



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“REMOTIZACIÓN DEL CONTROL DE
MAQUETA DE NIVEL DE ESTANQUE DEL
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS
UBB”**

AUTOR (ES)

MARCELO NAVARRO TORO
BLAS PEREIRA BECERRA

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN AUTOMATIZACIÓN

CONCEPCIÓN – CHILE
AÑO 2022



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“REMOTIZACIÓN DEL CONTROL DE
MAQUETA DE NIVEL DE ESTANQUE DEL
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS
UBB”**

AUTOR (ES)

MARCELO NAVARRO TORO
BLAS PEREIRA BECERRA

PROFESOR PATROCINANTE
ERNESTO RUBIO RODRÍGUEZ
PROFESOR ADJUNTO
JUAN ANTIPIL IBAÑÉZ

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS.....	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCION.....	13
PROLOGO	14
CAPÍTULO 1. La teoría.....	15
1.1 Presión	15
1.2 Densidad	15
1.3 Fluidez	15
1.4 Caudal	16
1.5 Datos propios del sistema	16
1.6 Velocidad de flujo:.....	17
1.7 Perdida de cargas	18
1.8 Potencia Bruta:.....	19
1.9 Ecuación de Bernoulli.....	19
1.10 Número de Reynolds	22
1.11 El peso específico	22
1.12 Arquitectura de automatización	23
1.12.1 Nivel de gestión o gerencia:	23
1.12.2 Nivel de supervisión:	23
1.12.3 Nivel de control:	23
1.12.4 Nivel de campo o proceso:	23
1.13 Sistemas de Control	24
1.13.1 Sistema de Control Lazo Abierto	25
1.13.2 Sistema de Control Lazo Cerrado	25
1.14 DCS.....	26
1.14.1 Definición.....	26
1.14.2 Cómo se conforma el DCS.....	27
1.15 PLC - Controlador Lógico Programable.....	27
1.15.1 Componentes del PLC.....	28
1.15.2 Estructura Interna	28
1.16 Medición de nivel ultrasónica.....	29

1.16.1	Ultrasónico.....	30
1.16.2	Medición en la industria.....	30
1.16.3	Tipos de montaje.....	31
1.17	Modelo Dinámico	32
CAPÍTULO 2.	La maqueta	42
2.1	Maqueta de doble estanque de acrílico	42
2.2	Tanque de acrílico.....	44
2.3	Sensor ultrasónico.....	45
2.4	Bomba centrifuga.....	46
2.5	Válvula solenoide	48
2.6	Válvula de bola manual	50
2.7	Fuente de alimentación TRIO-PS/1AC/24DC/ 2.5.....	51
2.8	Interruptor Automático 1P 32A C 10Ka C60N	52
2.9	Módulo de relé PLC 24Vdc 6A	53
2.10	Tablero eléctrico	54
CAPÍTULO 3.	El controlador.....	55
3.1	S7-1200.....	55
3.2	Diseño	57
3.3	Módulo de señales	57
3.4	Modelo de comunicación.....	59
3.5	Memoria.....	59
3.6	SIMATIC Memory Card	59
3.7	Regleta de bornes desmontables	60
CAPÍTULO 4.	La comunicación	61
4.1	Industrial Ethernet switches SCALANCE XB-0005.....	61
4.2	Adaptador Usb 3.0 A Rj45 Lan Gigabit Ethernet 1000 Mbps.....	62
4.3	Cable de conexión 6XV1870-3RH60.....	62
4.4	KEPServerX.....	63
4.5	Configuración de la comunicación entre PLC y KepsServerX.....	64
CAPÍTULO 5.	Programación	67
5.1	Programación en TIA PORTAL	67
5.2	Escalamiento	73

5.3	Diseño PID: Método de Ziegler-Nichols	74
5.4	Cálculo de parámetros	74
5.5	PID_Compact V2.....	76
	5.5.1 Valor de salida V2.....	76
	5.5.2 Ajustes de valor Real V2.....	76
	5.5.3 Parámetros PID V2	78
	5.5.4 Gráfico de parámetros PID.....	79
	5.5.5 Optimización PID_Compact V2	80
	5.5.6 Optimización inicial V2	80
	5.5.7 Optimización fina V2.....	81
5.6	Programación PID TIA Portal	81
5.7	Programación en KEPServerX	88
5.8	Programación para el HMI.....	90
5.9	Programación de la seguridad en el sistema.	95
5.10	Consideraciones para evitar fallas en el sistema.....	98
CAPÍTULO 6. Streaming		99
6.1	Jabra PanaCast	99
6.2	Logitech C920s Pro HD WEBCAM.....	101
6.3	OBS Studio	102
	6.3.1 Prueba OBS en llamada	104
CAPÍTULO 7. Conexión remota		105
7.1	VPN	105
7.2	Conexión a OpenVPN	107
7.3	Perfil de usuario OpenVPN	111
CAPÍTULO 8. Conexionado.....		114
8.1	Fuente de alimentación	115
8.2	Nodo de alimentación	116
8.3	Conexionado Válvula	116
8.4	Conexionado Sensor ultrasónico.....	117
8.5	Conexionado Bomba centrifuga	117
CAPÍTULO 9. Experiencias para la docencia		118
CONCLUSIÓN		130

REFERENCIAS	132
ANEXOS	134
Anexo 1: Estructura Metálica	134
Anexo 2: Cotización	135
Anexo 3: Longitudes equivalentes a pérdidas	136
Anexo 4: Diagrama de Moody.....	137

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 "Pirámide CIM"	24
Fig. 2 "Esquema de control lazo abierto"	25
Fig. 3 "Esquema de control lazo cerrado"	25
Fig. 4 "Medición Ultrasónica"	30
Fig. 5 "Ejemplos de sensores ultrasónicos de nivel"	31
Fig. 6 "Montajes de sensores"	31
Fig. 7 "Estanque modelo dinámico"	32
Fig. 8 "Maqueta de control de nivel"	42
Fig. 9 "Estanque en mal estado"	43
Fig. 10 "Estanque restaurado"	43
Fig. 11 "Tanque Acrílico"	44
Fig. 12 "Esquema de sensor ultrasónico U-GAGE T30UIPAQ"	45
Fig. 13 "Estructura de bomba centrífuga"	46
Fig. 14 "Bomba Bkm60-CLA"	47
Fig. 15 "Esquema de válvula solenoide"	48
Fig. 16 "Válvula EV260B DANFOSS"	49
Fig. 17 "Válvula manual de Bola"	50
Fig. 18 "Válvula manual de bola 2do estanque"	50
Fig. 19 "Fuente de Alimentación"	51
Fig. 20 "Automático"	52
Fig. 21 "Relé"	53
Fig. 22 "Tablero de maqueta"	54
Fig. 23 "PLC Siemens s7-1200"	56
Fig. 24 "Modulo de señales integradas"	57
Fig. 25 "Modulo de comunicación"	58
Fig. 26 "Modulo de señales"	58
Fig. 27 "Módulos de comunicación"	59
Fig. 28 "SIMATIC memory card"	59
Fig. 29 "Regleta de bornes PLC"	60
Fig. 30 "Scalance XB-005"	61
Fig. 31 "Adaptador USB a Rj45"	62
Fig. 32 "Cable de conexión"	63
Fig. 33 "Esquema OPC"	63
Fig. 34 "Búsqueda de Servicios"	64
Fig. 35 "Reiniciar KEPServerX Runtime"	64
Fig. 36 "Configuración del driver"	65
Fig. 37 "Selección del Adaptador Ethernet"	65
Fig. 38 "Modo de operación"	66
Fig. 39 "Ilustración TIA portal"	67
Fig. 40 "Selección del CPU"	67
Fig. 41 "Configuración PLC"	68

Fig. 42 "Protocolo IP PLC"	68
Fig. 43 "Configurar protocolo TCP/IPv4"	68
Fig. 44 "Mecanismo de conexión PLC"	69
Fig. 45 "Viñetas TIA PORTAL"	70
Fig. 46 "Bloque main parte 1"	70
Fig. 47 "Bloqueo de emergencia"	71
Fig. 48 "Bloque main parte 2"	72
Fig. 49 "Escalamiento deseado"	73
Fig. 50 "Escalamiento porcentual"	73
Fig. 51 "Diseño Ziegler-Nichols"	74
Fig. 52 "Gráfica para obtención de parámetros"	75
Fig. 53 "Muestreo PID_Compact"	78
Fig. 54 "Diagrama de bloques PID"	79
Fig. 55 "Bloque de salida PID"	81
Fig. 56 "Variables creadas salida PID"	82
Fig. 57 "Bloque main parte 3"	83
Fig. 58 "Direcciones preestablecidas por TIA PORTAL"	83
Fig. 59 "Viñetas bloque inteligente"	84
Fig. 60 "Configuración PID_Compact"	84
Fig. 61 "Escala de Input_PER"	85
Fig. 62 "Límites de advertencia TIA PORTAL"	85
Fig. 63 "Valores de salida PID_Compact"	86
Fig. 64 "Configuración de parámetros PID_Compact"	86
Fig. 65 "Bloque de PID_Compact"	87
Fig. 66 "Modos del PID_Compact"	87
Fig. 67 "Creación de tags"	88
Fig. 68 "Ingreso de datos tags"	89
Fig. 69 "Tags creados"	89
Fig. 70 "Estados de los tags"	90
Fig. 71 "Logo INFILINK"	90
Fig. 72 "Añadir tags a Infilink"	91
Fig. 73 "Selección de carpeta tags en Infilink"	91
Fig. 74 "Librería Infilink"	92
Fig. 75 "Ilustración maqueta"	92
Fig. 76 "Botoneras en HMI"	93
Fig. 77 "Ventana de gráficas en HMI"	93
Fig. 78 "HMI vista general"	94
Fig. 79 "Bloque protegido"	95
Fig. 80 "Contraseña para acceso"	96
Fig. 81 "Lista de aplicaciones no permitidas"	96
Fig. 82 "Mensaje de restricción"	97
Fig. 83 "Scrip's de las alarmas de nivel"	97
Fig. 84 "Jabra PanaCast frontal"	99

Fig. 85 "Ejemplo panorámica 180°"	99
Fig. 86 "Calculo consumo ancho de banda"	101
Fig. 87 "Cámara Logitech C920s"	101
Fig. 88 "Logo OBS Studio"	102
Fig. 89 "Prueba visual de OBS"	103
Fig. 90 "Prueba visual en Google Meets"	104
Fig. 91 "Logo de OpenVPN"	105
Fig. 92 "Instalación OpenVPN"	107
Fig. 93 "Ejemplo de conexión"	107
Fig. 94 "Ejemplo de conexión VPN"	108
Fig. 95 "ejemplo conexión remota"	108
Fig. 96 "Configuración escritorio remoto"	109
Fig. 97 "Credenciales escritorio remoto"	109
Fig. 98 "Ultimo paso conexión remota"	110
Fig. 99 "Conexión realizada por VPN desde fuera de la Universidad"	110
Fig. 100 "Menú OpenVPN"	111
Fig. 101 "Configuración de usuario final"	111
Fig. 102 "Cifrado del certificado"	113
Fig. 103 "Algoritmo de validación"	113
Fig. 104 "Esquema de conexiónado general"	114
Fig. 105 "Conexión alimentación fuente TRIO POWER"	115
Fig. 106 "Nodo de alimentación"	116
Fig. 107 "Conexión válvula"	116
Fig. 108 "Conexión sensor ultrasónico"	117
Fig. 109 "Conexión bomba centrifuga"	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.5.1 "Datos del estanque"	16
Tabla 2.2.1 "Especificaciones de los tanques"	44
Tabla 2.3.1 "Características Sensor U-GAGE T30UIPAQ"	46
Tabla 2.4.1 "Características Bomba BKm60-CLA"	48
Tabla 2.5.1 "Especificaciones Válvula EV260B DANFOSS"	49
Tabla 2.7.1 "Características Fuente de alimentación"	52
Tabla 2.8.1 "Características de Automático"	53
Tabla 2.9.1 "Características Relé"	53
Tabla 4.1.1 "Características Scalance XB-005"	61
Tabla 5.3.1 "Tabla Ejemplo Z-G"	74
Tabla 6.1.1 "Características PanaCast"	100
Tabla 6.2.1 "Datos Cámara Logitech C920s"	102

RESUMEN

En el presente seminario de título se desarrolla un interfaz gráfico que permita la conexión remota para el cambio de parámetros de un PID diseñado para la maqueta doble de nivel. Se aplicará la implementación de programación remota en laboratorio de control de procesos de la universidad del Bío-Bío. Este laboratorio cuenta con diversas maquetas para la preparación de los estudiantes de la facultad. La maqueta está siendo regulada por un controlador ya preestablecido, pero se desea reemplazar por el PLC Siemens S7-1200, que es el más utilizado en el laboratorio y con mayor inventario. Además, realizar la HMI para una visualización óptima del proceso. Con la conexión al servidor de la universidad, el alumnado podrá ver a través de una conexión remota a escritorio, ver en tiempo real lo que va sucediendo con la maqueta. Logrando de esta forma una experiencia prospera y segura desde el lugar que desee. Para llevar a cabo este proyecto se debió realizar un estudio previo sobre el programa Kepserver para la comunicación, Infilink para la creación de la HMI, SIMATIC manager para la transmisión al PLC, TIA PORTAL para la programación, protocolos de comunicación, conexiones y características de los instrumentos de campo utilizados en las maquetas. Finalizando la implementación de este proyecto en el laboratorio, este quedará a disposición para su libre utilización de los alumnos y alumnas de la Universidad del Bío-Bío. Con experiencias creadas para llevar a cabo en los diversos cursos a impartir por nuestro departamento.

También quedara a disposición los tags de toda la programación previa para en un futuro implementar la maqueta en un servidor web.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a todas las personas que ayudaron en mi desarrollo como persona y profesional en esta linda institución.

A mi familia y novia por siempre apoyarme en esta etapa universitaria.

Al profesor Juan Antipil por su fortaleza, compromiso y buena onda brindada en esta última etapa. Acompañándonos hasta en época de pandemia y paralizaciones estudiantiles.

A todos mis amigos por ser un pilar fundamental en mi estancia en Concepción.

Blas Pereira Becerra

La finalización de una etapa conlleva un camino en el cual muchos altos y bajos se presentan, por lo que mis agradecimientos van a cada persona la cual estuvo en esos momentos.

Muchas risas y buenos momentos con los compañeros, profesores y diferentes ayudantes que salieron en el proceso.

A mi familia que desde el primer día están presentes, a mis hijos por su energía y ánimo.

Agradecimientos al profesor Juan Antipil, por su disposición y buena energía entregada todos los días de trabajo.

A Gonzalo Díaz por su entrega y disposición cada vez que teníamos dudas y/o consultas.

Marcelo Navarro Toro

INTRODUCCION

La educación universitaria va cambiando debido a que las tecnologías se van actualizando cada vez más rápido. La pandemia del COVID-19 deja demostrado de manera intrínseca como la digitalización de las cosas es cada vez más necesaria, por esto se debe poner en marcha diferentes métodos de experiencias remotas. Es a lo que se debe enfocar la educación de hogar.

Considerando lo anterior, existen diferentes asignaturas donde ya se puede obtener el contenido desde cualquier dispositivo electrónico, sea notebook, teléfono, tabletas, etc. En comparación hace 20 años la tecnología ha tenido un salto abismal, y no estar dentro del proceso de adaptación trae consigo diferentes problemas.

Las nuevas generaciones de estudiantes deben tener nuevas posibilidades de aprendizaje, por eso estar a la vanguardia es muy importante, por esta razón se dispone a seguir investigando dentro de la rama de crear puestos de trabajos remotos y visualización en tiempo real.

En el presente seminario de título el objetivo principal es implementar una remotización de una de las maquetas del laboratorio de control y crear diversas experiencias en torno a la maqueta para que el usuario tenga una experiencia enriquecedora, la cual satisfaga sus necesidades de aprendizaje dentro y fuera del laboratorio. Obteniendo la gran ventaja que ante cualquier situación en la que el alumnado este incapacitado de presentarse en el laboratorio, estos no queden sin poder realizar su experiencia.

PROLOGO

Principios de organización de la estación de trabajo

Con el fin de proveer una guía que permita organizar de forma adecuada el uso de nuestro seminario, se deben establecer las características de los tipos de estaciones de trabajo.

Estación de trabajo Seated: Posee la característica principal de estar sentado durante el proceso en el cual se ve involucrado el personal, se evidencia en procesos de monitoreo y control que requieren periodos de tiempo prolongados. Por otro lado, son muy adecuados para computadores basados en HMI.

Estación de trabajo Stand-Up: Estación en donde el personal debe estar trabajando fundamentalmente de pie, por lo general se debe evidenciar mediante supervisión que la labor sea de forma correcta.

La finalidad es tener una estación de trabajo Full-Seated y que la parte del trabajo Stand-Up sea relacionado vía Streaming, ya que al terminar la parte de programación es tener una pestaña con una HMI el cual sea agradable para el usuario.

Afortunadamente, en el laboratorio de control de procesos tiene las herramientas necesarias para complementar el trabajo final, ya que cuenta con servicio de internet, servidores VPN, diferentes puestos de trabajo, maquetas y recurso humano.

El estudio se desarrolla en diferentes partes, en las que incluye, investigación, propuesta y restauración de maqueta, implementación de conexionado, creación de HMI y puesta en marcha.

Para realizar esta tesis se ha utilizado disciplinas especializadas en electricidad, electrónica, mecánica y automatización, convirtiéndose así en un trabajo multidisciplinar que aunara distintos conocimientos para crear una perspectiva completa dentro del próximo paso que es Remotizar los diferentes laboratorios que hay en la universidad.

CAPÍTULO 1. La teoría

Los líquidos son una sustancia que sus partículas presentan una menor movilidad que los gases y mayor que los sólidos. No presentan una forma propia determinada, pero sí un volumen único. Este se distribuye en el recipiente que contiene el propio líquido.

1.1 Presión

La presión es un esfuerzo uniforme y multidireccional. Esta magnitud física relaciona la superficie sobre la que actúa con la fuerza. La presión está dada por la fuerza nominal (F) que se aplica de forma uniforme sobre una superficie plana (A).

$$Presión = \frac{Fuerza}{Area} = \frac{F}{A} = p$$

1.2 Densidad

En un líquido la densidad es igual a su masa dividida en su volumen. La densidad depende de varios factores como la presión, cambios de estado, temperatura. Cuando la presión aumenta, la densidad aumenta. Cuando la temperatura aumenta, la densidad disminuye. Todo esto se cumple solo si la presión es constante.

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen} = \frac{m}{V} = d$$

1.3 Fluidez

Es una característica que solamente se presenta en los estados líquidos y gaseosos, estos pueden recorrer y pasar por cualquier agujero por más pequeño que este sea. Si este se encuentra al nivel o menor del objeto en el que se encuentre el líquido o gas. Se define como

flujo al movimiento de un fluido, al suceso que ocurre tras la deformación de forma del líquido.

1.4 Caudal

Es la cantidad del fluido que pasa en una unidad de tiempo, la ley de Torricelli establece que la velocidad (V) del flujo de salida del agua a través de un orificio en la parte lateral o en el fondo de un estanque con líquido hasta una altura (h) es igual a la velocidad de un objeto que cae libremente desde una altura h. Esto es $\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, donde g es la aceleración de la gravedad. Esta última expresión se origina al igualar la energía cinética $\frac{m \cdot v^2}{2}$, con la energía potencial, $m \cdot g \cdot h$, luego despejar v.

Si el área transversal del agujero es A_s y la velocidad del agua que sale del tanque es $\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, el volumen de agua que sale del estanque por segundo es $A_s \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$. Así, si V(t) representa al volumen del agua en el estanque en cualquier momento t.

$$\frac{dV}{dt} = A_s \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

1.5 Datos propios del sistema

Tabla 1.5.1 "Datos del estanque"

Dato	Valor
Radio estanque	9.5 (cm)
Altura de estanque	48 (cm)
Temperatura	20 °C
Densidad	998,2 $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
Viscosidad	1,009 x 10 $\left(\frac{Kg}{ms}\right)$
Material	PVC
Diámetro	0,032 (m)
Rugosidad relativa	0,0015 (mm)
Peso específico del agua	9782,36 $\left(\frac{Kg}{m^2 s^2}\right)$

1.6 Velocidad de flujo:

$$v = \frac{Q_v}{A} = \frac{Q_v}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$

Donde:

$$Q_v: \text{Caudal Volumétrico} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

A: Área de cañería [m²]

Para calcular las pérdidas de carga y perturbación, es calcular el caudal volumétrico y la velocidad de flujo. Para esto, se debe tomar el tiempo de llenado en litros por minuto.

En un minuto el estanque llega a 18,5 cm de altura.

Para saber el volumen, se ocupa la ecuación de cálculo de volumen de un cilindro.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

r: Radio (cm)

h: Altura (cm)

Reemplazando valores de la altura de llenado y del radio del cilindro se obtiene lo siguiente:

$$V = \pi * 9.5^2 * 18.5 = 5245,28 \text{ cm}^3 = 5,245 \text{ litros}$$

El caudal volumétrico y la velocidad de flujo se definen como:

Caudal Volumétrico:

$$Q_v = 5,245 \frac{Lt}{min} = 0,0008741 \frac{m^3}{s}$$

Velocidad de flujo:

$$v = \frac{Q_v}{A} = \frac{Q_v}{\pi * \frac{D^2}{4}} = \frac{0,0008741 \frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{0.032^2 m^2}{4}} = 0,108 \frac{m}{s}$$

1.7 Pérdida de cargas

El cálculo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D} \right) * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) = 0.038 * \left(\frac{1.681m}{0.032m} \right) * \left(\frac{0,108^2 \frac{m}{s}}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \right) = 1,18 * 10^{-3} (m)$$

Dónde:

f : Factor de fricción (adimensional)

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro de tubería (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración de gravedad (sm^2)

Para obtener el valor de pérdida de cargas en accesorios a través del Abaco de Moody y la siguiente ecuación

$$h_a = f * \left(\frac{\sum L_{eq}}{D} \right) * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Dónde:

h_a : Pérdida de cargas en accesorios (m)

f : Factor de fricción (adimensional)

$\sum L_{eq}$: Longitud equivalente en tuberías de los accesorios (m)

D : Diámetro de tubería (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración de gravedad (sm^2)

Por lo que reemplazando queda como:

$$h_a = f * \left(\frac{\sum L_{eq}}{D} \right) * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) = 0.038 * \frac{25.181}{0.032m} * \frac{\left(0,108^2 \frac{m}{s} \right)}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} = 0,01709(m)$$

Ya teniendo el resultado, se calcula la pérdida total

$$h_t = h_L + h_a = x + x = xm$$

Resolviendo la ecuación de Bernoulli para el sistema:

$$h_A = \Delta Z + \frac{\Delta V_2^2}{2 * g} + \frac{\Delta P}{\gamma} + h_T = 0.96m + \frac{(0,108 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} + \frac{1Pa}{9782.36 \frac{Kg}{m^2 s^2}} + 0,041 = 1,0016m$$

1.8 Potencia Bruta:

Se representa como el Rendimiento * Potencia Neta. El rendimiento de la bomba es definido mediante la curva característica. La potencia Neta quedaría definida de esta manera:

$$P_{neta} = H_A \cdot \gamma \cdot Q_v$$

$$P_{neta} = h_A * \gamma * Q_v = 1,0016m * 9782.36 \frac{Kg}{m^2 s^2} * 0,0008741 \frac{m^3}{s} = 0,85W$$

1.9 Ecuación de Bernoulli

Para obtener la carga total del sistema, se utiliza la ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\gamma} + H_A = Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_T$$

$$\therefore H_A = \Delta Z + \frac{\Delta V_2^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta P}{\gamma} + h_T$$

$$h_T = h_f + h_a$$

Donde:

ΔZ : Diferencia de altura que se debe elevar el fluido [m]

ΔV : Diferencia de velocidad del fluido [m/s]

g: Aceleración de la gravedad

ΔP : Diferencia de presión entre los puntos a elevar el fluido [Pa]

γ : Peso específico del agua $\left[\frac{Kg}{m^2s^2}\right]$

Perdida por cargas por fricción:

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

Donde:

f: Factor de fricción

L: Longitud de tubería [m]

D: Diámetro de tubería [m]

v: Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$]

g: Aceleración de gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Perdida de cargas por accesorios:

$$h_a = f \cdot \left(\frac{\sum L_{eq}}{D}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

Donde:

h_a : Perdida de cargas en accesorios [m]

f: Factor de fricción

$\sum L_{eq}$: Longitud equivalente en tuberías de los accesorios [m]

D: Diámetro de tubería [m]

v: Velocidad del fluido [m/s]

g: Aceleración de gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Para calcular la altura neta positiva de aspiración de la bomba, está definido de la siguiente manera:

$$NPSHR = H_D - \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

H_D se obtiene aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_A - P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_A^2 - V_0^2}{2 * g} + (Z_A^2 - Z_0^2) = -h_f - H$$

De acuerdo a la ecuación $(Z_A - Z_0) = h_A$, donde h_A se define como el nivel liquido de aspiración en metros y h_f son las pérdidas de carga en tuberías y perdidas de carga de accesorios. ($h_f = h_a$)

$$NPSHd = \frac{P_{atm}}{\gamma} + h_A - h_a + \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

Para que no ocurra cavitación en el sistema se debe cumplir la siguiente condición:

$$NPSHd \geq NPSHR + 0.5m$$

Remplazando se obtiene:

$$NPSHd = \frac{101325 \frac{Kg}{m^2 s^2}}{9782.36 \frac{Kg}{m^2 s^2}} + 0.58m - 0.04m - \frac{2340 \frac{Kg}{m^2 s^2}}{9782.36 \frac{Kg}{m^2 s^2}}$$

$$NPSHd = 10.32m + 0.58m - 0.04 - 0.23m$$

$$NPSHd = 10,659m$$

De la ecuación anterior se despeja NPSHR:

$$NPSHR = 10,659m - 0.5m = 10,159m$$

Con la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería y entre el Abaco de Moody, es posible determinar el factor de roce “f” usando para calcular las pérdidas de cargas, para esto se necesita el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Si el número de Reynolds es mayor a 4000 se considera como un régimen turbulento.

1.10 Número de Reynolds

$$Reinolds = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu}$$

Donde:

v: Velocidad del fluido [m/s]

ρ : Densidad de fluido $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

D: Diámetro de la tubería [m]

μ : Viscosidad de fluido $\left[\frac{Kg}{ms}\right]$

Si el número de Reynolds es mayor a 4000 se considera como un régimen turbulento.

$$NR = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{0,108 \frac{m}{s} * 998.2 \frac{Kg}{m^3} * 0.032m}{1.009 * 10^{-3} \frac{Kg}{ms}} = 3.419,008$$

1.11 El peso específico

Se denota de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{Peso}{v} = \frac{m \cdot g}{v}$$

$$\therefore \gamma = \rho \cdot g$$

1.12 Arquitectura de automatización

En la arquitectura de automatización o también llamada pirámide CIM se pueden distinguir los siguientes niveles:

1.12.1 Nivel de gestión o gerencia:

En este nivel se realiza gestión e integración de los niveles inferiores como la planificación y control de la producción, control de inventarios, órdenes de compra y ventas, estadísticas, gestión de mantenimiento, gestión de calidad, archivos. En este, se consideran los aspectos de la empresa desde el punto de vista de su gestión global. [1]

1.12.2 Nivel de supervisión:

Dado su nombre se encuentran los sistemas de adquisición de datos, de monitoreo y supervisión de las variables del proceso y alarmas. En este nivel se encuentran los paneles y pantallas de supervisión y control de procesos. [1]

1.12.3 Nivel de control:

Aquí se encuentran los dispositivos lógicos de control, autómatas programables, computadores industriales, elementos de mando y control de maquinaria, sistemas de control distribuido, control numérico computarizado, robots industriales. [1]

1.12.4 Nivel de campo o proceso:

Al ras de la pirámide se adquieren datos del proceso mediante los elementos de medición de las variables con sensores y transmisores situados en él y también actuadores como válvulas y motores. Las señales enviadas por los sensores y transmisores llegan a los sistemas de

control que se encuentran ubicados en el siguiente nivel de la pirámide, para que ejecuten los algoritmos de control, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, envíen órdenes oportunas a los actuadores. [1]



Fig. 1 "Pirámide CIM"

1.13 Sistemas de Control

Un sistema de control es una incorporación de dispositivos o componentes que son capaces de regular su propio funcionamiento y la de otro sistema diferente, con la finalidad de obtener un comportamiento predeterminado para así disminuir fallas en el proceso. Esto se logra mediante la manipulación de las variables de control prefijadas para tener dominio total de las variables de salida, de esta manera almacenan valores ya dichos que generen resultados esperados. [2]

Un sistema de control debe cumplir con los siguientes rasgos:

- Garantiza estabilidad.
- Ser insensible a perturbaciones y errores.
- Eficiencia al tomar la o las acciones de control sobre las variables de entrada.
- Fácil implementación y operación en tiempo real.

Existen sistemas de control en donde según su relación que exista entre su salida y entrada de referencia posee un nombre característico.

1.13.1 Sistema de Control Lazo Abierto

En los sistemas de lazo abierto la variable de control no tiene efecto sobre el proceso de control, por consiguiente, no existe una retroalimentación de la salida hacia el controlador para regular su comportamiento, por lo que la señal de control no contiene registros de salida, sólo de entrada. [2]

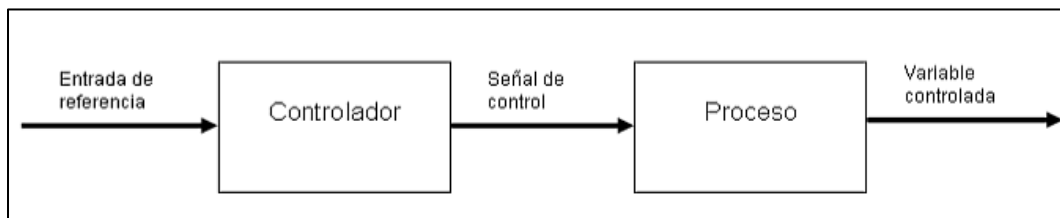


Fig. 2 "Esquema de control lazo abierto"

1.13.2 Sistema de Control Lazo Cerrado

En caso contrario al sistema de lazo abierto, la variable de control si tiene efecto sobre el proceso de control, existe una retroalimentación de la salida con datos que son significativos a la hora de tomar decisiones en el controlador. En este sistema de control se alimenta mediante la señal de error, la cual es el resultado de la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida con la finalidad de eliminar el error y hacer que la señal de salida tenga los resultados deseados. [2]

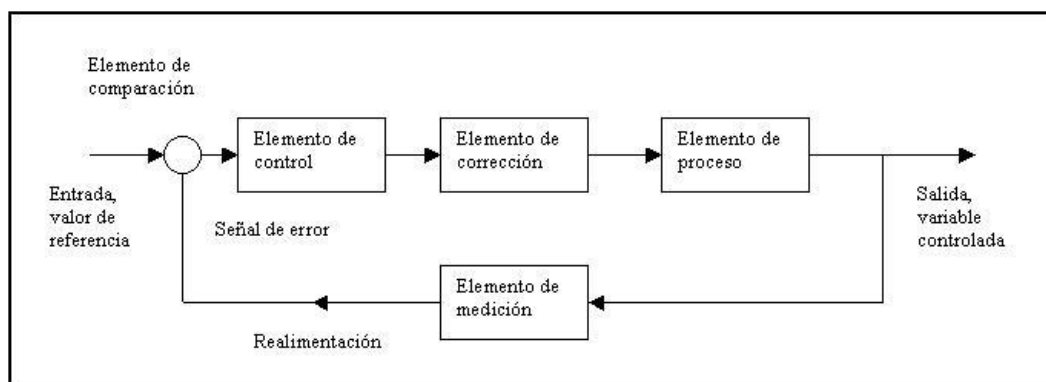


Fig. 3 "Esquema de control lazo cerrado"

1.14 DCS

El objetivo de integrar el sistema de control distribuido, por una parte, tiene como motivo generar una interconexión entre las plantas presentes en el laboratorio de control de procesos, que actualmente operan de manera aislada, controladas por PLC Siemens S7-1200 en cada una de sus estaciones. De esta manera será posible interactuar con un sistema distribuido de adquisición de datos, control y monitorización; en contraste a lo presente en la actualidad donde se dispone de un sistema centralizado, que consiste en una arquitectura similar, pero más limitada: SCADA. [3]

1.14.1 Definición

El sistema de control distribuido es un sistema con la capacidad de adquirir grandes volúmenes de datos, que se compone por los sistemas implementados para hacer control regulatorio y los de información en un entorno interactivo, en el cual se permite manipular e interactuar de forma remota con el proceso.

El DCS se encuentra compuesto por instrumentos de campo, de acondicionamiento y procesamiento de señal, dispositivos de control, HMI y redes de comunicación entre campo, control y operador, que hacen del DCS un sistema que visualiza, documenta y controla el funcionamiento del proceso en tiempo real.

Los DCS trabajan con una sola base de datos integrada para todas las señales, variables, objetos gráficos, alarmas y eventos del sistema. En los DCS la herramienta de ingeniería para programar el sistema es sólo una y opera de forma centralizada para desarrollar la lógica de sus controladores o los objetos gráficos de la monitorización. Desde este puesto de ingeniería se cargan los programas de forma transparente a los equipos del sistema.

La plataforma de programación es multiusuario de forma que varios programadores pueden trabajar simultáneamente sobre el sistema de forma segura sin conflictos de versiones. Todos los equipos del sistema (ordenadores, servidores, controladores) están sincronizados contra un mismo reloj patrón, de forma que todas las medidas, alarmas y eventos tienen una misma

marca de tiempo. El software de control DCS dispone de herramientas para la gestión de la información de planta, integrándose verticalmente hacia la cadena de toma de decisiones y otros sistemas ubicados más arriba en la jerarquía de la producción [3]

1.14.2 Cómo se conforma el DCS

Los dispositivos básicos que conforman un DCS son; las estaciones de operador o pantallas de proceso, módulos de I/O, módulos de control y servidores o estaciones de aplicaciones y las redes de control, cada una tienen una función específica.

La información que es captada por los sensores es transmitida por buses de campo que permite la comunicación con los dispositivos de acondicionamiento, luego de facilitar el aislamiento por medio de mecanismo de barrera, la información es acondicionada y procesada por tarjetas electrónicas con la finalidad de entregarla en formato digital al controlador.

Los actuadores son comandados por diferentes algoritmos de control, estos se encuentran en los diferentes entornos del procesador, el cual se encarga de ejecutar la lógica implementada, una vez que los actuadores realizan su trabajo, nuevamente las diferentes señales son procesadas, acondicionadas y transmitidas por el bus de campo.

Para que un operador pueda visualizar el estado del proceso en tiempo real, las estaciones deben tener adjunto un sistema que le permite ver, además de poder realizar modificaciones a valores de referencia, poner en marcha equipos, observar tendencias, entre otras. [3]

1.15 PLC - Controlador Lógico Programable

La automatización en los procesos industriales es normalmente realizada por controladores lógicos programables. Su utilización ha reemplazado varios elementos físicos, ahorrando en presupuesto en todos los procesos industriales. La programación se realiza por líneas de código que fácilmente se puede ir editando, mejorando y optimizando sin necesidad de hacer cambios físicos en conexiones y elementos. [4]

Este dispositivo fue introducido en la industria en 1960, al pasar de los años este fue evolucionando con nuevos componentes electrónicos. Como, por ejemplo, microprocesadores de alta velocidad, pudiendo realizar funciones especiales para controlar procesos más complejos. Proporcionando mayor confiabilidad en su rendimiento en la industria donde hay entornos de altas temperaturas, ruido eléctrico, vibraciones mecánicas, alta repetibilidad, etc. Por este mismo motivo, la visión que se tiene del PLC es que es un elemento muy robusto, dado que tiene que tolerar estas situaciones extremas.

Normalmente, existen dos tipos de formatos de PLC. Compacto y modulares, los compactos se usan regularmente, en instalaciones pequeñas que necesitan pocas señales. Los modulares son conexionados entre ellos, quedando de tal manera que se diferencian claramente todos los componentes que lo conforman. El CPU, los módulos de entrada y salida digitales, analógicas, comunicación, etc.

La lógica programable es la familia de componentes que contienen conjuntos de elementos lógicos (AND, OR, NOT, LATCH, FLIP-FLOP, etc). Que pueden configurarse para que cumplan cualquier función lógica que el usuario desee y que el componente soporte. [4]

1.15.1 Componentes del PLC

Hardware: Es la parte física del PLC, están instalados los módulos que hacen posible el funcionamiento adecuado del dispositivo.

Software: Es la parte no tangible del dispositivo, o sea, las instrucciones alojadas en la memoria ROM y los programas cargados en los bloques de memoria.

1.15.2 Estructura Interna

Fuente de alimentación: Encargado de convertir la tensión nominal de la red a baja tensión de la corriente continua, que permite el funcionamiento correcto de los circuitos electrónicos que conforman el controlador lógico programable.

Unidad Central de Procesamiento: Encargado de ejecutar el programa del usuario mediante el programa del sistema, para esto cuenta con zonas de memoria, registros e instrucciones.

Módulos o Interfaces de Entradas/Salidas(E/S): Por lo regular se encuentran dos tipos de E/S. Digitales y analógicas. Las E/S digitales se fundamentan en el principio de todo o nada, es decir, poseen un mínimo de nivel de tensión o no conducen la señal. Las E/S analógicas pueden tener cualquier valor dentro de un rango definido por el fabricante. Estas se fundamentan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU ópticamente o por etapa de potencia.

Módulos de Memoria: Encargado de almacenar la secuencia a ejecutar a partir de las señales de entrada y también los datos de la configuración del PLC.

Interfaces: Gran parte de los controladores lógicos programables tienen la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos. Normalmente para lo antes mencionado, se utilizan las interfaces serial tipo RS-232/RS-422, Modbus, Ethernet. Con estas interfaces se puede manejar las características internas del PLC. Incluida la programación del usuario, pero también se puede llevar a cabo el monitoreo del proceso a distancia mediante un HMI. [4]

1.16 Medición de nivel ultrasónica

La medición ultrasónica es muy utilizada en el ámbito industrial, desde el inicio de un proceso e incluso en los resultados finales de un producto. Al usar instrumentos de medición con microprocesadores a nivel industrial de otras variables como pueden ser la temperatura o la presión, posibilita añadir “inteligencia” a la medición de la variable de nivel. De esta forma se puede obtener una precisión de lectura muy alta, del orden de 0,2%.

El transmisor de nivel “inteligente” permite la interpretación de nivel real. Este puede eliminar e incluso compensar la existencia de la espuma presente en el fluido. La eliminación de alarmas falsas presentes en estanques con olas generados por ejemplo por movimientos de paletas de mezclado. [5]



Fig. 4 "Medición Ultrasónica"

1.16.1 Ultrasonico

Es una onda acústica en donde la frecuencia está sobre el espectro audible por el oído humano, aproximadamente 20.000[Hz]. En animales como los murciélagos o delfines es utilizado como radar para su orientación. A este fenómeno se le nombra ecolocalización. Hoy en día, es utilizado en sistemas médicos como ecografías, ultrasonoterapia, fisioterapias. Y también en aplicaciones en la industria como medición de distancias y más. [5]

1.16.2 Medición en la industria

En la industria la medición se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie que refleja el impulso y una recepción del eco del receptor. El retraso de la captación de este eco va a depender del nivel del estanque en cuestión. Gran parte de los sensores de este tipo, trabajan en una frecuencia de 10[KHz] y 100[KHz]. El error de estos es de ± 1 a 3%. Se adaptan a cualquier tipo de tanques y de líquidos. Pero presentan problemas al censar líquidos con demasiada densidad y dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no está nítido como por ejemplo un líquido que forme mucha espuma como la cerveza. [5]

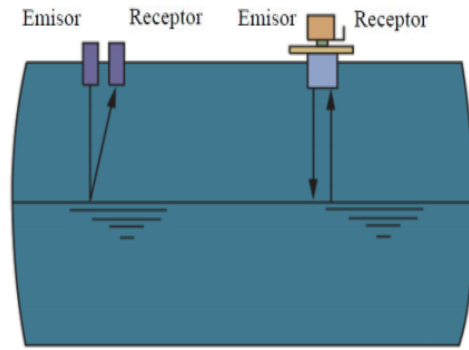


Fig. 5 "Ejemplos de sensores ultrasónicos de nivel"

1.16.3 Tipos de montaje

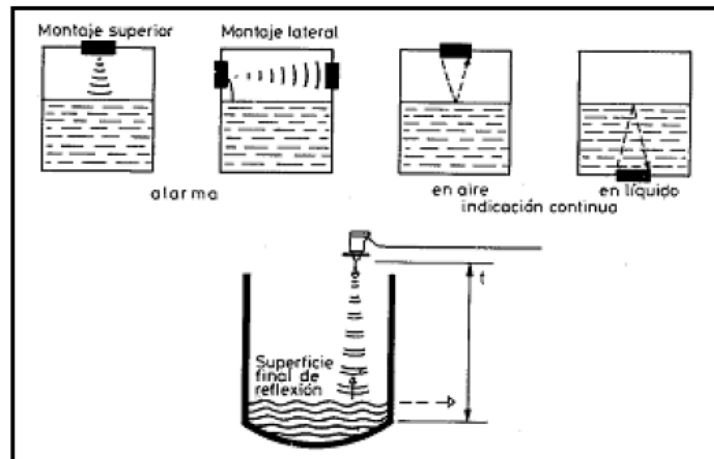


Fig. 6 "Montajes de sensores"

Existen distintas disposiciones para montar los sensores de nivel. Cada uno se aconseja según el estanque y sistema a implementar. En la figura 6 se aprecia los tipos de montaje para las alarmas de nivel o indicadores de nivel.

En las aplicaciones para alarma de nivel los sensores vibrarán a una frecuencia de resonancia determinada, esta se amortigua cuando el líquido los empa.

En las aplicaciones de indicadores de nivel, que es el utilizado en el proyecto, la fuente de ultrasonido genera impulsos que son detectados por el receptor una vez transcurrido el tiempo de ida y vuelta de la onda a la superficie del líquido. [5]

1.17 Modelo Dinámico

Para calcular el modelo analítico el PID se hace un análisis de la maqueta y su modelo matemático

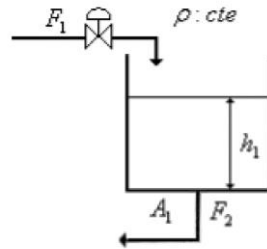


Fig. 7 "Estanque modelo dinámico"

Con:

$$F_1 = \eta * u(t) \text{ y } F_2 = k_1 \sqrt{h_1(t)}$$

Siendo:

η : Constante proporcional de la válvula.

$u(t)$: Voltaje aplicado a la válvula (acción de control).

k_1 : Constante proporcional de salida.

$h_1(t)$: Altura del agua.

Al modelar el estanque se tiene:

$$F_1 - F_2 = A * \frac{dh_1(t)}{dt} \quad (1)$$

Siendo:

A: Altura del estanque.

Reemplazando F_1 y F_2 en (1),

$$\eta * u(t) - k_1 \sqrt{h_1(t)} = A * \frac{dh_1(t)}{dt} \quad (2)$$

Dividiendo ambas igualdades por A en (2),

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{(\eta * u(t) - k_1 \sqrt{h_1(t)})}{A} \quad (3)$$

Representando de otra manera (3),

$$h_1(t) = \frac{(\eta * u(t) - k_1 \sqrt{h_1(t)})}{A} \quad (4)$$

Teniendo la representación del modelo, se debe linealizar, lo cual se realiza de la siguiente manera (en nuestro caso x es representado como h),

$$\Delta x = A \Delta x(t) + B \Delta u(t)$$

Correspondiente a los valores:

$$A = \left. \frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}}$$

$$B = \left. \frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}}$$

Reemplazando en A y B ($h = h_0$),

$$A = \frac{k_1}{A} * \frac{-1}{2} * \frac{1}{\sqrt{h_0}} = \frac{-k_1}{2A\sqrt{h_0}}$$

$$B = \frac{\eta}{A} * 1 = \frac{\eta}{A}$$

Reemplazando A y B en la linealización,

$$\Delta h_1(t) = \frac{\eta}{A} * \Delta u(t) - \frac{k_1}{2A\sqrt{h_0}} \Delta h(t) \quad (5)$$

Realizando la Transformada de Laplace en (5), resulta,

$$sH(s) = \frac{\eta}{A} * U(s) - \frac{k_1}{2A\sqrt{h_0}} * H(s) \quad (6)$$

Juntando $H(s)$ en (6),

$$sH(s) + \frac{k_1}{2A\sqrt{h_0}} * H(s) = \frac{\eta}{A} * U(s)$$

Factorizando $H(s)$,

$$H(s) \left[s + \frac{k_1}{2A\sqrt{h_0}} \right] = \frac{\eta}{A} * U(s)$$

Despejando $H(s)$, tenemos,

$$H(s) = \frac{\frac{\eta}{A} * U(s)}{s + \frac{k_1}{2A\sqrt{h_0}}} \quad (7)$$

Multiplicando por $\frac{2A\sqrt{h_0}}{k_1}$ en ambas partes de la fracción,

$$\frac{H(s)}{U(s)} = \frac{\frac{2\eta\sqrt{h_0}}{k_1}}{\frac{2A\sqrt{h_0}}{k_1} * s + 1} \quad (8)$$

Definiendo $H(s)$ como salida y $U(s)$ como entrada, además de definir nuevas constantes,

$$G(s) = \frac{H(s)}{U(s)}$$

$$k_g = \frac{2\eta\sqrt{h_0}}{k_1}$$

$$\tau = \frac{2A\sqrt{h_0}}{k_1}$$

Reemplazando las nuevas variables,

$$G(s) = \frac{k_g}{\tau s + 1} \quad (9)$$

Teniendo,

$$k_1 = 12.94 \text{ (Valor TUBO PVC-U } \varnothing 32\text{mm x 25mm)}$$

$$A = 0.28 \text{ [m]}$$

$$\eta = 1.63$$

$h_0 = 23 \text{ [cm]}$ (Valor máximo del sensor)

Calculando las constantes:

$$k_g = \frac{2\eta\sqrt{h_0}}{k_1} = \frac{2 * 1.63 * \sqrt{23}}{12.94} \approx 1.2$$

$$\tau = \frac{2A\sqrt{h_0}}{k_1} = \frac{2 * 0.28 * \sqrt{23}}{12.94} \approx 0.21$$

Reemplazando:

$$G(s) = \frac{1.2}{0.21s+1} \quad (10)$$

1. Realizando el lazo cerrado con controlador P, recordando,

$$G_p(s) = \frac{h_c * h_p}{1+h_c * h_p * h_s} \quad (11)$$

Con los valores:

$$h_c = k_p$$

$$h_p = \frac{k_g}{\tau s + 1}$$

$$h_s = 1$$

Reemplazando en (11), tenemos,

$$G_p(s) = \frac{k_p * \frac{k_g}{\tau s + 1}}{1 + k_p * \frac{k_g}{\tau s + 1} * 1} \quad (12)$$

Desarrollando,

$$G_p(s) = \frac{\frac{k_p * k_g}{\tau s + 1}}{1 + \frac{k_p * k_g}{\tau s + 1}}$$

Multiplicando por $\tau s + 1$ en ambas partes de la fracción,

$$G_p(s) = \frac{k_p * k_g}{\tau s + 1 + k_p * k_g}$$

Dividiendo por $1 + k_p * k_g$ en ambas partes de la fracción,

$$G_p(s) = \frac{\frac{k_p * k_g}{1 + k_p * k_g}}{\frac{\tau}{1 + k_p * k_g} s + 1} \quad (13)$$

Definiendo nuevas variables:

$$k_{gp} = \frac{k_p * k_g}{1 + k_p * k_g}$$

$$\tau_p = \frac{\tau}{1 + k_p * k_g}$$

Finalmente:

$$G_p(s) = \frac{k_{gp}}{\tau_p s + 1} \quad (14)$$

Calculando las constantes (recordando, $k_g = 1.2$, $\tau = 0.21$ $\tau_p = 5.25$ gracias al tiempo de asentamiento 25 segundos),

$$k_{gp} = \frac{k_p * k_g}{1 + k_p * k_g}$$

$$\tau_p = \frac{\tau}{1 + k_p * k_g} = 5 = \frac{0.21}{1 + k_p * 1.2}$$

Despejando k_p ,

$$k_p \approx -0.8$$

Reemplazando $k_p \approx -0.8$ en k_{gp} ,

$$k_{gp} = \frac{-0.8 * 1.21}{1 - 0.8 * 1.21} \approx -30.25$$

Reemplazando en (14),

$$G_p(s) \approx \frac{-30.25}{5.25s+1} \quad (15)$$

2. Realizando el lazo cerrado con controlador PI, recordando,

$$G_{pi}(s) = \frac{h_c * h_p}{1+h_c * h_p * h_s} \quad (11)$$

Teniendo,

$$h_c = \left(k_p + \frac{k_p}{T_{pi}s} \right) = \frac{k_p T_{pi}s + k_p}{T_{pi}s}$$

$$h_p = \frac{k_g}{\tau s + 1}$$

$$h_s = 1$$

Reemplazando en (11), tenemos,

$$G_{pi}(s) = \frac{\frac{k_p T_{pi}s + k_p}{T_{pi}s} * \frac{k_g}{\tau s + 1}}{1 + \frac{k_p T_{pi}s + k_p}{T_{pi}s} * \frac{k_g}{\tau s + 1}} \quad (16)$$

Desarrollando,

$$G_{pi}(s) = \frac{\frac{k_p k_g T_{pi}s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi}s}}{1 + \frac{k_p k_g T_{pi}s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi}s}}$$

Multiplicando por $T_{pi} \tau s^2 + T_{pi}s$ en ambas partes de la fracción,

$$G_{pi}(s) = \frac{k_p k_g T_{pi}s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi}s + k_p k_g T_{pi}s + k_p k_g}$$

Factorizando s en el denominador,

$$G_{pi}(s) = \frac{k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + (T_{pi} + k_p k_g T_{pi}) s + k_p k_g}$$

Dividiendo por $T_{pi} \tau$ en ambas partes de la fracción,

$$G_{pi}(s) = \frac{\frac{k_p k_g}{\tau} s + \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau}}{s^2 + \left(\frac{1 + k_p k_g}{\tau}\right) s + \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau}} \quad (17)$$

Definiendo nuevas variables:

$$\omega_n^2 = \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau}$$

$$2\zeta \omega_n = \frac{1 + k_p k_g}{\tau}$$

Finalmente,

$$G_{pi}(s) = \frac{T_{pi} \omega_n^2 s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (18)$$

Factorizando ω_n^2 en el numerador en (18):

$$G_{pi}(s) = \frac{(T_{pi} s + 1) \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (19)$$

Calculando las constantes (recordando, $k_g = 1.2$, $\tau = 0.21$, $\zeta = 0.707$, $\omega_n = 2 * \pi * 0.04 = 0.25$),

$$2 * 0.707 * 0.25 = \frac{1 + k_p * 1.21}{0.21}$$

Despejando k_p ,

$$k_p \approx -0.9$$

Reemplazando en ω_n^2 ,

$$(0.25)^2 = \frac{-0.9 * 1.2}{T_{pi} * 0.21}$$

Despejando T_{pi} ,

$$T_{pi} \approx -82.2$$

Reemplazando en (19),

$$G_{pi}(s) \approx \frac{(-82.2s+1)*0.06}{s^2+0.36s+0.06} \quad (20)$$

3. Realizando el lazo cerrado con controlador PID, recordando,

$$G_p(s) = \frac{h_c * h_p}{1+h_c * h_p * h_s} \quad (11)$$

Teniendo,

$$h_c = \left(k_p + \frac{k_p}{T_{pi}s} + T_{pid}s \right) = \frac{k_p T_{pi}s + k_p + T_{pi} T_{pid} s^2}{T_{pi}s}$$

$$h_p = \frac{k_g}{\tau s + 1}$$

$$h_s = 1$$

Reemplazando en (11), tenemos,

$$G_{pid}(s) = \frac{\frac{k_p T_{pi}s + k_p + T_{pi} T_{pid} s^2}{T_{pi}s} * \frac{k_g}{\tau s + 1}}{1 + \frac{k_p T_{pi}s + k_p + T_{pi} T_{pid} s^2}{T_{pi}s} * \frac{k_g}{\tau s + 1} * 1} \quad (21)$$

Desarrollando,

$$G_{pid}(s) = \frac{\frac{k_g T_{pi} T_{pid} s^2 + k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi} s}}{1 + \frac{k_g T_{pi} T_{pid} s^2 + k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi} s}}$$

Multiplicando por $T_{pi} \tau s^2 + T_{pi} s$ en ambas partes de la fracción,

$$G_{pid}(s) = \frac{k_g T_{pi} T_{pid} s^2 + k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}{T_{pi} \tau s^2 + T_{pi} s + k_g T_{pi} T_{pid} s^2 + k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}$$

Factorizando s^2 y s en el denominador,

$$G_{pid}(s) = \frac{k_g T_{pi} T_{pid} s^2 + k_p k_g T_{pi} s + k_p k_g}{(T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}) s^2 + (T_{pi} + k_p k_g T_{pi}) s + k_p k_g}$$

Dividiendo por $T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}$ en ambas partes de la fracción,

$$G_{pid}(s) = \frac{\frac{k_g T_{pi} T_{pid}}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}} s^2 + \frac{k_p k_g T_{pi}}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}} s + \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}}}{s^2 + \left(\frac{T_{pi} + k_p k_g T_{pi}}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}} \right) s + \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}}} \quad (22)$$

Definiendo nuevas variables:

$$\omega_n^2 = \frac{k_p k_g}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}}$$

$$2\zeta \omega_n = \frac{T_{pi} + k_p k_g T_{pi}}{T_{pi} \tau + k_g T_{pi} T_{pid}}$$

Finalmente,

$$G_{pid}(s) = \frac{T_{pi} \omega_n^2 s^2 + T_{pi} \omega_n^2 s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (23)$$

Factorizando $T_{pi} \omega_n^2$ en el numerador de (23):

$$G_{pid}(s) = \frac{\left(s^2 + s + \frac{1}{T_{pi}} \right) T_{pi} \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (24)$$

Calculando las constantes (recordando, $k_g = 1.2$, $\tau = 0.21$, $\zeta = 0.707$, $\omega_n = 2 * \pi * 0.04 = 0.25$, definiendo arbitrariamente $k_p = 2.23$), tendríamos,

$$(0.25)^2 = \frac{2.23 * 1.2}{T_{pi} * 0.21 + 1.2 * T_{pi} * T_{pid}} \quad (25)$$

$$2 * 0.707 * 0.25 = \frac{T_{pi} + 2.23 * 1.2 * T_{pi}}{T_{pi} * 0.21 + 1.2 * T_{pi} * T_{pid}} \quad (26)$$

Despejando T_{pi} , multiplicando por T_{pi} en ambas partes de la igualdad en (25), quedaría aproximadamente,

$$0.06 T_{pi} \approx \frac{3.43}{0.21 + 1.2 * T_{pid}}$$

Dividiendo por 0.06 en ambas partes de la igualdad en (25), luego de haber multiplicado por T_{pi} en ambas partes de la igualdad,

$$T_{pi} \approx \frac{3.43}{3.5+20*T_{pid}} \quad (27)$$

Reemplazando T_{pi} ,

$$0.35 = \frac{\frac{3.43}{3.5+20*T_{pid}} + 3.43*\frac{3.43}{3.5+20*T_{pid}}}{\frac{3.43}{3.5+20*T_{pid}}*0.2 + 1.13*\frac{3.43}{3.5+20*T_{pid}}*T_{pid}} \quad (28)$$

Desarrollando, multiplicando por $3.5 + 20 * T_{pid}$, en ambas partes de la fracción,

$$0.35 \approx \frac{3.43 + 11.76}{0.686 + 3.87 * T_{pid}}$$

Multiplicando por $0.686 + 3.87 * T_{pid}$, en ambas partes de la igualdad, quedaría aproximadamente,

$$0.24 + T_{pid} \approx 15.19$$

Finalmente,

$$T_{pid} = 14.95$$

Reemplazando $T_{pid} = 14.95$ en (27), tendríamos,

$$T_{pi} \approx \frac{3.43}{3.5 + 20 * 14.95} \approx \frac{3.43}{302.5} \approx 0.011$$

Reemplazando $T_{pi} = 0.021$, $\omega_n = 0.25$, $\zeta = 0.707$ en (26),

$$G_{pid}(s) \approx \frac{(s^2+s+\frac{1}{50})0.021*0.06}{s^2+2*0.707*0.25s+0.06} \approx \frac{(s^2+s+0.021)*0.0012}{s^2+0.36s+0.06} \quad (28)$$

CAPÍTULO 2. La maqueta

2.1 Maqueta de doble estanque de acrílico



Fig. 8 "Maqueta de control de nivel"

La maqueta de control de nivel a remotizar está ubicada en el laboratorio de control de procesos de la Universidad del Bío-Bío. Al momento de retomar su manejo, se encontraba en un estado muy descuidado debido a la no utilización en los años de pandemia. Con filtraciones, rupturas en el acrílico, su estructura y bases metálicas estaban en estado de oxidación.



Fig. 9 "Estanque en mal estado"

Por estos motivos se realizó un arduo trabajo de restauración llegando al resultado que se puede observar en la figura 9.



Fig. 10 "Estanque restaurado"

El tablero eléctrico se desmontó completamente y realizar nuevas conexiones ya que, la maqueta anteriormente se controlaba con un PLC Quantum 140 y un PLC Premium TSX P57103; y se tomó la determinación junto al profesor encargado del laboratorio, el reemplazo de este por el PLC S7-1200, el más utilizado en dicho laboratorio.

2.2 Tanque de acrílico

Dentro de los componentes más importantes de la maqueta de control de nivel son sus dos estanques de depósito. Estos son los encargados de almacenar el fluido a trabajar. Estos tanques son de material acrílico, que es un material termoplástico rígido, resistente y es transparente para tener una visual mucha más didáctica al momento de operar la maqueta, visualizando de mejor manera el nivel. También, lo hace ideal para remotizar la visual con cámaras web vía videoconferencia. Igualmente, cuenta con forma cilíndrica y es inerte a sustancias corrosivas.

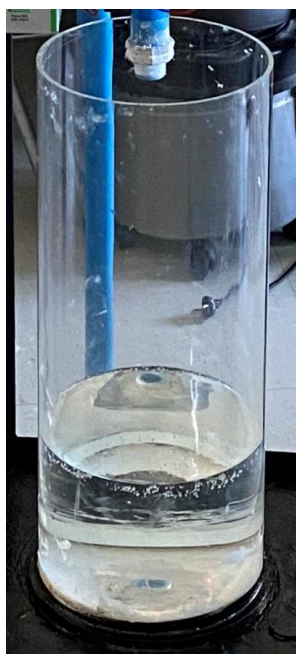


Fig. 11 "Tanque Acrílico"

Tabla 2.2.1 "Especificaciones de los tanques"

Especificaciones	
Alto	48 [cm]
Diámetro	19 [cm]
Volumen	13.6 [lts]
Espesor	5 [mm]

2.3 Sensor ultrasónico

Es un instrumento sensor donde su medición evalúa el tiempo en el que el sonido realiza el trayecto entre transmisión y receptor. Las superficies líquidas con perturbaciones y el cambio del ángulo durante el llenado y vaciado de sólidos granulados afectan a la reflexión de los pulsos ultrasónicos, por lo que pueden afectar a los resultados de la medición

En la maqueta se utiliza un sensor ultrasónico U-GAGE T30UIPAQ, el cual es un sensor fácil de utilizar, ideal para entornos exigentes. La programación de los botones proporciona flexibilidad y facilidad para una variedad de aplicaciones deseadas. Este sensor fue reutilizado de una maqueta que no estaba en funcionamiento y se calibró para esta nueva experiencia. Tiene un rango de sensado que va desde los 0[cm] a los 23[cm], ya que contiene zona muerta en la parte superior del estanque.

El sensor con el que la maqueta antiguamente contaba estaba en mal estado, se revisó y calibro nuevamente pero lamentablemente tenia errores de lectura en los limites inferiores y superiores. Además, generaba una gran histerisis en sus resultados al momento de aumentar el caudal de ingreso al estanque superior. Por estos motivos se llego a la concenso de utilizar el sensor T30UIPAQ, ya que se encuentra en mejores condiciones que el antiguamente usado.

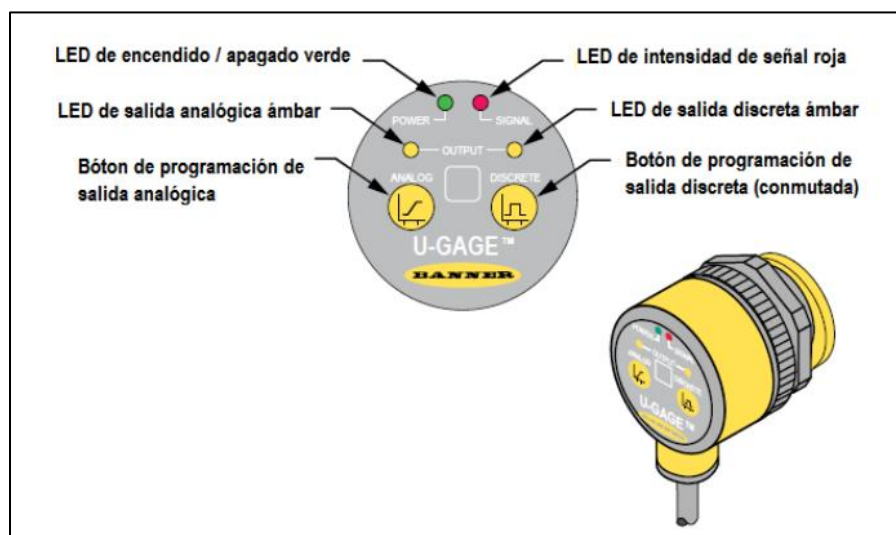


Fig. 12 "Esquema de sensor ultrasónico U-GAGE T30UIPAQ"

Tabla 2.3.1 "Características Sensor U-GAGE T30UIPAQ"

Especificaciones	
Rango	150 (mm) a 1(m)
Frecuencia	228 (KHz)
Cable	2 (m)
Voltaje de alimentación	12 a 21 (Vcc)
Salida discreta	PNP
Salida análoga	4 – 20 (mA)
Tiempo de respuesta	48 (ms)

2.4 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga tiene la función de convertir la energía de movimiento en velocidad y en energía de presión. La bomba aporta energía al líquido que bombea (energía transformada en caudal y en altura de elevación), dependiendo del diseño de esta. El funcionamiento de la bomba se basa en el movimiento centrífugo para mover el líquido y a su vez poder aumentar la presión de este. Los principales componentes de una bomba son la tubería de aspiración, la voluta y un rodete. [6]

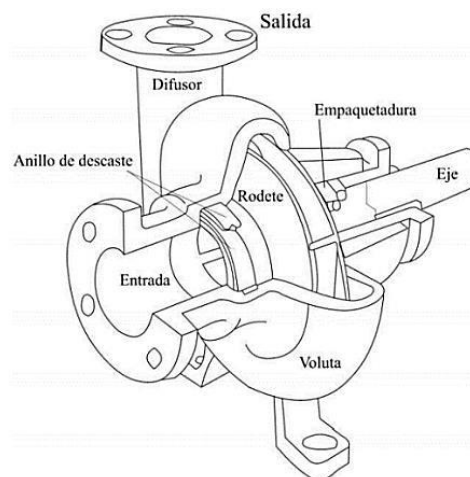


Fig. 13 "Estructura de bomba centrífuga"

Cuando el líquido entra en la bomba, el rodete traslada el fluido hacia una zona del cuerpo por acción de la fuerza centrífuga que se generó por el movimiento del rodete. De esta forma el líquido obtiene energía potencial que se convertirá en caudal y elevación del fluido. La fuerza centrífuga va a provocar una depresión capaz de succionar el fluido ya bombeado, simplemente conectando a la bomba una tubería de descarga hacia la línea de distribución. Esta bomba, dependerá del movimiento inicial del cebado, si la bomba está a un nivel demasiado bajo de la toma del fluido, esta entrará espontáneamente en ella. Pero si se instala sobre el nivel de la bomba, el fluido de aspirará y se tendrá que cebar previamente a la bomba, evitando que así quede aire en su interior.

La bomba que se utilizará en el proyecto es el modelo BKm60-CLA, que tiene un impulsor periférico de alta presión y de bajo caudal. Esta, se adecua para bombear agua limpia y no demasiado agresiva. Esta bomba es utilizada para impulsar el líquido y mantener el nivel constante en el sistema. Posee una potencia aproximada de 0.5 [HP], haciéndola ideal para el proyecto ya que las pérdidas de carga en este son de menores al rango de potencia de la bomba.



Fig. 14 "Bomba BKm60-CLA"

Tabla 2.4.1 "Características Bomba BKm60-CLA"

Especificaciones			
Q: 5-36 [L/min]		H: 36-8 M	
H. max: 35[M]		Q. max: 39 [L/min]	
1 – Mot	220[V]	50 [Hz]	r.p.m 2850
0.37 [KW]	½ [HP]	In 2.5 [A]	430[W max]
C10 [µF]	VL 450 [V]	I.CI.B	I P .44

2.5 Válvula solenoide

Es una válvula electromecánica utilizada para abrir o cerrar el paso de un líquido por un conducto tubería. Son un elemento fundamental para la regulación del fluido. Se utiliza en gran parte de los procesos de control de nivel de líquidos o gases. Posee una bobina solenoide que, en su estructura interna, es accionada por una corriente. Esta al ser accionada, eleva su embolo y abre finalmente la válvula. [7]

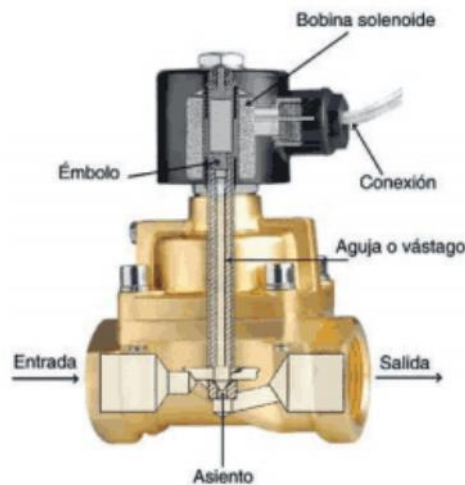


Fig. 15 "Esquema de válvula solenoide"

El esquema de la válvula corresponde a una similar a la que se utiliza en el proyecto.

La válvula solenoide a utilizar es el modelo EV260B de DANFOSS. Esta válvula trabaja con una señal de control eléctrica de 4-20 [mA], que corresponde a la señal de salida del módulo que se utilizará. Su alimentación corresponde a 24 [Vcc] dada por una fuente continua.



Fig. 16 "Válvula EV260B DANFOSS"

Tabla 2.5.1 "Especificaciones Válvula EV260B DANFOSS"

Especificaciones	
Rango del fluido	0.5 – 12.7 [m ³ /H]
Diferencial de presión	0.5 – 10 [bar] / 7 – 154 [psi]
Temperatura ambiente	50 [°C] máx.
Viscosidad	50[cSt] máx.
Resistencia de bobina	23.5 [Ω]
Clasificación de servicio	Continuo
Aislamiento de devanado de la bobina	Clase H acorde IEC85
Señal de control	4 – 20 [mA]
Voltaje	24 [Vcc]
Potencia	20 [W]

2.6 Válvula de bola manual

La válvula manual de bola es un dispositivo mecánico que necesita ser accionado directamente por el usuario. Con esta válvula se podría iniciar, detener e incluso regular la circulación de líquidos y gases dependiendo de la aplicación en la que esté implementada. En el caso de la maqueta de control de nivel a trabajar, se utilizarán dos de estas válvulas, una de salida del primer estanque y otra para poder regular el paso del fluido, esto debido a la presión que se genera y la velocidad del fluido, no es proporcional al estanque a implementar. Esto ocurre porque los estanques son muy pequeños y los actuadores utilizados son diseñados para motivos industriales.



Fig. 17 "Válvula manual de Bola"



Fig. 18 "Válvula manual de bola 2do estanque"

2.7 Fuente de alimentación TRIO-PS/1AC/24DC/ 2.5

Fuente de alimentación TRIO POWER con funcionalidad estándar. Con variantes monofásicas y trifásicas hasta 960 W, TRIO POWER resulta especialmente adecuada para la construcción en serie de máquinas. La entrada de amplia gama y el paquete internacional de homologaciones facilitan el empleo a escala mundial.

La robusta caja metálica, la elevada rigidez dieléctrica y el gran rango de temperatura garantizan una elevada seguridad de alimentación. [8]



Fig. 19 "Fuente de Alimentación"

El PLC que se utiliza en el proyecto cuenta con una fuente de 24v para alimentar los dispositivos a conectar, pero se determinó el utilizar una fuente de alimentación externa por motivos de no sobrecargar el conexionado en el PLC y para tener un orden en la instalación eléctrica de toda la maqueta.

Además, esta fuente de alimentación estaba en el laboratorio sin darle uso en ningún proceso y siempre es importante sacarle provecho a todos los elementos que se encuentran en el inventario de la universidad.

Tabla 2.7.1 "Características Fuente de alimentación"

Especificaciones	
Margen de tensión nominal de entrada	100 V AC ... 240 V AC
Rango de tensión de entrada	85 V AC ... 264 V AC (Derating < 90 V AC: 2,5 %/V)
Derating	< 90 V AC (2,5 %/V)
Margen de tensión de entrada AC	85 V AC ... 264 V AC (Derating < 90 V AC: 2,5 %/V)
Gama de frecuencias AC	45 Hz ... 65 Hz
Tensión nominal de salida	24 V DC \pm 1 %
Corriente nominal de salida (IN)	2,5 A (UOUT = 24 V DC)
Limitación de corriente activa	Aprox. 5 A (en caso de cortocircuito)
Potencia de salida	60 W
Disipación de carga nominal máxima	10 W

2.8 Interruptor Automático 1P 32A C 10Ka C60N

Es un dispositivo obligatorio de protección contra las sobrecargas y cortocircuitos. Son los encargados de actuar cuando detectan una falla. El aparato corta el suministro eléctrico a la instalación con la finalidad de poder solucionar el error y reestablecer el servicio. [9]



Fig. 20 "Automático"

Tabla 2.8.1 "Características de Automático"

Especificaciones	
Amperes	32 A
Kilo amperes	10 kA
Voltaje	201-250 V
Método de operación	On-Off

2.9 Módulo de relé PLC 24Vdc 6A

Los módulos de relé operan como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, a través de una bobina y un electroimán. Se accionan los contactos que permiten abrir y cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Además de aislar y conmutar, cumplen otros requisitos como medir, controlar, regular, multiplicar y amplificar. [10]



Fig. 21 "Relé"

Tabla 2.9.1 "Características Relé"

Especificaciones	
Tensión Nominal de entrada	24 V DC
Rango de tensión de entrada	18.5 – 33.6 DC
Corriente de entrada Típica	9 mA
Tensión mínima de activación	5 V (100 mA)
Normas	IEC 60947-5-1

2.10 Tablero eléctrico

El tablero se divide en 7 secciones, las que permiten el funcionamiento de la maqueta, las 7 divisiones son las siguientes:

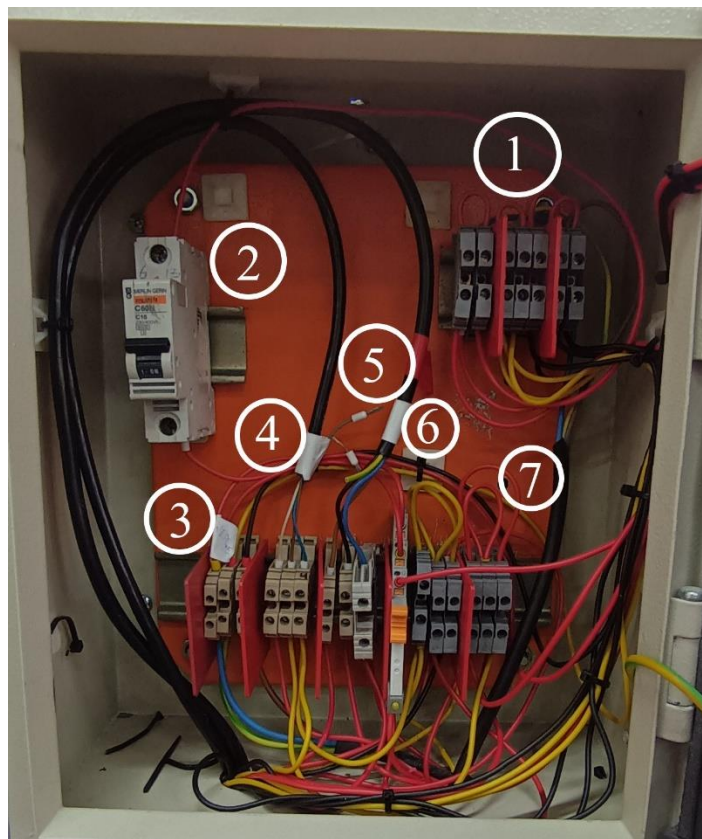


Fig. 22 "Tablero de maqueta"

1. Conexión a corriente alterna.
2. Interruptor Automático.
3. Bomba Centrífuga.
4. Sensor Ultrasónico.
5. Válvula Solenoide.
6. Relé PLC.
7. Fuente de alimentación (24v).

CAPÍTULO 3. El controlador

3.1 S7-1200

Es parte de la gama de controladores SIMATIC de Siemens, es el sucesor del S7-200 y está disponible desde junio del 2009. Está diseñado para pequeños sistemas de automatización que requieren funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes. Su diseño compacto, su bajo coste y sus potentes funciones lo hacen idóneo para controlar tareas sencillas.

SIMATIC cuenta con la automatización plenamente integrada (TIA: Totally Integrated Automation) con todas sus herramientas de programación.

El controlador S7-1200 ofrece flexibilidad y potencia necesaria para realizar tareas y una gran variedad de dispositivos para satisfacer las necesidades que pide la automatización. Gracias a su diseño y amplio campo de instrucciones, el PLC S7-1200 es ideal para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora diferentes elementos para crear un potente controlador, en donde encontramos: Un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET incorporado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas

Una vez descargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, temporizador, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Para la comunicación del PLC, la CPU incorpora un puerto PROFINET integrado, por lo que puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente a la red PROFINET. Además, el controlador para garantizar seguridad dispone protección mediante contraseña, que permite configurar el acceso a sus funciones. [11]

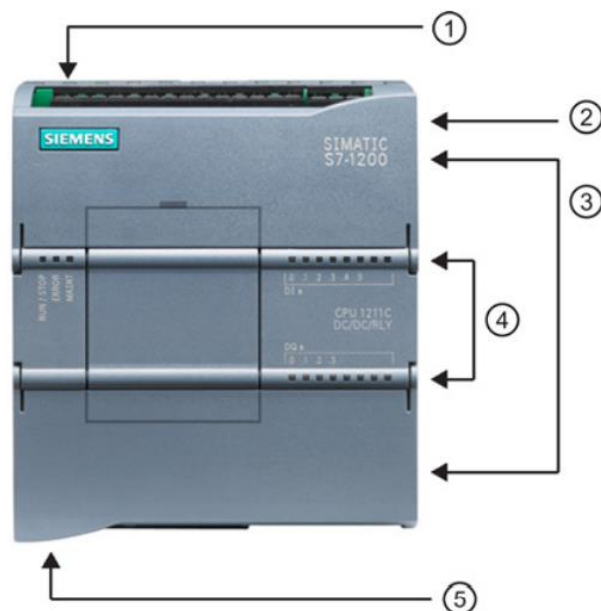


Fig. 23 "PLC Siemens s7-1200"

1. Conector de corriente
2. Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
3. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
4. LEDs de estado para las E/S integradas
5. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

SIMATIC S7-1200 es adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de automatización, su campo de aplicaciones se extiende desde la sustitución de relés y contactores, hasta tareas complejas del área autómatas de redes y estructuras de distribución.

Dentro de la estructura interna y externa se tiene:

Diseño escalable y flexible, comunicación industrial y funciones tecnológicas integradas.

3.2 Diseño

El diseño otorga una flexibilidad en la configuración de máquinas individuales, por lo que se puede combinar de forma libre los elementos para el control de manera más conveniente y hacerlo de manera rápida y sencilla. [11]

3.3 Módulo de señales

A la CPU del PLC se puede añadir un Módulo de Señales Integradas para ampliar el número de E/S digitales o lógicas sin necesidad de aumentar el tamaño físico del controlador.



Fig. 24 "Modulo de señales integradas"

A la derecha de la CPU se coloca los módulos de señales que se requieren para aumentar la capacidad de E/S digitales o analógicas, todas las CPU SIMATIC S7-1200 pueden equiparse hasta con tres Módulos de Comunicación a la izquierda del controlador, lo que permite una comunicación serie punto a punto con un Módulo de señales integradas adicional, podrá aumentar el número de entradas y salidas sin necesidad de aumentar tamaño físico. [11]



Fig. 25 "Modulo de comunicación"

Instalación rápida, sencilla y cómoda es lo que entrega el Hardware del controlador, ya que incorpora clips para el montaje, además, estos clips integrados son extraíbles, por lo que pueden funcionar como orificios de montaje en caso de no utilizar el perfil de soporte.

En la mayoría de los casos de S7-1200 la CPU admite la conexión de hasta ocho módulos de señales, ampliando así la posibilidad de utilizar E/S digitales o analógicas adicionales [11]



Fig. 26 "Modulo de señales"

Este mismo módulo posee el de señales integradas, el cual se enchufa directamente a la CPU, de este modo puede adaptarse individualmente las CPU, añadiendo entradas y salidas sin tener que aumentar físicamente el tamaño del controlador. [11]

3.4 Modelo de comunicación



Fig. 27 "Módulos de comunicación"

La CPU del controlador puede ampliarse hasta con 3 módulos de comunicación, los cuales corresponden a RS485 y RS232 son aptos para conexiones punto a punto en serie basada en caracteres. Esta comunicación se programa y configura con instrucciones sencillas, o bien con las funciones de librería para protocolo maestro y esclavo USS Drive y Modbus RTU, que están incluidas en el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 basic. [11]

3.5 Memoria

El controlador permite seleccionar el tamaño de la memoria de programa y la de datos hasta 50 KB de memoria de trabajo con libre configuración del tamaño del programa y de los datos de usuario, estos pueden definirse hasta los 1048 Bytes como remanentes. [11]

3.6 SIMATIC Memory Card



Fig. 28 "SIMATIC memory card"

La siguiente tarjeta de memoria es opcional, pero tiene la característica de transferir fácilmente programas a varias CPU, esta memoria también puede utilizarse para guardar diversos archivos o para actualizar el firmware del controlador, módulos de señales y comunicación. [11]

3.7 Regleta de bornes desmontables

Todos los componentes del hardware están equipados con regletas, por lo que sólo es necesario cablear una vez, estas regletas ofrecen una gran comodidad al momento de volver a utilizar o a la hora de sustituir componentes de hardware.

El diseño del hardware SIMATIC S7-1200 ha sido diseñado especialmente para ahorrar espacio, ya que sólo tiene 110 mm de ancho, y las CPU 1212C Y 1211C sólo de 90 [mm]. Junto a los módulos de comunicación y señales, el sistema modular ahorra un espacio a considerar, además ofrece la máxima eficiencia y flexibilidad en el proceso de instalación. [11]

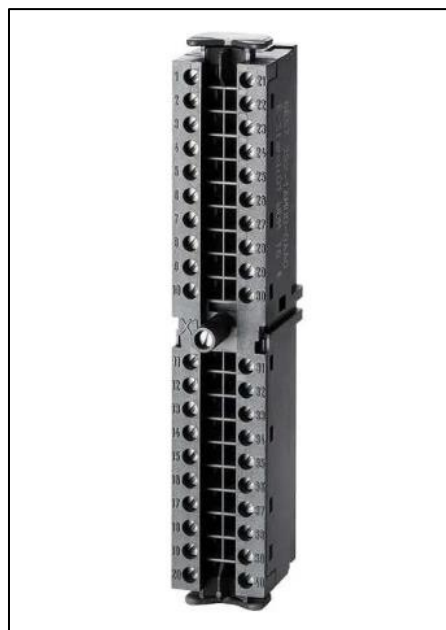


Fig. 29 "Regleta de bornes PLC"

CAPÍTULO 4. La comunicación

4.1 Industrial Ethernet switches SCALANCE XB-0005

Switch Industrial Ethernet para 10/100 Mbits/s; Proporciona una fiabilidad y velocidades de comunicación excelentes. Incluso con velocidades de transferencia de 10/100 Mbit/s, el conmutador Ethernet puede proporcionar la durabilidad robusta requerida en aplicaciones industriales. Además, proporciona 5 puertos de conexión Ethernet RJ45 con velocidades de transferencia de 10/100 Mbit/s. Esta unidad funciona con una tensión de alimentación de 24 V CA/CC. [12]



Fig. 30 "Scalance XB-005"

Tabla 4.1.1 "Características Scalance XB-005"

Especificaciones	
Voltaje de entrada	24 V CC
Tensión de entrada min.	19,2 V CC
Tensión de entrada max	28,8 V CC
Ancho	45mm
Altura	100mm
Profundidad	87mm
Tipo de conexión	RJ45/FIBRA

4.2 Adaptador Usb 3.0 A Rj45 Lan Gigabit Ethernet 1000 Mbps

El adaptador es súper rápido, ya que cuenta con tecnología USB 3.0 y garantiza una alta velocidad de transferencia de datos. Este componente es compatible con red Ethernet de 10/100/1000 Mbps, también puede adaptarse a versiones USB 2.0 Y USB 1.1.



Fig. 31 "Adaptador USB a Rj45"

Este adaptador agrega conectividad de red a un ordenador con puerto USB, proporciona transferencia de datos más rápidos y una mejor seguridad que una conexión inalámbrica. El adaptador USB 3.0 a Gigabit Ethernet es un buen accesorio para proteger el puerto LAN RJ45 en su costoso ordenador, o reemplazar un puerto Ethernet roto.

Amplia compatibilidad: este adaptador USB a Gigabit Ethernet funciona con Windows 8.1/8/7/Vista/XP, Mac OSX 10.6/10.7/10.8/10.9/10.10/10.11/10.12, kernel 3.x/2.6 y Chrome OS. No es compatible con Windows RT y Android. Compatible con IEEE 802.3, IEEE 802.3u e IEEE 802.3ab. Compatible con IEEE 802.3az [13]

4.3 Cable de conexión 6XV1870-3RH60

Para la comunicación PC – PLC tipo RJ45 con recubrimiento de Polietileno. Es categoría 6A y posee una velocidad de transmisión de 10GBps. Posee un rango de temperatura de -40 a 167 grados F.



Fig. 32 "Cable de conexión"

4.4 KEPServerX

Es uno de los mejores OPC-UA servers del mundo. El OPC es un estándar de comunicación de control y supervisión de los procesos industriales, es basado en una tecnología Microsoft y ofrece una interfaz común para que diferentes softwares interactúen y compartan datos.

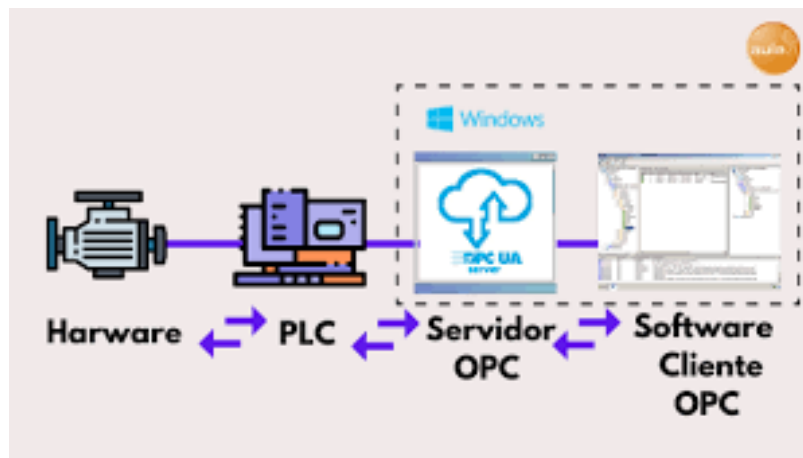


Fig. 33 "Esquema OPC"

Kepserver en la Universidad del Bío-Bío está con su versión gratuita para motivos de estudio, contando con la desventaja de un margen para su uso de 2 horas, luego hay que reestablecer los servicios. Este servicio se reestablece fácilmente de la siguiente manera.

Se debe buscar la aplicación de Servicios e ingresar a esta.

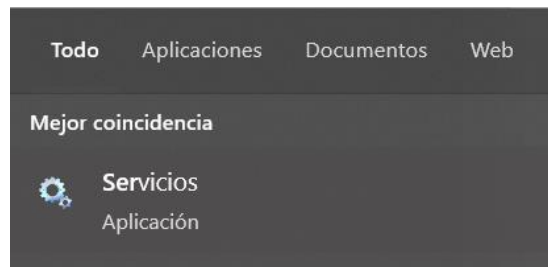


Fig. 34 "Búsqueda de Servicios"

Una vez ingresado, se busca la aplicación de Runtime de KEPServerX. Al presionar click derecho se debe seleccionar "Reiniciar". Finalizando este proceso se renueva nuevamente el periodo de prueba de 2 horas del software sin necesidad de reiniciar el computador del usuario.

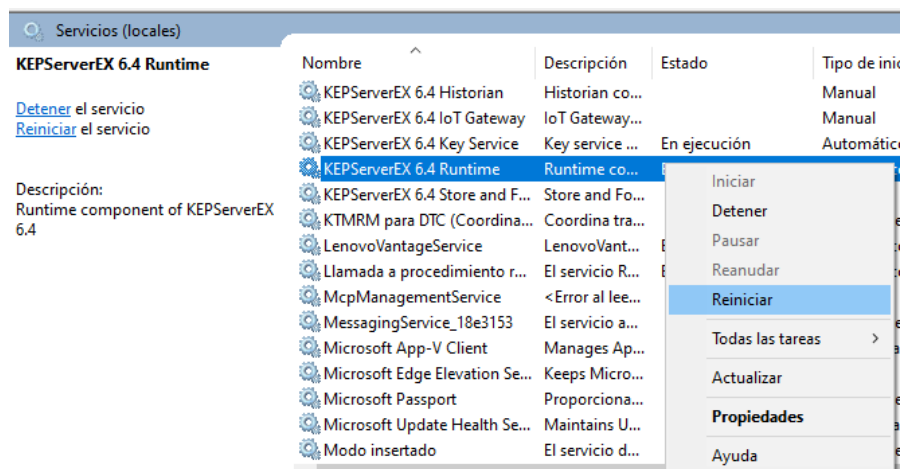


Fig. 35 "Reiniciar KEPServerX Runtime"

4.5 Configuración de la comunicación entre PLC y KepsServerX

Para la correcta configuración de la comunicación entre el autómatas y el software kepsServerX, se debe ingresar en la edición de propietario en el apartado de general el "driver" a utilizar. En el caso del proyecto es el Siemens TCP/IP Ethernet.

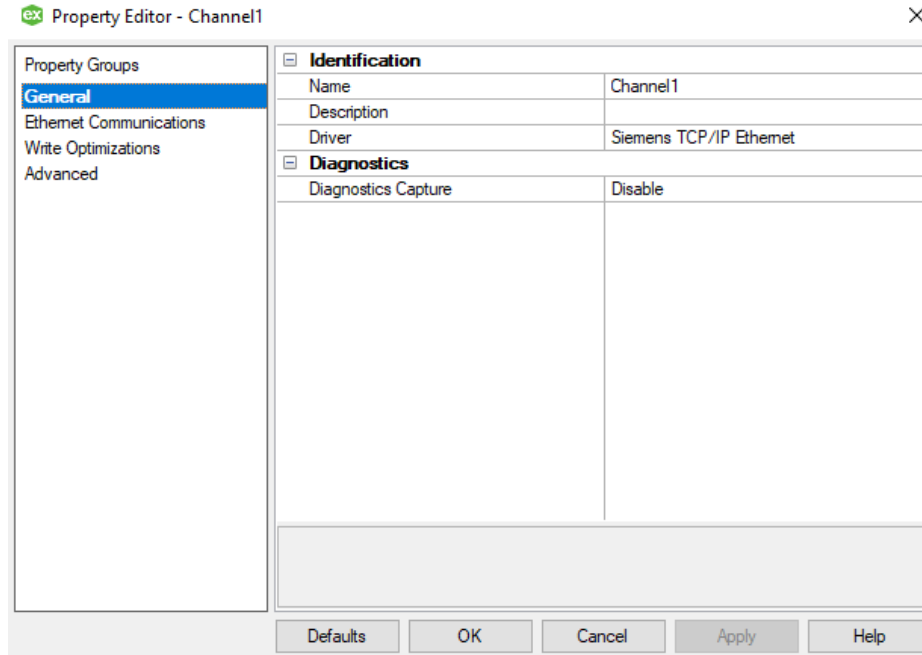


Fig. 36 "Configuración del driver"

Luego, en la configuración de comunicaciones de Ethernet, se debe seleccionar el Adaptador Usb 3.0 A Rj45 al que está conectado el Cable de conexión 6XV1870-3RH60 que proviene del Switch del PLC (Industrial Ethernet SCALANCE XB-0005)

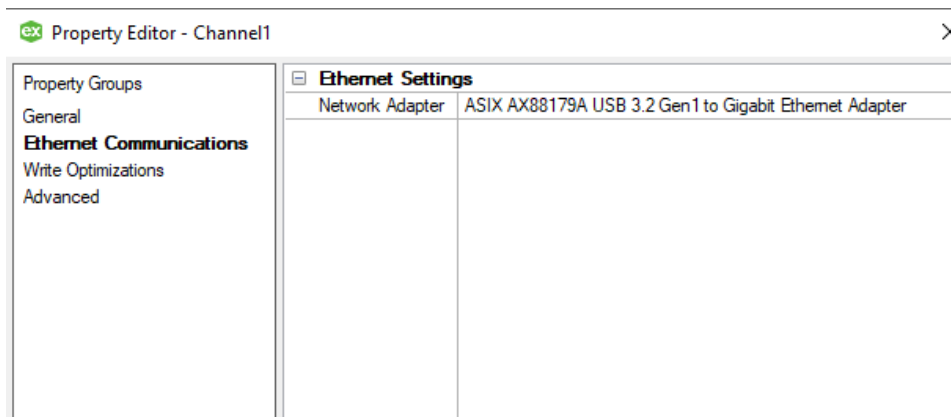


Fig. 37 "Selección del Adaptador Ethernet"

Como siguiente paso al agregar el dispositivo se debe seleccionar el modelo de PLC y lo más importante la dirección ID del PLC, que debe ser el mismo que aparecerá más tarde en el TIA PORTAL en el siguiente capítulo.

En los modos de operación, en la viñeta de recolección de datos tiene que estar en habilitado y en la opción de simulado debe estar en No; Ya que las variables que ingresaremos al programa son reales.

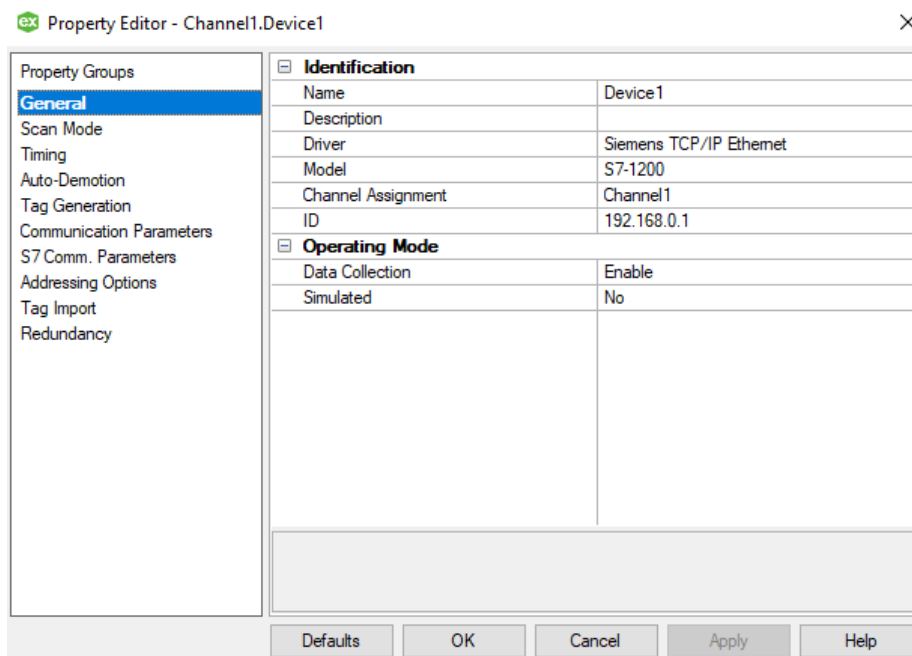


Fig. 38 "Modo de operación"

Al cumplir con la configuración anteriormente mencionada, el programa ya está listo para la creación de tags. Esto se verá en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5. Programación

5.1 Programación en TIA PORTAL

El software utilizado en la programación es el TIA portal (Totally Integrated Automation Portal)

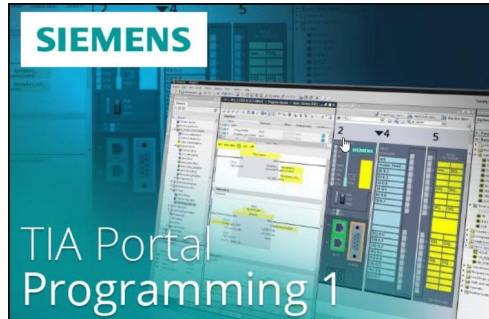


Fig. 39 "Ilustración TIA portal"

Este software permite una programación en Ladder, que es uno de los diferentes lenguajes de programación para los controladores lógicos programables estandarizados con IEC 61131-3. En este lenguaje, la energía se va desplazando de izquierda a derecha.

La programación de la maqueta debe cumplir un mínimo de estándares solicitados por los profesores guías. Donde la mayoría de ellos estarán explicados en el subcapítulo de seguridad en la programación.

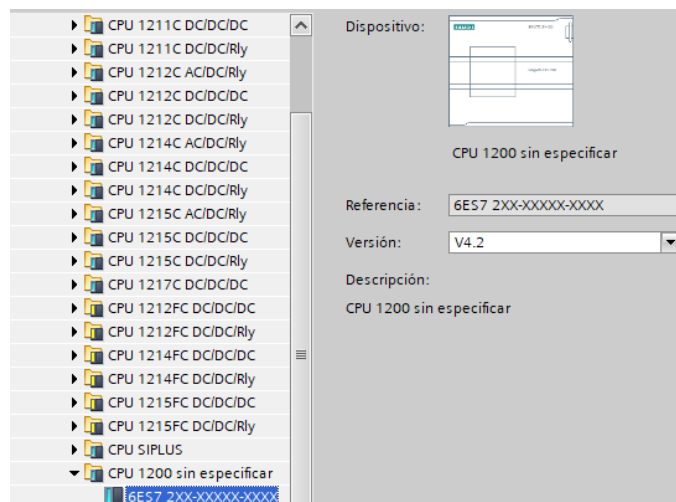


Fig. 40 "Selección del CPU"

Primero se debe configurar un nuevo dispositivo y agregar un nuevo controlador, se selecciona el CPU 1200 sin especificar y se realiza búsqueda a través de PN/IE. Una vez se encuentra el dispositivo que en este caso es el CPU 1215C AC/DC/Rly, se realiza la configuración para comunicar el PLC.

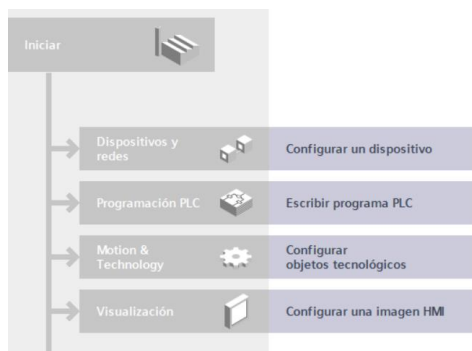


Fig. 41 "Configuración PLC"



Fig. 42 "Protocolo IP PLC"

En el protocolo de IP se debe ajustar la dirección IP que se desea, normalmente se cambia el último dígito, este puede ser un número que vaya desde 0 a 255.

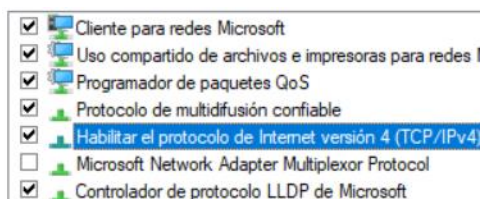


Fig. 43 "Configurar protocolo TCP/IPv4"

Esta dirección no debe ser la misma IP que tiene asignada el protocolo de Internet del Adaptador Usb 3.0 A Rj45 o el TIA PORTAL no podrá generar la conexión online con el dispositivo.

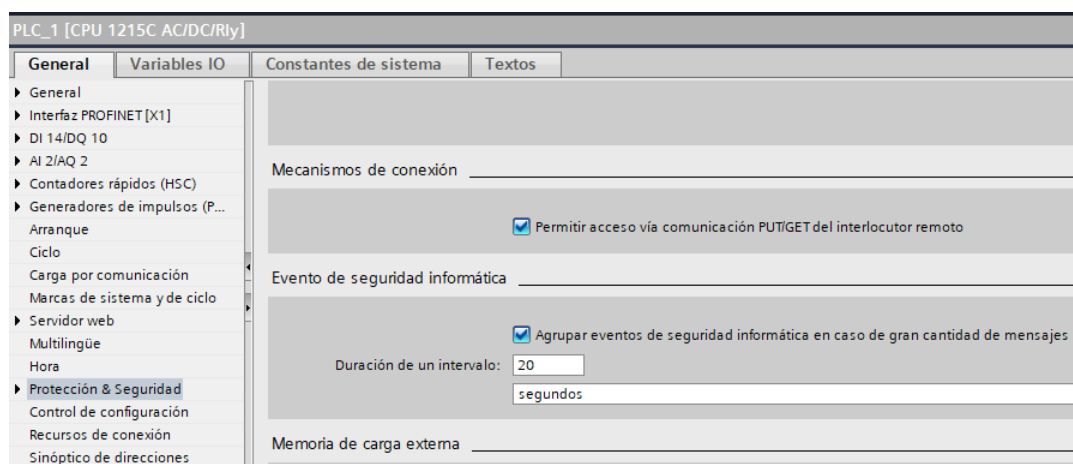


Fig. 44 "Mecanismo de conexión PLC"

Luego de seleccionar el CPU correspondiente, se debe ir al apartado de configuración de dispositivos e ir a la viñeta "General" y bajar hasta "Protección & Seguridad" y en el apartado de "Mecanismos de conexión" se tiene que habilitar la opción de "Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto". Si no se realiza esta serie de pasos, no podrá existir comunicación entre TIA PORTAL y cualquier otro software como por ejemplo el caso de KEPServerX.

Finalmente, se realiza una compilación y se establece conexión online entre PLC y TIA PORTAL y se podrá operar correctamente el programa y realizar el diagrama en escaleras que se desee.

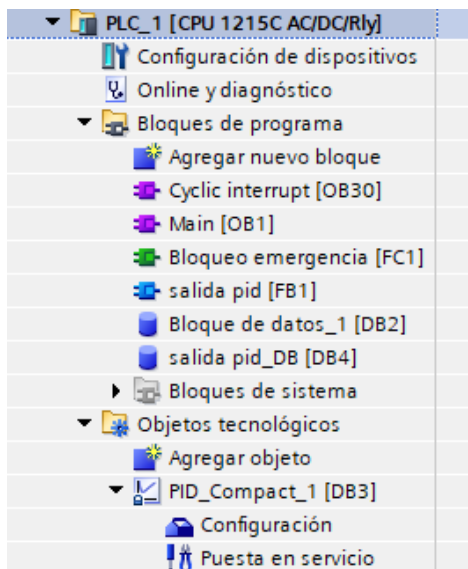


Fig. 45 "Viñetas TIA PORTAL"

Dentro del programa, al lado izquierdo se encuentran los distintos bloques de programa y objetos tecnológicos a seleccionar. El usuario puede crear a su gusto y siempre habrá muchas formas de resolver y llegar al resultado deseado. A continuación, se describe los pasos de la programación realizada en el seminario.

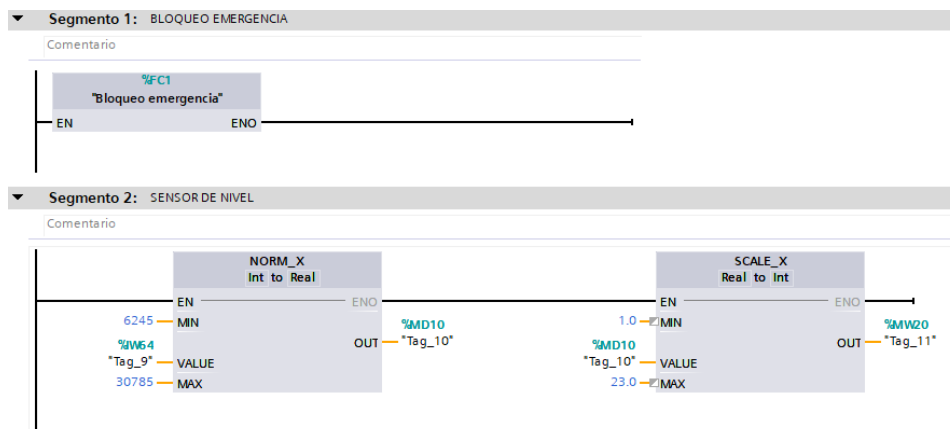


Fig. 46 "Bloque main parte 1"

En el primer segmento del "main" que es de tipo OB y con lenguaje KOP, en este se observa el bloqueo de emergencia de todo el sistema, que corresponde a una subrutina que se verá más profundamente en breves.

En el segmento número dos, se encuentra el proceso para obtener un dato de tipo entero que pueda indicar el nivel del líquido dentro del estanque en centímetros. Primero IW64

correspondiente a una entrada de tipo analógica (sensor de nivel en este caso) se normaliza entre los valores en los que oscila el sensor (6245-30785) estos datos se obtienen en la calibración del punto mínimo al punto máximo de medición dentro del estanque monitorear. Luego de normalizar se escala de 1 a 23 centímetros que es el rango en donde el sensor arroja los datos anteriormente normalizados. Finalmente, este escalamiento se guarda en una memoria MW20.

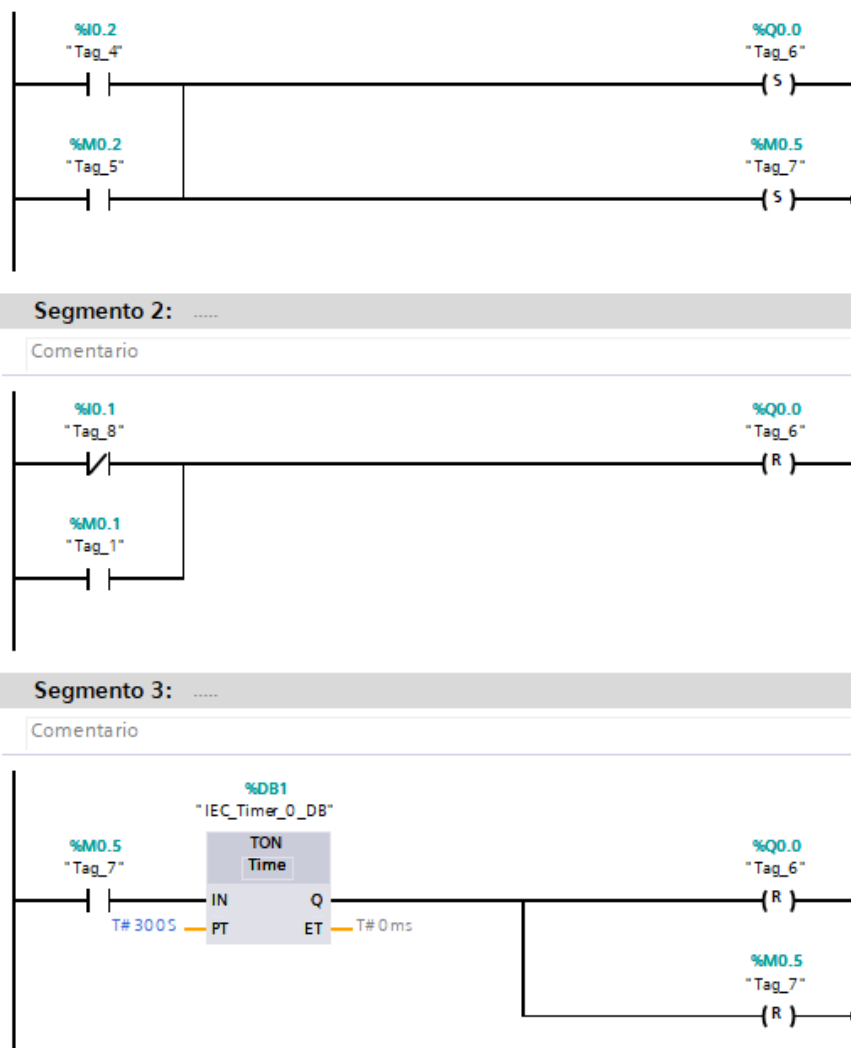


Fig. 47 "Bloqueo de emergencia"

En la subrutina "bloqueo de emergencia" en el segmento 1 y 2 se ingresa la entrada i0.2 junto a una memoria M0.2 correspondiente al botón de encendido, que activan dos salidas enclavadas Q0.0 que es la bomba y M0.5 una memoria que se utiliza después.

El profesor Ernesto Rubio sugirió el implementar un sistema permita bloquear la operación de la maqueta al transcurrir 5 minutos. El segmento 3 es la programación de lo antes mencionado. Se ve la memoria M0.5 que ingresa a un TIMER de tipo TON (retardo al conectar) con un PT de 300s correspondiente a los 5 minutos solicitados y con salidas a un “reset” a Q0.0 y a la memoria M0.5.

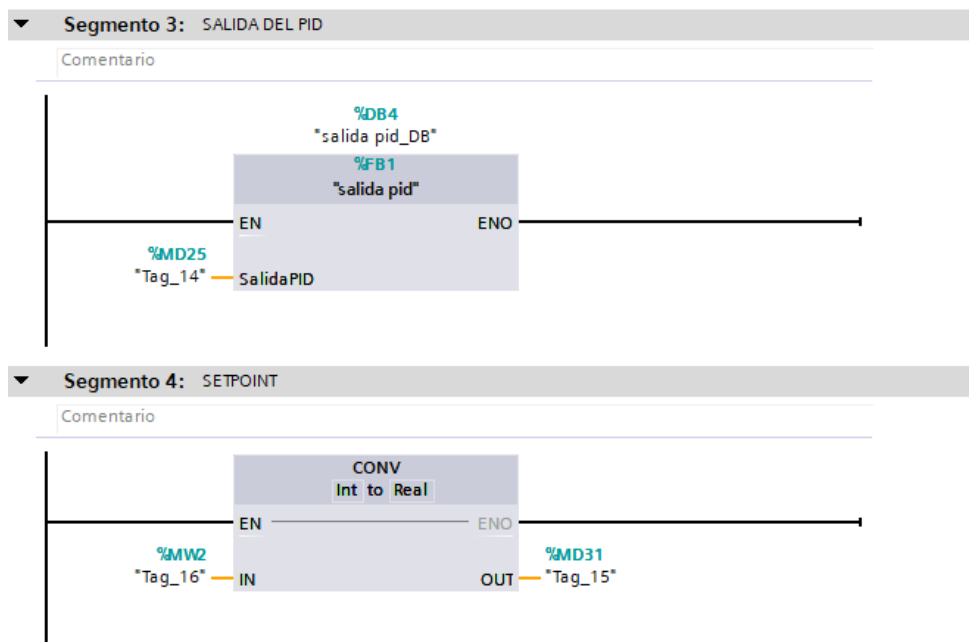


Fig. 48 "Bloque main parte 2"

Continuando con el “main” en el segmento 3 se incorpora a la escalera un bloque llamado “Salida pid” el que se verá más adelante en profundidad.

En el segmento 4 se agrega un bloque para la configuración del “Setpoint” o variable de referencia. Se ingresa una memoria MW2 de un numero entero y se convierte en una variable real MD31. Esta variable será utilizada más adelante.

5.2 Escalamiento

Es necesario realizar un escalamiento para convertir la señal analógica a la unidad de medida que se necesita, esto debido que el sensor ultrasónico y la válvula solenoide entregan un registro de 0 a 30785 unidades de memoria, por lo que se debe realizar un escalamiento para obtener una mejor lectura de datos.

Para el sensor ultrasónico, es necesario calcular el volumen del estanque a la altura máxima de medición, la cual será de 23 cm de alto, esto con el fin de tener un registro de máximo nivel del estanque a controlar

$$V = \pi * 9.5^2 * 23 = 6505.86 \text{cm}^3 \approx 6.5 \text{Litros}$$

Por lo que la siguiente figura es el escalamiento deseado para el sistema:

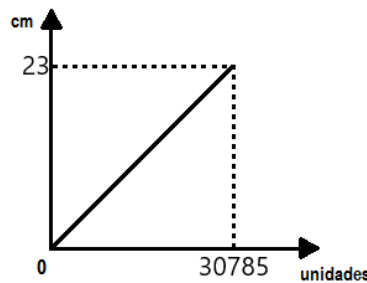


Fig. 49 "Escalamiento deseado"

Para la válvula solenoide se realiza un escalamiento de 0 a 100, esto para ver en porcentaje la apertura de la válvula al momento de efectuar el control al sistema.

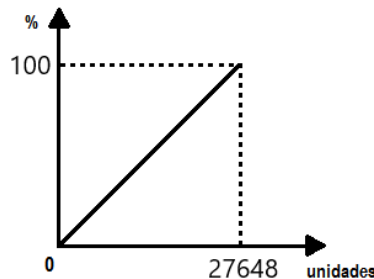


Fig. 50 "Escalamiento porcentual"

5.3 Diseño PID: Método de Ziegler-Nichols

Para diseñar el PID se escoge el de Ziegler-Nichols, para empezar, se debe obtener una respuesta del sistema a una entrada escalón unitaria en lazo abierto, la cual se caracteriza por dos parámetros, Tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se definen al hacer una recta tangente en la zona de inflexión de la curva y determinar las intersecciones de la tangente con el eje del tiempo y la línea horizontal K .

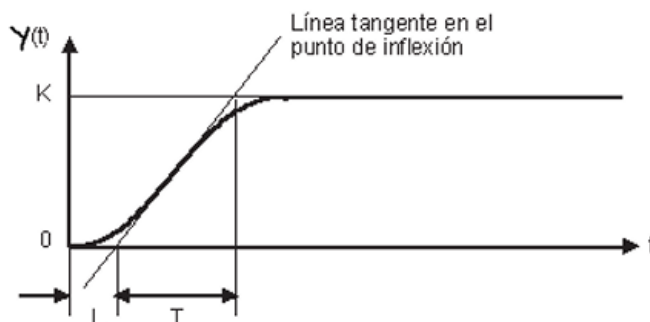


Fig. 51 "Diseño Ziegler-Nichols"

Ziegler-Nichols establecen los parámetros mediante la siguiente tabla:

Tabla 5.3.1 "Tabla Ejemplo Z-G"

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

5.4 Cálculo de parámetros

Se debe realizar un llenado de estanque para encontrar los parámetros, luego se activa la salida del módulo en modo on/off y se hace llegar a un Setpoint manual en un nivel mayor al establecido, de esta forma se obtiene la respuesta escalón al sistema, la cual sirve para realizar los cálculos de Ziegler-Nichols para el controlador PID.

Para llegar al Setpoint de 15 cm, la maqueta se demora 53 segundos de forma manual, recordando que la válvula está a un 30% de su totalidad de abertura.

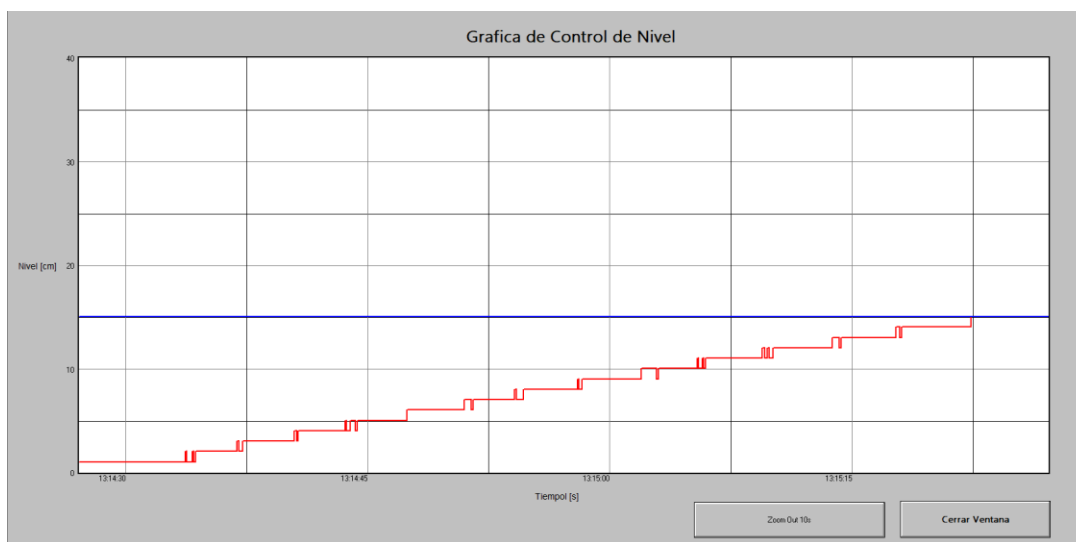


Fig. 52 "Gráfica para obtención de parámetros"

Los valores obtenidos para L y T son: L=8,25 (s); T=52,35 (s). Con estos valores podemos utilizar la tabla de Z-N.

Tabla 5.4.1 "Parámetros Z-G"

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{52,35}{8,25}$	∞	0
PI	$0.9 * \frac{52,35}{8,25}$	$\frac{8,25}{0.3}$	0
PID	$1.2 * \frac{52,35}{8,25}$	$2 * 8,25$	$0.5 * 8,25$

Resolviendo los parámetros de tabla obtenemos los siguientes resultados:

$$K_p = 7,614 \quad T_i = 16,5 \quad T_d = 4,125$$

5.5 PID_Compact V2

Para entender un poco más el PID que trae el programa, existe una introducción el cual indica ciertas configuraciones sobre propiedades en el área de ajustes básicos.

Magnitud física: En el grupo de Tipo de regulación, se debe seleccionar la magnitud física y la unidad para la consigna, el valor real y la magnitud perturbadora.

Sentido de regulación: PID_Compact no funciona con ganancia proporcional negativa. Para reducir el valor real con un valor de salida más elevado, active la casilla de verificación "Inversión sentido desregulación".

Ejemplos

- Al abrir una válvula de escape se reduce el nivel de llenado de un recipiente.
- Si se aumenta la potencia de refrigeración, disminuye la temperatura. [14]

5.5.1 Valor de salida V2

PID_Compact ofrece tres valores de salida. El valor de salida que se utilice dependerá del actuador.

- **Output_PER:** El actuador se activa a través de una salida analógica y se controla con una señal continua, como puede ser 0 a 10 V, 4 a 20 mA.
- **Output:** El valor de salida debe acondicionarse mediante el programa de usuario, por ejemplo, porque el actuador muestra un comportamiento no lineal.
- **Output_PWM:** El actuador se controla a través de una salida digital. Una modulación de ancho de impulsos permite formar tiempos de conexión y desconexión variables.

5.5.2 Ajustes de valor Real V2

Escalar valor real V2

Si en los ajustes básicos ha configurado el uso de Input_PER, deberá convertir el valor de la

entrada analógica a la magnitud física del valor real. En el cuadro de visualización Input_PER se muestra la configuración actual. Si el valor real es directamente proporcional al valor de la entrada analógica, Input_PER se escalará a partir de un par de valores inferior y superior.

Límites de valor real V2

Como valores límite para el sistema regulado defina los límites superior e inferior absolutos del valor real de modo que sean razonables. Tan pronto como dichos valores se rebasen por exceso o defecto, se producirá un error (ErrorBits = 0001h). La optimización se cancela cuando se rebasan los valores reales. Configure en los ajustes de los valores de salida cómo debe reaccionar PID_Compact en caso de error en el modo automático.

Limitaciones de PWM V2

Una modulación de ancho de impulsos transforma el valor del parámetro de salida Output en un tren de impulsos que se emite por el parámetro de salida Output_PWM.

Output se calcula en el tiempo de muestreo Algoritmo PID. El tiempo de muestreo se utiliza como duración del período de la modulación por ancho de impulso.

El tiempo de muestreo Algoritmo PID se determina durante la optimización inicial o la optimización fina. Al ajustar los parámetros PID manualmente, debe configurarse también ahí el tiempo de muestreo Algoritmo PID.

Output_PWM se emite en el tiempo de muestreo PID_Compact. El tiempo de muestreo PID_Compact equivale al tiempo de ciclo del OB invocante.

La duración del impulso es proporcional al valor de Output y es siempre un múltiplo entero del tiempo de muestreo PID_Compact. [14]

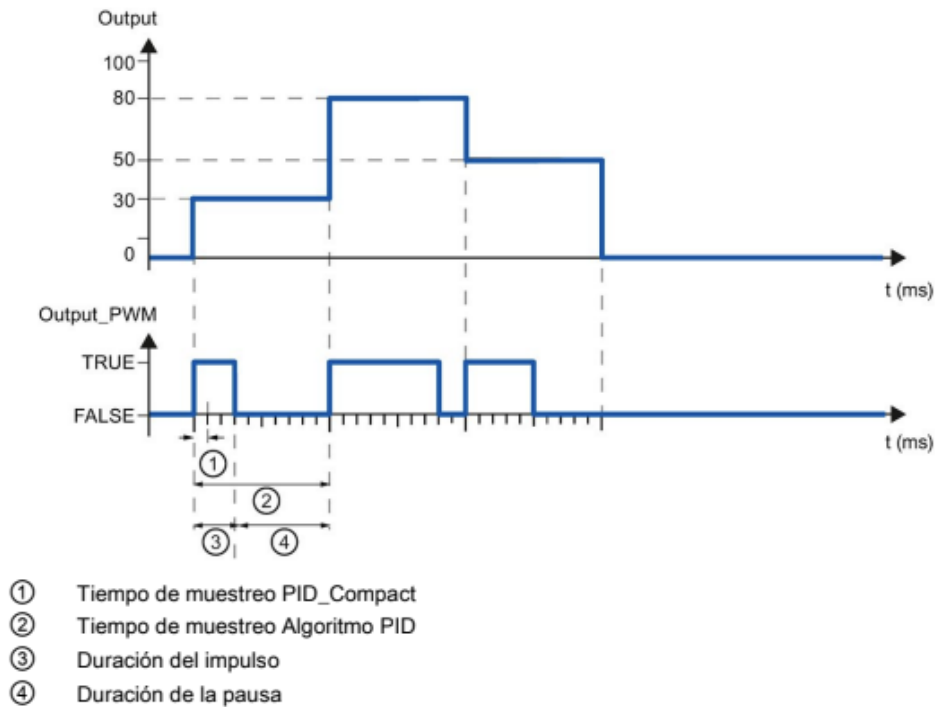


Fig. 53 "Muestreo PID_Compact"

5.5.3 Parámetros PID V2

En la ventana de configuración "Parámetros PID" se visualizan los parámetros PID. Durante la optimización los parámetros PID se adaptan al sistema regulado. No es necesario introducir los parámetros PID de forma manual. [14]

El algoritmo PID funciona de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$y = K_p \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right]$$

y : Valor de salida del algoritmo PID

K_p : Ganancia proporcional

s : Operador laplaciano

b : Ponderación de la acción P

w : Consigna

x : Valor real

T_i : Tiempo de integración

a : Coeficiente para el retardo de la acción derivada

T_D : Tiempo derivativo

c : Ponderación de la acción D

5.5.4 Gráfico de parámetros PID

El siguiente gráfico muestra como ingresan los parámetros en el algoritmo PID.

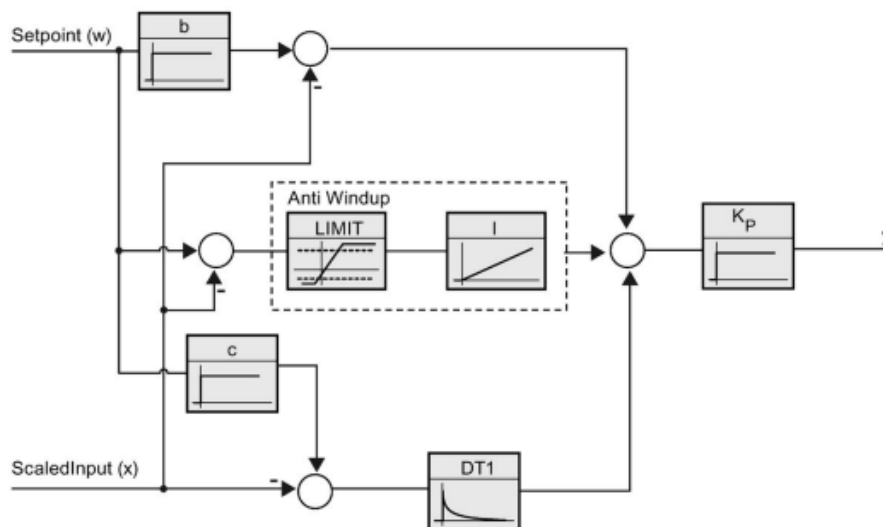


Fig. 54 "Diagrama de bloques PID"

Todos los parámetros PID son remanentes. Si se introduce manualmente los parámetros, se debe cargar PID_Compact por completo.

Ganancia proporcional: El valor indica la ganancia proporcional del regulador. PID_Compact no funciona con una ganancia proporcional negativa. El sentido de regulación se invierte en Ajustes básicos >Tipo de regulación.

Tiempo de integración: El tiempo de integración determina el comportamiento temporal de la acción I. La desconexión de la acción I se realiza con el tiempo de integración = 0,0. Si el tiempo de integración se modifica online en el modo de operación "Automático" de un valor cualquiera a 0,0, la acción I actual se borra y se produce un salto del valor de salida.

Tiempo derivativo: El tiempo de la acción derivada determina el comportamiento temporal de la acción D. La desconexión de la acción D se realiza con el tiempo derivativo = 0,0.

Coefficiente para el retardo de la acción derivada: El efecto de la acción D se retrasa mediante el coeficiente de retardo de la acción derivada. Retardo de la acción derivada = Tiempo derivativo x coeficiente de retardo de la acción derivada

- 0.0: la acción D solo surte efecto para un ciclo y, por ello, casi no es efectiva.
- 0.5: Este valor se ha acreditado en la práctica para sistemas regulados con una constante de tiempo dominante.
- > 1.0: Cuanto mayor sea el coeficiente, más se retrasará el efecto de la acción D.

Ponderación de la acción P: En el caso de que se produzcan cambios en la consigna, es posible atenuar la acción P. Se recomiendan valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción P es totalmente efectiva cuando se cambia la consigna
- 0.0: La acción P no actúa al cambiar la consigna

Si se produce una modificación del valor real, la acción P es totalmente efectiva.

Ponderación de la acción D: En el caso de que se produzcan cambios en la consigna, es posible atenuar la acción D. Se recomiendan valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción D es totalmente efectiva cuando se cambia la consigna.
- 0.0: La acción D no actúa al cambiar la consigna

Si se produce una modificación del valor real, la acción D es totalmente efectiva. [14]

5.5.5 Optimización PID_Compact V2

5.5.6 Optimización inicial V2

La optimización inicial determina el comportamiento del proceso a un escalón del valor de salida y busca el punto de inflexión. Los parámetros PID óptimos se calculan a partir de la pendiente máxima y el tiempo muerto del sistema regulado. Para obtener los mejores parámetros PID, debe efectuarse una optimización inicial y una optimización fina.

Cuanto más estable es el valor real, con mayor facilidad y precisión se pueden calcular los parámetros PID. Un ruido del valor real es aceptable siempre que la subida del valor real sea considerablemente mayor que el ruido. Esto tiene más probabilidades de suceder en los

modos "Inactivo" o "Manual". Es preciso realizar una copia de seguridad de los parámetros PID antes de volver a calcularlos. [14]

5.5.7 Optimización fina V2

La optimización fina genera una oscilación constante y limitada del valor real. Los parámetros PID se optimizan para el punto de operación a partir de la amplitud y la frecuencia. A partir de los resultados se vuelven a calcular todos los parámetros PID. Los parámetros PID existentes después de la optimización fina muestran en su mayoría un comportamiento de guía y ante fallos mucho mejor que los parámetros PID de la optimización inicial. Para obtener los mejores parámetros PID, debe efectuarse una optimización inicial y una optimización fina.

PID_Compact intenta generar automáticamente una oscilación que es mayor que el ruido del valor real. La estabilidad del valor real ejerce tan solo una mínima influencia sobre la optimización fina. Es preciso realizar una copia de seguridad de los parámetros PID antes de volver a calcularlos. [14]

5.6 Programación PID TIA Portal

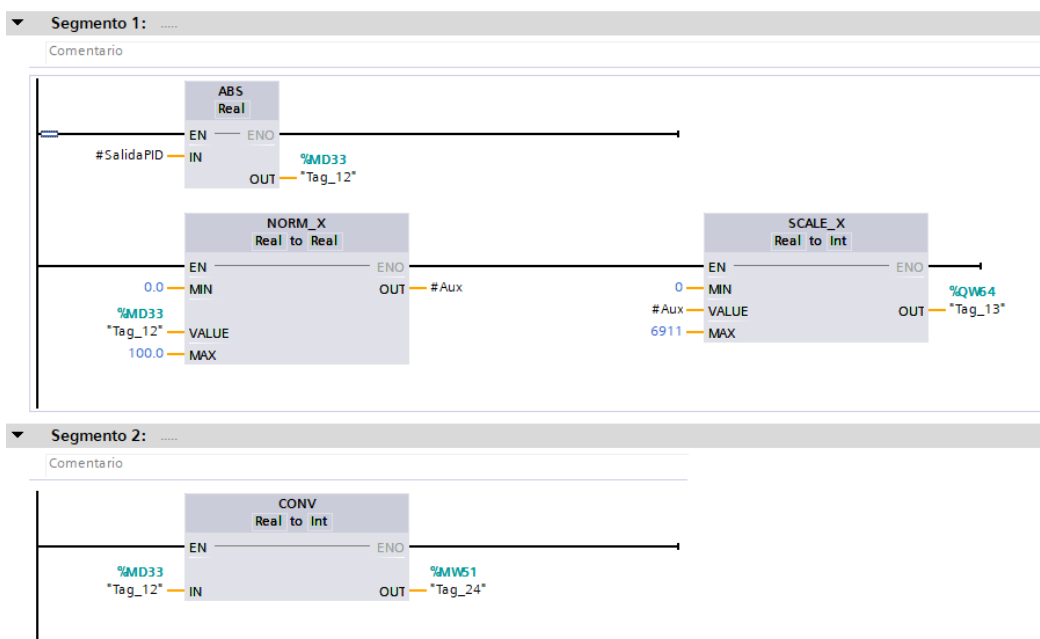


Fig. 55 "Bloque de salida PID"

Dentro del bloque llamado “Salida del pid” se encuentran los bloques reflejados en la figura 52. En el segmento 1 aparece una variable llamada #SalidaPID, esta fue creada manualmente para su implementación, es de tipo Real y es configurada en el apartado de entradas.

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..
1	Input			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	SalidaPID	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Output			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	InOut			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	SalidaPID_Aux	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Aux	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 56 "Variables creadas salida PID"

Además, se puede observar dos variables creadas en el apartado de estáticas llamadas “SalidaPID_Aux” y “Aux”. Ambas serán utilizadas más adelante.

Retomando el bloque de “salida pid” la variable “#SalidaPID” se ingresa a un bloque de valor absoluto para garantizar un % positivo en la salida. Este valor es guardado en una memoria MD33.

La variable MD33 es normalizada entre los valores 0 a 100 correspondientes a la salida en % y esto se guarda en una variable #Aux. Luego, esta variable es escalada de 0 a 6911 valor correspondiente a la capacidad de 30% de la válvula solenoide. Este porcentaje fue seleccionado a base de pruebas por motivos de seguridad y lograr que no se filtrara el líquido por la tapa superior del estanque de la parte alta de la maqueta. La tapa esta sin sellar, ya que se solicitó no hacerlo por si en algún momento se desea modificar la maqueta. El escalamiento tiene salida QW64 correspondiente a una salida analógica, que en este caso es la válvula solenoide, que es la variable manipulada para lograr el control. La válvula solenoide en el máximo de su capacidad llega hasta valores de 27648.

En la última parte, segmento 2, se realiza una conversión de MD33 dato real a MW51 dato de tipo entero, que se utilizará más adelante.

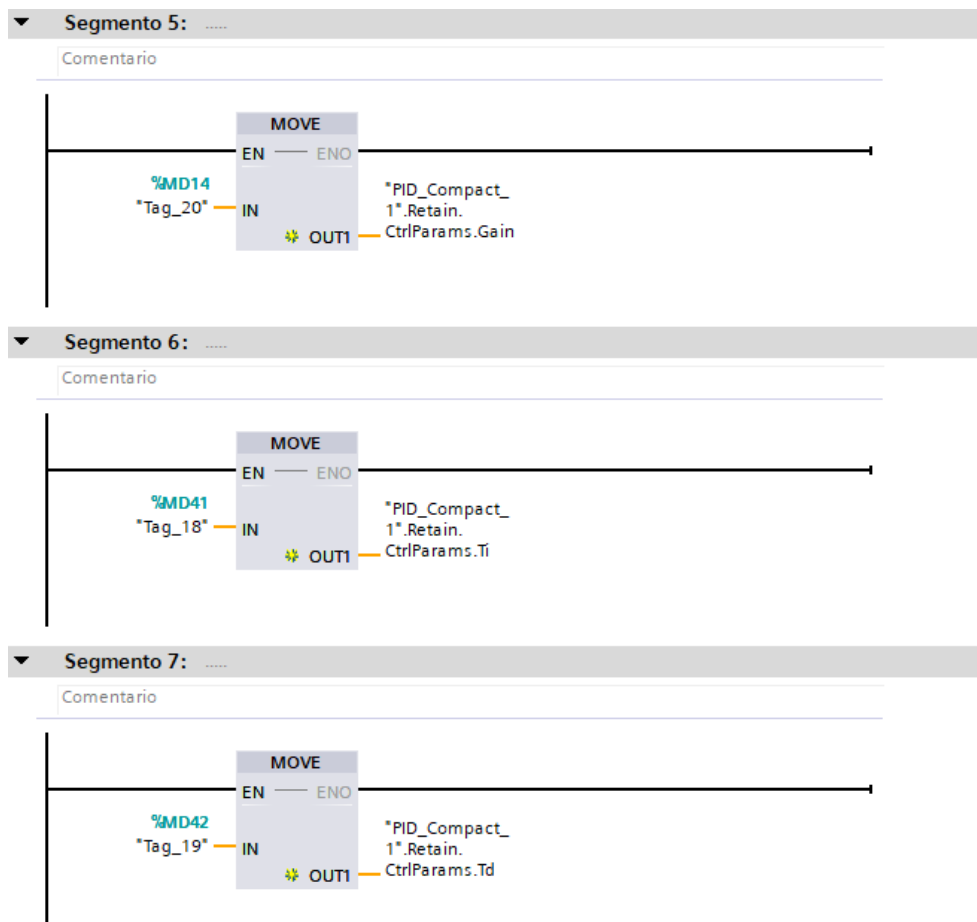


Fig. 57 "Bloque main parte 3"

Finalizando con “main” en el segmento 5, se puede apreciar una memoria MD14 en un bloque “MOVE” que ingresa el dato en esa memoria a la variable del PID correspondiente a la ganancia (Retain.CtrlParams.Gain).

Ganancia proporcional	..JGain	7.36	0.0
Tiempo de integración	..Ti	2.990312	s 0.0
Tiempo derivativo	..Td	Retain.CtrlParams.Gain	s 0.0
Coefficiente retardo derivativo	..TdFiltRatio	1.0	0.0
Ponderación de la acción P	..JPWeighting	1.0	0.0
Ponderación de la acción D	..JDWeighting	1.0	0.0
Tiempo muestreo algoritmo PID	..JCycle	0.1	s >0.0

Fig. 58 "Direcciones preestablecidas por TIA PORTAL"

Esta dirección y las que vienen a continuación son obtenidas en la configuración del PID, en el apartado de variables se pueden visualizar la gran cantidad de direcciones que se pueden utilizar del bloque inteligente PID_compactV2. En el segmento 6, ingresa una memoria

MD41 al bloque “MOVE” con salida en la dirección del tiempo integrativo. En el segmento 7 la memoria corresponde a MD42 y la dirección de tiempo derivativo es la salida.

Ahora, se verá la configuración del bloque inteligente PID_compactV2



Fig. 59 "Viñetas bloque inteligente"

Al agregar el PID_compactV2 saldrán dos opciones al lado izquierdo, una viñeta de “Configuración” y otra de “Puesta en servicio”

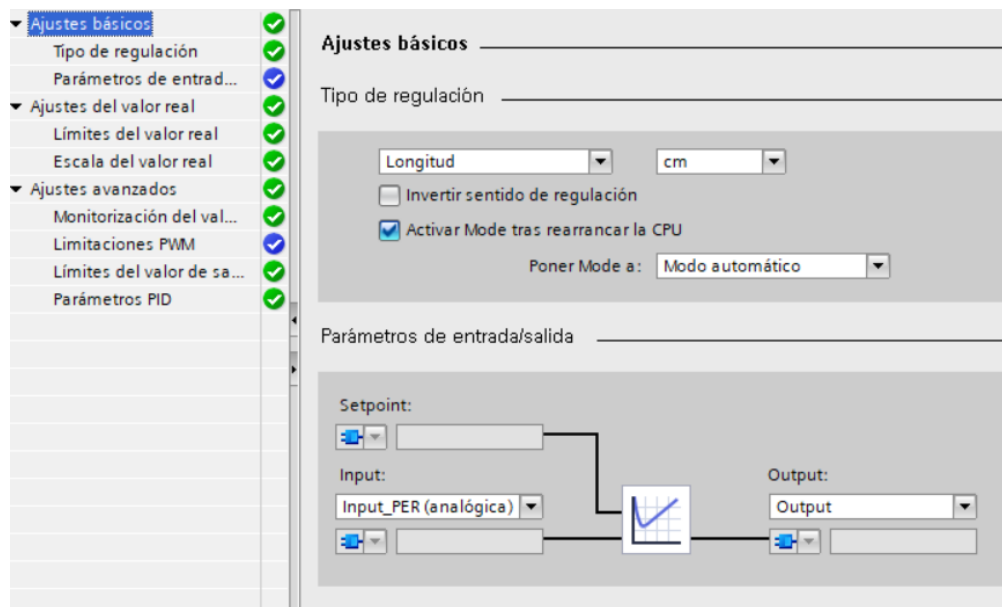


Fig. 60 "Configuración PID_Compact"

Al seleccionar “Configuración” se despliega una ventana nueva donde se puede ingresar los ajustes deseados.

En tipo de regulación se selecciona “Longitud” en tipo de regulación, ya que nuestro nivel será medido en cm. De igual forma la unidad de medida se selecciona. En los parámetros de entrada/salida se selecciona una entrada Input_PER (Analógica) es decir, una entrada periférica que más tarde en las mismas configuraciones será escalada.

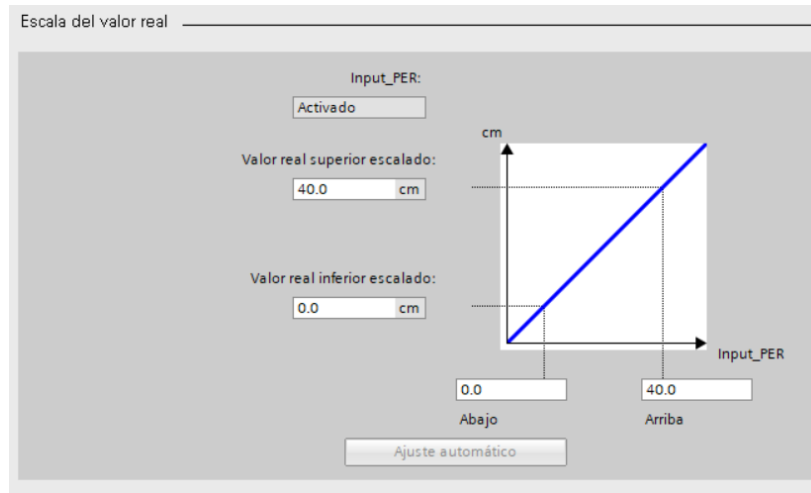


Fig. 61 "Escala de Input_PER"

El escalamiento de la entrada analógica periférica es realizado de la siguiente manera. Al haber realizado un escalamiento anterior en el segmento 2 del "main". No es necesario colocar 27648 en "Arriba", y se reemplaza por el valor escalado del sensor de nivel.

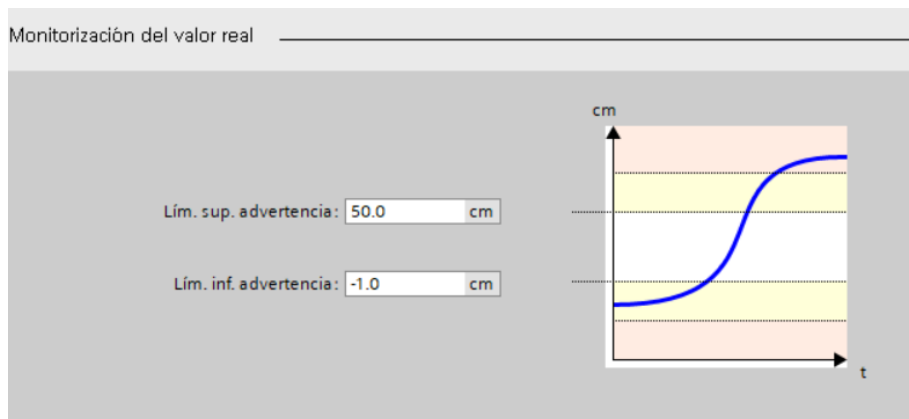


Fig. 62 "Límites de advertencia TIA PORTAL"

En la sección de "Monitorización del valor real" se definen los niveles extremos donde el PLC lanzará una alarma y dará opciones a realizar cuando esto ocurra, como dar una señal de salida de 0%, empezar una auto sintonización de parámetros o no hacer ninguna acción. Se decidió la opción de no realizar ninguna acción por motivos de que hay resguardos mucho mejores asegurando que nunca se llegará a esos límites. Como por ejemplo que la cantidad de líquido dentro del sistema jamás rebalsará los tanques, entre otros resguardos que se comentarán en el subtítulo de seguridad en la programación.

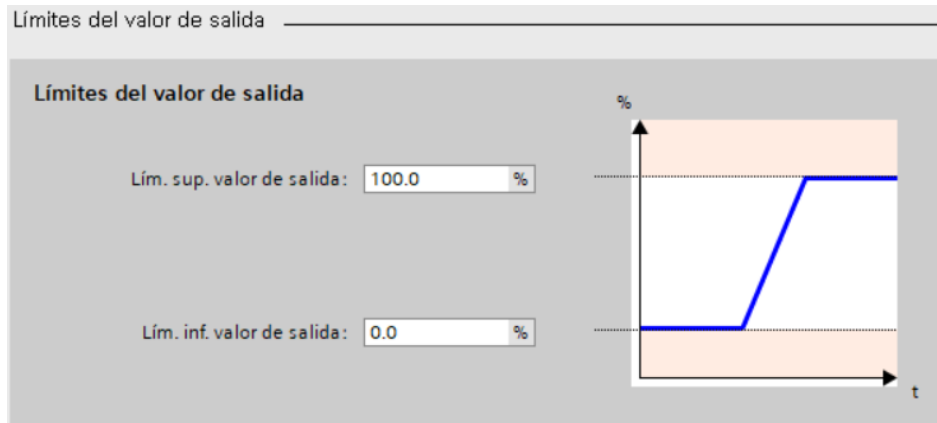


Fig. 63 "Valores de salida PID_Compact"

Los límites de valor de salida se utilizan los valores por defectos, ya que en la programación esta todo escalado en torno de 0 a 100 %.

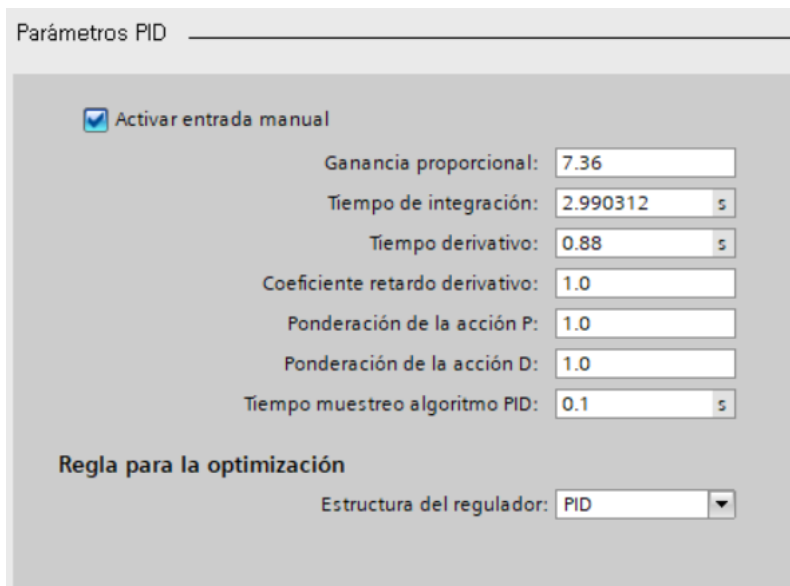


Fig. 64 "Configuración de parámetros PID_Compact"

Y en la última configuración del PID se ingresan los valores de forma manual, para hacer las primeras pruebas con el controlador. Mas adelante, estos valores serán cambiados por el operario en el mismo HMI.

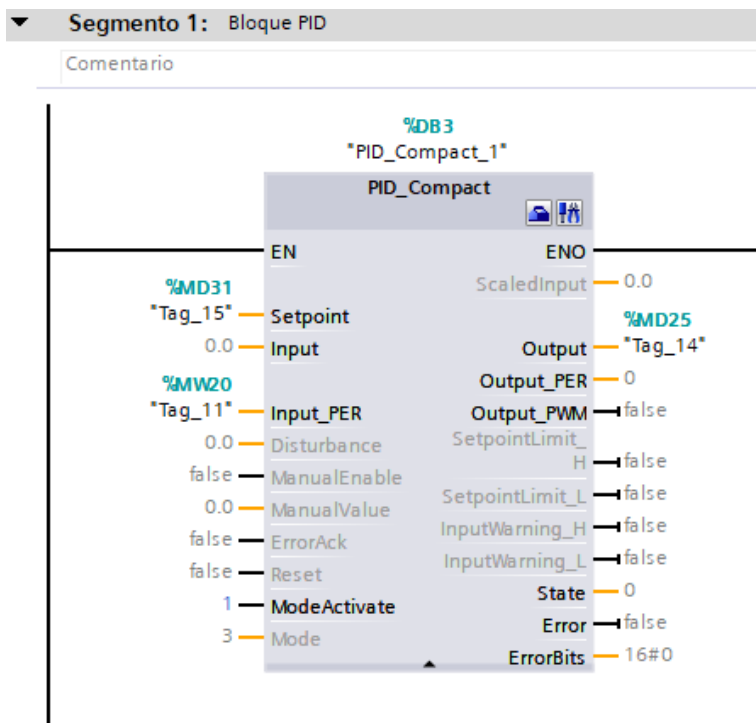


Fig. 65 "Bloque de PID_Compact"

Luego de terminar la configuración del PLC_compactV2, se debe agregar al programa de bloques, se pulsa en agregar nuevo bloque y se selecciona "Cyclic interrupt" donde se tiene que seleccionar el "PID_compact" creado anteriormente. Después, se debe expandir el bloque "PID_compact" para poder ingresar las variables anteriormente creadas.

El "SetPoint" es ingresado por la variable memoria MD31, en "Input_PER" ingresa una memoria MW20.

- Especifique en Mode el modo de operación al que debe cambiar PID_Compact. Posibilidades:

 - Mode = 0: Inactivo
 - Mode = 1: Optimización inicial
 - Mode = 2: Optimización fina
 - Mode = 3: Modo automático
 - Mode = 4: Modo manual

Fig. 66 "Modos del PID_Compact"

Se activa "ModeActivate" con un binario, y "Mode" se selecciona 3 para que el PID este en modo automático al iniciar su operación, sin necesidad de acceder a la puesta en servicio,

para que luego al implementar todo al HMI no sea necesario abrir TIA PORTAL. Sin embargo, esta opción genera una optimización inicial y fina de los parámetros del PID, ya que el sistema obliga pasar por todos los modos anteriores para llegar al que se selecciona, está programado de esa forma para evitar errores. Es posible ver reflejado esto al ingresar los valores de tiempo integrativo y tiempo derivativo en el HMI o incluso al forzarlos en TIA PORTAL. Lamentablemente para poder saltarse esos modos previos de optimización, existe una dirección llamada “state”, la cual se encuentra protegida contra escritura de fabrica por Siemens TIA PORTAL, se desconoce si en versiones más recientes del software esta dirección se encuentra protegida.

En el “Output” la salida queda guardada en una memoria MD25 que directamente va al bloque de programación llamado “Salida_pid” anteriormente visto.

5.7 Programación en KEPServerX

Una vez realiza la configuración previa vista en el apartado 4.1.1, ya se empiezan a crear los “Tags” para poder ser utilizados en cualquier software obviamente compatible con el protocolo OPC, en este caso en Infilink.

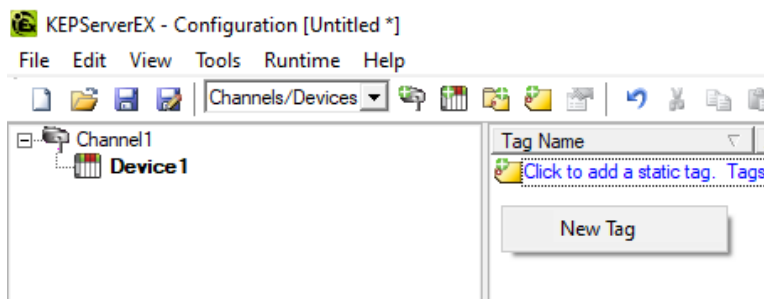


Fig. 67 "Creación de tags"

Dentro del Software, en la ubicación del dispositivo se pulsa el botón derecho para la creación de nuevos “Tags”.

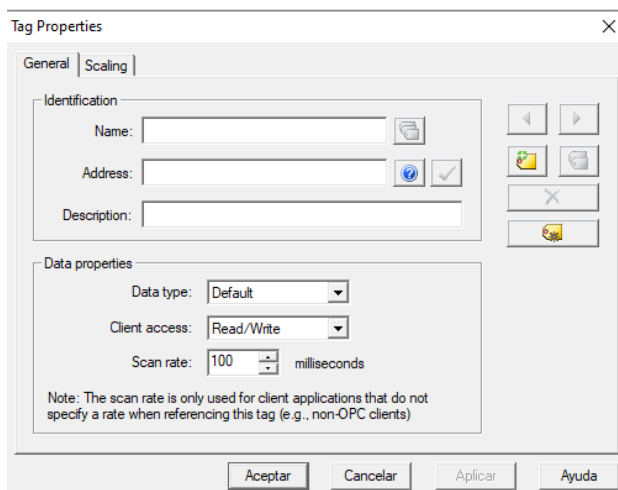


Fig. 68 "Ingreso de datos tags"

Al seleccionar la creación de un nuevo “Tag”, emerge una ventana “Tag Properties” en donde se puede agregar un nombre al “Tag”, una dirección que debe ser de un formato correcto dependiendo del dispositivo. En este caso, agregar directamente las variables como Q0.0, M0.5, etc. Esta correcto y la aplicación lo permite sin ningún problema.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
ganancia	MD14	Float	100
motor	Q0.0	Boolean	100
parar	M0.1	Boolean	100
partir	M0.2	Boolean	100
salidapid	MD33	Float	100
sensor_nivel	MW20	Word	100
Señal de control	MW51	Word	100
setpoint	MW2	Word	100
td	MD42	Float	100
ti	MD41	Float	100
valvula	QW64	Word	100

Fig. 69 "Tags creados"

Se agregan todos los “Tags” necesarios para realizar el HMI. Como se puede observar cada uno de estos tiene un tipo de dato distinto, por lo que es importante saber bien qué tipo de dato se está agregando y utilizando en el momento de realizar la programación en Ladder.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel1.Device1._CurrentP...	Word	240	12:29:52.049	Good	1
Channel1.Device1._Rack	Byte	0	12:29:52.049	Good	1
Channel1.Device1._Slot	Byte	1	12:29:52.049	Good	1
Channel1.Device1.ganancia	Float	3,56	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.motor	Boolean	0	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.parar	Boolean	0	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.parrir	Boolean	0	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.salidapid	Float	0	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.sensor_nivel	Word	4	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.Señal de ...	Word	0	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.setpoint	Word	15	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.td	Float	0,88	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.ti	Float	2,99031	12:29:52.052	Good	1
Channel1.Device1.valvula	Word	0	12:29:52.052	Good	1

Fig. 70 "Estados de los tags"

Finalmente, se debe ingresar al “OPC Quick Cliente” en el apartado izquierdo se selecciona la carpeta del dispositivo, y deben aparecer los “Tags” creados con el estado de calidad “Good”, confirmando así que esta todo correcto para realizar la creación del HMI. Si aparecen en estado “Bad” es porque se realizó mal la configuración de la comunicación entre PLC y KEPserverX. Si aparece en estado “Unknown” probablemente sea porque el KEPserverX no logra leer los datos del PLC por una mala comunicación. Se recomienda en este caso reiniciar el servicio del KEPserverX.

5.8 Programación para el HMI

Para realizar la creación de la Interfaz Humano Maquina (HMI), se utiliza el software INFILINK Versión 5.00.44, que permite el acceso a diferentes herramientas para la libre creación.



Fig. 71 "Logo INFILINK"

Lo primero que se debe hacer una vez dentro de Infilink es añadir el directorio de los “Tags” creados anteriormente en el apartado 5.7.

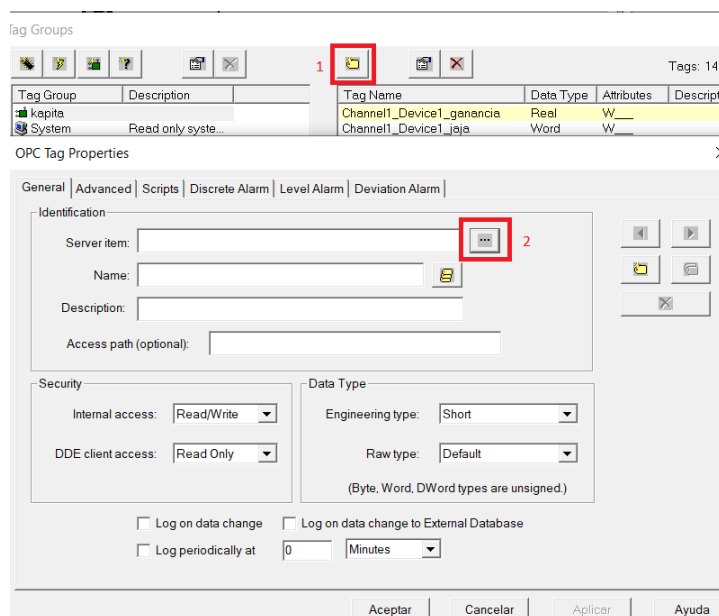


Fig. 72 "Añadir tags a Infilink"

Se ingresa en la barra de tareas en el icono de los “Tags”, luego se pulsa en el primer recuadro rojo y luego en el segundo.

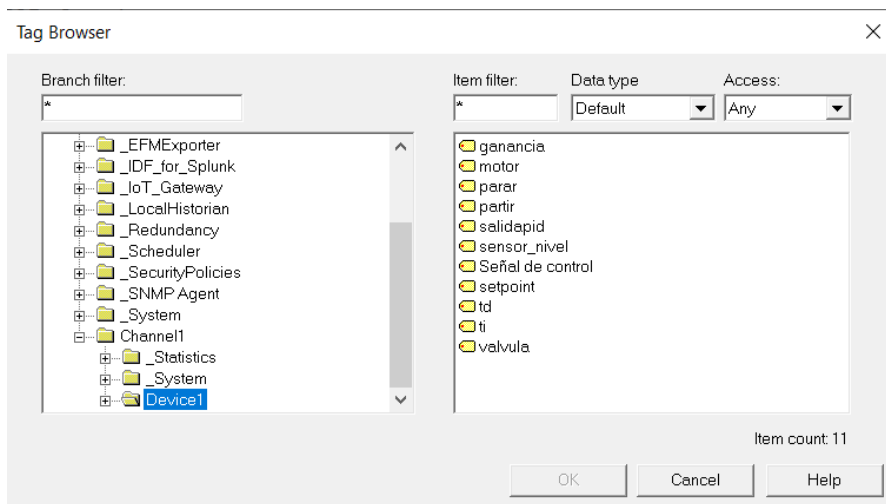


Fig. 73 "Selección de carpeta tags en Infilink"

Se selecciona el directorio como se observa en la figura 72 y se seleccionan todos los “Tags” creados que se reflejan en la parte derecha de la pantalla.

Una vez agregados los “Tags” se prosigue a crear el HMI. Infilink cuenta con su propia librería de múltiples elementos para realizar la ilustración de la maqueta de nivel.

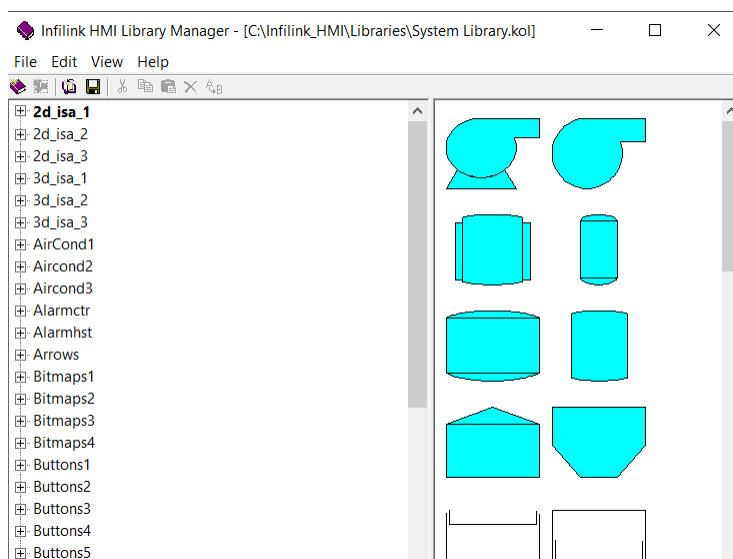


Fig. 74 "Librería Infilink"

Lo primero es ilustrar la maqueta a controlar, donde se debe asegurar el dejar lo más fidedigno en cuanto a dimensiones y vista a la maqueta real. Para que el operario al ver físicamente la maqueta, el HMI entienda y sepa reconocer de manera eficaz cada parte que compone esta.

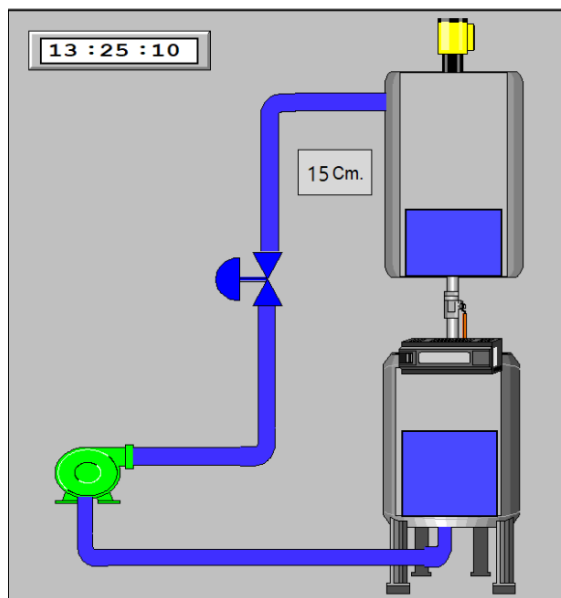


Fig. 75 "Ilustración maqueta"

Se puede observar la ilustración final de la maqueta, donde gran parte de esta cuenta con animaciones para cumplir con las expectativas de una buena remotización e ilustración del proceso.

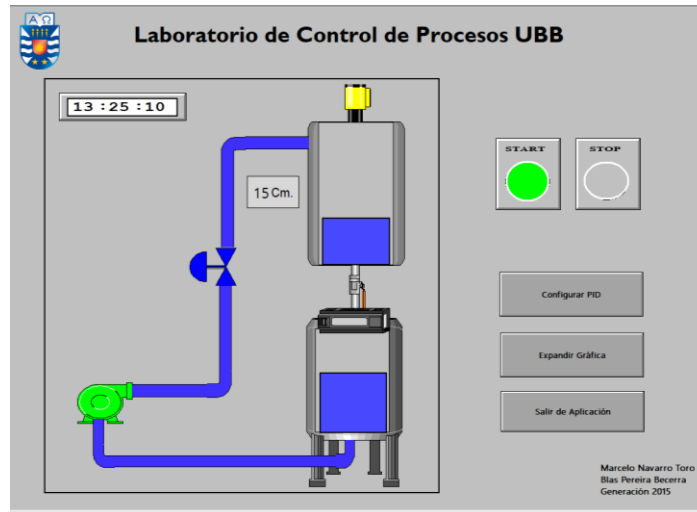


Fig. 76 "Botoneras en HMI"

El HMI cuenta con un reloj que indica la zona horaria de Santiago (GMT-4), la ilustración de los estanques, sus respectivas tuberías, la bomba, la válvula solenoide, el sensor de nivel, una válvula manual y el controlador lógico programable. Posee botones de partida y parada del proceso. Un botón para expandir la gráfica de control, salir de la aplicación y la configuración del PID.

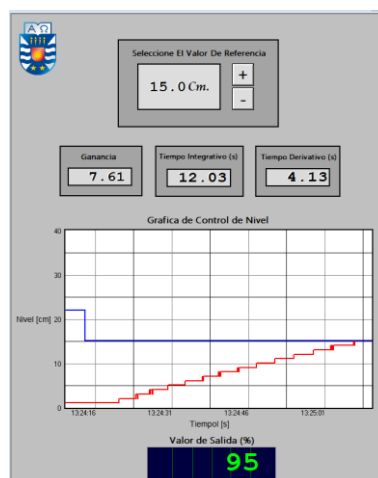


Fig. 77 "Ventana de gráficas en HMI"

Al pulsar el botón de configurar PID emerge una ventana donde se puede ingresar manualmente el valor de referencia o SetPoint y además este puede ir incrementándose o decrementándose con la botonera de (+) y (-) al costado derecho de la visual.

Se agregan 3 display's donde se ingresa manualmente los valores de ganancia, tiempo integrativo en segundos y el tiempo derivativo en segundos.

Dentro de la ventana también va incorporado un gráfico en tiempo real del control de nivel, donde se observa el nivel v/s el SetPoint. Debajo de esta grafica se encuentra el valor de salida del PID en %.

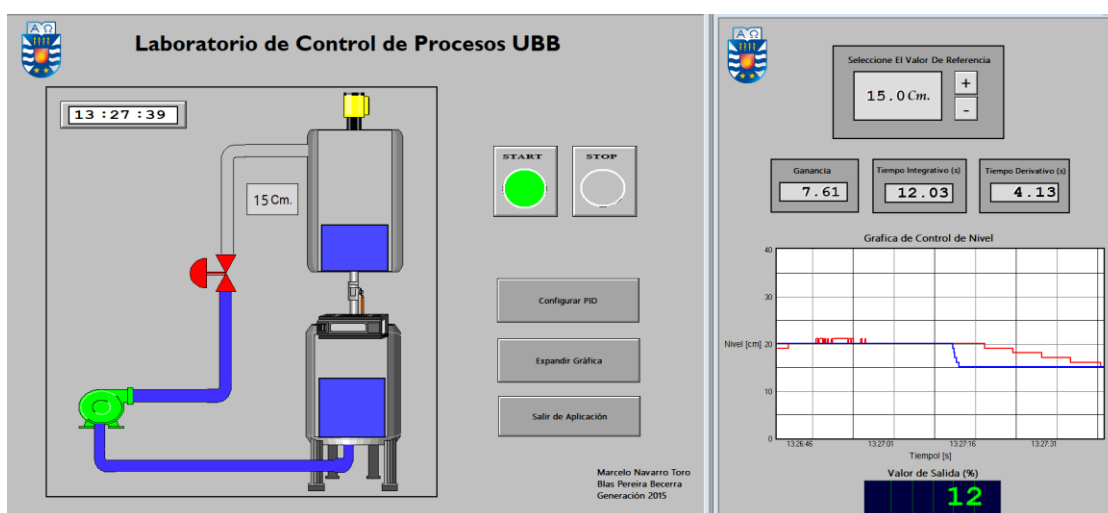


Fig. 78 "HMI vista general"

Cuando ya se llega al nivel y se decremanta el valor de referencia la ilustración de la maqueta muestra como la válvula (en color rojo) se cierra con una señal de salida muy pequeña (12%). La válvula cuenta con un rango de colores dependiendo del % de salida que se le esté aplicando desde la salida del PID. Además, al cerrar la válvula se puede observar como la tubería se queda sin líquido. Igualmente, ambos estanques van variando su nivel de líquido en la ilustración según sea el caso.

5.9 Programación de la seguridad en el sistema.

Uno de los matices más importantes en la programación, es la creación de sistemas de seguridad en contra de fallas, el mal uso y mala intencionalidad que pueda existir al operar la maqueta a remotizar. Por tal motivo, en cada una de las aristas, tanto física como digitalmente se han tomado resguardos por seguridad.

La maqueta nunca logrará rebalsarse por ninguno de los dos depósitos que tiene. Ya que el líquido que se encuentra depositado dentro de estos, no es suficiente para rebalsar el sistema. Es necesario revisar este nivel de líquido, ya que, al ser un sistema de tanque abierto, lentamente se va perdiendo liquido por la evaporación del fluido. Al momento de reponer liquido es de suma importancia procurar no situar más fluido del necesario.

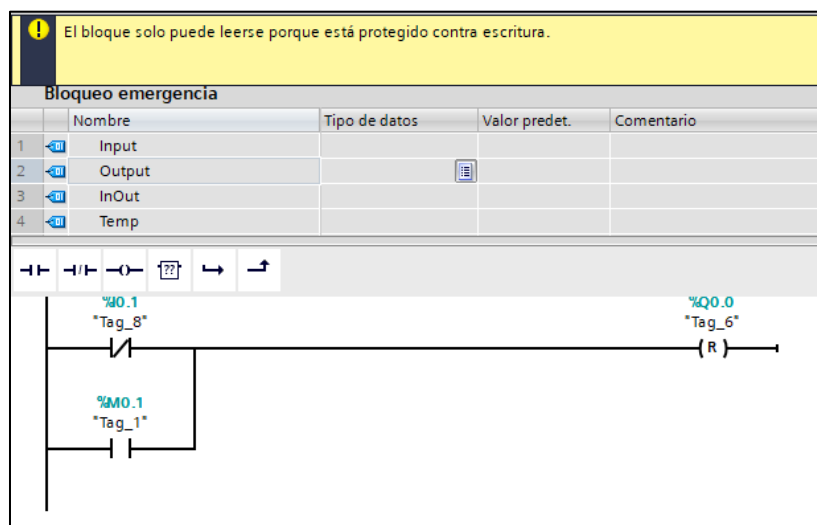


Fig. 79 "Bloque protegido"

Dentro del Software de programación del PLC, existe la opción de bloquear contra escritura el bloque que se estime conveniente según el programador. En este caso, se tomó la decisión de bloquear todos los bloques contra escritura, excepto el bloque para la puesta en servicio del PID_Compact, para que el usuario pueda ingresar los parámetros del PID y darle marcha al control PID.

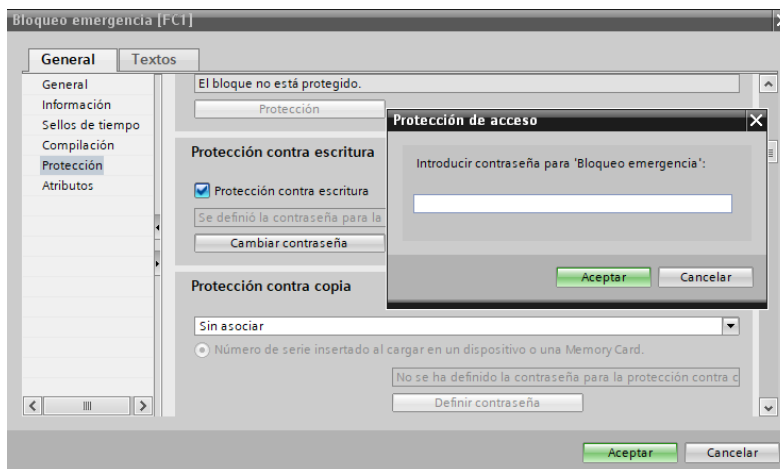


Fig. 80 "Contraseña para acceso"

En el bloqueo existente en cada bloque, existe la posibilidad de quitar dicha protección con una contraseña que será puesta a disposición de los docentes encargados de los laboratorios de la universidad. Además, se les enseñará el cómo cambiarla y volver a implementarla

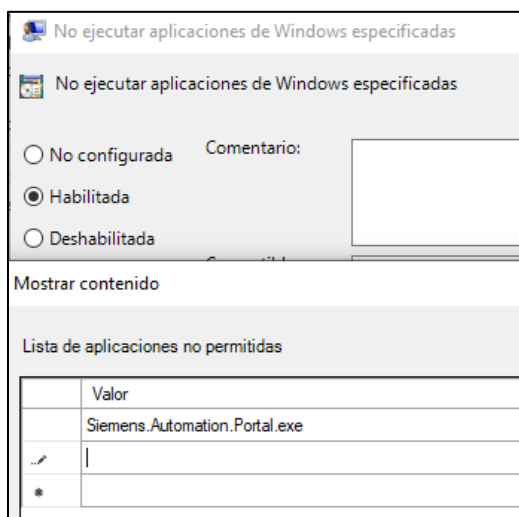


Fig. 81 "Lista de aplicaciones no permitidas"

También, existen resguardos administrativos dentro de la configuración de Windows. Donde dentro de las directivas del grupo local, está la opción de no ejecutar aplicaciones de Windows que se especifiquen dentro de un listado de aplicaciones que no se permita ejecutarlas. Por tanto, si el docente toma la decisión de bloquear el acceso total para que los alumnos y usuarios no tengan acceso a TIA PORTAL fuera de las horas de los ramos que el imparta, esto será posible gracias a esta configuración.

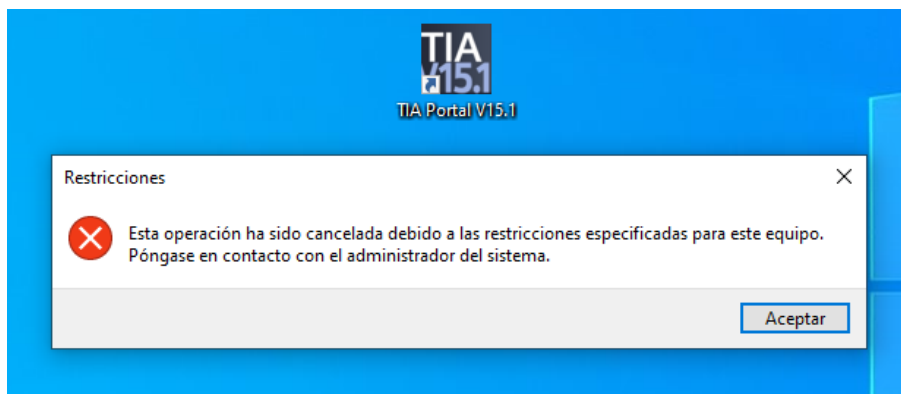


Fig. 82 "Mensaje de restricción"

Una vez ingresada la o las aplicaciones que se deseen bloquear el acceso al listado, al intentar ejecutarla el sistema arrojará un mensaje informando sobre la restricción. De igual manera, se les enseñará a los docentes a cargo a realizar esta operación si lo solicita.

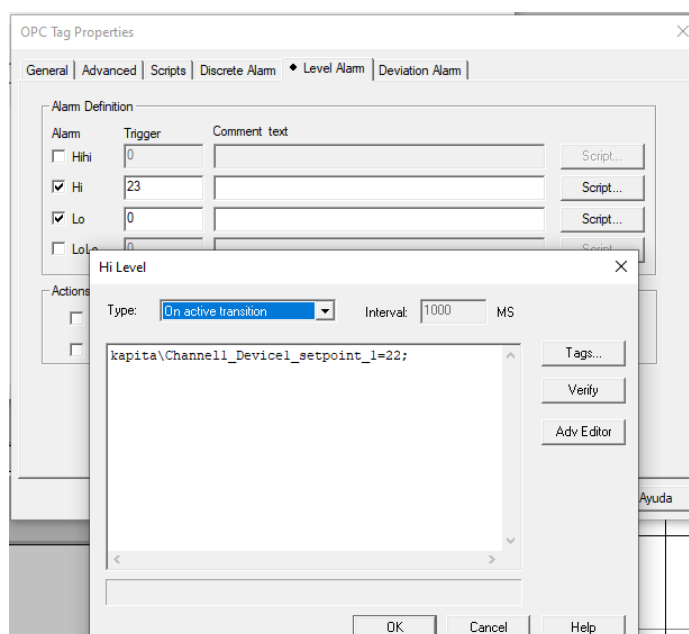


Fig. 83 "Scrip's de las alarmas de nivel"

Dentro de la creación del HMI, en el apartado de los "Tags" se pueden crear alarmas y configurar un "Scrip" que se lanzará al momento de activarse la alarma. En el proyecto hay 2 "Tags" con alarmas configuradas de esta manera, el "Setpoint" y el nivel del estanque. El "Setpoint" tiene un "Scrip" en el que al seleccionar 23(cm) o más este dato es igual a 22(cm), y cuando es 0(cm) o menos el dato se corresponde a 1(cm). Con motivos de que el sensor de

nivel no pierda su rango de operación anteriormente mencionado. El nivel del estanque está limitado para que no sea inferior a 0(cm).

También, en los rangos para ingresar datos de los parámetros del PID se encuentran restringidos de 0 a 20. Si el docente desea cambiar estos rangos, igualmente se le enseñara como cambiar, crear nuevas alarmas y restricciones.

Finalmente, hay que recordar que existe un bloque llamado “bloque de emergencia” en la programación del TIA PORTAL capítulo 5.1, que es el encargado de asegurar que la bomba y el sistema no opere por más de 5 minutos.

En la conectividad VPN también existen protocolos de seguridad los cuales serán mencionados en el capítulo 6.4.

5.10 Consideraciones para evitar fallas en el sistema

La válvula se encuentra restringida al 30% de su capacidad por motivos de seguridad, para que no exista un rebalse del fluido por la parte superior del estanque, esto debido a la solicitud de no sellar la tapa superior del estanque por si en un futuro se necesita retirar.

El sensor de nivel utilizado fue el segundo que se probó, el primero contaba con dos zonas muertas en su medición y el sensor que se utilizó cuenta con una zona muerta en la parte superior de unos 20 cm aproximadamente. Es por esto por lo que la maqueta se debe controlar hasta los 23 cm.

La maqueta cuenta con fisuras en la parte inferior en la tapa, estas fueron selladas con pega tanque, en caso de mover y manipular la maqueta, hacerlo con delicadeza.

El PLC utilizado fue el segundo en implementarse en la maqueta, ya que el primero estaba con errores de CPU.

CAPÍTULO 6. Streaming

Para visualizar la maqueta en tiempo real, se añade un apartado en el que se utilizan 2 cámaras las cuales son: Jabra PanaCast y Logitech C920s, estas cámaras mediante el software OBS studio muestran en vivo lo que sucede desde el laboratorio de control de procesos.

6.1 Jabra PanaCast



Fig. 84 "Jabra PanaCast frontal"

En este proyecto se utiliza la cámara de video inteligente PanaCast de Jabra con una resolución máxima en 4K, con una panorámica de 180° y con característica plug and play. Es compatible con las principales plataformas de videoconferencia con certificación de Microsoft Teams y Zoom.



Fig. 85 "Ejemplo panorámica 180°"

La cámara es adquisición de la universidad para afrontar las condiciones de la pandemia, y se puso a disposición para poder ser utilizadas en este proyecto. A continuación, se adjuntan más características y datos que son relevantes para comprender el dispositivo.

Tabla 6.1.1 "Características PanaCast"

Video	Conectividad	Generales
Campo de visión Horizontal: 180° Vertical: 54°	USB plug and play Puerto USB-C	Peso 100 g (3,53 oz)
Control de luz Brillo, contraste, saturación, definición y balance de blancos	Alimentación Alimentado por cable USB 3.0	Garantía 2 años
Resoluciones admitidas <i>4K panorámico</i> : 3840 x 1080 a 30 fps <i>1080 Full HD</i> : 1920 x 1080 a 30 fps <i>720p HD</i> : 1280 x 720 a 30 fps	Requisitos de sistema Windows 7 o superior macOS X 10.9 o superior Linux Ubuntu 16.x o superior Chrome OS USB 3.0	Temperatura de funcionamiento De 0 °C a 30 °C
Campo de visión ajustable Elija entre 90°, 120°, 140° y 180° con Jabra Direct	Compatibilidad Zoom, Cisco Webex, Slack, Google Hangouts y muchos más.	Humedad de funcionamiento Del 15 % al 85 % (sin condensación)

La carga de la red de internet es un punto muy importante para evaluar, puesto que se utilizará internet de la Universidad del Bío-Bío para realizar las conexiones. Dentro de la página oficial del dispositivo Jabra existe una calculadora para obtener el impacto máximo de ancho

de banda. Tomando en consideración que se usará 1 cámara por cada maqueta, el resultado en la calculadora es el siguiente.

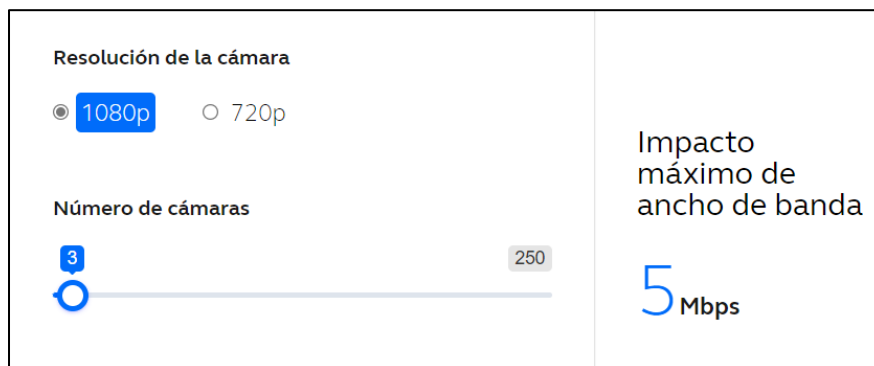


Fig. 86 "Calculo consumo ancho de banda"

Con la obtención del impacto máximo de ancho de banda de la cámara de videoconferencia, se realiza una prueba en el laboratorio de control de procesos, para ver si es viable la conexión de internet dispuesta por la universidad, donde se obtienen los siguientes resultados.

6.2 Logitech C920s Pro HD WEBCAM



Fig. 87 "Cámara Logitech C920s"

Cámara web la cual cuenta con la más alta calidad para videoconferencias en Full HD 1080p, ofrece video a 30 fotogramas por segundo y nítido sonido estéreo con todas las aplicaciones de video. Cuenta con enfoque automático. [15]

Tabla 6.2.1 "Datos Cámara Logitech C920s"

Video	Conectividad	Generales
Campo de visión Horizontal: 78° Vertical: 60°	USB plug and play Puerto USB	Peso 162 g
Control de luz Brillo, contraste, saturación, definición y balance de blancos	Alimentación Alimentado por cable USB 3.0	Garantía 2 años
Resoluciones admitidas 1080 Full HD: 1920 x 1080 a 30 fps 720p HD: 1280 x 720 a 30 fps	Requisitos de sistema Chrome OS macOS 10.6 Xbox One Android 5.0 Windows 8	Temperatura de funcionamiento De 0 °C a 30 °C
Campo de visión ajustable Sólo 78°	Compatibilidad Zoom, Cisco Webex, Slack, Google Hangouts y muchos más.	Humedad de funcionamiento Del 10 % al 90 % (sin condensación)

6.3 OBS Studio

El software OBS Studio es un programa de grabación de vídeo que permite hacer tutoriales, grabar la pantalla del PC, realizar webinars, directos, y muchas aplicaciones más.



Fig. 88 "Logo OBS Studio"

Además de las funciones de grabación, OBS Studio también permite realizar transmisiones en directo en varias plataformas a la vez como Youtube, Twitch, Facebook, Instagram. Y gracias esta herramienta es posible crear producciones muy avanzadas de forma sencilla;

- Se puede configurar diferentes escenas y transicional entre unas y otras en tus grabaciones o retransmisiones,
- Crear marcos u overlays que les den un toque más profesional a tus vídeos.
- Utilizar, webcam, cámaras externas e incluso tu móvil para grabar o retransmitir.
- Utilizar su cámara virtual y conectarte a plataformas como Zoom, Google Meets, Teams, Skype, etc.

Con el fin de mostrar desde cerca y una visual más completa de la maqueta se obtiene la siguiente escena:

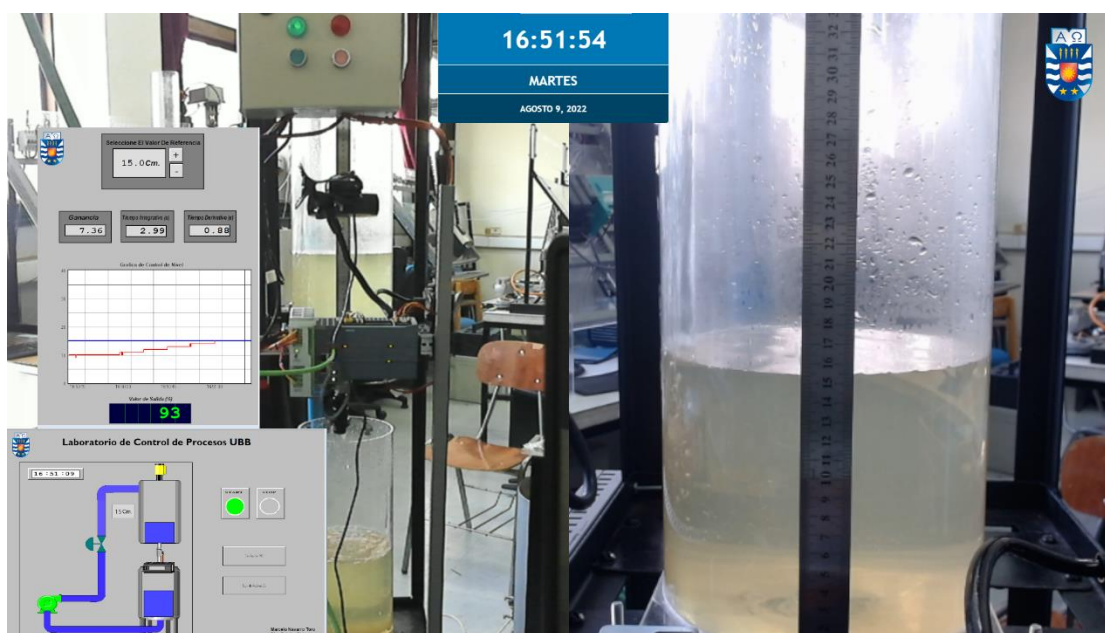


Fig. 89 "Prueba visual de OBS"

En la propuesta ambas cámaras se pueden visualizar simultáneamente, una con un enfoque general de la maqueta a controlar, y la segunda cámara que está ubicada en la propia maqueta, cuenta con una visión más cercana al estanque superior. Para poder observar de forma clara el nivel de este.

En la parte izquierda de la pantalla, en unos recuadros se encuentra el HMI. Con la ilustración de la maqueta en formato digital, los parámetros del PID, la gráfica de control y la señal de control en %. Todo con el propósito de que al momento de dejar Infilink en segundo plano para poder ver las cámaras y ver el funcionamiento de la maqueta, poder seguir visualizando el HMI.

6.3.1 Prueba OBS en llamada

Para observar la funcionalidad de ambas cámaras se hace una prueba mediante Google Meets en conjunto a compañeros y que ellos desde su casa vieran directamente la imagen que podemos obtener mediante este software

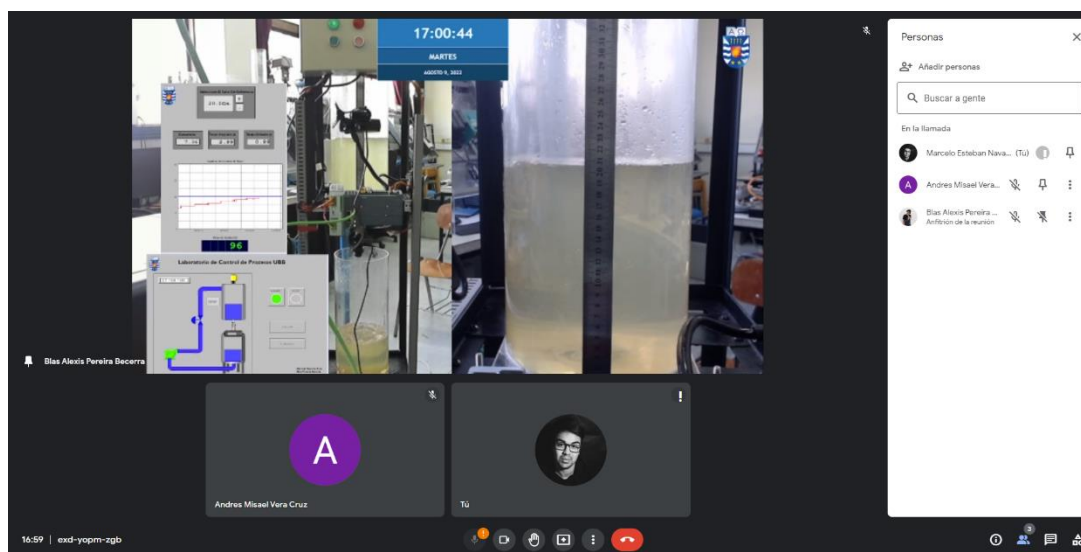


Fig. 90 "Prueba visual en Google Meets"

CAPÍTULO 7. Conexión remota

7.1 VPN

VPN son las siglas de Virtual Private Network, o red privada virtual, a diferencia de enlaces DNS o HTTP es la parte virtual, ya que esta propiedad la que genera la necesidad de la VPN en sí.

Para conectarse a otro PC o estación de trabajo, generalmente se comunican con el router o módem que provee el Internet asociado, ya sea por cable o inalámbricamente.

Lo normal es encontrar más de un dispositivo conectado al mismo router, en este tipo de casos, cada uno tendrá asignada una dirección IP local, la cual no es visible desde internet. Esto es llamado como *red local*, la que consiste en un conjunto de dispositivos conectados de tal modo que puedan compartir archivos sin necesidad de pasar por internet.

Una VPN permite crear una *red local* sin necesidad que cada uno de los integrantes esté físicamente conectado entre sí, sino a través de internet. El componente *virtual* es el que obtiene ventajas de la *red local*.

Para remotizar la estación de trabajo, se conecta directamente con la red VPN que existe en los computadores del Laboratorio de Control de Procesos. Esta red está creada con el software OpenVPN GUI, netamente en Linux, principalmente por tema de licencias, ya que al homologarlo en Windows, se debe tener el software licenciado para cada uno de los perfiles, por lo cual, al implementarlo en Linux por consola, entrega la opción que cada uno de los usuarios sea gratis, entonces permite que desde el computador personal se pueda ver la pantalla de estación de trabajo.



Fig. 91 "Logo de OpenVPN"

La red virtual fue implementada en pandemia, con la principal función de que los laboratorios del edificio gantes fueran utilizados por los estudiantes desde la comodidad del hogar, ya que gran parte de la docencia técnica está basada en las experiencias de los laboratorios de especialización, ya sea Lab. De imágenes, Lab. De control 1 y 2 y Lab. de computación.

En el año 2019, en el laboratorio de control de procesos, no había internet, para implementar la red virtual, se tuvo que hacer trabajos para que cada estación estuviera conectada.

Para el año 2020 empezaría el proceso de *Remotización*, en un principio, había una velocidad de 100 Mbps, por lo que utilizar un gran ancho de banda solamente para una red privada virtual era un reto el cual se tenía que solucionar.

Mucho softwares gratis de VPN poseen anuncios y spam en pantalla, por lo que entregar un servicio seguro, estable y con la gran ventaja que utiliza una parte razonable de ancho de banda se encuentra sólo en el Software OpenVPN, ya que los recursos tecnológicos que había en ese momento se limitaban.

Actualmente en el laboratorio se cambiaron equipos y se optimizaron servicios, ya que se cuenta con velocidad de internet de 1 Gbps, por lo que hay mejor infraestructura y los servicios han mejorado para la utilización de cada uno de los puestos de trabajo.

Cada usuario debe tener sus propias credenciales para poder acceder al sistema. Estas credenciales deben ser solicitadas al encargado de soporte computacional del departamento de ingeniería eléctrica y electrónica.

Por defecto, el usuario posee 1090 días de uso, es ajustable a lo que dure un semestre, o el tiempo que sea definido por el profesor y estudiante.

Una vez realizada la petición para la creación de un cliente VPN y sea aceptada, el departamento enviará un correo adjuntando los archivos de la configuración para ser usadas en el servidor OpenVPN y además un documento manual indicando los pasos a seguir para la conexión.

Una vez instalado el programa, se debe hacer doble clic sobre este y señalar aceptar en todos los pasos con la instalación del cliente VPN.

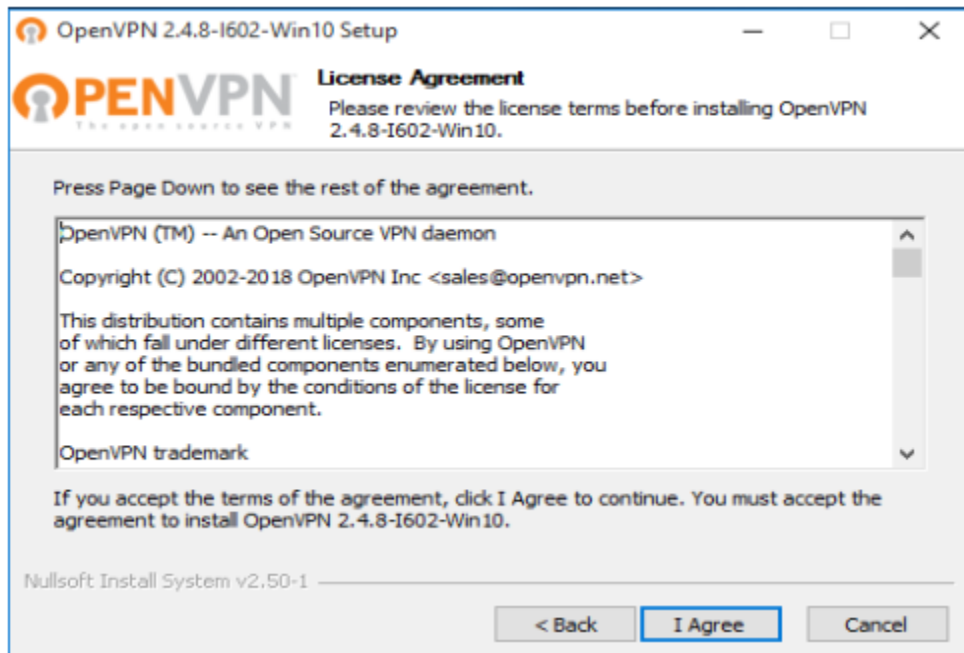


Fig. 92 "Instalación OpenVPN"

7.2 Conexión a OpenVPN

En el mismo correo que envía el soporte, existe un archivo el cual mediante el RUT del usuario se conecta con el servidor. Ese archivo se debe importar y una vez hecho saldrá una notificación indicando que todo es correcto. Si eso no ocurre se deben repetir todos los pasos anteriores.

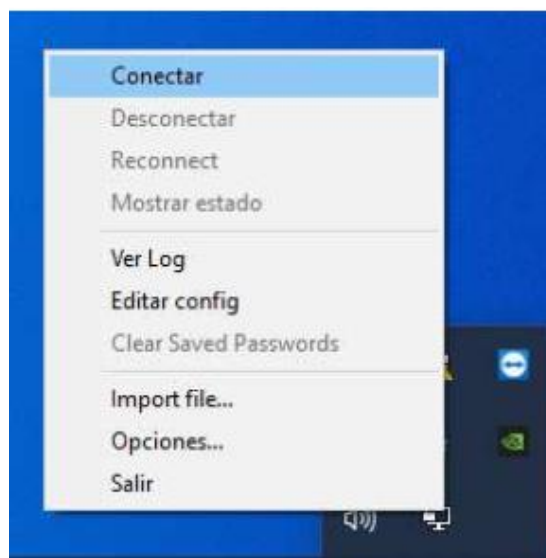


Fig. 93 "Ejemplo de conexión"

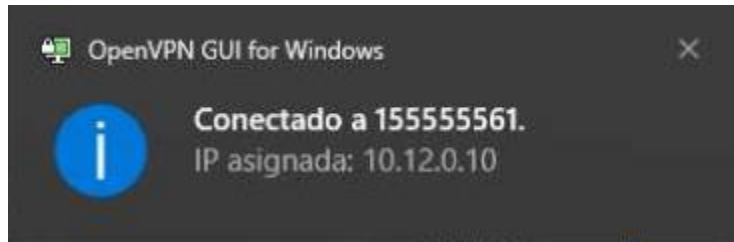


Fig. 94 "Ejemplo de conexión VPN"

Una vez conectado se debe habilitar la conexión remota, en caso de trabajar con Windows 10, en la parte inferior, tal como se muestra en la siguiente imagen se hace la conexión.

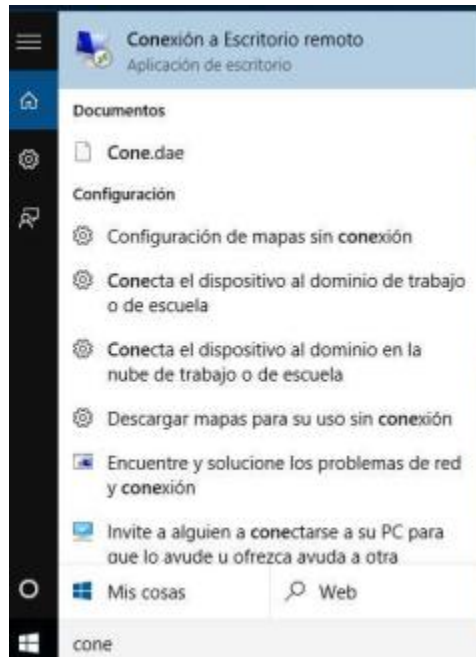


Fig. 95 "ejemplo conexión remota"

Al seleccionar la opción de Conexión a Escritorio remoto se despliega una ventana con la opción de equipo y usuario, en la cual se ingresa la información entregada mediante correo electrónico.



Fig. 96 "Configuración escritorio remoto"

Al conectar se despliega una ventana donde pide contraseña y se ingresa la información entregada por el encargado y se debe apretar la casilla "Aceptar".

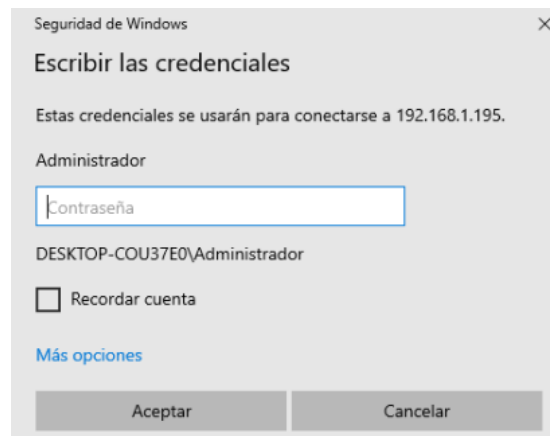


Fig. 97 "Credenciales escritorio remoto"

Una vez ingresada la contraseña y aceptando, aparece un recuadro el cual pregunta si realmente te deseas conectar al equipo de todos modos, se debe seleccionar la opción de no volver a preguntarme sobre conexiones a este equipo, con el fin que cuando se haga nuevamente una conexión remota, no vuelva a aparecer.

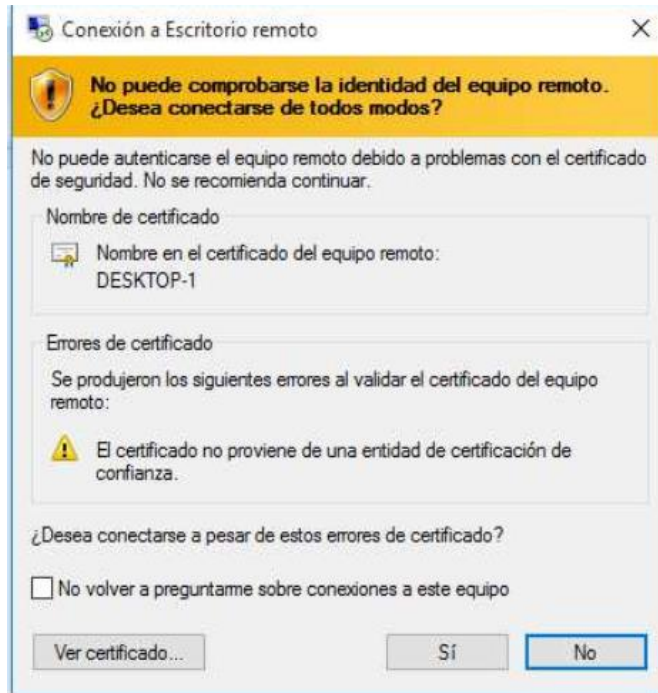


Fig. 98 "Ultimo paso conexión remota"

Una vez que se cierra la ventana, ya se puede visualizar el escritorio remoto del equipo ubicado físicamente en el laboratorio de control de procesos, donde se puede utilizar netamente la HMI del estanco.

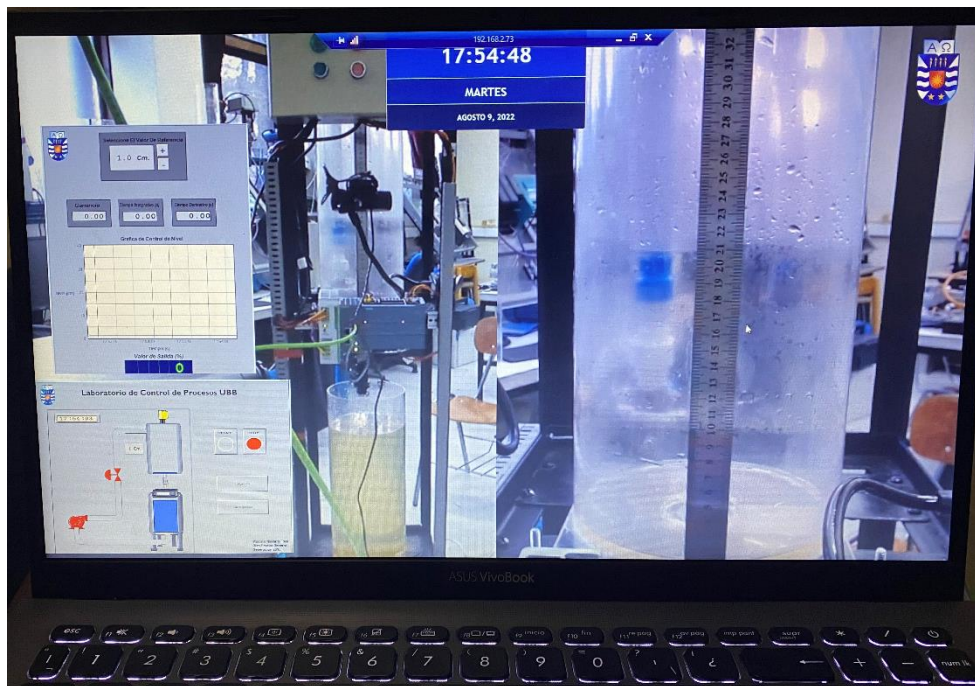


Fig. 99 "Conexión realizada por VPN desde fuera de la Universidad"

7.3 Perfil de usuario OpenVPN

Para comprender más a fondo el usuario del VPN, Gonzalo Díaz Larenas, encargado de Soporte Computacional del Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, complementa la siguiente información con el significado de cada capa de configuración del código de ingreso.

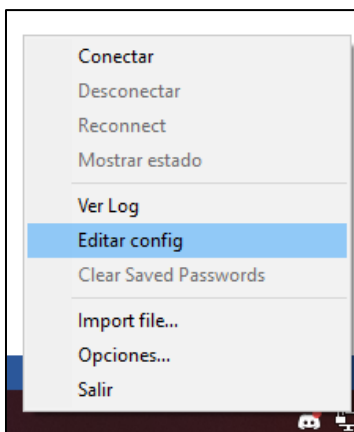


Fig. 100 "Menú OpenVPN"

Para obtener la información se debe hacer clic derecho en la ventana de OpenVPN y entrar a Editar config, En el cual se despliega un texto con las siguientes líneas de código.

```
client
dev tun
;proto tcp
proto udp
remote 146.83.193.43 1103
resolv-retry infinite
nobind
persist-key
persist-tun
remote-cert-tls server
cipher AES-256-CBC
auth SHA256
key-direction 1
verb 3
<ca>
```

Fig. 101 "Configuración de usuario final"

Al entrar se visualiza diferentes puntos los cuales tienen el siguiente significado:

client: Usuario final.

dev tun: Protocolo de red encapsulador.

;proto tcp: Protocolo TCP está *comentado*, para desconectarlo, ya que para utilizarlo se debe mejorar la infraestructura del laboratorio por fibra óptica y optimizando servicios.

proto udp: Protocolo UDP, trabaja en la capa 3, se utiliza principalmente por los recursos de ancho de banda que había al momento de la puesta en marcha del servicio, este mecanismo aplica el concepto de hacer el mejor esfuerzo, si hay una falla de conexión, va a estar haciendo constantemente el *mínimo esfuerzo* para conectar, esto es aplicado al mínimo ancho de banda a utilizar para conectar en conexión remota.

remote 146.83.193.43 1103: Corresponde a la IP y puerto de la estación de trabajo que está la maqueta de control de nivel

Resolv-retry infinite: Túnel de reconexión infinita.

nobind: Opción que posee OpenVPN para la conexión remota.

persist-key: Persistencia de la conexión, reconecta sólo el usuario VPN.

persist-tun: Persistencia de conexión por problemas de hardware o software.

remote-cert-tls server: Certificado de autenticación que genera el propio servidor

cipher AES-256-CBD: Cifrado para servicios VPN, tipo de conversión para encriptar información

auth SHA256: Algoritmo de autenticación que genera nivel de cifrado.

key-direction 1: Configuración interna VPN, enlace direccional.

verb 3: Muestra la cantidad de detalle histórica del usuario, posee información sobre conexiones, fallas y cantidad de pruebas, con formato con hora y fecha.

Seguindo con la construcción del certificado, partiendo con el cifrado:

```
<ca>
-----BEGIN CERTIFICATE-----
MIIDNTCCAhh2gAwIBAgIJAMZ1uN6RU0F9MA0GCSqGSIb3DQEBCwUAMBYxFDASBgNV
BAMMC0Vhc3ktU1NBIENBMB4XDTEwMTIwNzE1NDcyMFOxMTIwNTE1NDcyMFOw
FjEUMBIGA1UEAwwLRWFzeS1SU0EgQ0EwggEiMA0GCSqGSIb3DQEBAQUAA4IBDwAw
ggEKAoIBAQQD18LM7nexViw51drMNa73/ayfqsXBjn1VA1xYdjp0Fq1JbFyPzemh+
3kAqE1/N6cIKuZ1cpY91BXeeWJ8XdCQw4oP8uZKQCRqvMOiMD7AqbZYq1Ertg00w
SikYf+bQP5tYPkSm8Jo5KBUMYf8kv+DzF06SYwVdNkgTgmur/g35ex6FCFevvuUn
ts1Y8M17djumo0mDugrjf9uJubDDW043AEGiJexJi+/SjAb0j9T2649nszm5j71c
cJdrnZSzwE1mQzSG6nZznJZ9o76G5MYGquN4zOUZjX77fkZwwE51E9U3jzsin663
zc4Nf/b1Gx6NradyUSEeE6dNax1VoGyrAgMBAAGjYUwggYIwHQYDVR0BBYEFNjx
1x8dHRTudxu8R6d54TVRkTo2MEYGA1UdIwQ/MZAFNjx1x8dHRTudxu8R6d54TVR
KTo2oRqkGDAwMRQwEgYDVQDDAtFYXN5LVJTTQSBQYI1AMZ1uN6RU0F9MAwGA1Ud
EwQFMAMBAF8wCwYDVR0PBAQDAGEGMA0GCSqGSIb3DQEBCwUAA4IBAQBEXXOQVCP1
fmpxpuQXYksa0wMK5mcZz0gvw0qSD16YQVhA20U0FB+49AtM+J56Y7nnVeMettj
0QIRLhkhVIDHmW/Z84rrK+CK8iSZ+sswB5cWXY40kcwFULkbn+VQ/NDzhY8s9LL
Yza9sFSNAXF1xs/11TTZBKjzBob4+peEtb+93b0Zu9wB68Rq4Jmfq/gR1cwrGZY4
KA6JdRNMhg7lieU517WoUPcp+YkJPXMK7W25vNs/Vpe7EM1E5NAIDpEeDNIkzjzWL
DS9/9D+Jk12oE6/FqZW7G3ETtZ69dI2Cg1BwSKsQ4i1CHdb4Je0rk38MS3u6Yn6T
tOWThCA/sswO
-----END CERTIFICATE-----
</ca>
```

Fig. 102 "Cifrado del certificado"

Algoritmo de validación:

```
<cert>
Certificate:
  Data:
    Version: 3 (0x2)
    Serial Number:
      2b:18:dd:d2:22:42:97:6c:a3:80:57:60:e8:73:a1:d0
    Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
    Issuer: CN=Easy-RSA CA
    Validity
      Not Before: Jul  9 02:43:33 2022 GMT
      Not After : Jun 23 02:43:33 2025 GMT
    Subject: CN=195324999
    Subject Public Key Info:
      Public Key Algorithm: rsaEncryption
      RSA Public-Key: (2048 bit)
      Modulus:
        00:bb:c3:b5:2a:f1:c4:d3:b9:8d:da:ee:ec:f7:d2:
        d2:fa:e4:50:62:c2:6a:74:7a:1d:bb:3b:62:77:89:
        a4:32:3f:8f:7d:5d:6e:b7:ec:9e:63:65:a0:68:2c:
        26:9a:86:f9:8c:14:7b:cb:f3:75:ed:e6:cb:18:03:
        3b:ba:9d:ea:b1:b0:ec:02:6f:33:28:cf:61:04:a5:
        58:4b:e7:1c:b7:6d:d7:c1:ed:a8:1e:b4:e3:99:20:
        01:50:63:29:59:31:d3:a4:93:bc:12:75:e0:b5:d2:
        ff:22:66:68:82:e4:44:d8:7b:6a:68:93:5f:4a:a7:
        b8:84:eb:51:e4:c9:53:52:19:33:33:57:cc:57:13:
        f7:75:b7:1b:00:96:27:65:0f:82:98:d1:47:66:80:
        3a:7b:7f:07:d1:ed:65:be:4d:7b:e5:0c:9c:4a:d4:
        13:15:2b:ae:7c:05:6d:bc:e5:98:ca:bd:a1:82:cd:
        ff:18:dd:3a:dd:e2:d4:fe:70:23:9c:67:e7:46:fc:
        8d:83:b9:ef:61:51:e1:68:bf:ba:5f:07:c5:50:5b:
        cc:a3:69:64:66:99:08:54:59:a8:5b:77:1a:0b:d4:
        f6:a0:d5:f4:65:e3:81:1b:97:29:45:cf:2b:1c:20:
        8c:32:5a:7f:9f:42:ec:6a:08:d8:d5:19:40:30:60:
        3d:a9
      Exponent: 65537 (0x10001)
```

Fig. 103 "Algoritmo de validación"

Certificado de conexión en el cual muestra las fechas en los cuales el usuario tiene fecha de utilización de la red, validada entre el 9 de Julio del 2022 hasta el 23 de junio del 2025, la cual corresponde a 1090 días, además entrega información de la estructura de certificado del conexionado remoto.

CAPÍTULO 8. Conexionado

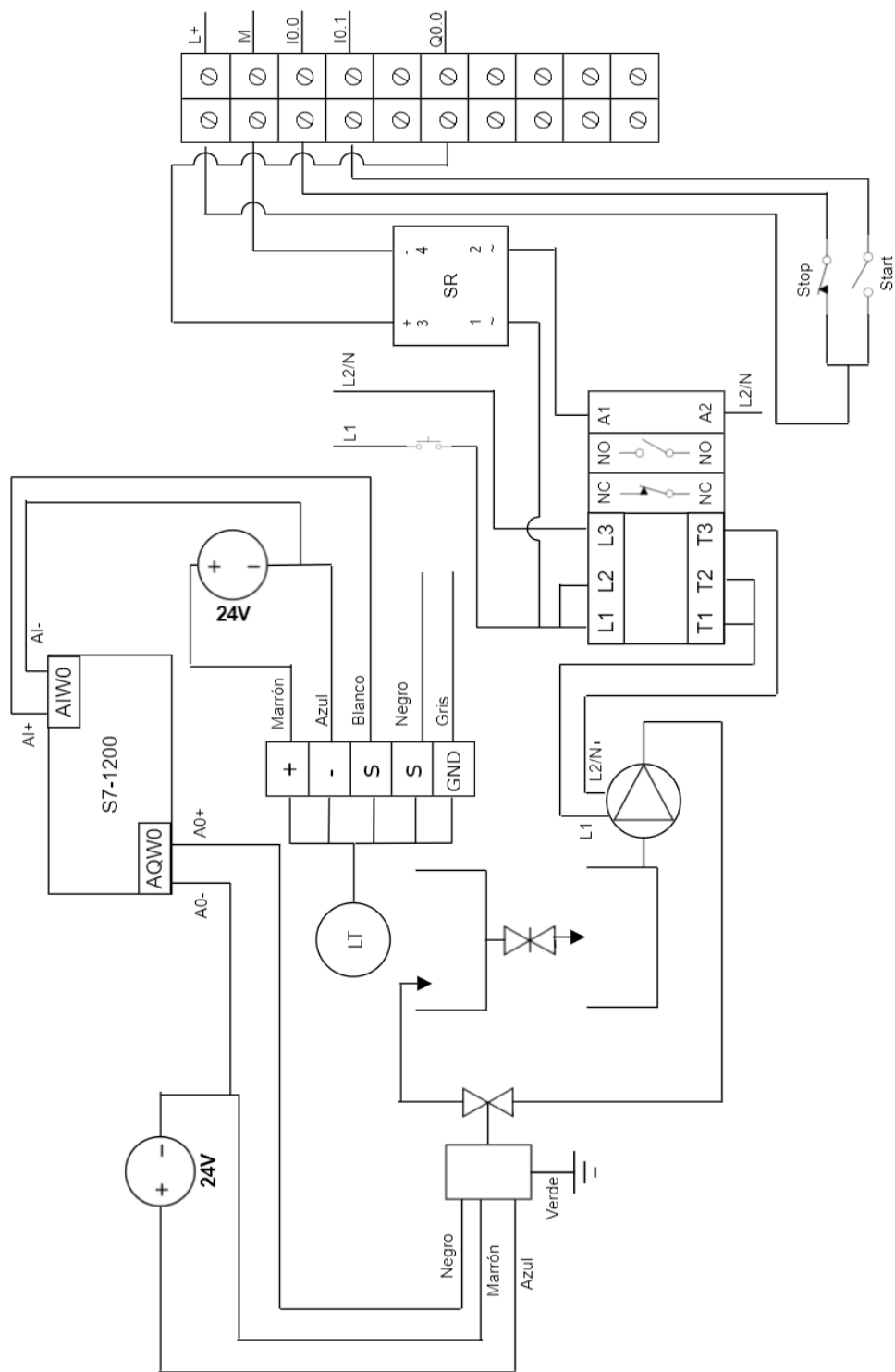


Fig. 104 "Esquema de conexionado general"

Para comprender la distribución y el funcionamiento de la maqueta, en el siguiente capítulo se entrega información de la conexión de los diferentes elementos al PLC Siemens S7-1200. (Fuente de alimentación, motor, sensor y válvula) y como estos están conectados entre sí.

8.1 Fuente de alimentación

Para entregar energía a la maqueta, se alimenta directamente desde la red eléctrica que entrega el laboratorio, la fuente de alimentación se conecta mediante un cable al enchufe y desde el nodo de alimentación principal se distribuye a los elementos que necesitan de ella.

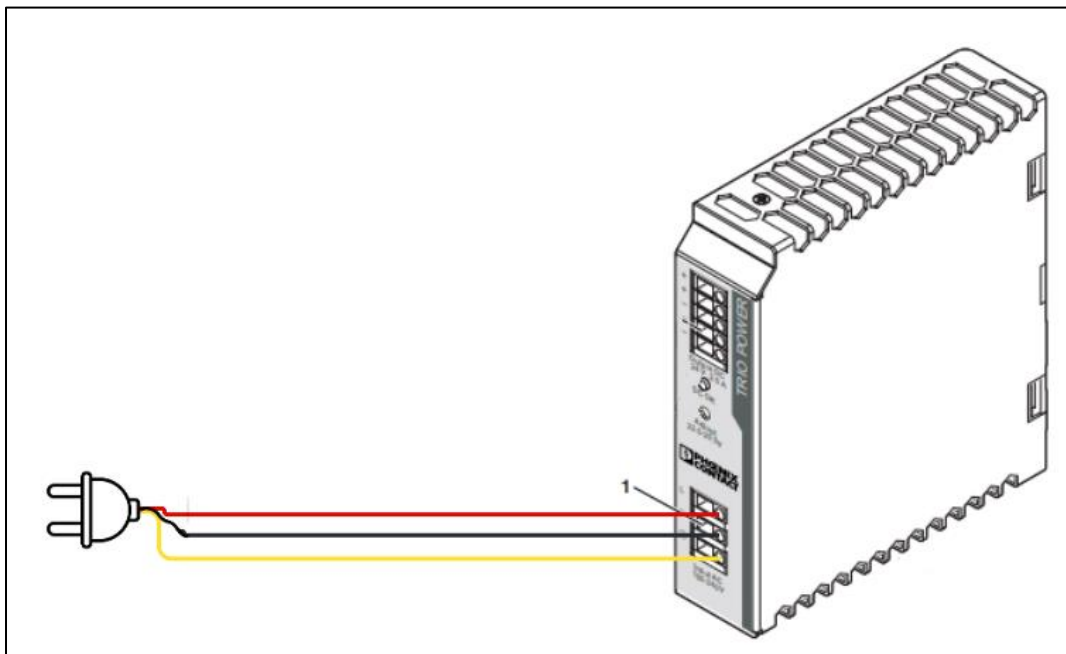


Fig. 105 "Conexión alimentación fuente TRIO POWER"

En la figura 100, se muestra como la fuente se debe enchufar directamente a la red de 220 V.

8.2 Nodo de alimentación

En el tablero existe un nodo de alimentación el cual su entrada es directamente de la fuente, y las salidas corresponden la a entrega de energía a los diferentes elementos que existen en la maqueta.

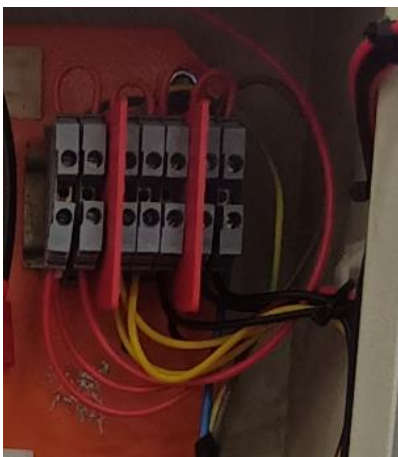


Fig. 106 "Nodo de alimentación"

8.3 Conexión Válvula

La Válvula posee 3 cables para su conexión, el cable Café el cual va al positivo de la fuente, el cable azul que va al negativo de la fuente y por último el cable negro que va a la salida analógica 0 que posee el PLC Siemens S7-1200.

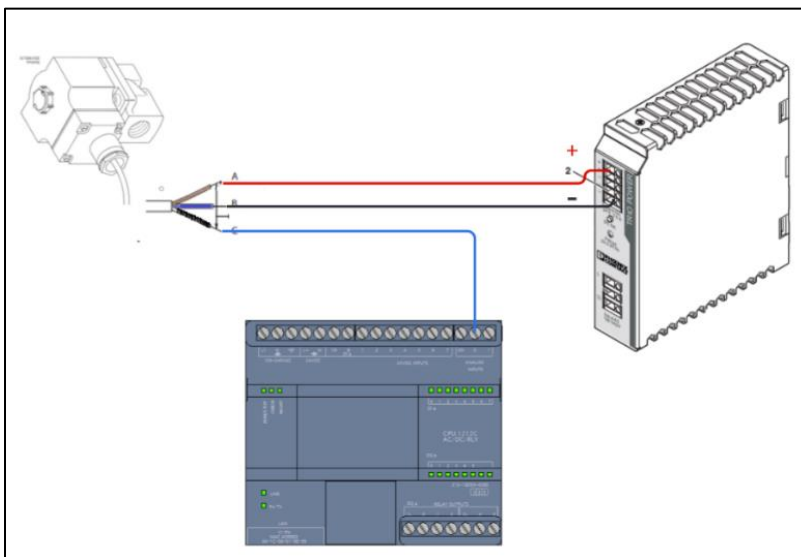


Fig. 107 "Conexión válvula"

8.4 Conexión Sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico posee 3 cables de conexión, el cable café al positivo de la fuente, cable azul al negativo de la fuente y el cable blanco llega a las entradas analógicas del PLC Siemens S7-1200, el cual llega al 3M Y AI0, entrando con un divisor de tensión para que los valores de lectura puedan ser leídos.

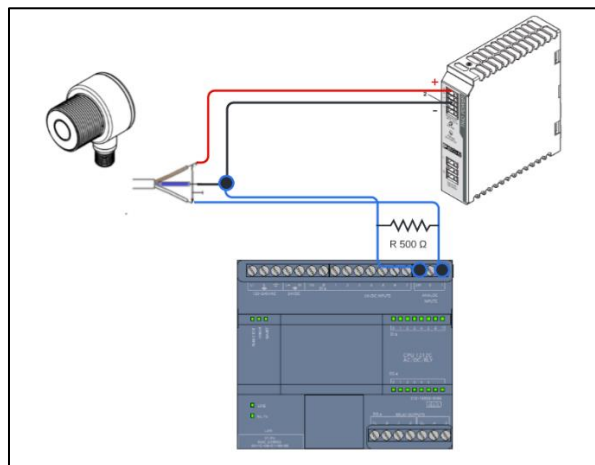


Fig. 108 "Conexión sensor ultrasónico"

8.5 Conexión Bomba centrífuga

La bomba está conectada con el Relé, con finalidad de que la botonera controle el encendido y apagado de esta, por otra parte está conectada directamente a L1, el cual alimenta el motor, además de tener el cable en respectivo Neutro.

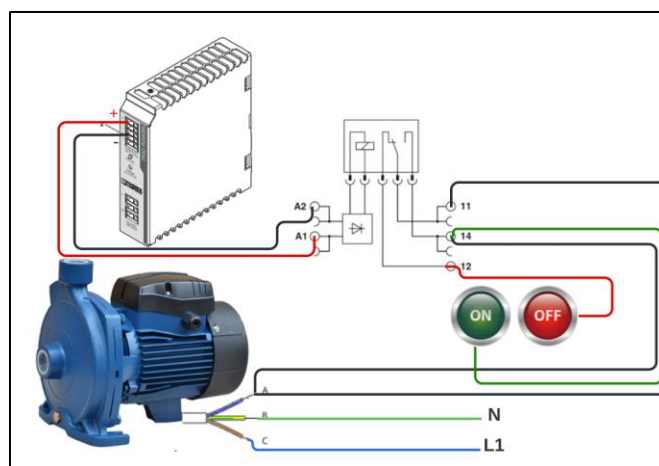


Fig. 109 "Conexión bomba centrífuga"

CAPÍTULO 9. Experiencias para la docencia

EXPERIENCIA

1

Configuración de PLC S7-1200 y KEPserverX para iniciar el Control de Estanque.

I. Objetivos

- Conocer la maqueta a controlar, el PLC Siemens S7-1200 y su conexionado.
- Configuración de PLC para la programación y comunicación con Softwares externos.
- Alistar la comunicación con KepsServerX.
- Conocer el entorno de programación TIA PORTAL.

II. Actividad

- 1) Identifique las partes que componen la maqueta sus salidas y entradas, digitales y análogas. Y el conexionado ya montado en la maqueta.
- 2) Crear un nuevo proyecto, agregar un nuevo dispositivo, identificarlo (poner CPU1200 sin especificar) y realizar la búsqueda del controlador.
- 3) Ir a configuración de dispositivo, en general ir a direcciones Ethernet ir a protocolos IP e ingresar manualmente la IP deseada. Deben cambiar el ultimo digito con un numero de 0 a 255.
- 4) En la misma configuración de dispositivos ir al apartado de Protección & Seguridad y Dar el permiso que aparece en mecanismos de conexión.
- 5) Generar conexión online, compilar y cargar.
- 6) Configurar el protocolo de internet Versión 4 del adaptador que esta conectado entre el PLC y el Equipo PC (Recuerde dejar una IP distinta al que configuro en TIA PORTAL o se generará un error de comunicación más tarde).
- 7) Configure la comunicación entre PLC y KepsServerX. Abrir el KepsServerX, crear un nuevo proyecto, En canal seleccionar el driver Siemens TCP/IP Ethernet y seleccionar el dispositivo que configuraron en



Fig. 1 “logo TIA PORTAL



Fig. 2 “logo KepsServerX”

el ejercicio 5). Luego, en dispositivos seleccionar el S7-1200 y escribir la IP del equipo que pusieron en el ejercicio 3)

- 8) Ir a Tia portal y crear una memoria M0.25 y una salida Q0.4, compilar y cargar. Luego, ir a Kepserver, agregar los “Tags” y verificar una comunicación en estado “Good”. Luego en TIA PORTAL Forzar estados y ver como en KepserverX cambia su estado también. Finalmente, realice un cambio de estado en KepserverX y ver en TIA PORTAL como cambia la variable.

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

EXPERIENCIA

2

Primeras programaciones en TIA PORTAL para el control de nivel.

III. Objetivos

- Crear bloqueo de emergencia.
- Implementar correctamente un temporizador
- Determinar qué dirección es el sensor de nivel.
- Normalizar y escalar la señal del sensor de nivel.
- Realizar una conversión para implementación del SetPoint.

IV. Actividad

9) Dentro de TIA PORTAL se deberá agregar un nuevo bloque y seleccionar nueva función (esquema color verde). Una vez creado, se debe crear una programación (dentro de este nuevo bloque) de encendido y apagado de la bomba de la maqueta (Q0.0). El pulsador de color verde es I0.2 y el pulsador de color rojo es I0.1 (este pulsador está conectado en forma de enclavado). Una vez ya creada la programación del encendido y apagado de la bomba, se debe crear una programación en donde al pasar 5 minutos desde el encendido de la bomba, esta se detenga por motivos de emergencia. Luego de que esta se apague, se debe poder accionar nuevamente el pulsador de encendido y que el proceso vuelva a funcionar y el periodo de los 5 minutos se vuelva a reestablecer.

10) Una vez terminado el bloqueo de emergencia, agregar el bloque al “main”.



Fig. 1 “Tablero pulsadores”

11) Deben encontrar teóricamente cual es la dirección del sensor de nivel para poder llamarlo en la programación del TIA PORTAL, en el informe deben mencionar si esta es de tipo análoga o digital.

12) Una vez encontrada la dirección del sensor de nivel deberán normalizar (valores de dato: 6245-30785) estos valores son por la calibración del dispositivo sensor. El sensor arroja valores desde 0 a 23 cm. Deberán escalarlo a ese rango.



Fig. 2 “Sensor de nivel”

13) En la última actividad, deberán implementar una conversión de datos para el setpoint que se utilizará en una siguiente experiencia. Procure configurar bien los tipos de dato para el motivo de ingresar este setpoint en el bloque del PID que se verá implementará más adelante.

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

EXPERIENCIA

3

Segunda programación en TIA PORTAL del control de nivel.

V. Objetivos

- Crear una subrutina para la salida del PID
- Crear variables estáticas
- Configurar e implementar el PID_Compact

VI. Actividad

14) Siguiendo con el código de TIA PORTAL de la experiencia 2. Se pide crear una nueva subrutina (como la de bloqueo de emergencia), donde tienen que hacer la programación de lo que ocurrirá luego de que el controlador PID arroje el valor de salida (0 a 100%). En este caso deben colocar el elemento que hace variar la variable manipulable en el control (válvula solenoide) al final de toda la programación. Por lo tanto, deben normalizar de 0 a 100 la salida del PID (poner una memoria) y luego escalar de 0 a 6911 (30% de capacidad de la válvula por motivos de seguridad) colocando como salida de este último bloque la dirección correspondiente a la válvula solenoide.



Fig. 1 “Válvula solenoide”

15) Dentro de la misma subrutina anterior convierta la dirección de memoria que va en la salida del PID (de tipo real) a tipo entero. Esto se utilizará más adelante en el HMI.

16) Agregar un nuevo bloque inteligente PID_Compact. Al lado izquierdo aparecen las opciones de configuración. Dentro de las configuraciones, seleccionan el tipo de regulación y lo dejan en modo automático, deben seleccionar que tipo de entrada se utilizará y escalar el valor real del estanque. Seguir configurando y poner parámetros PID de prueba. Mas adelante se harán cálculos matemáticos. 7.36 ganancia, 2.99 Ti, 0.88 Td.

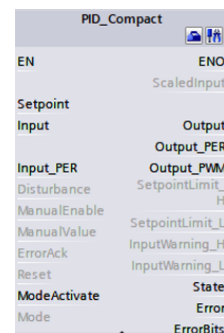


Fig. 2 “Bloque PID_Compact”

17) Al terminal la configuración del PID_Compact, agregar este al programa de bloques, se debe seleccionar Cyclic Interrup, seleccionar el PID_Compact creado y configurado recientemente (ver bien que nombre quedo adjudicado) y expandir el bloque una vez creado para dejar listo para la próxima experiencia.

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

EXPERIENCIA

4

Tercera programación y primera marcha en TIA PORTAL del control de nivel.

VII. Objetivos

- Ingresar las direcciones al bloque PID_Compact
- Comprender los estados según corresponda el numero del modo en operación
- Crear memorias para ingresar valores desde el HMI cambiando los valores de ganancia, tiempo integrativo y tiempo derivativo
- Hacer control de nivel con TIA PORTAL

VIII. Actividad

- 18) Continuando con la experiencia, en el bloque de Cyclic Interrup se deben ingresar las direcciones correspondientes al Input_PER, el Output (salida PID) y el Setpoint, en este último se ingresará de momento manualmente el valor deseado, poner de ejemplo 15cm directamente.
- 19) Ir a puesta en servicio del PID_Compact, pulsar start, e iniciar PID_Compact (consultar a ayudante o profesor antes de dar inicio para verificar que todo este correcto) Si todo esta correcto el sistema hará control. Recuerden que, ante cualquier situación, está el bloqueo de emergencia, utilícenlo.
- 20) Luego, reemplazaremos el setpoint de 15cm por la memoria correspondiente para el setpoint que crearon en la experiencia 2 actividad 5. Esta dirección deben ingresarla en el setpoint del bloque PID_Compact.
- 21) Ir a la configuración del PID_Compact, ir a listado de parámetros y encontrar las direcciones correspondientes a la ganancia, tiempo integrativo y tiempo derivativo. En “main” ingresar memorias enteras para cada una de las direcciones mencionadas anteriormente. Esto se utilizará para crear el HMI.

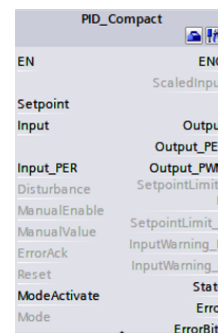


Fig. 1 “Bloque PID_Compact”

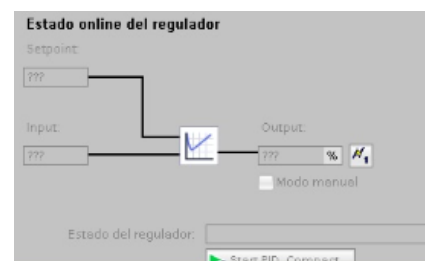


Fig. 2 “Puesta en servicio”

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

EXPERIENCIA

5

Programación en KEPServerX y creación de HMI en Infilink.

IX. Objetivos

- Crear Tags en KEPServerX.
- Crear un HMI para la maqueta.
- Configurar alarmas para los Tags.
- Crear graficas en tiempo real de nivel, setpoint y valor de salida %.

X. Actividad

- 22) Crear en KEPServerX todos los Tags que estimen convenientes para la creación del HMI. Recordar revisar bien el tipo de dato y ver que el estado este en “Good” para una correcta programación.
- 23) Ingresar a Infilink, abrir la carpeta de los Tags creados en KEPServerX y comenzar a diseñar el HMI a gusto propio. Se muestra un ejemplo de HMI ya creado.

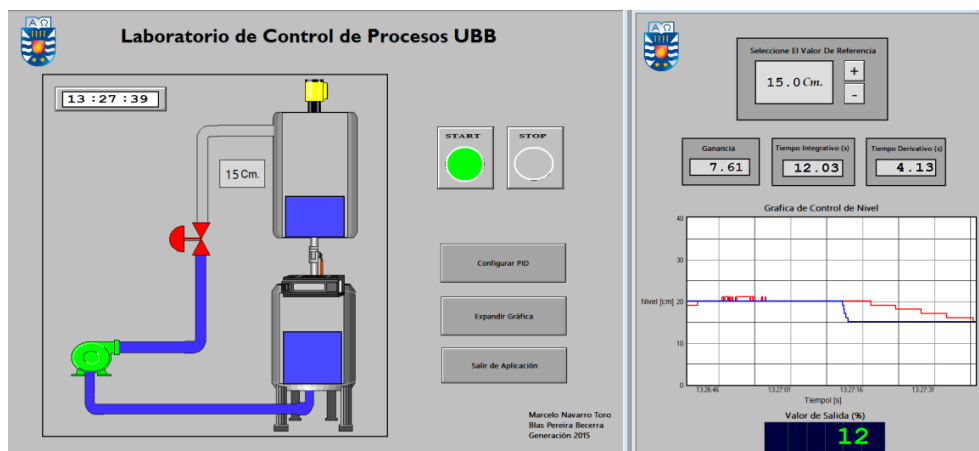


Fig. 1 “Ejemplo HMI”

- 24) Ir al apartado de los Tags y realizar una configuración de las alarmas para los tags de SetPoint y nivel del estanque. El Setpoint no debe superar 22 cm y no debe ser inferior a 0 cm, el nivel no debe superar los 22 cm.
- 25) Graficar en tiempo real el SetPoint, nivel y mostrar el valor de salida del PID en %
- 26) Crear botoneras de start y stop. Además de una pantalla donde se pueda ingresar el SetPoint manualmente al igual que la ganancia, el tiempo integrativo y el tiempo derivativo.

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

EXPERIENCIA

6

Cálculo de los parámetros PID y puesta en servicio del HMI creado.

XI. Objetivos

- Modelar el estanque y linealizar
- Obtener parámetros PID mediante método analítico y Ziegler-Nichols
- Comparar resultados de los métodos utilizados

XII. Actividad

- 27) Encuentre el modelo matemático del estanque considere flujo de entrada $F_1 = \eta \cdot u(t)$ y flujo de salida $F_2 = k_1 \sqrt{h_1(t)}$. Donde η : Constante proporcional de la válvula. $u(t)$ = Voltaje aplicado a la válvula (acción de control). k_1 = Constante proporcional de salida.
- 28) Determine la función de transferencia del sistema si se desea controlar el nivel h_1 y el flujo generado por la bomba que llega al estanque. Linealizar.
- 29) Diseñe y simule el lazo de control basado en el controlador (PID) utilizando método analítico y Ziegler-Nichols
- 30) Ingresar manualmente los parámetros del PID en el HMI de ambos métodos. También puede ingresarlos directamente en la puesta en servicio del TIA PORTAL si usted estima que la optimización inicial y fina cambian mucho sus parámetros en el HMI.
- 31) ¿Cuál estrategia considera mejor? Justifique.

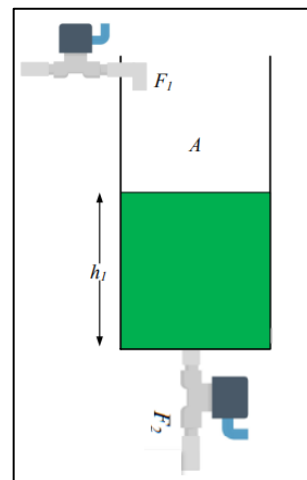


Fig. 1 “Esquema estanque”

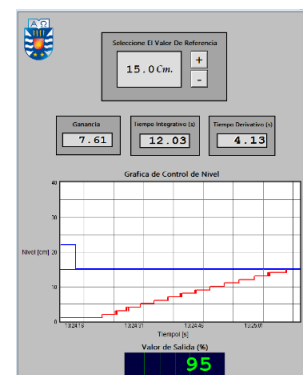


Fig. 2 “Ventana 2 HMI”

Tabla 1. Datos para modelado

Dato	Valor
Radio estanque	9.5 (cm)
Altura de estanque	48 (cm)
Temperatura	20 °C
Densidad	$998,2 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Viscosidad	$1,009 \times 10 \left(\frac{kg}{ms}\right)$
Material	PVC
Diámetro	0,032 (m)
Peso específico del agua	$9782,36 \left(\frac{kg}{m^2s^2}\right)$

Tabla 2. Datos para método Ziegler-Nichols

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Informe

La entrega del trabajo de laboratorio se realiza mediante un informe donde se documente la mayor cantidad de información posible acerca del trabajo realizado en laboratorio. Incluya códigos empleados y explicación de cada segmento de ellos, sumado que de igual manera en el mismo entorno de programación usted puede incorporar comentarios para la realización de este.

Entrega

La entrega se realiza a través de la plataforma Adecca en un archivo .rar o .zip el cual debe contener sus apellidos, por ejemplo, Navarro_Pereira.zip El archivo debe contener lo siguiente:

- Informe, *el nombre del informe debe ser por ejemplo: Informe X Navarro Pereira.pdf*
- Archivos de simulación.

CONCLUSIÓN

Luego de finalizar el proyecto se debe destacar la importancia de la mantención de los equipos y sistemas que comprenden el mundo de la instrumentación industrial, para alargar la vida útil de los elementos. Fue de forma natural el pensar que el estanque estaba en buenas condiciones ya que se encontraba con liquido dentro del sistema la primera vez que pudimos observarlo, pero al llenarlo nos encontramos con la filtración y oxidación presente en la maqueta.

El tener una correcta y completa documentación del trabajo que realizaron anteriormente otras personas es elemental para poder reconstruir, restaurar y reparar los sistemas. Es de suma importancia dejar un buen registro del trabajo, como lo es este documento. Para que, en el futuro si otro estudiante desea utilizar, mejorar e incluso hacer su tesis con la maqueta tenga toda la documentación necesaria para que su intervención sea la más prospera posible.

Una buena selección de elementos y actuadores de una maqueta es fundamental para un funcionamiento optimo. Nos encontramos con el problema de tener que limitar la válvula solenoide en su apertura, ya que generaba demasiado flujo de entrada, sumada a la gran presión generada por la potencia de la bomba. Lo hacían demasiado para un sistema con estanques tan pequeños. Mismo problema con el sensor de nivel, este estaba diseñado para estanques de mayor envergadura. Aun así, quedamos conformes con utilizar los mismos elementos que disponía el laboratorio y darles soluciones a estos problemas mencionados.

Leer los manuales y “datasheet” siempre fue de gran importancia a lo largo de todos los laboratorios impartidos por el departamento de ingeniería y en este seminario no fue distinto el caso. Nos correspondió el cambiar de elementos varias veces, siendo el mismo fabricante, mismo nombre de modelo. El solo cambiar la versión variaban especificaciones de los elementos e incluso el lugar de las conexiones como fue el caso del PLC.

Los protocolos de conexión son un importante punto de este trabajo, una mala configuración por no tener el conocimiento necesario hace imposible la conexión entre PLC y computador para la programación del programa completo. El implementar la maqueta con el protocolo OPC nos deja muy conformes, ya que los docentes podrán seguir trabajando con la maqueta incluso subiéndola incluso a una plataforma web en el futuro.

Como futuras aplicaciones el agregar una válvula solenoide de salida es una muy buena opción. Un sensor de presión o de flujo serían muy buenos elementos para crear nuevas aplicaciones a la maqueta. Pero la implementación más importante, es dejar la aplicación HMI en un servidor web. El PLC quedó configurado para solo necesitar el HMI para dar comienzo al proceso del sistema.

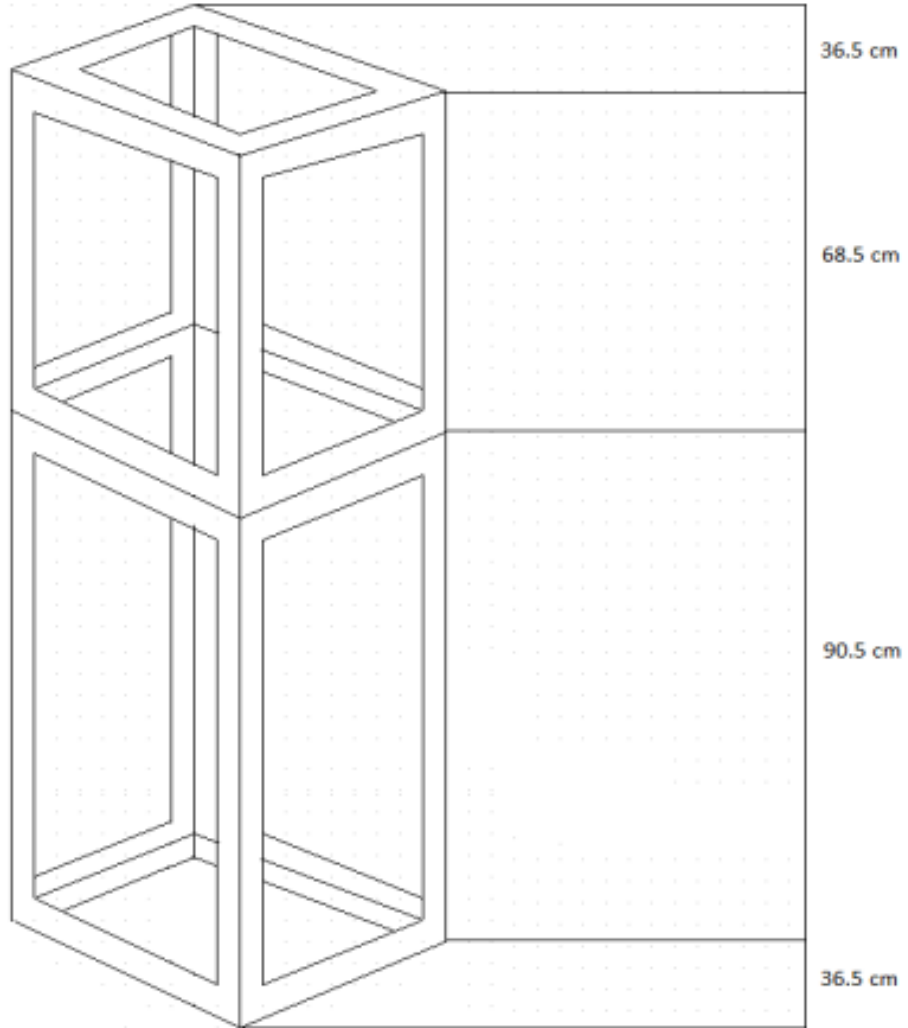
REFERENCIAS

- [1] Universidad Austral de Chile, “CAPÍTULO I EL MODELO CIM Y JERARQUÍA DE REDES DE COMUNICACIÓN EN LA,” 2007.
- [2] M. Alberto Perez Ing Analía Perez Hidalgo Bioing Elisa Perez Berenguer, “INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.,” 2007.
- [3] Alejandro Leon. Universidad de Chile, “Sistemas de control distribuido (dcs),” 2011. <https://es.slideshare.net/alleonchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975> (accessed Aug. 22, 2022).
- [4] Horacio D. Vallejo, “PLC LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES,” 2014. [Online]. Available: www.editorialquark.com.ar
- [5] Medytec ltda., “medicion de nivel - Instrumentación Industrial UNEXPO 2009-I,” 2009. <https://sites.google.com/site/instindunexpo2009i/primera-asignacion/marquez-campos-tomazzolli-espinoza/medicion-de-nivel> (accessed Aug. 22, 2022).
- [6] Seguas Inc., “Bomba centrífuga y sus funcionalidades,” 2013. <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/> (accessed Aug. 22, 2022).
- [7] K. Bibiana, B. Valderrama, D. Fernando, and F. Sanabria, “SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE NIVEL CON TANQUES ACOPLADOS UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES MODALIDAD VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL,” 2017.
- [8] Phoenix Contact, “Fuente de alimentación - TRIO-PS/1AC/24DC/ 5 - 2866310 | Phoenix Contact,” 2020. <https://www.phoenixcontact.com/es-cl/productos/fuente-de-alimentacion-trio-ps1ac24dc-5-2866310> (accessed Aug. 22, 2022).
- [9] Trace Software Spain, “Función principal de los interruptores automáticos | Trace Software Spain,” 2014. <https://www.trace-software.com/es/cual-es-la-funcion-principal-de-los-interruptores-automaticos/> (accessed Aug. 22, 2022).
- [10] Coelectrix, “El Relé en Automoción |Que es y que usos tiene,” 2019. <https://coelectrix.com/el-rele-en-automocion> (accessed Aug. 22, 2022).
- [11] Siemens SIMATIC, “Controlador programable S7-1200,” 2016. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/es/>
- [12] Siemens AG, “SCALANCE X-Industrial Ethernet Switches Content,” 2017.

- [13] Zoecan, “Adaptador Usb 3.0 A Lan 10/100/1000m,” 2017. <https://techline507.com/es/adaptadores-y-convertidores/575-adaptador-usb-30-a-lan-101001000m.html> (accessed Aug. 22, 2022).
- [14] Siemens SIMATIC, “Regulación PID,” 2019.
- [15] Logitech, “C920s PRO HD WEBCAM Complete Setup Guide Guide d’installation complet CONTENTS,” 2020.

ANEXOS

Anexo 1: Estructura Metálica



	Angulo	Platina
Dimensiones	A= 3cm B= 3cm	A=36cm B=10cm
Espesor	2 mm	3mm

Anexo 2: Cotización

N°	Descripción	Código	Marca	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
1	PLC Siemens S7-1200	6ES7211	Siemens	1	530.000	530.000
2	Bomba BKm60-CLA	CNB0226100	Bestflow	1	38.080	38.080
3	Sensor Ultrasónico T30 UIPA	70406846	Banner Engineering	1	447.546	447.546
4	Válvula Solenoide EV260B	032U8053	Danfoss	1	181.510	181.510
5	Válvula de unión americana	237156P	Krona	1	4.790	4.790
6	Válvula de bola	37071	Novasfer	1	9.990	9.990
7	Unión Americana HI 1	20211903	Cementar	2	2.115	4.230
8	Unión Americana HI 3/4	20211881	Cementar	2	1.681	3.362
9	Buje red HE/HI 1 x ¾	22508539	Tigre	6	112	672
10	Buje red HE/HI 1 x ½	20022581	Tigre	4	176	704
11	Codo sold 32 mm x 90	22520539	Tigre	10	179	1.790
12	Fuente de alimentación TRIO-PS	2223070	Pheonix Contact	1	114.430	114.430
13	Interruptor Automático 1P 32A C 10Ka C60N	A9F77132	Schneider Electric	1	3.665	3.665
14	Módulo de relé PLC 24Vdc 6A	299716	Pheonix Contact	1	12.740	12.740
15	Industrial Ethernet switches SCALANCE XB-0005	6GK50052	Siemens	1	174.590	174.590
16	Adaptador Usb 3.0 A Rj45 Lan Gigabit Ethernet 1000 Mbps	Ax88179	Ugreen	1	9.990	9.990
17	Cable de conexión 6XV1870-3RH60	6XV1879	Siemens	1	170.980	170.980
18	Jabra PanaCast	w9ZGYBhCEA	PanaCast	1	1.090.990	1.090.990
19	Logitech C920s	40422284	Logitech	1	67.990	67.990
20	Bornes WK4/32	3044102	Kema Kour	20	400	8.000
21	Pegamento soldadura fría color blanco		Pegatanke	2	9.990	9.990
22	Acrilico			2	114.000	228.000
			Total	62	\$ 2.985.944	\$ 3.114.039

Anexo 3: Longitudes equivalentes a pérdidas

DIÁMETRO D		CODO			CURVA			ENTRADA			VALVULA			TIPO									
mm	Pul	RADIO LARGO	RADIO MEDIO	RADIO CORTO	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°	90°	45°					
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4	
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2	
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0	
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8	
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4	
65	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1	
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7	
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9	
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1	
150	6	3.4	4.5	4.9	2.3	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	18.3	
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0	
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0	
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0	
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0	

Anexo 4: Diagrama de Moody

