



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“MONITORIZACIÓN Y CONTROL REMOTO VIRTUAL DE LA
PLANTA GUNT HAMBURG RT 450 DE NIVEL DEL
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, VÍA
INTERNET A TRAVÉS DEL WEB SERVER DE LABVIEW”**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentado por:

**Adrián Javier Gallardo Mena
José Luis Sánchez Gaona**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A todos los docentes que han compartido sus conocimientos y experiencias durante nuestra vida académica. En especial al Ing. Holger Cevallos por su guía y apoyo durante la elaboración de este proyecto.

DEDICATORIA

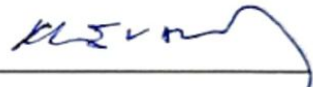
A nuestras familias
por todo el amor entregado
en esta etapa de la vida.

Adrián Javier Gallardo Mena
José Luis Sánchez Gaona

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



MSc. Sara Ríos O.
SUBDECANA DE LA FIEC



MSc. Holger Cevallos U.
DIRECTOR DEL PROYECTO

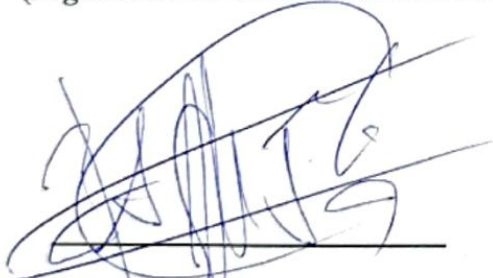


MSc. Efrén Herrera M.
MIEMBRO PRINCIPAL


DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Adrian Javier Gallardo Mena



José Luis Sánchez Gaona

RESUMEN

El Laboratorio de Instrumentación Industrial de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral dispone de las plantas GUNT Hamburg RT 450 en las cuales se implementan procesos de control de: nivel, temperatura, presión y caudal. Estos sistemas didácticos de automatización de procesos sirven para el entrenamiento de los estudiantes de la materia teórica.

En la actualidad, el control y manejo de las plantas antes mencionadas, se ejecuta desde las computadoras del laboratorio, con la limitación física que representa la ausencia de una persona en el lugar del proceso. Es de esta restricción de donde parte este proyecto, y, aprovechando el acceso a internet se espera realizar de forma remota las mismas acciones que son posibles ejecutar estando en contacto con la planta.

El presente proyecto desarrolla e implementa un sistema de monitorización y control vía internet de la planta de nivel. Para este objetivo se utiliza protocolo de comunicación industrial PROFIBUS DP y el entorno de programación gráfica LabVIEW.

Con esto se pretende dar el primer paso para la virtualización del laboratorio antes mencionado, logrando tener acceso remoto a una de las plantas a través de una página web, donde el profesor de la materia se encontrará en la capacidad de usarla como instrumento didáctico en sus clases teóricas.

Capítulo 1

Descripción de cada uno de los elementos que forman parte de la planta de entrenamiento Gunt HAMBURG RT 450 para la regulación de nivel, presentación del diagrama eléctrico y P&ID de la misma.

Capítulo 2

Implementación de la comunicación entre los instrumentos del proceso y el sistema de control remoto, a través del protocolo Profibus DP, descripción operativa de la tarjeta CIF50-PB que sirve con interfaz entre el proceso y la PC. Configuración de servidor y cliente para la comunicación entre instrumentos del sistema (OPC).

Capítulo 3

Desarrollo de la interfaz para el control de los dispositivos programables del proceso, utilizando el software LabVIEW. Identificación clásica del sistema para la obtención de parámetros aplicables al desarrollo de un controlador tipo PID. Creación de los paneles de control para el PLC y Digitric 500.

Capítulo 4

Creación del sistema de control para la planta de regulación de nivel vía internet.
Configuración del “Web Server LabVIEW” para alojamiento de las páginas web.
Descripción de “Web Publishing Tool LabVIEW” como herramienta para la creación de páginas web a partir de aplicaciones de control de procesos desarrolladas en LabVIEW.

Capítulo 5

Descripción del funcionamiento del sistema de control remoto de la planta de regulación de nivel. Puesta en marcha y configuración del computador servidor.
Detalle de los manuales de usuario para el funcionamiento del sistema de monitorización y control.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....
ÍNDICE GENERAL.....
ABREVIATURAS.....
SIMBOLOGÍA.....
ÍNDICE DE FIGURAS.....
ÍNDICE DE TABLAS.....
CAPÍTULO 1.....	1
1. Descripción de la Planta de Nivel GUNT Hamburg RT 450.....	1
1.1. Módulo Base RT450.....	1
1.2. Módulo controlador de nivel.....	4
1.3. Módulos Controladores.....	6
1.3.1. Módulo PLC MOELLER.....	6
1.3.2. Módulo Controlador Industrial ABB Digitric 500.....	8
1.4. Sensores, actuadores e indicadores.....	10
1.4.1. Sensor capacitivo de nivel ELOBAU.....	10
1.4.2. Válvula de accionamiento neumático SAMSON.....	11
1.4.3. Indicador digital PAXD.....	12

1.5.	Diagrama P&ID de la planta	13
1.6.	Diagrama eléctrico de conexiones	15
CAPÍTULO 2		2
2.	Implementación de la comunicación entre los instrumentos del proceso y el sistema de control	2
2.1.	Protocolo de comunicación Profibus DP	18
2.1.1.	Tarjeta de comunicación Hilscher CIF50-PB.....	22
2.2.	Incrustación y enlazado de objetos para control de procesos (OPC)	24
2.3.	OPC Servidor	26
2.3.1.	Configuración OPC para PLC MOELLER	33
2.3.2.	Configuración OPC para ABB Digitric 500.....	46
2.4.	OPC Cliente	58
2.4.1.	Configuración OPC cliente mediante LabVIEW	58
CAPÍTULO 3		18
3.	Desarrollo de la interfaz para el control del proceso en LabVIEW	18
3.1.	Obtención modelo matemático de la planta	62
3.1.1.	Adquisición de datos	64
3.1.2.	Análisis e Identificación	70
3.2.	Diseño panel de control para PLC MOELLER	78

3.2.1.	Sintonización de parámetros.....	83
3.2.2.	Diseño controlador PID.....	86
3.3.	Diseño panel de control para ABB Digitric 500.....	88
3.3.1.	Parametrización desde LabVIEW.....	93
3.4.	Prueba y Análisis de Resultados.....	95
CAPÍTULO 4.....		62
4.	Creación del sistema de control para la planta de nivel vía internet.....	62
4.1.	Internet aplicado al control de procesos.....	104
4.2.	Web Server LabVIEW.....	107
4.2.1.	Configuración del servidor web de LabVIEW.....	110
4.3.	Web Publishing Tool de LabVIEW.....	112
4.3.1.	Creación de paneles remotos.....	113
CAPÍTULO 5.....		104
5.	Manual de usuario del sistema de monitorización y control remoto.....	104
5.1.	Indicaciones generales.....	104
5.2.	Configuración en el computador servidor.....	118
5.3.	Control del proceso desde PLC MOELLER.....	124
5.4.	Control del proceso desde ABB Digitric 500.....	126
5.4.1.	Modo Manual.....	127

5.4.2. Modo Automático..... 127

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS.....

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ABB	Asea Brown Boveri
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Nertwork
EDO	Ecuación Diferencial Ordinaria
EDP	Ecuación Diferencial Parcial
FTP	File Transfer Protocol
IS	Intrínsecamente seguro
IP	Internet Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTML	HyperText Markup Language
K_c	Constante proporcional crítica
K_p	Constante proporcional
T_i	Tiempo integral
T_d	Tiempo derivativo
LED	Light-Emitting Diode (Diodo emisor de luz)
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
P&ID	Piping and Instrumentation Diagrams

P _c	Período crítico
PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
P	Proporcional
PD	Proporcional Derivativo
PI	Proporcional Integral
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Programmable Logic Controller
PROFIBUS	PROcessFIeld BUS
PROFIBUS PA	PROcessFIeld Process Automation
PROFIBUS DP	PROcessFIeld BUS Decentralized Peripherals
PROFIBUS FMS	PROcessFIeld Fieldbus Message Specification
PRBS	Pseudo Random Binary Signal
POMTM	Primer Orden Más Tiempo Muerto
POU	Program Organization Unit
OLE	Object Linking Embedding
OPC	OLE for Process Control
RBS	Random Binary Signal

RD	Receiving Data
REST	Representational State Transfer
SD	Sending Data
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOMTM	Segundo Orden Más Tiempo Muerto
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
URL	Uniform Resource Locators
VI	Virtual Instrument

SIMBOLOGÍA

KByte	Kilo-Byte
Kbps	Kilobit por segundo
Mbps	Megabit por segundo
Hz	Hertz
L	Litro
m	Metro
mA	Mili-amperio
mm	Milimetro
mV	Mili-voltio
Min	Minutos
m ³ /h	Metro cúbico por hora
psi	Pound per Square inch
Seg	Segundo
uA	Micro-amperio
V _{AC}	Voltaje alterno
V _{DC}	Voltaje continuo
W	Watts

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Módulo Base RT 450.....	2
Figura 1.2: Planta de Regulación de Nivel.....	3
Figura 1.3: Módulo controlador de nivel RT 450.01	4
Figura 1.4: PLC MOELLER.....	7
Figura 1.5: Controlador ABB Digitric 500	8
Figura 1.6: Sensor de nivel capacitivo ELOBAU 212KK05	10
Figura 1.7: Válvula de accionamiento neumático SAMSON 3760.....	11
Figura 1.8: Indicador digital PAX-P	12
Figura 1.9: Diagrama P&ID Planta Nivel según normas DIN 30600 e ISO 14617 ...	13
Figura 1.10: Diagrama Eléctrico de control Planta de Nivel	16
Figura 2.1 Comunicación Industrial Profibus	18
Figura 2.2: Profibus DP Esquema Maestro Esclavo	21
Figura 2.3: Tarjeta CIF50PB de Hilscher Universal.....	22
Figura 2.4: Descripción OPC	24

Figura 2.5: Arquitectura General OPC.....	25
Figura 2.6: SyCon: Ventana Principal	27
Figura 2.7: SyCon: Ventana para configuración bus de campo.....	28
Figura 2.8: SyCon: Insertar Maestro o Esclavo	29
Figura 2.9: SyCon: Ventana para insertar Maestro	30
Figura 2.10: SyCon: Ventana Bus de Campo con Maestro	30
Figura 2.11: SyCon: Ventana para ingresar Esclavo	31
Figura 2.12: SyCon: Bus de Campo.....	32
Figura 2.13: Sucosoft: Ventana Principal	33
Figura 2.14: Sucosoft: Barra de Herramientas	34
Figura 2.15: Sucosoft: Topología del PLC	35
Figura 2.16: Sucosoft: Ventana configuración módulo LE4-206-AA2.....	36
Figura 2.17: Sucosoft: Ventana configuración módulo LE4-504-BT1.....	36
Figura 2.18: Sucosoft: Declaración de variables.....	39
Figura 2.19: Sucosoft: Vinculo de variables para comunicación por Profibus.....	40
Figura 2.20: Sucosoft: Ventana Prueba y Puesta en servicio.....	41

Figura 2.21: SucoSoft: Ventana Gestor de Transferencias.....	42
Figura 2.22: SyCon: Venta configuración esclavo PLC	43
Figura 2.23: SyCon: Ventana configuración Symbolic Name.....	44
Figura 2.24: Dirección de variables PLC en módulo LE4-404-BT1	45
Figura 2.25: SyCon: Venta configuración esclavo ABB	46
Figura 2.26: SyCon: Ventana Parameter Data	48
Figura 2.27: SyCon: Ventana de carga de configuración bus de campo a la tarjeta CIF50PB.....	51
Figura 2.28: SyCon: Ventana en modo depuración	52
Figura 2.29: SyCon: Ventana Logical Network View	53
Figura 2.30: NI OPC Server: Ventana inicial	54
Figura 2.31: NI OPC Server: Agregar dispositivos	56
Figura 2.32: NI OPC Server: Sincronizar con SyCon Database	56
Figura 2.33: NI OPC Server: Creación bus de campo	57
Figura 2.34: NI OPC Server: OPC Quick Client	57
Figura 2.35: LabVIEW: Explorador de proyecto.....	58

Figura 2.36: LabVIEW: Configuración OPC Client.....	59
Figura 2.37: LabVIEW: Creación de variables para el OPC Cliente.....	60
Figura 2.38: LabVIEW: Explorador de proyecto con variables del OPC Cliente	60
Figura 3.1: Representación Sistema Dinámico	63
Figura 3.2: LabVIEW: Panel Frontal VI “Adquisición de datos”	67
Figura 3.3: LabVIEW: Diagrama de bloques VI “Adquisición de Datos”	69
Figura 3.4: LabVIEW: Estímulo y Respuesta Planta.....	70
Figura 3.5: LabVIEW: Paleta System Identification Toolkit.....	73
Figura 3.6: LabVIEW Herramienta SI Transfer Function Estimation.....	74
Figura 3.7: LabVIEW Asistente Conf. SI Transfer Function Estimation	75
Figura3.8: LabVIEW: Panel Frontal VI “Identificación”	76
Figura 3.9: Diagrama de bloques controlador PID ⁽¹⁴⁾	79
Figura 3.10: LabVIEW: Bloques PID	80
Figura 3.11: LabVIEW: Panel Frontal control PLC	81
Figura 3.12: LabVIEW: Diagrama de Bloques Simulación Planta.....	82
Figura 3.13: Sistema en lazo cerrado con control proporcional.....	84

Figura 3.14: Método Astrom y Hagglund: Señales Estímulo y Respuesta:	85
Figura 3.15: LabVIEW: Panel Frontal Simulación Planta.....	86
Figura 3.16: LabVIEW: PID Autotuning.....	87
Figura 3.17: Curva respuesta escalón planta nivel.....	89
Figura 3.18: Respuesta Escalón: parámetros de ganancia	90
Figura 3.19: LabVIEW: Panel Control desde ABB	93
Figura 3.20: LabVIEW: Diagrama Bloques panel control desde ABB	94
Figura 3.21: Diagrama de flujo de la identificación de sistemas ⁽¹⁷⁾	95
Figura 3.22: Curva de respuesta a diferentes estímulos.....	96
Figura 3.23: Curva de respuesta a diferentes modelos.....	98
Figura 3.24: Curva de respuesta apertura 60%	99
Figura 3.25: Curva de respuesta apertura 65%	99
Figura 3.26: Curva de respuesta apertura 70%	99
Figura 3.27: Curva de respuesta apertura 75%	100
Figura 3.28: Diagrama de bloques controlador y planta de nivel	101
Figura 3.29: Curva de respuesta planta con controlador PID (1).....	101

Figura 3.30: Curva de respuesta planta con controlador PID (2).....	102
Figura 4.1: Solicitud Cliente Servidor Protocolo HTTP.....	106
Figura 4.2: Capas Web Server LabVIEW Servidor-Cliente	108
Figura 4.3: LabVIEW: Ventana Ajustes Web Server	110
Figura 4.4: LabVIEW: Ajustes Web Server	111
Figura 4.5: LabVIEW: Ventana Web Publishing Tool.....	112
Figura 4.6: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 1	113
Figura 4.7: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 2	114
Figura 4.8: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 3	114
Figura 4.9: Página Web para el acceso al control remoto.....	115
Figura 5.1: Interruptor principal, pulsador parada de emergencia y alimentación de aire comprimido.	117
Figura 5.2: Vista de conexiones eléctricas y de comunicación de la planta de nivel	117
Figura 5.3: Mensaje de error cuando no se encuentra cargado VI en la memoria del computador servidor.....	120
Figura 5.4: LabVIEW: Abrir proyecto “Control Remoto”	121

Figura 5.5: LabVIEW Implementación del proyecto en computador servidor.....	121
Figura 5.6: LabVIEW: Dirección del VI ControlRemoto.vi.....	122
Figura 5.7: Vista Principal de página web para el control y monitorización vía internet.....	123
Figura 5.8: Vista Panel Control del proceso desde PLC: Pestaña DISEÑO PID	124
Figura 5.9: Vista Panel Control del proceso desde PLC: Pestaña CONTROL PLANTA	125
Figura 5.10: Vista Panel Control del proceso desde ABB Digitric 500.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Descripción de atributos para creación de variables en Sucosoft.....	38
Tabla 2.2: Descripción de Módulos PLC.....	45
Tabla 2.3: Lista de registros controlador ABB	47
Tabla 2.4: Descripción Módulos Controlador ABB	18
Tabla 3.1: Tipos de PID en LabVIEW.....	80
Tabla 3.2: Sintonización Lazo Cerrado Ziegler y Nichols.....	84
Tabla 3.3: Sintonización Lazo Abierto Ziegler y Nichols	91
Tabla 3.4: Comparación de estímulos.....	97
Tabla 3.5: Comparación de modelos matemáticos	98

CAPÍTULO 1

1. Descripción de la Planta de Nivel GUNTHamburg RT 450

El Laboratorio de Instrumentación Industrial de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, dispone de sistemas didácticos para la automatización de procesos, de la marca alemana Gunt HAMBURG, el elemento principal de estos sistemas es su módulo base RT 450, que junto a los diferentes módulos controladores, sensores y actuadores permiten identificar, controlar y simular procesos tales como: el control de regulación de presión, temperatura, caudal y nivel de un tanque.

Para nuestro caso en particular realizaremos la monitorización y control remoto de la planta de nivel de un tanque, esta planta consta de diferentes módulos que serán descritos a continuación.

1.1. Módulo Base RT450

El módulo base RT 450 representa, junto a los diferentes accesorios, un sistema de prácticas modular, totalmente flexible y abierto con el que se puede estudiar experimentalmente los fundamentos de la instrumentación y automatización de procesos (2).



Figura 1.1: Módulo Base RT 450

El módulo base, Figura 1.1, se encuentra constituido por una estructura de 1.65m de ancho x 1.80 de largo, el cual permite montar de forma rápida y segura los componentes necesarios para el respectivo ensayo. Este módulo contiene un sistema de alimentación de agua con depósito y bomba, un armario de distribución para la alimentación eléctrica, así como, conexiones, unidades de mantenimiento y reguladores de presión para un suministro externo de aire comprimido.

Datos Técnicos

Depósito de acero inoxidable fino: Capacidad 75 L.

Bomba centrífuga LOWARA

- altura de elevación máx.: 20m
- caudal máx.: 4m³/h
- consumo de potencia: 470W

Estructura de la planta de nivel

Para el sistema de control del nivel de un tanque al módulo base RT 450 se le acopla los componentes que se presentan en la Figura 1.2.



Figura 1.2: Planta de Regulación de Nivel

Lista de componentes y módulos agregados para este sistema:

- RT 450.01 Módulo del sistema controlado: nivel
- RT 450.10 Regulador continuo ABB Digitric 500
- RT 450.42 Módulo PLC MOELLER
- RT 450.21 Válvula de control
- RT 450.35 Sensor de nivel
- RT 450.13 Indicador digital

1.2. Módulo controlador de nivel

Este módulo funciona con agua como fluido de trabajo, se compone de un depósito de nivel de plástico transparente, Figura 1.3 El diseño del depósito permite que sea estanco cuando todas las llaves y las válvulas se cierran. Esta condición permite realizar experimentos de presión interna en el depósito. Por seguridad, el depósito dispone de una válvula de seguridad y de una cubierta protectora de plástico transparente (3).



Figura 1.3: Módulo controlador de nivel RT 450.01

El depósito tiene dispositivos para el montaje de un sensor de presión (RT 450.31) o de sensores de nivel (RT 450.35).

Datos Técnicos

Depósito

- Capacidad máxima 7L
- Altura de llenado: máx. 475mm
- Presión de servicio: 0...2bares

Manómetro:

0...2,5bares

Válvula de seguridad:

Ajustable entre 1...4bares

1.3. Módulos Controladores

Los módulos controladores en estos sistemas didácticos de procesos automatizados permiten realizar el control de los sensores y actuadores que intervienen. Para la planta de regulación de nivel se utiliza los módulos controladores: Regulador Continuo ABB Digitric 500 (RT 450.10) y Módulo PLC MOELLER (RT 450.42) cada uno con sus respectivos módulos de comunicación Profibus: Módulo Profibus DP para Regulador (RT 450.41) y Módulo Profibus DP para PLC (RT 450.43).

1.3.1. Módulo PLC MOELLER

El controlador de lógica programable PLC es de la marca MOELLER, Figura 1.4, se encuentra conformado por tres módulos:

- Módulo PS4-201-MM1: Módulo base del PLC, con entradas y salidas digitales.
- Módulo LE4-206-AA2: Módulo de lectura y escritura de señales analógicas de corriente.
- Módulo LE4-504-BT1: Módulo para comunicación Profibus.



Figura 1.4: PLC MOELLER

Todas las conexiones del PLC se encuentran pre-configuradas sobre conjuntos de terminales listos para su conexión que están en la parte posterior de la placa. El PLC viene con su propio software de programación, SUCOSOFT, proporcionado por el fabricante del PLC.

Este se encuentra equipado con el módulo Profibus RT 450.43 el cual permite su participación en la comunicación de la red Profibus (4).

Datos Técnicos del PLC

- 8 entradas digitales: 24 V_{dc}.
- 4 entradas analógicas: 10Bit, 4...20mA
- 6 salidas digitales: 24V_{DC}, máx. 100mA
- 2 salidas analógicas: 12Bit, 4...20mA
- Memoria de programa: 24kByte
- Módulo para comunicación Profibus

1.3.2. Módulo Controlador Industrial ABB Digitric 500

El controlador continuo industrial ABB Digitric 500 se encuentra incorporado en el módulo RT 450.10, Figura 1.5, es un controlador compacto utilizado para la instrumentación de los lazos de control en la automatización de procesos de pequeña y mediana escala. En sí es un controlador universal diseñado para realizar el control de tareas simples y complejas (5).



Figura 1.5: Controlador ABB Digitric 500

Este módulo regulador continuo universal permite configurar sus entradas y salidas fijas. Su controlador puede ser ajustado por: P, PI, PD, PID. La configuración y parametrización del regulador digital se realiza de manera manual por el teclado externo que posee o de manera remota a través de una computadora.

Datos técnicos del controlador

- 2 entradas analógicas: 4...20mA
- 2 salidas analógicas: 4...20mA
- 2 entradas digitales
- 2 salidas de relé

Junto a este módulo se encuentra agregado el módulo RT 450.41 el cual nos permite la comunicación Profibus DP del dispositivo regulador.

1.4. Sensores, actuadores e indicadores

1.4.1. Sensor capacitivo de nivel ELOBAU

Un detector o sensor de nivel capacitivo para líquidos, detecta variaciones en la capacitancia dieléctrica del medio, el módulo RT 450.35 cuenta con el sensor de nivel de la marca ELOBAU 212KK05 (6), Figura 1.6.



Figura 1.6: Sensor de nivel capacitivo ELOBAU 212KK05

Datos técnicos del controlador

- Voltaje de operación: 12-30 V_{DC}
- Señal de salida: 4-20 mA

1.4.2. Válvula de accionamiento neumático SAMSON

Es la válvula actuadora que permite controlar en porcentaje de 0 a 100% la apertura para la alimentación de fluido al tanque, posee un posicionador electroneumático de simple efecto de la marca SAMSON Tipo 3760, Figura 1.7, forma parte de la válvula de control. El vástago de la válvula es gobernado por una membrana accionada neumáticamente. En ausencia de energía auxiliar, la válvula de control electroneumática se mantiene en posición de seguridad “cerrada” (7).



Figura 1.7: Válvula de accionamiento neumático SAMSON 3760

La magnitud guía es una señal eléctrica normalizada de 4 a 20 mA o una señal neumática de 3 a 15 psi.

1.4.3. Indicador digital PAXD

El indicador digital PAX-P, Figura 1.8, es un aparato muy flexible para medir y visualizar señales de procesos. Se encuentra con el módulo RT 450.13. Este indicador digital puede procesar señales de entrada de 0-20 mA, 4-20 mA o 0-10 VDC.



Figura 1.8: Indicador digital PAX-P

La carcasa de plástico robusto y su alto tipo de protección permiten un uso en ambientes industriales adversos. La pantalla regulable con dígitos LED de 14 mm de altura garantiza una lectura segura de los valores de medición, incluso en condiciones luminosas adversas (8).

Datos técnicos

- Entrada: 0/4 – 20 mA o 0 – 10 V
- Cuota de medición: 20 mediciones por segundo
- Resolución de corriente: 1 uA
- Resolución de tensión: 1 mV
- Precisión (18 °C – 28 °C): Corriente: 0,03 % del valor de medición + 2uA Tensión: 0,03 % del valor de medición + 2mV

1.5. Diagrama P&ID de la planta

El diagrama de flujo del proceso de la planta de nivel se muestra a continuación:

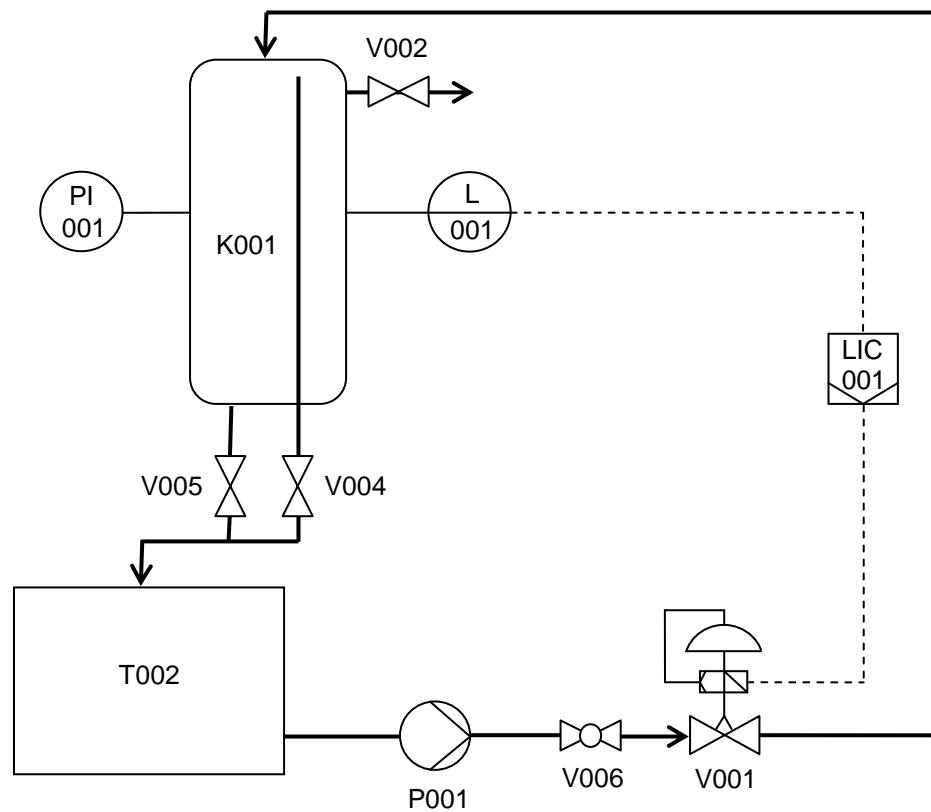

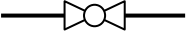
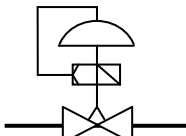
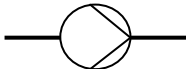
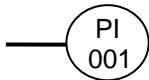
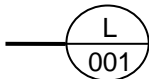

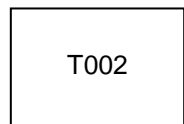
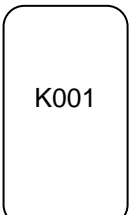


Figura 1.9: Diagrama P&ID Planta Nivel según normas DIN 30600 e ISO 14617

Símbolos utilizados en el diagrama P&ID

En concordancia con las normas DIN 30600 e ISO 14617, se utilizan los siguientes símbolos:

Válvula, en general	V001 
Llave de paso	 V006
Válvula reguladora, accionada neumáticamente, regulador de posición	 V001
Bomba, en general	 P001
Punto de indicación	
Punto de medición con evaluación a distancia	
Regulador de nivel con indicación	
Reservorio, sin presión	 T002
Reservorio a presión	 K001

1.6. Diagrama eléctrico de conexiones

Para la implementación del sistema de monitorización y control remoto de la planta de nivel se tuvo que agregar al sistema eléctrico ya existente un juego de relés junto a borneras que nos permitan conmutar el actuador entre el control con el PLC o el controlador ABB, además del acceso al encendido y apagado de la bomba. Que será controlado a través de salidas digital del PLC Moeller. A continuación se presenta el esquema de lo antes mencionado.

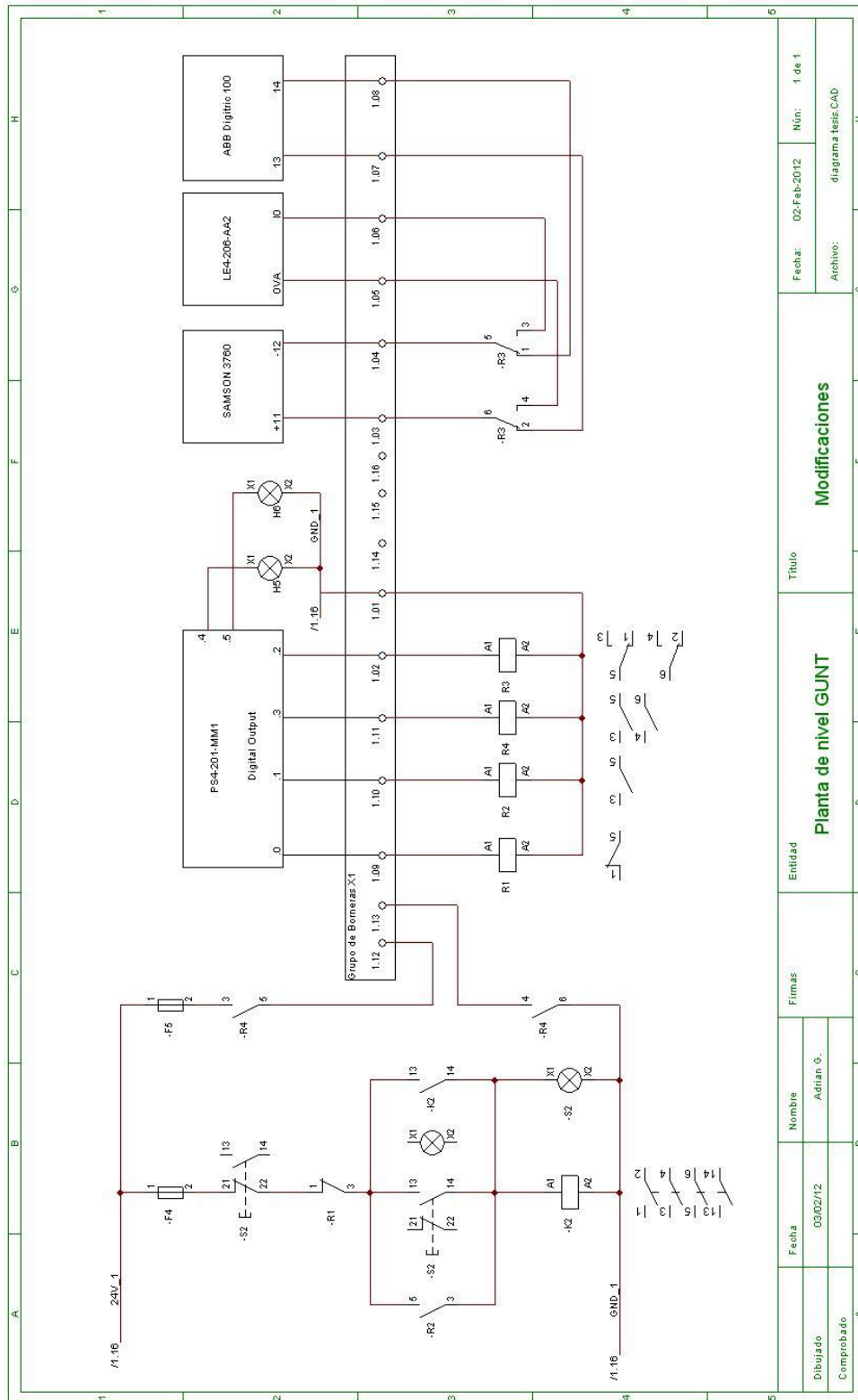


Figura 1.10: Diagrama Eléctrico de control Planta de Nivel

Dibujado		Fecha		Entidad		Título		Fecha		Núm.	
Comprobado		03/02/12		Filmas		Planta de nivel GUNT		02-Feb-2012		1 de 1	
						Modificaciones		diagrama tesis CAD			
								Archivo:			

CAPÍTULO 2

2. Implementación de la comunicación entre los instrumentos del proceso y el sistema de control

En el control de un proceso industrial es fundamental definir el tipo de comunicación entre los diferentes sensores, actuadores, módulos controladores e interfaz de monitorización y control. Esta se da a través de un bus de campo el cual es un sistema de transmisión de información que cumple con el objetivo de suprimir las conexiones punto a punto¹ entre los elementos del proceso y el equipo de control.

La planta de nivel posee comunicación PROFIBUS DP, a través de este bus de campo se realiza la transmisión en dos vías entre la computadora servidor y los diferentes instrumentos. La comunicación se base en la arquitectura servidor-cliente² bajo la incrustación y enlazados de objetos para el control de procesos, OPC, de tal manera que se posee una computadora servidor con la tarjeta de Hilscher CIF50-PB y con el software de desarrolla gráfico LABVIEW se crea el cliente para la administración de las variables del proceso.

¹ Las redes punto a punto son aquellas que responden a un tipo de arquitectura de red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos, en contraposición a las redes multipunto, en las cuales cada canal de datos se puede usar para comunicarse con diversos nodos. (29)

² La arquitectura cliente-servidor es un modelo de aplicación distribuida en el que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos o servicios, llamados servidores, y los demandantes, llamados clientes. (29)

2.1. Protocolo de comunicación Profibus DP

PROFIBUS es un estándar de comunicaciones para buses de campo instalados con la finalidad de monitorear y controlar procesos industriales. Se deriva de las palabras PROcessField BUS (10).

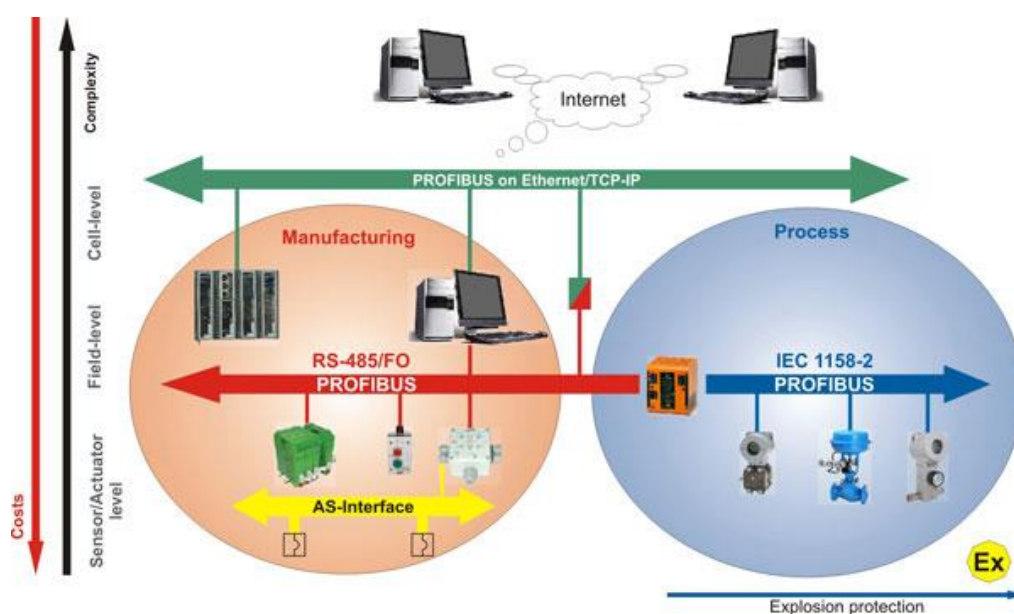


Figura 2.1 Comunicación Industrial Profibus³

Este estándar se clasifica según su funcionalidad en:

Profibus-DP (Periferia Descentralizada)

- Optimizado para alta velocidad y costo reducido.
- Intercambio de datos cíclico.
- Transferencia de pequeñas cantidades de datos.

³ Imagen tomada de PROFIBus PROTOCOL Technology Overview
<http://www.smaruk.co.uk/profibus.asp> fecha de consulta abril 2012

- Plug & Play.
- Diseñado especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas en procesos de manufactura.

Profibus-PA (Automatización de Procesos)

- Básicamente es la ampliación de Profibus-DP con una tecnología apta para ambientes peligrosos y con riesgo de explosión.
- Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común en áreas especialmente protegidas.
- Comunicación de datos y energía en el bus mediante el uso de 2 conductores.
- Destinado a reemplazar la tecnología en lazo 4 a 20 mA en instrumentación y control.

Profibus-FMS (Fieldbus Messages Specifications)

- Diseñado para un gran número de aplicaciones y comunicaciones al nivel de célula, donde computadoras y controladores se comunican entre sí.
- Comunicaciones de propósito general, supervisión, configuración.
- Transmisión de grandes cantidades de datos: programas y bloques de datos.
- Intercambio acíclico de datos con tiempos no críticos, par a par, entre estaciones inteligentes.

Profibus tiene, conforme al estándar, cinco diferentes tecnologías de transmisión, que son identificadas como:

- RS-485 utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre 9.6 Kbps y 12 Mbps Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.
- MBP (Manchester Coding y Bus Powered) es transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31.25 Kbps
- Las dos versiones anteriores también se pueden encontrar con protección tipo IS (Intrínsecamente Seguro), utilizadas en zonas clasificadas.
- Fibra óptica incluye versiones de fibra de vidrio multimodo y monomodo, fibra plástica y fibra HCS.

Profibus DP está actualmente disponible en tres versiones:

- DP-V0. Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones
- DP-V1. Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización
- DP-V2. Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas

Desde el punto de vista del control de las comunicaciones, el protocolo Profibus es de tipo maestro – esclavo, Figura 2.2, el cual permite:

- Aplicaciones mono-maestro. Un solo maestro está activo en el bus, usualmente un PLC. Los demás dispositivos son esclavos. Este esquema es el que facilita los ciclos de lectura más cortos
- Aplicaciones multi-maestro. Más de un maestro pueden ser aplicaciones de sistemas independientes, en que cada maestro tenga sus propios esclavos u otro tipo de configuraciones con dispositivos de diagnóstico (11).

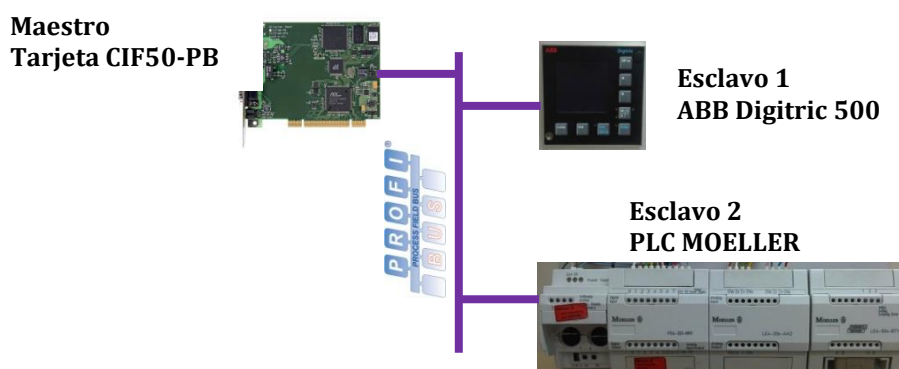


Figura 2.2: Profibus DP Esquema Maestro Esclavo

En el sistema de control de la planta de nivel del laboratorio de instrumentación contamos con comunicación Profibus DP-V0 Maestro-Esclavo, donde el maestro es la tarjeta CIF50 PB y los esclavos son el controlador industrial ABB Digitric 500 junto al PLC MOELLER. La tecnología de transmisión es cableada a través de RS-485.

2.1.1. Tarjeta de comunicación Hilscher CIF50-PB

Es una tarjeta que sirve como interfaz de comunicación PCI PROFIBUS-DP/FMS-Master que se encarga del intercambio de datos entre los dispositivos conectados al bus de campo y el PC, la cual se adapta en los conectores PCI del PC. El intercambio de mensajes de datos orientados se maneja a través de un buzón en la memoria de doble puerto (12).



Figura 2.3: Tarjeta CIF50PB de Hilscher Universal

La configuración se lleva a cabo a través del software SyCon. Se comunica a través del controlador de dispositivo o CIF a través de TCP/IP⁴ a un PC a distancia o a través de una conexión en serie entre el puerto COM de la PC y la interfaz de diagnóstico de la CIF.

⁴ TCP/IP, hace referencia a los dos protocolos más importantes de Internet: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP), fueron dos de los primeros en definirse, y que son los más utilizados de la familia de protocolos.

Datos Técnicos

Interfaz Bus: PCI

- Dual-Port-Memory: 8Kbyte

Interfaz Profibus: EN 50170

- Velocidad de transmisión: 9.6Kbaud a 12Mbaud
- Conector: ASPC2
- Interface: RS485, con aislamiento óptico
- Conector: Dsub-female conector 9-pin

Interfaz de diagnóstico: RS232C, no aislado

- Conector: Dsub-maleconnector 9-pin

Voltaje de funcionamiento: 5V \pm 5% / 650 mA

Temperatura de funcionamiento: 0° C – 55° C

Dimensiones: 134 x 107 x 20 mm

2.2. Incrustación y enlazado de objetos para control de procesos

(OPC)

El OPC (OLE for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interface común para comunicación que permite que componentes individuales interaccionen y compartan datos. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente – Servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca este.

Es una solución abierta y flexible al clásico problema de los drivers propietarios. Este estándar de comunicación se encuentra incluido prácticamente en todos los mayores fabricantes de sistemas de control, instrumentación y de procesos (13).

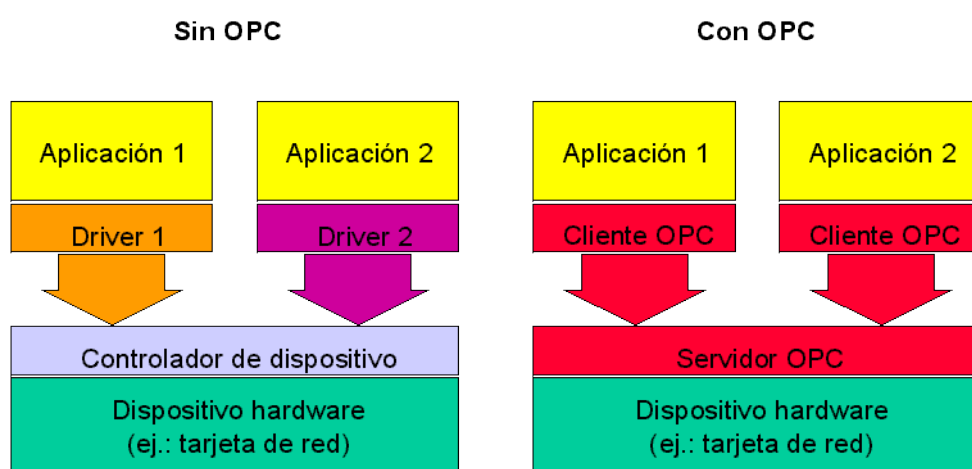


Figura 2.4: Descripción OPC

El estándar OPC en su arquitectura de una red consta de al menos de 3 partes:

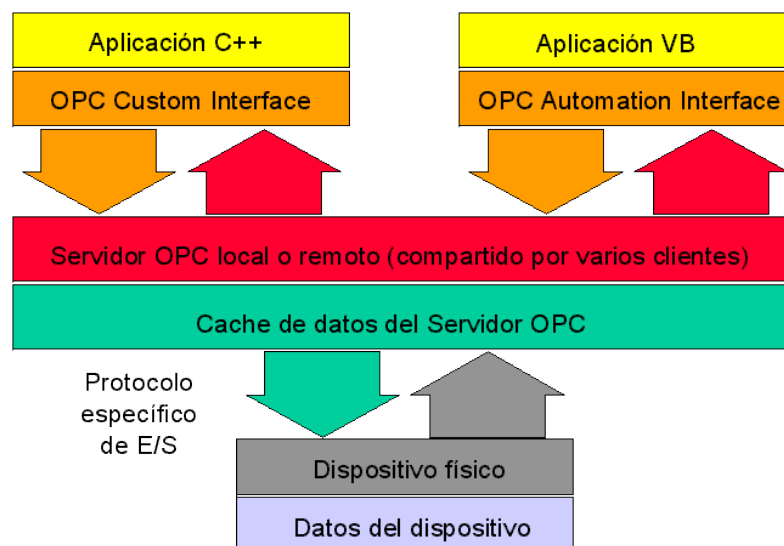



Figura 2.5: Arquitectura General OPC

Dispositivo (PLC, controlador, sensores, actuadores, etc.) o aplicación (base de datos, fichero de Excel, etc.) de cualquier marca o fabricante, el cual genera o contiene los datos que se desea obtener.

Servidor OPC es un software que “conoce” el lenguaje propietario del Hardware o Software de dónde sacará los datos. En nuestro caso National Instruments OPC Servers cumple con esta función.

Ciente OPC es un software que tiene implementadas las especificaciones estándar y que puede comunicarse con cualquier Servidor OPC. Para este proyecto LabVIEW administra al cliente.

2.3.OPC Servidor

Para este proyecto, en la implementación del servidor se utiliza la herramienta NI OPC Servers  la cual es una aplicación proporcionada por National Instruments que sirve de medio para llevar los datos y la información a través del bus de campo y el software LabVIEW.

Para cumplir con este objetivo se debe realizar la configuración del bus de campo en el software SyCon que es proporcionado por el fabricante Hilscher, este es un sistema universal con un configurador de escritorio de usuario unificado para todas las tarjetas de PC de este fabricante.

Configuración bus de campo en SyCon

Se ingresa al software desde la siguiente dirección en Windows: *Menú Inicio*

/ Todos los programas / SyCon System Configurator/ SyCon 

En la ventana principal del programa SyCon, Figura 2.6, se procede a realizar la configuración de los diferentes módulos maestros y esclavos que van a participar en la comunicación Profibus.

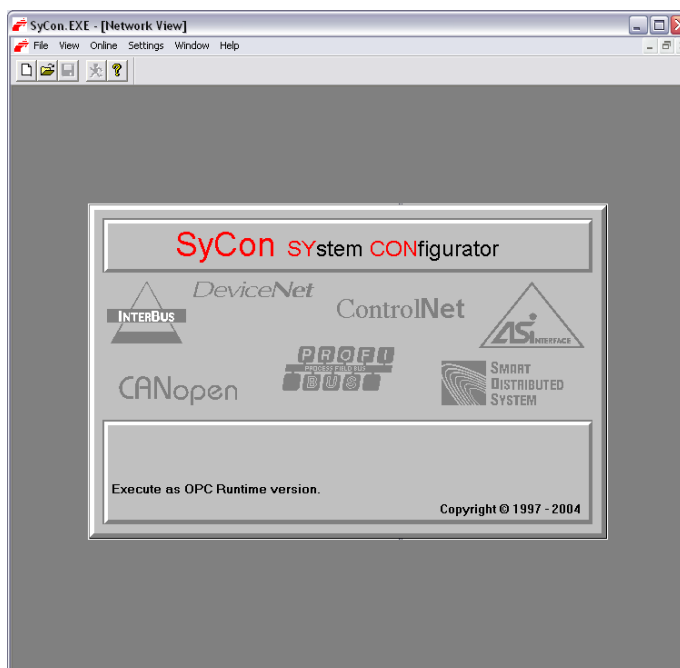


Figura 2.6: SyCon: Ventana Principal

Ya en SyCon en el Menú *File/ New*. Se presenta una pantalla en blanco, Figura 2.7, separada por una línea vertical negra para la implementación del bus de campo.

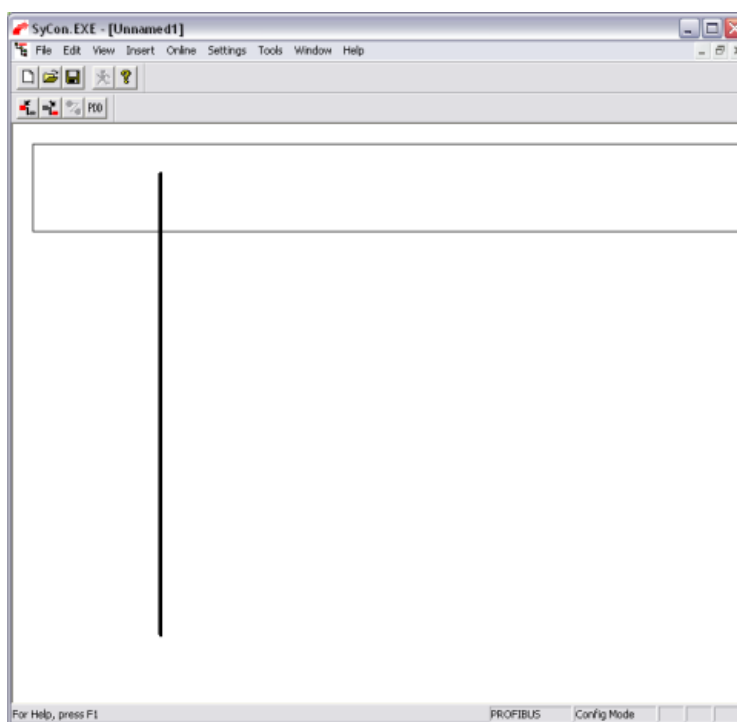


Figura 2.7: SyCon: Ventana para configuración bus de campo

En esta pantalla a la izquierda de la línea negra se insertan los maestros y a la derecha los esclavos que van a participar en la comunicación. Para guardar seleccionamos en el Menú *File /Save*. Se escribe un nombre y se guarda. Debemos tener presente que en Tipo debe ser PROFIBUS (*.pb).

Para insertar los Maestros y Esclavos accedemos al Menú *Insert* o desde la barra de acceso directo, Figura 2.8.

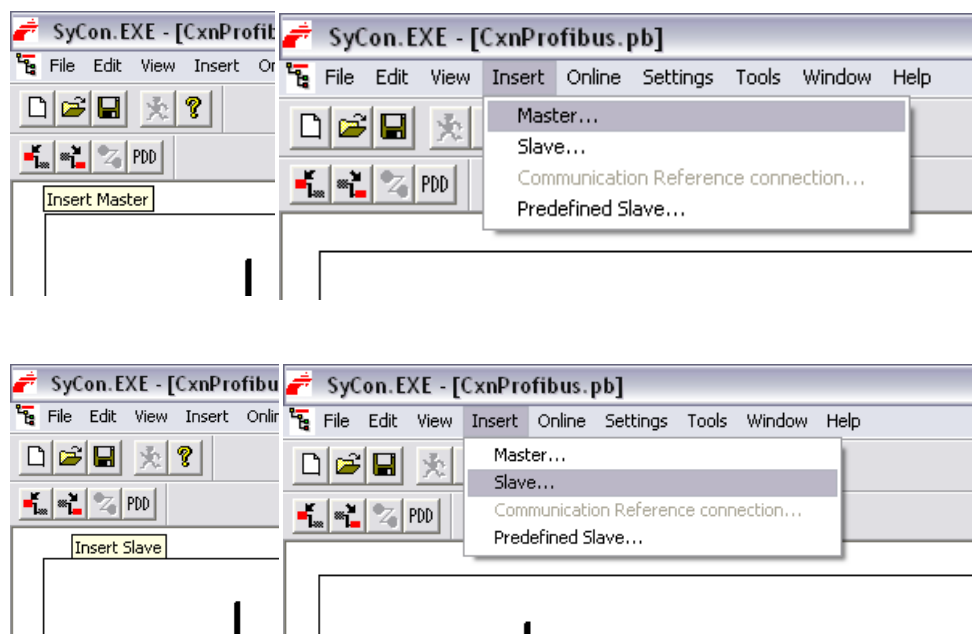


Figura 2.8: SyCon: Insertar Maestro o Esclavo

En la implementación de este proyecto el maestro es la tarjeta CIF50-PB, que fue seleccionada de los maestros disponibles, Figura 2.9, y dando clic a la opción *Add>>*, se procede a la configuración:

Dirección de la estación: 0

Descripción: PC

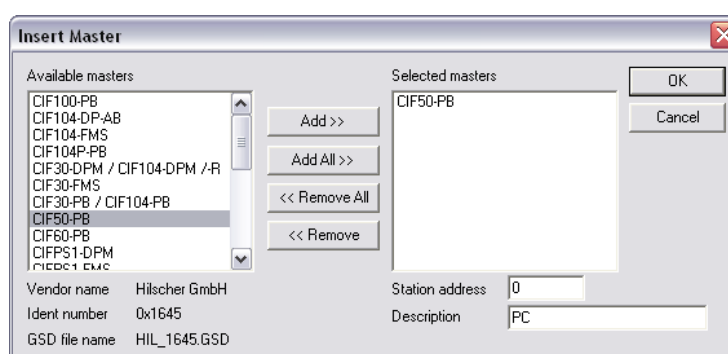


Figura 2.9: SyCon: Ventana para insertar Maestro

Seguido de esto se selecciona la casilla de *OK* con lo que se inserta al maestro de la comunicación Profibus, Figura 2.10.

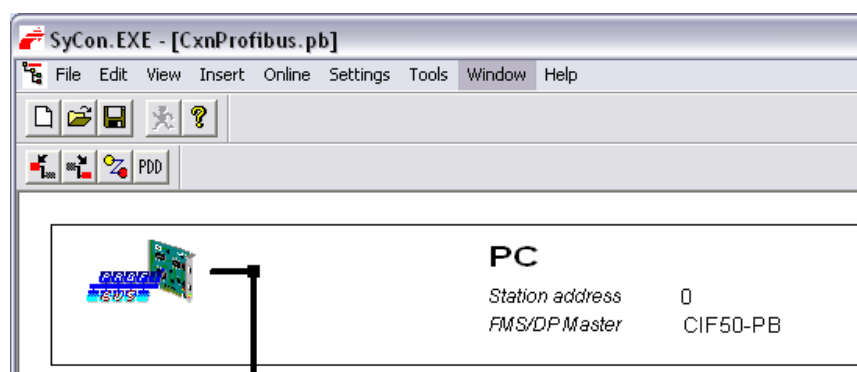


Figura 2.10: SyCon: Ventana Bus de Campo con Maestro

Para el ingreso de los esclavos se escoge a los diferentes dispositivos a comandar, el controlador ABB Digitric 500 y PLC MOELLER son los esclavos en este proyecto.

Seleccionando y agregando con el botón *Add>>* a los esclavos antes mencionados y configurando los siguientes parámetros respectivamente.

Figura 2.11.

Esclavo: Protonic/Digitric

Dirección de la estación: 1

Descripción CONTROLADOR_ABB

Esclavo: LE4-504-BT1

Dirección de la estación: 2

Descripción PLC_MOELLER

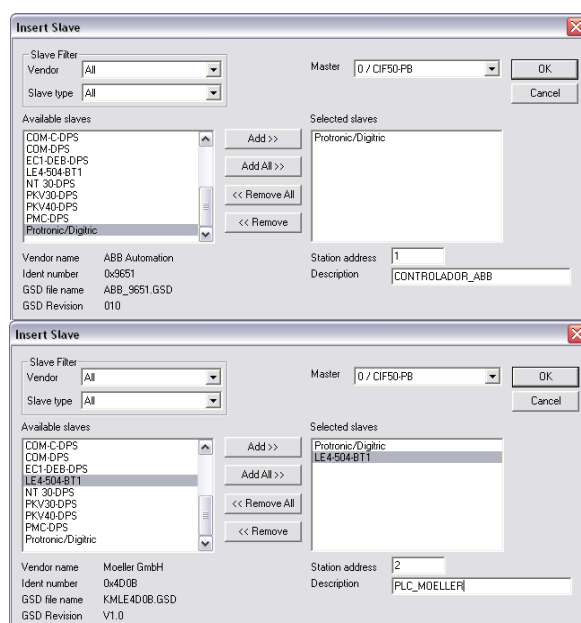


Figura 2.11: SyCon: Ventana para ingresar Esclavo

Con la selección de *OK* se tendrá la ventana con el maestro y los esclavos ya insertados, listos para ser configurados, Figura 2.12.

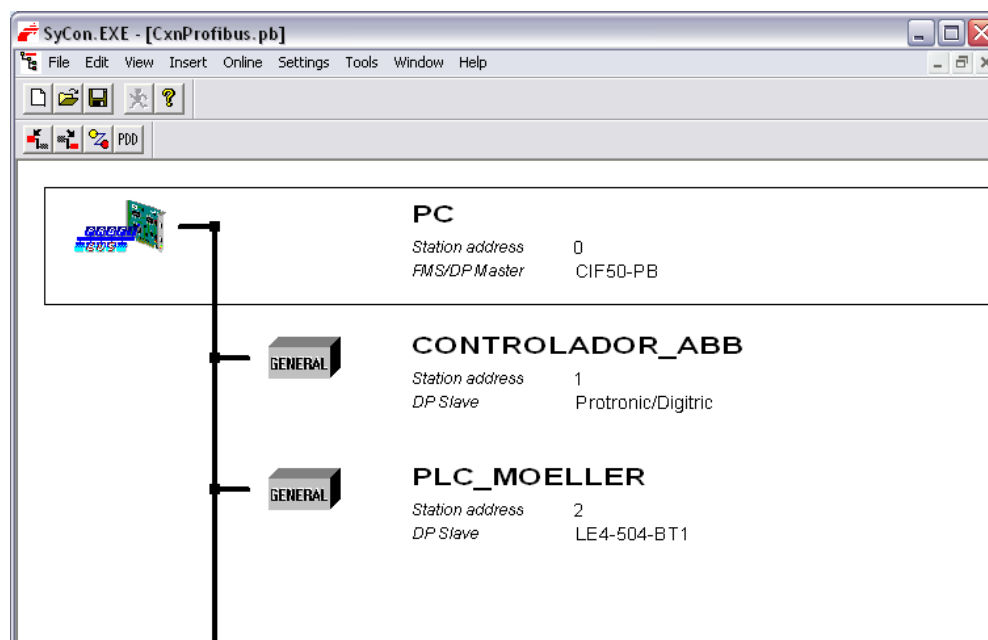



Figura 2.12: SyCon: Bus de Campo

2.3.1. Configuración OPC para PLC MOELLER

Previo a realizar la configuración de los registros a leer o escribir a través del bus de campo implementado en SyCon, se debe desarrollar y cargar al PLC un programa que permita utilizar al módulo LE4-504-BT1 como enlace de comunicación Profibus para las señales de entrada y salida que van a ser administradas por este controlador.

Desarrollo de programa en Sucosoft

Se ingresa al programa ubicado en Windows: *Menú Inicio / Todos los programas / Moeller Software/S40 5.0/Sucosoft 5.02* 

Con esto, abre la ventana principal de este software proporcionado por el fabricante del PLC, Figura 2.13.

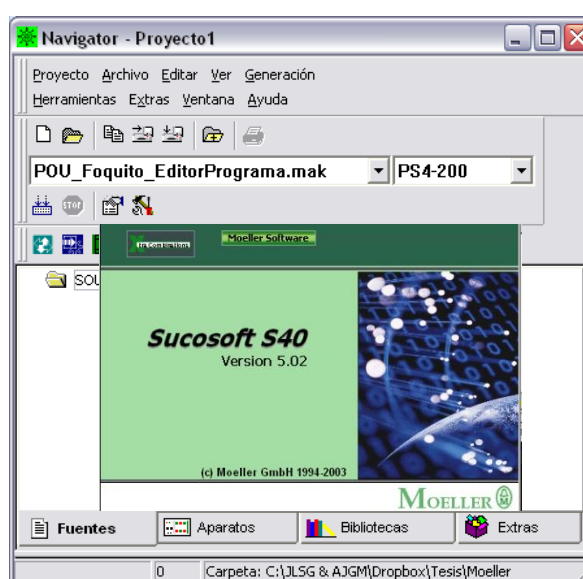


Figura 2.13: Sucosoft: Ventana Principal

Se crea un nuevo proyecto desde el Menú *Proyecto/ Nuevo*. Asignandouna ubicación en memoria y un nombre, se finaliza dando clic en *Ok*.

En el nuevo proyecto se crearán varios archivos a partir de las herramientas, Figura 2.14, los cuales se describen a continuación:

- Archivo con la topología del controlador para definirla conexión de los modulos presentes en el PLC.
- Archivo con la programación POU para el enlace de las todas las variables que participan en la comunicación Profibus.

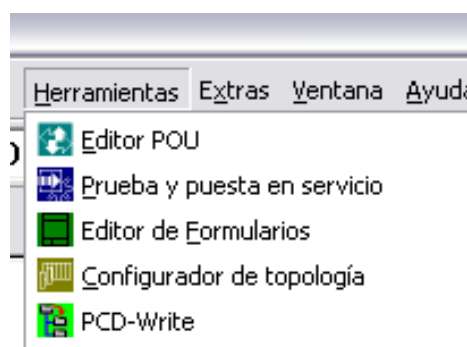


Figura 2.14: Sucosoft: Barra de Herramientas

En el archivo de topología del PLC se inserta cada uno de los módulos presentes en la planta de nivel, tal como lo muestra la Figura 2.15.

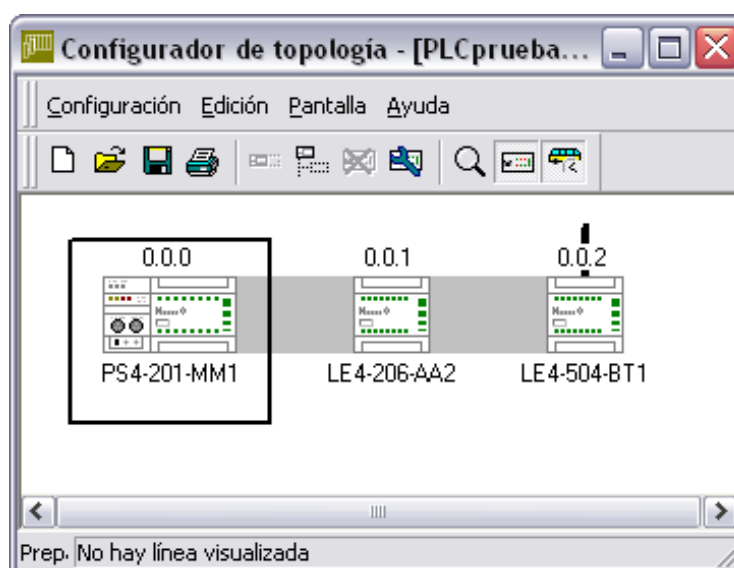


Figura 2.15: Sucosoft: Topología del PLC

Estos módulos son insertados a través del menú *Edición / Expansión Local*. Se debe recordar la dirección que va adquiriendo cada módulo, ya que con esta dirección será utilizada en el archivo POU de programación, para declarar las variables de recepción o transmisión según sea el caso. Así las direcciones de los módulos son las siguientes:

- Módulo PS4-201-MM1: 0.0.0 (I/O digitales)
- Módulo LE4-206-AA2: 0.0.1 (I/O analógicas)
- Módulo LE4-504-BT1: 0.0.2 (Comunicación Profibus)

Sobre el módulo LE4-206-AA2 con un doble clic, Figura 2.16, se configura el rango de las entradas y salidas analógicas que para nuestro caso va a ser de 4 a 20mA respectivamente.

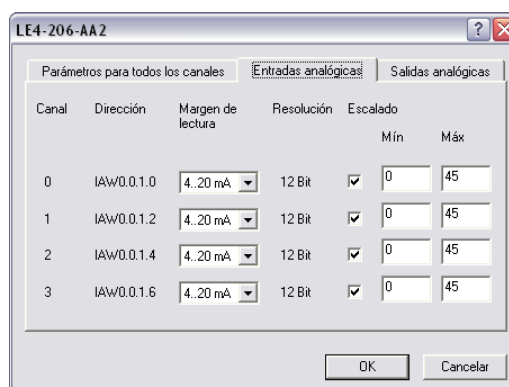


Figura 2.16: Sucosoft: Ventana configuración módulo LE4-206-AA2

Ahora bien, en el módulo LE4-504-BT1 se configura el número de estación del PLC que fue ingresada en SyCon y optimizamos la cantidad de Bytes para lectura y escritura que se van a manejar en la comunicación.

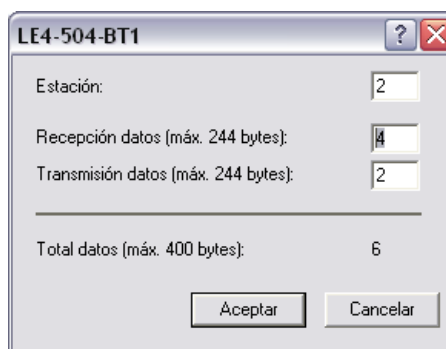


Figura 2.17: Sucosoft: Ventana configuración módulo LE4-504-BT1

Para este proyecto se utilizan tan solo 6 Bytes en total, Figura 2.17.

Las variables que vamos administrar a través del PLC son las siguientes.

1 Entrada Analógica: (2 Byte)

- Señal de corriente del sensor de nivel.

1 Salida Analógica: (2 Byte)

- Señal de corriente para electroválvula

6 Salidas Digitales: (2 Byte)

- Salida Digital 0: Apagado de la bomba
- Salida Digital 1: Encendido de la bomba
- Salida Digital 2: Selección de actuador en PLC o ABB
- Salida Digital 3: Auxiliar
- Salida Digital 4: Luz Piloto Control PLC
- Salida Digital 5: Luz Piloto Control ABB

De esa manera se identifican: 4 Bytes de escritura (transmisión) y 2 Byte de lectura (recepción).

Con la configuración de la topología del PLC se creará el archivo de programa POU a través del menú *Archivo/Nuevo POU/Programa*.

En este archivo se declaran todas las entradas y salidas a utilizar indicando: nombre, tipo y dirección física tomando en consideración los detalles de la Tabla 2.1.

Atributo	Descripción					
Nombre	Nombre de la variable, máximo 64 caracteres.					
Tipo	Tipo de dato de la variable. Esto puede ser un tipo de datos elemental (como BOOL, UINT, etc.), un tipo de datos derivado, o un bloque de función.					
Dirección	Dirección de una variable con una relación física establecida ya sea esta entrada o salida de los módulos que se encuentren en la topología previamente configurada.					
	<i>Esquema Dirección</i>					
	%	tipo de acceso o identificador de locación en memoria	+	dirección de módulo	+	número de Byte o Bit de la variable
	Ejemplo: %QX0.0.0.0.4					
	Símbolo	Descripción				
	I:	Entrada Digital				
	Q:	Salida Digital				
	IA:	Entrada Analógica				
	QA:	Salida Analógica				
	SD:	Enviar Datos – Comunicación de datos a la estación de red.				
RD:	Recibir Datos – Comunicación de datos desde la estación de red.					

Tabla 2.1: Descripción de atributos para creación de variables en Sucosoft

La Figura 2.18 lista la declaración de las variables que van a ser administradas por el PLC. En la cual del ítem 1 al 8 se declaran 6 salidas digitales, 1 entrada analógica y 1 salida digital. A partir del ítem 9 al 16 se declara el vínculo necesario para poder transmitir o recibir estas variables a través del módulo Profibus (sin la declaración de estas variables es imposible la comunicación mediante Profibus). La dirección de lectura o escritura de cada variable se la debe tener presente ya que en se usará luego en la configuración de SyCon.

	Nombre	Tipo	Dirección
1	SD_1	BOOL	%QX0.0.0.0.0
2	SD_2	BOOL	%QX0.0.0.0.1
3	SD_3	BOOL	%QX0.0.0.0.2
4	SD_4	BOOL	%QX0.0.0.0.3
5	SD_5	BOOL	%QX0.0.0.0.4
6	SD_6	BOOL	%QX0.0.0.0.5
7	EA_1	INT	%IAWO.0.1.0
8	SA_1	UINT	%QAWO.0.1.0
9	OPC_SD_1	BOOL	%RDXO.0.2.0.0
10	OPC_SD_2	BOOL	%RDXO.0.2.0.1
11	OPC_SD_3	BOOL	%RDXO.0.2.0.2
12	OPC_SD_4	BOOL	%RDXO.0.2.0.3
13	OPC_SD_5	BOOL	%RDXO.0.2.0.4
14	OPC_SD_6	BOOL	%RDXO.0.2.0.5
15	OPC_EA_1	INT	%SDWO.0.2.2
16	OPC_SA_1	UINT	%RDWO.0.2.2
17			

Figura 2.18: Sucosoft: Declaración de variables

Para finalizar con el editor de programa se debe vincular cada variable con su respectivo enlace OPC RD (receiving data) o SD (sending data) según corresponda, tal como lo muestra la Figura 2.19.

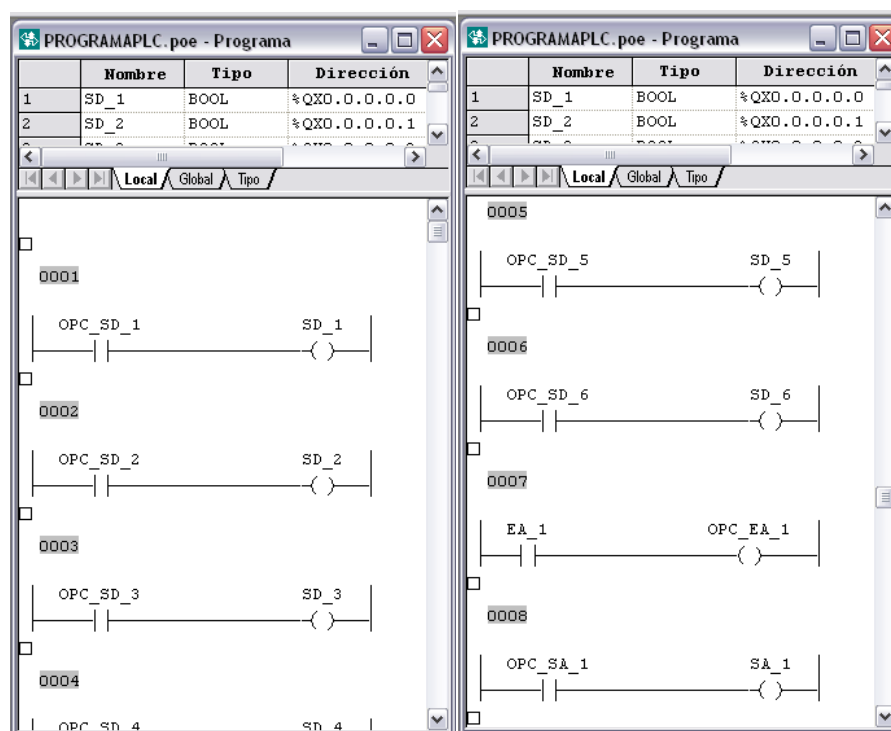


Figura 2.19: Sucosoft: Vinculo de variables para comunicación por Profibus

Ahora se debe realizar una lista de generación para poder crear el código que va a ser cargado en el PLC. Se accede al menú *Generación / Lista de generación nueva..*

En esta ventana se selecciona el archivo de programa y el archivo de topología que se creó en pasos previos. Clic en *OK* para generar. Si no

existe error alguno se puede generar el código del programa a través *Generación / Generar Código de programa*.

Generado el código se procede a cargar y poner en marcha al PLC. Para esto se selecciona el menú *Herramientas / Prueba y puesta en servicio*.

Se conecta el PLC al computador y se selecciona el puerto COM por el cual se va a realizar la comunicación. Con el COM se da clic en *Aparato / Conectar*. Si el puerto es reconocido nos presenta un visto en la conexión como en la Figura 2.20.

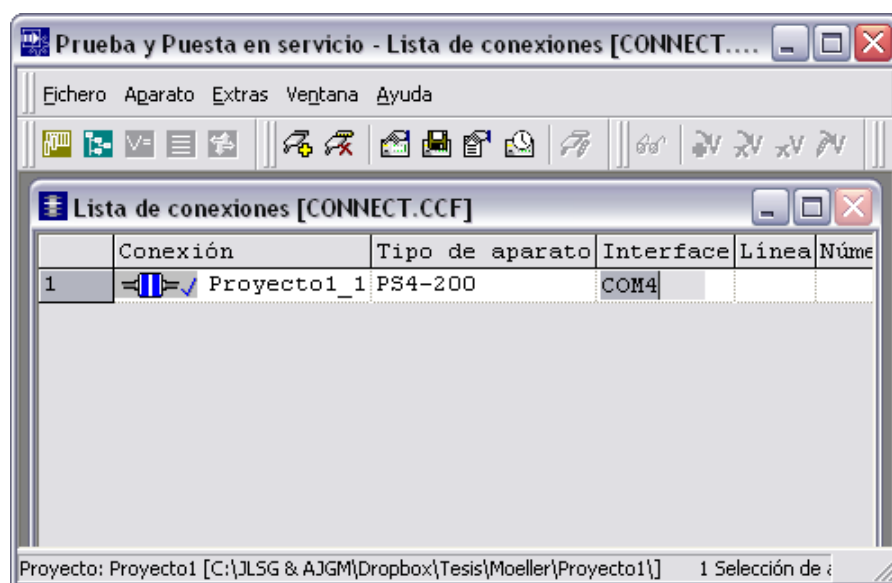


Figura 2.20: Sucosoft: Ventana Prueba y Puesta en servicio

Ahora para cargar el archivo generado se selecciona en el Menú *Aparato / Transferir/Gestor de ficheros* en, se presenta la ventana mostrada en la Figura 2.21.

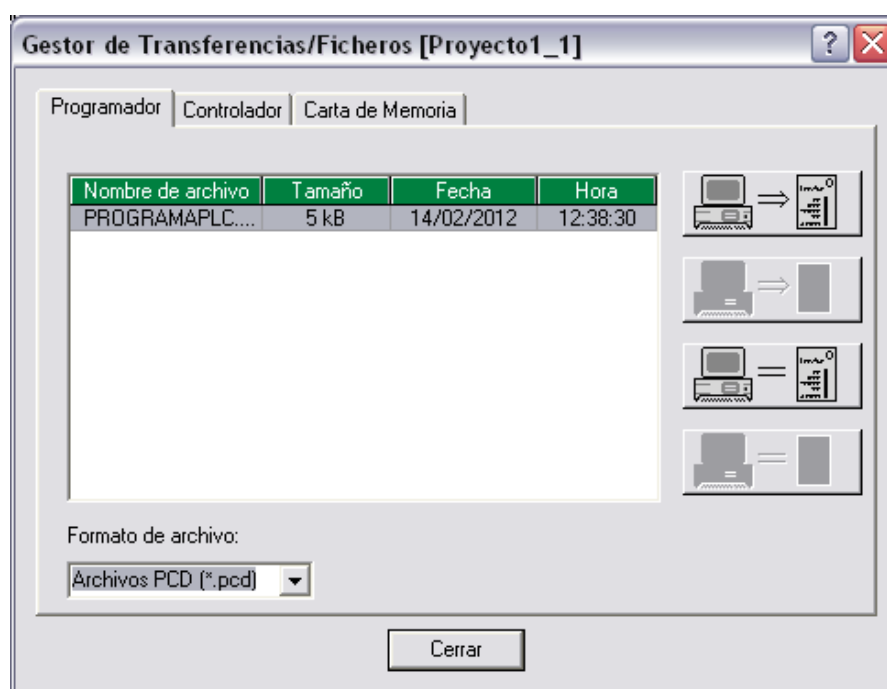



Figura 2.21: Sucosoft: Ventana Gestor de Transferencias

Dando clic en el ícono  empezará a cargar el programa al PLC. Con esto se da por finalizada la programación de este controlador, encontrándose listo para configurar en SyCon la declaración de las variables de lectura y escritura.

En SyCon, se abre el archivo creado previamente con la configuración del bus de campo.

Dando doble clic sobre el PLC_MOELLER se muestra la ventana de configuración de esclavos, Figura 2.22, la cual nos permite agregar los módulos de lectura o escritura según la cantidad de Bytes que previamente seleccionamos en el programa cargado al PLC.

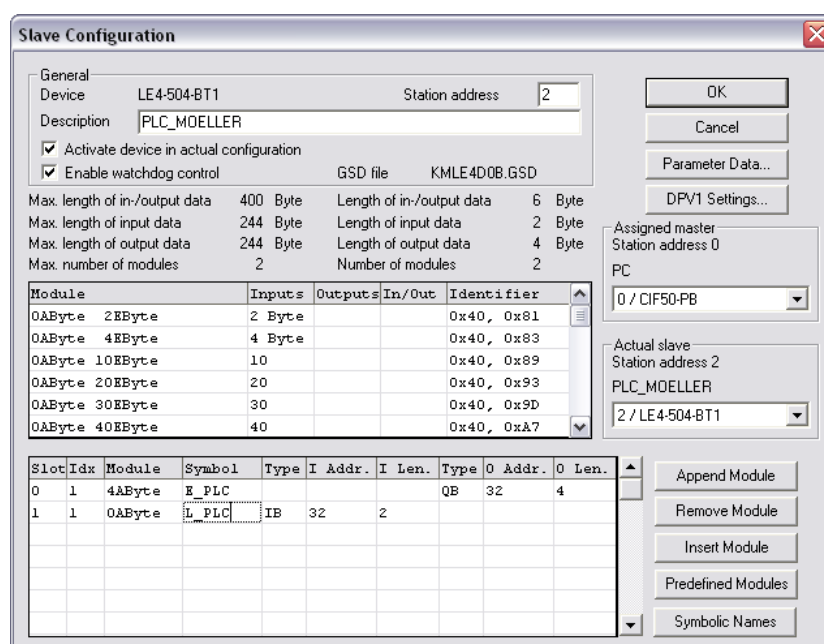


Figura 2.22: SyCon: Venta configuración esclavo PLC

Tal como se observa en la Figura 2.22 para la escritura se ha seleccionado un módulo de 4 Bytes al cual se asignó el nombre de E_PLC y para la lectura un módulo de 2 Bytes con el nombre L_PLC.

Para definir el nombre específico a las variables que se van a leer se procede a configurar los *Symbolic Names* de cada módulo, Figura 2.23.

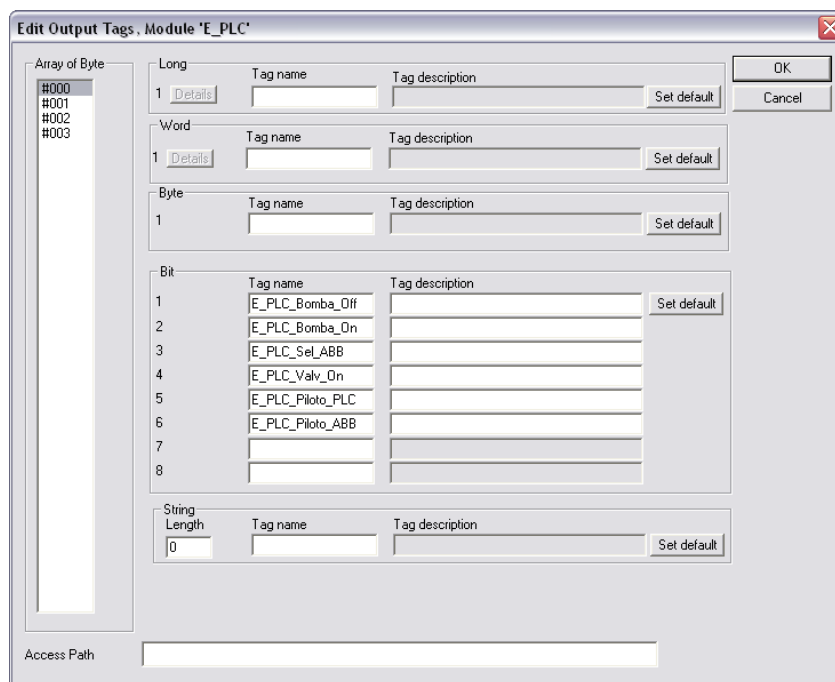


Figura 2.23: SyCon: Ventana configuración *Symbolic Name*

La información ingresada en los *Symbolic Names* dependerá de la dirección asignada en la programación del PLC. Para esto se recuerda las direcciones ingresadas, Figura 2.24, de las variables de transmisión y recepción por el módulo Profibus.

OPC_SD_1	BOOL	%RDXO.0.2.0.0
OPC_SD_2	BOOL	%RDXO.0.2.0.1
OPC_SD_3	BOOL	%RDXO.0.2.0.2
OPC_SD_4	BOOL	%RDXO.0.2.0.3
OPC_SD_5	BOOL	%RDXO.0.2.0.4
OPC_SD_6	BOOL	%RDXO.0.2.0.5
OPC_EA_1	INT	%SDWO.0.2.2
OPC_SA_1	UINT	%RDWO.0.2.2

Figura 2.24: Dirección de variables PLC en módulo LE4-404-BT1

Según esta configuración se procede a realizar la asignación de los nombres a las variables de lectura y escritura para el módulo de escritura E_PLC y el módulo de lectura L_PLC, Tabla 2.2.

Variable Física en PLC	Módulo E_PLC		
	Array Byte	Type	Tag Name
Salida Digital 0	#000	Bit 1	E_PLC_Bomba_Off
Salida Digital 1		Bit 2	E_PLC_Bomba_On
Salida Digital 2		Bit 3	E_PLC_Sel_Actuador_PLC
Salida Digital 4		Bit 5	E_PLC_Piloto_PLC
Salida Digital 5		Bit 6	E_PLC_Piloto_ABB
Salida Analógica 1	#002	Word 1	E_PLC_Actuador
Variable Física en PLC	Módulo L_PLC		
	Array Byte	Type	Tag Name
Entrada Analógica 1	#000	Word 1	L_PLC_Nivel

Tabla 2.2: Descripción de Módulos PLC

Con esto se finaliza la configuración del bus de campo para el PLC y se encuentra listo para ser leído y utilizado por el NI OPC Server. La configuración de este se explicará posteriormente.

2.3.2. Configuración OPC para ABB Digitric 500

Para realizar la configuración de acceso a las variables del controlador en SyCon, se abre el archivo creado con la configuración del bus de campo. Se accede a la configuración del esclavo, Figura 2.25, dando doble clic sobre el CONTROLADOR_ABB.

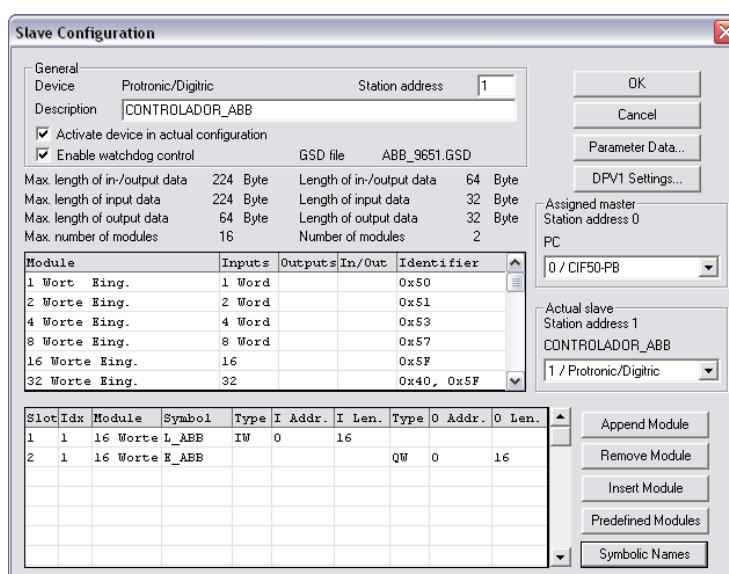


Figura 2.25: SyCon: Venta configuración esclavo ABB

Para este tipo de controladores primero se debe tener presente cuales son los registros a leer o escribir, la dirección física de estos se deberá ingresar en la parte de Parameter Data. Se presenta la Tabla 2.3, que enlista los registros a utilizar en este trabajo, con el nombre de las variables y su respectiva dirección física de acceso.

Nombre según fabricante ABB	Tipo de Acceso	Dirección Física
Analog input 01	Lectura	0001
Analog output 01	Lectura	0047
Currentsetpoint	Lectura	0337
Param. – No. 1 GAIN G	Lectura	2AFB
Param. – No. 2 RESET-TIME	Lectura	2AFD
Param. – No. 3 RATE TIME	Lectura	2AFF
Controller MAN	Lectura	0723
Controller AUTO	Lectura	0722
Man. Value of output variable	Escritura	FF3B
Target setpoint 1	Escritura	FF19
Param. – No. 1 GAIN G	Escritura	D505
Param. – No. 2 RESET-TIME	Escritura	D503
Param. – No. 3 RATE TIME	Escritura	D501
Change-over to man. Mode	Escritura	F8CD
Change-over to automatic mode	Escritura	F8CC

Tabla 2.3: Lista de registros controlador ABB

Estas direcciones físicas deben ser ingresadas en Parameter Data, cada dirección va a ocupar dos bytes, donde el primer byte va a contener la parte menos significativa y el segundo byte lo más significativa. Los cuatro primeros bytes de esta lista están reservados para la comunicación propia por lo cual no deben ser llenados. Ingresando las variables mencionadas en la Tabla 2.3, el Parameter Data debe quedar como la Figura 2.26.

Byte	Description	Value
0	1 parameter data byte	0x00
1	2 parameter data byte	0x00
2	3 parameter data byte	0x00
3	4 parameter data byte	0x00
4	5 parameter data byte	0x01
5	6 parameter data byte	0x00
6	7 parameter data byte	0x47
7	8 parameter data byte	0x00
8	9 parameter data byte	0x37
9	10 parameter data byte	0x03
10	11 parameter data byte	0xFB
11	12 parameter data byte	0x2A
12	13 parameter data byte	0xFD
13	14 parameter data byte	0x2A
14	15 parameter data byte	0xFF
15	16 parameter data byte	0x2A
16	17 parameter data byte	0x23
17	18 parameter data byte	0x07
18	19 parameter data byte	0x22
19	20 parameter data byte	0x07
20	21 parameter data byte	0x3B
21	22 parameter data byte	0xFF
22	23 parameter data byte	0x19
23	24 parameter data byte	0xFF
24	25 parameter data byte	0x05
25	26 parameter data byte	0xD5
26	27 parameter data byte	0x03
27	28 parameter data byte	0xD5
28	29 parameter data byte	0x01
29	30 parameter data byte	0xD5
30	31 parameter data byte	0xCD
31	32 parameter data byte	0xF8
32	33 parameter data byte	0xCC
33	34 parameter data byte	0xF8

Figura 2.26: SyCon: Ventana Parameter Data

Ingresadas las direcciones físicas de las variables se procede a ingresar los módulos para la transmisión para lectura y escritura de las mismas.

Es así que para nuestro caso hemos seleccionado un módulo de lectura de 16 Word a cual le asignamos el nombre L_ABB y un módulo de

escritura de la misma magnitud al cual le hemos asignado el nombre de E_ABB.

La configuración del *Symbolic Name* para cada módulo se basa en la siguiente, Tabla 2.4, la cual tienen como referencia las direcciones físicas ingresadas previamente en el *Parameter Data*.

Módulo de Lectura					
Parameter Data	Nombre de Parámetro	L_ABB			
		Array Byte	Type	Details	TagName
0001	Entrada Analógica 1	#000	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Nivel
0047	Salida Analógica 1	#002	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Actuador
0337	SetPoint	#004	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Sp
2AFB	Gain	#006	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Gain
2AFD	Reset Time	#008	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Tn
2AFF	Rate Time	#010	Long	VT_R4 (float(IEEE))	L_ABB_Tv
0723	Controlador Modo Manual	#012	Bit	Bit 1	L_ABB_Manual
0722	Controlador Modo Auto	#012	Bit	Bit 9	L_ABB_Auto
Módulo de Escritura					
Parameter Data	Nombre de Parámetro	E_ABB			
		Array Byte	Type	Details	TagName
FF3B	Salida Analógica 1	#000	Long	VT_R4 (float(IEEE))	E_ABB_Actuador
FF19	SetPoint	#002	Long	VT_R4 (float(IEEE))	E_ABB_Sp
D505	Gain	#004	Long	VT_R4 (float(IEEE))	E_ABB_Gain
D503	Reset Time	#006	Long	VT_R4 (float(IEEE))	E_ABB_Tn
D501	Rate Time	#008	Long	VT_R4 (float(IEEE))	E_ABB_TV
F8CD	Controlador Modo Manual	#010	Byte	Byte 1	E_ABB_Manual
F8CC	Controlador Modo Auto	#010	Byte	Byte 2	E_ABB_Auto

Tabla 2.4: Descripción Módulos Controlador ABB

Con esto se finaliza la configuración del ABB en el bus de campo.

Carga de Bus de Campo y prueba de servicio.

Para cargar la configuración del bus de campo creado en la tarjeta CIF50PB, en SyCon ingresamos al menú *Online / Download*, con lo que se presenta una ventana, Figura 2.27, con el avance del proceso de carga de la configuración realizada del bus de campo creado.

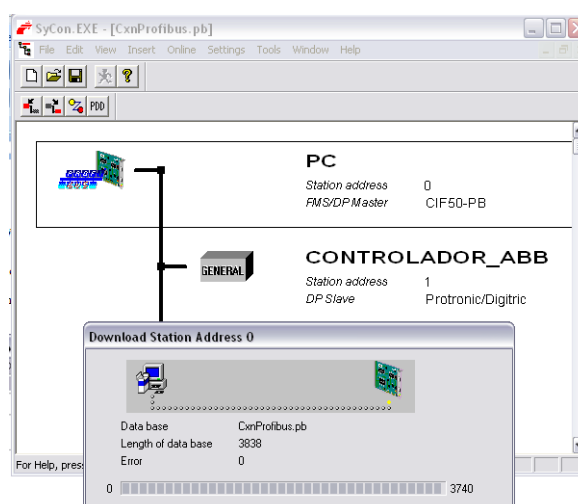


Figura 2.27: SyCon: Ventana de carga de configuración bus de campo a la tarjeta CIF50PB

Finalizado esto se realiza una prueba de depuración y verificación, del estado de la comunicación del bus. En SyCon se ingresa en el menú *Online/ StartDebugMode*. Si todo se encuentra correcto el bus de campo debe cambiar a color verde, Figura 2.28. En caso de existir algún error este bus tomará el color de rojo.

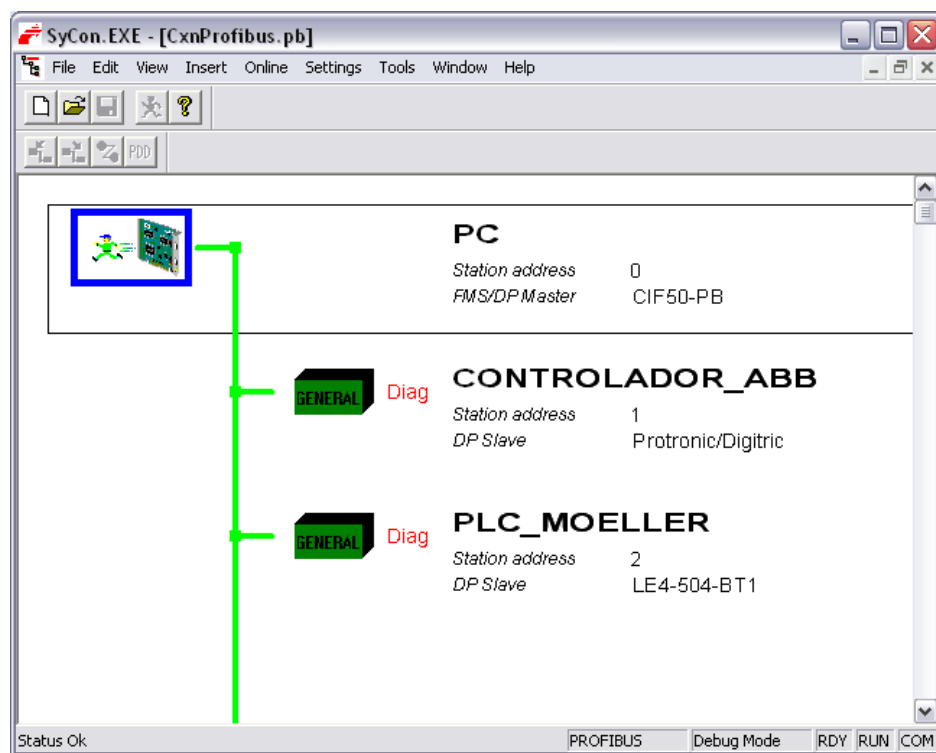


Figura 2.28: SyCon: Ventana en modo depuración

SyCon posee una herramienta para realizar la monitorización del estado actual de las variables configuradas en el bus de campo, para esto se debe ingresar al menú *View/Logical Network*. En esta ventana, Figura 2.29, se observa los módulos ingresados con sus respectivas variables de lectura y escritura, dando clic derecho y seleccionando *Monitoring ON*, se podrá leer y escribir el valor de las variables.

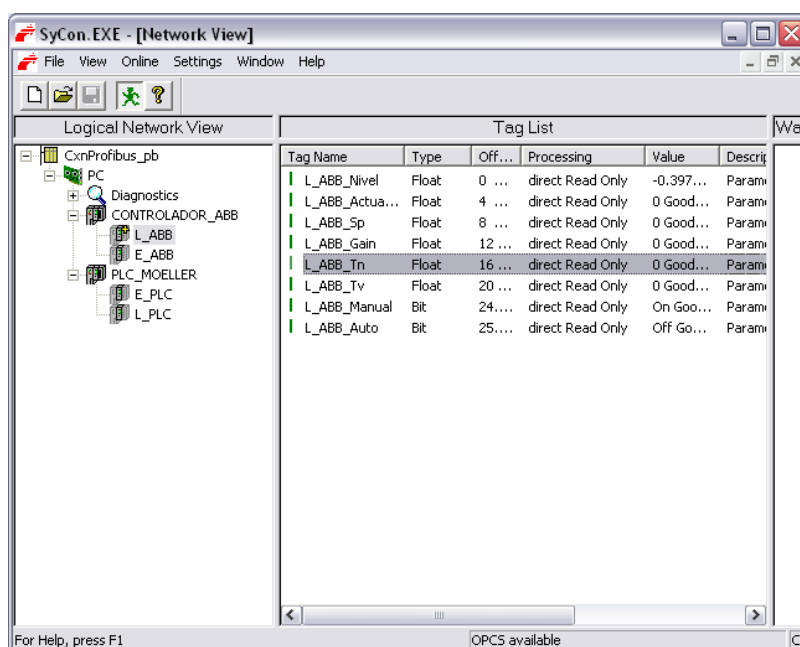


Figura 2.29: SyCon: Ventana Logical Network View

Con lo descrito previamente se ha realizado la configuración y puesta en servicio del bus de campo, estando éste listo para ser administrado por un servidor, en nuestro caso hemos escogido al NI OPC SERVER.

Configuración NI OPC SERVER.

Navegamos por el menú inicio de Windows hasta ubicarnos en *Todos los programas / NationalInstrument / NI OPC Servers / NI OPC Servers*

La Figura 2.30 presenta la pantalla principal donde se realiza la configuración del OPC Server.

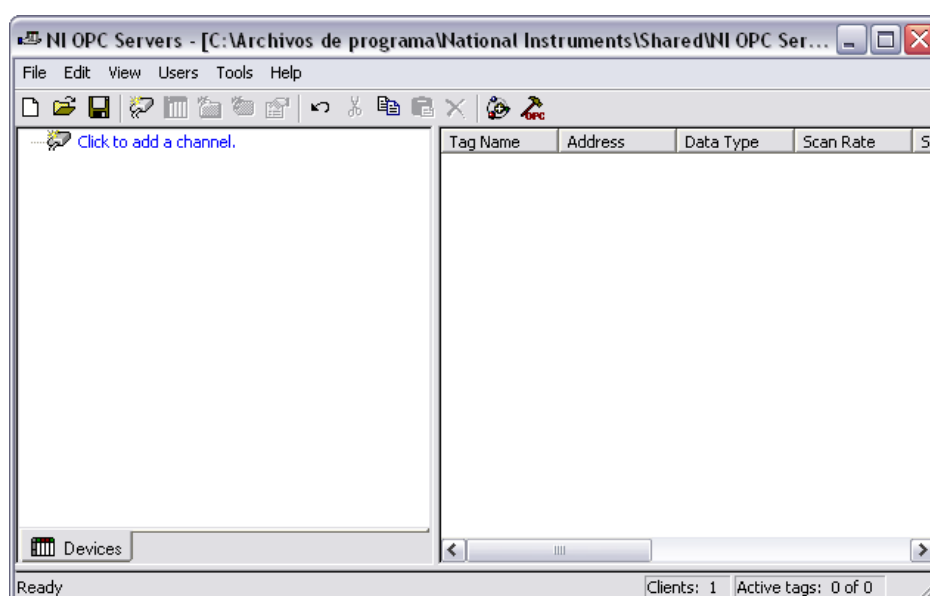


Figura 2.30: NI OPC Server: Ventana inicial

Dando clic en “*click to add channel*”, se presenta el wizard para agregar un nuevo canal, este representa al hardware maestro del bus de campo, para nosotros va a ser la tarjeta CIF50PB de Hilscher Universal, en el cual se debe completar los siguientes parámetros:

Channel name: PC

Device driver: Hilscher Universal

Optimization Method: Write only latest values for all tags

Duty Cycle: 10

Board: Board 0

Type: Profibus DP Master

TagImport File: Ubicamos la dirección del archivo .pb con la configuración del bus de campo Profibus realizada en SyCon

Se termina con un clic en *Finalizar*, ahora se debe ingresar los dispositivos esclavos que lo son ABB y PLC. Para esto clic en “*Click to add a device*”, a través del asistente para insertar esclavos completamos los siguientes parámetros:

ABB

Device name: ABB

Device ID: 1

Type: Profibus DP Slave

PLC

Device name: PLC

Device ID: 2

Type: Profibus DP Slave

La ventana principal del NI OPC Server debe quedar como la Figura 2.31.

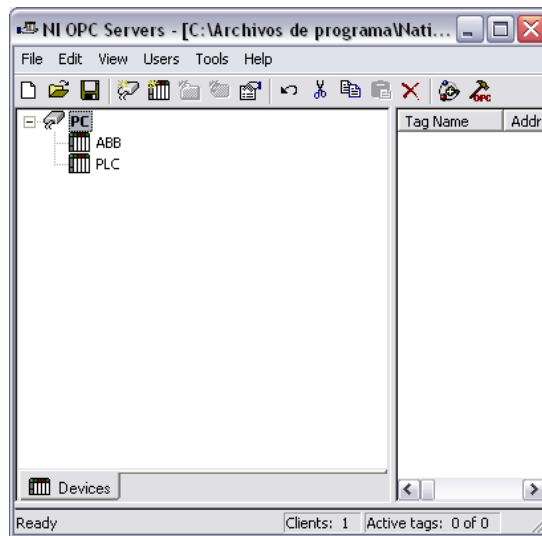


Figura 2.31: NI OPC Server: Agregar dispositivos

Para importar los Tags Names a los dispositivos esclavos, ingresar a las propiedades del Channel, Figura 2.32, agregado en nuestro caso de PC y en la pestaña de *SyCon Database*, clic en *Synchronize*.

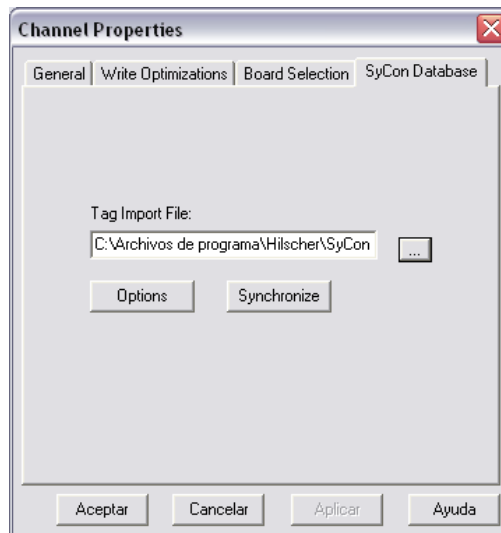


Figura 2.32: NI OPC Server: Sincronizar con SyCon Database

Si todo esta correcto se debe agregar los Tags Names creados en SyCon para cada dispositivo esclavo con sus respectivos módulos de escritura y lectura Figura 2.33. Se guarda el servidor creado con lo cual queda listo para ser utilizado por cualquier OPC Cliente.

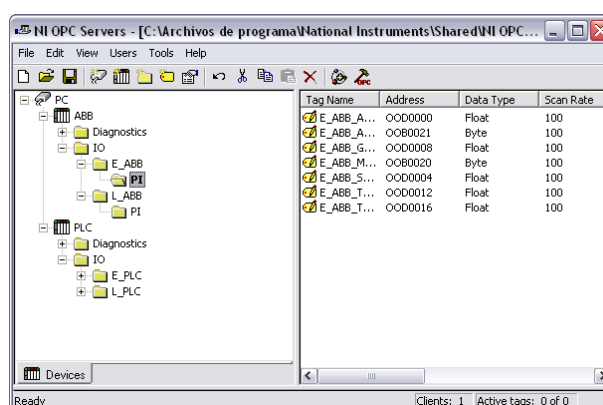


Figura 2.33: NI OPC Server: Creación bus de campo

Para comprobar el funcionamiento del servidor creado, se utiliza la herramienta OPC Quick Client, Figura 2.34, en la cual se observar el comportamiento de recepción y transmisión de datos a las variables conectadas por el servidor de NI OPC.

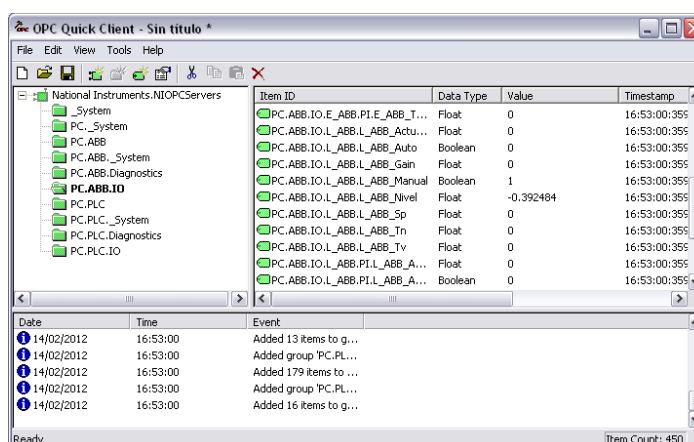


Figura 2.34: NI OPC Server: OPC Quick Client

2.4. OPC Cliente

El OPC Cliente es la interfaz proporcionada por un software que permite tener acceso a la lectura y escritura de las variables del OPC Servidor, para esta aplicación utilizamos el cliente de LabVIEW.

2.4.1. Configuración OPC cliente mediante LabVIEW

En LabVIEW crear un nuevo proyecto vacío. En el explorador del proyecto creado Figura 2.35, nos ubicamos en *My Computer* dar clic derecho y seleccionar la opción *New / I/O Server*.

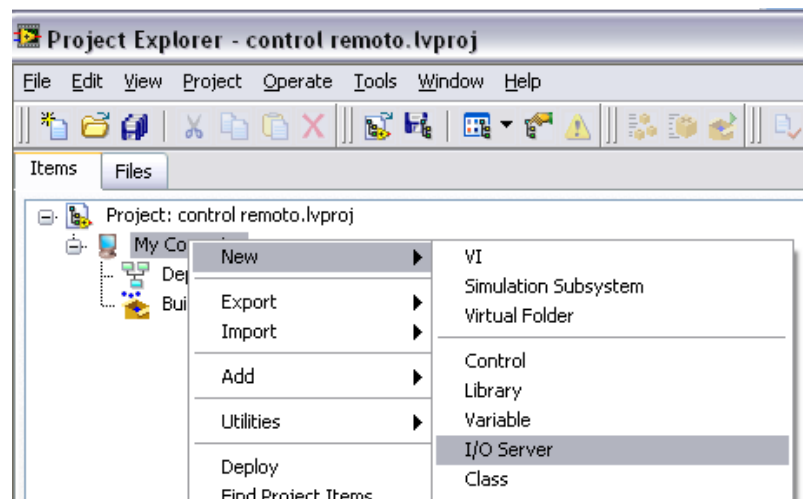


Figura 2.35: LabVIEW: Explorador de proyecto

En la ventana *Create New I/O Server* selecciona la opción *OPC Client* y le damos clic en *Continue....* Esto presentará la ventana *Configure OPC Client I/O Server* Figura 2.36 en la cual se selecciona el servidor a utilizar, en nuestro caso *NationalInstruments.NIOPCServers* y clic *Ok* para finalizar.

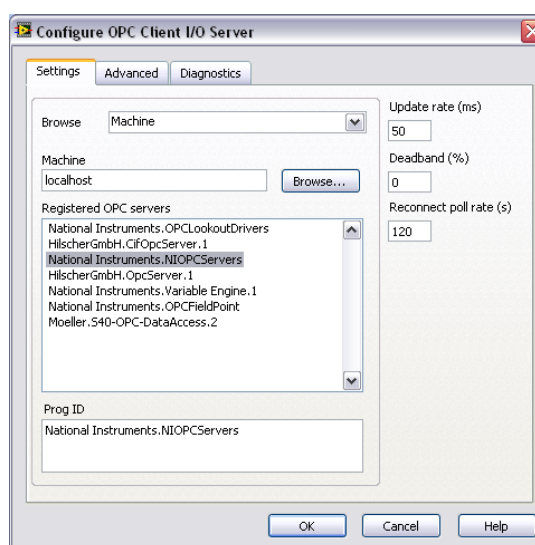


Figura 2.36: LabVIEW: Configuración OPC Client

Esto generará automáticamente una librería y dentro de ella el cliente creado *OPC1*. Guardar librería y proyecto. Para crear las variables compartidas que serán administradas por este cliente clic derecho sobre el OPC Cliente creado y seleccionamos *Create Bound Variables...* Se muestra la ventana para agregar las variables de lectura y escritura ya configuradas previamente en el bus de campo, Figura 2.37, las agregamos con *Add* y para finalizar clic en *Ok*.

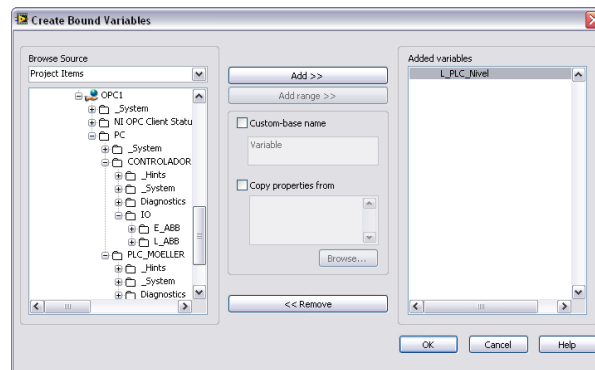


Figura 2.37: LabVIEW: Creación de variables para el OPC Cliente

Con este procedimiento hemos logrado configurar al OPC Cliente y tenemos acceso a las variables, Figura 2.38, disponibles en el bus de campo de la comunicación Profibus.

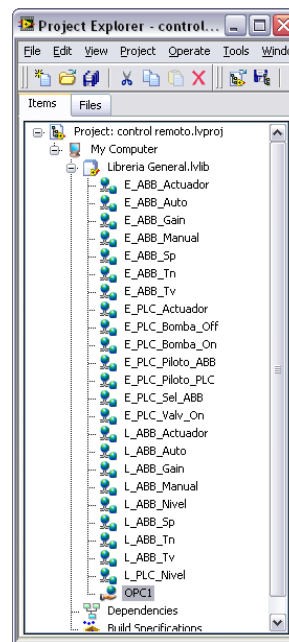


Figura 2.38: LabVIEW: Explorador de proyecto con variables del OPC Cliente

CAPÍTULO 3

3. Desarrollo de la interfaz para el control del proceso en LabVIEW

Utilizando el software de desarrollo gráfico LabVIEW se implementara un panel para el control y monitorización de la planta de nivel, a esta interfaz el usuario podrá acceder a través de una página web vía internet. Con el objetivo de utilizar este sistema didácticamente el usuario podrá supervisar y controlar el proceso de las siguientes maneras:

- Utilizando el PID parametrizable del controlador industrial ABB Digitric 500, ó
- Mediante el desarrollo de un PID implementado con LabVIEW, donde las variables del sistema interactúan con este software a través del PLC MOELLER.

Para diseñar un PID óptimo será necesaria la modelación de la planta de nivel de tal forma que sea posible simular su conducta. Un modelo matemático permitirá representar de la mejor manera el comportamiento del proceso, para la obtención del mismo la *identificación de sistemas* es el método elegido.

3.1. Obtención modelo matemático de la planta

Kuo ⁽¹⁵⁾ define a un modelo matemático como el grupo de ecuaciones que describen el comportamiento dinámico de un fenómeno, sea este de cualquier índole. En el caso particular de este trabajo se espera obtener un modelo que simbolice de forma fiel la conducta del proceso físico de ingreso de agua a un contenedor específico. Vale recalcar que un fenómeno puede ser representado por un sinnúmero de modelos, y, dependiendo de esta representación se obtendrá la aproximación más cercana a su funcionamiento.

Dichas ecuaciones pueden ser de tipo *diferencial ordinarias (EDO)* o *en derivadas parciales (EDP)* de acuerdo a la complejidad del proceso y al número de variables predominantes de entrada que interactúen. Además permiten predecir el comportamiento del fenómeno en estudio sin necesidad de experimentar sobre él.

Los modelos matemáticos representantes de un comportamiento físico se pueden construir a partir de leyes básicas de la física, este es el caso del *modelamiento teórico o matemático*, o se pueden construir desde una aproximación experimental, este es el caso de la *identificación de sistemas* el cual se describe en el literal 3.1.2 de este capítulo.

Ahora bien se debe tener claro y comprender la definición de un sistema dinámico, este es un objeto compuesto en la cual interactúan variables de diferente naturaleza, produciendo fenómenos de tipo físico llamados señales.

Las señales medibles por el observador son las *salidas del sistema* $y(t)$ y son el resultado de toda la interacción del mismo, mientras que las señales que pueden ser manipuladas libremente son las *entradas del sistema* $u(t)$. El resto de señales que influyen sobre las salidas y no pueden ser alteradas de forma directa por el observador del sistema se denominan *perturbaciones o disturbios* $e(t)$ (14). Las perturbaciones pueden ser de tipo directas o indirectas, aunque para la modelación de sistemas no es muy importante la diferencia entre perturbación y entrada del sistema. En la Figura 3.1 se observa una representación de un sistema dinámico donde interactúan la entrada $u(t)$ y perturbación $e(t)$ para generar la salida $y(t)$.

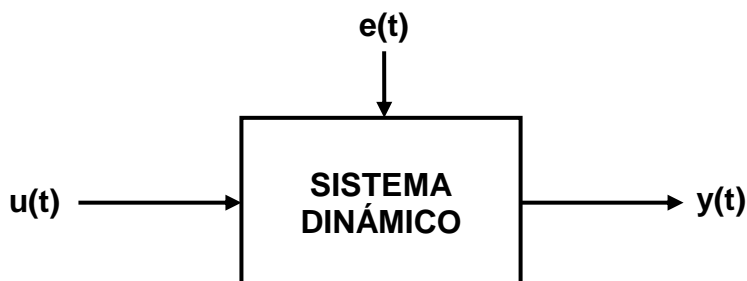


Figura 3.1: Representación Sistema Dinámico

Un *sistema dinámico* siempre se refiere a los tipos de sistemas en que el valor actual de la salida en un instante determinado no solo dependerá del valor que tenga la entrada en ese momento, sino también de los valores anteriores de dicha salida. Característica que lo diferencia de un *sistema estático* (18).

3.1.1. Adquisición de datos

Como se mencionó anteriormente, es posible la obtención de un modelo matemático que represente el sistema mediante la técnica experimental de identificación de sistemas. Esta es la técnica elegida para el presente proyecto, mediante la utilización de la herramienta NI LabVIEW System Identification Toolkit (25).

Para la utilización del Toolkit de LabVIEW es necesario tener almacenados una serie de datos que detallen el comportamiento del sistema ante un estímulo. Estos datos serán luego procesados, y, de los cuales se obtendrá el modelo esperado. Esta adquisición de datos consiste en un muestreo estadístico del proceso; para la obtención de muestras de la evolución de la excitación arbitraria se cuenta con el VI “ADD” (adquisición de datos). Luego estos datos serán analizados con el VI “IDE” (identificación del sistema), ambos programas totalmente independientes al instrumento virtual para el control de la planta.

La programación del VI “ADD” consiste básicamente en dos partes. La primera, es la selección del tipo de señal de estímulo, junto a parámetros limitantes para dicha señal como: frecuencia, amplitud, entre otros. La segunda parte es la aplicación de la señal seleccionada a la apertura de la válvula de control y el registro numérico del nivel que indica el tanque al instante de su correspondiente estímulo. Estos

valores son recolectados y almacenados en disco duro en un archivo .lvm.

Un sistema es lineal si la salida sigue fielmente los cambios producidos en la entrada, la salida debe seguir la misma forma de la entrada, pero en los casos de no ser así, deberá reflejar cambios proporcionales a los generados en la entrada. *“Estrictamente hablando, los sistemas lineales no existen en la práctica, ya que todos los sistemas físicos son no lineales en algún grado”* (21), es por esto que se asegura que nuestra planta no se encuentra en la categorización de lineal, aunque puede ser aproximada como tal.

Al ser la planta de control de nivel no lineal lo ideal es aplicar una señal de estímulo dentro de un rango de operación en la cual los resultados obtenidos se asemejen de la mejor manera a un sistema lineal.

Dentro de este proceso de adquisición de datos de la planta hay que tener en cuenta que el resultado esperado en las mediciones de la magnitud de salida dependerá entre otras cosas de la señal de entrada, también llamada señal de estímulo o excitación.

Por esta razón es necesario recalcar la importancia de la correcta elección de la señal de estímulo, que tiene un papel muy importante en el comportamiento del sistema y la precisión del modelo de estimación. Mientras que el sistema bajo estudio a menudo limita la

elección de las señales, la señal de entrada debe tener ciertas características:

- Para lograr capturar el comportamiento dinámico, se debe probar al sistema en condiciones similares a las condiciones reales de funcionamiento. Cuando haya completado los experimentos en estas condiciones, se identifica el sistema en las mismas condiciones en las que se va a implementar el modelo resultante. Este criterio es extremadamente importante para sistemas con un amplio rango de no-linealidad (21).
- Se quiere que la amplitud de la entrada cubra una amplia gama de variaciones. Por lo tanto, en los datos que se utilizan para la estimación del modelo, se debe cubrir el rango de funcionamiento normal del sistema. Se recomienda hacer más de una variación del valor de excitación, tratando que la señal de entrada permita que el sistema trabaje en sus valores extremos tanto como sea posible, sin obtener una saturación en el mismo.

Existen muchos tipos de señales de excitación sugeridos por diferentes autores para estimular los sistemas en estudio, entre los cuales están:

- Ruido Blanco Gaussiano Filtrado (de Banda Limitada)
- Señales Aleatorias Binarias (RBS)
- Señales Pseudo Aleatorias Binarias (PRBS)

- Suma de Sinusoides
- Señales Chirp o Swept
- Escalones

Para el caso de el presente proyecto, se eligió una onda de tipo cuadrada como señal de excitación, ya que es una composición de varios escalones, con lo cual aseguramos observar la respuesta de la señal de la salida a través del tiempo. Además se permite estabilizar el nivel del agua en el tanque entre dos valores, simulando condiciones de manipulación del sistema en el que se espera llevar el nivel del líquido de un punto referencial a otro. En la Figura 3.2 se observa el panel frontal la adquisición de datos a planta de nivel.

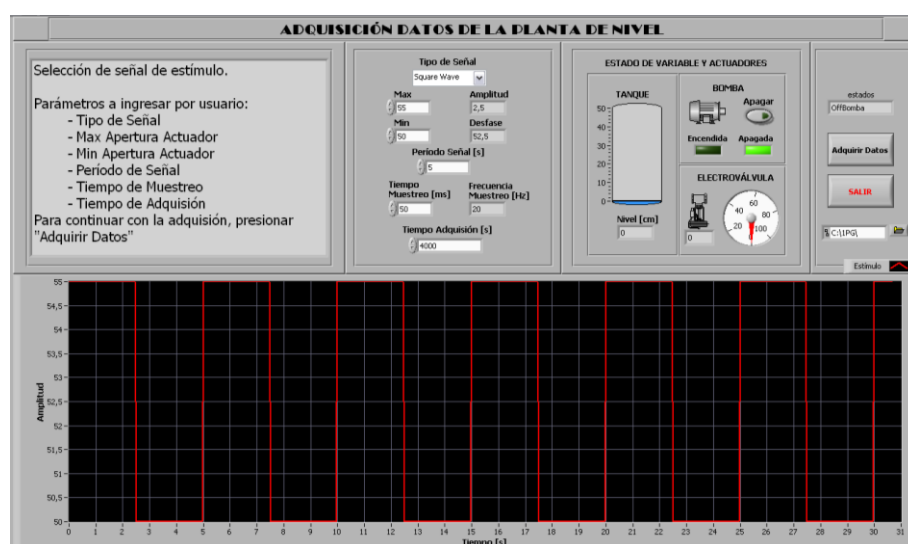


Figura 3.2: LabVIEW: Panel Frontal VI “Adquisición de datos”

En la Figura 3.3 se observa un fragmento del programa para la adquisición de datos, en esta sección se insertan los diferentes valores que caracterizarán a la señal de estímulo para la excitación del sistema. Ya que este VI fue construido de forma genérica para ser usado en la adquisición de datos de cualquier sistema, es posible modificar la frecuencia de muestreo así como el tiempo de adquisición, ya que no todos los sistemas responden de igual manera a un estímulo similar.

Para el caso particular de esta planta, por estimación experimental se asignó una frecuencia de oscilación de la onda cuadrada de 900 segundos de periodo. Este valor es un poco elevado en relación a otros sistemas de control ya que es un proceso lento, además que se esperó a una total estabilización del nivel del líquido. Los niveles máximos y mínimos fueron elegidos también de forma arbitraria, tratando de mantener la planta fuera de la saturación. Estos valores fueron 75% y 55% de apertura de la válvula de ingreso del líquido.

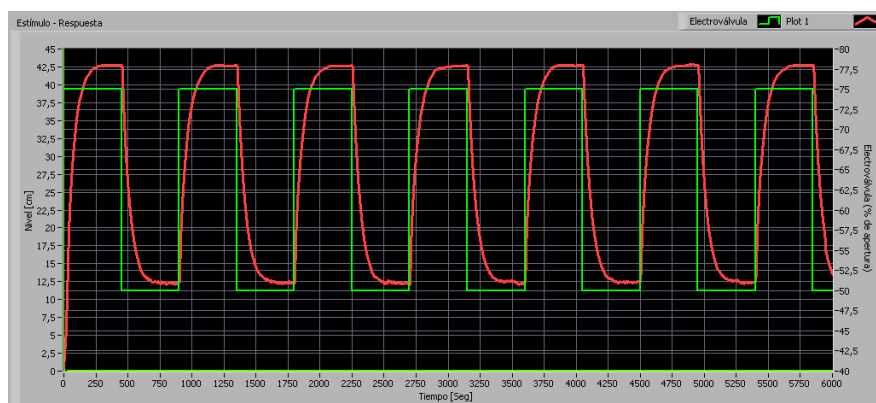


Figura 3.4: LabVIEW: Estímulo y Respuesta Planta

3.1.2. Análisis e Identificación

La identificación de un sistema, es un método experimental que permite obtener un modelo matemático a partir de datos reales recogidos de la planta bajo investigación (14); es decir, usa métodos estadísticos para crear modelos de sistemas dinámicos a partir de valores medidos. Se podría pensar que esto se opone al clásico *modelamiento teórico o matemático* (conocido como “enfoque de caja blanca”) en el cual se observa al sistema remitiéndose a las leyes físicas que gobiernan su conducta (como el caso de las leyes de Kirchoff para sistemas eléctricos), a partir de esto se extrae un modelo matemático que delinee su comportamiento.

Sin embargo, en muchas ocasiones, el desarrollo de modelos para sistemas muy complejos con este método no es lo más recomendado (14). Como es el caso de este proyecto, no es necesario conocer

profundamente la mecánica del sistema, para llevar a cabo una identificación, menos aún el detalle de todas las señales que intervienen en el mismo. Gómez ⁽²²⁾ indica dos métodos para determinar el modelo que presentan el siguiente enfoque:

Modelado de caja gris: Se refiere al tipo de identificación donde se conocen los principios físicos generales que gobiernan al sistema, además de poseer algún tipo de comprensión de la mecánica de funcionamiento, aunque las peculiaridades de lo que ocurre en el interior del mismo no es enteramente conocido. En este tipo de modelamiento se posee una estructura específica y lo que diferencia a dos sistemas de la misma naturaleza son los valores de los parámetros de la estructura. La identificación se transforma entonces en una búsqueda de los valores óptimos para dichos parámetros en base a la información de entrada-salida.

Modelado de caja negra: En este tipo de modelado los parámetros (valores) del modelo obtenido no tienen interpretación física, esto quiere decir que los coeficientes de la ecuación obtenida tan solo tienen significado matemático, lo único importante es encontrar un modelo aplicando técnicas de análisis numérico desde las mediciones de la entrada hacia las de salida. Para expresar la relación entre la entrada y la salida puede utilizarse prácticamente cualquier recurso matemático como ecuaciones de diferencia, lógica difusa entre otros.

Vale recalcar que el uso del enfoque de caja negra no implica desconocimiento total del comportamiento físico del sistema, incluso es posible utilizar este tipo de estructura de forma comparativa conjuntamente con el *enfoque de caja blanca* para temas didácticos. Como ejemplo de lo mencionado se encuentra el presente proyecto, donde se usan técnicas de identificación a través de la herramienta NI System Identification Toolkit LabVIEW, que, aunque se conocen los principios generales del comportamiento del agua en el sistema, se habla de un modelamiento de caja negra, ya que no es necesario especificar a la herramienta de identificación de LabVIEW con qué tipo de sistema esta interactuando para que sea ella quien sugiera una serie de modelos que simulan el comportamiento del mismo.

Aunque existe más de una clasificación de los métodos de identificación de sistemas para la obtención de un modelo, se comparará la clasificación por el tipo de modelo esperado. Según este tipo de categorización los métodos pueden ser de tipo paramétrico o no paramétrico. Los paramétricos, como su nombre lo indica, tienen como objetivo el cálculo de parámetros (valores numéricos) para ser adheridos a una estructura previamente escogida. Mientras que los métodos no paramétricos son completamente lo contrario, no entregan como resultado valores de parámetros (de ahí su nombre), sino curvas o

funciones. Los métodos no paramétricos aunque son pocos, son ampliamente usados en los métodos de identificación numéricos, ya que con una serie de ecuaciones se pueden asemejar curvas que representan el comportamiento del sistema en estudio, entre los más populares están el análisis transitorio y de frecuencia.

Dentro de la herramienta System Identification de LabVIEW, Figura 3.5, es posible encontrar, entre otras cosas, las opciones de selección de métodos paramétricos y no paramétricos. Esto indica que el usuario podrá elegir el método según el tipo de análisis a realizar.

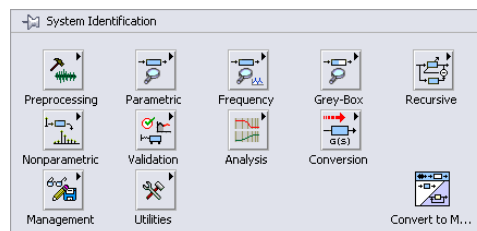


Figura 3.5: LabVIEW: Paleta System Identification Toolkit

La estimación no paramétrica del modelo es más eficiente, aunque menos precisa que la estimación paramétrica. Sin embargo se pueden utilizar métodos no paramétrico para obtener información útil acerca de un sistema antes de aplicar el modelo de estimación paramétrica. Por ejemplo, es posible utilizar un modelo no paramétrico para determinar el tiempo de retardo de un sistema (18).

En cambio los modelos paramétricos describen sistemas en términos de ecuaciones diferenciales, dependiendo de si un sistema está representada por un modelo discreto o continuo. Podrían proporcionar una estimación más precisa si se tiene conocimientos previos sobre la dinámica del sistema para determinar las órdenes de los modelos, los retrasos de tiempo, entre otras características de la planta (18).

Para este proyecto se desarrollo el VI “IDE” en el cual empleamos la herramienta “SI Transfer Function Estimation” del NI LabVIEW System Identification Toolkit, Figura 3.6, que con método paramétrico determina una función de transferencia del sistema en función de las señales de estímulo y respuesta.

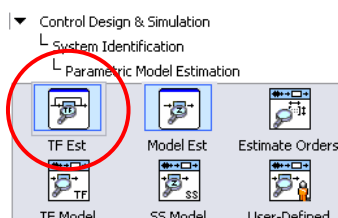


Figura 3.6: LabVIEW Herramienta SI Transfer Function Estimation

Para esto la Figura 3.7 muestra el asistente de esta herramienta, el cual permite elegir algunos parámetros para la identificación de la planta de nivel. Se seleccionó como tipo de modelo al continuo y como tipo de señal de estímulo la general, esto permitirá obtener una función de transferencia del grado que se considere necesario, además de elegir el uso de retardo o no para su representación.

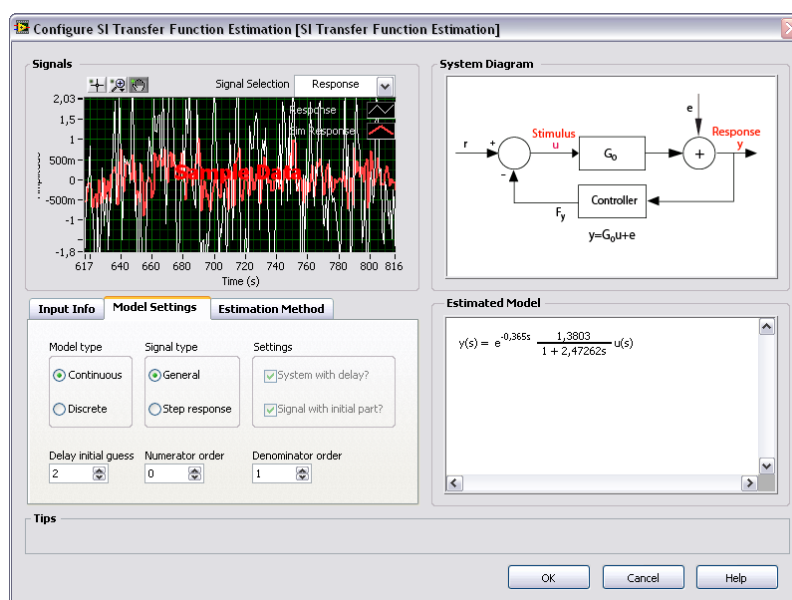


Figura 3.7: LabVIEW Asistente Conf. SI Transfer Function Estimation

En la Figura 3.8 es posible observar el comportamiento del nivel del líquido (gráfico a la derecha en azul) cuando la apertura de la válvula varía entre dos valores definidos (gráfico a la izquierda en rojo). Por ser este un proyecto didáctico, se modelará como un Sistema POMTM *Primer Orden Más Tiempo Muerto*, que es uno de los modelos en los

que se basa el método empírico de sintonía de Ziegler y Nichols para controladores PID el cual se tratará en el literal 3.3.

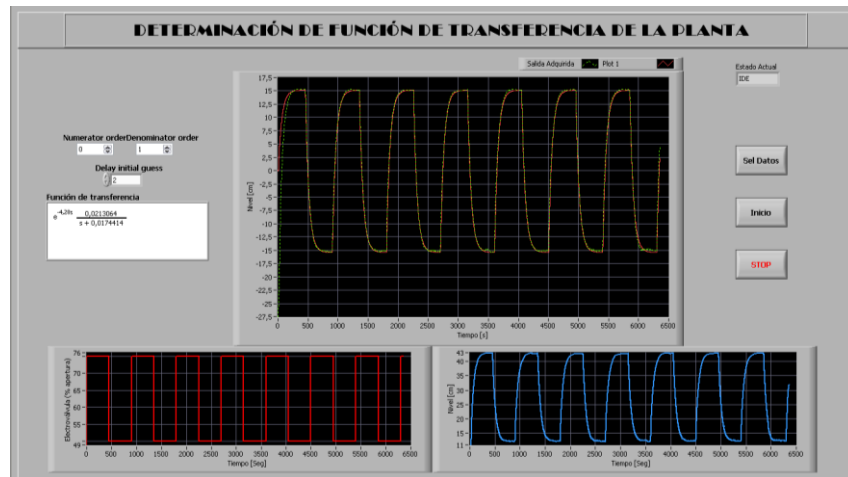


Figura3.8: LabVIEW: Panel Frontal VI “Identificación”

Un sistema de primer orden es aquel cuya salida $y(t)$ y entrada $u(t)$ pueden ser modeladas por una ecuación diferencial de primer orden:

$$\tau_p \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_p u(t)$$

Dónde:

- τ_p es la constante de tiempo del proceso
- K_p es la ganancia del proceso

Si $y(t)$ y $u(t)$ están definidas mediante la utilización de *variables de desviación*⁵ alrededor del estado estacionario, las condiciones iniciales son $y(0) = 0$ y $u(0) = 0$.

Operando en función de la frecuencia y considerando el tiempo de retraso que tiene todo sistema, se tiene la función de transferencia del proceso de primer orden más tiempo muerto:

$$G(s) = \frac{K_p}{\tau_p s + 1} e^{-t_m s}$$

Después de todo el proceso de selección de la señal de estímulo, adquisición de datos del sistema y de la parametrización del asistente del System Identification, se propone el siguiente modelo aproximado de primer orden:

$$G(s) = \frac{0.0213064}{s + 0.0174414} e^{-4.28s}$$

$$G(s) = \frac{1.221599}{57.33484697s + 1} e^{-4.28s}$$

⁵Variable de desviación se define como la diferencia entre el valor de la variable y su valor en el punto de operación.

3.2. Diseño panel de control para PLC MOELLER

En la sección anterior se obtuvo una función de transferencia que representa el comportamiento dinámico de la planta alrededor de un punto de operación. Como se mencionó anteriormente, un sistema puede ser representado por más de una ecuación, y para cada punto de operación es posible obtener una función de transferencia que simule de mejor manera su conducta alrededor de este.

Dentro de los procesos industriales, existen varias técnicas de control, como es el caso del control por histéresis, usado en sistemas lentos que no necesitan de precisión. En este proyecto se eligió uno de tipo PID (Proporcional, Integral y Derivativo), ya que es uno de los más utilizados en la industria y de los más estudiados en el plano académico.

Ogata (14) define un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) como un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.

Este tipo de control es muy versátil ya que puede variar su tipo de acción dependiendo de la parametrización del mismo, pudiendo ser un control rápido pero oscilante en su inicio, o robusto pero lento. La Figura 3.9 representa un diagrama de bloque típico de un controlador PID.

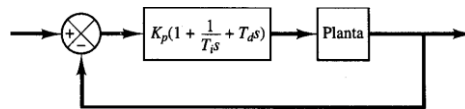


Figura 3.9: Diagrama de bloques controlador PID ⁽¹⁴⁾

El diseño de un controlador Proporcional Integral Derivativo consiste en la determinación de los parámetros K_p , T_i y T_d que pertenecen a la función de transferencia $G(S)$ de un controlador PID mostrada a continuación.

$$G(s) = K_p \left(1 + T_D s + \frac{1}{T_i s} \right) = \frac{K_p}{T_i} \left(\frac{T_D T_i s^2 + T_i s + 1}{s} \right)$$

Aunque es posible encontrar otros tipos de algoritmos para este tipo de controladores. Los dos bloques PID utilizados en este proyecto, Figura 3.10(a) es usado para el control del sistema y Figura 3.10(b) para simular su comportamiento como diagrama de bloque y para la obtención de su función de transferencia.

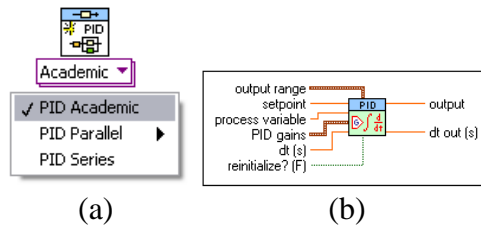


Figura 3.10: LabVIEW: Bloques PID

La Tabla 3.1 indica los tipos de PID según su algoritmo de control. A pesar de que la selección del tipo de PID solo influye en el dimensionamiento de los parámetros de control, mas no en control propiamente aplicado, hemos escogido el tipo académico por ser el más relacionado con la Industria, ya que la mayoría de los controladores programables del mercado local utilizan este tipo de algoritmo.

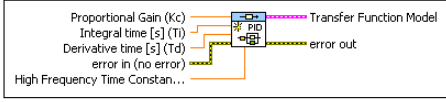
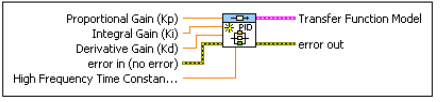
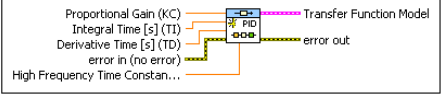
Tipos de PID de acuerdo a sus parámetros	Algoritmo de la F.T. para PID
<p>CD Construct PID Model (Academic)</p> 	$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$
<p>CD Construct PID Model (Paralele, Continuous)</p> 	$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$
<p>CD Construct PID Model (Series)</p> 	$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) (1 + T_d s)$

Tabla 3.1: Tipos de PID en LabVIEW

El diseño del controlador PID se lo hace en función del conocimiento previo del proceso, es decir, partiendo de un modelo matemático, o del registro de datos mediante técnicas experimentales.

Por ser este proyecto de finalidad didáctica, la sintonización de los parámetros de control se los realizará basándonos en la gráfica de la respuesta del sistema simulado, pudiendo así predecir el comportamiento que tendrá la planta ante un cambio en los parámetros descritos. La Figura 3.11 muestra el panel frontal del control de nivel mediante el uso del PLC, donde se observan dos curvas en el plano en negro, la curva de color roja representa el sistema simulado mientras que la curva de color verde representa la evolución del nivel con respecto al tiempo, lo que superpuestas muestran una aproximación del error entre la curva real y la estimada.

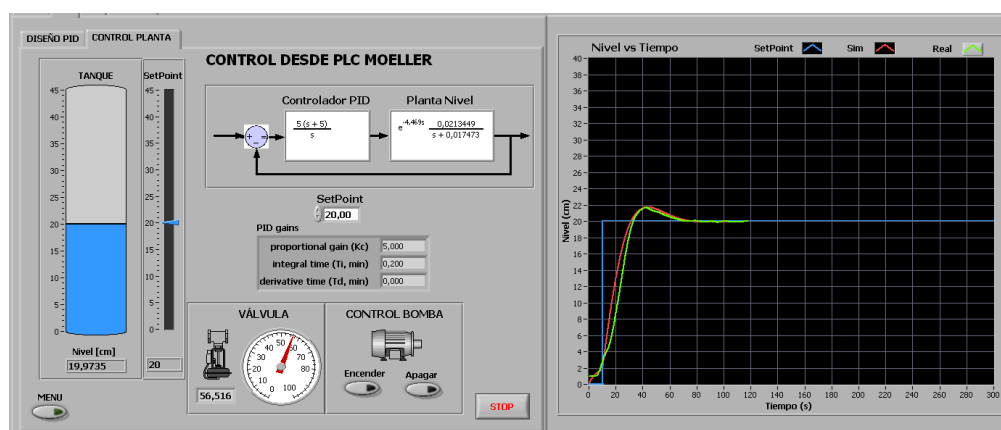


Figura 3.11: LabVIEW: Panel Frontal control PLC

En la Figura 3.12 se observa el diagrama de bloques de la pestaña “diseño PLC” donde se obtiene una función de transferencia para el PID, además de simular su comportamiento conjuntamente con la planta, para el diseño de un óptimo controlador.

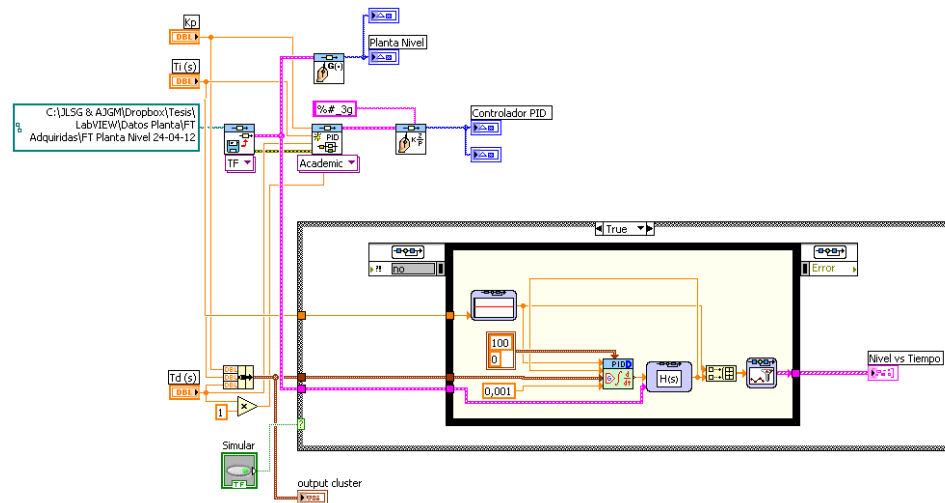


Figura 3.12: LabVIEW: Diagrama de Bloques Simulación Planta

3.2.1. Sintonización de parámetros

Los métodos de sintonización para PID presentados por algunos autores se pueden clasificar en dos grandes grupos, los métodos de lazo abierto y cerrado. Los métodos de lazo abierto utilizan los resultados obtenidos de un estímulo escalón al sistema, mientras que los métodos de lazo cerrado ajustan los parámetros de control a medida que el sistema está siendo controlado.

Uno de los métodos pioneros de lazo cerrado es el propuesto Ziegler y Nichols (14), donde se busca llegar a un óptimo control obteniendo estos parámetros desde la experimentación sistemática, este procedimiento requiere eliminar la intervención de las partes integral y derivativa del controlador y aumentar paulatinamente la ganancia K_p hasta lograr que el sistema entre en una oscilación sostenida ante un cambio del escalón en el valor deseado. Una vez obtenida esta ganancia crítica (K_c) se toma además el periodo de dichas oscilaciones (P_c), con estos dos valores se pueden obtener los parámetros K_p , T_i y T_d a partir de las fórmulas de la Tabla 3.2 propuesta por los mismos autores. En la Figura 3.13 (a) se observa un diagrama de bloque de la técnica mencionada y en la Figura 3.13 (b) se presenta la respuesta esperada, con una oscilación sostenida con período (P_c).

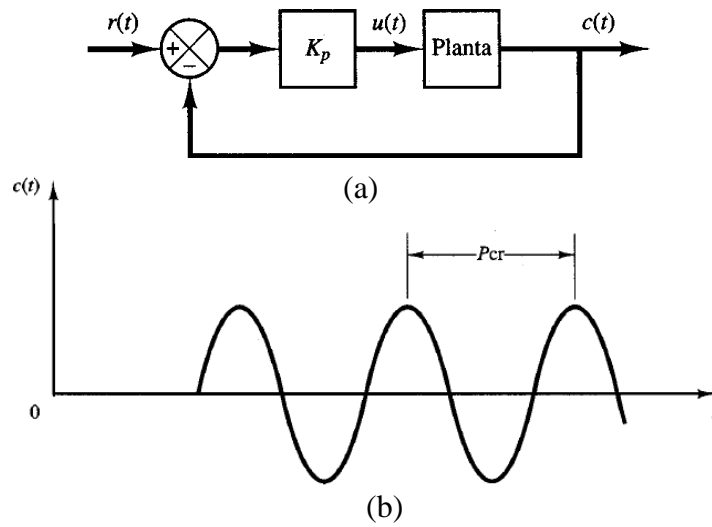


Figura 3.13: Sistema en lazo cerrado con control proporcional

Tipo de controlador	K_p	T_i (m)	T_d (m)
P	$0.5 K_c$	∞	0
PI	$0.45 K_c$	$0.89 P_c$	0
PID	$0.6 - 1.0 K_c$	$0.5 P_c$	$0.125 P_c$

Tabla 3.2: Sintonización Lazo Cerrado Ziegler y Nichols

Una variante a este método es el de los autores Astrom y Hagglund (llamado también método del relé), donde se aplica amplitud de entrada de valor $2h$ de pico a pico para conseguirlos valores de K_c y P_c .

Este control da una oscilación ante una entra escalón, que será una señal oscilatoria de periodo P_c y de amplitud A , que sustituyendo de la ecuación que se presenta a continuación se obtiene el valor de K_c .

$$K_c = \frac{4h}{\pi A}$$

Posteriormente se aplica la misma Tabla 3.2. En la Figura 3.14 se observan los parámetros característicos del ensayo para el método del relé.

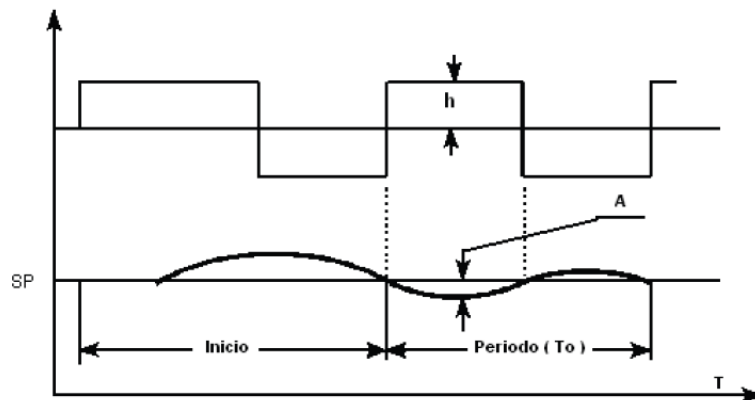


Figura 3.14: Método Astrom y Hagglund: Señales Estímulo y Respuesta:

3.2.2. Diseño controlador PID

Con la obtención de una función de transferencia, es posible diseñar un controlador acorde a los requerimientos del proceso mediante técnicas no paramétricas, como el análisis transitorio o de frecuencia, donde el diseñador pueda decidir qué tipo de naturaleza tendrá el controlador.

Aunque los métodos de diseño matemáticos utilizan restricciones particulares impuestas a la forma de la respuesta que permiten determinar con precisión los parámetros del controlador, se espera que el usuario de este proyecto estime un control adecuado a partir de la simulación presentada, es decir que el diseño del controlador para este caso es construido a base de técnicas de simulación, pudiendo luego contrastar los resultados obtenidos en la simulación y en la planta real. La Figura 3.15 muestra una fracción del panel frontal donde la función de transferencia del PID va cambiando a medida que sus constantes K_c , T_i y T_d lo hacen.

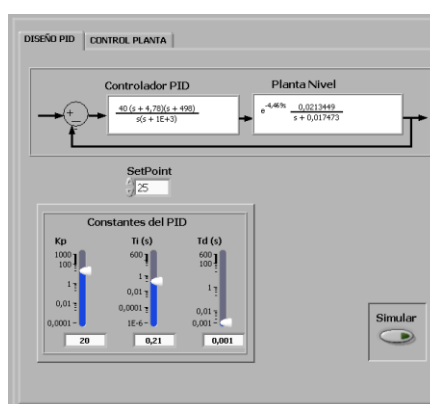


Figura 3.15: LabVIEW: Panel Frontal Simulación Planta

A pesar de que el control mediante PLC será obtenido mediante prueba y error, se plantea el uso de la opción Autotuning del bloque PID de LabVIEW como método de obtención de constantes (K_c , T_i y T_d) que servirán de patrón para futuras comparaciones. En la Figura 3.16 se observa el cuadro de diálogo de la opción Autotuning PID, que de forma automática busca parámetros adecuados para el control de nuestra planta.

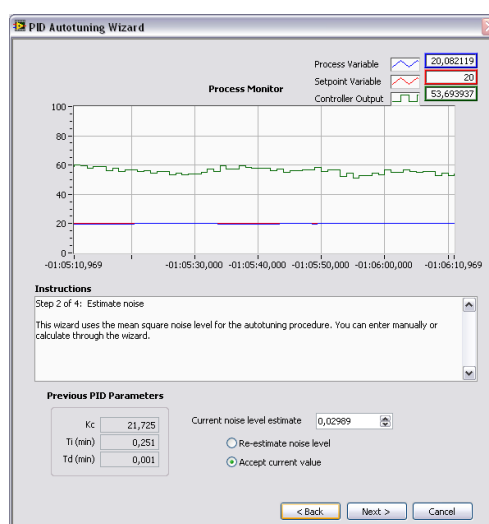


Figura 3.16: LabVIEW: PID Autotuning

Aplicado el proceso de Autotuning automático de LabVIEW se presentan los valores sugeridos por el software para el control del sistema.

$$K_p = 21.725$$

$$T_i = 0.251$$

$$T_d = 0.001$$

3.3. Diseño panel de control para ABB Digitric 500.

Como se describió en la sección anterior, para la sintonización del controlador PID para el PLC se utilizó un método de lazo cerrado, esto fue gracias a la obtención de una función de transferencia que representa al sistema, en esta sección se asumirá que no se cuenta con dicha función, con el único objetivo de diversificar la forma de obtener los parámetros para un controlador de este tipo.

Los procedimientos de sintonización de lazo abierto utilizan modelos predefinidos de la planta que se obtiene, generalmente, a partir de la curva de reacción del proceso, es decir, observando la gráfica resultante de una prueba escalón al sistema se busca cierta información que luego será traducida en los parámetros de control. En este tipo de método se espera obtener los parámetros K_p , τ_p y t_o de un sistema de primer orden más tiempo muerto (POMTM), o de un Sistema de Segundo Orden más Tiempo Muerto (SOMTM).

La curva de la respuesta se registra hasta que el sistema haya pasado entre dos estados estacionarios. Según la naturaleza de la planta esta prueba puede durar de varios segundos a algunas horas. En la Figura 3.17 se observa la curva de respuesta de nuestra planta con un estímulo del 65% de apertura, el tiempo aproximado transcurrido para su estabilización es de 350 segundos.

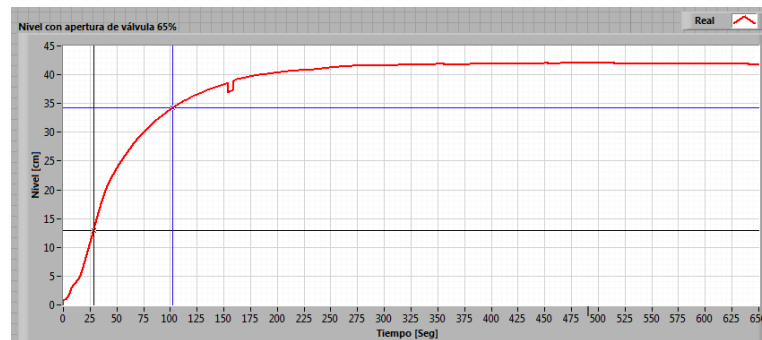


Figura 3.17: Curva respuesta escalón planta nivel

Como la curva obtenida tiene una forma de S se puede caracterizar al proceso como un sistema de primer orden más tiempo muerto (ver sección 3.1.2) y es posible aplicar el criterio de Ziegler y Nichols para este tipo de sistemas en lazo abierto. La siguiente ecuación representa un sistema POMTM, donde K_p es la ganancia del sistema, que es la relación entre la diferencia entre los dos valores de estado estacionario y la diferencia entre los valores de excitación. Esta relación se observa en la Figura 3.18.

$$K_p = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

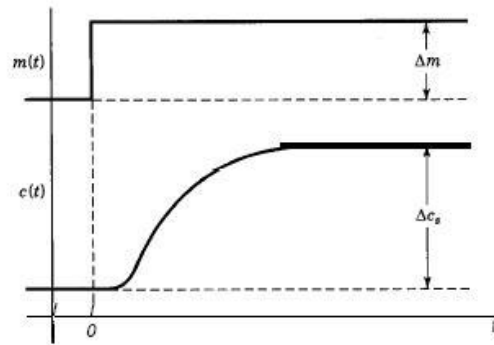
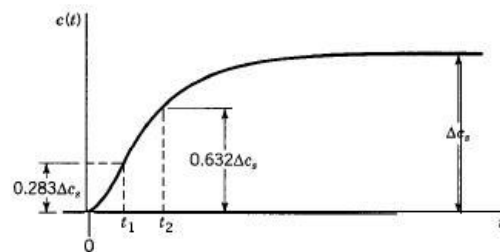


Figura 3.18: Respuesta Escalón: parámetros de ganancia

Para hallar el valor de las constantes restantes τ_p y t_0 se usa un método gráfico.



Donde:

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$$

$$t_0 = t_2 - \tau$$

Se emplea la tabla propuesta por Ziegler y Nichols para sintonización en lazo abierto.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$	--	--
PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$	$3.33t_0$	--
PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$	$2.0t_0$	$0.5t_0$

Tabla 3.3: Sintonización Lazo Abierto Ziegler y Nichols

Para nuestro proceso se obtuvieron los siguientes datos.

$$\Delta c = 29.1 \text{ cm}$$

$$K = \frac{29.1}{65} = 0.447$$

$$28.3\% \Delta c = 8.2353 \text{ cm} \quad t_1 = 37 \text{ s}$$

$$63.2\% \Delta c = 18.391 \text{ cm} \quad t_2 = 73 \text{ s}$$

$$\tau = \frac{3}{2}(73 \text{ s} - 37 \text{ s}) \quad \tau = 54 \text{ s}$$

$$t_0 = 73 - 54 = 19 \text{ s}$$

Con estos valores obtenidos es posible configurar tres tipos de controladores P, PI y PID, como en la sección anterior se analizó un controlador PID, en esta sección se aplicará uno de tipo PI para contrastar la respuesta obtenida. Siendo los parámetros K_c y T_i los siguientes:

$$K_c = 5.722$$

$$T_i = 63.27 = 1.0545$$

Ya que el controlador ABB tiene un algoritmo de control

$$G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{T_i}{s} + T_D s \right)$$

Se tomará el recíproco del valor de T_i para la parametrización del controlador. Entonces los registros correspondientes a estas constantes quedarán de la siguiente forma:

$$K_c = 5.722$$

$$T_i = 0.948$$

3.3.1. Parametrización desde LabVIEW

Por ser el controlador ABB Digitric 500 un dispositivo programable donde solo es necesario la calibración de las constantes K_p , T_i y T_d para obtener control sobre un proceso, solo es necesario crear una interfaz en la cual se asignen dichos parámetros. En la Figura 3.19 se muestra el panel frontal para la asignación de valores de algunos de los registros del ABB. Como se describió en el capítulo 1 esta comunicación ocurre utilizando el protocolo Profibus DP y LabVIEW solo es un enlace entre este dispositivo programable y el usuario. Como opción adicional se incorporó el selector MAN/AUTO donde se podrá dar una apertura arbitraria a la válvula de llenado o un control PID bajo los parámetros ingresados respectivamente.

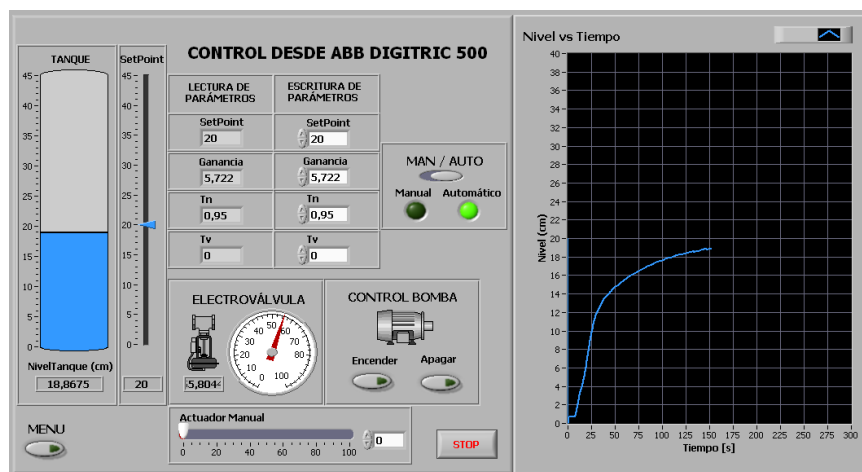


Figura 3.19: LabVIEW: Panel Control desde ABB

En la Figura 3.20 se observa una fracción del diagrama de bloques del control de la planta con el ABB, como se mencionó anteriormente LabVIEW solo enlaza las variables compartidas de entrada y salida con cuadros de diálogo que serán modificadas por el usuario.

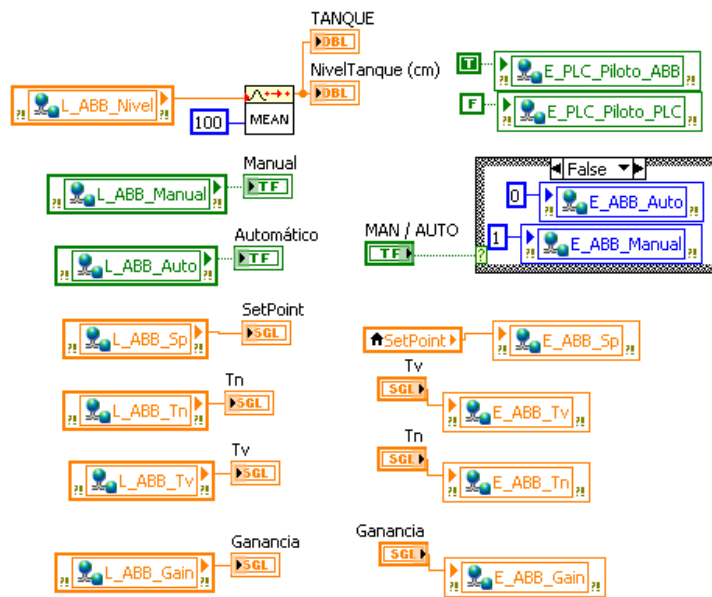


Figura 3.20: LabVIEW: Diagrama Bloques panel control desde ABB

3.4. Prueba y Análisis de Resultados

Por ser la identificación de sistemas un proceso que en su mayoría tiene carácter experimental es lógico pensar que existe más de un factor que influirá en el resultado esperado. Durante este proceso se elige una señal de estímulo para excitar al sistema, luego se escoge una ecuación acorde al funcionamiento del mismo, con la ayuda del Toolkit System Identification de LabVIEW, para finalmente tomar la decisión de aceptar o rechazar la función obtenida. Por lo tanto se deben cumplir algunos pasos antes de obtener un resultado satisfactorio. La Figura 3.21 es un diagrama de flujo que representa el proceso de identificación de sistemas.

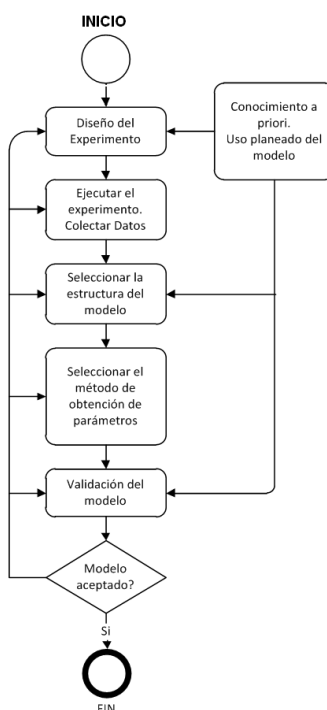


Figura 3.21: Diagrama de flujo de la identificación de sistemas ⁽¹⁷⁾

La primera prueba que se realizó fue la correcta selección del tipo de estímulo aplicado al sistema, para la obtención de la curva de respuesta. En el plano de la Figura 3.22 se simulan tres funciones de transferencia de tipo POMTM que se obtuvieron con diferentes estímulos, la curva de color azul es el resultado de un estímulo tipo escalón, la de color verde representa la respuesta a un estímulo sinusoidal mientras que la curva en morado es la respuesta a una señal de entrada cuadrada. En la Tabla 3.4, se pueden comparar las respectivas funciones de transferencia obtenidas. La ganancia de lazo abierto del sistema no difiere de gran manera, lo que indica ecuaciones similares para modelar el comportamiento de la planta de nivel.

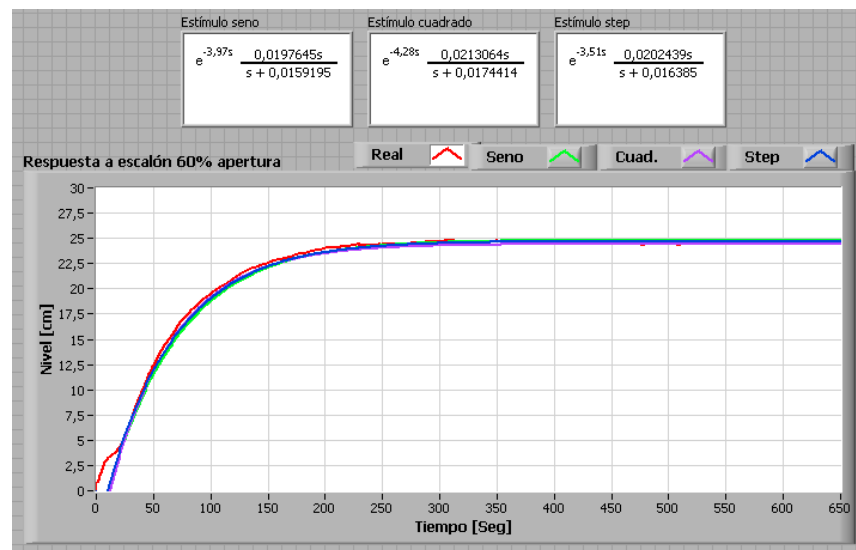


Figura 3.22: Curva de respuesta a diferentes estímulos

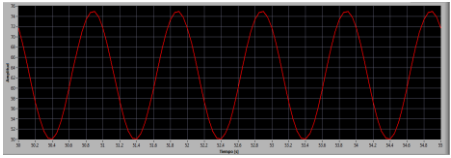
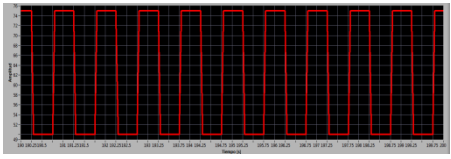
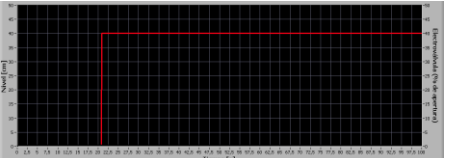
Tipo de Estímulo	Función de Transferencia Obtenida
	$G(s) = \frac{0.0197645}{s + 0.0159195} e^{-3.97s}$
	$G(s) = \frac{0.0213064}{s + 0.0174414} e^{-4.28s}$
	$G(s) = \frac{0.0202439}{s + 0.016385} e^{-3.51s}$

Tabla 3.4: Comparación de estímulos

Seleccionado el estímulo a utilizar, para este proyecto una onda cuadrada, se escoge el tipo de ecuación acorde a los principios físicos del sistema. La herramienta System Identification mediante su cuadro de diálogo permite esta tarea, con la única restricción de que la función de transferencia sea propia⁶. Se eligieron tres modelos distintos, similar a la anterior figura, la Figura 3.23 presenta tres curvas superpuestas de una simulación por cada función de transferencia obtenida, además de la curva de reacción del sistema. En la Tabla 3.5 se muestra el detalle de cada una de las curvas.

⁶Una función de transferencia propia representa un sistema ejecutable en tiempo real, tiene numerador de orden menor o igual al del denominador (15).

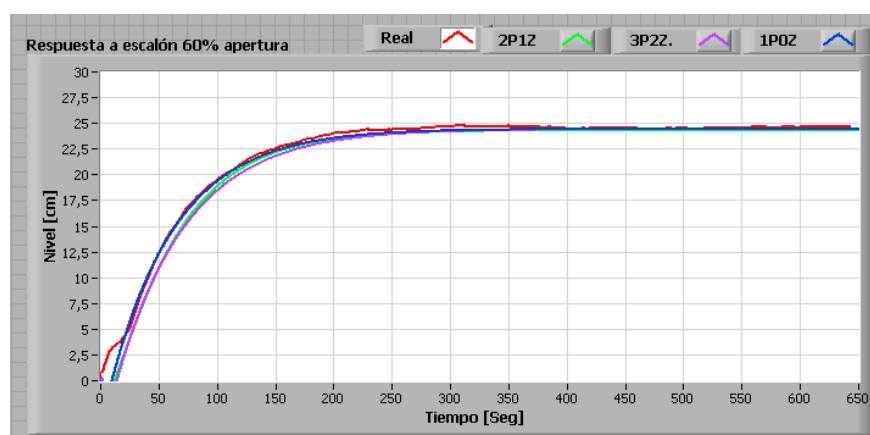


Figura 3.23: Curva de respuesta a diferentes modelos

Tipo de función	Función de transferencia
Dos polos y un cero	$G(s) = \frac{0.0137806s + 0.00141548}{s^2 + 0.81441s + 0.00116355}$
Tres polos y un cero	$G(s) = \frac{0.133384s^2 - 2.51079s + 2.16768}{s^3 + 110.941s^2 + 109.764s + 1.77423}$
Un polo y sin ceros	$G(s) = \frac{0.0213064}{s + 0.0174414} e^{-4.28s}$

Tabla 3.5: Comparación de modelos matemáticos

Al elegir una función de transferencia, se debe validar que ésta cumpla con la finalidad de representar al sistema. Para esto se compara el comportamiento de la planta con una simulación de la función obtenida, generando una señal escalón con cuatro diferentes amplitudes, los resultados se presentan en las Figuras 3.24 a 3.27.

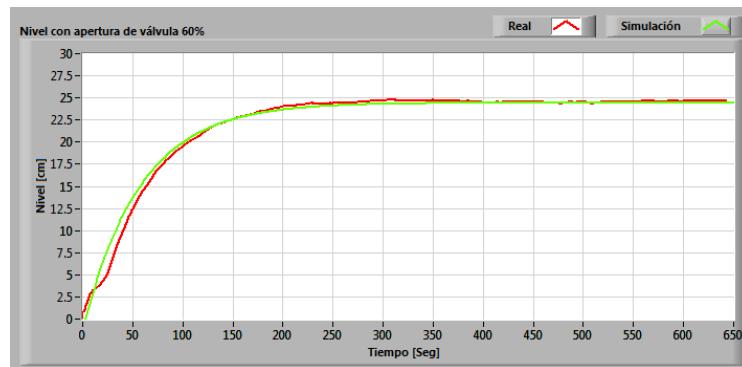


Figura 3.24: Curva de respuesta apertura 60%

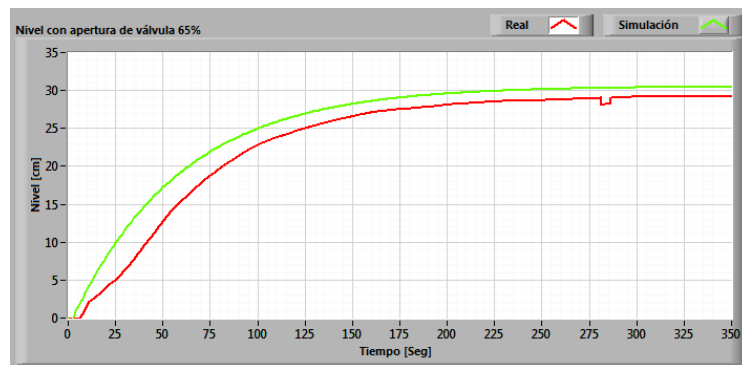


Figura 3.25: Curva de respuesta apertura 65%

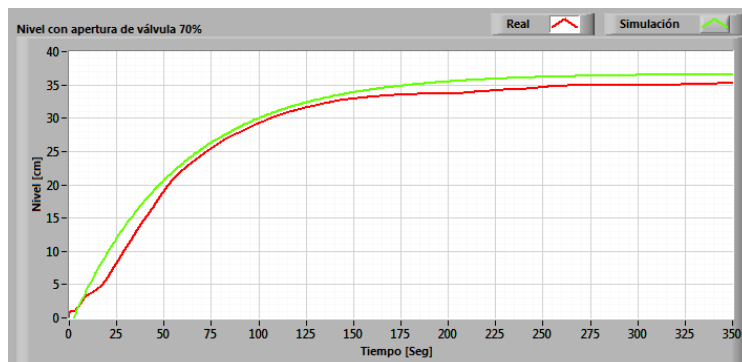


Figura 3.26: Curva de respuesta apertura 70%

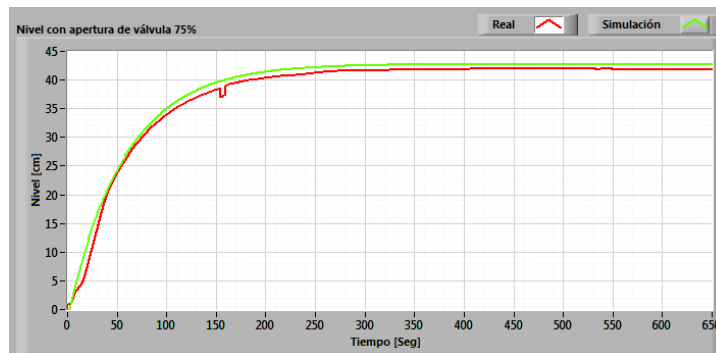


Figura 3.27: Curva de respuesta apertura 75%

En la Figura 3.25 correspondiente a una apertura de 65% de la válvula se observa el mayor error de las cuatro comparaciones, estando la simulación en su punto más extremo tres cm por encima de la gráfica real, aunque en general se observa un comportamiento muy cercano del modelo obtenido a la planta de nivel.

Aceptando la función de transferencia:

$$G(s) = \frac{0.0213064}{s + 0.0174414} e^{-4.28s}$$

Con la función $G(s)$ se puede modelar un controlador para la planta de nivel. Tomando como referencia las constantes obtenidas en la sección 3.2.2 se presenta en las Figuras 3.28 – 3.29, el diagrama de bloques de la planta de nivel y su respectivo controlador PID.

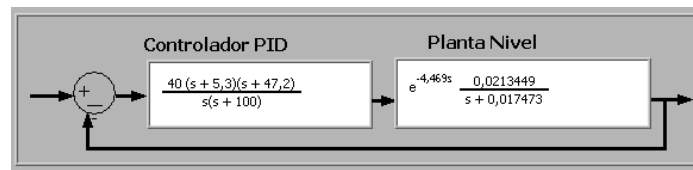


Figura 3.28: Diagrama de bloques controlador y planta de nivel

La planta de nivel de este proyecto fue probada con diferentes controladores, todos del tipo PID, en las figuras 3.29 y 3.30 en estas gráficas se superponen la curva real de operación de la planta y su respectiva simulación. La parametrización para estos dos controladores no es la más eficiente, comprobando que la simulación del sistema (controlador y planta de nivel) asemeja de gran manera el comportamiento real.

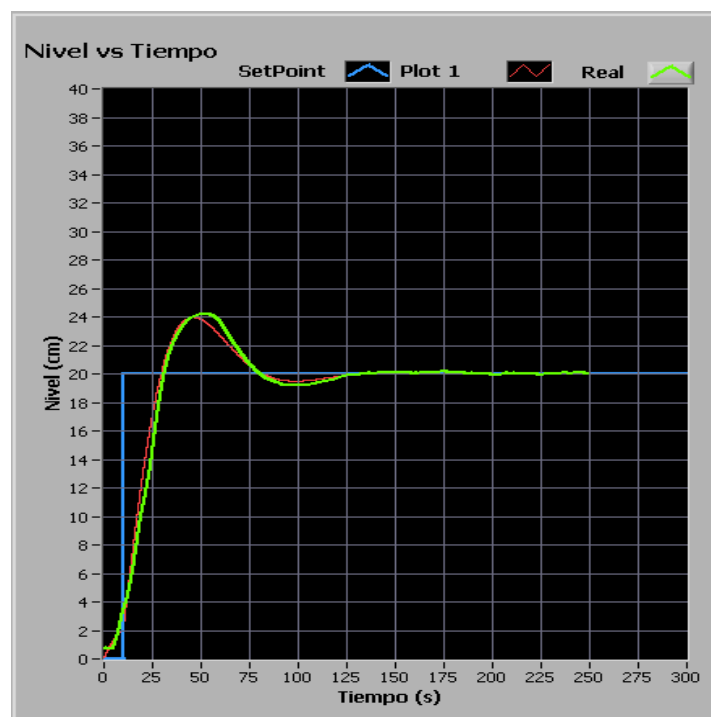


Figura 3.29: Curva de respuesta planta con controlador PID (1)

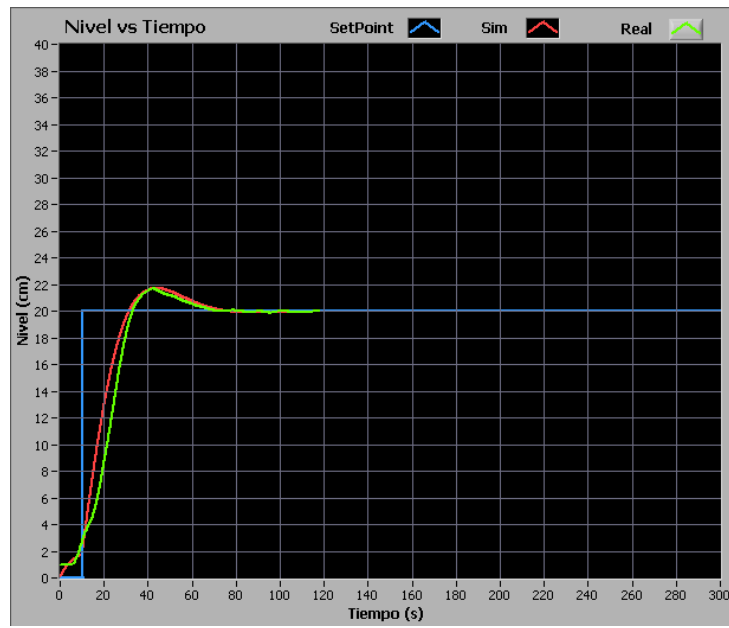


Figura 3.30: Curva de respuesta planta con controlador PID (2)

CAPÍTULO 4

4. Creación del sistema de control para la planta de nivel vía internet

Los procesos industriales en su gran mayoría son automáticos, con el fin de optimizar tiempo, mejorar rendimiento y aumentar la productividad. Estos factores motivan a un control autónomo. Un punto muy importante es que a estos sistemas se los diseña con el objetivo de mantener siempre un control en tiempo real, es en ese instante donde los programas como LabVIEW o MATLAB sirven como herramientas para su desarrollo e implementación.

Cabe recalcar que la definición de tiempo real es relativa, ya que siempre va a existir un tiempo de retardo en la transmisión de la información desde la planta física hasta el mando remoto de monitorización y viceversa.

En todo proceso industrial es fundamental conocer el estado de las variables de control del proceso a través de los diferentes sensores y actuadores que intervienen antes, durante y después de su ejecución. En muchos de los casos, es vital acceder a esta información de forma remota, dado esto, las facilidades que presenta el internet para un acceso virtual nos brinda un espacio con infinitas posibilidades para lograr este objetivo.

Este capítulo desarrolla la implementación y alojamiento de los paneles remotos en la web utilizando las herramientas de LabVIEW: Web Server y Web Publishing Tool.

4.1. Internet aplicado al control de procesos

Internet es una red de ordenadores pública basada en tecnología de conmutación de paquetes que conecta diferentes subredes de ordenadores a lo largo de todo el planeta. Surgió como resultado del programa ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*) emprendido en el año 1969 por el departamento de defensa americano. El objetivo era conseguir la comunicación entre los ordenadores situados en diversos centros de investigación de los Estados Unidos. A partir de esta fecha, el tamaño de la red inicial ha ido creciendo exponencialmente hasta llegar a la situación actual en la que Internet es omnipresente. Paralelamente se han ido desarrollando una serie de protocolos para dar respuesta a nuevos requisitos de comunicación. Así se desarrolló la familia de protocolos TCP/IP (RFC 1180, 1991; Stevens, W., R., 1994). Las siglas TCP/IP, que toman el nombre de dos de los protocolos centrales de la familia (TCP, *Transmisión Control Protocol* e IP, *Internet Protocol*), engloban un conjunto de protocolos que hacen posible la comunicación entre ordenadores a través de Internet. Este conjunto de protocolos recibe la denominación más común de: “Tecnologías Internet”. Estos protocolos se organizan por capas, en un enfoque similar al modelo de referencia OSI de ISO (ISO 7498-1, 1994; Zimmermann, H.,

1980), siendo cada capa responsable de un aspecto determinado de las comunicaciones. (26)

Entre los protocolos definidos en TCP/IP cabe señalar los protocolos de red, transporte y aplicación:

- **Red:** IP (*Internet Protocol*, RFC 791, 1981). Gestiona el encaminamiento de los paquetes a través de la red Internet.
- **Transporte:** Este nivel proporciona un flujo de datos entre dos, o más ordenadores. Existen dos alternativas: TCP(*Transmission Control Protocol*, RFC 793, 1981) que crea un circuito virtual que proporciona un flujo de datos fiable entre dos ordenadores y UDP (*User Datagram Protocol*, RFC 768, 1981) que sólo envía paquetes (datagramas) de un ordenador a otro sin ningún tipo de garantías.
- **Aplicación:** En el nivel de aplicación se gestionan los detalles de aplicaciones particulares. Algunos de los protocolos de este nivel permiten; acceder a ordenadores remotos (Telnet; RFC 854, 1983), enviar mensajes de correo electrónico (SMTP, *Simple Mail Transfer Protocol*; RFC 821, 1982; RFC 822, 1982), intercambiar ficheros (FT, *File Transfer Protocol*; RFC 959, 1985) o navegar a través de documentos de hipertexto (HTTP, *Hypertext Transfer Protocol*, RFC 2616, 1999).

Para desarrollar las páginas web se utiliza la herramienta que dispone LabVIEW: Web Publishing Tool, a través de ella siguiendo algunos pasos que se describen posteriormente, se crea el código HTML que permite tener acceso a nuestro panel remoto de monitorización y control.

HTML

Los documentos HTML (*Hyper Text Marku Language*) constituyen una alternativa interesante para ser utilizada en el área de control. Se trata de documentos autodescriptivos de hipertexto que permiten ser utilizados junto a navegadores Web (Internet Explorer, Netscape, etc.) para lanzar comandos sobre servidores remotos que a su vez pueden efectuar determinadas acciones sobre plantas industriales. Para enviar y recibir los documentos HTML sobre una red TC/IP es necesario usar el protocolo HTTP (14).

En el funcionamiento básico del protocolo HTTP, Figura 4.1: Solicitud Cliente Servidor Protocolo HTTP, los clientes (navegadores web) solicitan una página Web a través de un URL (*Uniform Resource Locators*, RFC 1630, 1994) a un servidor HTTP.

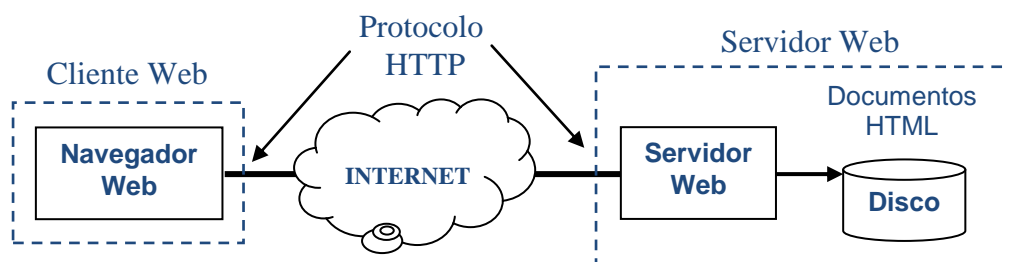


Figura 4.1: Solicitud Cliente Servidor Protocolo HTTP

Cuando reciben respuesta del servidor, éste transmite el documento HTML el cual solicita todos los recursos (texto, imágenes, etc.) asociadas a la página, el navegador web se encargará de reconstruir para poder mostrar sobre la pantalla del ordenador cliente acuerdo al lenguaje HTML.

Por lo descrito anteriormente es notorio que se necesita de un servidor web, en nuestro caso utilizamos el Web Server propio de LabVIEW.

4.2. Web Server LabVIEW

Un Web Server nos permite la invocación de métodos en un destino remoto a través de estándares basados en los protocolos Web (28). Un cliente envía una solicitud a un servidor remoto, que procesa la solicitud y contesta con una respuesta, la cual es interpretada y mostrada por una aplicación cliente.

Los componentes en un servidor web son:

- **Servidor:** Es una aplicación responsable de analizar y administrar una solicitud por parte de un cliente, la ejecución del método apropiado o acción y esperar recibir una respuesta que es interpretada por un cliente.
- **Cliente:** Es una aplicación que envía una petición al servidor y espera recibir una respuesta, que es luego interpretada por el mismo.

- **Protocolos Estándares:** Protocolos basados en la Web como HTTP que enruta la información, pregunta a través de redes físicas desde el cliente al servidor correcto y luego regresa al cliente con una respuesta.
- **Red:** La capa física como Internet sobre la cual se transmiten los datos.

La comunicación de un servidor con el cliente comprende varias capas de protocolos, en el caso del Web Server LabVIEW, Figura 4.2, describe las capas necesarias.

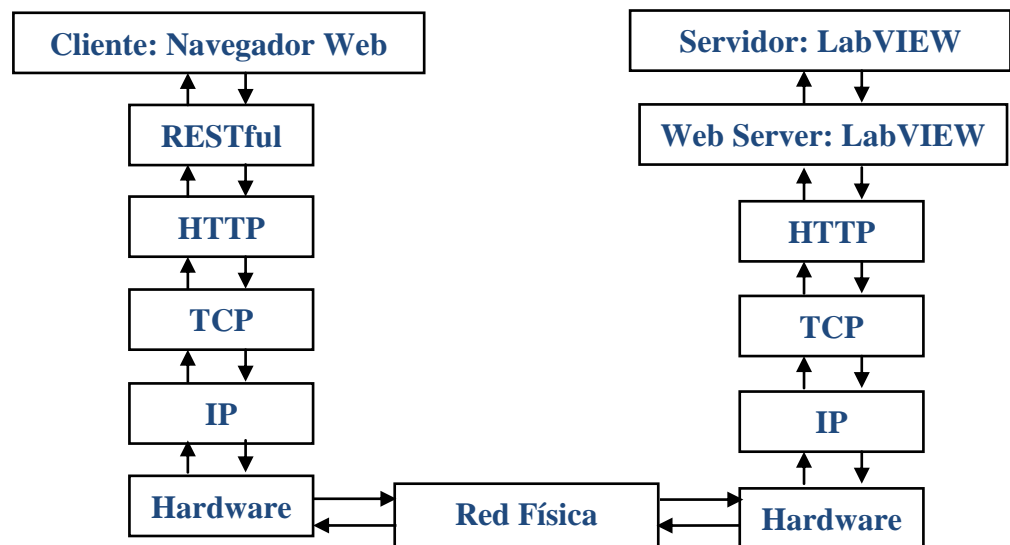


Figura 4.2: Capas Web Server LabVIEW Servidor-Cliente

El servicio Web de LabVIEW en una de sus capas utiliza arquitectura RESTful (*Representational State Transfer*: Transferencia de Estado Representacional) en la parte superior de los protocolos. Esta arquitectura utilizada por LabVIEW es la que describe cualquier interfaz web simple que utiliza XML y HTTP.

Dado esto se puede establecer los siguientes puntos como aplicaciones principales que pueden ser implementadas a través del Web Server LabVIEW (28):

- Comunicación con aplicaciones integradas de LabVIEW desde cualquier dispositivo con acceso a la Web.
- Permitir realizar comunicación máquina a máquina utilizando el protocolo HTTP.
- Supervisar y controlar de forma remota aplicaciones desarrolladas en LabVIEW (paneles frontales) por medio de los navegadores web.
- Transmitir tipo de datos estándar MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*: Extensiones Multipropósito de Correo de Internet), como texto, imágenes y videos.
- Implementar el servicio de Web Vis utilizando LabVIEW Real-Time, entre otras.

Para este proyecto se utiliza al Web Server de LabVIEW para alojar el panel frontal de control y monitorización de la planta de nivel, para realizar esto se debe cumplir con dos pasos:

1. Configurar y habilitar el Web Server LabVIEW en la máquina servidor (computador del laboratorio).
2. Utilizar Web Publishing Tool de LabVIEW para la creación de la página web del panel frontal que va a ser operado de forma remota.

4.2.1. Configuración del servidor web de LabVIEW

Para configurar los ajustes del servidor web se ingresa en LabVIEW *Tools/Options* en esta ventana se selecciona la categoría *Web Server*, Figura 4.3.

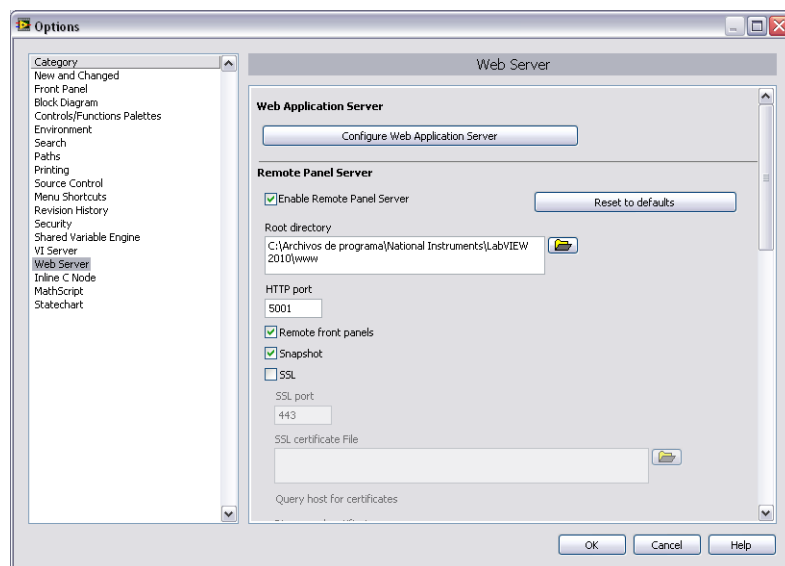


Figura 4.3: LabVIEW: Ventana Ajustes Web Server

En esta ventana se habilita el servidor de paneles remotos, se configura el puerto HTTP. Predeterminadamente el puerto HTTP habilitado por LabVIEW es el 8001, dadas las políticas de seguridad de la red de internet de la facultad se ha cambiado al puerto 5001, este puerto fue habilitado por el administrador de la red, para así poder tener acceso desde cualquier punto con conexión a internet. Sin un puerto habilitado solo se podría tener acceso desde la misma red a la que se encuentra conectada el computador servidor.

El Web Server LabVIEW también nos permite configurar los VIs Visibles y el Acceso de los navegadores por su dirección IP, Figura 4.4. Con esto se puede permitir o denegar el acceso a ciertas direcciones IP como medida de seguridad. Para nuestro caso han quedado habilitados con * para que no exista restricción alguna.

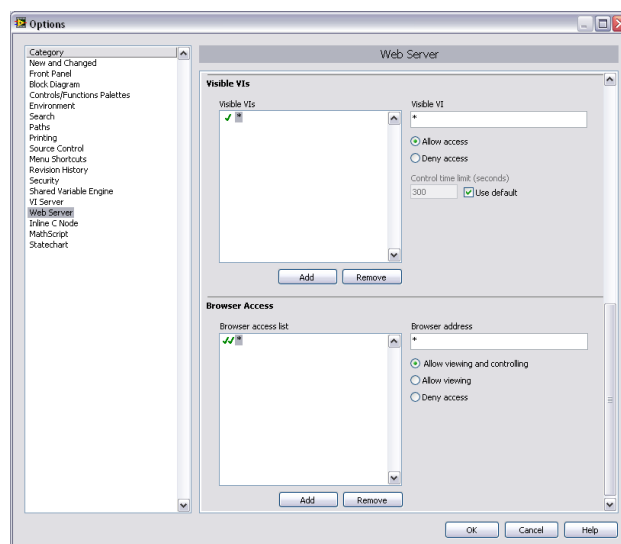


Figura 4.4: LabVIEW: Ajustes Web Server

4.3. Web Publishing Tool de LabVIEW

Esta herramienta nos permite, en pasos sencillos, crear las páginas web que van ser alojadas en el computador servidor. Para ingresar a esta herramienta se debe tener en abierto el VI a crear un panel remoto y seleccionar en la barra de menú la opción *Tools/Web Publishing Tool*, la Figura 4.5 presenta la ventana de configuración que en tres pasos nos permite crear la página web.

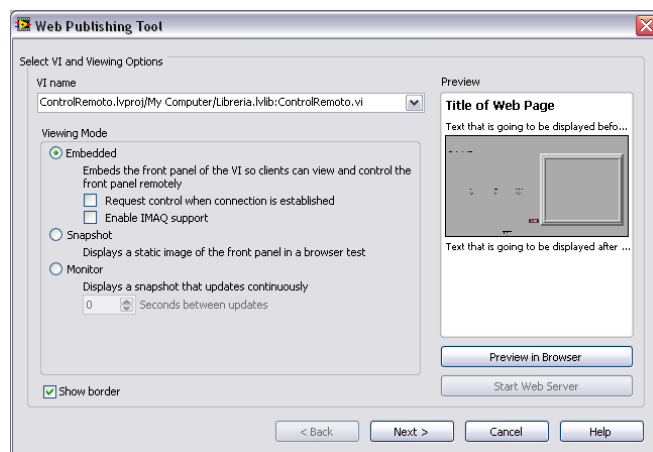


Figura 4.5: LabVIEW: Ventana Web Publishing Tool

Primero se selecciona el VI a crear una página web en la opción de VI Name, en el modo de vista tenemos 3 opciones:

- **Embedded:** es una vista integrada en donde el usuario podrá acceder a tener el control del panel frontal del VI.
- **Snapshot:** presentará una imagen estática del panel frontal en el explorador.

- **Monitor:** a diferencia de Snapshot esta opción permite presentar imágenes del panel frontal que se actualizara según el tiempo que se seleccione.

Como paso siguiente tenemos la opción de configurar con texto o código HTML el título, encabezado y pie de la página web. Para finalizar se asigna el nombre y se procede a almacenar el documento HTML que crea el acceso web con la dirección: URL.

4.3.1. Creación de paneles remotos.

En la ventana de dialogo del Web Publishing Tool se procede a seleccionar el VI a publicar en la web para este proyecto es “Control Remoto.vi”, Figura 4.6, y como se quiere implementar un control remoto, la opción de vista a seleccionar es Embedded.

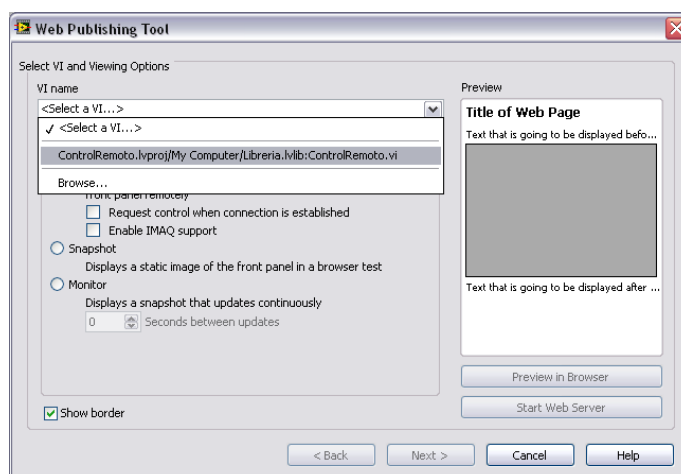


Figura 4.6: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 1

Se asigna un título a la página y además en la el pie de página con código HTML se agrega un hipervínculo para el acceso a una cámara IP para poder visualizar la planta de nivel en vivo.

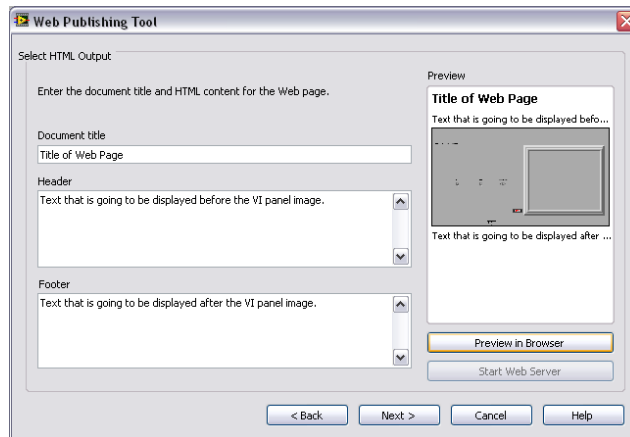


Figura 4.7: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 2

Finalmente como se observa en la *Figura 4.8* se procede a seleccionar la dirección para salvar la página web a crear y el nombre que se le va asignar.

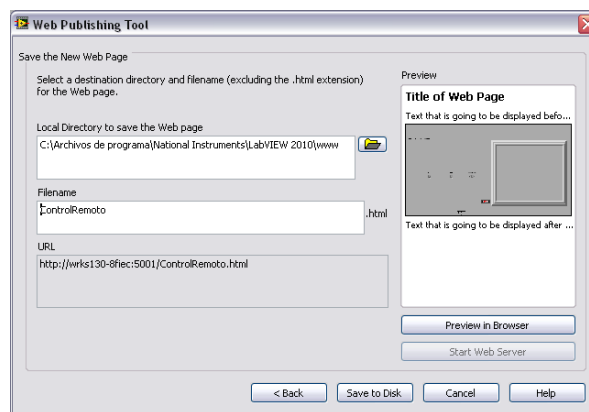


Figura 4.8: LabVIEW: Configuración Web Publishing Tool Paso 3

Como resultado final se tiene la dirección URL: <http://200.126.14.8:80/ControlRemoto.html>, Figura 4.9, para el acceso al sistema monitorización y control remoto.



Figura 4.9: Página Web para el acceso al control remoto

CAPÍTULO 5

5. Manual de usuario del sistema de monitorización y control remoto

Este capítulo tiene como objetivo dar las pautas y describir el funcionamiento del sistema de monitorización y control remoto de la planta de nivel vía internet. El procedimiento que se debe realizar en el computador servidor y detalla el funcionamiento de las opciones del panel frontal remoto para el control del proceso ya sea por el PLC MOELLER o el controlador industrial Digitric 500.

5.1. Indicaciones generales

La planta de nivel montada en el sistema didáctico de automatización de procesos RT450 de la marca GUNT Hamburg se encuentra ubicada en el laboratorio de instrumentación industrial de la Facultad de Ingeniería en Eléctrica y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Para el correcto funcionamiento se debe verificar lo siguiente:

- Alimentación eléctrica 120V_{AC}-60Hz.
- Alimentación de aire comprimido de 3 a 6 bares de presión, Figura 5.1 (3).

-
- El reservorio de agua debe estar lleno.
- Interruptor principal encendido Figura 5.1 (1).
- Pulsador parada de emergencia no habilitado Figura 5.1 (2).



Figura 5.1: Interruptor principal, pulsador parada de emergencia y alimentación de aire comprimido.

- Comprobar las conexiones eléctricas según el diagrama presentado en la Figura 1.10. y la conexión del cable RS-485, Figura 5.2, para la comunicación Profibus DP entre el maestro que es la tarjeta CIF50-PB y los esclavos controlados industrial y PLC.

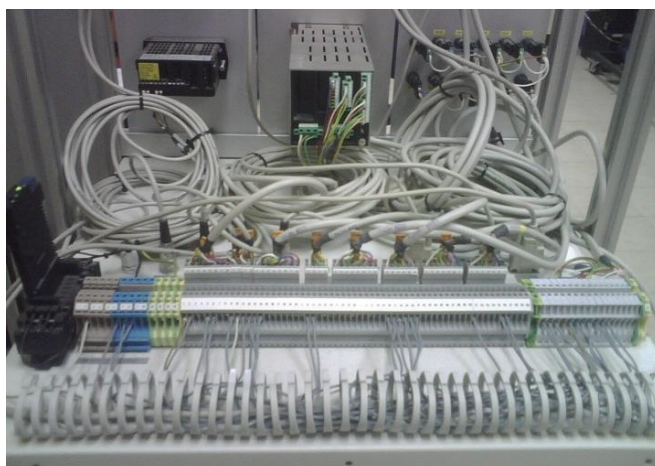



Figura 5.2: Vista de conexiones eléctricas y de comunicación de la planta de nivel

- El computador servidor debe encontrarse encendido, con acceso a internet, se debe tener activo el NI OPC Server y cargado el proyecto control remoto en LabVIEW.

5.2. Configuración en el computador servidor


En el computador servidor se debe comprobar el funcionamiento correcto de la comunicación Profibus DP desde el programa SyCon, activar el servidor del OPC en NI OPC Server y cargar en memoria el proyecto “Control Remoto” desarrollado en LabVIEW.

Se ingresa a SyCon  desde el menú inicio de Windows o desde la siguiente dirección *C:\Archivos de programa\Hilscher\SyCon* ya en este programa abrimos el archivo “CxnProfibus.pb” ubicado en *C:\Control Remoto\Profibus\SyCon* que contiene la configuración del bus de campo descrita en el capítulo 3. Con esto se debe realizar lo siguiente:

- Cargar la configuración del bus de campo para el reconocimiento de los dispositivos maestro y esclavos a través del menú *Online/Download*.
- Verificar que la comunicación Profibus DP sea correcta, para esto ingresar al menú *Online/StartDebugMode*. Si la comunicación es exitosa el bus junto a los dispositivos se deben pintar de color verde,

caso contrario se pintará de color rojo como señal de alarma la cual se tendrá que solucionar antes de proseguir.

Comprobado el correcto funcionamiento del bus de campo se puede cerrar SyCon y proceder a activar el servidor del OPC para esto se ingresa al NI

OPC Server de LabVIEW  desde el menú inicio de Windows o desde la siguiente dirección *C:\Archivos de programa\National Instruments\Shared\NI OPC Servers*.

En la ventana principal de este programa a través del menú *File/Open* se ubica el archivo “OPCServerPlantaNivelFinal.opf” que contiene la configuración previamente descrita en el capítulo 3 de este proyecto, este archivo lo encontramos en *C:\Control Remoto\Profibus\NI OPC Server*.

Para comprobar el correcto funcionamiento del servidor del OPC ejecutamos el Quick Client OPC desde el menú *Tools/Quick Client OPC...* donde podremos leer y escribir las variables que administra el servidor del OPC.

Con estos pasos se tiene listo el bus de campo y el servidor OPC dando así el paso para poder cargar el proyecto en LabVIEW.

Para poder tener acceso al panel frontal remoto vía internet como se menciono previamente se debe tener encendido el computador servidor, el cual forma parte del sistema al tener instalada la tarjeta CIF50-PB que forma parte de la comunicación Profibus DP.

Además se debe encontrar cargado en memoria del computador servidor el proyecto “Control Remoto”, caso contrario al intentar ingresar a la dirección web del sistema de control y monitorización se presentará un mensaje de error “*Requested VI is not loaded into memory on the server computer*” Figura 5.3, para esto se debe cumplir el siguiente procedimiento.

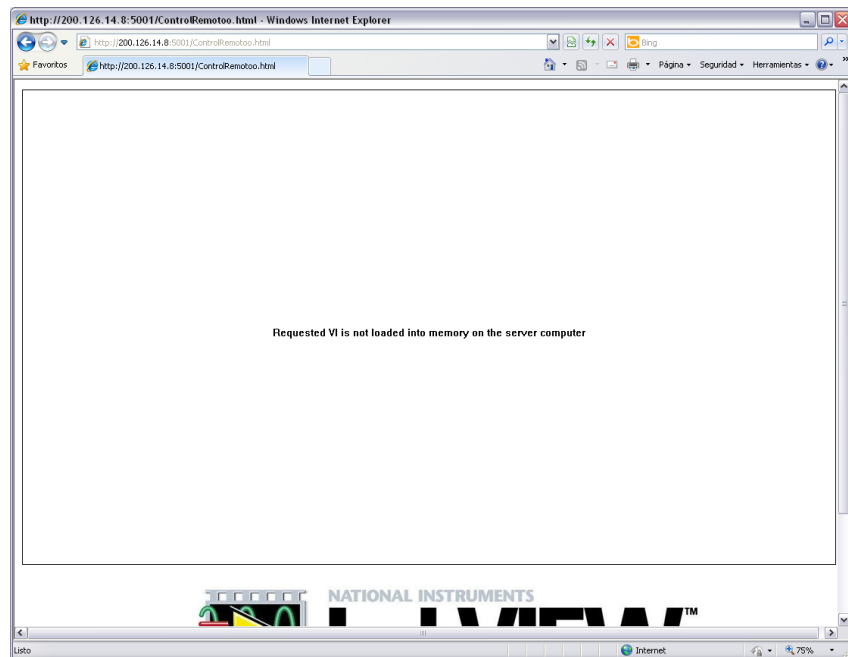



Figura 5.3: Mensaje de error cuando no se encuentra cargado VI en la memoria del computador servidor

Ingresar a LabVIEW  y abrir el proyecto con nombre “Control Remoto”, Figura 5.4, este se encuentra ubicado en la siguiente dirección:
C:\Control Remoto\LabVIEW

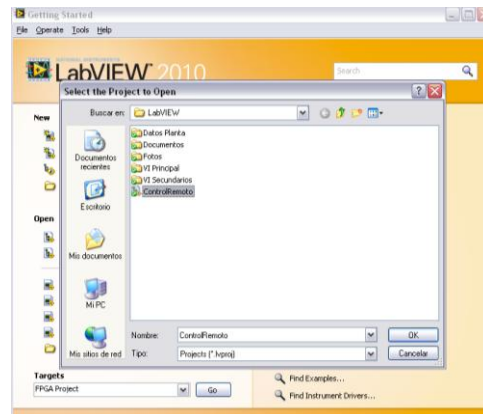


Figura 5.4: LabVIEW: Abrir proyecto “Control Remoto”

Cargado el proyecto con su respectiva librería. Y dando clic derecho sobre la librería, se selecciona la opción DeployAll, se espera hasta que la ventana nos presente un mensaje de “Deployment completed successfully” Figura 5.5.

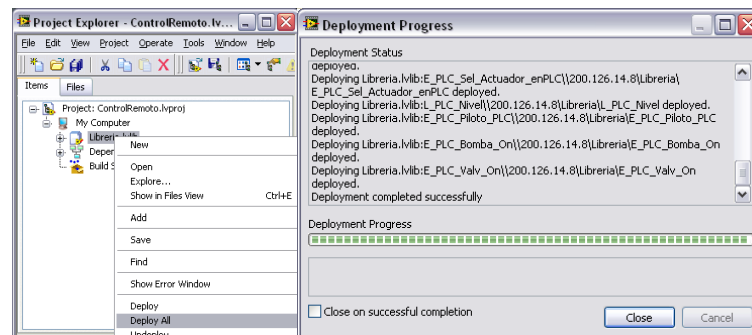


Figura 5.5: LabVIEW Implementación del proyecto en computador servidor

En la librería del proyecto se ingresa a la carpeta VI Principal en donde se encuentra el VI “ControlRemoto.vi” el cual será presentado vía web, dando doble clic o clic derecho Open, Figura 5.6, y se lo deja cargado en la memoria del computador servidor.

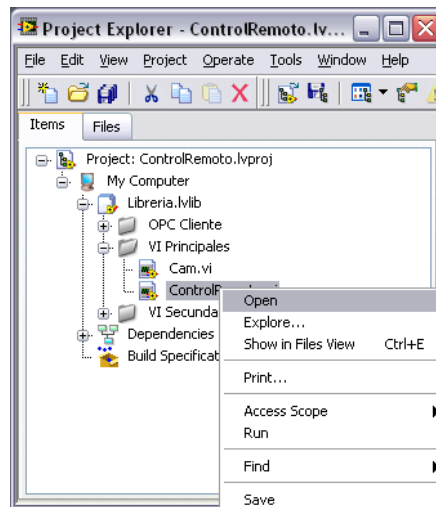


Figura 5.6: LabVIEW: Dirección del VI ControlRemoto.vi

Con esto la implementación finaliza y el sistema se encuentra listo para acceder de manera remota a través de internet por la dirección web asignada. Así desde el explorador se presenta la pantalla inicio, Figura 5.7, en la cual observamos 3 botones que nos dirigen según lo siguiente:

- PLC: Permite acceder al control de la planta a través del PID desarrollado en LabVIEW usando al PLC MOELLER como interfaz de comunicación.
- ABB: Permite acceder al control de la planta a través del controlador Industrial ABB Digitric 500,
- CREDITOS: Con información sobre el sistema de monitorización y control remoto vía internet.

Para dar marcha al control desde el menú del panel remoto *Operate/Run* y el sistema se empezará a ejecutar, otorgando el control al usuario desde internet.

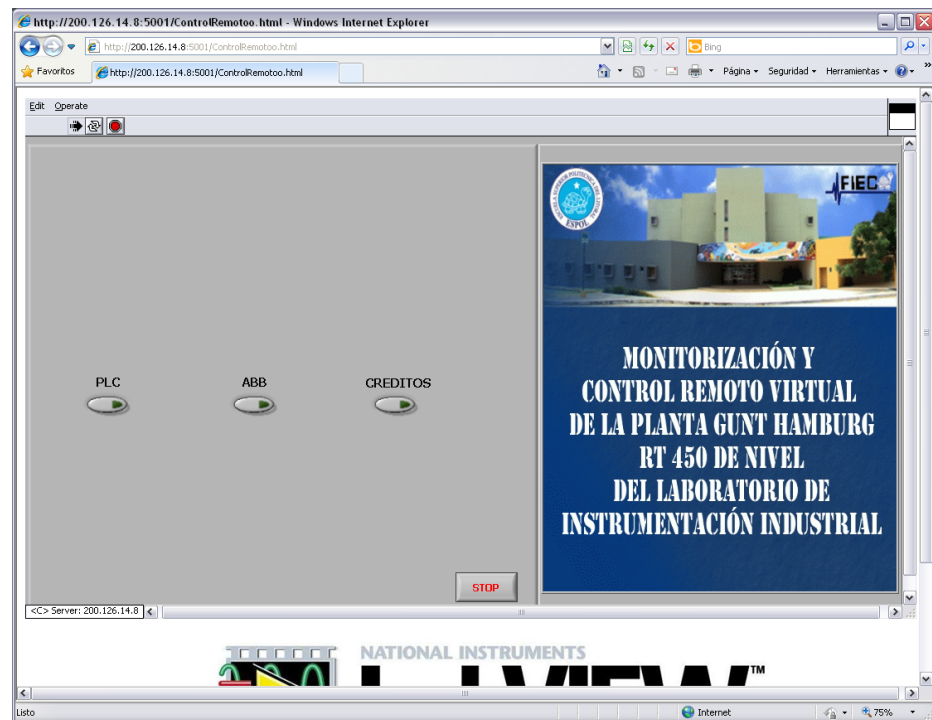


Figura 5.7: Vista Principal de página web para el control y monitorización vía internet

Cabe recalcar que el primer usuario que ingrese a la dirección web será quien tendrá el control del sistema, el resto de usuarios solo podrán monitorizar y observa el comportamiento de la planta bajo el control del primer usuario.

5.3. Control del proceso desde PLC MOELLER

Al dar clic en la ventana principal del sistema remoto sobre la opción PLC permite acceder a la siguiente vista Figura 5.8, en esta ventana el usuario tiene acceso a dos pestañas:

- **DISEÑO PID:** permite construir y simular el controlador PID.
- **CONTROL PLANTA:** donde se observa el control de la planta de nivel con los parámetros ajustados previamente en la pestaña PID.

En esta ventana se presenta también la función de transferencia obtenida que representa el comportamiento de la planta de nivel.

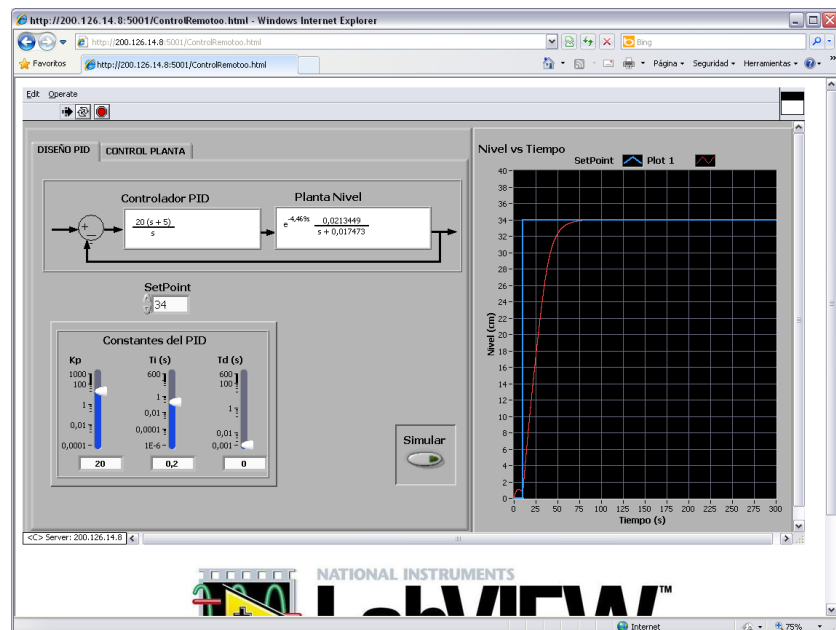


Figura 5.8: Vista Panel Control del proceso desde PLC: Pestaña DISEÑO PID

El controlador PID permite ajustar de cada una de las constante K_p , T_i y T_d . Para su simulación se debe colocar un valor de SetPoint y dar clic en el botón Simular, así en el gráfico la parte derecha, Figura 5.8, en unos cuantos segundos se presentará en color azul la señal de SetPoint y con color rojo la respuesta de nivel de la simulación del comportamiento de la planta. La selección apropiada de unos buenos parámetros va a permitir un controlador eficiente y robusto.

Luego de simular se puede cambiar a la pestaña CONTROL PLANTA, en donde se observa ya el control real del nivel del tanque Figura 5.9 en la parte izquierda se presenta un indicador gráfico del nivel actual en el tanque, indicadores del PID ajustado, el porcentaje de apertura que asigna el controlador a la válvula de paso de agua para el llenado del tanque y además se puede encender o apagar la bomba de agua del sistema.

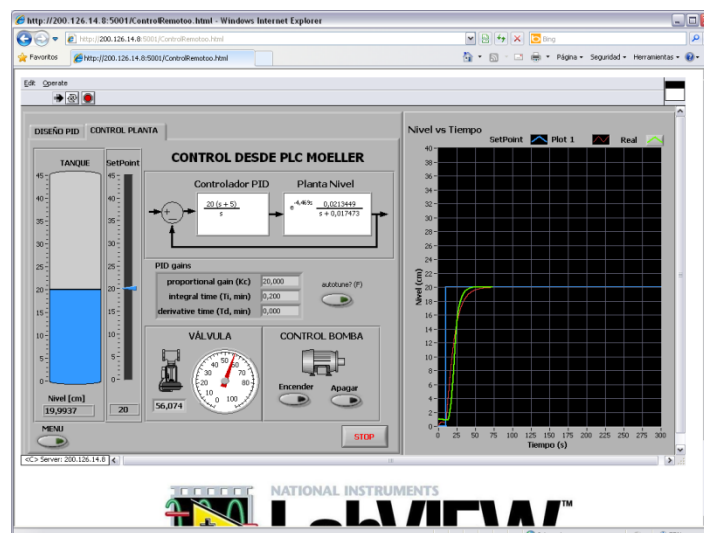


Figura 5.9: Vista Panel Control del proceso desde PLC: Pestaña CONTROL PLANTA

A la derecha de este panel Figura 5.9 se presenta una gráfica que indica en color azul el Set Point seleccionado, en rojo el comportamiento esperado del nivel y en verde el nivel real de la planta. Así, el usuario de manera didáctica puede probar con diferentes controladores, simularlos e interactuar con la planta de manera real.

Para regresar a la pantalla inicio del panel de control remoto se debe dar clic en el botón Menú, si se desea detener el proceso en cualquier momento clic en el botón STOP.

5.4. Control del proceso desde ABB Digitric 500

Para ingresar al control remoto a través del controlador industrial ABB Digitric 500, desde la pantalla inicio se selecciona el botón ABB, lo cual presenta la siguiente pantalla, la Figura 5.10 se muestra indicador de nivel del tanque, porcentaje de apertura de electroválvula y deslizador para el control manual de la misma, botoneras para encendido y apagado de la bomba de agua, indicadores y controladores de los parámetros del PID propio del controlador industrial y un selector para el cambio de modo manual a automático.

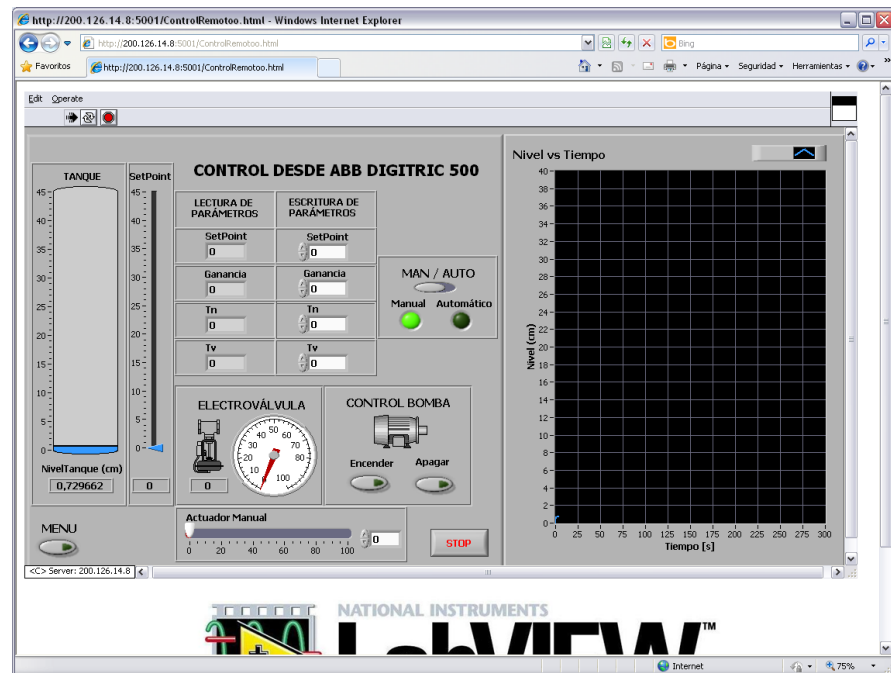


Figura 5.10: Vista Panel Control del proceso desde ABB Digitric 500

5.4.1. Modo Manual

En modo manual el usuario será quien asigne el valor del porcentaje de 0 a 100 de apertura de la electroválvula que permite el llenado del tanque de la planta de nivel.

5.4.2. Modo Automático

En modo automático el actuador se comportará en función de los valores asignados a las constantes del PID y del nivel asignado.

CONCLUSIONES

1. En el mundo laboral siempre se va a presentar el reto de implementar soluciones que mejoren, optimicen y permitan que el control de los diferentes procesos industriales sea robusto y eficiente. En ese instante es cuando el desarrollo de interfaces de monitorización y control, es una opción para alcanzar este objetivo. Este proyecto ha comprobado que una de las alternativas para aprovechar y explotar es el acceso a internet. Logrando implementar un sistema de monitorización y control de la planta de nivel del Laboratorio de Instrumentación Industrial vía una página web.
2. En un proceso industrial interactúan sensores, actuadores y controladores, entre ellos debe existir un protocolo de comunicación que permita mantener una lectura y escritura de su estado. Este proyecto utilizó el protocolo de comunicación Profibus DP estableciendo un bus de campo donde la tarjeta Hilscher CIF50-PB es el maestro y como esclavos el PLC MOELLER junto al controlador industrial ABB Digitric 500. Permitiendo, a través del OPC con su modelo de Servidor – Cliente, establecer variables compartidas para administrarlas en LabVIEW y así desarrollar instrumentos virtuales para controlar el nivel de fluido de la planta del laboratorio.

3. Identificar los procesos industriales obteniendo un modelo o ecuación matemática que permita representar su comportamiento se ha convertido en una alternativa fiable para poder estudiar y simular el efecto ante diferentes mecanismos de control. Esta alternativa ante procesos críticos o donde no se pueda tener siempre un acceso físico a la planta a controlar nos permite diseñar controladores y poder predecir la reacción del proceso ante perturbaciones o señales de control.

4. La obtención del modelo matemático se realizó con la identificación de sistemas a través del método paramétrico que utiliza LabVIEW por intermedio de SI Transfer Function Estimation el cual pertenece a la paleta de System Identification. Como señal estímulo se seleccionó una onda cuadrada con un período de 900 segundos, con ese tiempo se permite al sistema estabilizarse entre dos niveles. Con aperturas de 55% y 75% se obtuvieron niveles de 12cm y 43cm respectivamente (Figura 3.4). Con una apertura de 30% el sistema se estabiliza a un nivel de 5cm. Pero con apertura de 40% el tanque contenedor se vacía por completo, lo que muestra un punto de inestabilidad en el sistema que se debe considerar para futuros trabajos.

5. La función de transferencia que representa el comportamiento de la planta de nivel es de primer orden más tiempo muerto, teniendo tan solo un polo. Funciones más complejas también pueden representar este sistema, pero se eligió este modelo por ser el más sencillo cumpliendo su misión de forma

aceptable de simular la dinámica del proceso en el intervalo de operación donde fue tomada su curva de reacción, con un error de estado estacionario máximo de 1.2cm para un estímulo de 70% (Figura 3.26), lo que corresponde al 3.42% del valor alcanzado.

6. Existen diferentes métodos que permiten mantener un control autónomo de un proceso industrial, entre ellos se tiene al PID que representa un mecanismo de control por retroalimentación. La eficiencia, rapidez y lo robusto que pueda llegar a ser el PID va a depender de una correcta parametrización de sus constantes, para lo cual los métodos de sintonización ya sea en lazo abierto o cerrado permitieron obtener un buen modelo de control. Los parámetros PID recomendados para el control de este proceso son: $K_c = 20$, $T_i = 0.2$ y $T_d = 0.01$ los que proporcionan un error de estado estacionario de ± 0.03 cm.

7. LabVIEW como entorno de desarrollo gráfico representa una herramienta fácil de utilizar con sinnúmero de posibilidades que permitió la implementación de este proyecto. Con sus herramientas para la identificación de sistemas y control PID se desarrolló un instrumento virtual didáctico. Para alojar el panel remoto se utilizó al NI Web Server y a través del NI Web Publishing Tool se creó la página web de control de la planta.

9. Finalmente, aplicar los conocimientos adquiridos en el transcurso de la formación académica como estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, especialización en Electrónica y Automatización Industrial, con un trabajo en equipo y una investigación seria, permite sentirnos orgullosos del resultado obtenido, esperando que este sea una herramienta didáctica que complemente el material utilizado por el profesor y permita motivar a seguir con el proceso de virtualización del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

RECOMENDACIONES

1. Para el uso del controlador ABB Digitric 500 es necesario conocer a fondo los registros internos más importantes, ya que basta con que alguno de estos esté mal parametrizado para no lograr el control del proceso deseado. Como ejemplo se citan los registros que manejan el lazo activo (Loop), donde existe el posible error de ajustar el lazo que no corresponde al del proceso.
2. Se notó inestabilidad en la planta para ciertos valores de estímulo cercanos a 40% de apertura, caso muy particular de inestabilidad ya que con cualquier valor de apertura se logra un valor numérico para el nivel del tanque, cosa que no ocurre para aperturas cercanas a las mencionadas, donde el tanque se vacía por completo. Si este proyecto fuese el punto de partida para un futuro trabajo similar, se recomienda trabajar sobre el punto de operación mencionado y encontrar un controlador para este caso de inestabilidad puntual.
3. Para la sintonización de la constante de tiempo T_i se recomienda partir de valores muy pequeños ya que por su naturaleza sencilla esta planta no necesita una acción integral muy acentuada. Incluso con un controlador de tipo P se tiene un buen control de la planta.

4. Para un mejor desempeño del control del proceso y monitorización vía Web se sugiere utilizar Internet Explorer (cualquiera de sus versiones) como navegador, ya que otros similares como Google Chrome o Mozilla Firefox no logran mostrar ventana alguna al acceder mediante la dirección http del proceso.

5. Si se utilizará como servidor OPC al servidor de LabVIEW se recomienda tener muy en cuenta que la versión utilizada en este proyecto es sin paga y solo permite estar en conexión durante 120 minutos consecutivos, limitante que no se presenta cuando se usa como servidor el OPC de SyCon.

ANEXO

Cámara IP EasyN .

La cámara de vigilancia de la planta (capaz de vigilar además todo el laboratorio) es de marca EasyN y modelo S63B, con los siguientes datos técnicos:

EasyN Cámara IP de Opciones	
Información del Dispositivo:	Estado del Periférico
Alias	ID de dispositivo: 00B001000286
Fecha y hora	Versión de firmware de dispositivos: 4.37.2.38
Usuarios	Versión Dispositivo de interfaz de usuario Web Incrustado: 4.5.3.45
Múltiple de dispositivo	Alias: Cámara IP
Red básica	Alarm Status: Ninguno
LAN inalámbrica	Condición DDNS: Succeed
ADSL	Estado UPnP: No Acción
UPnP	P2P Estado: Conexión ...
Servicio DDNS	Idioma: Español
Servicio de correo	<input type="checkbox"/> no volver a mostrar la primera página
Servicio de FTP	<input type="button" value="Actualizar"/>
Alarma	
Configuración de PTZ	
Registrarse	
Mantenimiento	
Posterior	

Permite movimiento en dos direcciones de 120° y 270° de forma vertical y horizontal respectivamente, además de luz infrarroja para una vista nocturna, por tener una dirección IP propia debe ser configurada por el administrador de la red de la FIEC. La dirección asignada es la mostrada a continuación:

Search IP Camera

Step 3 Set IP Address

Current IP Address

Current HTTP Port

Current Submask

Current GateWay

Current DNS Server

Inner Access

Note: The default account is "admin", password is blank (H3 is "admin")

The IP Camera can be accessed, Click "Open" button to immediately to access

If you want to access to the Camera by the Internet, please press "Next" button ; Or Press "Prev" button to Set others!

EasyN®

A la cual se puede acceder desde cualquier navegador web con la dirección <http://200.126.14.9:80> o desde el acceso por defecto creado por el fabricante <http://rutv.ipcam.hk/>. Enlace que está vinculado en la página Web principal del proyecto. Se muestra a continuación la página Web diseñada por el fabricante de acceso a la cámara IP.



BIBLIOGRAFÍA

[1] GUNT Hamburg, *Manual de experimentos del Sistema Modular para la Automatización de Procesos RT 450*, Gerätebau GmbH, 2005

[2] GUNT Hamburg, *RT 450 Sistema Didáctico Automatización de Procesos: Módulo Base*,
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/08045000/Datenblatt/08045000%204.pdf>, fecha de consulta marzo 2012,

[3] GUNT Hamburg, *RT 450.01 Módulo del Sistema Controlado: Nivel*,
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/08045001/Datenblatt/08045001%204.pdf>, fecha de consulta marzo 2012

[4] GUNT Hamburg, *RT 450.42 Módulo PLC con Software*,
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/08045042/Datenblatt/08045042%204.pdf>, fecha de consulta marzo de 2012

[5] GUNT Hamburg, *RT 450.10 Módulo Regulador, Continuo*,
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/08045010/Datenblatt/08045010%204.pdf>, fecha de consulta marzo de 2012

[6] ELOBAU *Capacitive Level Sensors 212 KK.0.Coaxial*,
http://www.elobau.com/Level_measurement/Capacitive_Level_Sensors/downloadcenter/datenblaetter/M_212KK.0..pdf, fecha de consulta marzo de 2012

- [7] GUNT Hamburg, RT 450.20 Válvula de Control, Accionamiento Neumático, <http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/08045020/Datenblatt/08045020%204.pdf>, fecha de consulta marzo de 2012
- [8] RED LION, Model PAX – 1/8 Din Analog Input Panel Meters, Released: Marzo 2009, http://www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/RED_LION_CONTROL/70031199.pdf, fecha de consulta marzo de 2012
- [9] PROFIBUS System Description, Technology and Application. Versión: Noviembre 2010, <http://www.profibus.com/nc/downloads/downloads/profibus-technology-and-application-system-description/download/12821/>, fecha de consulta marzo de 2012
- [10] SMAR Industrial Automation, PROFIBUS PROTOCOL, <http://www.smar.com/en/profibus.asp>, fecha de consulta abril de 2012
- [11] Ariel Pérez Verde-Ramo, Protocolo Profibus DP, <http://automatizacion.bligoo.com/content/view/465437/Protocolo-Profibus-DP.html> fecha de consulta abril de 2012
- [12] HILSCHER, CIF- Communication Interface, http://www.hilscher.com/files_datasheets/D_41ef8d655b6d4_uk.pdf fecha de consulta abril de 2012
- [13] WIKIPEDIA, la enciclopedia libre, OPC, <http://es.wikipedia.org/wiki/OPC>, fecha de consulta abril de 2012
- [14] Ogata, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna. 3^{era} Edición, Pearson Educación. S.A, México DF 1998

- [15] Kuo, Benjamin C, *Sistemas de Control Automático*. 7^{ma} Edición, Prentice Hall, México DF 1996
- [16] Figueredo Pachecho, Alvaro, *Proyecto Final de Carrera: "Implementación en PLC de un método de autosintonía de controladores PID fraccionarios para servomotores de velocidad y posición"*, Madrid, Diciembre 2009
- [17] Söderström, Torsten y Stoica, Petre, *System Identification*, Prentice Hall Uppsala, Agosto 2011
- [18] Vallejo R, Eric, *Artículo "Identificación Paramétrica de Sistemas Dinámicos"*, Barranquilla 1997
- [19] Smith, Carlos y Corripio Armando, *Control Automático de Procesos*, Editorial Limusa, México DF 1991
- [20] Alfaro Ruiz, Víctor. *Artículo: "Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores"*, San José - Costa Rica 2002
- [21] Perez, Mario - Perez, Analía – Perez, Elisa. *Artículo: "Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo"*, San Juan – Argentina, 2008
- [22] Gómez, Juan Carlos. *Transparencias: "Etapas de un proceso de Identificación"*, Departamento de Electrónica, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, 2004.
- [23] National Instrument, *Control Design Toolkit User Manual*, Febrero 2006
- [24] National Instrument, *PID Control Toolset User Manual*, Noviembre 2001

[25] *National Instrument, System Identification Toolkit, User Manual, Septiembre 2004*

[26] *Calvo Gordillo, Isidro. Tesis Doctoral: “Metodología de acceso remoto a plantas industriales”, Bilbao, Septiembre 2004*

[27] *National Instrument, Remote Panels in LabVIEW – Distributed Application Development, Tutorial, Octubre 2010*

[28] *National Instrument, Web Services in LabVIEW, Tutorial, Marzo 2012*

[29] *Andrews S, Tanenbaum, “Redes de Computadoras” 3^{era} Edición, Editorial Prentice-Hall, 1998*