

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA  
SAN JUAN BOSCO

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL  
TRABAJO FINAL

---

**Banco de pruebas para motor trifásico**

---

*Alumnos*

**CAAMIÑA, Daniela**  
**YAPURA, Cristian**

*Docentes*

**Ing. LORENC, Marcelo**  
**Dr. PEÑA, Ramiro**

MES AÑO



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>6</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>7</b>
<b>3. Definiciones</b>	<b>8</b>
<b>4. Elementos</b>	<b>10</b>
4.1. Motor . . . . .	10
4.2. Variador de velocidad . . . . .	10
4.3. Módulo didáctico PLC M340 . . . . .	10
4.4. Banco de pruebas . . . . .	11
4.4.1. Transmisor de presión . . . . .	12
4.4.2. Sensor de caudal . . . . .	13
4.5. Diagrama . . . . .	13
4.6. Presupuesto . . . . .	14
<b>5. Preliminares</b>	<b>15</b>
5.1. Programación variador de velocidad . . . . .	15
5.2. Comunicación variador de velocidad - PLC . . . . .	17
5.3. Programación Unity Pro . . . . .	17
5.3.1. Entradas analógicas . . . . .	20
5.3.2. Entradas analogicas para termocuplas o RTD . . . . .	22
5.3.3. Medición de caudal . . . . .	24
<b>6. Desarrollo</b>	<b>25</b>
6.1. Adquisición de datos . . . . .	25
6.1.1. Uso de Matlab . . . . .	25
6.1.2. Estimación de la planta . . . . .	27
6.1.2.1. Comparación numérica- real . . . . .	28
6.1.3. Cálculo del controlador PID . . . . .	28
6.1.4. Pruebas de control . . . . .	30
6.1.5. Valores extremos/críticos de estudio . . . . .	30
6.1.5.1. Máxima presión . . . . .	30
6.1.5.2. Mínima presión . . . . .	30
6.1.5.3. Máximo caudal . . . . .	32
6.2. SCADA . . . . .	33
6.2.1. Configuración driver Modbus . . . . .	34
6.2.1.1. Pruebas mediante ModSim . . . . .	34
6.2.2. Alarmas . . . . .	34
6.2.3. Paradas por bloqueo . . . . .	35
6.2.4. Datos históricos . . . . .	36
<b>7. Conclusiones</b>	<b>38</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>39</b>
<b>A. Anexo: Diagrama P &amp; ID</b>	<b>41</b>

---

<b>B. Anexo: Tabla de Direcciones</b>	<b>42</b>
<b>C. Anexo: Causa efecto de alarmas</b>	<b>44</b>
<b>D. Anexo: Manual BANCO-SCADA</b>	<b>45</b>
D.1. Características generales . . . . .	45
D.2. Guía de uso . . . . .	45
D.2.1. Pantalla PRINCIPAL . . . . .	45
D.2.1.1. Diagrama del banco de pruebas . . . . .	45
D.2.1.2. Estado del variador - Motor . . . . .	46
D.2.1.3. Alarmas . . . . .	46
D.2.1.4. Modo remoto/ Modo local . . . . .	46
D.2.1.5. Fallas y ventanas de gráficos . . . . .	48
D.2.2. Pantalla datos en tiempo real . . . . .	48
D.2.3. Pantalla datos histórico . . . . .	48

## Índice de figuras

4.1. Motor Altium . . . . .	10
4.2. Variador Altivar 312 . . . . .	10
4.3. Módulo Didáctico PLC M340 . . . . .	11
4.4. Banco de pruebas completo . . . . .	12
4.5. Banco de pruebas . . . . .	12
4.6. Transmisores . . . . .	13
4.7. Diagrama p&id . . . . .	13
5.1. Elección de Altivar 312 . . . . .	15
5.2. Parámetros del variador . . . . .	16
5.3. Lista de parámetros modificados . . . . .	16
5.4. Diagrama comunicación PC- Variador . . . . .	17
5.5. Cable de comunicación . . . . .	17
5.6. Conexión fichas RJ45- DB9 . . . . .	17
5.7. Elección del bastidor . . . . .	18
5.8. Módulos PLC . . . . .	19
5.9. Dirección IP . . . . .	19
5.10. Dirección módulo Ethernet . . . . .	19
5.11. HMI simple . . . . .	20
5.12. Programa con bloques MFB . . . . .	20
5.13. Módulo AMI0410 . . . . .	21
5.14. Rango y escalado . . . . .	22
5.15. Bloques de escalado . . . . .	22
5.16. Accesorio TELEFAST ABE-7CPA412 . . . . .	23
5.17. Conexión según sensor . . . . .	23
5.18. Rango y escalado . . . . .	24
5.19. Bloque de escalado . . . . .	24
5.20. Diagrama de flujo del caudalímetro . . . . .	24
6.1. Esquema de memoria . . . . .	25
6.2. Configuración OPC . . . . .	26
6.3. Conexión servidor OPC . . . . .	26
6.4. Cliente OPC en Simulink . . . . .	27
6.5. Parámetros de Strejc con retardo . . . . .	27
6.6. Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para FT01 . . . . .	28
6.7. Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para PIT01 . . . . .	29
6.8. Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para PIT02 . . . . .	29
6.9. PID Controller . . . . .	30
6.10. Modo lazo cerrado . . . . .	30
6.11. Comparación PID para FT01 . . . . .	31
6.12. Comparación PID para PIT01 . . . . .	31
6.13. Comparación PID para PIT02 . . . . .	31
6.14. Comportamiento del sistema ante perturbaciones . . . . .	32
6.15. Máxima presión . . . . .	32
6.16. Mínima presión . . . . .	33
6.17. Máximo caudal . . . . .	33
6.18. Pantalla SCADA . . . . .	34
6.19. Configuración MBE . . . . .	35

6.20. Database con MBE . . . . .	35
6.21. ModSim . . . . .	36
6.22. Datos históricos . . . . .	37
A.1. Diagrama p&id . . . . .	41
D.1. Pantalla principal . . . . .	45
D.2. Partes del sistema SCADA . . . . .	46
D.3. Subpantalla 1 . . . . .	46
D.4. Subpantalla 4 . . . . .	47
D.5. Modo lazo cerrado . . . . .	47
D.6. Pantalla datos en tiempo real . . . . .	48
D.7. Datos históricos . . . . .	50

## Lista de Acrónimos

- DTM** : Gestor de tipos de dispositivo  
**FT** : Transmisor de caudal  
**FV** : Válvula reguladora de caudal  
**HMI** : Interfaz hombre-máquina  
**MFE** : Bloques de funciones de movimiento  
**OFS** : OPC Factory Server, software de Schneider  
**P & ID** : Diagrama de cañerías e instrumentación  
**PIT** : Transmisor con indicador de presión  
**PLC** : Controlador Lógico Programable  
**RTD** : Detectores de temperatura resistivos  
**SCADA** : Supervisión, Control y Adquisición de Datos  
**SDO** : Objetos o mensajes de servicio  
**TE** : Elemento primario de temperatura  
**UNPSJB**: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
**VSD** : Variador de velocidad

## **1. Introducción**

Actualmente en el Laboratorio de Automatización y Control de la Universidad, se cursan distintas materias en las cuales se necesitan herramientas para realizar diversas prácticas, con el fin de afianzar los conocimientos que se adquieren a lo largo del año.

Para llevar a cabo estas actividades con varias etapas, se requiere demasiado tiempo en realizar pruebas sobre un esquema complejo, es decir con varios elementos, ya que se necesita armar un prototipo de banco de prueba cada vez que sea necesario. Por ejemplo, realizar la conexión de un PLC, variador de frecuencia y un motor puede ser una tarea repetitiva que se busca suprimir.

## 2. Objetivo

El banco de pruebas cuenta con un punto de apoyo donde se conecta el motor y sus componentes mecánicos, ademas dentro de esta plataforma existe un sistema de medición que posee sensores, variador y PLC para los procedimientos de prueba. Un banco de pruebas puede ser un prototipo de un gran desarrollo industrial o simplemente un banco formado para realizar pruebas educativas.

El objetivo de este trabajo final para la cátedra de Automatización Industrial es construir un banco de pruebas para ser utilizado por cualquier persona dentro el laboratorio de Automatización y Control. Se espera realizar uno que sea capaz de controlar la presión o caudal de agua a través de un sistema ideado y construido por nosotros, que cuente con:

- Motor trifásico 1,5kW (Altium)-*Proporcionado por la cátedra-*
- PLC (**Schneider Electric** - M340) -*Proporcionado por la cátedra-*
- Variador de velocidad (**Schneider Electric**- ATV312 ) -*Proporcionado por la cátedra-*
- Panel de control
  - Botón de emergencia
  - Encendido/ apagado
  - Potenciómetro para variar velocidad
  - Display para observar velocidad
  - Alarmas visuales
- HMI
  - Control general del banco
  - Información en tiempo real
  - Histórico de datos
  - Alarmas

### 3. Definiciones

#### Motor eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas que transforman la energía eléctrica en movimiento (energía cinética). Estos aparatos se componen, básicamente, del rotor y de un estator donde tiene bobinas inductoras desfasadas entre sí 120°

#### Variador de velocidad

Es utilizado para controlar la velocidad de giro de un motor. Para regular las revoluciones, se debe tener en cuenta las características del motor, ya que este tiene una curva propia de funcionamiento. Un variador es capaz de generar elementos control de aceleración, frenado, seguridad, control del torque y operaciones que mejoran la eficiencia energética.

#### PLC

Es una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización para controlar procesos en las industrias.

#### SoMove

Software que permite configurar variadores de velocidad pertenecientes a la empresa **Schneider Electric**.

#### Unity Pro

Software común de programación, puesta a punto y explotación de los autómatas Modicon, M340, Premium, Quantum y coprocesadores Atrium de la empresa **Schneider Electric**.

#### CANopen

CANopen es un protocolo con aplicación industrial de bajo nivel para aplicaciones de automatización. Conecta dispositivos entre sí mediante mensajes entre pares. Basado en el estándar de comunicaciones físicas CAN. Se utiliza en redes de comunicación tipo esclavo, multamaestro.

#### ModBus

ModBus es un protocolo de comunicaciones utilizado para transmitir información a través de redes en serie entre dispositivos electrónicos, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de PLC. Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria. Además, esta red de comunicación industrial usa los protocolos RS232/RS485/RS422.

### HMI - SCADA

Ambas tecnologías, HMI y SCADA, son utilizadas en conjunto en la industria de la automatización. SCADA proporciona funciones de supervisión, alarmas y control, mientras que HMI proporciona las herramientas que necesita para desarrollar imágenes que los operadores pueden usar para monitorear su proceso. El HMI se utiliza para monitorear o visualizar lo ejecutado por SCADA.

### iFIX

Software desarrollado por **General Electric** donde se puede desarrollar aplicaciones sencillas típicas de HMI, o bien, aplicaciones SCADA más complejas como la gestión de elementos y distribución de alarmas.

## 4. Elementos

### 4.1. Motor

El motor (Figura 4.1) asincrónico que se utiliza es de la marca **Altium** perteneciente a la firma **Schneider Electric**. Las especificaciones se muestran a continuación

#### Altium Eff2

- Tipo: TE2A90SP2
- Tensión nominal: 380 V
- Corriente nominal: 3.46 A
- Frecuencia nominal: 50 Hz.
- Potencia: 1.5kW / 2 HP
- Fases: 3
- Factor de Potencia: 0.84



Figura 4.1: Motor Altium

### 4.2. Variador de velocidad

El variador de velocidad que se utilizó pertenece a la marca **Schneider Electric** (Figura 4.2) y posee las siguientes características.

#### Altivar 312

- Modelo: ATV312HU15N4
- Tensión: 380-500 V
- Frecuencia: 50/60 Hz
- Potencia: 1.5kW / 2 HP
- Fases: 3



Figura 4.2: Variador Altivar 312

### 4.3. Módulo didáctico PLC M340

El Laboratorio de Control de la **UNPSJB** cuenta con un módulo didáctico que posee un PLC modelo Modicom M340 de la empresa **Schneider Electric**. Esto cuenta con entradas analógicas, digitales, distintos métodos de comunicación y la capacidad de agregarle otros módulos según las necesidades de los proyectos a desarrollar en un riel.

Los módulos con los que se cuenta son:

- P342030: procesador y módulo de comunicación.
- DDM16022: de entradas y salidas digital.
- ART0414: entradas analógicas preparada para sensores de temperatura.

- AMI0410: entradas analógicas te tensión o corriente.

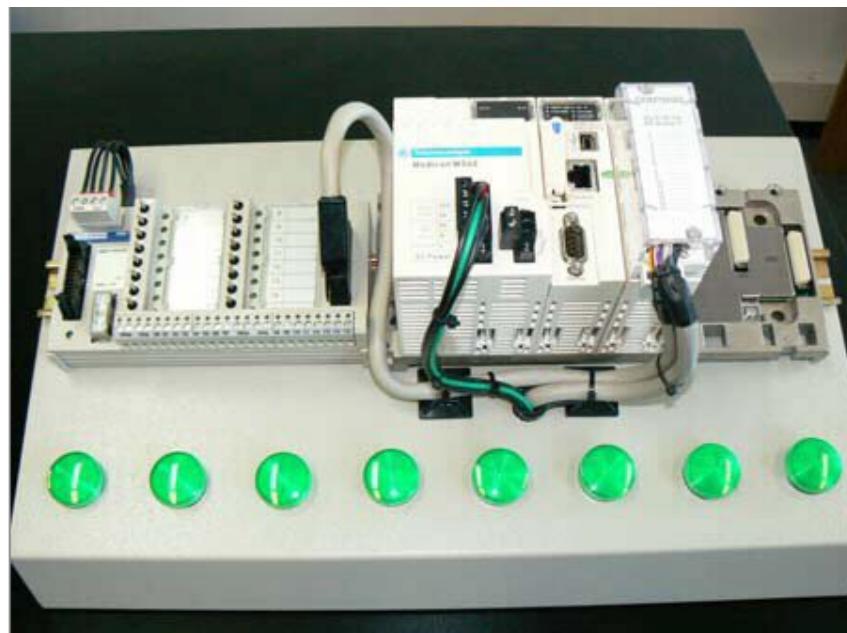


Figura 4.3: Módulo Didáctico PLC M340

### 4.4. Banco de pruebas

Como se nombró en el objetivo, se busca realizar el control de caudal o presión de un sistema hidráulico. Para esto fue necesario realizar la implementación de un banco de pruebas que cuente de tres partes (Figura 4.4).

- Soporte para el motor y variador de velocidad, diseñado y construido por el profesor Gerardo Arthz. A estos elementos se realizó las correspondientes conexiones, y se agregó elementos adicionales: 3 señales luminosas, llave selectora de dos puntos para seleccionar el modo de comunicación, llave selectora de tres puntos (encendido y sentido del motor) y un pulsador de parada de emergencia (Figura 4.5.a). Tanto el motor y los elementos adicionales fueron cableados (Figura 4.5.b) hacia las borneras del variador de velocidad y se tuvo en cuenta para esto las características y funciones del bornero de control proporcionado por el manual del variador de velocidad[1].
- Soporte para una bomba en desuso, de características no conocidas con su bobinado quemado.
- Circuito hidráulico, que incluye un tanque, válvulas y sensores de caudal y presión.



Figura 4.4: Banco de pruebas completo

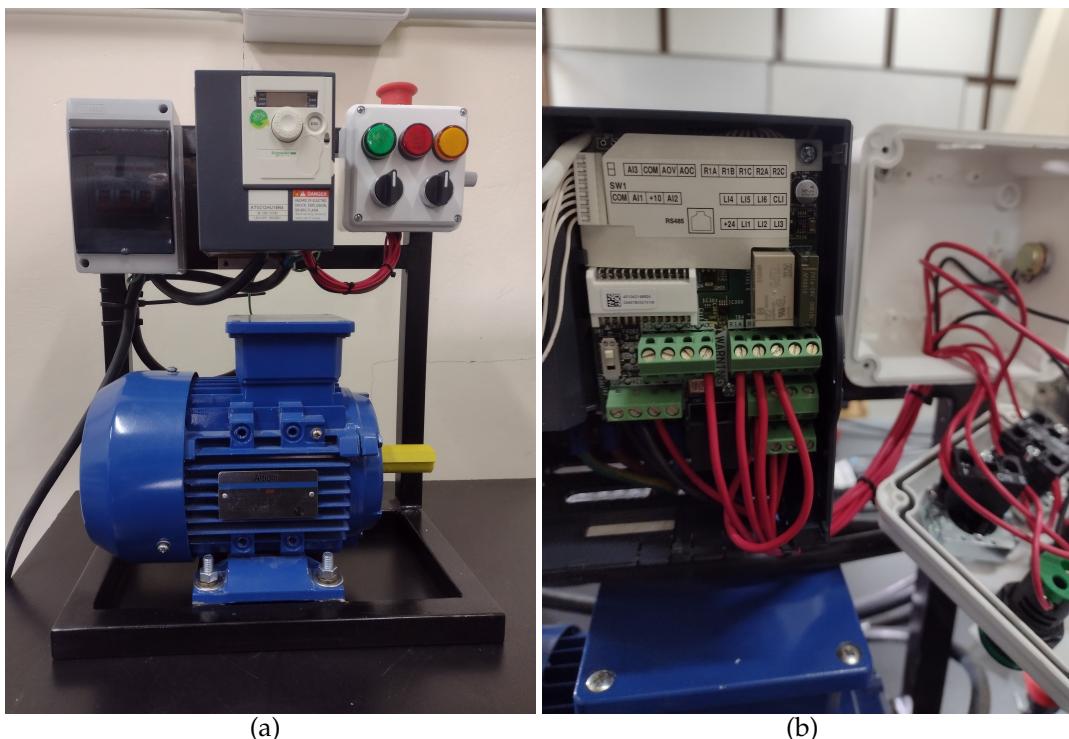


Figura 4.5: Banco de pruebas

### 4.4.1. Transmisor de presión

Para este proyecto se utilizan dos transmisores de presión de montaje en línea modelo EJA530E de la familia DPharp de Yokogawa (Figura 4.6.a).

Las características del EJA530E son:

- Precisión:  $\pm 0,055\%$  de precisión
- Fiabilidad:  $\pm 0,1\%$  Estabilidad por 10 años

- Tiempo de respuesta: 90mseg.
- Lazo de corriente de 4-20mA
- Se puede configurar en la unidad necesaria, en este caso mBar.

#### **4.4.2. Sensor de caudal**

Se utilizó un sensor de caudal (Figura 4.6.b) genérico con las siguientes características:

- Rango de caudal: 2- 60L/min
- Máxima presión de agua: 1,75MPa
- Conversión de caudal: aprox 477pulsos/L ± 10 %



(a) Transmisor de presión  
(b) Sensor de caudal

Figura 4.6: Transmisores

#### **4.5. Diagrama**

En la figura 4.7 se observa el diagrama P&ID realizado en base al banco de pruebas armado dónde están los respectivos elementos, sus nombres y las conexiones eléctricas, hidráulicas y mecánicas. En el Anexo A se encuentra la imagen con mayor tamaño.

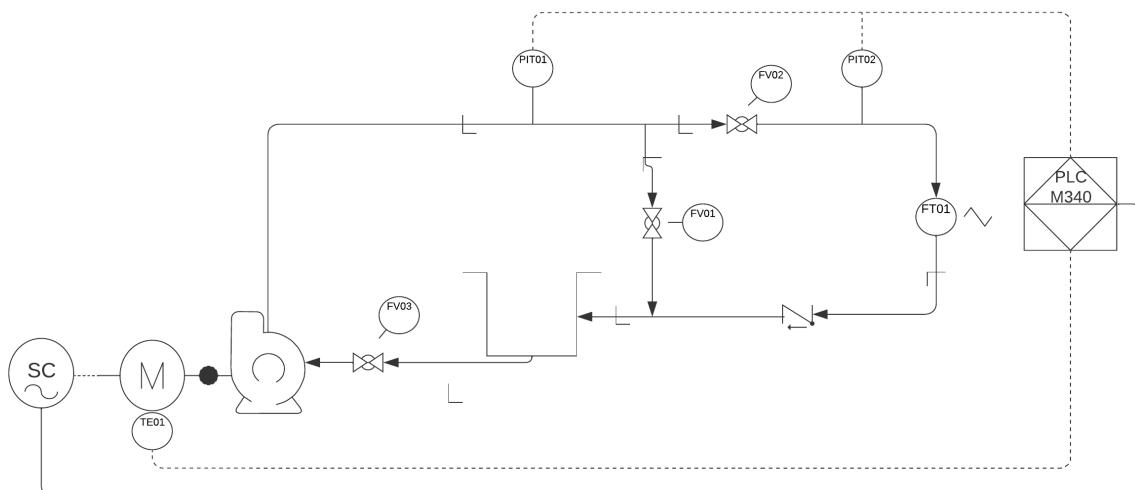


Figura 4.7: Diagrama p&id

#### **4.6. Presupuesto**

Se realizó un presupuesto (Tabla 4.1) estimativo de lo gastado y lo que se hubiese gastado a lo largo del proyecto, este valor final corresponde al mes de enero 2022 y no se tiene en cuenta la bomba que era de descarte, la mano de obra ni el tiempo de programación requerido.

Tabla 4.1: Valores a enero 2022

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Antióxido 1L	0.33	798.9	266.3
Disco corte	0.33	325.8	108.6
Bulones 3/8 x 11/2	0.33	64.2	21.4
Tuercas 3/8	0.33	119.5	39.83
Arandelas 3/8	0.33	51.8	17.27
Tubo 25x25	0.33	3140	1046.67
Planchuela	0.33	690.06	230.02
Caja p/termica térmica serie 3P 10A	1	448.57	448.57
Señal luminosa roja 24V	1	325	325
Señal luminosa verde 24V	1	326	326
Señal luminosa amarilla 24V	1	326	326
Selectora 3p	1	940.6	940.6
Selectora 2p	1	688.5	688.5
Pulsador emergencia	1	773.49	773.49
Terminal presis horquilla	16	5.86	93.76
Ficha industrial, macho 380	1	680	680
Termofusión	1	6000	6000
Motor ALTIUM	1	33000	33000
Variador de velocidad ALTIVAR 312	1	130000	130000
PLC M340	1	225000	225000
		Total= \$	401401.91

## 5. Preliminares

### 5.1. Programación variador de velocidad

Para realizar la configuración del variador de velocidad con los parámetros del motor se utilizó el software **SoMove** a través del protocolo **ModBus**. Se descargó la ultima versión desde la página oficial de **Schneider Electric**<sup>1</sup> y luego, la librería DTM correspondiente al variador a utilizado<sup>2</sup>.

Una vez realizado esto se procedió a generar un nuevo proyecto donde se eligió las características del variador (Figura 5.1 y 5.2). El próximo paso fue realizar por medio del software la carga de los parámetros del motor (Figura 5.3) y establecer el modo de funcionamiento de las entradas y el protocolo de comunicación.

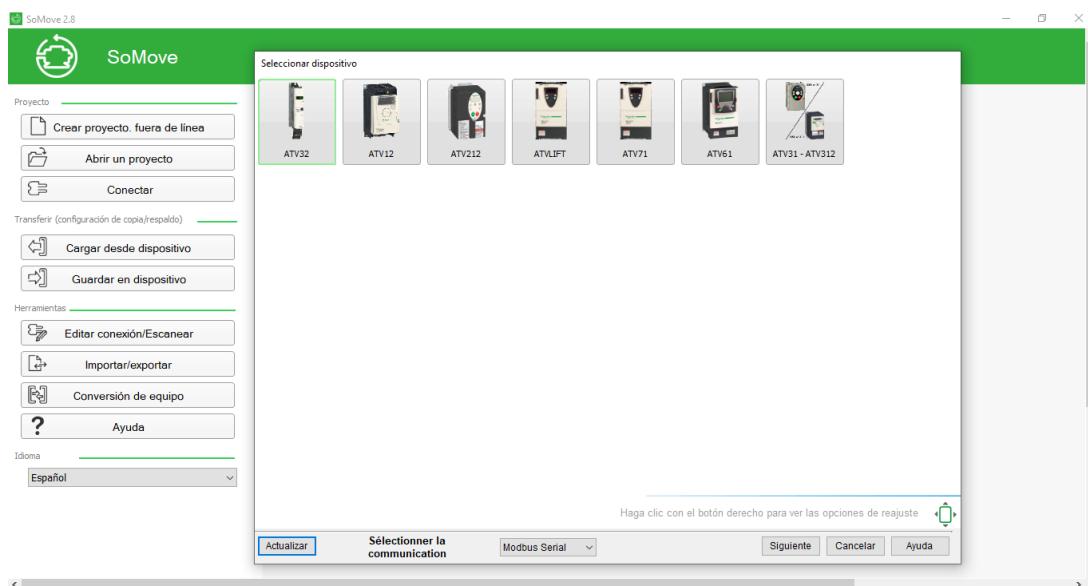


Figura 5.1: Elección de Altivar 312

<sup>1</sup><https://www.se.com/ar/es/product-range-presentation/2714-somove/>

<sup>2</sup>[https://www.se.com/ar/es/download/document/Altivar\\_DTM\\_Library/](https://www.se.com/ar/es/download/document/Altivar_DTM_Library/)

## Automatización Industrial - Trabajo Final

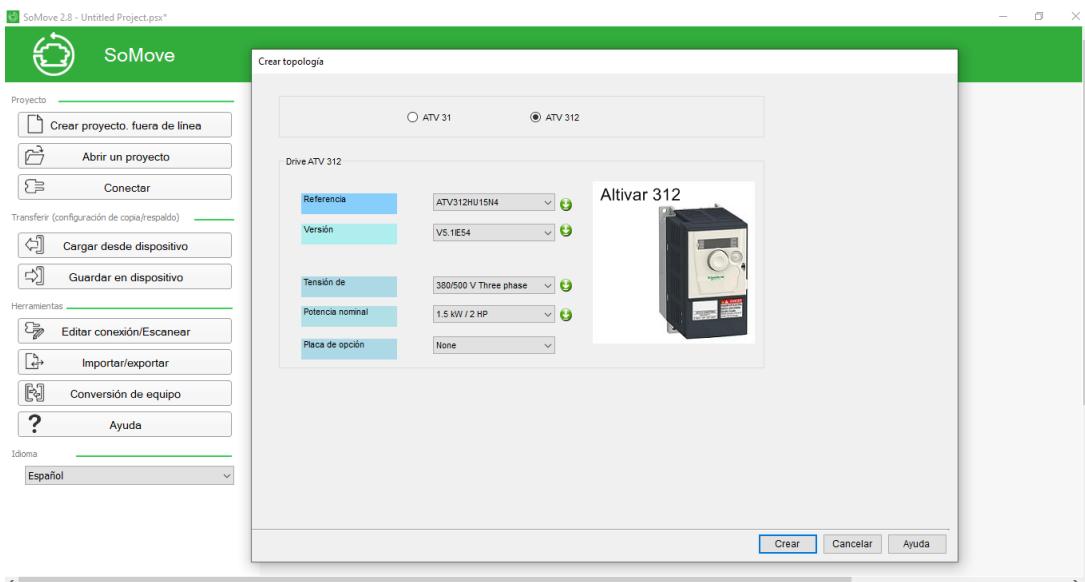


Figura 5.2: Parámetros del variador

Code	Long Label	Current Value	Default Value
UNS	Tensión nominal motor	380 V	400 V
NCR	Intensidad Nom Motor	3.4 A	3.5 A
COS	Motor 1 cos fi	0.84	0.79
ACC	Rampa aceleración (s)	10 s	3 s
DEC	Rampa deceleración (s)	10 s	3 s
NSP	Velocidad nom motor	2840 rpm	1420 rpm
BRL	Apertura de freno (Hz)	2.6 Hz	2139.8 Hz
LAC	Nivel acceso funciones	Nivel 3	Nivel 1
FR2	Canal Referencia 2	Modbus	No
RFC	Asig.conmut.ref.(1a 2)	LI4	Canal1 act.
CHCF	Config. modo control	Separados	No separad.
CCS	Comutación canal ctrl	LI4	Canal1 act.
ROT	Sent marcha autorizado	Ambos	Avance
DO	Salida Analog/logica	Fallo equipo	No
R1	Asignación del relé R1	Var.marcha	Sin fallo
FST	asignación stop rápida	LI5	No
PS2	2 velocidad preselecc	No	LI3
PS4	4 velocidad preselecc.	No	LI4
LET	Config. fallo externo	Activo a 0	Activo a 1
EPL	Gestión fallo externo	Paro rampa	Rueda libre

Figura 5.3: Lista de parámetros modificados

Para realizar esta primera configuración se realizó la comunicación de la computadora con el variador a través del protocolo **ModBus** (Figura 5.4) por medio de un cable que en un extremo poseía una ficha RJ45 con un conversor RS485 y en el otro, ficha USB (Figura 5.5).

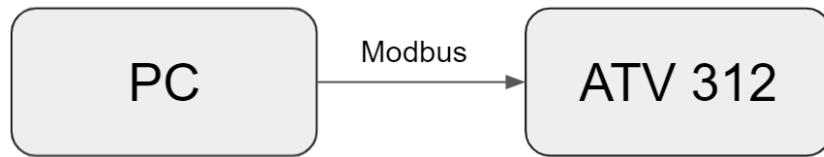


Figura 5.4: Diagrama comunicación PC- Variador

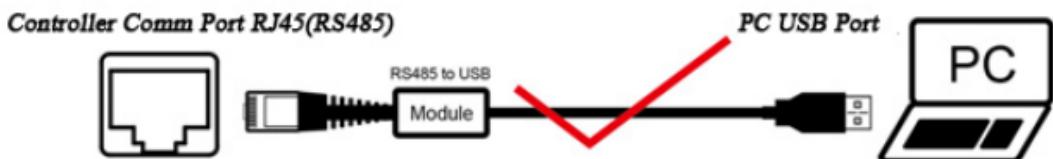


Figura 5.5: Cable de comunicación

## 5.2. Comunicación variador de velocidad - PLC

Para poder realizar la comunicación entre el variador y el PLC es necesario contar con un cable que realice la conexión desde la salida CANOpen a RS485, para esto se necesitó hacer un cable con las fichas correspondientes en cada extremo según las conexiones que muestran en la Figura 5.6, colocando a su vez resistencia de  $120\ \Omega$  en cada punta para evitar ruidos eléctricos y fenómenos de reflexión en la línea.

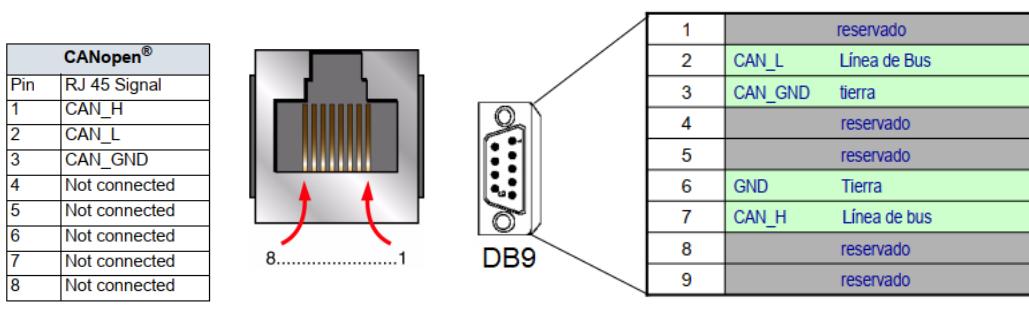


Figura 5.6: Conexión fichas RJ45- DB9

## 5.3. Programación Unity Pro

Para generar la base del proyecto para trabajar, se debe descargar desde la página oficial e instalar el software **Unity Pro XL** y la librería DTM utilizada en el software **soMove** correspondiente al variador que se posee. Una vez que esto está instalado se abre un nuevo proyecto y se configura siguiendo los siguientes pasos.

1. Se selecciona el bastidor que se posee.
2. En la configuración gráfica del bastidor (Figura 5.8) podemos introducir los módulos deseados haciendo un clic en la posición seleccionada (Figura 5.7). El laboratorio cuenta con un PLC modular didáctico de la marca **Schneider Electric**

- de la familia **Modicon** modelo **M340** con los módulos nombrados anteriormente (Sección 4.3).
3. Se debe configurar el módulo Ethernet desde el explorador de Proyectos desplegamos la carpeta Comunicación y se realiza clic con el botón derecho sobre Redes y luego en Nueva Red, Ethernet (Figura 5.10).
  4. Se creó una nueva sección para lenguaje FDB para ver parámetros básicos.
    - Los Diagramas de Bloques de Función consisten en un Editor gráfico orientado al dibujo de bloques. El lenguaje consiste en los Bloques de Funciones reusables elementales y derivados.

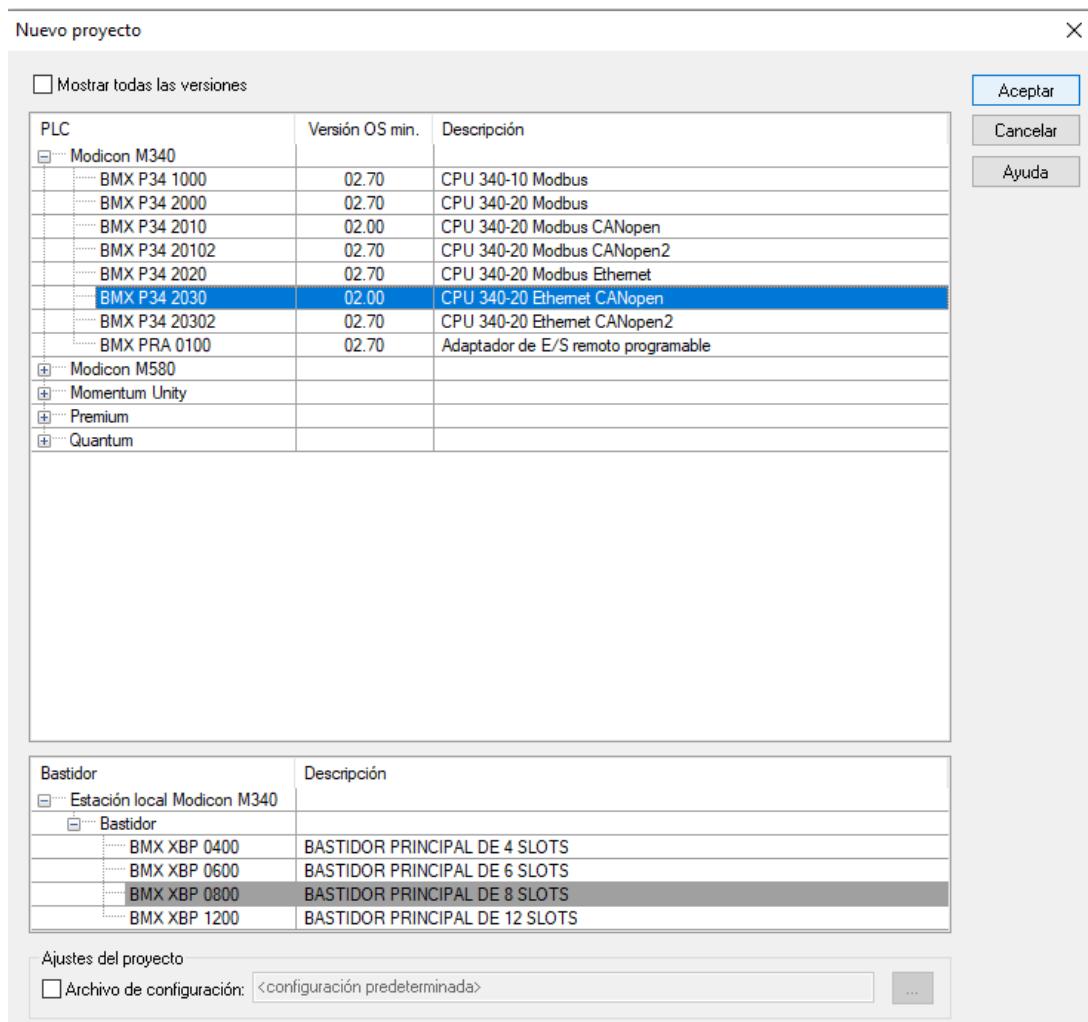


Figura 5.7: Elección del bastidor

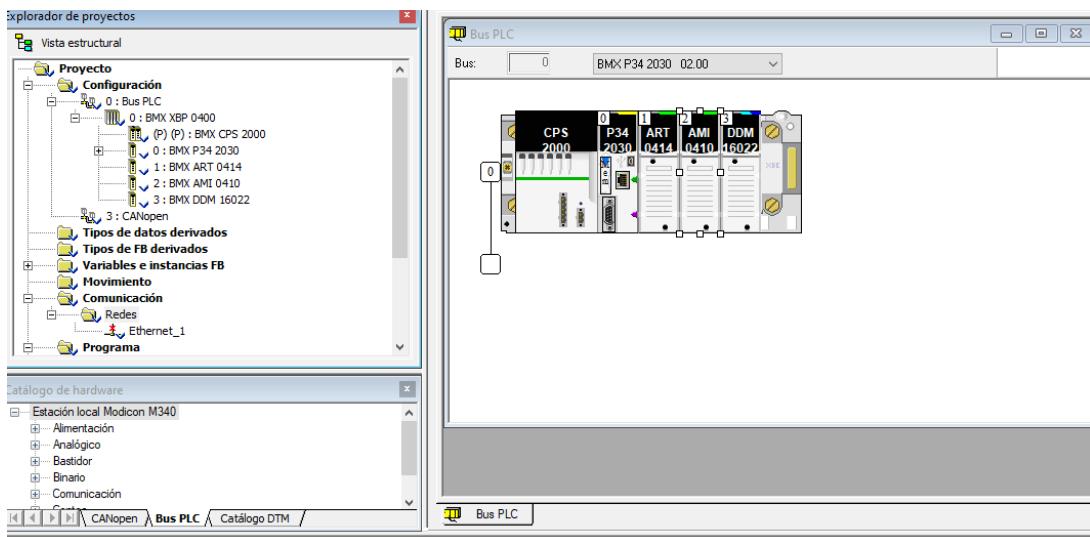


Figura 5.8: Módulos PLC

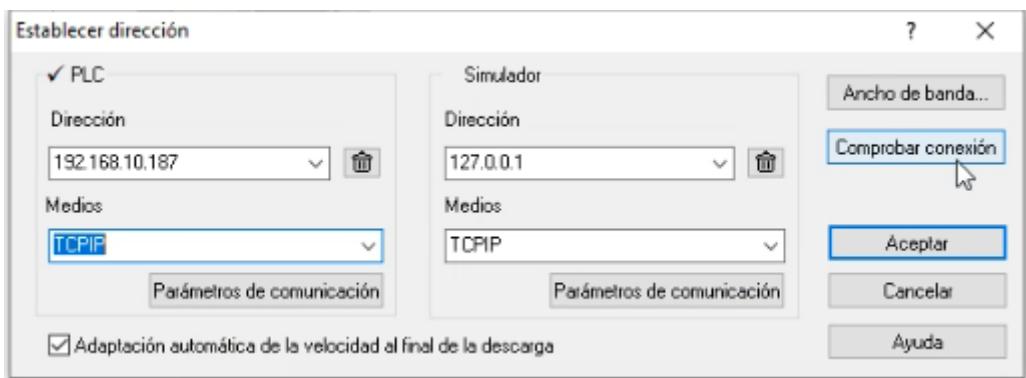


Figura 5.9: Dirección IP

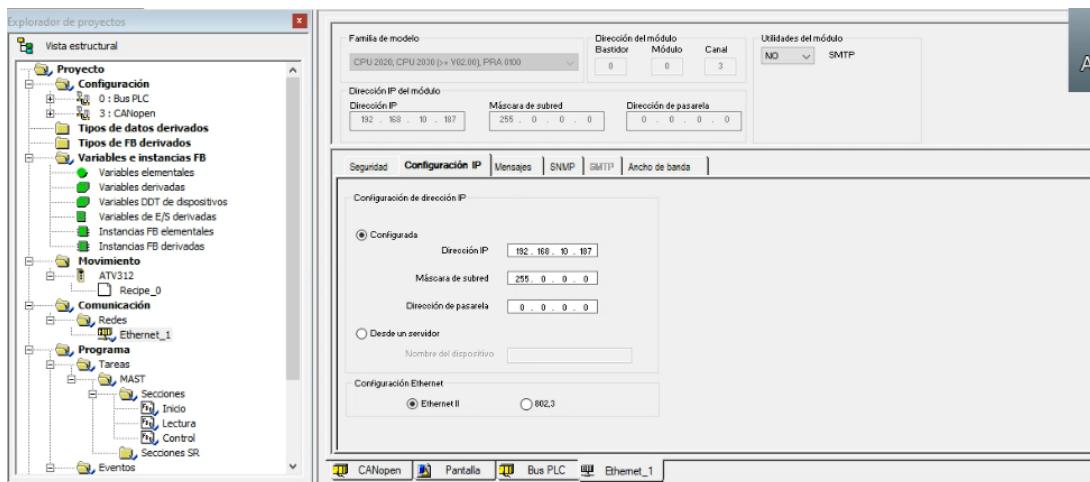


Figura 5.10: Dirección módulo Ethernet

Una vez que se completó la configuración de la comunicación variador - PLC se procedió a crear una *Pantalla de operador* dentro del mismo programa (Figura 5.11) la cual fue utilizada para interactuar y observar diversos parámetros, como modificar

velocidades, observar señales luminosas y ver distintos valores proporcionados por el variador de velocidad.



Figura 5.11: HMI simple

Para realizar la programación del HMI se utilizó los MFB del software UnityPro (Figura 5.12). Estos bloques necesitan de un bloque maestro “CAN\_HANDLER” el cual permite comprobar la comunicación CANopen, así como la coherencia entre las configuraciones de software y física.

Otros de los bloques más utilizados dentro del programa fueron “MC\_READPARAMETER” que se utiliza para leer, mediante mensajes SDO, una variable del variador definida en una dirección CANOpen dada por el fabricante [2].

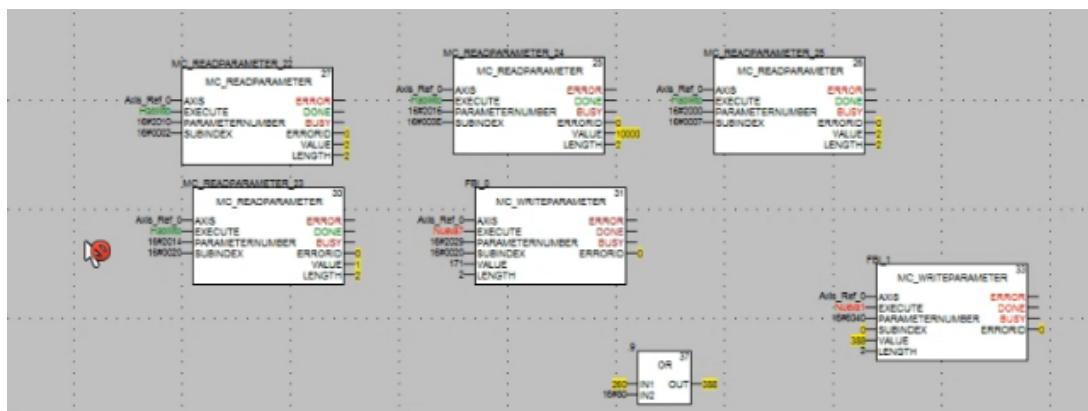


Figura 5.12: Programa con bloques MFB

### 5.3.1. Entradas analógicas

En el rack del PLC se encuentra un módulo AMI0410 el cual consiste en cuatro entradas analógicas (Tensión/Corriente) aisladas del siguiente tipo:

- Corriente +/- 20 mA
- Corriente 0 a 20 mA
- Corriente 4 a 20 mA
- Tensión +/- 10 V
- Tensión +/- 5 V

- Tensión 0 a 10 V
- Tensión 0 a 5 V
- Tensión 1 a 5 V

El módulo dispone de 20 bornes accesibles al usuario siendo el diagrama de conexión tanto para entradas de tensión o corriente el mostrado en la figura 5.13.

Para la configuración en **Unity PRO** se eligen de las opciones anteriores la que se va a utilizar, en nuestro caso de 4 a 20 mA y el escalado predefinido de fábrica es de 0 a 10000 cuentas pero modificable por el usuario entre -32768 a 32767 ya que la resolución de las entradas analógicas es de 16 bit. También es posible añadir un filtro de primer orden a cada entrada por software (Figura 5.14).

Con el rango de cuentas del módulo determinado, se requiere escalar la variable para obtener el valor físico y así utilizarla para la visualización y control del banco de pruebas. Para el escalado de la señal de entrada se realizó un nuevo bloque FB derivado, que fue construido en base a elementos primarios, para evitar realizar un proceso repetitivo para el escalado de varias señales (Figura 5.15).

En la variable de entrada se coloca la señal que se desea escalar. En los límites de entrada se escribe el rango del módulo visto anteriormente, y en los límites de salida, los escalados obtenidos del instrumento utilizado. A la salida del bloque se obtiene el valor físico visualizado o transmitido por el instrumento.

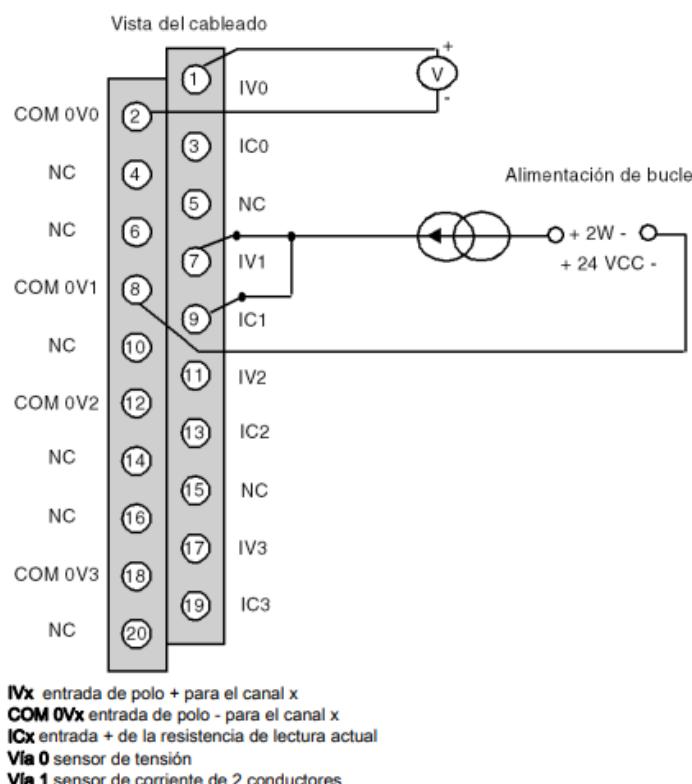


Figura 5.13: Módulo AMI0410

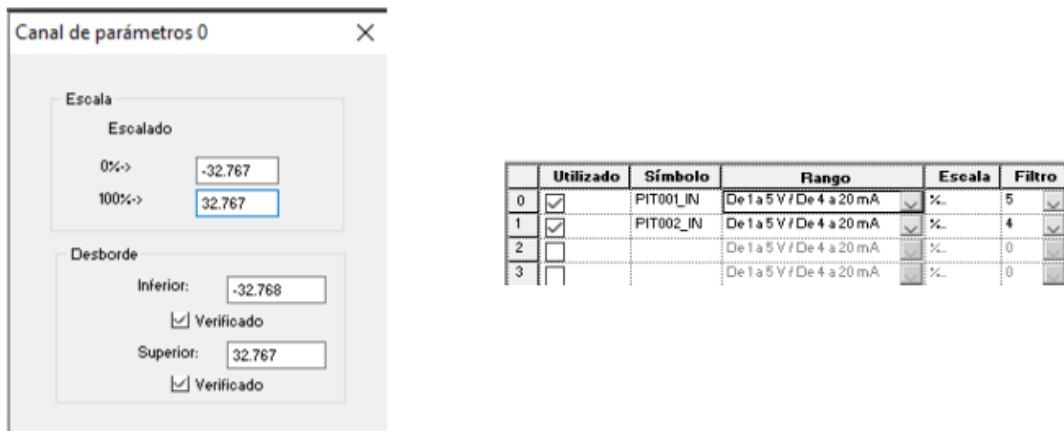


Figura 5.14: Rango y escalado

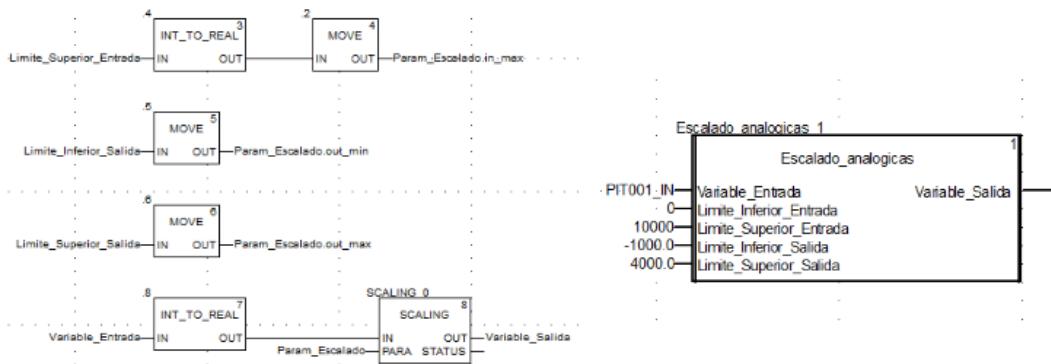


Figura 5.15: Bloques de escalado

### 5.3.2. Entradas analogicas para termocuplas o RTD

Se utiliza el módulo ART0414 que consiste en cuatro entradas aisladas en las que se pueden conectar sensores de temperatura del tipo termocupla y RTD con las siguientes características:

- RTD IEC Pt100/Pt1000, US/JIS Pt100/Pt1000, Cu10, Cu50, Cu100, Ni100/Ni1000 en 2, 3 o 4 conductores
- Termoelemento del tipo B, E, J, K, L, N, R, S, T, U
- Tensión +/− 40 mV a 1,28 V

Para la conexión de sensores se utiliza el accesorio TELEFAST ABE-7CPA412 (Figura 5.16). Y se tienen las siguientes formas de conexión dependiendo el tipo de sensor (Figura 5.17).

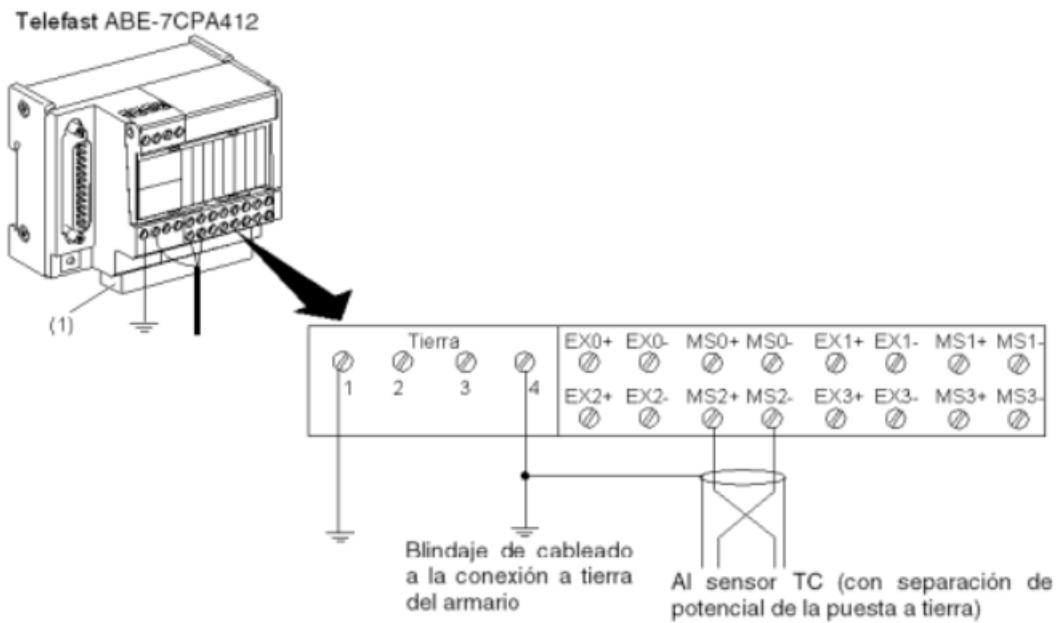
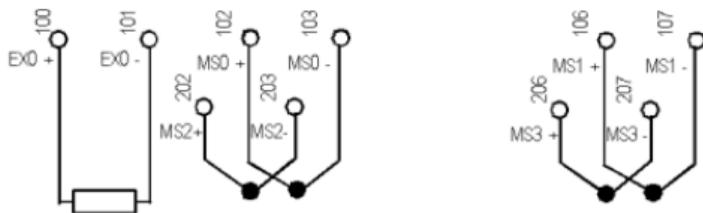


Figura 5.16: Accesorio TELEFAST ABE-7CPA412



**Leyenda:** Funcionamiento en modalidad TC con compensación de unión en frío y una sonda PT100 de 2 conductores.

Figura 5.17: Conexión según sensor

Para su configuración en Unity Pro se selecciona en Rango las características del sensor y en escala se modifica los valores para que coincidan con los máximos y mínimos del sensor. Para el caso de RTD y Termocupla los valores son múltiplos de 10 respecto a la temperatura en °C o °F. En la imagen 5.18 se observan dos elementos ya que se probó realizar la configuración con una termocupla y un RTD. Finalmente se eligió el RTD PT1000 dónde el valor obtenido se divide por 10 y se genera el valor de temperatura en °C con un decimal (Figura 5.18).

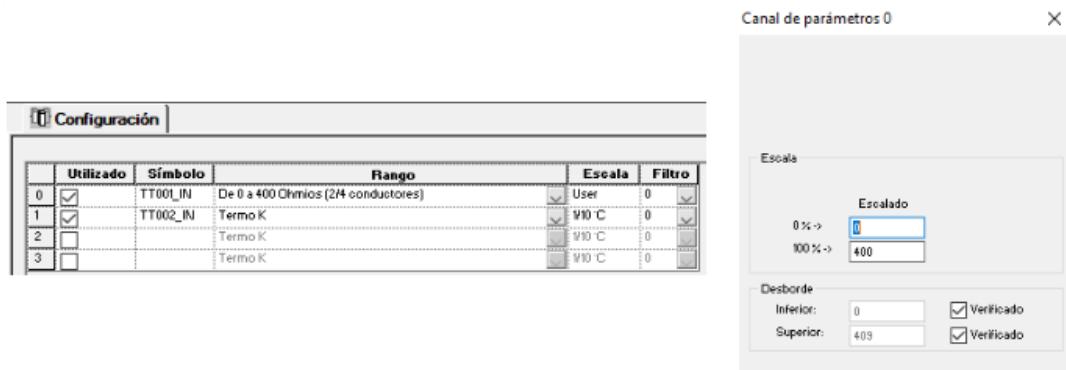


Figura 5.18: Rango y escalado

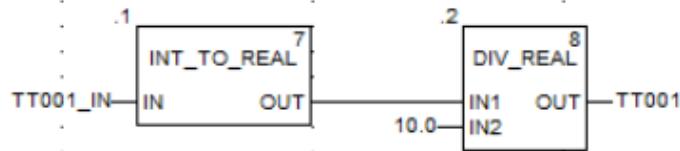


Figura 5.19: Bloque de escalado

### 5.3.3. Medición de caudal

Según la cantidad de flujo que pase por el caudalímetro, este entregaría pulsos que debían ser leídos con un módulo externo del PLC por la baja resolución que posee. Para esto se planteó utilizar un ESP8266 como interfaz para obtener los pulsos, colocarlos en un registro y enviarlos por un servidor Modbus TCP cada 20ms al PLC. En la sección de programación del PLC se realizó las cuentas correspondientes para realizar la conversión de pulsos a caudal (Figura 5.20). Tanto para el módulo, como para el caudalímetro se usó una fuente externa de 3,3 V de alimentación.

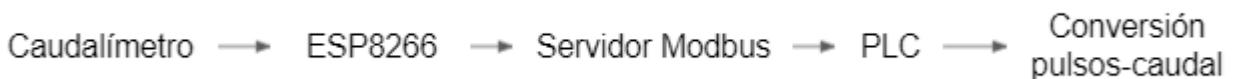


Figura 5.20: Diagrama de flujo del caudalímetro

## **6. Desarrollo**

A partir de lo programado en **Unity PRO** utilizado para obtener los primeros registros, se realizó modificaciones necesarias donde se eliminó y agregó variables de la lista de direcciones (Tabla B.1 en Anexo B) que se creyeron necesarias a la hora de implementar el proyecto quedando un mapa de memoria como el de la figura 6.1

Valores Digitales	Device0:000003 ... Device0:000010 Device0:000011 ... Device0:000016
Valores Analógicos	Device0:400001 ... Device0:400083
Registros	Device0:400101:4 ... Device0:400101:6

Figura 6.1: Esquema de memoria

### **6.1. Adquisición de datos**

En el objetivo se propuso que el sistema sea capaz de controlar presión o caudal. Para lograr lo estipulado, como en cualquier sistema de control, es necesario conocer las plantas con las que se trabajará, reconociendo en el banco de pruebas tres sistemas con los que se trabajará:

- PIT01: Presión 1 medida a la salida de la bomba.
- PIT02: Presión 2 medida luego de la columna que deriva el fluido.
- FT01: Caudal que pasa por PIT02.

Para realizar las estimaciones de las plantas del sistema se utilizó el protocolo OPC en conjunto con Matlab. Por medio de OFS, se procedió a crear y configurar un servidor con la dirección correspondiente y se seleccionó el programa realizado en UnityPro donde se encontraban las variables necesarias (Figura 6.2).

Una vez configurado el servidor se abre el programa **OPC Factory Server** dando inicio al servidor (Figura 6.3.a). Para observar si la comunicación esta establecida de forma correcta, se utilizó el programa **OFS Client** dónde se debió agregar el tag correspondiente a la variable a observar (Figura 6.3.b)

Una vez corroborada la comunicación con el servidor OPC, se procedió a crear un cliente OPC en **Simulink** (perteneciente a **Matlab**) para adquirir y guardar las variables necesarias.

#### **6.1.1. Uso de Matlab**

En el entorno **Simulink** se procedió a configurar un bloque de cliente OPC con la dirección IP donde se encuentra el servidor previamente creado. Luego, para leer las variables necesarias se creó un bloque de lectura OPC (Figura 6.4.a) y con un bloque

# Automatización Industrial - Trabajo Final

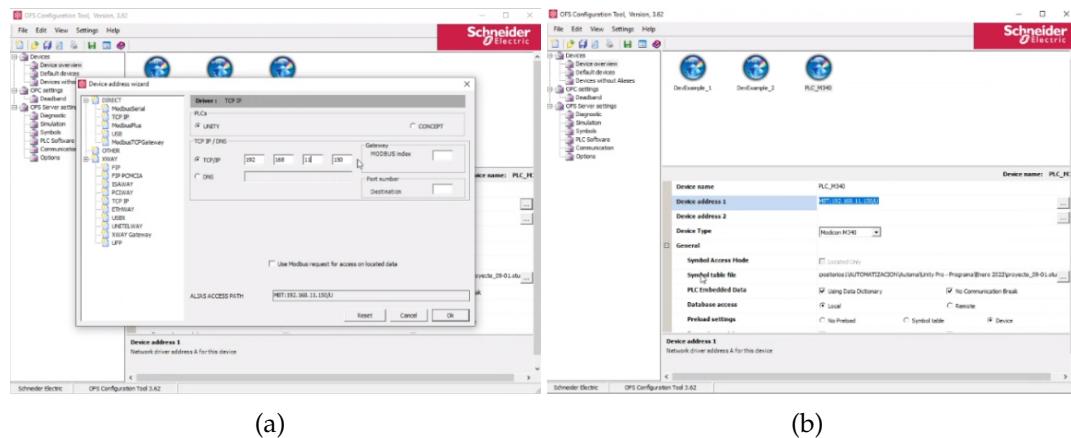


Figura 6.2: Configuración OPC

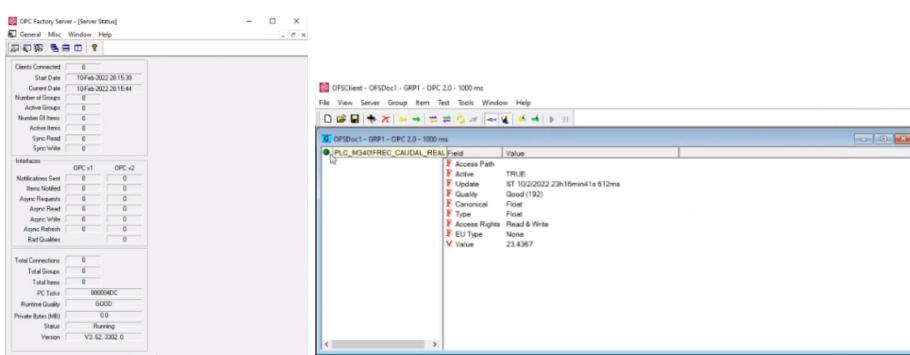


Figura 6.3: Conexión servidor OPC

*Scope*, se activó la opción para que se guarden los vectores de las variables a estudiar (Figura 6.4.b).

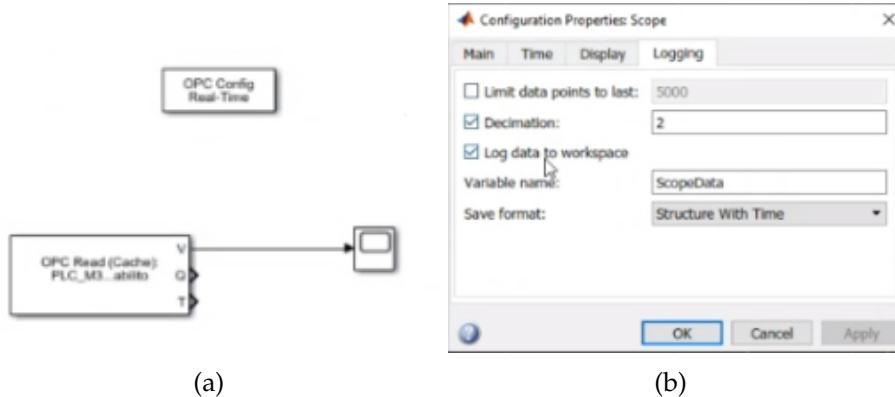


Figura 6.4: Cliente OPC en Simulink

### 6.1.2. Estimación de la planta

Para realizar la estimación de las plantas se utilizó el Método de Strejc con retardo (Figura 6.5)[3]. Este método se emplea para la identificación de sistemas de polos múltiples, mediante los parámetros  $T_u$  y  $T_a$  obtenidos sobre la respuesta del sistema. Tras obtener el valor de los parámetros, se determinará la multiplicidad del polo.

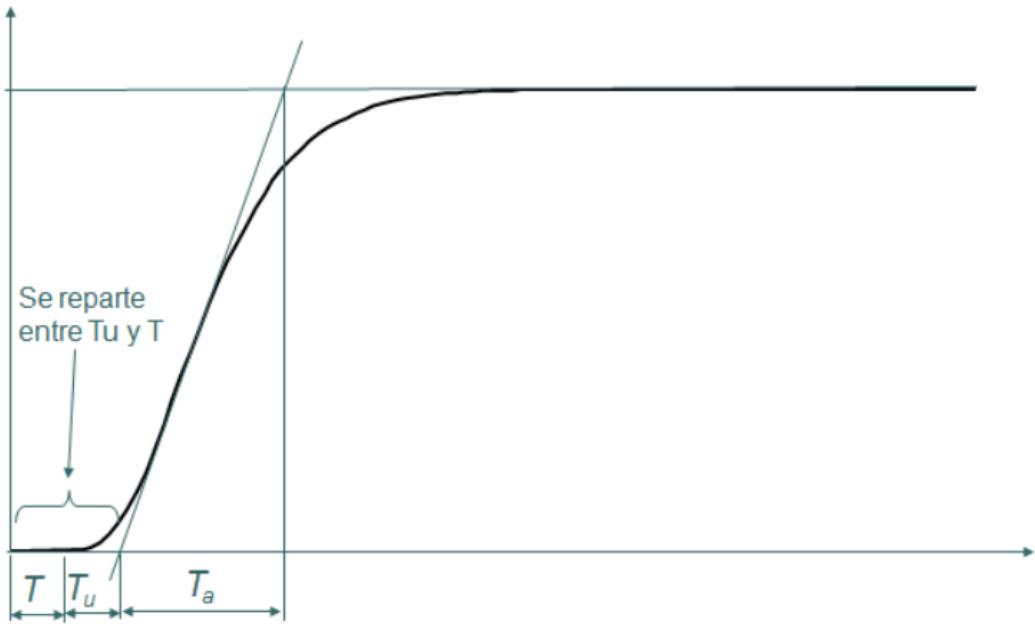


Figura 6.5: Parámetros de Strejc con retardo

La función de transferencia general para un sistema de polos múltiples es:

$$G(s) = \frac{K}{(1 + \tau \cdot s)^n} \cdot e^{-T_s} \quad (1)$$

Dónde:

- K: Ganancia del sistema  $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$
- $\tau$ : constante de tiempo
- T= Retardo

Para obtener la función de transferencia se realizó un script en **Matlab** que dió como resultado los siguientes sistemas:

- Planta de presión PIT01:

$$G(s) = \frac{0,135}{(1 + 1,3783 \cdot s)^3} \cdot e^{-1,2 \cdot s} \quad (2)$$

- Planta de presión PIT02:

$$G(s) = \frac{0,125}{(1 + 1,054 \cdot s)^3} \cdot e^{-s} \quad (3)$$

- Planta de caudal FT01:

$$G(s) = \frac{0,003784}{(1 + 0,7027 \cdot s)^3} \cdot e^{-s} \quad (4)$$

### 6.1.2.1. Comparación numérica- real

En las siguientes imágenes (Figura 6.7 ,6.8 y 6.6) se observa la gráfica de cada planta estimada comparada con los datos obtenidos en las mediciones.

Cabe destacar que las plantas fueron calculadas para los rangos medios que normalmente se utilizará dado que los sistemas de presión no presentan una ganancia estática constante. Se puede observar que los sistemas de tercer orden se adaptan bien a los datos obtenidos durante las pruebas.

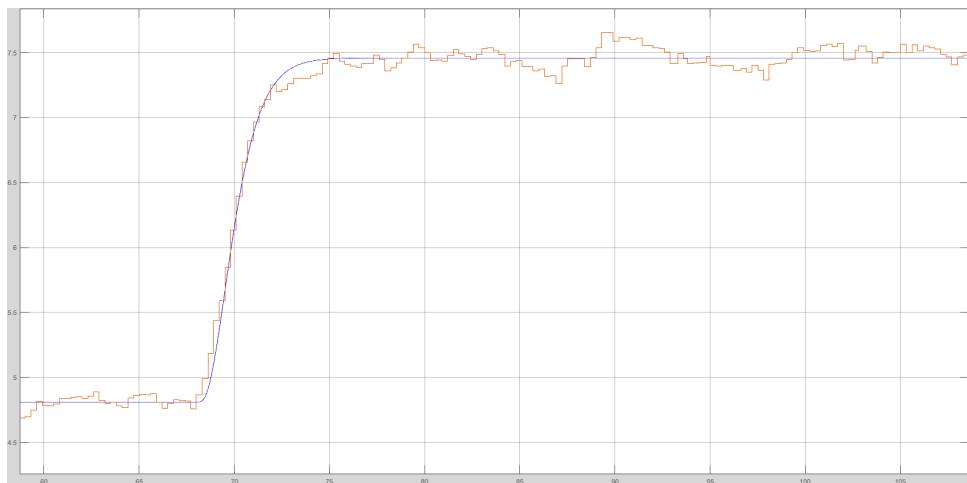


Figura 6.6: Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para FT01

### 6.1.3. Cálculo del controlador PID

El controlador PID de cada planta se calculó con *Tune PID controllers* (Figura 6.9), donde se buscó que las respuestas sean capaces de mitigar los cambios producidos por la ganancia, y además obtener un control apropiado al sistema.

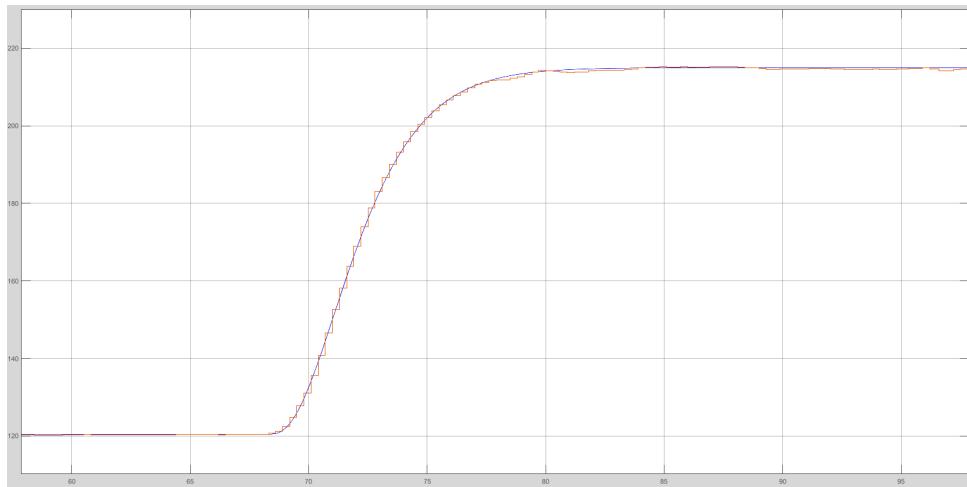


Figura 6.7: Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para PIT01

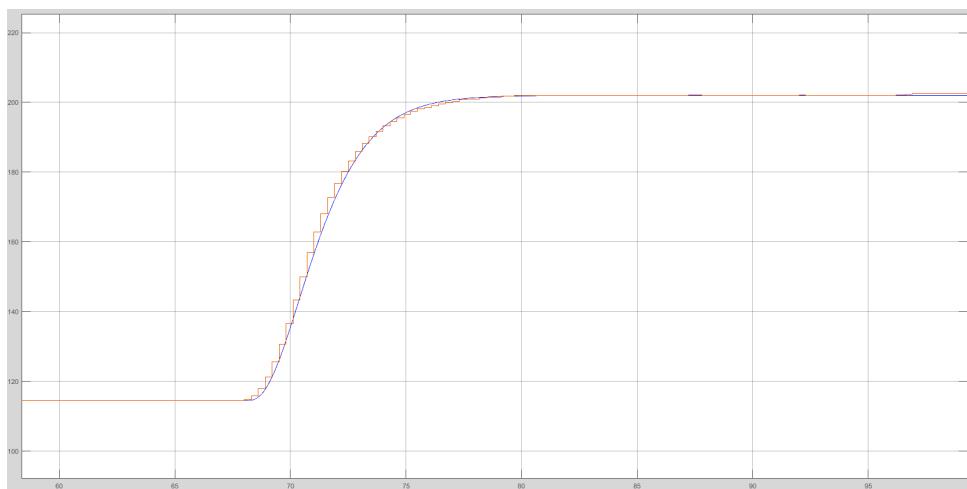


Figura 6.8: Comparación de la planta estimada y los valores obtenidos para PIT02

Se realizaron pruebas con diversos PID para observar la respuesta a cada sistema, en las figuras 6.11 , 6.12 y 6.13 se comparan dos PI para cada planta. Se observan que las respuestas se buscaron que no sean tan rápidas ni con tanto sobre paso.

Los valores obtenidos de la aplicación perteneciente a **Matlab** se muestran en la tabla 6.1, los cuales se ingresaron en los bloques de **UnityPro** con las respectivas modificaciones numéricas según lo establecido por el software. Los valores mostrados en dicha tabla serán usados al momento de restablecer los PID del sistema en la pantalla SCADA presionando el botón C (Figura 6.10).

	PIT01	PIT02	FT01
$K_p$	3,11	3,36	117,1
$K_i$	0,35	0,46	0,62
$K_d$	0	0	0
N	100	100	100

Tabla 6.1: Valores de PID

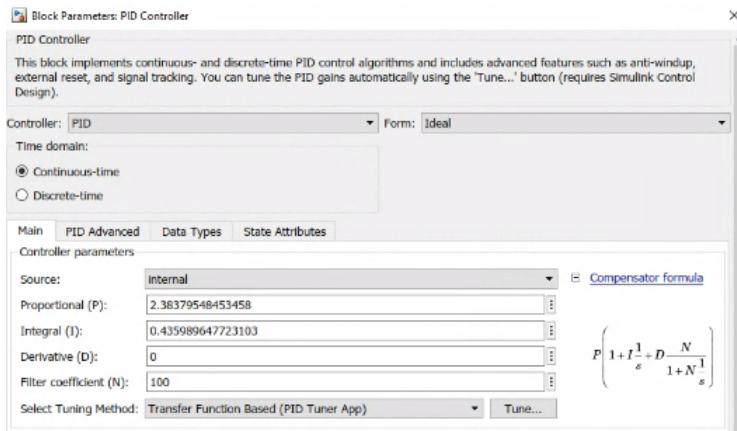


Figura 6.9: PID Controller

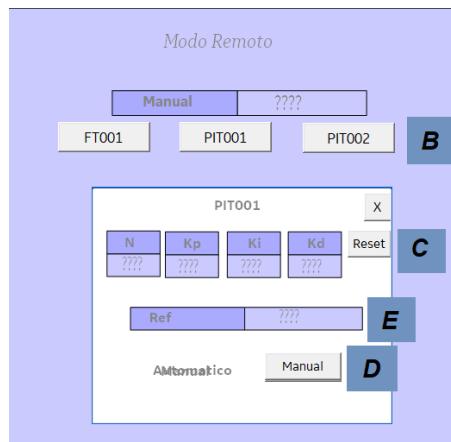


Figura 6.10: Modo lazo cerrado

#### 6.1.4. Pruebas de control

Para observar la respuesta del sistema de control se generaron perturbaciones con las válvulas del banco de prueba. FIGURA 6.14 poner con el diagrama de p Y id cual fue la q se cerró acá solo se cerró

#### 6.1.5. Valores extremos/críticos de estudio

##### 6.1.5.1. Máxima presión

Para esta prueba se llevó al motor a su máxima frecuencia (60Hz) de trabajo, se dejó la válvula FV03 totalmente abierta y se cerraron las válvulas FV01 y FV02 (Figura 4.7). Esto provocó que la bomba llegue a su máxima presión que se obtiene al momento en que el caudal que circula por PIT01 se hace muy próximo a cero.

**Máxima presión:** 938 mbar

##### 6.1.5.2. Mínima presión

Para obtener el valor de mínima presión de trabajo se configuró el VSD a 20 Hz y se abrieron todas las válvulas (Figura 4.7), ésto generó que la bomba impulse el caudal con el menor esfuerzo.

**Mínima presión:** 65,43 mbar

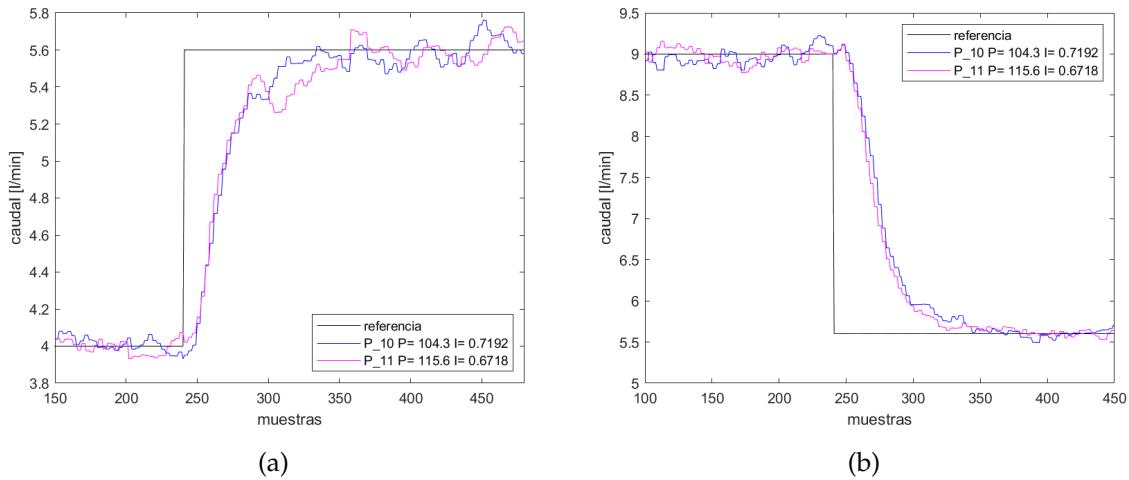


Figura 6.11: Comparación PID para FT01

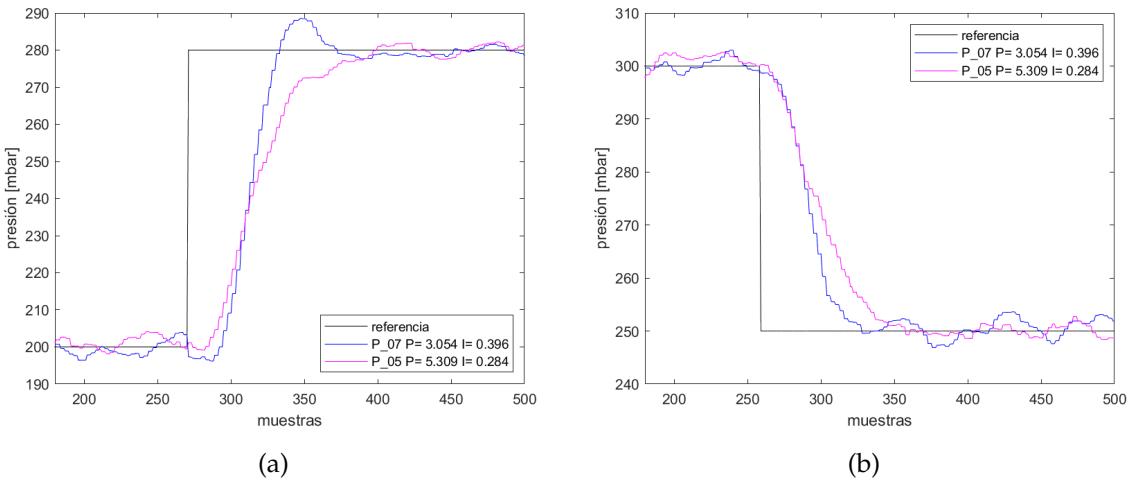


Figura 6.12: Comparación PID para PIT01

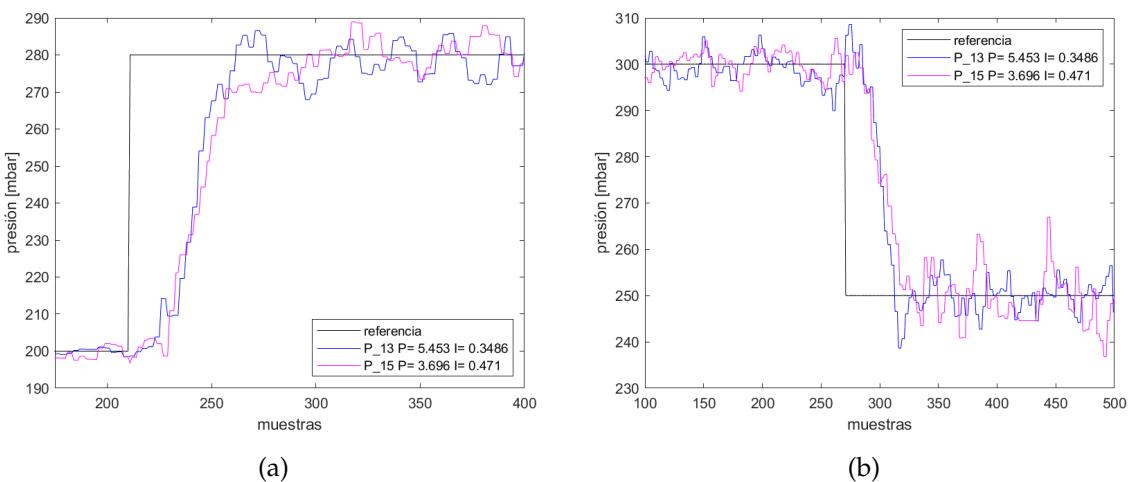
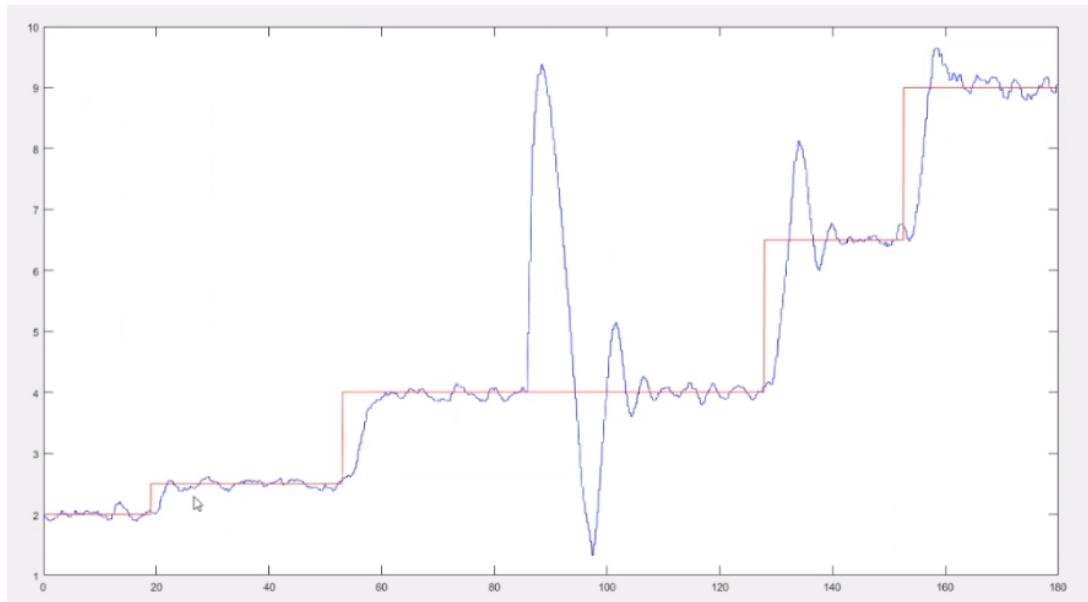
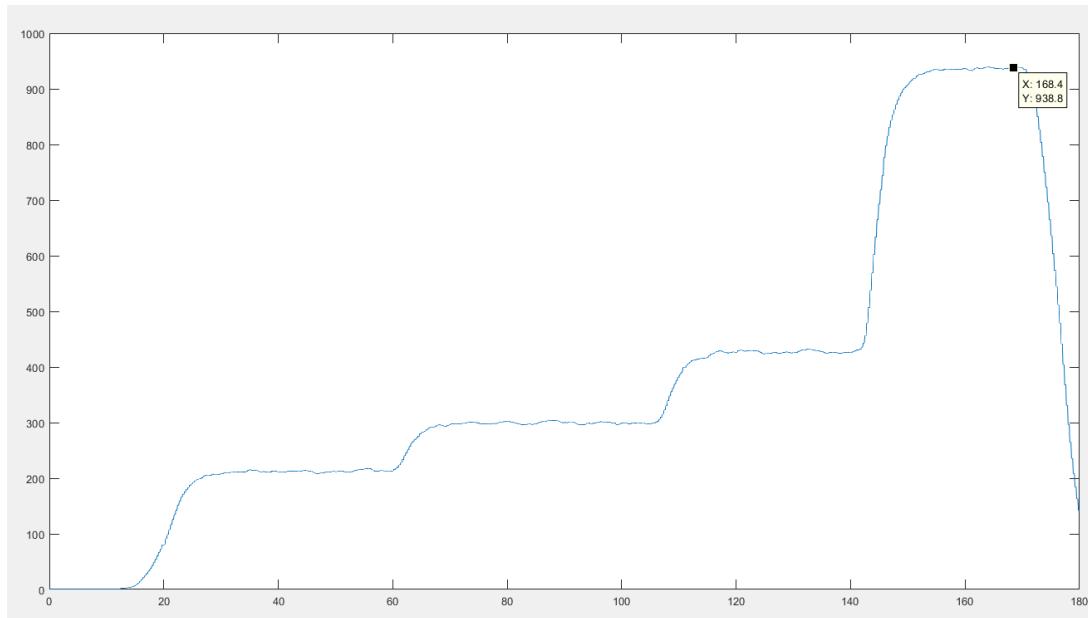


Figura 6.13: Comparación PID para PIT02



**Figura 6.14:** Comportamiento del sistema ante perturbaciones

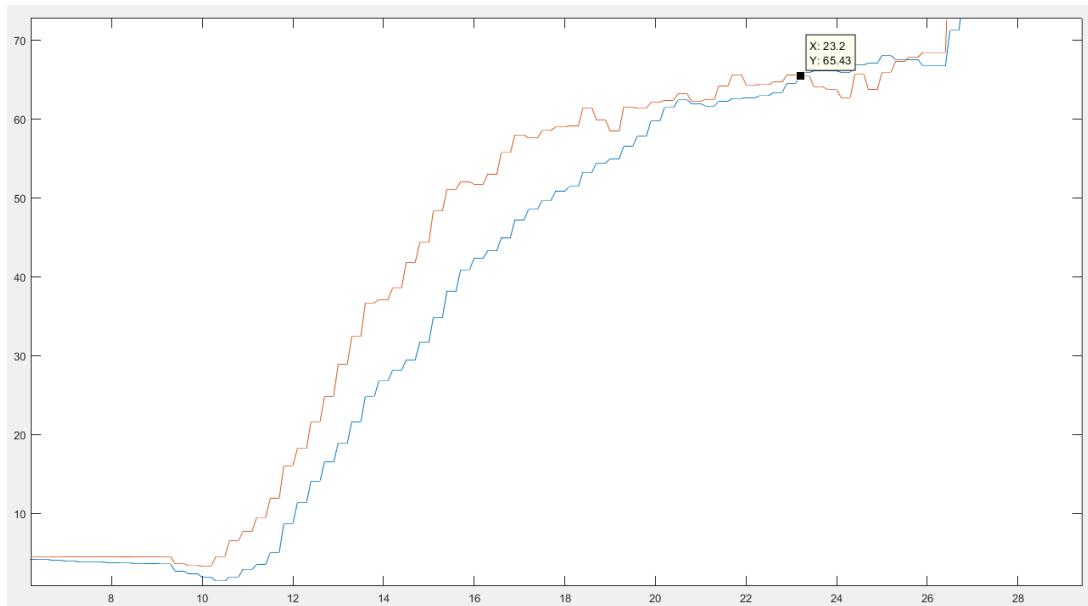


**Figura 6.15:** Máxima presión

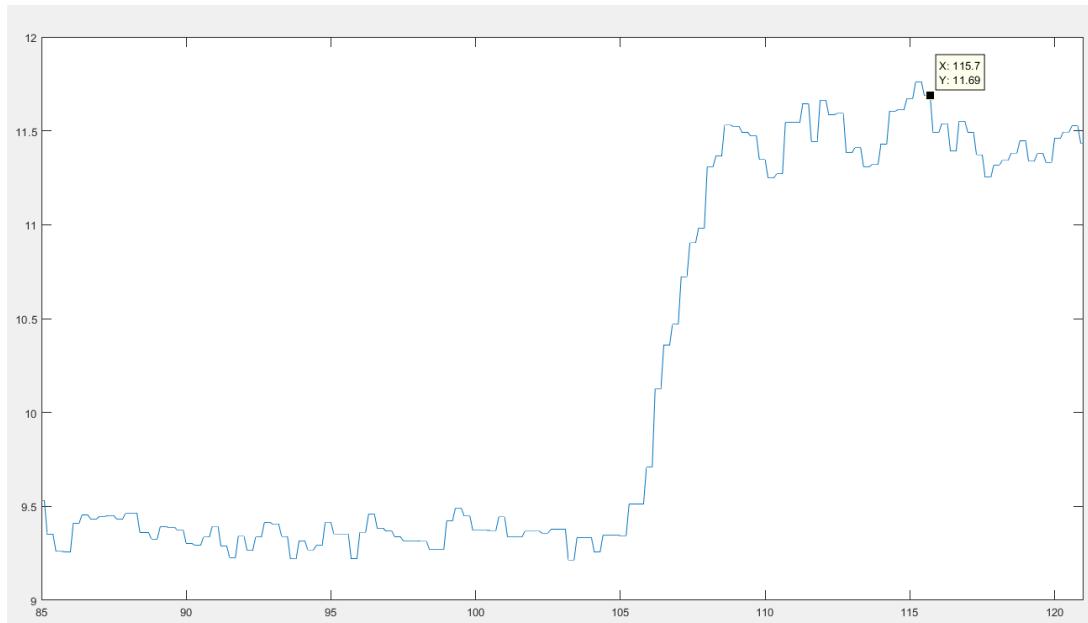
#### 6.1.5.3. Máximo caudal

Para obtener el valor de caudal máximo se llevó al motor a su máxima frecuencia (60 Hz), se abrió completamente la válvula FV03 y FV02, y se cerró la válvula de BYPASS FV01 (Figura 4.7). Esto provoca que todo el caudal impulsado por la bomba circule por el caudalímetro FT01.

**Máximo caudal:** 11,69 L/min



**Figura 6.16: Mínima presión**



**Figura 6.17: Máximo caudal**

## 6.2. SCADA

Para realizar la pantalla de supervisión, control y adquisición de datos operador se utilizó el software iFix perteneciente al grupo **General Electric**.

El sistema SCADA creado (Figura 6.18) se dividió en las siguientes secciones:

- Esquemático del circuito hidráulico físico con las variables de presión y caudal en tiempo real.
- Valores de funcionamiento del motor obtenidos por el variador de velocidad.
- Alarmero, dónde se observa de forma visual valores críticos alcanzados en el sistema.
- Indicador de modo de funcionamiento físico o remoto.

- Modo de control a lazo abierto o lazo cerrado.  
Para el modo de lazo cerrado se creó una ventana individual para cada sistema de presión y caudal.
- Pantalla para observar gráficos en tiempo real dónde se divide según la variable a observar, con botones para abrir el control PID del sistema.
- Pantalla donde se observa datos históricos y se puede generar un archivo .txt con la información de la variable elegida en un determinado período de tiempo.

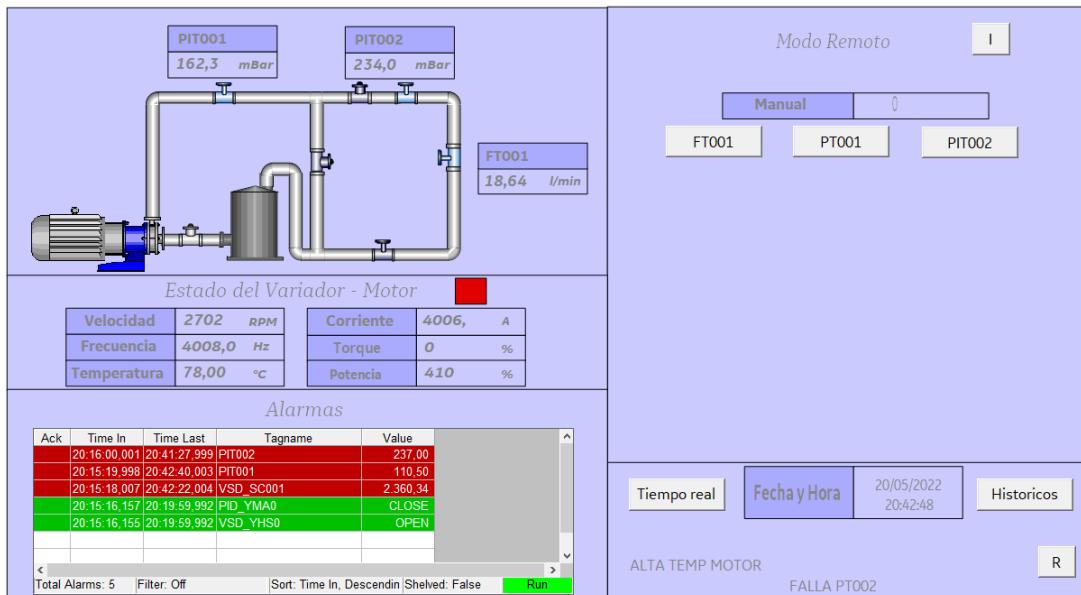


Figura 6.18: Pantalla SCADA

## 6.2.1. Configuración driver Modbus

Para realizar la configuración de cada ícono de la pantalla SCADA con su respectiva variable, se debió crear un MBE Driver (Figura 6.19) dónde se estipula la dirección IP y el mapa de memoria con sus respectivas secciones que luego serán utilizadas por el DataBase (Figura 6.20).

Una vez creado el MBE Driver se debe generar la tabla *DataBase* en dónde estará el nombre, dirección IP, tipo de elemento, descripción, alarma asociada, entre otros puntos de cada elemento.

La lista se encontrará unificada con las direcciones de *UnityPro* (Tabla...).

### 6.2.1.1. Pruebas mediante ModSim

Para realizar pruebas intermedias antes de unir SCADA con el programa del PLC se utilizó el software **ModSim**, dónde se generó los distintos mapas de memoria utilizados para modificar variables y observar el correcto funcionamiento de distintos elementos en el SCADA (Figura 6.21).

## 6.2.2. Alarmas

Dentro de la pantalla principal es posible observar el alarmero. En la Tabla C.1 en Anexo C se observa el diagrama causa efecto de cada alarma.

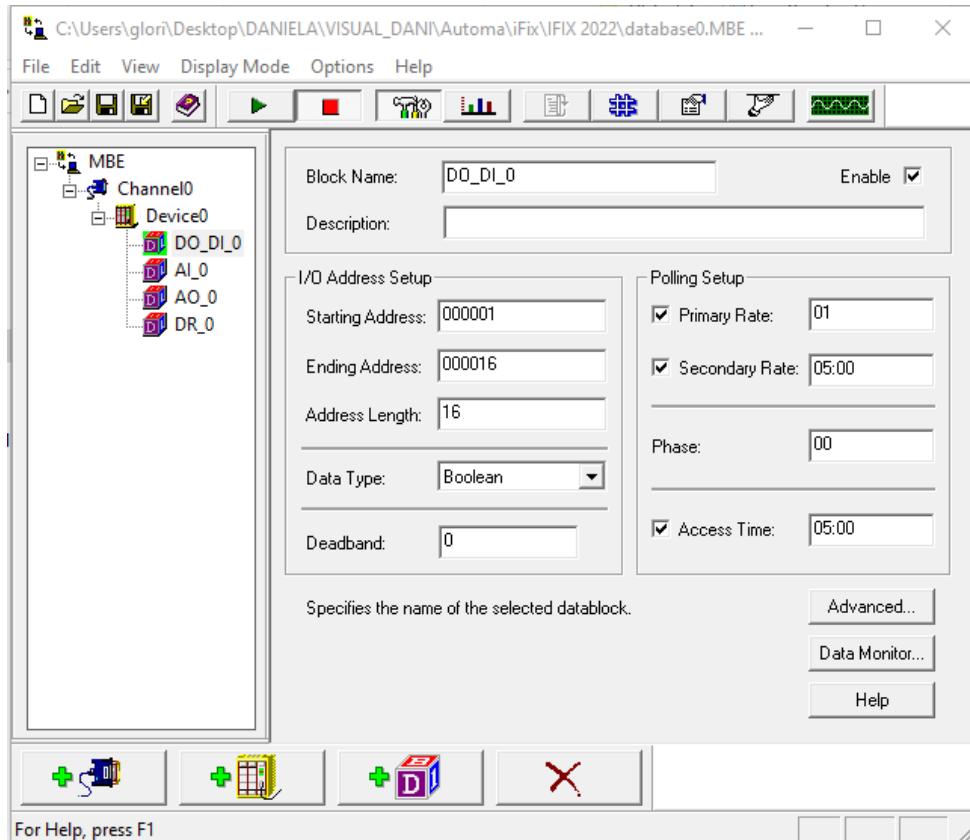


Figura 6.19: Configuración MBE

	Tag Name	Type	Description	Scan	I/O Dev	I/O Addr
1	FT001	AI	Caudal	1	MBE	Device0:400001
2	PID0FT1_KD	AI	F1 KD	1	MBE	Device0:400081
3	PID0FT1_KI	AI	F1 KI	1	MBE	Device0:400077
4	PID0FT1_KP	AI	F1 KP	1	MBE	Device0:400079
5	PID0FT1_SP	AI	Valor Ref F1	1	MBE	Device0:400061
6	PID0FT1_TD_LAG	AI	F1 TD LAG	1	MBE	Device0:400051
7	PID0PIT1_KD	AI	P1 KD	1	MBE	Device0:400067
8	PID0PIT1_KI	AI	P1 KI	1	MBE	Device0:400063
9	PID0PIT1_KP	AI	P1 KP	1	MBE	Device0:400065
10	PID0PIT1_SP	AI	Valor Ref P1	1	MBE	Device0:400057
11	PID0PIT1_TD_LAG	AI	P1 TD LAG	1	MBE	Device0:400047
12	PID0PIT2_KD	AI	P2 KD	1	MBE	Device0:400075
13	PID0PIT2_KI	AI	P2 KI	1	MBE	Device0:400071
14	PID0PIT2_KP	AI	P2 KP	1	MBE	Device0:400073
15	PID0PIT2_SP	AI	Valor Ref P2	1	MBE	Device0:400059
16	PID0PIT2_TD_LAG	AI	P2 TD LAG	1	MBE	Device0:400049
17	PID_SEL	AI	Seleccionar control P1 P2 F1	1	MBE	Device0:400083

Figura 6.20: Database con MBE

### 6.2.3. Paradas por bloqueo

El banco de pruebas está preparado para detener el motor si ocurriese alguna anomalía y mostrar la falla en la pantalla SCADA en la parte inferior derecha. Se programó para que reconozca los siguientes errores en el sistema:

- Alta presión
- Bajo caudal
- Sensor de presión desconectado
- Temperatura de motor alta

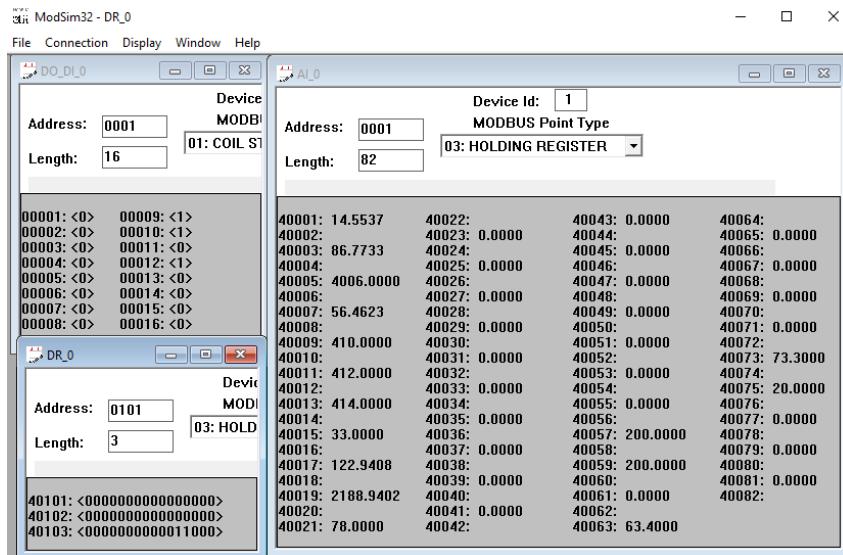


Figura 6.21: ModSim

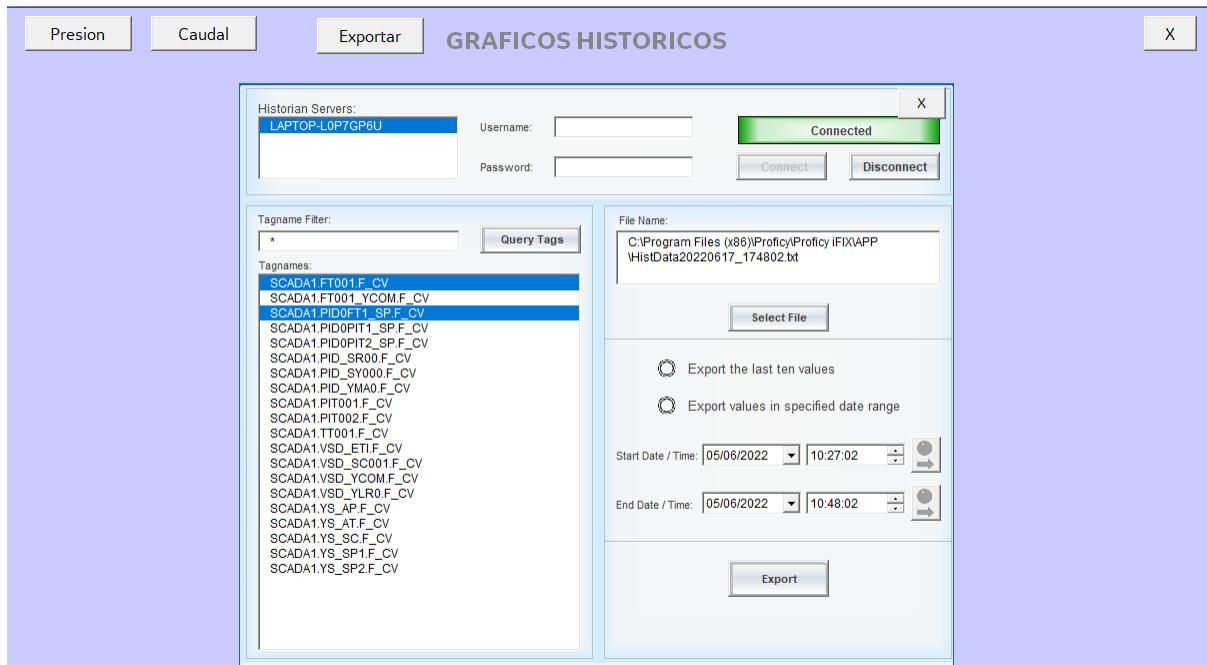
- VSD sin comunicación

#### 6.2.4. Datos históricos

Para interpretar datos históricos se puede por dos métodos, uno es generando un archivo .txt y el otro es de forma gráfica. Se generó una pantalla SCADA prediseñada de iFix dónde al conectar con el servidor Historian, busca los datos históricos de la variable elegida y guarda un archivo .txt con el horario y valores. Se puede elegir más de una variable, pero se debe tener en cuenta que no se generan columnas nuevas sinó que generará en el mismo archivos más filas (Figura 6.22.a).

Otra de las opciones es observar datos históricos en un gráfico de tiempo, estas variables están preestablecidas y son las presiones y el caudal con sus respectivos valores de referencias (Figura 6.22.b).

## Automatización Industrial - Trabajo Final



(a) Pantalla datos históricos



(b) Guardar datos históricos

Figura 6.22: Datos históricos

## **7. Conclusiones**

## 8. Bibliografía

### Referencias

- [1] Schneider Electric. "Manual de instalación". En: *Altivar312- Variadores de velocidad para motores asincronos* (2013).
- [2] Schneider Electric. "Communication variables manual". En: *Altivar312- Variadores de velocidad para motores asincronos* (2009).
- [3] Jorge Pomares y Ángel Martínez Bueno. "Sistemas de Control Automático. Identificación experimental de sistemas". En: *Sistemas de Control Automático* (2011).

### Versiones de programas utilizados

- **Unity Pro XL** (V11.0) Schneider Electric Industries SAS (2015)
- **SoMove** (V2.8.4.0) Schneider Electric Industries SAS (2020)  
*Altivar DTM Library ATV31/312* (V2.0.2.0)
- **iFix Workspace** (V6.0) General Electric Company (2018)
- **Matlab** (V2018a) MathWorks (2017)  
*Simulink* (V2018a) MathWorks (2017)
- **Proficy Historian** (V4.5) General Electric Company (2011)
- **OPC Factory Server** (V3.6) Schneider Electric Industries SAS (2015)

# **Anexos**

## A. Anexo: Diagrama P & ID

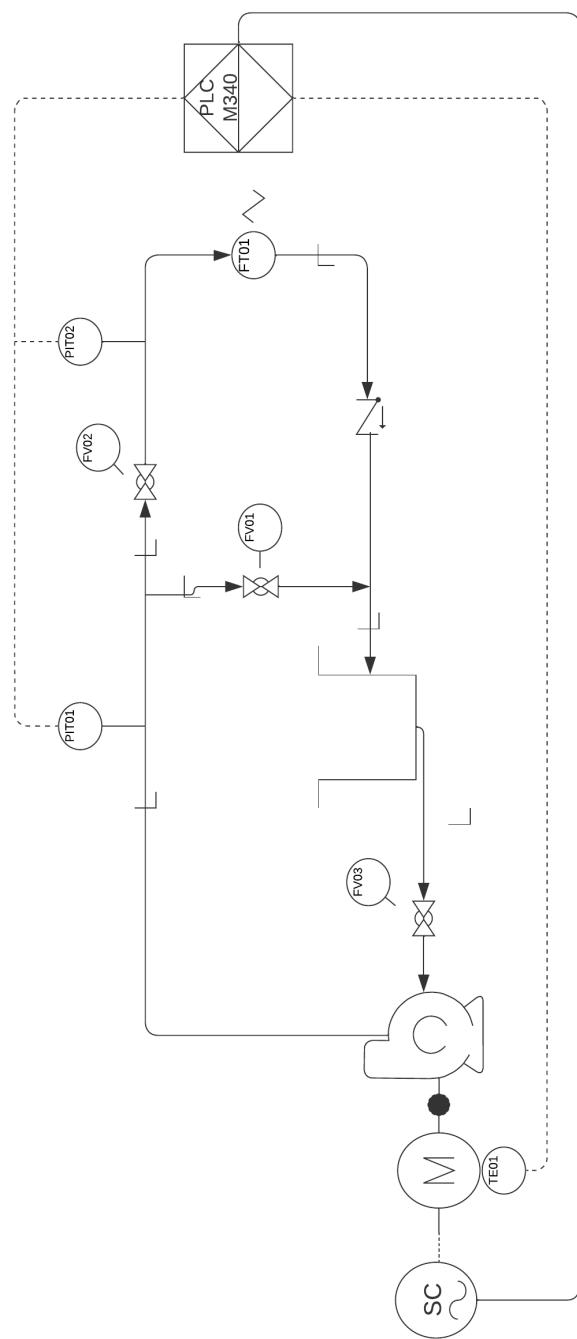


Figura A.1: Diagrama p&id

## B. Anexo: Tabla de Direcciones

Tabla B.1: Tabla de variables y direcciones

Tipo de variable	TAG	Descripción	Tipo de dato	Dirección
DO	PID_XSMA0	Habilitar control automatico manual	Boolean	Device0:000003
DO	VSD_XSM0	Marcha desde el hdmi	Boolean	Device0:000004
DO	VSD_XST0	Parada desde SCADA	Boolean	Device0:000005
DO	PLC_XSDES	Desenclave de bomba	Boolean	Device0:000006
DO	PID_XSA0	PID modo automatico	Boolean	Device0:000008
DO	PID_XSM0	PID modo manual	Boolean	Device0:000009
DO	VSD_XSFO	Reset fallas VSD	Boolean	Device0:000010
DI	VSD_YHS0	Parada de emergencia fisico	Boolean	Device0:000011
DI	VSD_YLR0	Modo fisico o scada	Boolean	Device0:000012
DI	PID_YMA0	Estado manual automatico	Boolean	Device0:000013
DI	PID0PIT1_XRST	Restablecer valores PID	Boolean	Device0:000014
DI	PID0PIT2_XRST	Restablecer valores PID	Boolean	Device0:000015
DI	PID0FT1_XRST	Restablecer valores PID	Boolean	Device0:000016
AI	FT01	Caudal	Float	Device0:400001
AI	VSD_AI1C	Valor del pote	Float	Device0:400003
AI	VSD_IC000	Corriente	Float	Device0:400005
AI	VSD_SC000	Frecuencia	Float	Device0:400007
AI	VSD_JC000	Potencia	UInt	Device0:400009
AI	VSD_WC000	Torque	UInt	Device0:400011
AI	VSD_EC000	Voltaje	Float	Device0:400013
AI	PIT02	Presion2	Float	Device0:400015
AI	PIT01	Presion1	Float	Device0:400017
AI	VSD_SC001	Velocidad	UInt	Device0:400019
AI	TE001	Temperatura	Float	Device0:400021
AI	PID_SY000	Accion de control	Float	Device0:400023
AI	VSD_R_ERR	Errores, tabla de errores	UInt	Device0:400025
AI	PID0PIT1_TD_LAG	P1 TD LAG	Float	Device0:400047
AI	PID0PIT2_TD_LAG	P2 TD LAG	Float	Device0:400049
AI	PID0FT1_TD_LAG	F1 TD LAG	Float	Device0:400051

Sigue en la página siguiente

**Tabla B.1 – continuación**

<b>Tipo de variable</b>	<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Dirección</b>
AI	PID_SR00	Valor manual, control desac	Float	Device0:400053
AI	PID0PIT1_SP	Valor Ref P1	Float	Device0:400057
AI	PID0PIT2_SP	Valor Ref P2	Float	Device0:400059
AI	PID0FT1_SP	Valor Ref F1	Float	Device0:400061
AI	PID0PIT1_KI	P1 KI	Float	Device0:400063
AI	PID0PIT1_KP	P1 KP	Float	Device0:400065
AI	PID0PIT1_KD	P1 KD	Float	Device0:400067
AI	PID0PIT2_KI	P2 KI	Float	Device0:400071
AI	PID0PIT2_KP	P2 KP	Float	Device0:400073
AI	PID0PIT2_KD	P2 KD	Float	Device0:400075
AI	PID0FT1_KI	F1 KI	Float	Device0:400077
AI	PID0FT1_KP	F1 KP	Float	Device0:400079
AI	PID0FT1_KD	F1 KD	Float	Device0:400081
AI	PID_SEL	Seleccionar control P1 P2 F1	UIInt	Device0:400083
DR	VSD_ETI	Motor encendido o apagado	Boolean	Device0:400101:4
DR	YS_AP	Alta presion	Boolean	Device0:400103:0
DR	YS_SC	Sin Caudal	Boolean	Device0:400103:1
DR	YS_SP1	Sin Sensor P1	Boolean	Device0:400103:2
DR	YS_SP2	Sin Sensor P2	Boolean	Device0:400103:3
DR	YS_AT	Alta Temp	Boolean	Device0:400103:4
DR	FT01_YCOM	Sin Caudal	Boolean	Device0:400103:5
DR	VSD_YCOM	Sin comu con variador	Boolean	Device0:400103:6

## C. Anexo: Causa efecto de alarmas

TAG INSTRUMENTO	SERVICIO	UNIDADES	RANGO		ALARMAS		ENCLAVAMIENTO		EFFECTO	PROPOSITO DE ALARMA	CONSECUENCIA DE LA NO ACCION
			MIN	MAX	HI-HI	LO-LO	DELAY	HI	LO	VSD	
TE001	Temperatura	°C				50					Informar alta temperatura del motor
TE001	Temperatura	°C			70			70		P	Informar muy alta temperatura del motor
PIT01	Presión	mbar	-1000	4000	700			700		P	Informar alta presión en cañería
PIT01	Presión	mbar								-1	Informar desconexión PIT01
PIT02	Presión	mbar	-1000	4000						-1	Informar desconexión PIT02
FT01	Caudal	l/min	0	60		0.5		30s	0.5	P	Informar bajo flujo
VSD_SCO01	Velocidad	rpm	0	3600	200			200		P	Informar baja velocidad

Tabla C.1: Causa- Efecto de las alarmas

## **D. Anexo: Manual BANCO-SCADA**

### **D.1. Características generales**

- Utilizado en sistema operativo Windows 10 o mayor
- Posibilidad de utilizar el banco de pruebas de modo remoto o local.
- Tres variables para controlar
- Posibilidad de generar perturbaciones en el sistema para observar distintas respuestas.
- Fácil de transportar
- Tiene la posibilidad de guardar valores (históricos) y ver datos en tiempo real.

### **D.2. Guía de uso**

1. Conectar el banco de pruebas con los respectivos sensores y transductores en el módulo correspondiente del PLC.
2. Conectar cable Ethernet en el PLC a un router o PC.
3. Alimentar el sistema con alimentación trifásica y 220V.
4. Abrir iFix y la tabla de variables y el archivo con extensión .mbe dónde se procederá a conectar el sistema SCADA a la misma red en la que se encuentra el PLC.
5. Comprobar comunicación al correr SCADA.

#### **D.2.1. Pantalla PRINCIPAL**

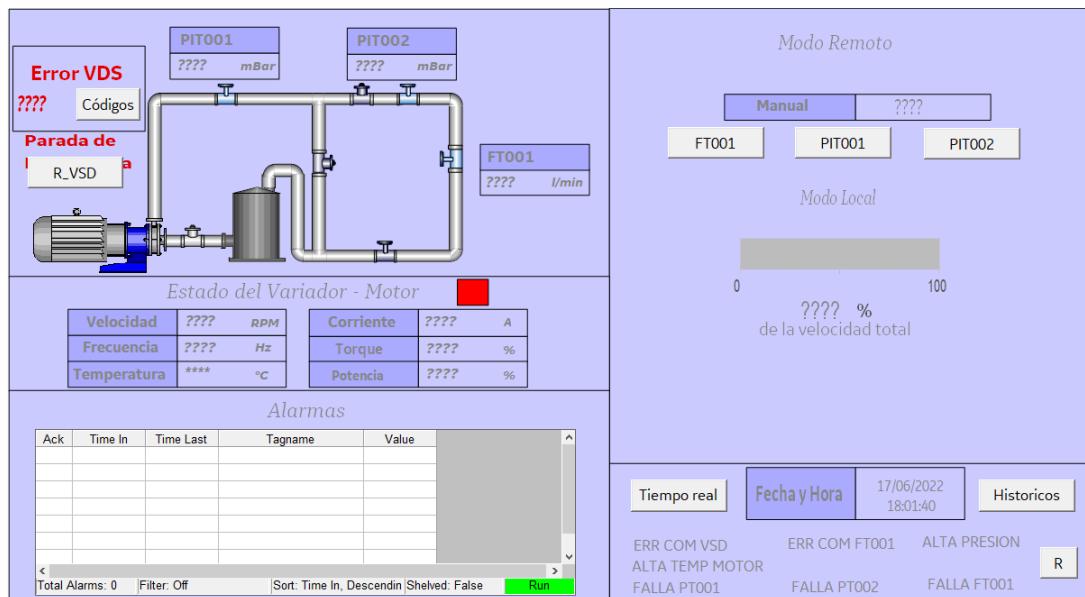


Figura D.1: Pantalla principal

#### **D.2.1.1. Diagrama del banco de pruebas**

Se observan los valores de presión y caudal en un diagrama similar al banco de prueba físico. A la izquierda se mostrará el último error el cual puede observarse en

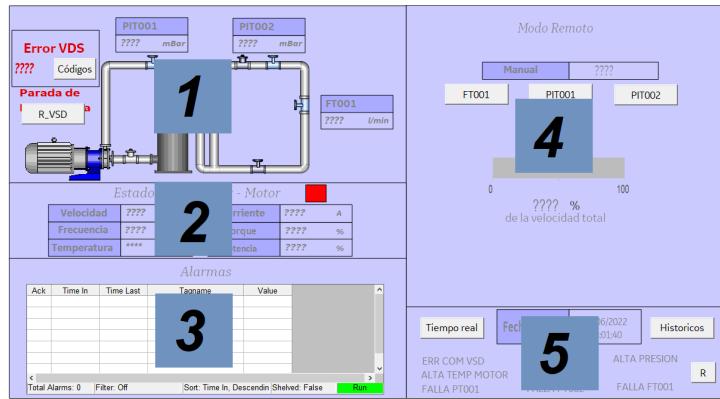


Figura D.2: Partes del sistema SCADA

la tabla que se abre al hacer click en el botón A. Si se desea restaurar el valor se debe presionar el botón B (Figura D.3).

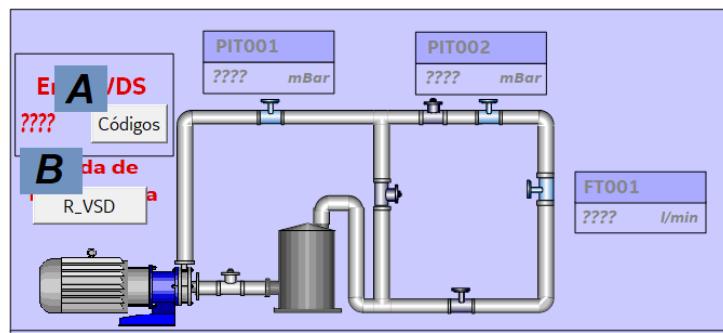


Figura D.3: Subpantalla 1

### D.2.1.2. Estado del variador - Motor

En esta sección se ve de forma lumínica en color rojo si el motor está prendido indicando señal de cuidado o alerta; mientras que en color verde que el motor está apagado. Se observan variables de velocidad del motor, frecuencia del motor, temperatura obtenida por el termistor, corriente, torque y potencia consumida por el motor.

### D.2.1.3. Alarmas

Sección destinada al alarmero dónde muestra el período de tiempo que ocurrió el hecho, el nombre de la variable y el valor alcanzado.

### D.2.1.4. Modo remoto/ Modo local

#### ■ Modo Local

Si la llave selectora del banco de prueba se encuentra seleccionado el modo local, se observará el cartel en esta sección centrado que expresará que se encuentra en modo local (Figura D.4.a).

#### ■ Modo Remoto

Si la llave selectora del banco de prueba se encuentra seleccionado el modo remoto, el sistema está preparado para recibir órdenes desde el sistema SCADA.

El motor puede encenderse con velocidad 0 presionando la tecla A o encender a una velocidad preestablecida colocando previamente un valor entero en RPM entre 0 y 3600 y luego presionar la tecla A (Figura D.4.b).

Si se desea se puede abrir cada ventana del lazo de control (Figura D.5) botones B dónde muestra el valor de cada variable PID, pudiéndose colocar otros valores usando la coma como separador decimal. Con el botón C, se podrá restablecer los valores del PID cuyos valores fueron fijados al momento de realizar el proyecto, dónde las respuestas se muestran en las figuras PONER TIPO LA COMPARACION DE PID PERO CON SOLO EL QUE SE UTILIZA Y Q SE LEEAN LOS VALORES DE PID.

Al presionar el botón automático (D), se cierra el lazo del sistema y puede establecerse la presión o caudal deseado en E, dónde la coma será el separador decimal y los rangos serán según tabla D.1. En caso de presionar y que quede manual (D) los valores se establecerán según *Manual* (Figura D.4.b).

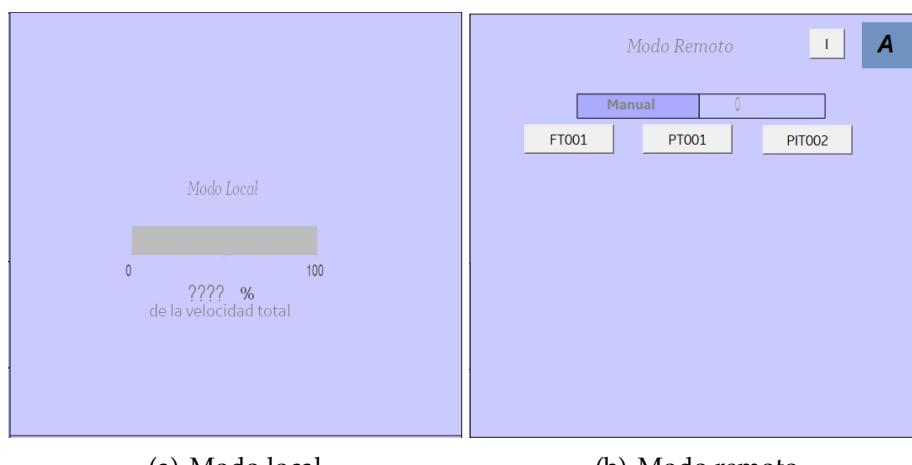


Figura D.4: Subpantalla 4

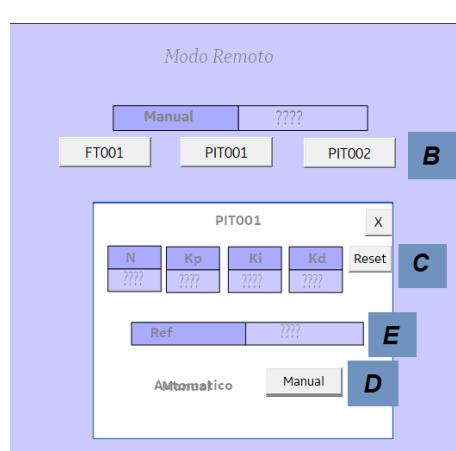


Figura D.5: Modo lazo cerrado

Variable		Rango	Unidades
PIT001	Presión	60 - 930	mbar
PIT002	Presión	60 - 700	mbar
FT001	Caudal	2 - 11,7	l/min

Tabla D.1: Rangos de las variables

#### D.2.1.5. Fallas y ventanas de gráficos

En la pantalla 5 se observan los carteles de eventuales fallas que puedan ocurrir en el sistema, pudiéndolo reanudar con el botón que tiene la letra R.

Otra de las cosas que tiene esta subpantalla es la fecha y hora y dos botones dónde al presionarlos se abren pantallas para observar gráficamente datos en tiempo real o de forma histórica.

#### D.2.2. Pantalla datos en tiempo real

En la figura D.6 se puede observar la pantalla de los datos en tiempo real (la imagen no corresponde a valores reales tomados durante las pruebas).

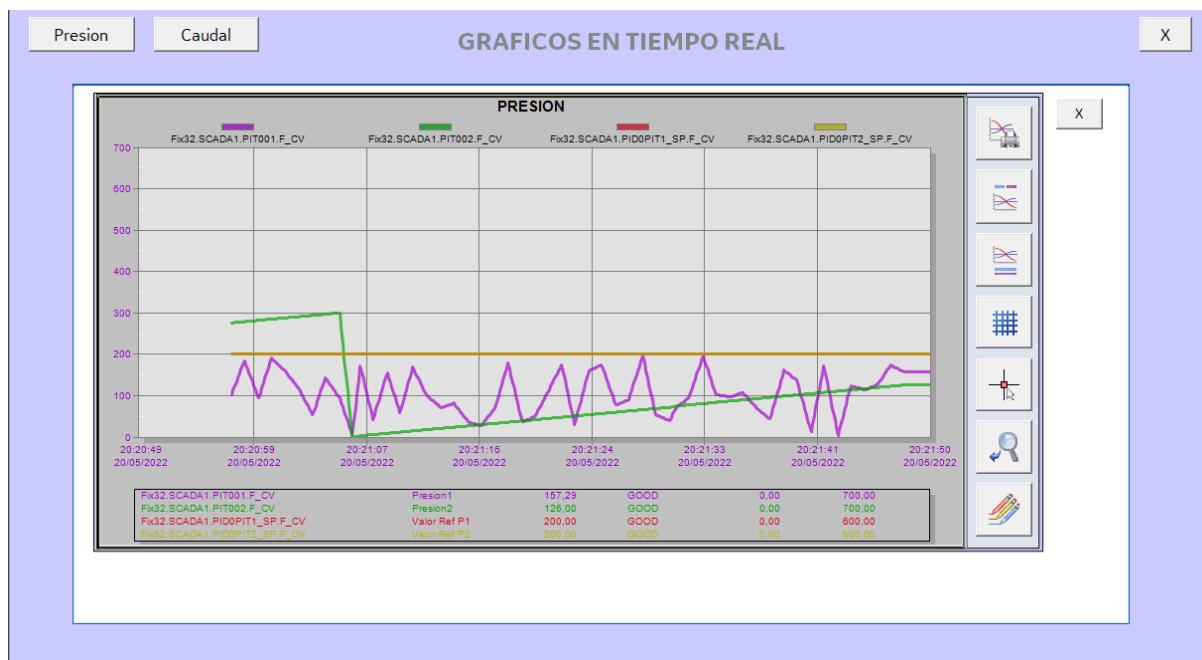


Figura D.6: Pantalla datos en tiempo real

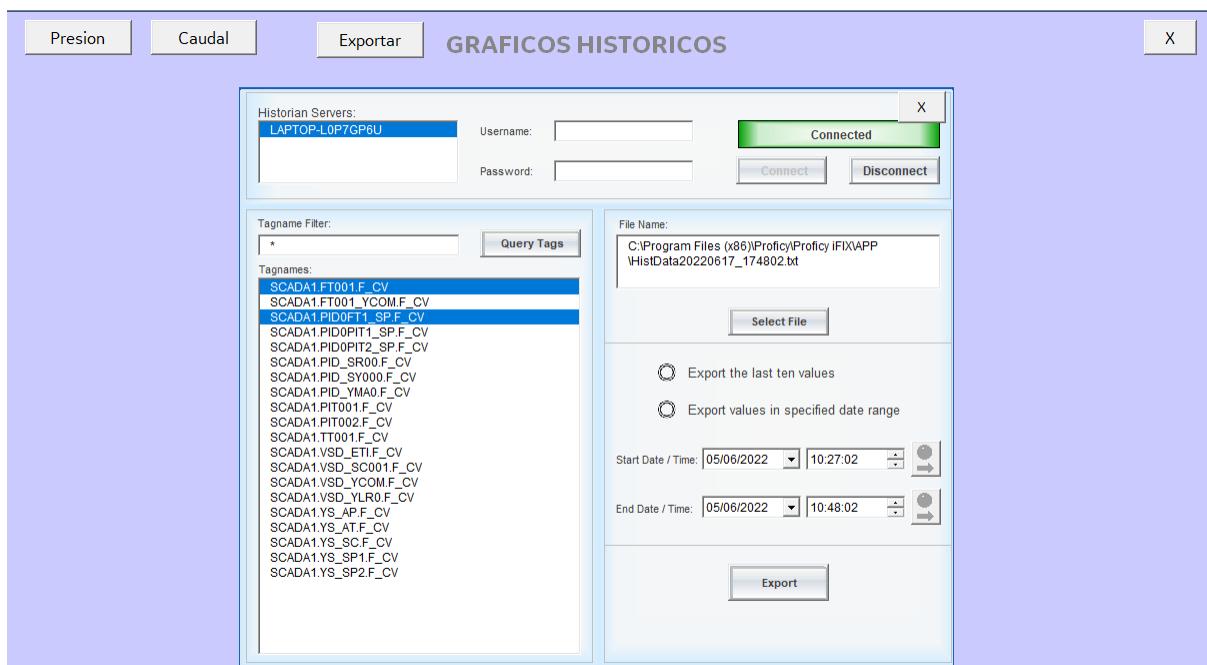
#### D.2.3. Pantalla datos histórico

Para interpretar datos históricos se puede por dos métodos, uno es generando un archivo .txt y el otro es de forma gráfica. Se generó una pantalla SCADA prediseñada de iFix dónde al conectar con el servidor Historian, busca los datos históricos de la variable elegida y guarda un archivo .txt con el horario y valores. Se puede elegir más de una variable, pero se debe tener en cuenta que no se generan columnas nuevas sino que generará en el mismo archivos más filas (Figura D.7 a).

Otra de las opciones es observar datos históricos en un gráfico de tiempo, estas variables están preestablecidas y son las presiones y el caudal con sus respectivos valores de referencias (Figura D.7 b).



(a) Pantalla datos históricos



(b) Guardar datos históricos

Figura D.7: Datos históricos