y si la variable se acerca a 1 la variable se agranda.

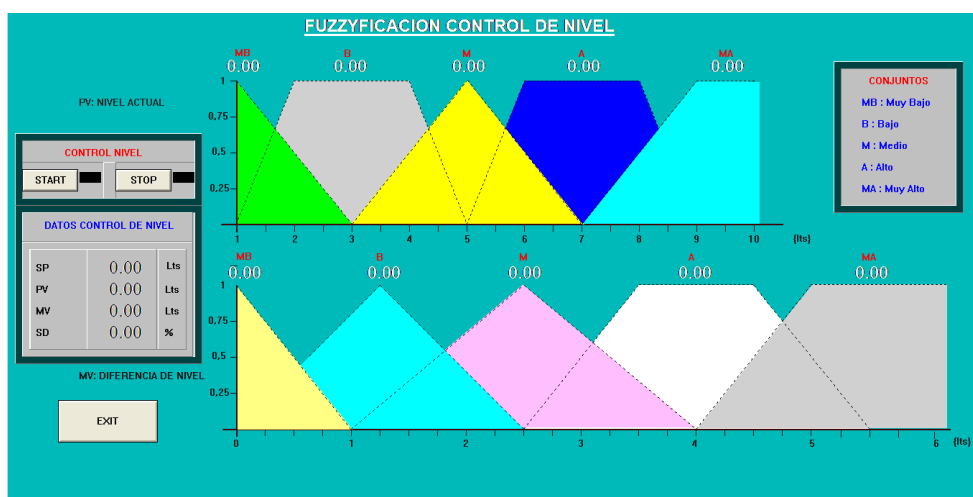


Figura 3. 127 Ventana Fuzzyficacion Nivel.

Además se tiene un panel denominado CONTROL NIVEL, donde se encuentran alojados, el START y STOP para el proceso de Nivel, y los indicadores de los

valores de las variables involucradas en el control del proceso de nivel. Las cuáles son las siguientes:

SP: Setpoint.

PV: Variable del Proceso (Nivel Actual).

MV: Variable Manipulada (Diferencia de Nivel).

SD: Salida Difusa.

3.12.2.8. Ventana Reglas de Inferencia

La ventana Reglas de Inferencia se muestra en la Figura 3.128. Está compuesta por la tabla de Reglas de Inferencia, donde en la fila 1, se encuentran los indicadores de los 5 conjuntos difusos correspondientes a la MV (Variable Manipulada o Diferencia de Nivel), y en la columna 1, se encuentran los indicadores de los 5 conjuntos difusos correspondientes a la PV (Variable del Proceso o Nivel Actual).

Las celdas que contiene R1, R2... Rn, en la esquina superior derecha, corresponden a las 25 reglas de inferencia del tipo IF, THEN del sistema difuso. Estas celdas se activaran dependiendo de qué conjuntos de entrada se activen.

Los tags utilizados en esta ventana corresponden a las variables de la FC5, rangos de nivel, y la FC14, rangos de inferencia, de la programación del PLC S7-300.

REGLAS DE INFERENCIA CONTROL DE NIVEL								
CONTROL NIVEL		MV					VARIABLES ENTRADA	
START	STOP	PV	MB	B	M	A		MA
DATOS NIVEL		MB	R1 MIN	R2 CASMIN	R3 M	R4 CASTOT	R5 T	CONJUNTOS ENTRADA MB : Muy Bajo B : Bajo M : Medio A : Alto MA : Muy Alto CONJUNTOS DE SALIDA MIN: Mínimo CASMIN: Casi Mínimo M : Medio CASTOT : Casi Total T : Total
SP	0.00 Lts	B	R6 MIN	R7 M	R8 M	R9 CASTOT	R10 T	
PV	0.00 Lts	M	R11 MIN	R12 CASMIN	R13 M	R14 CASTOT	R15 T	
MV	0.00 Lts	A	R16 MIN	R17 CASMIN	R18 M	R19 CASTOT	R20 T	
SD	0.00 %	MA	R21 MIN	R22 CASMIN	R23 M	R24 CASTOT	R25 T	
EXIT								

Figura 3. 128 Ventana Reglas de Inferencia Control de Nivel.

3.12.2.9. Ventana Defuzzyficacion Control de Nivel

La ventana Defuzzyficacion Control de Nivel de la Figura 3.129, está compuesta por:

Los conjuntos difusos de la variable SD (Salida Difusa), comprendida entre valores de 0 a 100 %, La animación de los conjuntos de salida se realiza mediante la altura de las barras.

Están configuradas 21 barras que toman el valor de las variables de la función FC12, construcción salida final.

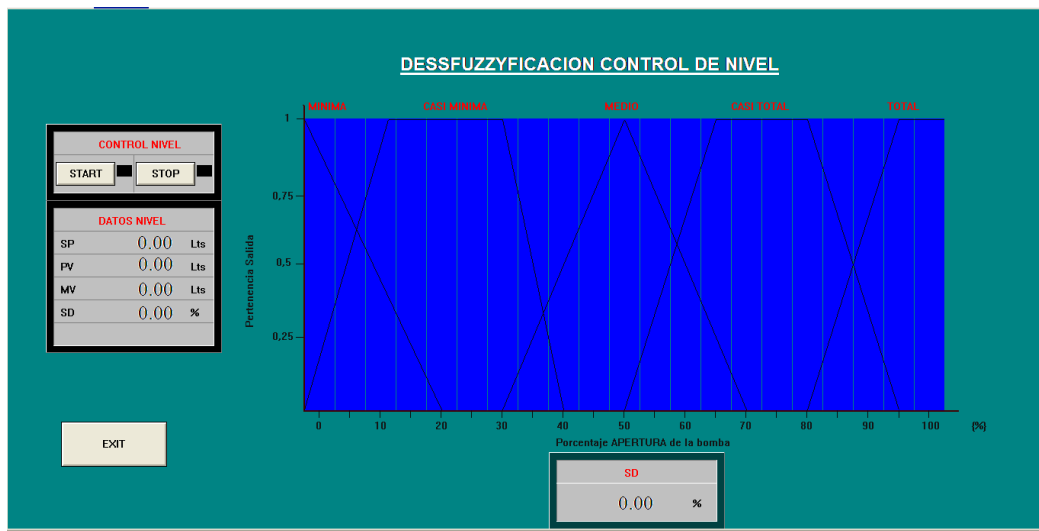


Figura 3. 129 Ventana Defuzzyficacion de Nivel.

3.12.2.10. Ventana Control de Presión

La ventana Control de Presión se muestra en la Figura 3.130.

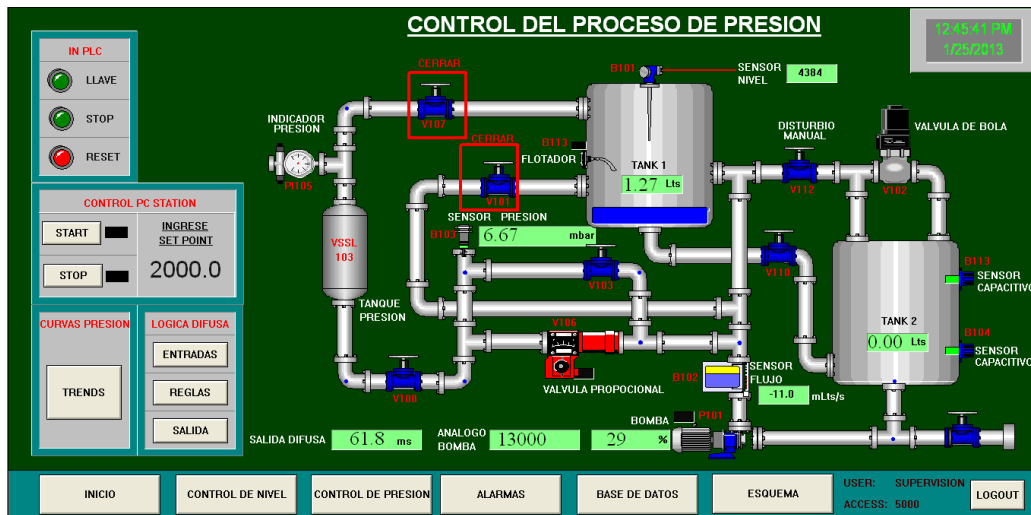


Figura 3. 130 Ventana Control de Presión.

Se encuentran configurados los mismos botones de la ventana Control de Nivel, detallada anteriormente, añadiendo los nuevos indicadores que el control de presión implica: Salida Difusa, Análogo Bomba, Bomba.

3.12.2.11. Ventana Fuzzyficacion Presión

En la ventana Fuzzyficacion Presión, están los mismos objetos que en la ventana Fuzzyficacion Nivel. Los tags utilizados para la animación de cada conjunto corresponden a las variables de la función FC19, Fuzzyficacion Presión, de la programación del PLC S7-300.

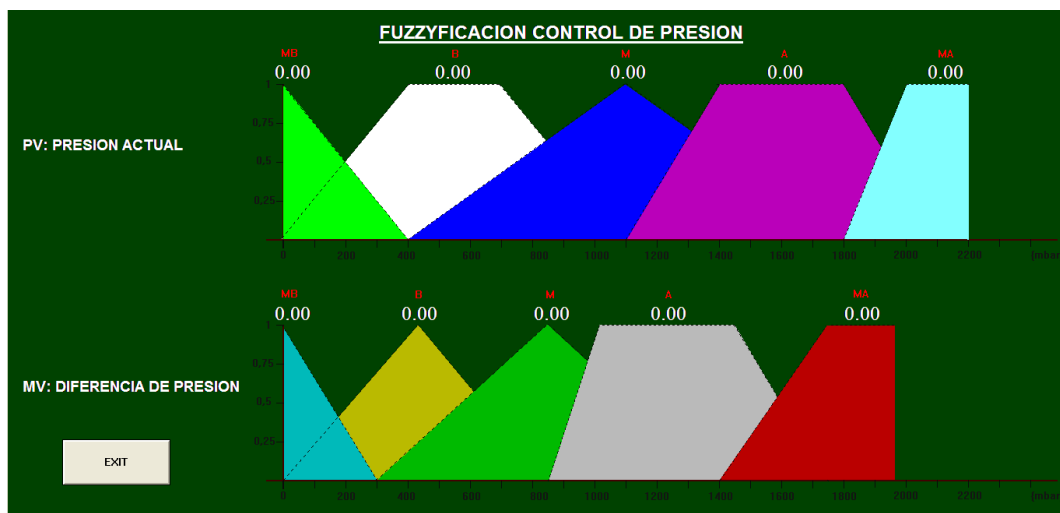


Figura 3. 131 Ventana Fuzzyficacion Presión.

3.12.2.12. Ventana Reglas Inferencia Presión

En la Figura 3.132 se muestra la ventana Reglas de Inferencia de Presión, la cual utiliza los objetos de la ventana Reglas de inferencia Nivel, pero los tag utilizados en esta ventana corresponden a las variables de la FC21, reglas inferencia presión, de la programación del PLC S7-300.

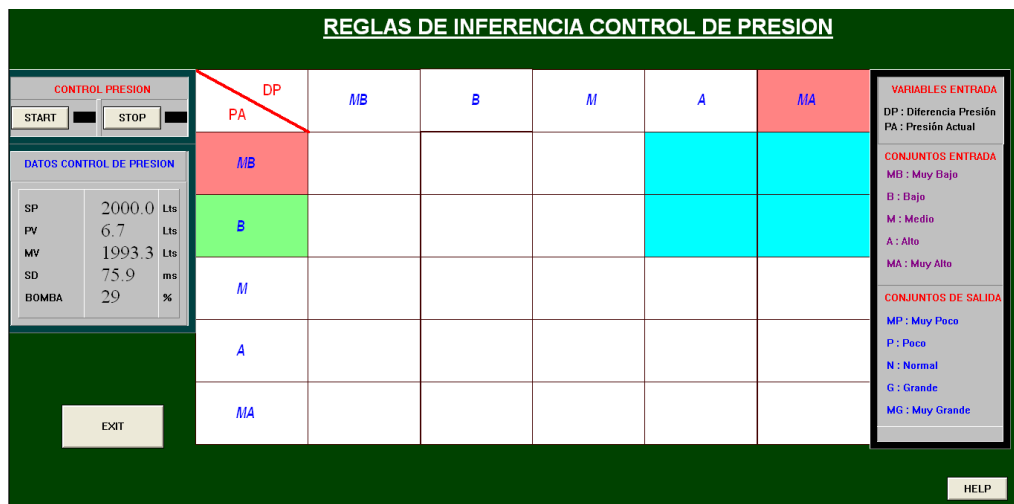


Figura 3. 132 Ventana Reglas de Inferencia Presión.

3.12.2.13. Ventana Defuzzyficacion Presión

En la Figura 3.133 se muestra la ventana Defuzzyficacion Presión, la cual utiliza los objetos de la ventana Defuzzyficacion Nivel, pero los tag utilizados en esta ventana corresponden a las variables de la FC26, Defuzzyficacion Presión, de la programación del PLC S7-300.

El botón bomba % activa la ventana Bomba que muestra en que porcentaje de trabajo se encuentra la bomba.



Figura 3. 133 Ventana Defuzzyficacion Presión

3.12.2.14. Ventana Alarmas

En la ventana Alarmas Figura 3.134, se encuentra configurado el visualizador de alarmas, y los indicadores de las tres alarmas que podrían ocurrir cuando exista un mal funcionamiento de la planta.

Para configurar el visualizador de alarmas primero es necesario configurar los tag que correspondan a las alarmas. Las alarmas que pueden ocurrir son las siguientes.

Nivel menor a 1 L.

Nivel mayor a 10 L.

Presión Mayor a 2200 mbar

Estas tres alarmas son de tipo boolean y corresponden a las variables de la FC16, Alarmas_Nivel, y FC28, Alarmas Presión.

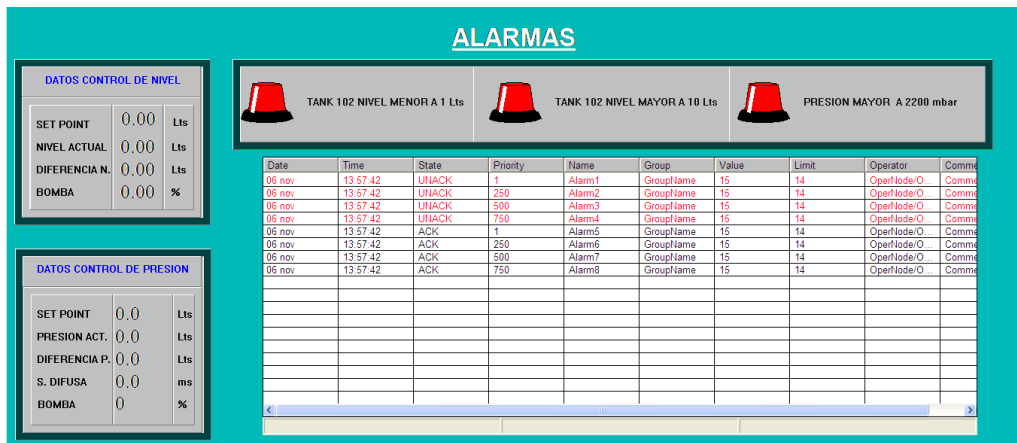


Figura 3. 134 Ventana Alarmas

Para definir una alarma de tipo booleano se tiene que ingresar a las propiedades del tag, en la Figura 3.135, se muestra la configuración de la alarma nivel menor a 1 L, cuyo tag es el NALARMMENOR1 de tipo boolean.

Para asignarle al tag NALARMMENOR1, como alarma y que cuando se active se escriba en el registro de alarmas es necesario elegir la opción Alarms de la Figura 3.135, y en el panel Alarm State se tiene que activar la opción ON.

Puesto que el proyecto no tiene muchas alarmas, no existe jerarquía de alarmas, por lo que la prioridad de la alarma se la deja en 1.

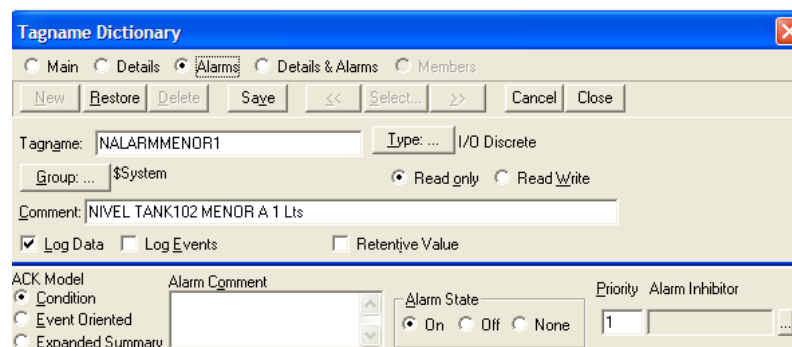


Figura 3. 135 Configuración tag de alarma

Esta configuración se realiza para las tres alarmas puesto que son del mismo tipo boolean.

Para poder configurar un tag de alarma de tipo integer o real se tiene que configurar el tag como se muestra en la Figura 3.136.

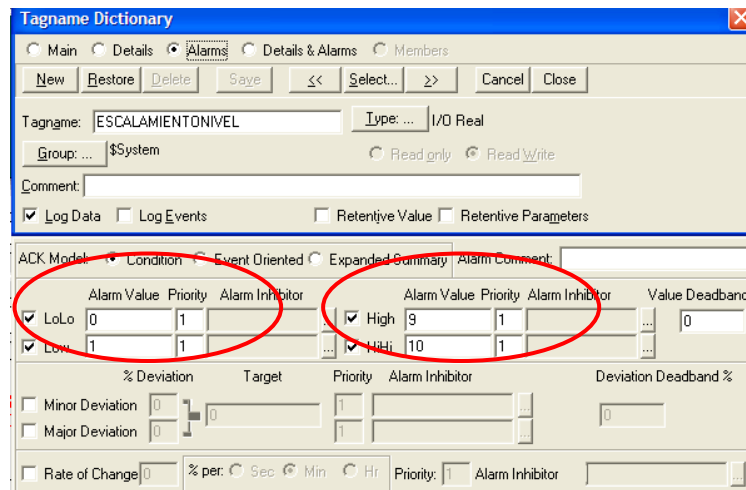


Figura 3. 136 Configuración tag de alarma tipo real.

El tag mostrado es el ESCALAMIENTONIVEL que puede tener valores entre 0 y 10 y para configurar los valores mínimos se configuran los campos LoLo y Low. Para el proyecto el nivel mínimo corresponde a todos los valores menores a 1 L, por lo que los valores de LoLo y Low son 0 y 1 respectivamente.

De la misma manera para ingresar los valores máximos de la alarma se configuran los campos High y HiHi. Para el proyecto el nivel máximo corresponde a todos los valores mayores a 9 L, por lo que los valores de High y HiHi son 9 y 10 respectivamente.

Una vez ingresado los 4 campos LoLo, Low, High y HiHi, se ha configurado al tag para que se escriba en el registro de alarmas cada vez que tenga valores comprendidos entre 0 y 1 L y 9 y 10 L, caso contrario no se escribe en el visualizador de alarmas.

Este procedimiento se realiza con los tags de tipo integer o real, los cuales generen una alarma cada determinado rango de valores.

Los tags de alarmas de tipo real del proyecto son los siguientes, ESCALAMIENTONIVEL, ESCALAMIENTOPRESION.

Una vez configurado los tag de alarmas de tipo boolean y real se procede a configurar el display de alarmas, Distributed Alarm Display, que se lo encuentra en el menú Wizard, Alarm Displays.

Date	Time	State	Priority	Name	Group	Value	Limit	Operator	Comme
26 nov	13:24:44	UNACK	1	Alarm1	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	UNACK	250	Alarm2	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	UNACK	500	Alarm3	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	UNACK	750	Alarm4	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	ACK	1	Alarm5	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	ACK	250	Alarm6	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	ACK	500	Alarm7	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme
26 nov	13:24:44	ACK	750	Alarm8	GroupName	15	14	OperNode/O...	Comme

Figura 3. 137 Distributed Alarm Display

La configuración del Distributed Alarm Display se realiza en las propiedades del display, Figura 3.138. En la pestaña general se deja el nombre por defecto, y en el campo Query Type se elige la opción historical para configurar al display para que vaya mostrando todas las alarmas que se hayan generado.

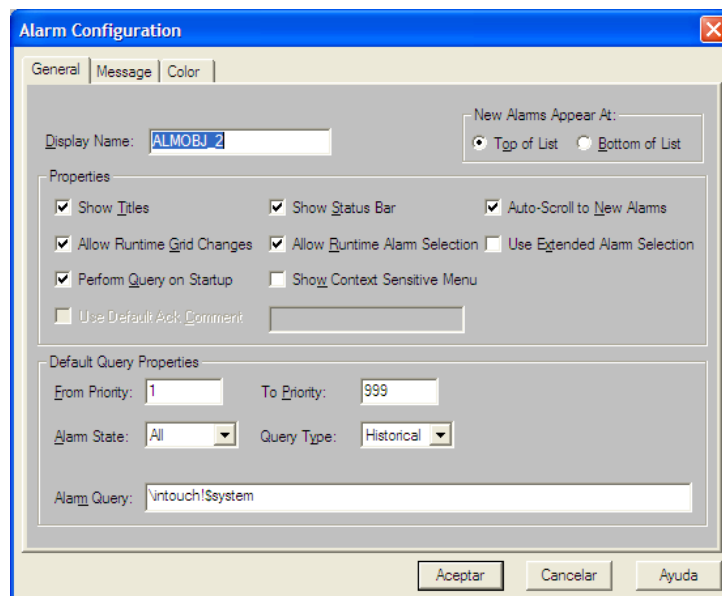


Figura 3. 138 Configuración del Alarm Display

Además del visualizador de alarmas, cada vez que ocurra una alarma se despliega una ventana de aviso. Para realizar esta configuración es necesario programar el

Window Script, Figura 3.139, donde cada vez que se active el tag correspondiente a la alarma se mostrará su respectiva ventana.

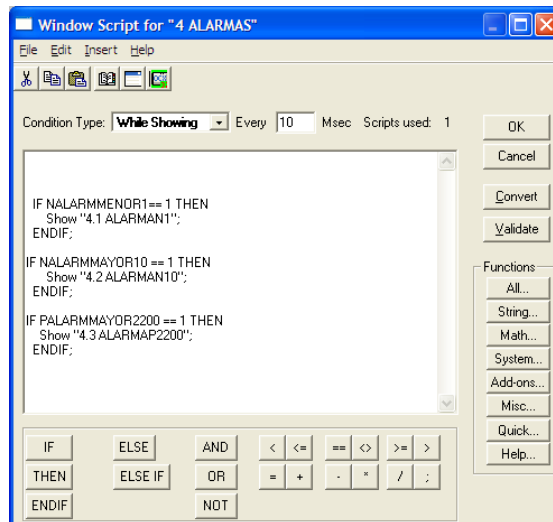


Figura 3. 139 Configuración window script ventanas de alarmas

3.12.2.15. Ventana Alarma 1

La ventana Alarma 1, se despliega mientras este activo el tag NALARMMENOR1, nivel menor a 1.

Se encuentran el botón STOP, para los controles de nivel y presión. El botón BOMBA MANUAL activa la bomba en el modo digital (on/off), este botón funciona siempre y cuando se haya pulsado anteriormente el botón STOP. El botón SALIR oculta la ventana Alarma 1 cuando el nivel sea mayor a 1, caso contrario la ventana no se oculta.



Figura 3. 140 Ventana Alarma 1.

3.12.2.16. Ventana Alarma 2

La ventana Alarma 2, se despliega mientras este activo el tag NALARMMAYOR10, nivel mayor a 10.

El botón STOP para los controles de nivel y presión, el botón SALIR oculta la ventana Alarma 2 cuando el nivel sea menor a 10, caso contrario la ventana se mantiene.



Figura 3. 141 Ventana Alarma 2.

3.12.2.17. Ventana Alarma 3

La ventana Alarma 3, se despliega mientras este activo el tag PALARMMAYOR2200, presión máxima.

El botón STOP para los controles de nivel y presión, el botón SALIR oculta la ventana Alarma 3 cuando la presión sea menor a 2200, caso contrario la ventana se mantiene.



Figura 3. 142 Ventana Alarma 3.

3.12.2.18. Ventana Base de Datos

La ventana Base de Datos de la Figura 3.143, tiene configurado la base de datos de Microsoft Access que acumulara datos cada 2 segundos cuando el control esté funcionando. Además tiene 2 visualizadores de datos históricos para las variables involucradas en los procesos de nivel y presión que podrán generar un informe de datos.

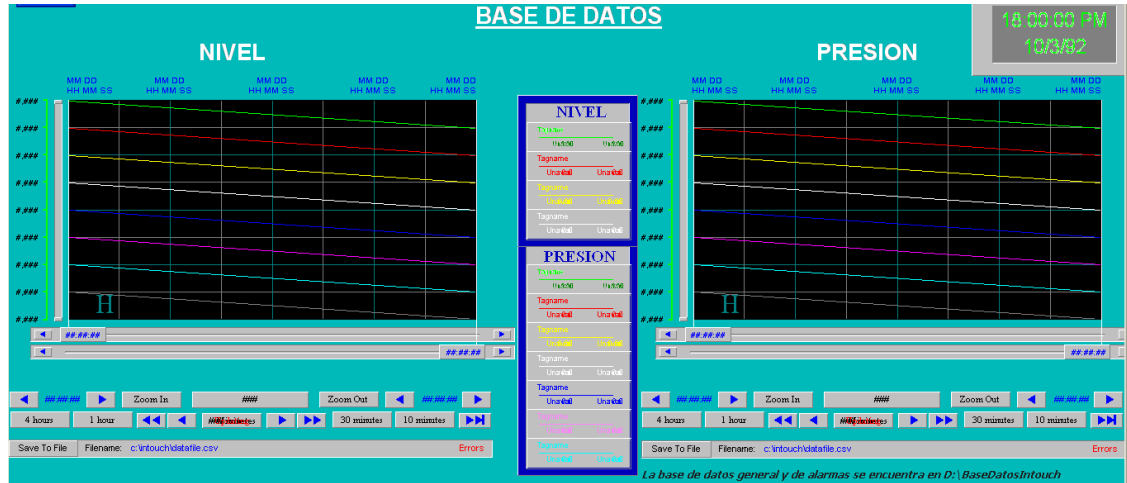


Figura 3. 143 Ventana Base de Datos.

CONFIGURACION BASE DE DATOS EN MICROSOFT ACCESS

Los datos se acumularán en un archivo con extensión .accdb, archivo de Microsoft Access 2010.

Para configurar correctamente la base de datos es necesario seguir los siguientes pasos:

- **Crear la base de datos en Microsoft Access:** una vez ingresado en el software Microsoft Access, se elige base de datos en blanco.

La base de datos se compone de tres tablas que son agregadas dentro de Microsoft Access:

Tabla Registros: guardará los datos del proceso de nivel. Los nombres de campos y tipos de campos que tiene la tabla Registros se muestran en la Tabla 3.28.

Nombre del Campo	Tipo
LlavePLC	Sí/No
StartPLC	Sí/No
StopPLC	Sí/No
StartNivel	Sí/No
Nivel	Texto
SPNivel	Texto
DifNivel	Texto
BombaNivel	Texto
ValvulaBola	Sí/No
Usuario	Texto
Fecha	Texto
Hora	Texto

Tabla 3. 28 Tabla Registros Base de Datos.

Tabla RegistrosP: guardará los datos del proceso de presión. Los nombres de campos y tipos de campos que tiene la tabla RegistrosP se muestran en la Tabla 3.29.

Nombre del Campo	Tipo
StartPresion	Sí/No
Presion	Texto
SPPIntouch	Texto
SPPWincc	Texto
DifPresion	Texto
SalidaDifusa	Texto
Bomba	Número
Usuario	Texto
Fecha	Texto
Hora	Texto

Tabla 3. 29 Tabla RegistrosP Base de Datos.

Tabla Alarmas: guardará las alarmas que se hayan generado tanto para el proceso de nivel, como para el proceso de presión. Los nombres de campos y tipos de campos que tiene la tabla Alarmas se muestran en la Tabla 3.30.

Nombre del Campo	Tipo
NivelMin	Sí/No
NivelMax	Sí/No
PresionMax	Sí/No
Nivel	Texto
Presion	Texto
Fecha	Texto
Hora	Texto

Tabla 3. 30 Tabla Alarmas Base de Datos.

Luego de ingresar correctamente las tablas, se debe guardar la base de datos, con el nombre BaseDatosIntouch y cerrar Microsoft Access.

- **Establecer origen de datos ODBC:** se debe generar la conexión de los datos generados desde el servidor, InTouch, con la base de datos que se creó en el paso anterior, para esto es necesario ir a: Panel de Control, Herramientas Administrativas, Orígenes de datos (ODBC), Figura 3.144.

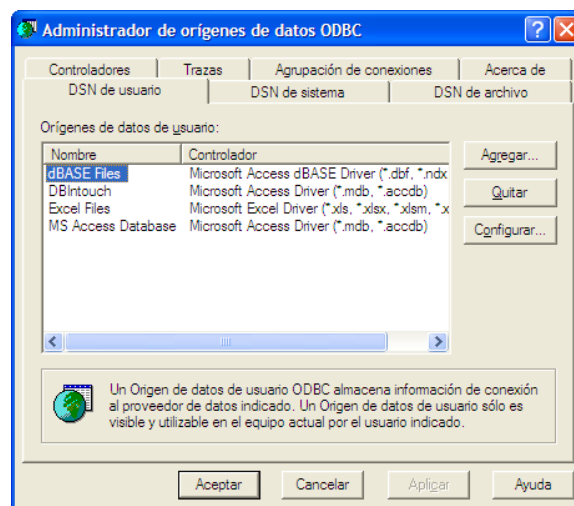


Figura 3. 144 Administrador de Orígenes de datos ODBC

Clic en agregar y se abre la ventana de la Figura 3.145, donde se debe elegir el tipo de base de datos, donde se guardarán los datos de InTouch, para este proyecto la base de datos que se configuró en el paso anterior es de tipo *.accdb. Por lo que en la ventana Crear nuevo origen de datos de la Figura 3.145, se debe elegir la opción Microsoft Access Driver (*.mdb, *.accdb).

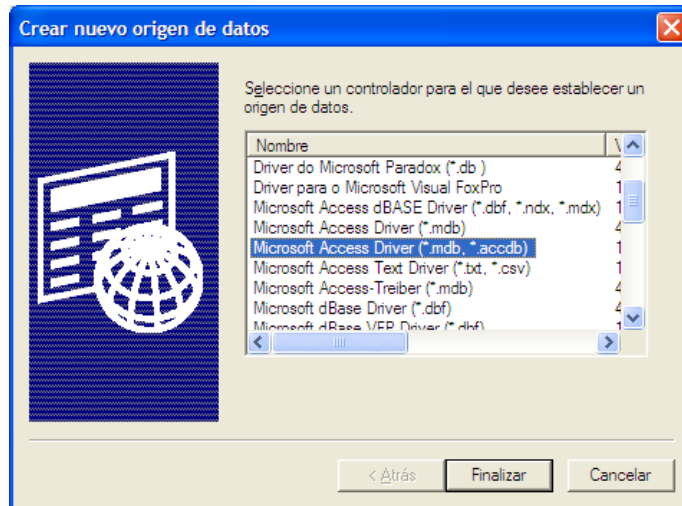


Figura 3. 145 Crear nuevo origen de datos.

Clic en finalizar y se despliega la ventana Configuración de ODBC Microsoft Access, mostrada en la Figura 3.146.

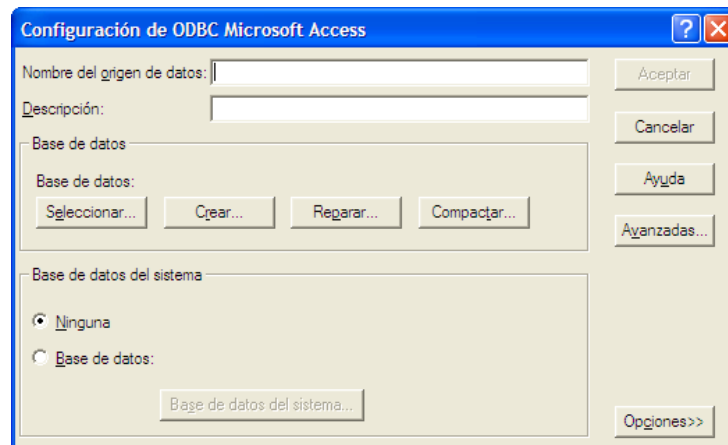


Figura 3. 146 Configuración de ODBC de Microsoft Access.

Los parámetros que se deben ingresar son los siguientes:

Nombre del origen de datos: DBIntouch.

Descripción: Base de datos de Intouch 2012.

Base de datos: Seleccionar la base de datos que se había configurado en Microsoft Access anteriormente llamada BaseDatosIntouch, como se observa en la Figura 3.147.

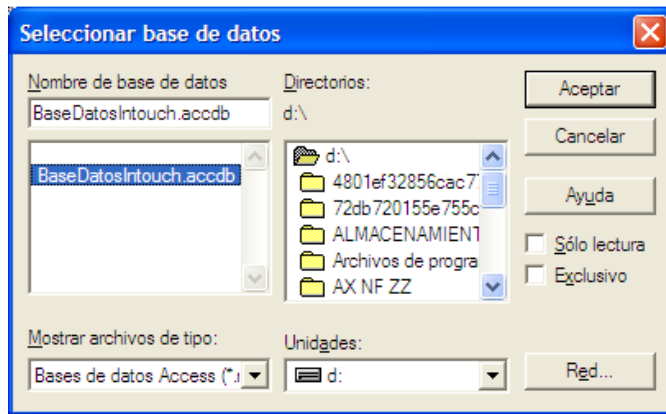


Figura 3. 147 Seleccionar base de datos.

- **Configuración InTouch:** se utiliza la herramienta Bind List que se encuentra en SQL Access Manager, Figura 3.148.

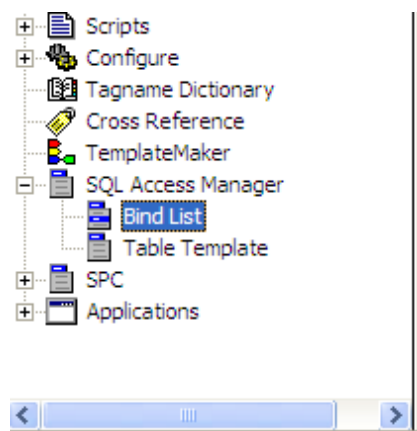


Figura 3. 148 Herramienta Bind List.

Al dar clic en Bind List se muestra la ventana de la Figura 3.149, aquí se van a crear tres Bind List nuevas.

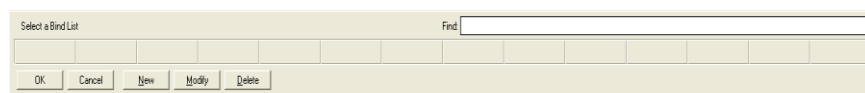


Figura 3. 149 Agregar Bind List.

Bind List Registros: contiene los datos correspondientes al proceso de nivel, donde se asignan los tagnames de InTouch al respectivo nombre de

campo ó columna de la tabla Registros de la base de datos. Esto se configura en la ventana de la Figura 3.150 que se despliega al dar clic New, Bind List.

Los parámetros que se deben ingresar en la ventana de la Figura 3.150 son los siguientes:

Bind List Name: RegistrosDB.

Tagname FieldName: elegir el tag de InTouch.

Column Name: nombre de la columna o nombre de campo de la tabla Registros de la base de datos, a la que corresponda el tagname seleccionado en Tagname FieldName.

Clic en add ítem.

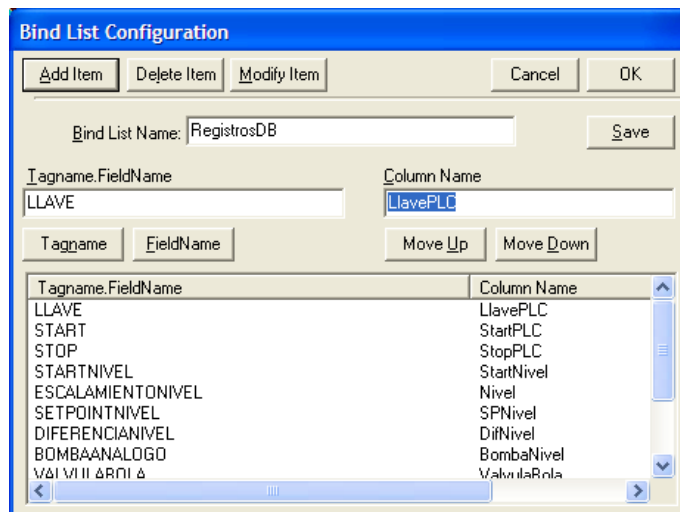


Figura 3. 150 Bind List Configuration.

Todos los tagname FieldName que se deben ingresar y su respectiva Column se muestran en la Tabla 3.31.

Tagname FieldName	Column Name
LLAVE	LlavePLC
START	StartPLC
STOP	StopPLC
STARTNIVEL	StartNivel
ESCALAMIENTO NIVEL	Nivel
SETPOINTNIVEL	SPNivel
DIFERENCIANIVEL	DifNivel

BOMBAANALOGO	BombaNivel
VALVULABOLA	ValvulaBola
\$Operator	Usuario
\$DateString	Fecha
\$TimeString	Hora

Tabla 3. 31 Tagnames y Columns Bind List Registros DB.

Bind List RegistrosPDB: contiene los datos correspondientes al proceso de presión, donde se asignan los tagnames de InTouch al respectivo nombre de campo ó columna de la tabla RegistrosP de la base de datos. Esto se configura en la ventana de la Figura 3.150 que se despliega al dar clic New, Bind List.

Todos los tagname FieldName que se deben ingresar y su respectiva Columna se muestran en la Tabla 3.32.

Tagname FieldName	Column Name
STARTPRESION	StartPresion
ESCALAMIENTOPRESION	Presion
SPPRESION	SPPIntouch
LEERSPPRESION	SPPWincc
DIFRENCIAPRESION	DifPresion
BOMBAPRESION	SalidaDifusa
SALIDAPRESIONBOMBA	Bomba
\$Operator	Usuario
&DateString	Fecha
\$TimeString	Hora

Tabla 3. 32 Tagnames y Columns Bind List RegistrosP DB.

Bind List Alarmas DB: contiene los datos correspondientes a las alarmas ocurridas, donde se asignan los tagnames de InTouch al respectivo nombre de campo ó columna de la tabla RegistrosP de la base de datos.

Todos los tagname FieldName que se deben ingresar y su respectiva Columna se muestran en la Tabla 3.33.

Tagname	FieldName	Column Name
NALARMMENOR1		NivelMin
NALARMMAYOR10		NivelMax
PALARMMAYOR2200		PresionMax
ESCALAMIENTONIVEL		Nivel
ESCALAMIENTOPRESION		Presion
\$DateString		Fecha
\$TimeString		Hora

Tabla 3. 33 Tagnames y Columns Bind List Alarmas DB.

- **Programación para escribir la base de datos desde InTouch:** los datos del proceso de nivel como del proceso de presión y de las alarmas ocurridas, se guardarán en la base de datos llamada BaseDatosIntouch.

La tabla Registros de la base de datos, acumulará datos cuando se haya iniciado el proceso de control de nivel, en intervalos de 2 segundos. Es decir que cuando se haya presionado el START del control de nivel y ha transcurrido 2 segundos, InTouch escribirá los valores de los tagnames de las variables involucradas en la tabla Registros.

Para escribir en la tabla Registros se tiene que programar un Condition Script mostrado en la Figura 3.151.

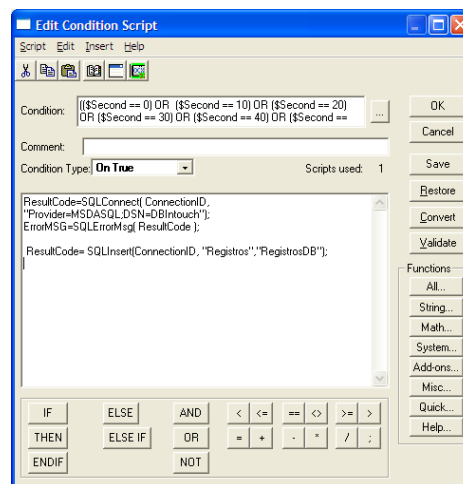


Figura 3. 151 Escribir en la tabla RegistrosP de la Base de Datos.

La tabla RegistrosP de la base de datos de Microsoft Access, acumulará datos cuando se haya iniciado el proceso de control de presión, en intervalos de 2 segundos. Es decir que cuando se haya presionado el START del control de

presión, y los segundos sean igual a 0,24,... 60, InTouch escribirá los valores de los tagnames de las variables involucradas en la tabla RegistrosP.

La configuración para escribir en la tabla RegistrosP de la base de datos se lo realiza en un Condition Script mostrada en la Figura 3.152.

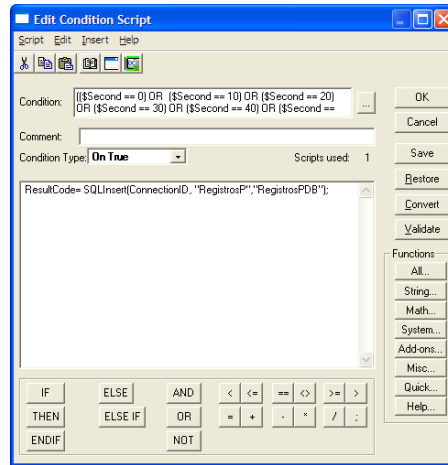


Figura 3. 152 Escribir en la tabla RegistrosP de la Base de Datos.

La tabla Alarmas de la base de datos de Microsoft Access, acumulará datos de las alarmas, cuando se hayan generado.

La configuración para escribir en la tabla Alarmas de la base de datos se lo realiza en un Condition Script mostrada en la Figura 3.153.

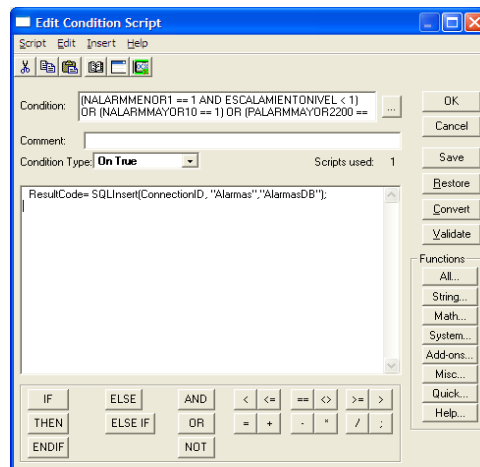


Figura 3. 153 Escribir en la tabla Alarmas de la Base de Datos.

VISUALIZADORES DE DATOS HISTORICOS Y REPORTE DE DATOS

Los visualizadores de datos históricos se los obtiene del menú: Wizard, Hist Trends.

El objetivo de estos Hist Trends, tendencias históricas, es mostrar tagnames históricos del proyecto. Para esto es necesario primero configurar tagnames de tipo histórico en el proyecto, para conseguir se tiene que hacer lo siguiente:

- Configurar el Historical Logging, del menú Special, Configure, que se muestra en la Figura 3.154. En la ventana Historical Logging Properties se tiene que activar la opción Enable Historical Logging, con lo que se habilita el registro de datos de InTouch.

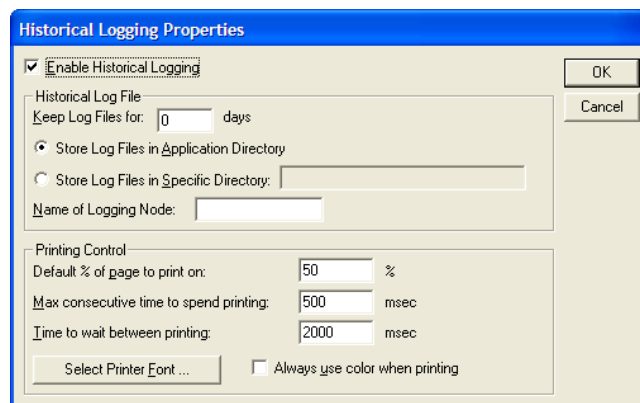


Figura 3. 154 Historical Logging Properties.

- Para configurar un tagname de tipo histórico, se tiene que ir a la ventana de propiedades del tagname y activar la opción log data, como se observa en la Figura 3.155.

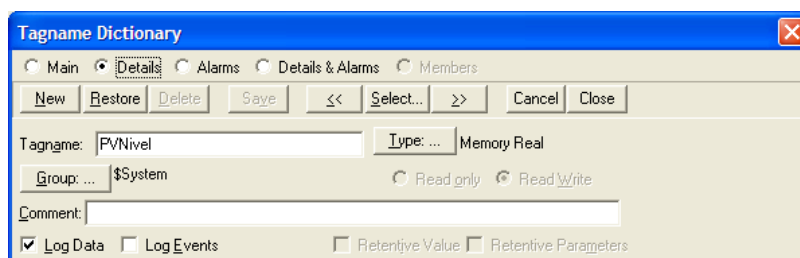


Figura 3. 155 Activar Log data del tagname histórico.

Este procedimiento se lo debe realizar con todos los tagnames que se deseen visualizar como tagnames de tipo históricos.

Para configurar los visualizadores de datos históricos, Hist Trends, de la Figura 3.156, se debe acceder a sus propiedades, Figura 3.157.

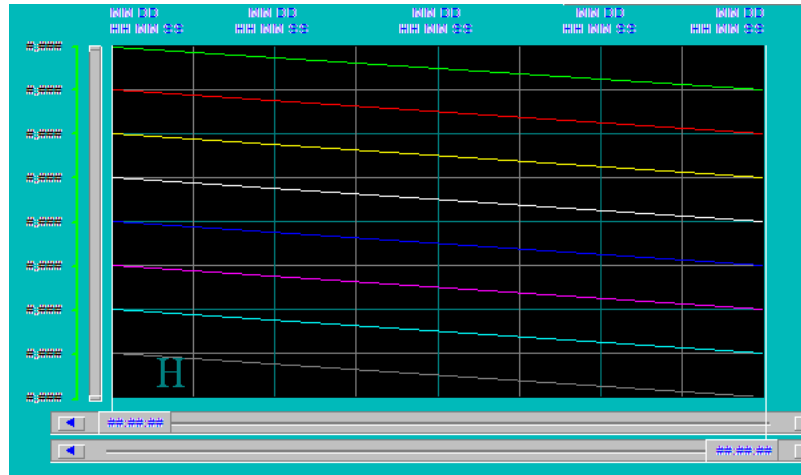


Figura 3. 156 Hist Trend.

Para llenar los campos correspondientes a Hist Tren, y Pen Scale, que pertenecen al nombre y control de escala del Hist Trend, se tiene que dar clic en suggest, el cual generará automáticamente los nombres de estos dos campos.

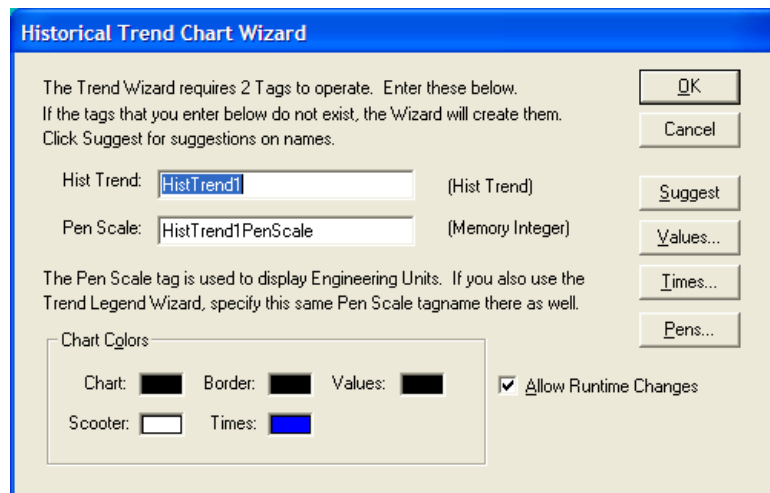


Figura 3. 157 Configurar Hist Trend.

Para configurar los tagnames históricos que se mostrarán en el Hist Trend, se tiene que dar clic en Pens, y se despliega la Figura 3.158, aquí se ingresan las tagnames que se desee mostrar y el color que tendrá cada tagname.

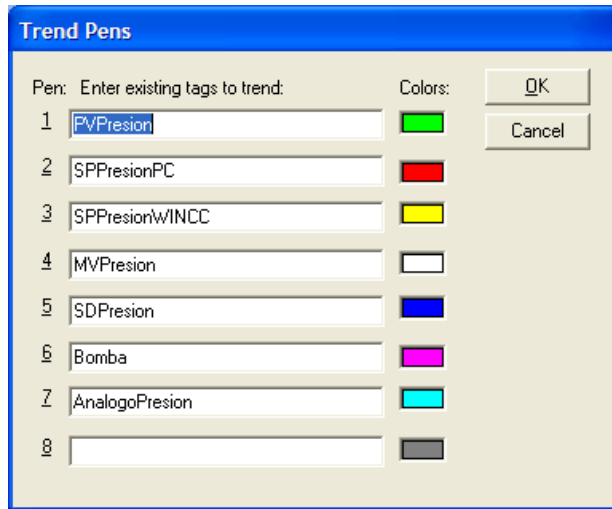


Figura 3. 158 Agregar tagnames históricos al Hist Trend.

- Para controlar la escala del tiempo del visualizador de datos históricos, Hist Trend, se tiene que configurar la herramienta Trend Zoom/Pan panel, que se lo obtiene del menú Wizard, Trends, que se muestra en la Figura 3.159.

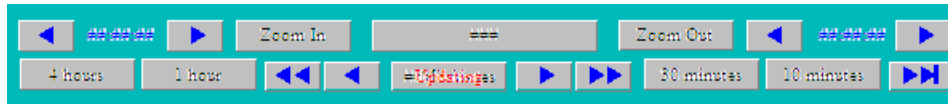


Figura 3. 159 Trend Zoom/Pan Panel.

La configuración del Trend Zoom/ Pan Panel, se muestra en la Figura 3.160, donde los nombres son los mismos ingresados en el visualizador de datos históricos, Hist Trend.

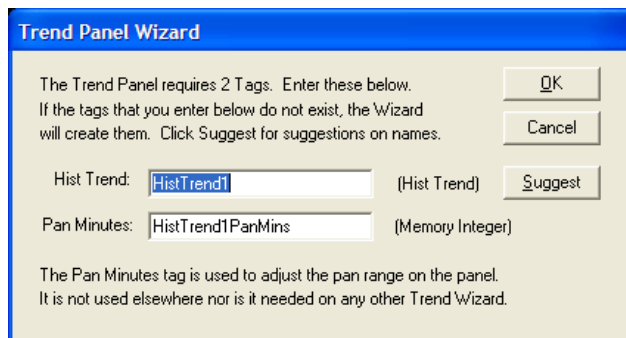


Figura 3. 160 Configuración Trend Zoom/ Pan Panel.

- El reporte de datos se realiza con la herramienta Hist data Wizard, esta herramienta generará automáticamente un archivo de extensión .CSV, de los datos que se estén mostrando en ese instante en el visualizador de datos históricos o Hist Trend.

Este archivo se genera y se sobrescribe cada vez que se dé clic en el botón Save To File.

Además que el archivo .CSV se lo puede abrir en Excel

En la configuración del Hist data Wizard se ingresan el nombre del Hist Trend, de donde se obtendrán los datos, y en el campo Number of Records to Write per CSV File, se ingresan el número de muestras que se van a tomar.

3.12.2.19. Ventana Trends Nivel

La Figura 3.161 muestra la ventana Trends Nivel, aquí se encuentran dos visualizadores en tiempo real, que se los ubica en la barra de herramientas de dibujo, Real-Time Trend.

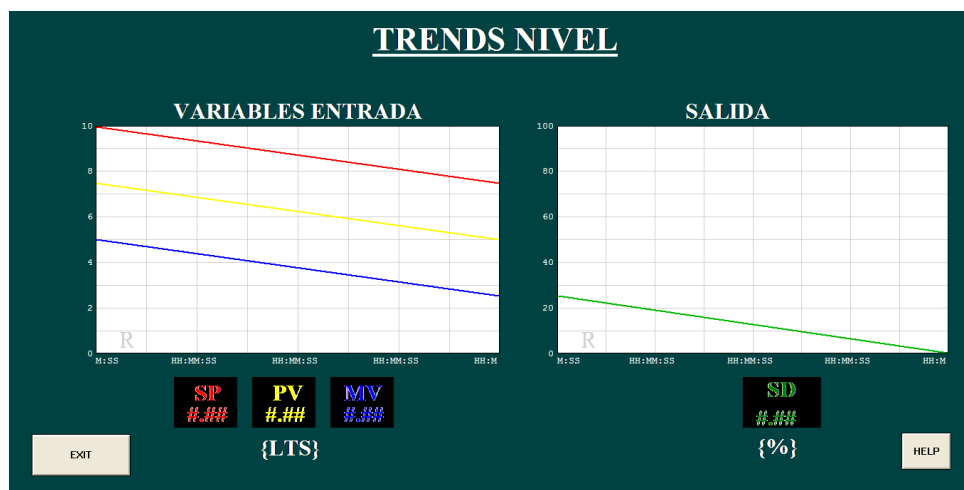


Figura 3. 161 Ventana Trends Nivel

La configuración del primer Real-Time Trend se observa en la Figura 3.162, en la cual se asignan las variables que se van a visualizar, para esto es necesario ingresar el nombre del tag que se desee visualizar y el color que tendrá su curva.

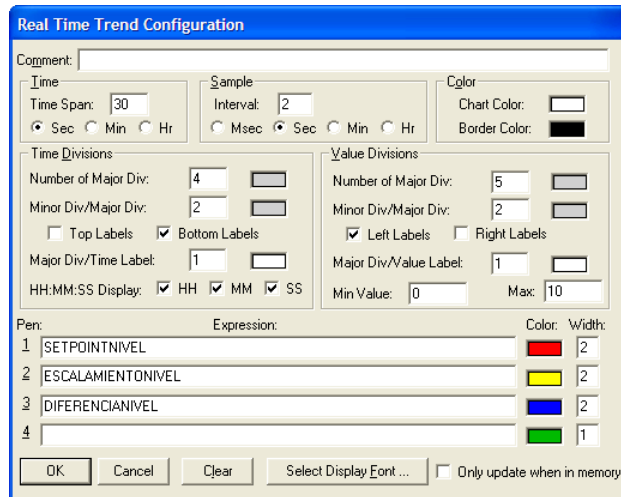


Figura 3. 162 Configuración Real-Time Trend Nivel.

3.12.2.20. Ventana Trends Presión

La Figura 3.163, muestra la ventana Trends Presión, aquí se encuentran dos visualizadores en tiempo real, que se los ubica en la barra de herramientas de dibujo, Real-Time Trend.

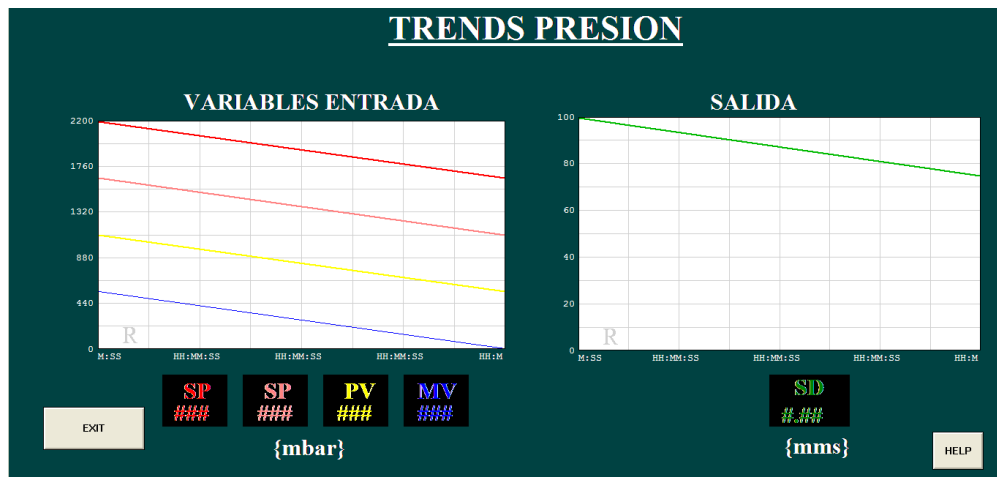


Figura 3. 163 Ventana Trends Nivel.

La configuración del primer Real-Time Trend se observa en la Figura 3.164, en la cual se asignan las variables que se van a visualizar, para esto es necesario ingresar el nombre del tag que se desee visualizar y el color que tendrá su curva.

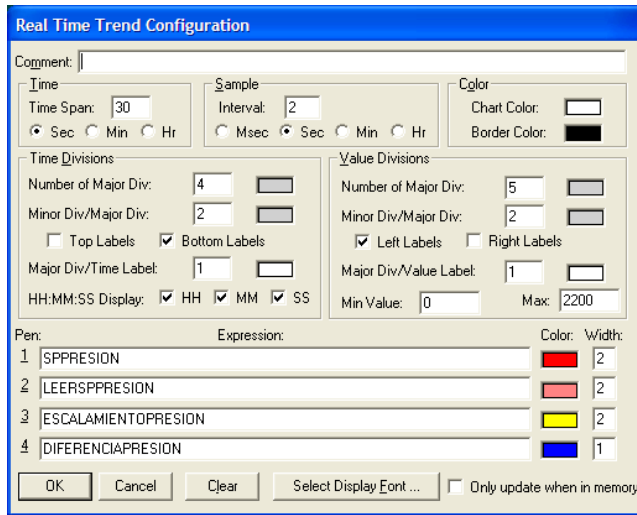


Figura 3. 164 Configuración Real-Time Trend Presión.

3.12.2.21. Ventana Diagrama de Instrumentación de la planta

En la Figura 3.165 se observa la ventana Diagrama de Instrumentación de la planta, que sirve de ayuda para ver los sensores y actuadores de la planta.

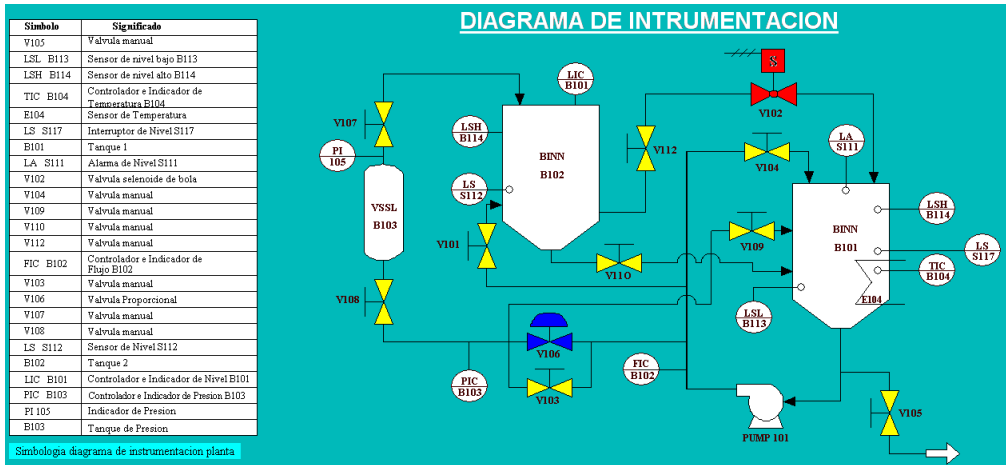


Figura 3. 165 Ventana Diagrama de Instrumentación de la planta.

CAPÍTULO IV

Pruebas Y Resultados

A continuación se muestra el análisis y las diferentes pruebas realizadas en los controles de nivel y presión en base a los tiempos y precisión.

4.1. Resolución Teórica

A continuación se resolverá un ejemplo de forma teórica para nivel y para presión, para poder comparar su resultado con los resultados obtenidos tanto en Matlab como en los controles difusos de nivel y presión.

4.1.1. Ejemplo teórico para el control de nivel

Nivel Actual (NA): 6 L.

Setpoint: 7.5 L.

Diferencia de nivel (DN): 1.5 L.

➤ FUZZYFICACION

$$\mu_{Nivel_Actual_Medio}(6) = 0.5$$

$$\mu_{Dif_Nivel_bajo}(1.5) = 0.67$$

$$\mu_{Nivel_Actual_Alto}(6) = 1$$

$$\mu_{Dif_Nivel_Media}(1.5) = 0.33$$

➤ REGLAS DE INFERENCIA

Reglas: R12, R13, R17, R18

R12: **IF** Min [$\mu_{Nivel_Actual_Medio}$, $\mu_{Dif_Nivel_bajo}$] **THEN** Salida **Casi_Minima**.

$$\text{Min} [0.5, 0.67] = 0.5$$

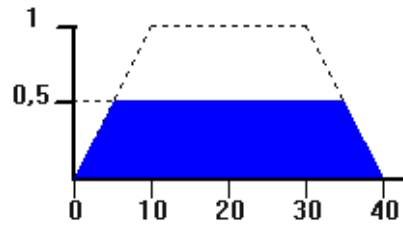


Figura 4. 1 Salida conjunto Casi_Mínima.

R13: **IF** Min [$\mu_{Nivel\ Actual_Medio}$, $\mu_{Dif\ Nivel_Media}$] **THEN** Salida **Media**.

$$\text{Min } [0.5, 0.33] = 0.33$$

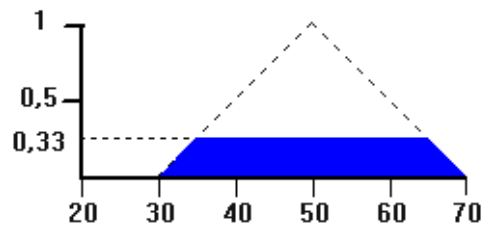


Figura 4. 2 Salida conjunto Media.

R17: **IF** Min [$\mu_{Nivel\ Actual_Alto}$, $\mu_{Dif\ Nivel_Bajo}$] **THEN** Salida **Casi_Minima**.

$$\text{Min } [1, 0.67] = 0.67$$

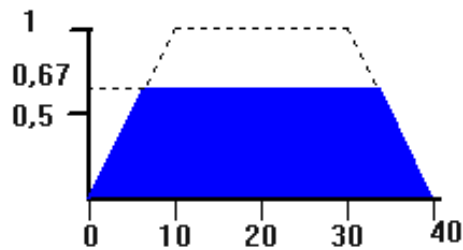


Figura 4. 3 Salida conjunto Casi_Mínima

R18: **IF** Min [$\mu_{Nivel\ Actual_Alto}$, $\mu_{Dif\ Nivel_Media}$] **THEN** Salida **Media**.

$$\text{Min } [1, 0.33] = 0.33$$

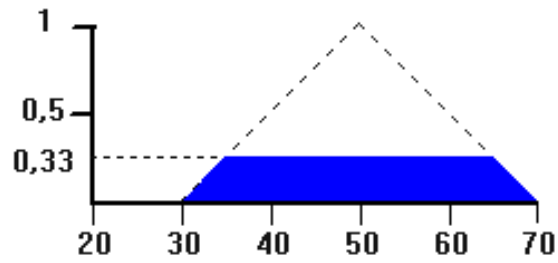


Figura 4. 4 Salida conjunto Media.

➤ **DEFUZZYFICACION**

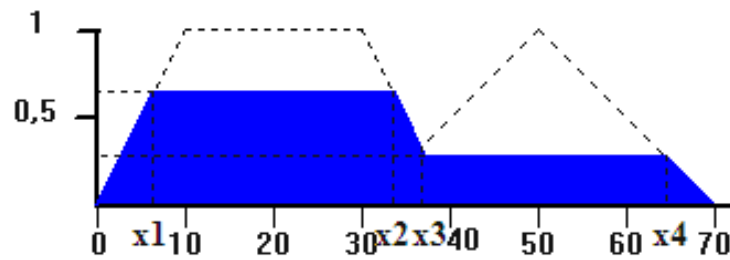


Figura 4. 5 Construcción de la salida final.

Calcular x_2, x_3, \dots, x_n

Ecuación de la recta:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Ó

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

Cálculo para x_1

$$0.67 = \frac{1 - 0}{10 - 0} (x - 0) + 0$$

$$\Rightarrow x_1 = 6.7$$

Cálculo para x_2

$$0.67 = \frac{0 - 1}{40 - 30} (x - 30) + 1$$

$$\Rightarrow x_2 = 33.3$$

Calculo para x3

$$0.33 = \frac{1 - 0}{50 - 30} (x - 30) + 0$$

$$\Rightarrow x_3 = 36.6$$

Cálculo para x4

$$0.33 = \frac{0 - 1}{70 - 50} (x - 50) + 1$$

$$\Rightarrow x_4 = 63.4$$

Fórmula de centroide:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)}$$

	x_i	$u(x_i)$
X0	0	0
x1	6.7	0.67
X2	33.3	0.67
X3	36.6	0.33
X4	63.4	0.33
X5	70	0

Tabla 4. 1 Tabla $x_i, u(x_i)$, ejercicio teórico

$$g = \frac{(0 * 0) + (6.7 * 0.67) + (33.3 * 0.67) + (36.6 * 0.33) + (63.4 * 0.33) + (70 * 0)}{(0 + 0.67 + 0.67 + 0.33 + 0.33 + 0)}$$

$$g = 29,9$$

4.1.2. Ejemplo teórico para el control de presión

Presión Actual (PA): 800 mbar

Set point: 1900 mbar

Diferencia de presión (DP): 1100 mbar

➤ **FUZZYFICACION**

$$\mu_{Presión\ Actual_Bajo}(800) = 0,756$$

$$\mu_{Dif\ Presión_Medio}(1100) = 0,54$$

$$\mu_{Presión\ Actual_Media}(800) = 0,57$$

$$\mu_{Dif\ Presión_Alta}(1100) = 0,833$$

➤ **REGLAS DE INFERENCIA**

Reglas: R8, R9, R13, R14

R8: **IF** Min [$\mu_{Presión\ Actual_Bajo}$, $\mu_{Dif\ Presión_Medio}$] **THEN** Salida **Normal**

$$\text{Min} [0,756 ; 0,54] = 0,54$$

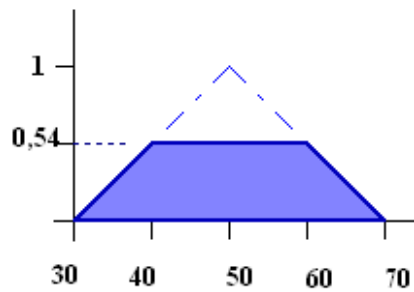


Figura 4. 6 Salida conjunto Normal.

R9: **IF** Min [$\mu_{Presión\ Actual_Bajo}$, $\mu_{Dif\ Presión_Alto}$] **THEN** Salida **Grande**

$$\text{Min} [0,756 ; 0,833] = 0,756$$

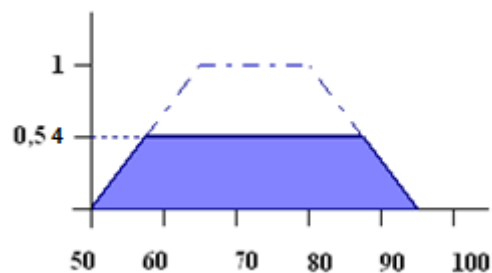


Figura 4. 7 Salida conjunto Grande.

R13: **IF** Min [$\mu_{Presión\ Actual_Media}$, $\mu_{Dif\ Presión_Medio}$] **THEN** Salida **Normal**

$$\text{Min } [0,57 ; 0,54] = 0,54$$

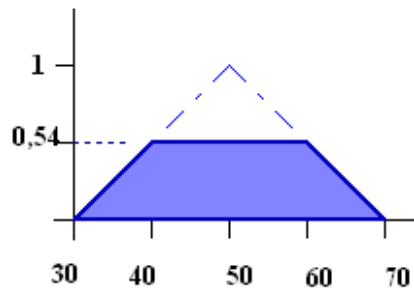


Figura 4. 8 Salida conjunto Normal.

R14: **IF** $\text{Min } [\mu_{\text{Presión Actual_Media}} , \mu_{\text{Dif Presión_Alto}}]$ **THEN** Salida **Grande**

$$\text{Min } [0,57 ; 0,833] = 0,57$$

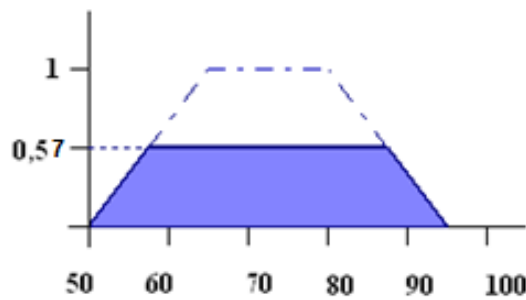


Figura 4. 9 Salida conjunto Grande.

➤ **DEFUZZYFICACION**

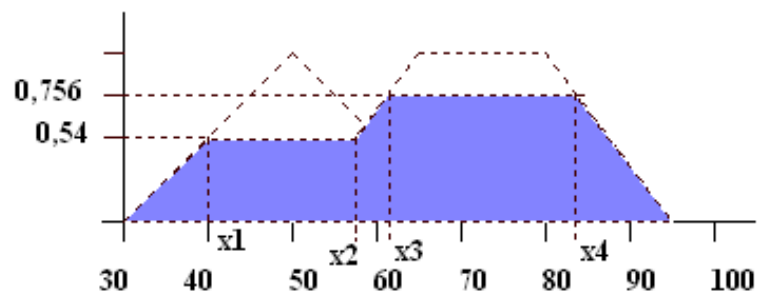


Figura 4. 10 Construcción de la salida final.

Cálculo de x_1 :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$x = \frac{(y - y_1) * (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1} + x_1$$

$$x = \frac{(0,54 - 0) * (50 - 30)}{1 - 0} + 30$$

$$\Rightarrow x_1 = 40,8$$

Cálculo de x_2 :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$x = \frac{(y - y_1) * (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1} + x_1$$

$$x = \frac{(0,54 - 0) * (65 - 50)}{1 - 0} + 50$$

$$\Rightarrow x_2 = 58,1$$

Cálculo de x_3 :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$x = \frac{(y - y_1) * (x_2 - x_1)}{y_2 - y_1} + x_1$$

$$x = \frac{(0,756 - 0) * (65 - 50)}{1 - 0} + 50$$

$$\Rightarrow x_3 = 61,34$$

Calculo de x_4 :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$0,756 = \frac{1}{80 - 95} (x - 95)$$

$$\Rightarrow x_4 = 83,66$$

Fórmula de centroide:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)}$$

$$g = \frac{(40,8 * 0,54) + (58,1 * 0,54) + (61,39 * 0,756) + (83,66 * 0,756)}{0,54 + 0,54 + 0,756 + 0,756}$$

$$g = 68,9$$

4.2. Análisis de Lógica Difusa

La salida difusa del control de nivel y de presión se comparará con la salida difusa obtenida en Matlab y en los ejercicios teóricos planteados anteriormente.

Para el análisis se realizaron dos pruebas en las cuales se pondrá énfasis en el valor de la salida difusa.

Prueba 1 para nivel.

Se inicia el control de nivel en 1,5 L y se va seleccionando el Setpoint cada 0,5 L hasta llegar a 9 L. Los valores obtenidos de la salida difusa para esta prueba se muestran en la tabla 4.2.

El cálculo del error está dado por la siguiente fórmula:

$$Error\ Relativo(\%) = \frac{Setpoint - Valor\ real}{Set\ point} * 100$$

Nivel actual (L)	Setpoint (L)	Diferencia de nivel (L)	Salida difusa (Matlab)	Salida difusa (control)	Error (%)
1,5	2	0,5	31,6	30,7	2,85
2	2,5	0,5	31,6	29,9	5,38
2,5	3	0,5	32,6	30,9	5,21
3	3,5	0,5	34	33,4	1,76
3,5	4	0,5	32,6	30,9	5,21
4	4,5	0,5	31,6	30,8	2,53
4,5	5	0,5	31,6	29,8	5,70
5	5,5	0,5	17,8	17,2	3,37
5,5	6	0,5	17,8	18,1	-1,69
6	6,5	0,5	17,8	18,5	-3,93
6,5	7	0,5	17,8	18	-1,12
7	7,5	0,5	17,8	18,5	-3,93
7,5	8	0,5	17,8	17,3	2,81
8	8,5	0,5	17,8	18,3	-2,81
8,5	9	0,5	17,8	16,5	7,30

Tabla 4. 2 Datos lógica difusa de nivel para prueba 1.

Prueba 2 para nivel.

Se selecciona el Setpoint de nivel cada 0,5 L iniciando siempre desde 1,5 L hasta llegar 9 L. Los resultados obtenidos de esta prueba se muestran en la Tabla 4.3.

Nivel actual (L)	Setpoint (L)	Diferencia Nivel (L)	Salida (Matlab)	Salida (control)	Error (%)
1,5	2	0,5	31,6	28,98	8,29
1,5	2,5	1	31,3	29,81	4,76
1,5	3	1,5	31,3	29,35	6,23
1,5	3,5	2	36,6	35,52	2,95
1,5	4	2,5	50	51,07	-2,14
1,5	4,5	3	50	52,28	-4,56
1,5	5	3,5	64,5	63,68	1,27
1,5	5,5	4	70	74,32	-6,17
1,5	6	4,5	75	79,47	-5,96
1,5	6,5	5	92,7	82,85	10,63
1,5	7	5,5	92,7	95,25	-2,75
1,5	7,5	6	92,7	95,27	-2,77
1,5	8	6,5	92,7	95,32	-2,83
1,5	8,5	7	92,7	95,24	-2,74
1,5	9	7,5	92,7	95,22	-2,72

Tabla 4. 3 Datos lógica difusa de nivel para prueba 2.

Prueba 1 para presión.

Se inicia el control de presión en 600 mbar y se va seleccionando el Setpoint cada 200mbar hasta llegar a 2000 mbar. Los valores obtenidos de esta prueba se muestran en la Tabla 4.4.

Presión actual (mbar)	Setpoint (mbar)	Diferencia de presión (mbar)	Salida (Matlab)	Salida (control)	Error (%)
600	800	200	19,1	18,8	1,57
800	1000	200	19,1	18,7	2,09
1000	1200	200	19,1	19,4	-1,57
1200	1400	200	19,1	17,9	6,28
1400	1600	200	19,1	19,3	-1,05
1600	1800	200	19,1	18,6	2,62
1800	2000	200	19,1	18,9	1,05

Tabla 4. 4 Datos lógica difusa de presión para prueba 1.

Prueba 2 para presión.

Se selecciona el Setpoint de presión cada 200 mbar iniciando siempre desde 600mbar hasta llegar 2000mbar. Los resultados obtenidos de esta prueba se muestran en la Tabla 4.5.

Presión actual	Set point	Diferencia de presión	Salida (Matlab)	Salida (control)	Error
600	800	200	19,1	19,3	-1,05
600	1000	400	25,3	26,1	-3,16
600	1200	600	33	35,1	-6,36
600	1400	800	44,7	44,3	0,89
600	1600	1000	61,6	61,2	0,65
600	1800	1200	67	66,7	0,45
600	2000	1400	72,5	72,7	-0,28

Tabla 4. 5 Datos lógica difusa de presión para prueba 2.

4.2.1. Comparación de lógica difusa

Para realizar el análisis de la lógica difusa se comparan los datos de la salida difusa obtenidos en los ejercicios teóricos, en el software Matlab y en el control implementado en la planta.

Nivel actual (L)	Set point (L)	Diferencia de nivel (L)	Salida difusa (matlab)	Salida difusa (teórica)	Salida difusa (control)	Error control vs teórico (%)	error control vs Matlab (%)
6	7,5	1,5	28,8	28,83	27,94	3,09	2,99
4	7	3	61,9	62,09	61,66	0,69	0,39
2	6,5	4,5	75,6	78,75	79,28	- 0,67	-4,87
3	9	6	93,3	100	95,62	4,38	-2,49
1,5	9	7,5	92,7	95,62	95,26	0,38	-2,76
Promedio						1,48	2,7

Tabla 4. 6 Comparación de salida difusa de nivel.

Presión actual (mbar)	Set point (mbar)	Diferencia de presión (mbar)	Salida difusa (matlab)	Salida difusa (teórica)	Salida difusa (control)	error control vs teórico (%)	error control vs matlab (%)
700	1100	400	25,3	26,1	25,4	26	-0,40
1000	1750	750	40,7	42,2	39,9	5,4	1,97
800	1900	1100	64,5	68,9	65	5,6	-0,78
600	2000	1400	72,5	72,5	74,1	-2,2	-2,21
Promedio						2,8	-0,35

Tabla 4. 7 Comparación de salida difusa de presión.

4.2.2. Análisis gráfico pruebas de presión

La Tabla 4.8 muestra los datos reales para el ejercicio teórico de presión, en el cual la Presión Actual (PA): 700 mbar, y el Setpoint: 1100 mbar.

Presión (mbar)	Setpoint (mbar)	DifPresion (mbar)	SalidaDifusa	Bomba	Tiempo (seg)
664,73	700,00	30,27	25,00	14879	0
667,86	1100,00	432,14	26,23	14879	2
707,19	1100,00	392,81	25,44	15190	4
733,41	1100,00	366,59	24,78	15515	6
759,63	1100,00	340,37	23,98	15870	8
800,84	1100,00	299,16	22,28	16142	10
847,67	1100,00	252,33	20,58	16361	12
868,27	1100,00	231,73	19,79	16611	14
896,37	1100,00	203,63	18,46	16886	16
911,35	1100,00	188,65	17,62	17101	18
918,84	1100,00	181,16	17,18	17308	20
952,56	1100,00	147,44	15,07	17521	22
969,41	1100,00	130,59	13,92	17687	24

995,64	1100,00	104,36	11,97	17830	26
1019,99	1100,00	80,01	9,97	17955	28
1023,97	1100,00	65,03	8,72	18074	30
1034,73	1100,00	76,27	7,67	18204	32
1040,59	1100,00	59,41	5,21	18274	34
1046,18	1100,00	23,82	4,43	18297	36
1057,45	1100,00	42,55	4,06	18312	38
1064,94	1100,00	35,06	3,75	18320	40
1081,80	1100,00	18,20	3,72	18336	42

Tabla 4. 8 Datos presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.

Con los datos de la Tabla 4.8 se pueden obtener las siguientes gráficas de tendencias.

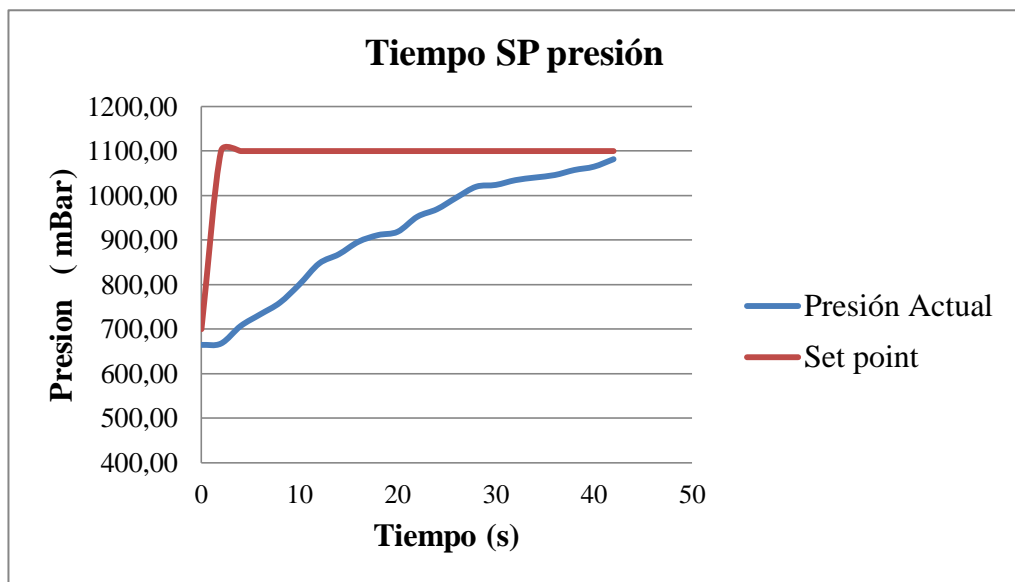


Figura 4. 11 Tiempo de alcance SP. Presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.

En la Figura 4.11 se observa el tiempo que se demora la presión en llegar al valor de Setpoint que aproximadamente es de 42 segundos, cuando la Presión actual: 700 mbar y el SP: 1100 mbar.

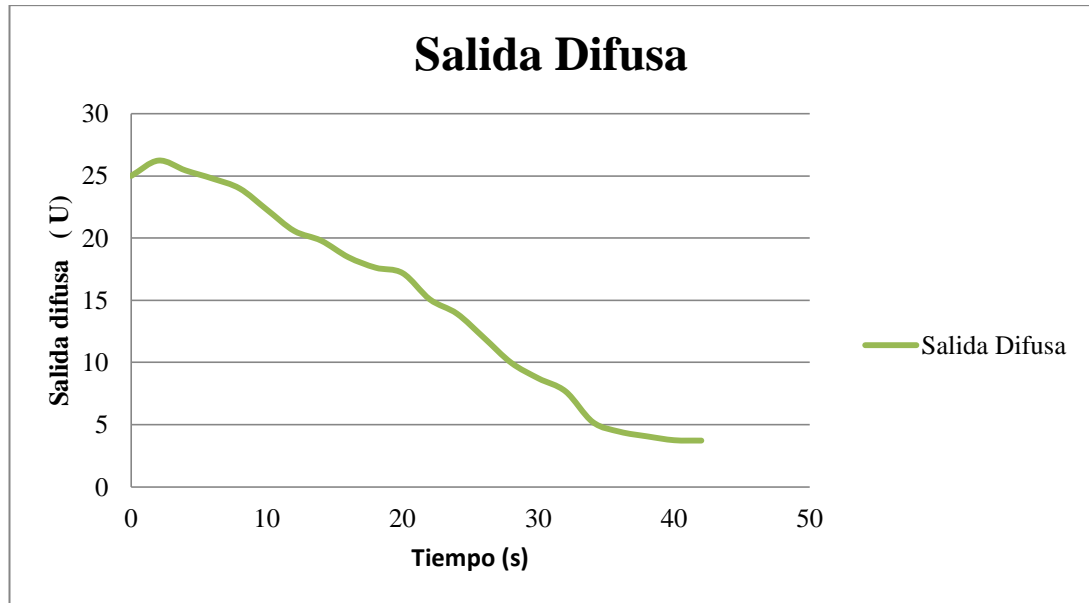


Figura 4. 12 Salida difusa. Presión actual: 700 mbar, Setpoint: 1100 mbar.

En la Figura 4.12 se muestra la variación de la presión con respecto a la variación de la salida difusa, cuando la Presión actual: 700 mbar y el SP: 1100 mbar.

Se puede observar que mientras la presión va llegando al Setpoint la salida difusa va disminuyendo.

4.3. Análisis de Seteo de Nivel

Para el análisis de seteo de nivel se calculó el error relativo, para la cual se realizó la prueba de repetitividad y se cronometró el tiempo en el que el sistema alcanzaba el Setpoint.

4.3.1. Cálculo del error relativo

El error relativo está determinado por la siguiente fórmula:

$$Error\ Relativo(\%) = \frac{Setpoint - Valor\ real}{Set\ point} * 100$$

En la siguiente tabla se muestra el error relativo calculado para el control de nivel. Los datos fueron obtenidos cada 0.5 L.

Nivel Actual (L)	Setpoint (L)	Valor Real (L)	Error relativo (%)
	1,5	1,47	2,00
1.5	2	1,96	2,00
2	2,5	2,49	0,4
2.5	3	2,94	2,00
3	3,5	3,51	-0,28
3.5	4	3,98	0,5
4	4,5	4,51	-0,22
4.5	5	4,97	0,6
5	5,5	5,48	0,36
5.5	6	5,93	1,16
6	6,5	6,48	0,3
6.5	7	6,99	0,14
7	7,5	7,52	-0,26
7.5	8	8,02	-0,25
8	8,5	8,52	-0,23
8.5	9	9,02	-0,22
Promedio			0,68

Tabla 4. 9 Error relativo seteo de nivel cada 0.5 L.

4.3.2. Cálculo de repetibilidad de nivel

La repetibilidad comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y el valor medido que da como resultado el control. La repetibilidad se expresa en tanto por ciento; un valor representativo es de $\pm 0,1\%$.²⁷

La repetibilidad viene dada por la fórmula:

$$\sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{N}}$$

Donde:

x_i .- es el valor ingresado (Set point).

x .- es el valor real resultado del control.

²⁷ CREUS, Antonio, *Instrumentación Industrial*, 7ma Edición, MARCOCOMBO S.A, España, 2005, p.10-11.

N.- número de muestras.

En la Tabla 4.10 se presenta las muestras y el resultado de la repetibilidad para el control de nivel.

Setpoint (L)	Valor real (L)	Diferencia (xi - x)	Cuadrado de la diferencia
1,5	1,47	-0,03	0,0009
2	1,97	-0,03	0,0009
2,5	2,49	-0,01	1E-04
3	2,95	-0,05	0,0025
3,5	3,49	-0,01	1E-04
4	3,99	-0,01	1E-04
4,5	4,48	-0,02	0,0004
5	4,99	-0,01	1E-04
5,5	5,49	-0,01	1E-04
6	5,95	-0,05	0,0025
6,5	6,55	0,05	0,0025
7	6,98	-0,02	0,0004
7,5	7,49	-0,01	1E-04
8	7,98	-0,02	0,0004
8,5	8,48	-0,02	0,0004
9	8,94	-0,06	0,0036
Suma de cuadrados de la diferencia			0,0151
Suma de cuadrados de la diferencia/N			0,00094375
Repetibilidad = Raíz cuadrada (Suma total de cuadrados de las diferencias/N)			0,0307

Tabla 4. 10 Repetibilidad para control de nivel.

La repetibilidad para el control de nivel fue de 0,0307, puesto que las diferencias entre el setpoint y el valor real medido son mínimas.

4.3.3. Análisis gráfico pruebas de nivel

En la Tabla 4.11 se presentan datos del nivel actual, Setpoint, diferencia de nivel, porcentaje de trabajo de la bomba y tiempo de llenado, para el ejercicio teórico de nivel, en el cual nivel actual es 1,5 L y el Setpoint es 9 L.

Nivel actual 1,5 L	Setpoint 9 L	Diferencia de nivel 7,5 L	Porcentaje de trabajo bomba (%)	tiempo (seg)
1,43	1,5	7,57	95,26	0
1,97	9,00	7,03	95,58	8

2,53	9,00	6,47	95,63	16
3,16	9,00	5,84	95,63	24
3,65	9,00	5,35	89,72	32
4,22	9,00	4,78	81,44	40
4,79	9,00	4,21	76,07	48
5,27	9,00	3,73	70,80	56
5,72	9,00	3,28	64,79	64
6,21	9,00	2,79	57,42	72
6,63	9,00	2,37	43,69	80
7,12	9,00	1,88	33,44	88
7,46	9,00	1,54	28,11	96
7,81	9,00	1,19	23,74	104
8,09	9,00	0,91	21,04	112
8,35	9,00	0,65	18,75	120
8,56	9,00	0,44	15,55	128
8,73	9,00	0,27	11,87	136
8,85	9,00	0,15	8,57	144
8,93	9,00	0,07	5,83	152

Tabla 4. 11 Datos nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.

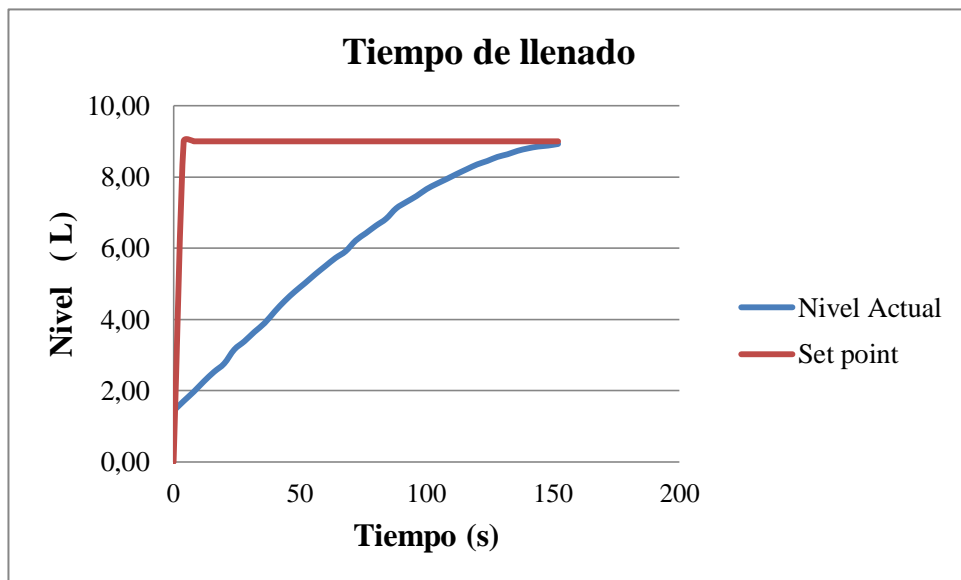


Figura 4. 13 Tiempo de llenado nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.

En la figura 4.13 se muestra el tiempo de llenado cuando el nivel actual es 1,5 L y Setpoint 9 L. Se puede apreciar que el tiempo de llenado es aproximadamente de 152 segundos.

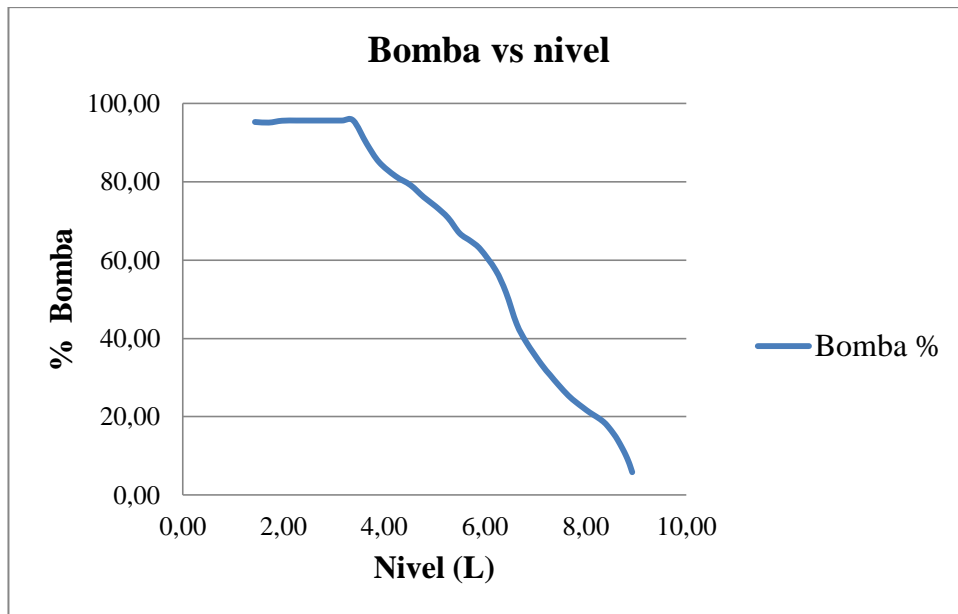


Figura 4. 14 Porcentaje de trabajo de la bomba nivel actual: 1,5 L. Setpoint: 9 L.

En la Figura 4.14 se muestra el porcentaje de trabajo de la bomba cuando el nivel actual es 1,5 L y Setpoint 9 L. Se puede apreciar el comportamiento de la salida difusa, donde se observa que a medida que el nivel actual va llegando al setpoint el porcentaje de trabajo de la bomba va disminuyendo.

4.4. Ventajas y Desventajas del Control Difuso

4.4.1. Comparación Control Difuso vs. Control ON/OFF de nivel

La comparación de la los dos tipos de control, difuso y ON/OFF se presenta en la Tabla 4.12, se muestra la precisión de nivel, el tiempo que tarda cada control en llegar al setpoint y el error en la exactitud.

Los resultados del control ON/OFF se obtuvieron de los programas demos de la estación.

Setpoint (L)	Valor medido Control ON/OFF	Valor medido Control difuso	Tiempo Control ON/OFF (seg.)	Tiempo Control difuso (seg.)	Error ON/OFF (%)	Error Difuso (%)
4	3,85	3,98	13	24	3,75	0,5
4.5	4,37	4,51	11	28	2,89	-0,22
5	4,88	4,97	13	20	2,40	0,6
5.5	5,39	5,48	13	27	2,00	0,36
6	5,9	5,93	12	32	1,67	1,16

6.5	6,41	6,48	13	26	1,38	0,30
7	6,93	6,99	12	22	1,00	0,14
Promedio			12,43	25,57	2,16	0,46

Tabla 4. 12 Comparación control difuso vs. Control ON/OFF.

De la tabla 4.12 se concluye que el control ON/OFF es más rápido que el control difuso, con un promedio de tiempo de 12,43 segundos, pero en exactitud el control difuso es mucho más exacto que el control ON/OFF, con un error del 0,46%.

La mayor ventaja al implementar un control difuso es su exactitud al llegar al setpoint establecido, pero esta ventaja se ve disminuida por el tiempo que el control tarda en llegar al setpoint.

4.5. Análisis de Seteo de Presión

Para el análisis de seteo de nivel se calculó el error relativo, se realizó la prueba de repetitividad y se cronometró el tiempo en el que el sistema alcanza el setpoint.

4.5.1. Cálculo del error relativo

El error relativo está determinado por la siguiente fórmula:

$$Error\ Relativo(\%) = \frac{Setpoint - Valor\ real}{Set\ point} * 100$$

En la Tabla 4.13 se muestra el error relativo calculado para el control de presión. Datos obtenidos cada 200 mbar.

Presión Actual (mbar)	Setpoint (mbar)	Valor real (mbar)	Error relativo (%)
	600	583,15	2,808
600	800	765,25	4,344
800	1000	986,92	1,308
1000	1200	1173,58	2,202
1200	1400	1396,47	0,252
1400	1600	1587,52	0,780
1600	1800	1786,06	0,774
1800	2000	1982,77	1,101

Tabla 4. 13 Error relativo seteo de presión.

4.5.2. Cálculo de repetibilidad de presión

El concepto de repetibilidad para presión es el mismo que se trato en nivel.

La repetibilidad viene dada por la fórmula:

$$\sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{N}}$$

En la Tabla 4.14 se muestra las muestras y la repetibilidad para el control de presión.

Setpoint (mbar)	Valor real (mbar.)	Diferencia (xi - x)	Cuadrado diferencia
600	583,15	16,85	283,92
800	785,5	14,5	210,25
1000	986,3	13,7	187,69
1200	1186,69	13,31	177,16
1400	1400,2	-0,2	0,04
1600	1594,5	5,5	30,25
1800	1795,42	4,58	20,98
2000	1995,83	4,17	17,39
Suma de cuadrados de la diferencia			927,67
Suma de cuadrados de la diferencia/N			115,96
Repetibilidad = Raíz cuadrada (Suma total de cuadrados de las diferencias/N)			10,77

Tabla 4. 14 Repetibilidad para control de presión.

Por las variaciones del sensor de presión, y puesto que la presión es una variable muy rápida las diferencias entre el setpoint y el valor real medido son grandes, por estos motivos la repetibilidad adquiere un valor muy alto.

4.5.3. Tiempo de estabilización

En la tabla 4.15 se puede se muestra los tiempos de estabilización para el control de presión siempre partiendo desde 600 mbar.

Presión Actual (mbar)	Setpoint (mbar)	Valor real (mbar)	Tiempo (seg)
	600	583,15	41
600	800	765,25	40
600	1000	986,92	44
600	1200	1173,58	50

600	1400	1396,47	51
600	1600	1587,52	60
600	1800	1786,06	63
600	2000	1982,77	67

Tabla 4. 15 Tiempo de estabilización.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se implementó un control FUZZY para los procesos de nivel y presión en la CPU EduTrainer Compact S7-313C, además se realizó un sistema HMI/SCADA para el módulo MPS COMPACT WORKSTATION.
- Se analizó el funcionamiento de los sensores y actuadores que intervienen en los procesos de nivel y presión. Puesto que el sensor de nivel tiene un comportamiento aceptable y no existe mayores fluctuaciones en sus lecturas el valor de la salida del control corresponde directamente al porcentaje de trabajo de la bomba, sin embargo, debido al comportamiento del sensor de presión, el cual es muy variable, se definió cambiar el comportamiento de la salida difusa, con lo que el valor de la salida difusa del control de presión incrementará el valor del registro analógico de la bomba cada 250 milisegundos de tiempo transcurrido, así se tiene una relación inversa entre la salida difusa y el valor del porcentaje de trabajo de la bomba.
- Se implementó un algoritmo de programación FUZZY en el cuál la capacidad total de la memoria de la CPU S7-313C es de 65536 bytes de los cuales se utilizó 68.89% es decir 45148 bytes, esto implica que la implementación de la lógica difusa en la CPU S7-313C ocupa gran cantidad de memoria para su correcto funcionamiento.
- Para la toma de resultados en el SCADA, se decidió utilizar la topología 2, puesto que los datos de la topología 1 no se visualizaban en tiempo real, debido a la gran cantidad de variables que se utiliza en InTouch y la velocidad a la que trabaja la interface MPI, 187,5 kbits/seg la máxima. En su lugar la topología 2 utiliza interface Ethernet en la que su velocidad máxima de comunicación es 100 Mbits/seg con lo que se puede observar los datos en el SCADA en tiempo real sin ningún inconveniente.
- Con el desarrollo del HMI/SCADA con el software InTouch, se logró un sistema óptimo de supervisión y control del funcionamiento de la planta, además de que la obtención de datos históricos de las variables del proceso de

nivel y de presión permitió un seguimiento minucioso de las variables, y una generación de reporte de datos, con lo que se consiguió observar el comportamiento del control FUZZY.

- La ventaja de implementar el control FUZZY fue obtener resultados más exactos al alcanzar el Setpoint establecido, con un promedio de error del 0,46% frente a un control ON/OFF con un promedio de error del 2,16%, sin embargo el control FUZZY es más tardío en llegar a un setpoint establecido con un promedio de tiempo de estabilización de 25,57 segundos, mientras que un control ON/OFF tiene un promedio de tiempo de establecimiento de 12,43 segundos, la cual se podría considerar una desventaja para el control FUZZY.
- Al implementar un control FUZZY se obtuvo una mejor utilización de los elementos que conforman el módulo MPS COMPACT WORKSTATION, en particular el funcionamiento de la bomba puesto que en el control FUZZY implementado la bomba no está en un constante proceso de encendido y apagado como se lo hace en un control ON/OFF, en su lugar tiene un trabajo continuo con esto se consigue alargar la vida útil del mismo.

RECOMENDACIONES

- La velocidad de trabajo de la interface MPI debe ser la misma tanto en el PLC como en el panel SIMATIC OP 177B.
- Las direcciones IP de la PC y del módulo Ethernet CP-343 1 Lean de la CPU S7-313C, deben pertenecer a la misma red y máscara de red.
- Es recomendable abrir el programa realizado en InTouch en un monitor con una resolución de 1366 por 768 píxeles, para que no ocurran distorsiones en las ventanas de InTouch.
- Para empezar a realizar el control de nivel o presión se recomienda revisar el estado de las válvulas manuales, haciendo referencia a las condiciones iniciales para cada tipo de control.
- Para una correcta visualización, recolección y reporte de datos en el programa realizado en InTouch solo se debe utilizar la topología 2, la cual brinda una mayor velocidad debido a la comunicación Ethernet entre el PLC y la PC.
- El control de la planta solo se lo puede realizar desde un sitio a la vez, es decir si se realiza el control desde InTouch el panel SIMATIC se bloqueará y si se realiza el control desde el panel SIMATIC, InTouch solo podrá monitorear el proceso.

BIBLIOGRAFIA

1. ACKERMANN, R., & SCHWARZENBERGER, D. (25 de Noviembre de 2003). *S7 EduTriner Compact Operating instructions*. Denkendorf, Alemania.
2. ADIRO, J. (Diciembre de 2008). *MPS PA Compact Workstation Manual*. Esslingen, Alemania.
3. *catarina.udlap.mx*. (17 de Julio de 2009). Recuperado el 29 de Noviembre de 2012, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf
4. CREUS, A. (2005). *Instrumentación Industrial*. MARCOCOMBO S.A.
5. FESTO. (Marzo de 2009). *PA collection of data sheets*. Esslingen, Alemania.
6. Kepware Technologies . (2012). *KEPServerEX V5 Help*. Portland, Estados Unidos.
7. LOGITEK S.A. (s.f.). *Curso InTouch básico V7.1*. Barcelona, España.
8. *members.tripod.com*. (s.f.). Recuperado el 3 de Diciembre de 2012, de http://members.tripod.com/jesus_alfonso_lopez/FuzzyIntro2.html
9. SIEMENS. (2008). *Ayuda SIMATIC WinCC flexible 2008 Advanced*.
10. SIEMENS. (Octubre de 1999). *Comunicación con SIMATIC*. Nürnberg, Alemania.
11. SIEMENS. (Marzo de 2006). *SIMATIC Programar con STEP7 Manual*. Nürnberg, Alemania.
12. *SIMATIC WinCC flexible – Runtime Software*. (s.f.). Recuperado el 19 de Noviembre de 2012, de <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-runtime/Pages/Default.aspx>

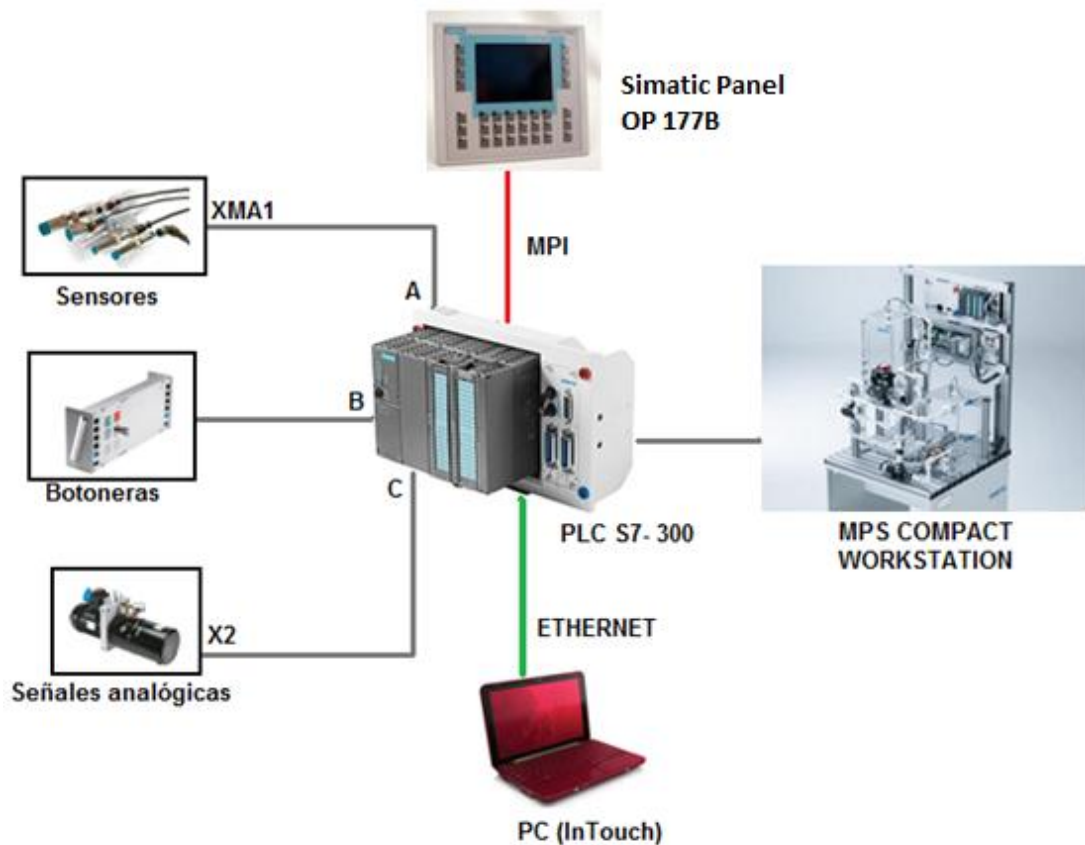
13. *SIMATIC WinCC flexible-Engineering Software* . (s.f.). Recuperado el 19 de Noviembre de 2012, de <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-engineering/Pages/Default.aspx>
14. *Sistemas SCADA2007* Barcelona MARCOMBO, S.A.
15. TRILLAS, E., & GUTIÉRREZ, J. (1992). *Aplicaciones de la lógica borrosa*. Madrid .
16. TRILLAS, E., & otros. (1995). *Introducción a la lógica borrosa*. Barcelona: Ariel, S.A.
17. *www.cintal.com.ve*. (s.f.). Recuperado el 26 de Noviembre de 2012, de <http://www.cintal.com.ve/tecnologia/argos/>
18. *www.dma.fi.upm.es*. (2 de Enero de 2008). Recuperado el 7 de Diciembre de 2012, de <http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/tutfuzzy/contenido3.html>
19. *www.ingenieria.peru-v.com*. (24 de Diciembre de 2010). Recuperado el 4 de Diciembre de 2012, de http://www.ingenieria.peru-v.com/logica_difusa/conjuntos_difusos.htm

ANEXOS

MANUAL DE USUARIO

DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LA ESTACIÓN LA PC Y EL PANEL TOUCH

Para el correcto funcionamiento del hardware es necesario verificar las siguientes conexiones en la estación MPS Compact Workstation:



- Cable A conectado en el concentrador de señales digitales, XMA1, y en el slot A del Edutrainer S7 313C.
- Cable B viene del módulo de Botoneras y se conecta en el Slot B del Edutrainer S7 313C.
- Cable C conectado en el concentrador de señales analógicas, X2, y en el slot C del Edutrainer S7 313C.

- Conectar la entrada de aire a la unidad de mantenimiento de la estación compact Workstation, la presión debe ser mayor a 4 bares y menor a 8 bares.
- Conectar la fuente de alimentación de 24 VDC al Edutrainner S7 313C.
- Con el cable Ethernet directo conectar del puerto Ethernet del PC a cualquier puerto Ethernet del Edutrainner, módulo CP343 1 Lean P1 o P2.
- Con el cable MPI con conector db9 a los dos extremos conectar del puerto MPI del Edutrainner S7 313C al puerto MPI del panel touch

REQUISITOS DE LA PC

- Sistema Operativo: Microsoft Windows XP, Service Pack 3
- Instalar Microsoft Office 2010
- Instalar Simatic Step 7 version 5.4
- Instalar WinCC Flexible 2008
- Instalar el software KEPServerEx versión 4.0.
- Instalar el software InTouch versión 8.0
- Dirección IP: 192.168.0.20
- Mascara de subred: 255.255.255.0
- Puerta de enlace predeterminada: 192.168.0.1

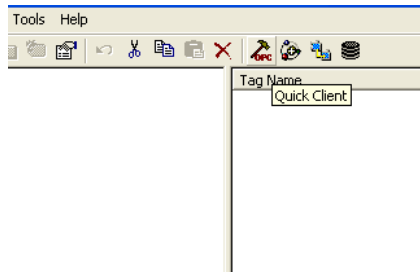
CARGAR PROGRAMA EN KEPSERVER

Copiar el archivo opcethernet de la carpeta TESIS_Espin_Ortega_2013, y pegarlo en el disco D.

Abrir el programa KEPServerEx.

Abrir el archivo opcethernet: File, Open, opcethernet

Clic en Quick Client



En la ventana OPC Quick Client, verificar que todos los datos perteneciente a la carpeta Ethernet 300.PLC300, adquieran un valor y que la columna Quality este en Good en todos los casos. Caso contrario verificar la configuración Ethernet de la PC.

Tag Name	Data Type	Value	Timestamp	Quality
,,PLC300.ANALOGOBOMBA	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BLOQUEOBOMBA	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BOMBA	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BOMBAANALOGO	Float	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BOMBAANUAL	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BOMBAPRESION	Float	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.BOMBAPRESION100	Float	29.4118	13:22:57:156	Good
,,PLC300.DIFERENCIANIVEL	Float	6.6727	13:22:57:156	Good
,,PLC300.ESCALAMIENTOFUJJO	DWord	429496725	13:22:57:156	Good
,,PLC300.ESCALAMIENTONIVEL	Float	1.26444	13:28:30:078	Good
,,PLC300.ESCALAMIENTOPRESION	Float	6.6727	13:22:57:156	Good
,,PLC300.INDSALIDACASIMMIN	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.INDSALIDAMEDIA	Boolean	0	13:22:57:156	Good
,,PLC300.INDSALIDAMIN	Boolean	0	13:22:57:156	Good

CARGAR PROGRAMA EN INTOUCH

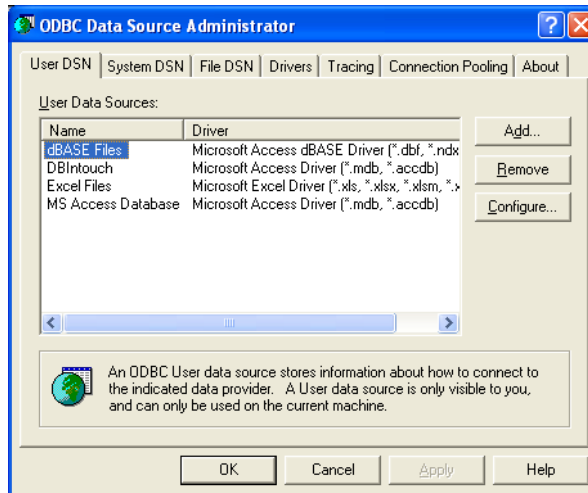
Requisitos

Copiar la carpeta TESIS LOGICA DIFUSA en el disco D.

Dentro de la carpeta TESIS LOGICA DIFUSA se encuentra el archivo BaseDatosInTouch, se lo copia y se lo pega en el disco D.

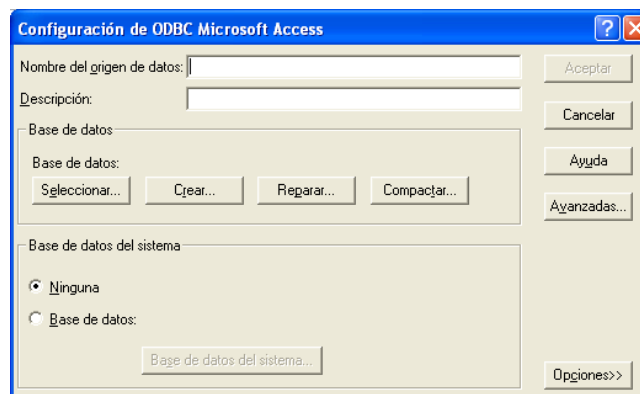
Generar el enlace de la base de datos

Se tiene que generar el enlace entre la Base de Datos y el InTouch para esto Ir a Panel de control, Herramientas Administrativas, Orígenes de datos ODBC.



Clic en add y elegir Microsoft Access Driver (*.mdb, *.acdb), clic en finish

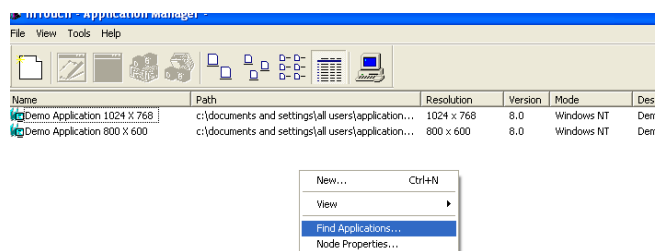
Llenar los campos Nombre de origen de datos y Descripción: DBIntouch, Base de datos 2012 respectivamente y en la opción Seleccionar se elige el archivo BaseDatosintouch de Microsoft Access que se pegó en el disco D.



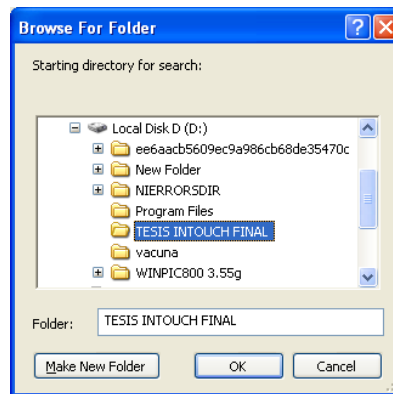
Abrir el proyecto de InTouch

Abrir el programa InTouch

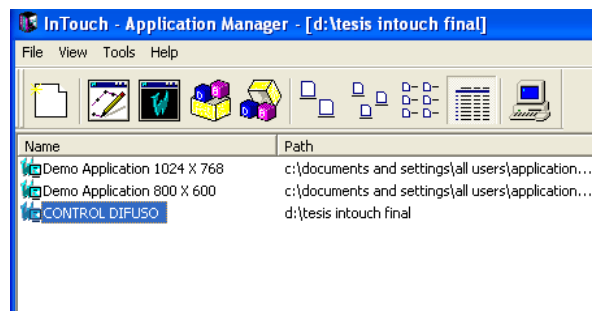
En la ventana InTouch – Application Manager clic derecho, Find application...



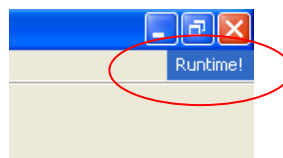
Luego elegir la carpeta del proyecto TESIS INTOUCH



Con lo que se añade el proyecto CONTROL DIFUSO a la columna Name, de la ventana InTouch – Application Manager.



Abrir el proyecto CONTROL DIFUSO, en la ventana InTouch WindowMaker clic derecho en Runtime.



FUNCIONAMIENTO DE INTOUCH

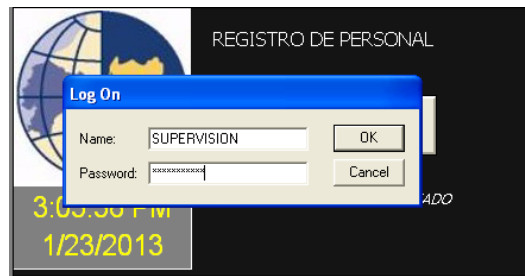
Iniciar sesión

Al iniciar el runtime de InTouch el proyecto empieza mostrando la ventana Login. Clic en el botón Login y se puede ingresar con los siguientes usuarios.

Name: SUPERVISION Password: supervision

Name: MONITOREO

Password: monitoreo



Si accede como SUPERVISION InTouch controla la planta y el Touch Panel OP 177B 6 " color PN/DP se bloquea

Si accede como MONITOREO, el Touch Panel OP 177B 6 " color PN/DP controla la planta e InTouch solo monitorea

Inicio y panel de navegación

Luego de ingresar correctamente el name y password inicia la ventana de Inicio, donde está configurado la carátula del proyecto y el menú con el cual se puede navegar dentro del proyecto.



TEMA: CONTROL DEL PROCESO DE NIVEL Y PRESION, MEDIANTE UN SISTEMA DE LOGICA DIFUSA, REALIZANDO UN HMI/SCADA

DIRIGIDO POR: Ing. JOHANNA CELI

IMPLEMENTADO POR:
- DAVID ESPIN
- EDISON ORTEGA

Quito, Octubre 2012



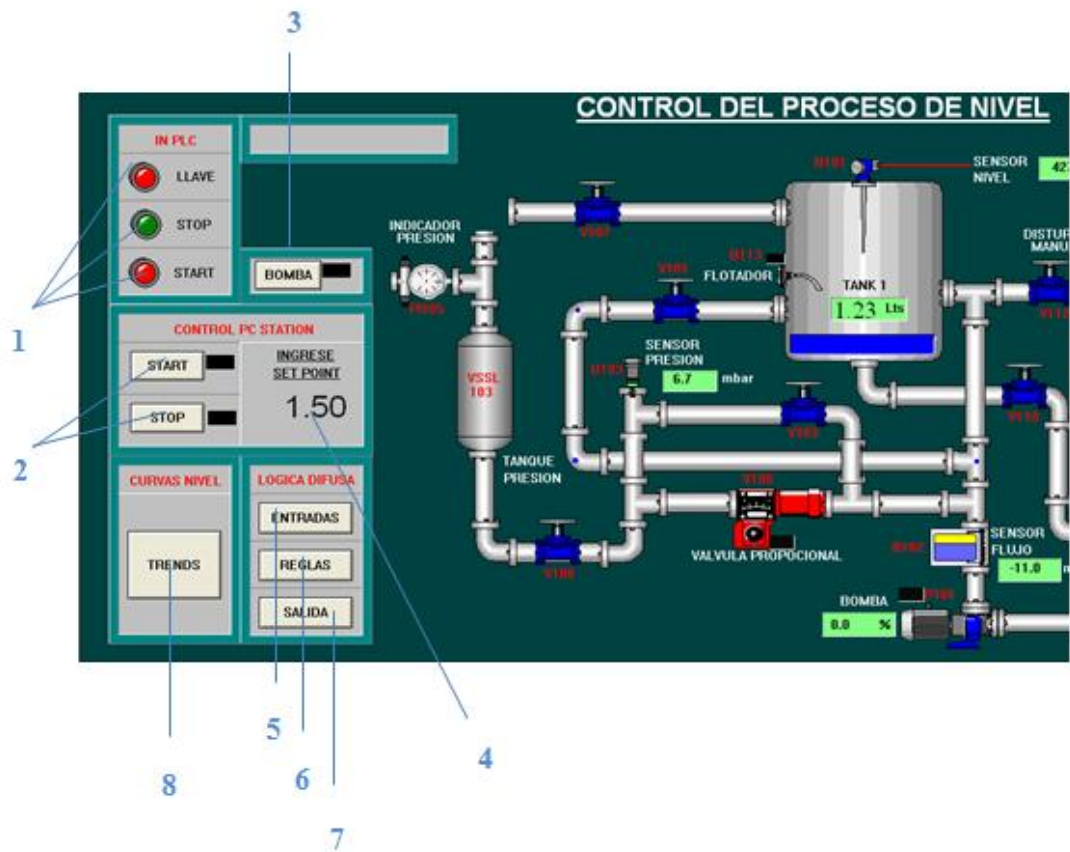
Menú de Navegación

El botón LOGOUT finaliza la sesión y regresa a la ventana Login.

Estado de la planta

El botón CONTROL DE NIVEL del menú de navegación activa la ventana Control del Proceso de Nivel.

La ventana Control del proceso de nivel donde se observa el Estado de la planta con los indicadores para la bomba y los sensores involucrados en el control de nivel, además de las siguientes funciones



1. Indicadores de las entradas al PLC correspondientes a las entradas E0.2, E0.1, E0.0 del PLC S7-313.
2. Son los botones de Start y Stop que se controlan desde InTouch.
3. Activa la bomba manualmente de manera digital, solo si se ha presionado el Stop anteriormente.
4. Ingreso del Setpoint de Nivel

5. Activa la ventana Fuzzyficacion que muestra cómo funciona el proceso de Fuzzyficacion dentro de la lógica difusa implementada para el control de nivel
6. Activa la ventana Reglas de Inferencia que muestra cómo funciona el proceso de Reglas de Inferencia dentro de la lógica difusa implementada para el control de nivel
7. Activa la ventana Defuzzyficacion que muestra cómo funciona el proceso de defuzzyficacion dentro de la lógica difusa implementada para el control de nivel
8. Activa la ventana TrendsNivel donde se muestra las curvas en tiempo real del control de nivel

Funcionamiento del control de Nivel

1. Condiciones iniciales:
 - Activar la entrada E0.2 correspondiente a la llave del módulo de Entradas.
 - Abrir las válvulas manuales V101, V103, V112 y cerrar las válvulas manuales V107, V108, V110, V109, V104.
 - El nivel de agua del tanque debe ser mayor a 1L, caso contrario activar la bomba manualmente con el Start del módulo de entradas, E0.0 del PLC S7-313C
2. Ingresar el valor de Set Point de nivel: Valor comprendido entre 1.5 y 9 L.
3. Ciclos de trabajo
 - **Ciclo de llenado:** si el nivel actual es menor que el Setpoint funciona el algoritmo de lógica difusa que controla el porcentaje de trabajo de la bomba, es decir que la salida difusa determina el porcentaje trabajo de la bomba de manera analógica. Ejemplo si la salida difusa es 55 % la bomba funciona al 55% de su capacidad.

- **Ciclo de vaciado:** si el nivel actual es menor que el Setpoint funciona el control ON/OFF que maneja el funcionamiento de la válvula solenoide de bola, V102. Esta se mantiene activa hasta que el Nivel Actual sea igual al Setpoint.
4. Mientras se realiza el ciclo de llenado es posible ver como se aplica la lógica difusa en sus diferentes etapas: Fuzzyficacion, Reglas de Inferencia, Defuzzyficacion. además de que se puede visualizar las curvas en tiempo real.

El botón CONTROL DE PRESION del menú de navegación activa la ventana Control del proceso de presión que tiene las mismas configuraciones que la ventana Control del proceso de nivel pero para las variables que se involucran en el proceso de presión.

Funcionamiento del control de Presión

1. Condiciones iniciales>
 - Activar la entrada E0.2 correspondiente a la llave del módulo de Entradas
 - Abrir las válvulas manuales V103, V108 y cerrar las válvulas manuales V101, V104, V107, V109, V110.
 - El valor de nivel de agua debe estar comprendido entre 1 y 2 L, caso contrario activar la bomba manualmente con el Start del módulo de entradas, E0.0 del PLC S7-313C.
2. Ingresar el valor de Set Point de Presión: valor comprendido entre 600 mbar y 2000 mbar.
3. Ciclo de trabajo
 - **Ciclo de subida:** si el nivel actual es menor que el Setpoint funciona el algoritmo de lógica difusa que controla en cuantas unidades se incrementara la palabra analógica cada 250 ms, es decir que si la salida

difusa es de 55 u/250 ms entonces el registro analógico de la bomba se encuentra en 12000 luego de 250 ms será 12055 y así sucesivamente dependiendo del valor que tenga la salida difusa.

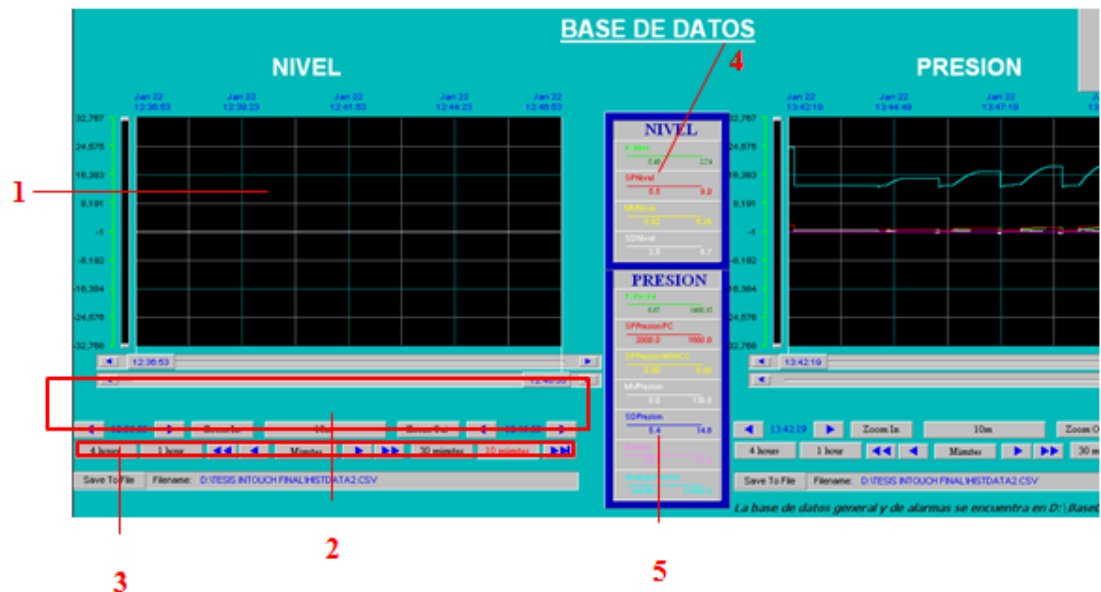
- **Ciclo bajada** si el nivel actual es menor que el Setpoint ingresado al cabo de 5 segundos el control se resetea para que el Setpoint sea mayor y funcione correctamente la lógica difusa
4. Mientras se realiza el control de presión es posible ver como se aplica la lógica difusa en sus diferentes etapas: Fuzzyficacion, Reglas de Inferencia, Defuzzyficacion. además de que se puede visualizar las curvas en tiempo real.

Alarmas

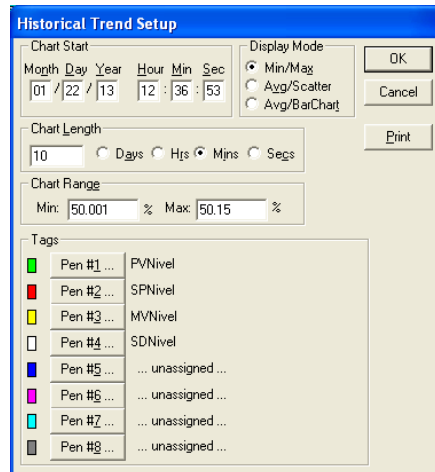
El botón ALARMAS del menú de navegación activa la ventana ALARMAS donde se visualizan el registro histórico de Alarmas con sus respectivos indicadores

Base de datos

En la ventana BASE DE DATOS se tiene los siguientes controles:



1. Visualizador de datos Históricos control de nivel : para poder visualizar los datos es necesario dar clic sobre el visualizador e ingresar los siguientes parámetros



- **Chart Start:** ingresar la fecha y hora desde donde se quiere visualizar los datos históricos siempre y cuando InTouch haya estado en el modo runtime
- **Chart Range:** Ingresar la escala del visualizador se recomienda los valores

Nivel: Min 50.0001 Max 50.15

Presión: Min 50.0001 Max 89

2. Controles de escala y: permite manipular la escala de tiempo del visualizador
3. Generar registro histórico: al dar clic en el botón Save to file se guarda el archivo HISTDATA2.csv en la ruta que se describe en el recuadro Filename, que puede ser cambiada. Este archivo se lo puede abrir con Excel
4. Labels para las curvas de nivel
5. Labels para las curvas de presión

El visualizador y los controles de la derecha se utilizan para poder visualizar los datos históricos para el control de presión.

Cada vez que se presione el botón save to file tanto del visualizador de nivel como del de presión el archivo HISTDATA2.csv se sobrescribe.

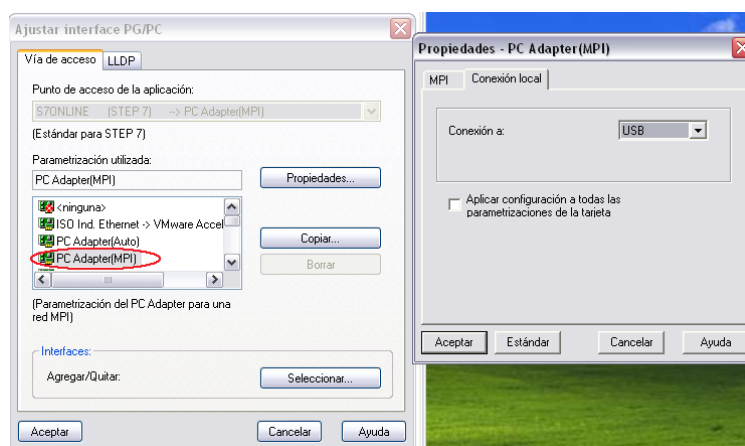
Además del registro que se genera cuando se presiona Save To File, cada vez que se ejecute el control de nivel, presión o se haya producido alguna alarma se llena el archivo BaseDatosIntouch ubicado en el Disco D. Este archivo contiene tres tablas de registro de datos correspondientes a las variables de nivel, presión y alarmas.

Diagrama de Instrumentación

El botón ESQUEMA del menú de navegación activa la ventana DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION que muestra los sensores, actuadores, válvulas manuales de la Estación MPS Compact Workstation

CARGAR EL PROGRAMA EN EL PLC S7-300

1. Abrir el programa Administrador SIMATIC.
2. Abrir el programa TESIS_LOGICA_DIFUSA que se encuentra en la carpeta TESIS_Espin_Ortega_2013.
3. Conectar el PLC al ordenador mediante el cable PC ADPTER USB.
4. Clic en herramientas y Configurar el ajuste interface PG/PC, elegir PC Adapter(MPI), clic en propiedades y configurar conexión USB.

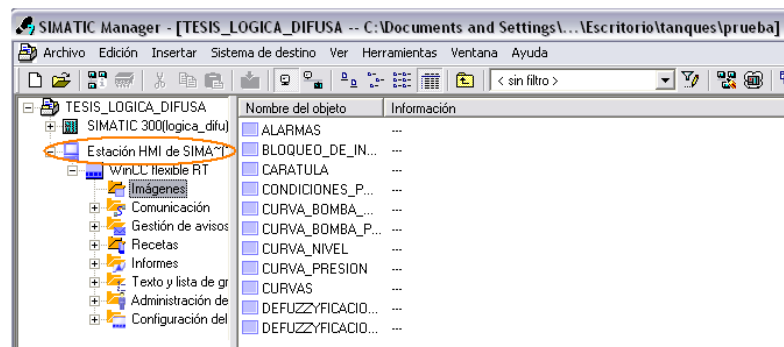


5. Seleccionar el programa SIMATIC 300(lógica_difu) y dar clic en el botón cargar, al realizar esta acción se cargarán a la CPU el bloque de organización, los bloques de datos, las funciones y el hardware.

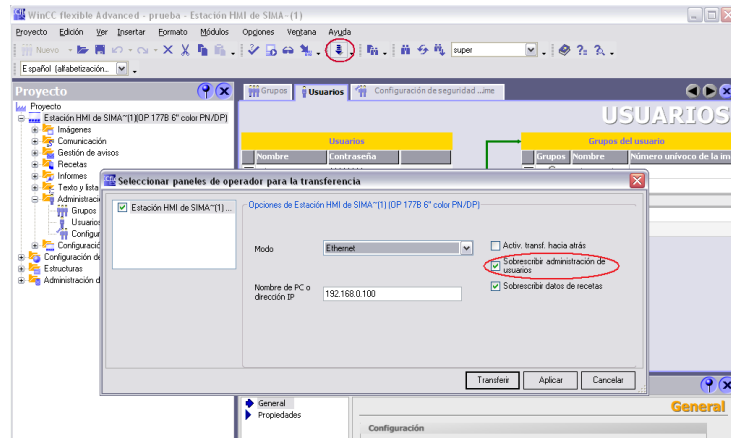


CARGAR EL PROGRAMA EN EL PANEL OPERADOR SIMATIC

1. Conectar el panel OP 177B 16'' al ordenador mediante un cable Ethernet directo.
2. Configurar la IP del panel y la IP del ordenador para que estén en la misma red y en la misma subred.
3. Abrir el programa de WinCC flexible desde el administrador de SIMATIC, para esto se selecciona la Estación HMI y se abre la carpeta imágenes.
4. A continuación se da doble clic en cualquier imagen y se inicia el programa WinCC flexible.



5. Para transferir el proyecto al panel se da clic en el botón transferencia, se muestra una ventana que pide el modo de transferencia y el nombre o dirección IP. En el modo de transferencia se elige Ethernet y en la dirección IP se coloca la dirección del panel que es 192.168.0.100.



6. Por último clic en transferir.

FUNCIONAMIENTO DE WINCC

Al iniciar el programa se presenta la carátula de presentación y un botón para iniciar sesión,

Se puede iniciar sesión como supervisor o monitoreo, en la siguiente tabla se muestra el nombre de usuario y contraseña.

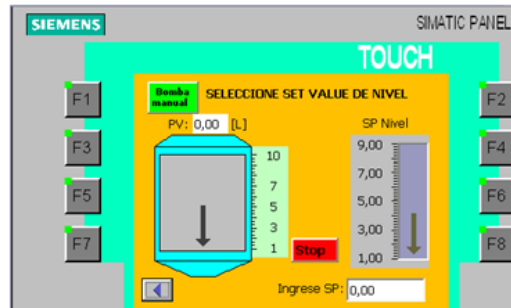
Usuario	Clave
Admin	admin
Monit	Monit
Super	Super

El usuario Admin esta creado por defecto en WinCC flexible.



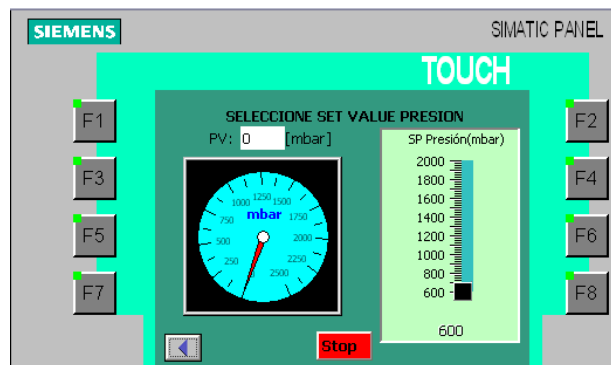
PANTALLA DE SELECCIÓN DEL SP DE NIVEL

Se puede seleccionar un setpoint desde 1,5 L. hasta 9L. La bomba se la puede activar manualmente solo si se ha presionado el botón Stop anteriormente. Si la planta está realizando un control de presión, no se podrá seleccionar un setpoint de nivel hasta que se termine el proceso de control de presión.



PANTALLA DE SELECCIÓN DEL SP DE NIVEL

Se puede seleccionar un setpoint desde 600 mbar hasta 2000. Si la planta está realizando un control de nivel, la barra para seleccionar el setpoint de presión estará inaccesible hasta que se termine el proceso de control de nivel.



PANTALLA DE LÓGICA DIFUSA.

En esta pantalla se puede observar todo el proceso del control difuso como la fuzzyficacion las reglas de inferencia, defuzzyficacion, etc.

POSIBLES PROBLEMAS

➤ No se puede cargar el programa al PLC.

1. Revisar la alimentación del PLC.
2. Verificar el estado del cable PC ADAPTER USB.
3. Comprobar la configuración de la interface PG/PC.
4. Verificar que el hardware sea el correspondiente

➤ No se puede cargar el programa al panel operador OP 177B 16”.

1. Verifique la alimentación del panel.
2. Verifique el estado del cable Ethernet y que sea directo.
3. Compruebe que la IP del ordenador y la IP del panel estén en la misma red y subred.

➤ No se puede leer los datos del PLC en InTouch

1. Verifique que el cable Ethernet sea de tipo de conexión directa.
2. Si el módulo CP343 - 1 lea esta encendido la luz indicadora de color rojo es posible que la dirección IP del PLC sea incorrecta
3. La dirección IP de la PC es incorrecta
4. Correr el software Quick Client del KEPServerEx.