



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO ELECTRÓNICO

PROYECTO TÉCNICO

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL
MÓDULO DE MICROCENTRAL DE REACCIÓN QUÍMICA, SUPERVISADO
MEDIANTE SISTEMA SCADA

AUTORES:

VICTOR EMILIO MENDOZA POVEDA.
KATHERINE DENISSE GARCÍA PONCE.

TUTOR:

ING. GARY AMPUÑO AVILES.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2019

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, corresponde exclusivamente a:

- Víctor Emilio Mendoza Poveda portador de C.I: 0923691083.
- Katherine Denisse García Ponce portador de C.I: 0927105379.

Alumnos de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
GUAYAQUIL.

Guayaquil, septiembre del 2018

(f) Víctor Emilio Mendoza Poveda

C.I: 0923691083

(f) Katherine Denisse García Ponce

C.I: 0927105379

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Víctor Emilio Mendoza Poveda con documento de identificación 0923691083 y Katherine Denisse García Ponce con documento de identificación 0927105379, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: “**Implementación de un Sistema Automatizado para el Módulo de Microcentral de Reacción Química, Supervisado Mediante un Sistema SCADA**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, septiembre del 2018

(f) Víctor Emilio Mendoza Poveda

C.I: 0923691083

(f) Katherine Denisse García Ponce

C.I: 0927105379

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de titulación proyecto técnico “**Implementación de un Sistema Automatizado para el Módulo de Microcentral de Reacción Química, Supervisado Mediante un Sistema SCADA**”, presentado por los señores Víctor Emilio Mendoza Poveda y Katherine Denisse García Ponce para optar por el título de Ingeniero Electrónico, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Tutor del trabajo de titulación

C.C: Ing. Gary Omar Ampuño Avilés Msc.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios por ser mi roca fuerte y mi escudo, a mi mamá que es mi motivación y mi fuerza, a mi papá que ha sido mi apoyo incondicional y mis hermanos porque siempre me impulsaron a llegar lejos.

Katherine García Ponce.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, esposa e hijos, para que vean en mi un ejemplo a seguir, que con esfuerzo y dedicación podrán lograr todo lo que se propongan.

A mi madre y mi abuela que son mi tesoro máspreciado, gracias por ser, unas excelentes madres.

Víctor Mendoza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su sabiduría, por abrir caminos y por estar siempre conmigo. A mi mamá que se esforzó tanto por mí. A mi familia, amigos y tutor por sus palabras de ánimo y su motivación.

A mi compañero de tesis por impartir sus conocimientos conmigo durante este proyecto.

Katherine Garcia Ponce

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi Mamá, hijos y esposa, por ser un gran apoyo y motivación durante este proceso de titulación.

Víctor Mendoza

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	TUTOR DEL PROYECTO	TEMA DE PROYECTO
2017/2018	Mendoza Poveda Víctor Emilio. García Ponce Katherine Denisse.	Ing. Gary Omar Ampuño Avilés Msc.	Implementación de un Sistema Automatizado para el Módulo de Microcentral de Reacción Química, Supervisado Mediante un Sistema SCADA

El presente trabajo de titulación denominado **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MÓDULO DE MICROCENTRAL DE REACCIÓN QUÍMICA, SUPERVISADO MEDIANTE SISTEMA SCADA”** tiene la finalidad de proporcionar técnicas de control, implementación de sensores, controladores lógicos programables, bombas y actuadores en general; que permitan repotenciar el módulo didáctico de generación de energía eléctrica mediante el uso de una pila de combustible PEM. Una vez analizado el proceso en sus diferentes etapas tales como: nivel de agua destilada, dosificación de polvo químico y tanque de reacción de mezcla; fue posible incorporar en cada subproceso los elementos acordes a cada requerimiento como sensores ultrasónicos para nivel, sensores de partículas por millón, colocación de electroválvulas para paso de flujo de agua, actuadores mecánicos para dosificación de polvo químico y todo esto es controlado por un PLC de gama baja. Y para un correcto seguimiento del proceso se implementa un sistema SCADA con todas las variables incorporadas en el proceso. Como resultado final, la automatización del módulo, hace que la misma tenga un mejor rendimiento; y el uso de las técnicas de control como el PID implementado para la pila PEM, hace que siempre tenga un correcto y un continuo flujo de presión.

Palabras claves: Pila de combustible PEM, control PID, SCADA, electroválvulas, sensores.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PROJECT TUTOR	TOPIC
2018/2019	Mendoza Poveda Víctor Emilio. García Ponce Katherine Denisse.	Ing. Gary Omar Ampuño Avilés Msc.	Implementación de un Sistema Automatizado para el Módulo de Microcentral de Reacción Química, Supervisado Mediante un Sistema SCADA

The present titration work called "**IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR THE CHEMICAL REACTION MICROCENTRAL MODULE, SUPERVISED BY THE SCADA SYSTEM**" has the purpose of providing control techniques, implementation of sensors, programmable logic controllers, pumps and actuators in general; that allow to repower the didactic module of electric power generation through the use of a PEM fuel cell. Once analyzed the process in its different stages such as: distilled water level, dosage of chemical powder and mixing reaction tank; it was possible to incorporate in each subprocess the elements according to each requirement such as ultrasonic sensors for level, particle sensors per million, placement of electrovalves for water flow passage, mechanical actuators for chemical powder dosing and all this is controlled by a PLC of low range. And for a correct monitoring of the process a SCADA system is implemented with all the variables incorporated in the process. As a final result, the automation of the module makes it have a better performance; and the use of control techniques such as the PID implemented for the PEM battery, which always has a correct and continuous flow of pressure.

Keywords: PEM fuel cell, PID Control, SCADA, electrovalve, sensors.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Delimitación.....	3
1.4.1. Espacial.....	3
1.4.2. Académica	3
1.4.3. Temporal	3
1.5. Grupo objetivo (beneficiarios).....	4
1.6. Metodología	4
1.6.1. Métodos.....	4

1.7.	Propuesta de solución	4
1.7.1.	Descripción de la propuesta.....	4
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1.	Pila de Combustible	7
2.2.	Funcionamiento de las Pilas de Combustible	7
2.3.	Clasificación de las Pilas de Combustible	8
2.3.1.	Pila de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	8
2.3.2.	Celda de Alcalinas (AFC).....	9
2.3.3.	Pila de Ácido Fosfórico (PACF).....	9
2.3.4.	Pila de Carbonatos Fundidos (MCFC).....	10
2.3.5.	Pila de Óxidos Sólidos (SOFC)	10
2.4.	Generador de hidrógeno.....	11
2.4.1.	Hidrógeno	11
2.4.2.	El hidrógeno como combustible	11
2.4.3.	Generación de Hidrógeno mediante Electrólisis	11
2.5.	Sistemas SCADA.....	11
2.6.	Controlador PID.....	12
2.7.	Lazo cerrado de control	13
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	14
3.1.	Antecedentes	14
3.2.	Diseño de la propuesta.....	15
3.3.	Mejora en el diseño del módulo de la microcentral química.....	15
3.3.1.	Diseño de tanques	15
3.3.2.	Tubería	17
3.3.3.	Bombas	18
3.3.4.	Electroválvulas.....	18
3.3.5.	Sensores de Nivel Capacitivos.....	19

3.3.6.	Actuadores de accionamiento eléctrico.	19
3.3.7.	Agitador	21
3.3.8.	Pulsadores	21
3.3.9.	Selector	21
3.3.10.	Luz piloto.....	21
3.4.	PLC 1214C	21
3.5.	Módulo de expansión de entradas y salidas analógicas.....	22
3.6.	Fuente de alimentación Logo.....	22
3.7.	Relés diferenciales tipo bornera.....	22
3.8.	Diagrama de Conexiones	22
3.9.	Conexiones en el Tablero Didáctico	24
3.10.	Sistema SCADA	25
3.10.1.	Pasos para usar el Sistema SCADA.....	25
3.10.2.	Pantallas del Sistema SCADA.....	27
3.11.	Software TIA Portal.....	35
3.11.1.	Pasos para crear un proyecto	36
3.11.2.	Ventajas del TIA Portal	36
3.12.	Diseño del sensor de Nivel Ultrasónico.....	36
3.13.	Diseño del sistema del Servo actuador.	38
3.13.1.	Diseño del Servo actuador	38
3.13.2.	Diseño de depósito para lectura de partículas por millón.....	40
3.13.3.	Almacenamiento de hidrógeno	42
4.	Construcción del Control del Servo Actuador.....	44
4.1.	Lazo de Control	44
4.2.	Diseño del controlador.....	45
4.3.	Método Ziegler - Nichols.....	46
5.	RESULTADOS	49

6.	CONCLUSIONES	53
7.	RECOMENDACIONES.....	54
8.	BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Tanque de Mezcla y Premezcla	2
Fig. 2 Sistema actual (proceso manual)	5
Fig. 3 Solución propuesta.....	5
Fig. 4 Lazo de Control	6
Fig. 5 Pila de Combustible	7
Fig. 6 Esquema de funcionamiento de una Pila de Combustible.....	8
Fig. 7 Pila de Combustible (PEM)	8
Fig. 8 Pila de Combustible Alcalina (AFC)	9
Fig. 9 Pila de Ácido Fosfórico (PACF).....	9
Fig. 10 Pila de Carbonatos Fundidos (MCFC)	10
Fig. 11 Pila de Óxidos Solidos (SOFC)	10
Fig. 12 Componentes de un sistema SCADA	12
Fig. 13 Sistema de Control de Lazo Cerrado	13
Fig. 14 Tablero Vista Frontal	14
Fig. 15 Tablero Vista Posterior	14
Fig. 16 Tanque de abastecimiento.....	15
Fig. 17 Reservorio principal.....	16
Fig. 18 Tanque de Químico.....	16
Fig. 19 Tanque de Mezcla.....	17
Fig. 20 Tubería	17
Fig. 21 Bombas 1 y 2	18
Fig. 22 Bombas 3 y 4	18
Fig. 23 Electroválvula	19
Fig. 24 Sensor de Nivel Capacitivo.....	19
Fig. 25 Diagrama de conexiones para los actuadores	20

Fig. 26 Actuador de accionamiento eléctrico.....	20
Fig. 27 Tarjeta Electrónica y Fuente de 12Vdc.....	20
Fig. 28 Relé tipo Bornera.....	22
Fig. 29 Diagrama de conexiones para Fuentes de 24 Vdc, 12 Vdc y 5 Vdc.....	23
Fig. 30 Diagrama de Conexiones para Entradas Digitales.....	23
Fig. 31 Diagrama de Conexiones para Salidas Digitales.....	24
Fig. 32 Conexiones en el Tablero Didáctico.....	24
Fig. 33 Pantalla de ingreso al Sistema SCADA.....	25
Fig. 34 Pantalla principal del Sistema SCADA.....	26
Fig. 35 Pantalla para Práctica con Hidrógeno.....	26
Fig. 36 Pantalla para Práctica con Aire Comprimido.....	27
Fig. 37 Pantalla sistema SCADA.....	27
Fig. 38 Pantalla PLC.....	28
Fig. 39 Pantalla PID.....	28
Fig. 40 Pantalla Avisos.....	29
Fig. 41 Pantalla Help – Tanque de Mezclado.....	29
Fig. 42 Pantalla Help – MQ8.....	30
Fig. 43 Pantalla Help – Bombas.....	30
Fig. 44 Pantalla Help – Sensores.....	31
Fig. 45 Pantalla Help – Motor.....	31
Fig. 46 Pantalla Help – Cilindros.....	32
Fig. 47 Pantalla Help – Depósitos.....	32
Fig. 48 Pantalla Help – Ultrasonico.....	33
Fig. 49 Pantalla Help – MPA-PSI.....	33
Fig. 50 Pantalla Help – PSI-BAR.....	34
Fig. 51 Pantalla Help – Calibración T. Presión.....	34

Fig. 52 Pantalla Help – Calibración Ultrasónico	35
Fig. 53 Software TIA Portal.....	36
Fig. 54 Sensor Ultrasónico.....	37
Fig. 55 Programación del Sensor Ultrasónico	37
Fig. 56 Circuito del Sensor Ultrasónico.....	37
Fig. 57 Válvula de Bola o Esfera	39
Fig. 58 Servomotor 1501MG	39
Fig. 59 Servo actuador	40
Fig. 60 Sensor MQ8.....	40
Fig. 61 Estructura Sensor MQ8.....	41
Fig. 62 Tarjetas electrónicas	41
Fig. 63 Diagrama de conexiones.....	42
Fig. 64 Visualización de Partículas.....	42
Fig. 65 Depósito de Hidrógeno	43
Fig. 66 Módulo Automatizado Vista Posterior	43
Fig. 67 Lazo de Control Cerrado.....	44
Fig. 68 Lazo de Control Cerrado.....	45
Fig. 69 Presión del sistema al romper la inercia	46
Fig. 70 Tiempos T1 y T2	47
Fig. 71 PID Modo automático.....	48
Fig. 72 Sistema PID mejorado	49
Fig. 73 Setpoint de 12 PSI a 15 PSI.....	50
Fig. 74 Setpoint de 15 PSI a 13 PSI.....	50
Fig. 75 Setpoint de 13 PSI a 10 PSI.....	51
Fig. 76 Setpoint de 10 PSI a 8 PSI.....	51
Fig. 77 PID - Usuario y contraseña.....	52

Fig. 78 Tabla de Históricos 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ecuación de la Recta	38
Tabla 2 Ecuaciones para parámetros PID	47
Tabla 3 Valores de parámetros PID	48

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de energías que sean generadas reemplazando el diésel y carbón, ha llevado a varios países a buscar energías renovables empleando el viento, la radiación solar, el movimiento de las olas, uso del calor del magma y un sinnúmero de energías que se pueden obtener de la naturaleza. El módulo didáctico en el cual se trabaja genera energía eléctrica en bajas proporciones empleando una mezcla con agua destilada y un químico reactivo que, al ser mezclados producen una reacción, esta mezcla es enviada a un generador de hidrógeno, el cual, hace recircular la mezcla preparada y extrae de apoco el hidrógeno para ingresar a una pila de combustible tipo PEM que es la encargada de generar electricidad de corriente directa de aproximadamente 12VDC. Este voltaje puede ser convertido a corriente alterna por medio de un inversor.

El planteamiento de este trabajo de titulación se basa en la automatización del proceso existente que se encuentra en la microcentral de reacción química. La dosificación del químico con agua era expuesta a una determinada temperatura en otro depósito para después ser colocada en el tanque de químico, este proceso era realizado para generar una reacción química antes que se mezcle con el agua que se encuentra en el tanque de mezcla. El ingreso de agua y mezcla de químicos se ejecutaba con una llave manual y no era posible visualizar ninguna de las variables en el proceso como: el nivel de agua en los tanques, cantidad de partículas por millón de hidrógeno producido y consumido por la pila PEM.

Mediante un sistema SCADA, la construcción e implementación de tanques, sensores, actuadores y PLC es posible supervisar todo el proceso en modo real. A su vez, mediante un sistema de "batch" se dosifica la cantidad de polvo químico necesario.

Es importante implementar algún tipo de control tradicional, para asegurar que la pila de combustible PEM siempre esté alimentada de hidrógeno, a pesar de las caídas producidas por el consumo de electricidad. Las técnicas de control estudiadas se basan en el controlador Proporcional, integral y derivativo PID.

Para verificar el funcionamiento del controlador PID se utiliza aire comprimido dado que el sistema de generación de hidrógeno no se encuentra habilitado, el mismo que está siendo desarrollado por otro grupo de tesis.

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La microcentral de reacción química, es una mini planta que está instalada en el laboratorio de Metrología, segundo piso del bloque F de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. La microcentral es un proceso industrial, en el cual, se genera electricidad mediante agua destilada combinada con aditivos químicos, como se ve en la Fig. 1 hacen que el agua alcance una conductividad elevada.

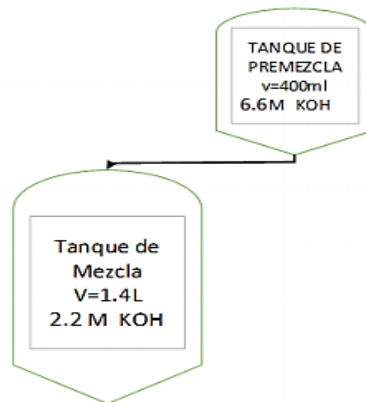


Fig. 1 Tanque de Mezcla y Premezcla

Fuente: [1]

1.2. Justificación

Por la problemática expuesta se justifica poder introducir los conocimientos de automatización, control y sensores en un proceso, el cual, está funcionando, pero se puede elevar su eficiencia mediante la ingeniería que es aplicada con controles en lazo cerrado, selección adecuada de reservorios, sensores en puntos críticos del proceso y un sistema SCADA, que permite monitorear y controlar de forma segura el mismo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema automatizado para el módulo de microcentral de reacción química, supervisado mediante un sistema SCADA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Automatizar el ingreso de la cantidad deseada de agua destilada, el ingreso del químico necesario para la mezcla y el abastecimiento de la pila de combustible para la generación de energía eléctrica.
- Generar un lazo de control para limitar la presión a la entrada de la pila de combustible.
- Generar un sistema SCADA para visualizar en tiempo real el proceso de la generación de energía eléctrica.
- Mejorar el diseño de los depósitos, de los distintos procesos de la microcentral, con esto se evita almacenamiento de producto.

1.4. Delimitación

1.4.1. Espacial

La repotenciación de la microcentral es efectuada en el laboratorio de Metrología, segundo piso del bloque F de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en el sur de la ciudad de Guayaquil en el barrio Cuba avenida Gral. Francisco Robles 107 y Eloy Alfaro.

1.4.2. Académica

Es implementada para el sector educacional público. Teniendo como área de estudio la tecnología y ciencias de ingeniería. La línea de investigación se acoge a las que tiene el grupo GISCOR: Automatización y control [2].

1.4.3. Temporal

Este proyecto es desarrollado en el periodo 2018-2019.

1.5. Grupo objetivo (beneficiarios)

Este proyecto beneficia a los estudiantes de todas las ingenierías de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.6. Metodología

La metodología son técnicas o procedimientos para abordar un problema en forma ordenada y eficiente.

1.6.1. Métodos

Los métodos de investigación empleados son:

1.6.1.1. Experimental

- **Técnica:** Se realiza la Observación / Modelación y análisis de datos estadísticos. La investigación por el nivel de conocimiento se considera:
- **Aplicativa:** Porque ayuda a entender mejor los principios de este caso.
- **Cuantitativa:** Porque se toma la información de resultados para apoyar lo sustentado.

1.7. Propuesta de solución

1.7.1. Descripción de la propuesta

Como se puede apreciar en la Fig.2 el proceso actual implica colocar agua en el tanque de forma manual, una vez que está lleno se realiza todo el proceso a mano como aperturas de válvulas y control de presión en el generador.

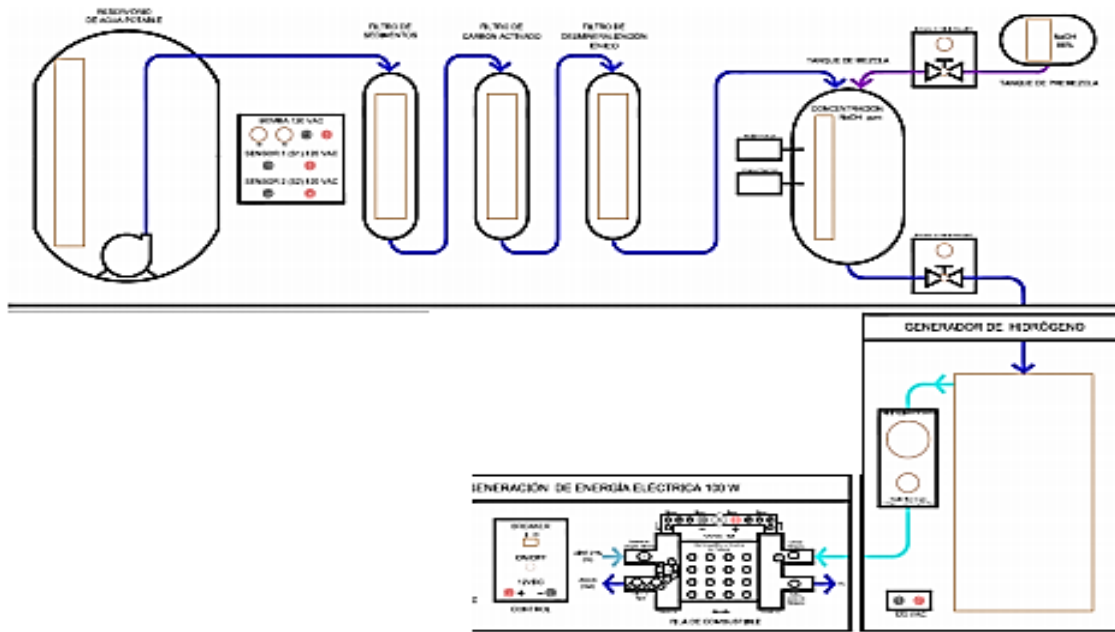


Fig. 2 Sistema actual (proceso manual)

Fuente: [1]

En la Fig. 3 se plantea un sistema automático para el ingreso del agua destilada a los filtros, el ingreso del químico necesario para la mezcla, un agitador para obtener una mezcla homogénea y el abastecimiento de la pila de combustible para la generación de energía eléctrica.

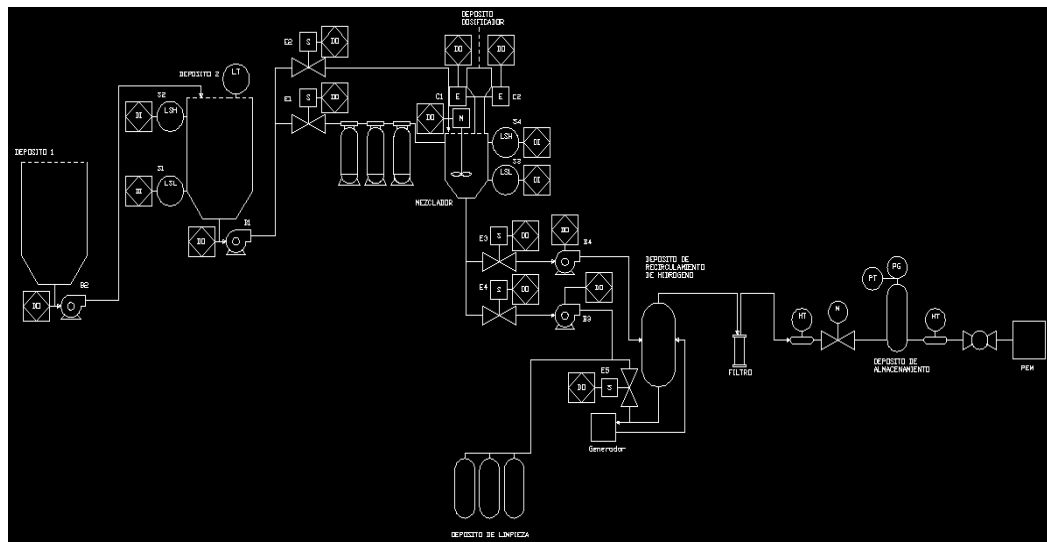


Fig. 3 Solución propuesta

Se plantea también colocar un lazo cerrado de control para la presión que se genera a la salida del proceso y a su vez a la pila de combustible para esto es necesario un control PID [3].

Un esquema del lazo de control se muestra en la Fig.4.

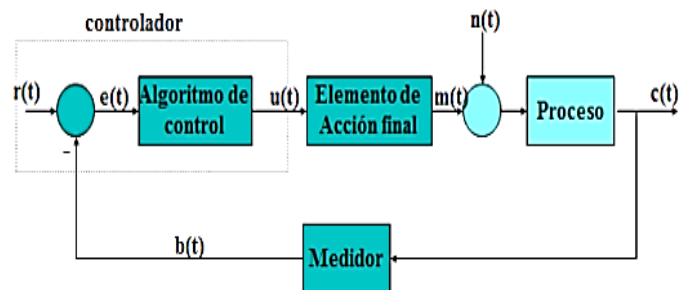


Fig. 4 Lazo de Control

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Pila de Combustible

Es un dispositivo que tiene como mecanismo transformar la energía química del hidrógeno en energía eléctrica omitiendo el paso de la combustión, esto lo vuelve un proceso eficiente ya que evita la explotación de hidrocarburos [4].

Está conformada por un electrolito y dos electrodos (un ánodo y un cátodo) a los costados. [5] Ver Fig. 5

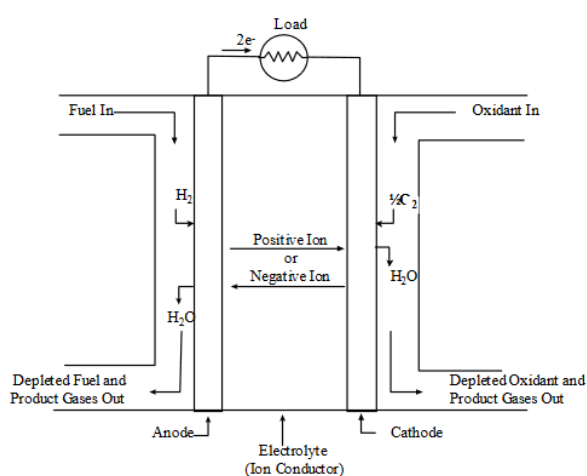


Fig. 5 Pila de Combustible

Fuente: [6]

2.2. Funcionamiento de las Pilas de Combustible

Se genera una reacción electroquímica en los electrodos introduciendo en el ánodo un combustible (hidrógeno) y en el cátodo un oxidante (oxígeno) [7].

Se realiza una oxidación de hidrógeno y una de reducción de oxígeno, que produce un desplazamiento de electrones desde el ánodo hasta el cátodo, mediante un electrolito, dando como resultado la generación de energía eléctrica.. [8] Ver Fig. 6

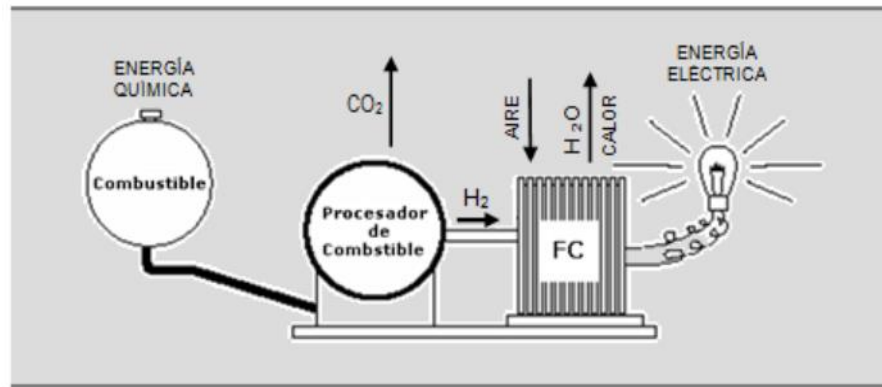


Fig. 6 Esquema de funcionamiento de una Pila de Combustible

Fuente: [9]

2.3. Clasificación de las Pilas de Combustible

Se clasifican según el tipo de electrolito, su capacidad de potencia, temperatura y rendimiento.

2.3.1. Pila de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM)

El electrolito que utiliza este tipo de pila está constituido por una membrana polimérica impermeable que separa los gases producidos en el ánodo y el cátodo.

Trabaja a bajas temperaturas entre los 80°C y 95°C , tiene una respuesta rápida en su salida para tener un abastecimiento continuo según el consumo de energía al que se la exponga. [10]

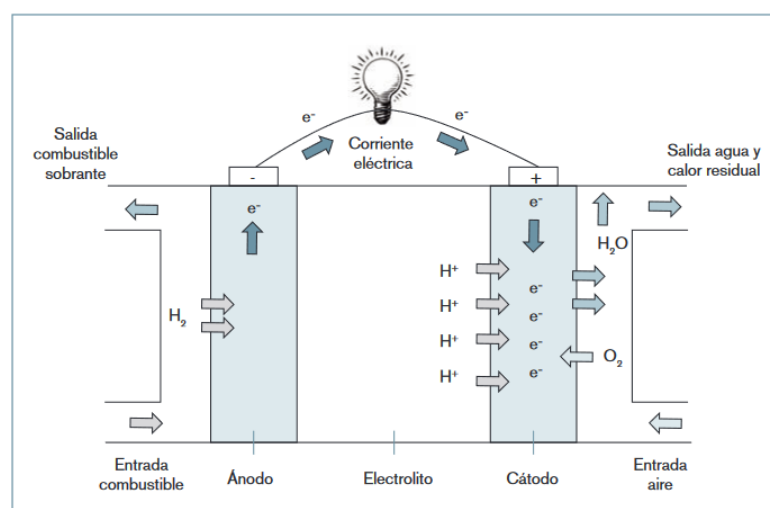


Fig. 7 Pila de Combustible (PEM)

Fuente: [11]

2.3.2. Celda de Alcalinas (AFC)

Utilizan como electrolito un álcali o una mezcla de agua con KOH, permitiendo obtener reacciones electroquímicas rápidas, por cual obtiene una eficiencia del 70%.

Pueden trabajar en temperaturas altas de 100°C a 250°C y en temperaturas bajas de 23°C a 70°C aproximadamente. [11]

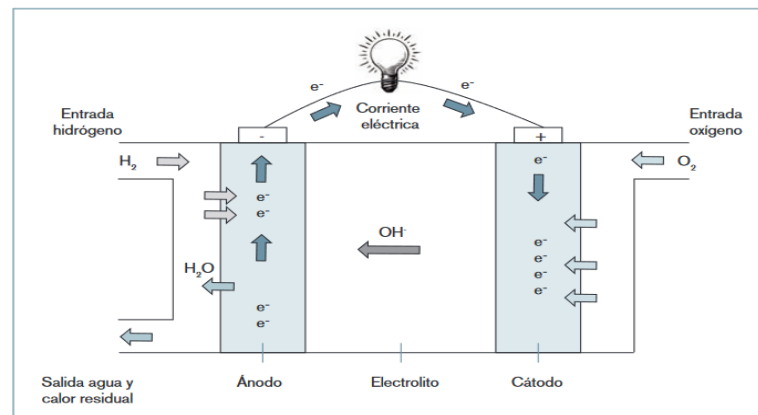


Fig. 8 Pila de Combustible Alcalina (AFC)

Fuente: [11]

2.3.3. Pila de Ácido Fosfórico (PACF)

Utiliza como electrolito ácido fosfórico, que es una desventaja al trabajar en bajas temperaturas ya que el electrolito pierde las propiedades de conductividad.

Por lo tanto, este tipo de pila trabaja en temperaturas altas de 150°C a 220°C. [12]

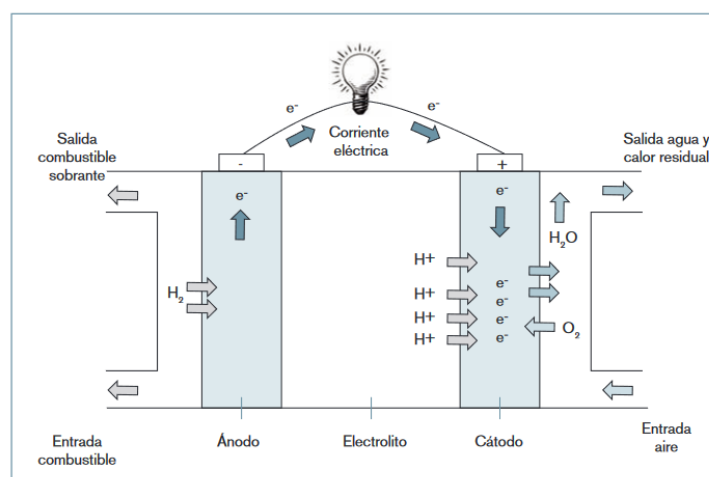


Fig. 9 Pila de Ácido Fosfórico (PACF)

Fuente: [11]

2.3.4. Pila de Carbonatos Fundidos (MCFC)

Este tipo de pila utiliza como electrolito una membrana de polímero, alcanza una eficiencia del 40% y trabaja a una temperatura de 50°C a 100°C [13].

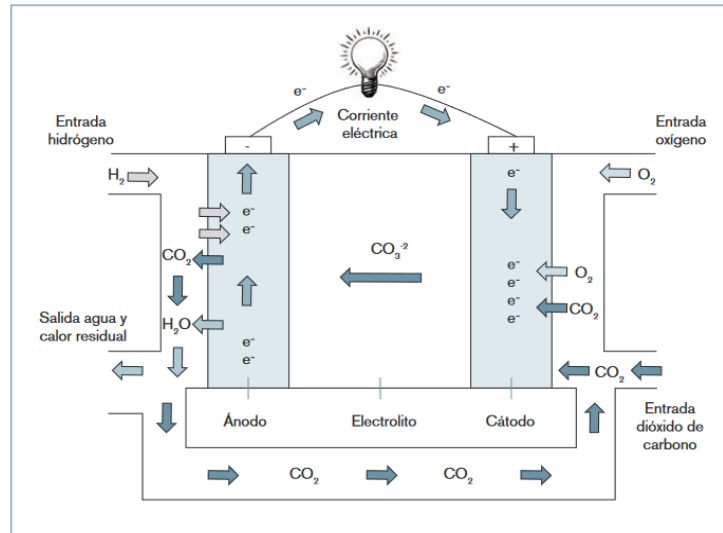


Fig. 10 Pila de Carbonatos Fundidos (MCFC)

Fuente: [11]

2.3.5. Pila de Óxidos Sólidos (SOFC)

Utiliza como electrolito circonio o calcio, por lo tanto, existe el 50% de eficiencia. Trabaja a temperaturas de 1000°C ayudando así a la conductividad del electrolito [14].

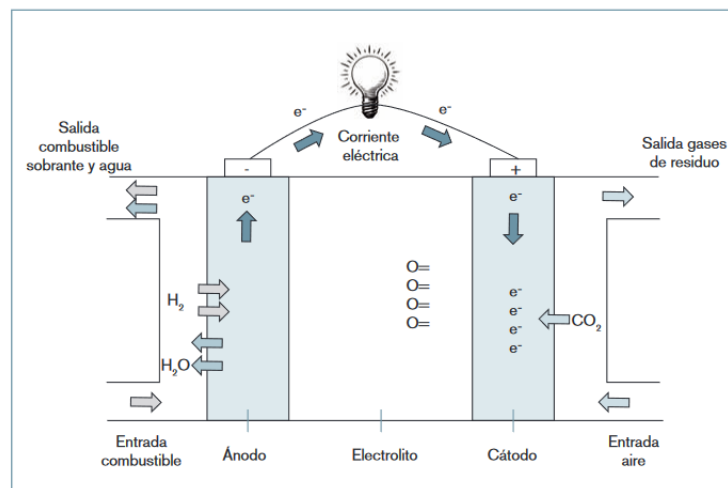


Fig. 11 Pila de Óxidos Sólidos (SOFC)

Fuente: [11]

2.4. Generador de hidrógeno

2.4.1. Hidrógeno

Es considerado como una alternativa para las energías renovables ya que al ser utilizado como combustible no tiene ningún índice de contaminación ambiental. [15]

El hidrógeno (H), normalmente es utilizado en forma de gas en las pilas de combustible para la generación de energía eléctrica. [16]

2.4.2. El hidrógeno como combustible

El hidrógeno es utilizado como combustible y tiene como ventaja el no ser tóxico ni contaminante, pero tiene como desventaja que al ser almacenado de forma inadecuada podría generar una explosión debido a la presión que genera. [17]

2.4.3. Generación de Hidrógeno mediante Electrólisis

La electrólisis consiste en separar la composición química del agua en dos gases que son: hidrógeno y oxígeno.

En una celda con agua se introducen dos electrodos a los que se le aplica una corriente, estos electrodos están separados por un electrolito que ayudan en la conductividad de los electrones, de esta manera se genera en el cátodo hidrógeno y en el ánodo oxígeno. [17]

2.5. Sistemas SCADA.

Scada (Supervisory Control And Adquisición o control con supervisión de datos) es un software que tiene como función monitorear y supervisar de forma remota los procesos industriales mediante una interfaz que permite la comunicación entre el sistema y el usuario [18].

Las características principales de un SCADA son las siguientes:

- Recolección y almacenamiento de datos de la información recibida.
- Diseño gráfico y animado de variables de proceso y su monitorización mediante alarmas.

- Ejecución de acciones de control para modificar la evolución del proceso, mediante las salidas conectadas.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Base de datos.
- Presentación, representación gráfica de los datos [19].

Un sistema SCADA ha sido creado para monitorear desde un solo punto, los distintos procesos de una o varias plantas. [20]

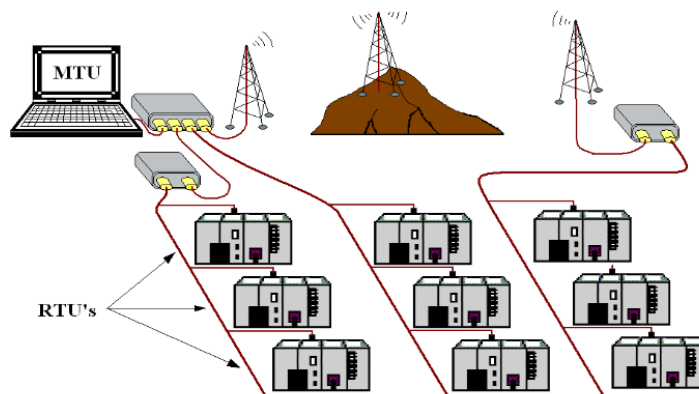


Fig. 12 Componentes de un sistema SCADA

Fuente: [20]

2.6. Controlador PID

Los controladores PID permiten obtener el control de los procesos que se encuentran normalmente en las industrias mediante un sistema de lazo cerrado y está compuesto por tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D). [21]

Estas acciones se pueden derivar en controles P, PI, PD y PID

La acción proporcional P maneja una ganancia ajustable K_p , que es proporcional a la señal obtenida en el proceso. [22]

En el control PI mediante la acción integral permite observar en la gráfica una señal de control creciente o decreciente que busca anular el error. [23]

En el control PD mediante la acción derivativa permite observar el tiempo de respuesta de la variable controlada al valor deseado. [22]

El control PID utiliza las tres acciones para estabilizar el sistema, siendo así el más utilizado en los procesos industriales. [24]

2.7. Lazo cerrado de control

Los sistemas de lazo de control cerrado consisten en ingresar una señal de entrada al controlador o sistema PID, el cual en función a la señal de salida estabiliza el sistema al valor deseado. [25]

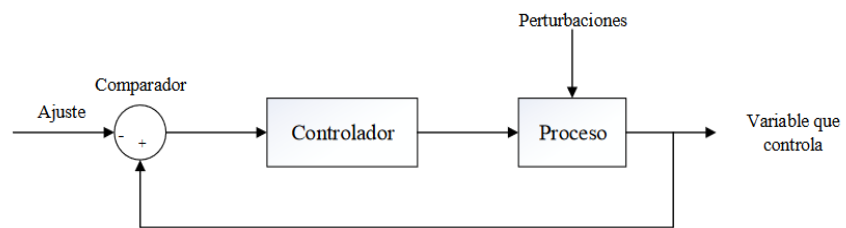


Fig. 13 Sistema de Control de Lazo Cerrado

Fuente: [22]

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Antecedentes

La microcentral de reacción química fue diseñada para ser operada de forma manual. Para realizar la operación del tablero se ingresaba el agua en el depósito principal en forma manual hasta obtener su nivel máximo, para luego activar la bomba que permite que el agua pase a la etapa de filtrado y llegue al Tanque de Mezcla. La sustancia química debía ser preparada posteriormente en un recipiente individual y calentada de forma manual, una vez realizado este proceso era ingresado en el Tanque de Premezcla para luego abrir la válvula 1 y que esta sustancia química caiga en el tanque de mezcla. Una vez que se tenía esta etapa culminada se procedía a abrir la válvula 2 para que la mezcla del agua purificada y el químico lleguen al generador de hidrógeno y finalmente obtener energía eléctrica. Ver Fig.16 y Fig. 17

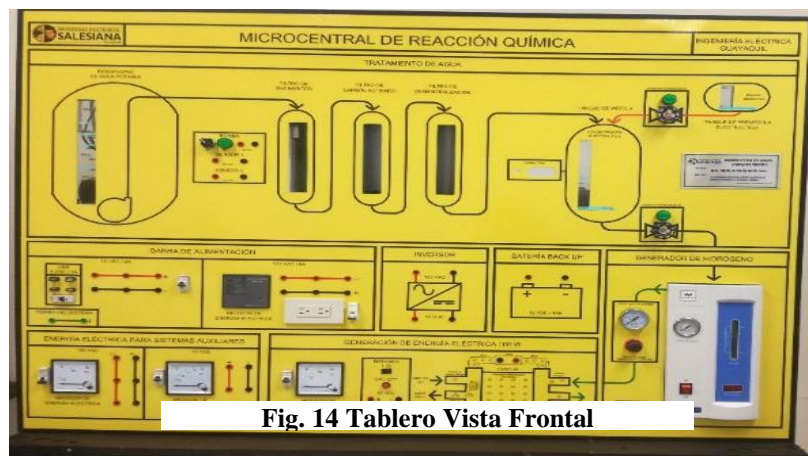


Fig. 14 Tablero Vista Frontal

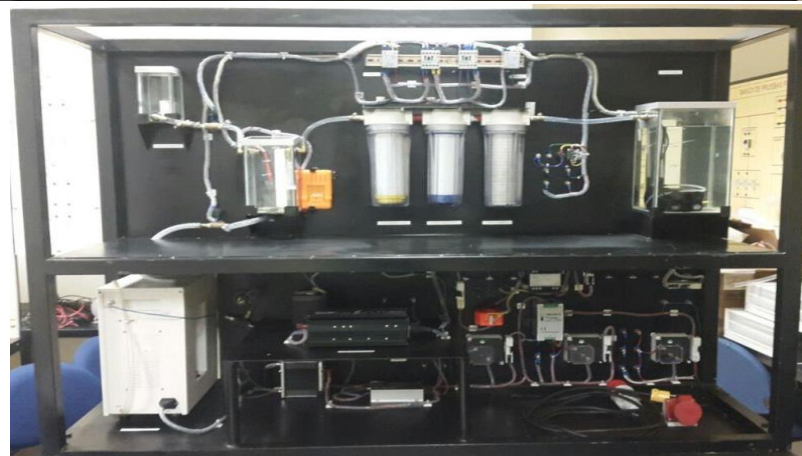


Fig. 15 Tablero Vista Posterior

3.2. Diseño de la propuesta

Se plantea realizar un sistema automático para el ingreso del agua destilada a los filtros y un agitador para obtener una mezcla homogénea. También se plantea colocar un lazo cerrado de control para la presión que se genera a la salida del proceso y a su vez a la pila de combustible.

3.3. Mejora en el diseño del módulo de la microcentral química

3.3.1. Diseño de tanques

El módulo consta de 4 tanques o reservorios que fueron modificados y diseñados según las necesidades que se presentaron para la eficiencia del sistema y son las siguientes:

- **Tanque de abastecimiento:** Fue diseñado para almacenar 9 litros de agua destilada que son utilizados en el proceso.



Fig. 16 Tanque de abastecimiento

- **Reservorio principal:** Fue modificado a forma cónica para evitar acumulamiento de agua en la base del tanque y tiene una capacidad de almacenamiento de 9 litros de agua destilada, también consta de dos sensores capacitivos los cuales controlan el nivel alto y nivel bajo del reservorio, y un sensor ultrasónico para tener una lectura real de la cantidad de agua destilada que hay en el depósito.

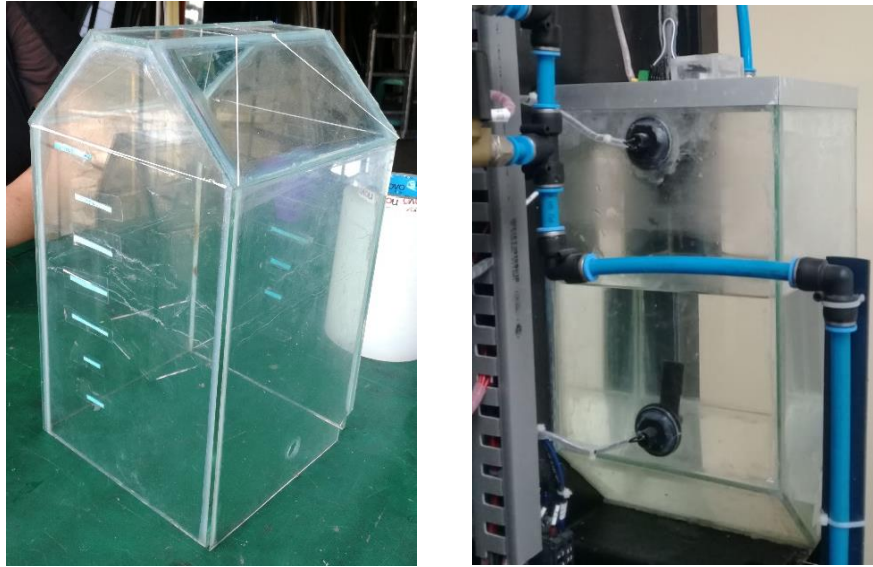


Fig. 17 Reservorio principal

- **Tanque de Químico:** Para el proceso se reubicó y se diseñó el tanque para almacenar 32oz de KOH, químico a ser utilizado para la generación de hidrógeno. Cuenta con dos actuadores que son utilizados para controlar la apertura de la compuerta que deja caer el químico en el Tanque de mezcla. Se realiza pruebas con aire comprimido para verificar el funcionamiento correcto del controlador PID, dado que el sistema de generación de hidrógeno no se encuentra habilitado.

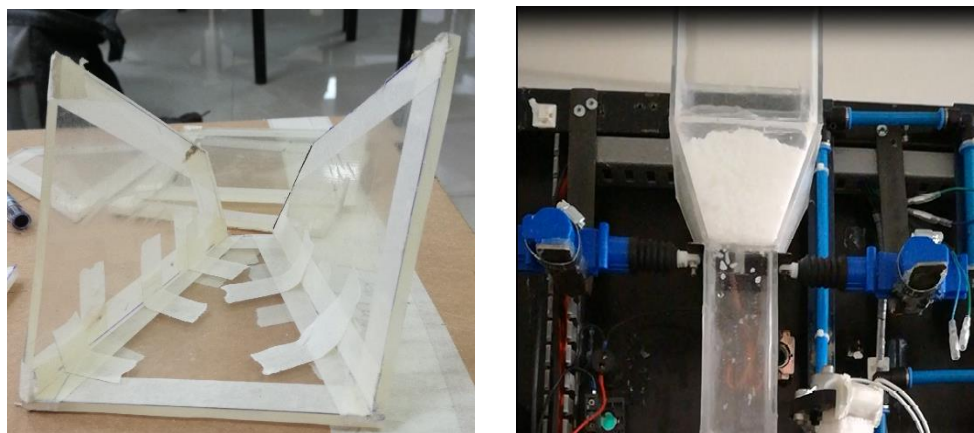


Fig. 18 Tanque de Químico

- **Tanque de mezcla:** Fue modificado a forma cónica para evitar acumulación de agua en la base del tanque y tiene una capacidad de almacenamiento de 2 litros de agua, también consta de dos sensores capacitivos que controlan el nivel alto y nivel bajo del tanque, y un agitador que ayuda en la mezcla del agua destilada con el químico.

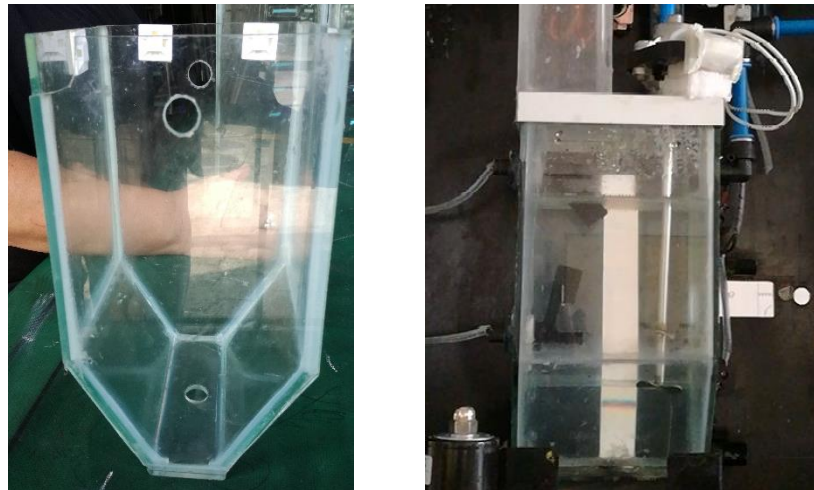


Fig. 19 Tanque de Mezcla

3.3.2. Tubería

Se utilizó manguera de poliuretano para la distribución del agua destilada creando dos ramales para distintas utilidades, un ramal es utilizado para el ciclo de abastecimiento del generador de hidrógeno y el otro ramal se encarga de realizar la limpieza del sistema.

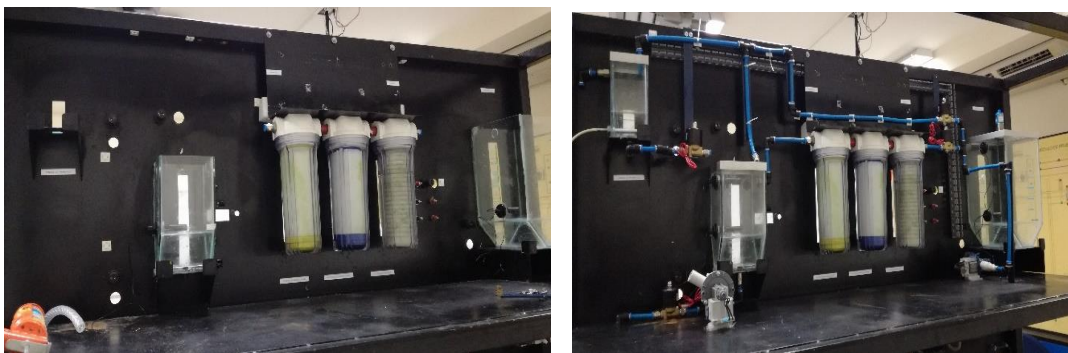


Fig. 20 Tubería

3.3.3. Bombas

El sistema consta de 4 bombas centrífugas a 110v y 40w de potencia, las cuales ayudan a generar presión de agua para abastecer los diferentes depósitos utilizados en el proceso.

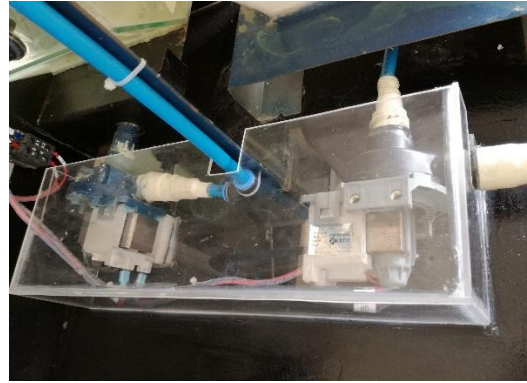


Fig. 21 Bombas 1 y 2

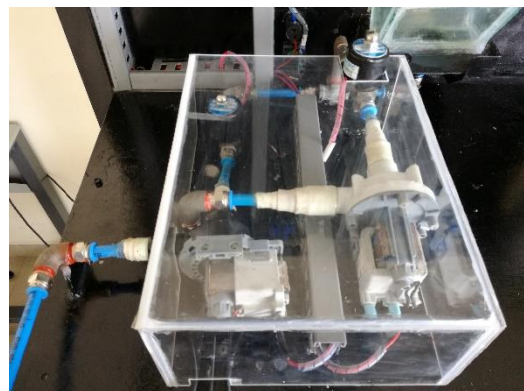
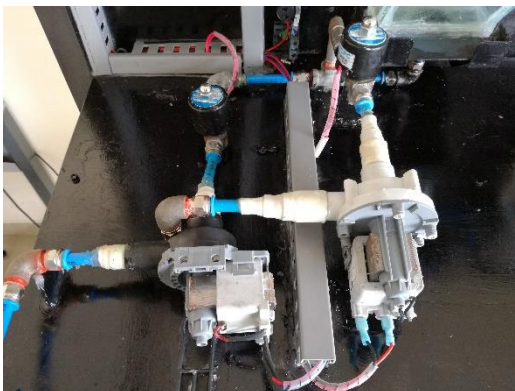


Fig. 22 Bombas 3 y 4

3.3.4. Electroválvulas

Se utilizaron 4 electroválvulas a 110V AC para controlar el paso de agua en los diferentes ramales del proceso.



Fig. 23 Electroválvula

3.3.5. Sensores de Nivel Capacitivos

Este tipo de sensor de nivel es comúnmente usado por su facilidad de uso, además de controlar el nivel en diferentes puntos de medición. Este sensor tipo flotador puede trabajar como un contacto abierto o cerrado, al subir el nivel de agua hace que este se cierre dando el paso de un determinado voltaje el cual manda apagar o prender distintos tipos de accionamientos eléctricos o electromecánicos.



Fig. 24 Sensor de Nivel Capacitivo

3.3.6. Actuadores de accionamiento eléctrico.

Los actuadores utilizados son usados para fines de seguridad automovilísticos, que fueron adaptados para el control de la apertura de la compuerta del Tanque de Químico, lo que permite dosificar el químico por un determinado tiempo. Se lo controla por un pulso de 12Vdc tanto para abrir como cerrar los actuadores. Estos tipos de actuadores no pueden ser expuestos a 12Vdc continuos ya que internamente el motor sigue activado y se quema, para esto se desarrolló un circuito de control para enviar un pulso de apertura y un pulso para cerrar.

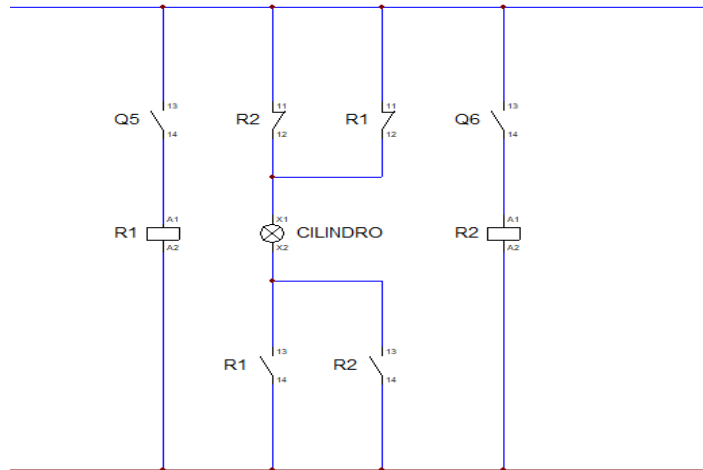


Fig. 25 Diagrama de conexiones para los actuadores



Fig. 26 Actuador de accionamiento eléctrico

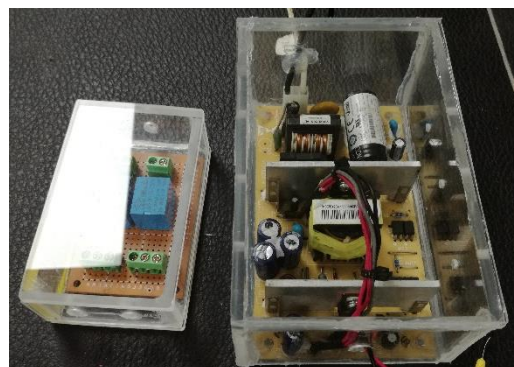


Fig. 27 Tarjeta Electrónica y Fuente de 12Vdc

3.3.7. Agitador

El motor que se utilizó en el agitador, se le adaptó en su eje una extensión de aspas para que realice la acción de agitación de la mezcla.

3.3.8. Pulsadores

El tablero cuenta con pulsadores para ejecutar el proceso de forma manual, que son utilizados para: marcha, paro de emergencia, encendido de bombas, apertura de electroválvulas y activación del agitador del tanque de mezcla.

3.3.9. Selector

El tablero cuenta con un selector de dos posiciones que sirve para ejecutar el proceso de forma manual o de forma automática.

3.3.10. Luz piloto

El tablero cuenta con luces pilotos que indican lo siguiente: encendido de bombas, activación de sensores, activación de electroválvulas.

3.4. PLC 1214C

El S7-1200 es un PLC de gama baja de SIEMENS el cual es muy usado en la industria para diferentes aplicaciones ya que minimiza el uso de controles externos.

Características del S7-1200

- Además de poseer una memoria interna de trabajo (esta memoria interna cambia dependiendo del modelo de la CPU), se le puede expandir con una memoria externa ya que el PLC cuenta con una ranura de expansión.
- Posee una Interfaz Ethernet – PROFINET integrada
- Puede tener diferentes protocolos de comunicación con módulos de expansión tales como: PROFIBUS, MODBUS SERIAL, MODBUS ETHERNET, RS232, RS485, ASI, CAN.
- También se puede expandir con módulos de entradas y salidas digitales, entradas y salidas analógicas, termocuplas, pt-100.
- Las entradas y salidas digitales cambian según su modelo de CPU, la CPU usada es la 1414C tipo AC/DC/RLY, la cual consta de 14 entradas y 10 salidas

tipo relé, además de poseer contadores rápidos HSC son 4, las salidas PWM no son recomendadas usar en esta CPU ya que son tipos relé deberían ser tipo transistor.

3.5. Módulo de expansión de entradas y salidas analógicas

El módulo de expansión SM1234 AI4/ AQ2 (6ES7-234-4HE30-0XB0) posee cuatro entradas y dos salidas análogas. Este módulo da la facilidad de trabajar con las entradas y salidas analógicas que pueden ser controladas por un voltaje DC de 0V a 10V o por una corriente de 4 a 20mA.

3.6. Fuente de alimentación Logo

Esta fuente pertenece a la familia SIEMENS de LOGO la cual puede trabajar con un voltaje de alimentación en la entrada ya sea de 120VAC o 240VAC y entrega una tensión nominal de 24VDC con una corriente de 2.5A.

3.7. Relés diferenciales tipo bornera

Estos relés diferenciales son usados frecuentemente en los proyectos con PLC para proteger las salidas digitales y manejar por sus contactos ya sean estos “NO” normalmente abiertos o “NC” normalmente cerrados distintos tipos de voltajes ya sean estos voltajes alternos o continuos.

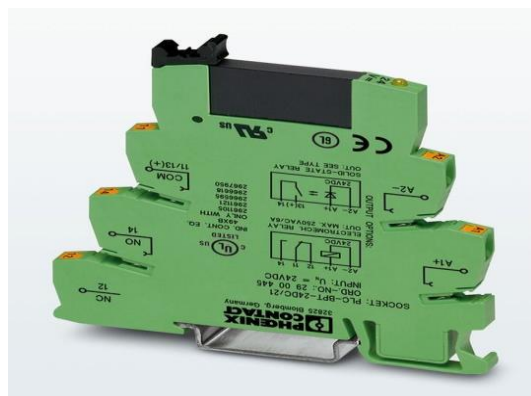


Fig. 28 Relé tipo Bornera

3.8. Diagrama de Conexiones

El tablero consta de cuatro disyuntores termo magnéticos dos son para suministrar 120VAC a la fuente de 24VDC, 12VDC, 5VDC y al PLC, los otros dos disyuntores

son para distribuir los 24VDC para las entradas y salidas del PLC, relé diferenciales tipo bornera, sensores capacitivos de nivel.

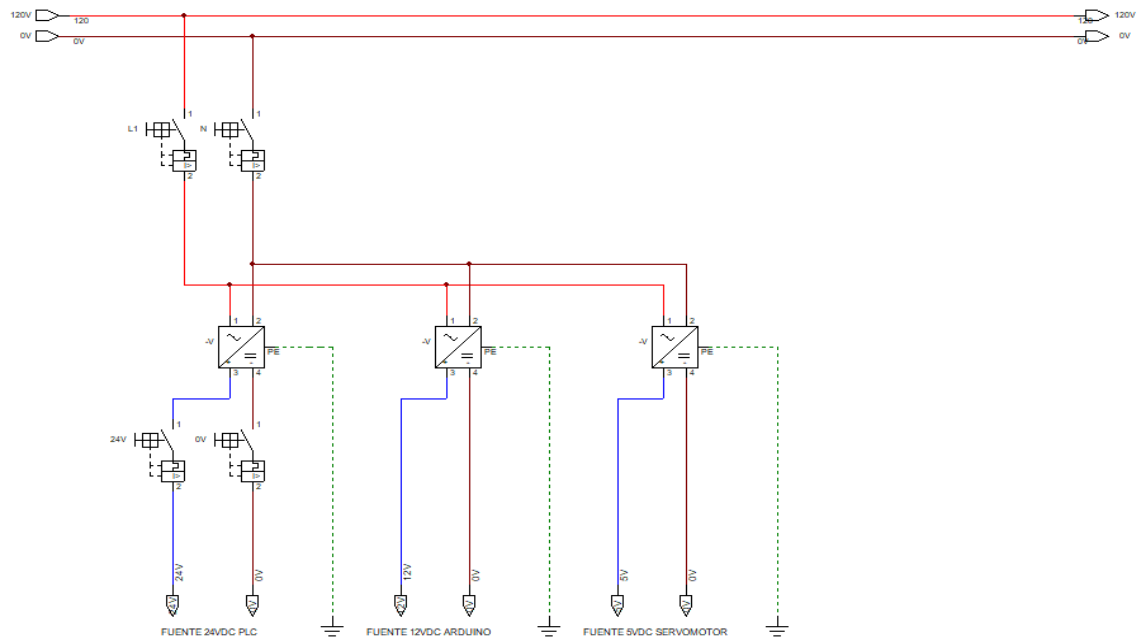


Fig. 29 Diagrama de conexiones para Fuentes de 24 Vdc, 12 Vdc y 5 Vdc

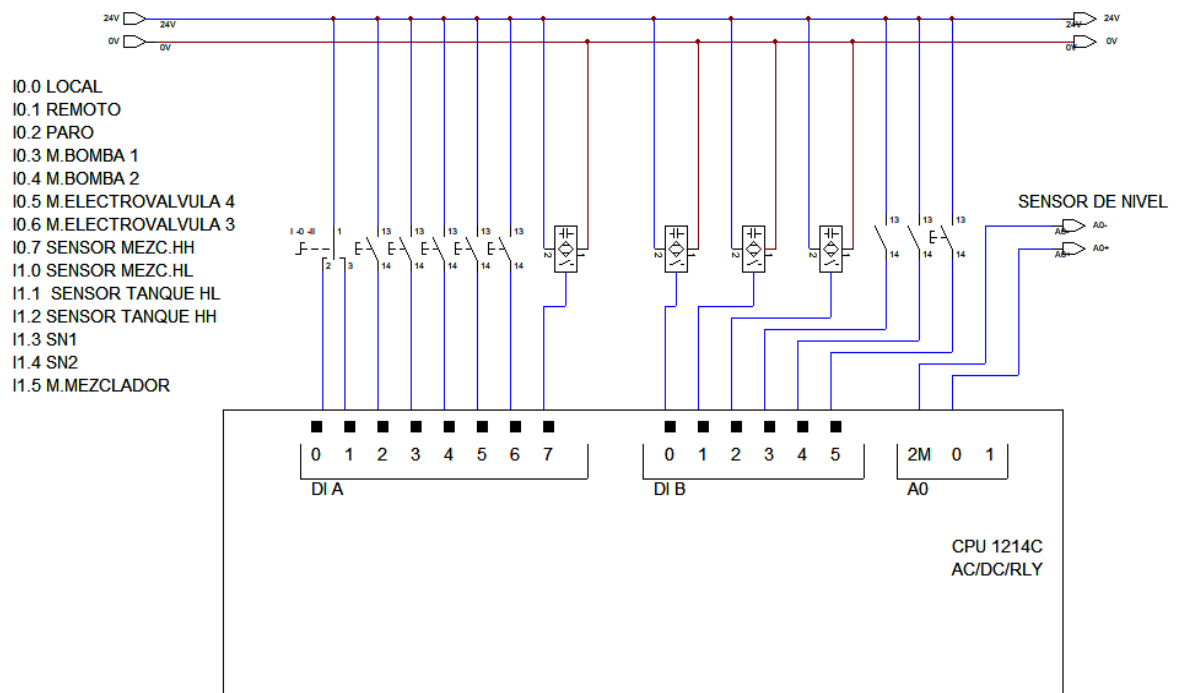


Fig. 30 Diagrama de Conexiones para Entradas Digitales

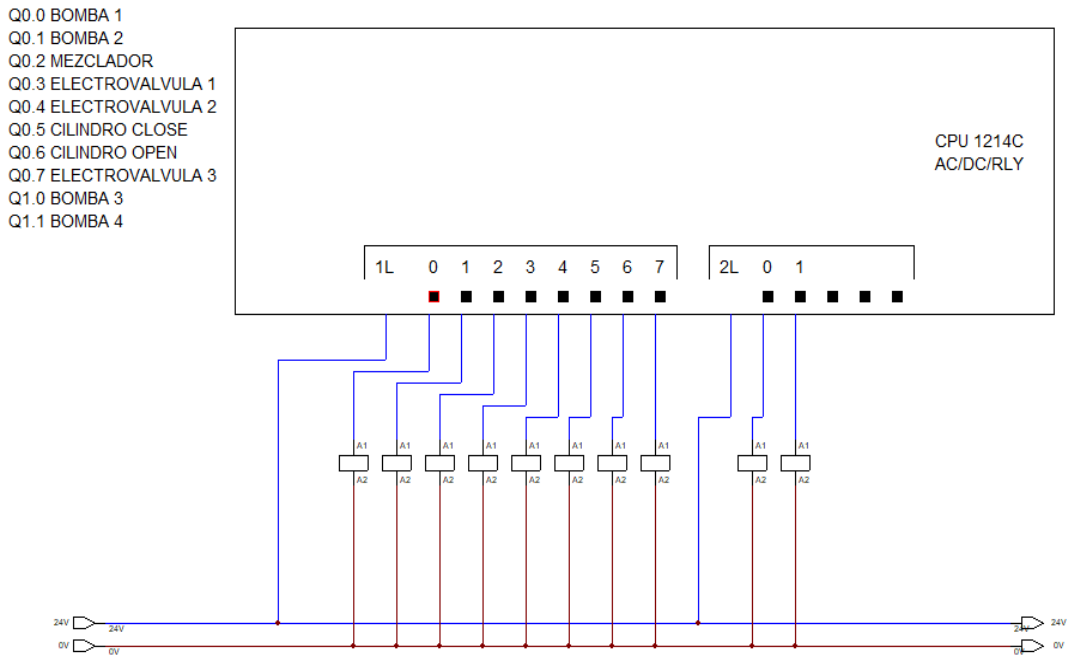


Fig. 31 Diagrama de Conexiones para Salidas Digitales

3.9. Conexiones en el Tablero Didáctico

Para realizar el cableado del tablero didáctico se utiliza un conductor # 12 y # 14 para alimentación principal de 120 VAC y un conductor # 18 para control, se procede a cablear siguiendo el plano establecido.

Una vez cableado se muestra como está quedando las conexiones tanto en los disyuntores, PLC, fuentes y relé diferenciales.

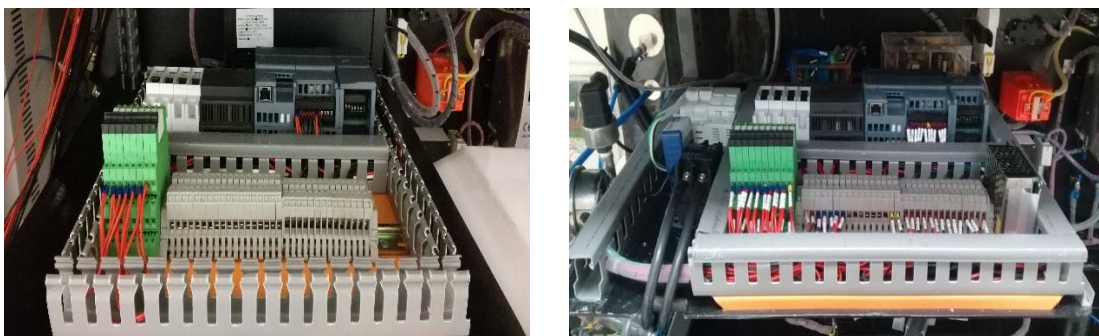


Fig. 32 Conexiones en el Tablero Didáctico

3.10. Sistema SCADA

Labview es un sistema diseñado para distintas aplicaciones de control HMI o SCADA. Posee lenguaje de interacción tipo Visual gráfico, permite realizar comunicaciones seriales, Ethernet, Profibus, etc. Posee además un OPC server que permite tener comunicación con diferentes equipos. Pudiendo interactuar con bases de datos, HMI, SCADA en tiempo real y poder modificar los datos en cualquier momento. Labview es un software de Ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso a hardware e información de datos.

3.10.1. Pasos para usar el Sistema SCADA

Para poder acceder al sistema SCADA se ingresa usuario y contraseña establecida por los tesistas como seguridad al sistema.



Fig. 33 Pantalla de ingreso al Sistema SCADA

Una vez que se ingresa el usuario y la contraseña, si estos son correctos se procede a pulsar la flecha de color verde que envía a la pantalla principal del SCADA, sino son correctos el sistema se mantiene en la imagen de presentación.

Para dar inicio al sistema se tiene que completar los siguientes parámetros: el número de interacciones a realizar, el tiempo de agitación en el tanque de mezcla y el tiempo de descarga para el químico. En caso de que no se llene uno de los datos antes mencionados se muestra un mensaje de alerta.

EL sistema está establecido para funcionar con hidrógeno, pero se realiza pruebas con aire comprimido para verificar el funcionamiento del controlador PID dado que el

sistema de generación de Hidrógeno no se encuentra habilitado y es desarrollado por otro grupo de tesis.

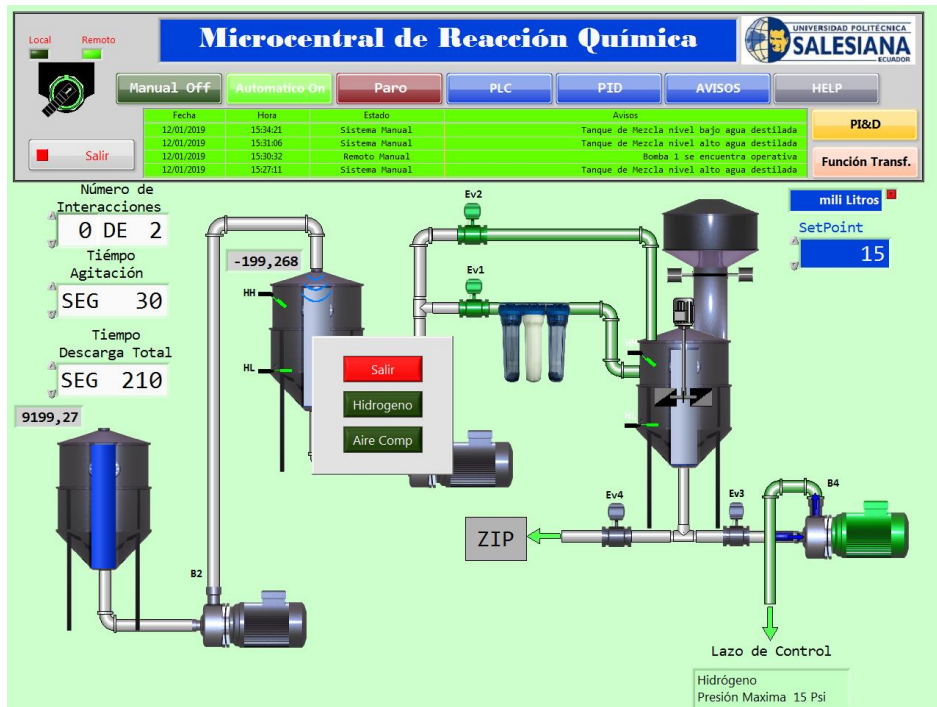


Fig. 34 Pantalla principal del Sistema SCADA

Para realizar una práctica con hidrógeno se despliega a la siguiente pantalla.

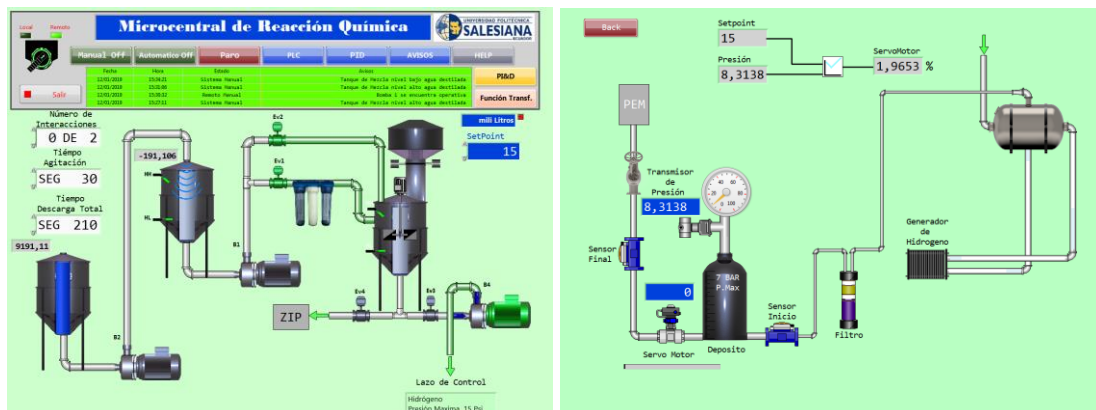


Fig. 35 Pantalla para Práctica con Hidrógeno

Para realizar una práctica con aire comprimido se despliega a la siguiente pantalla.

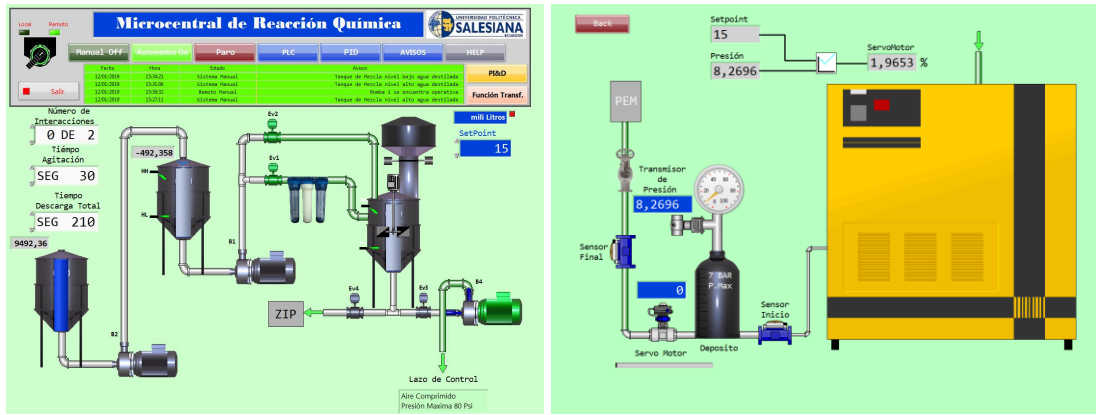


Fig. 36 Pantalla para Práctica con Aire Comprimido

3.10.2. Pantallas del Sistema SCADA

- **Pantalla Principal:** Se selecciona la forma a trabajar en el sistema ya sea de forma automática o manual.

También consta de varios botones que desplazan a varias ventanas detalladas a continuación.

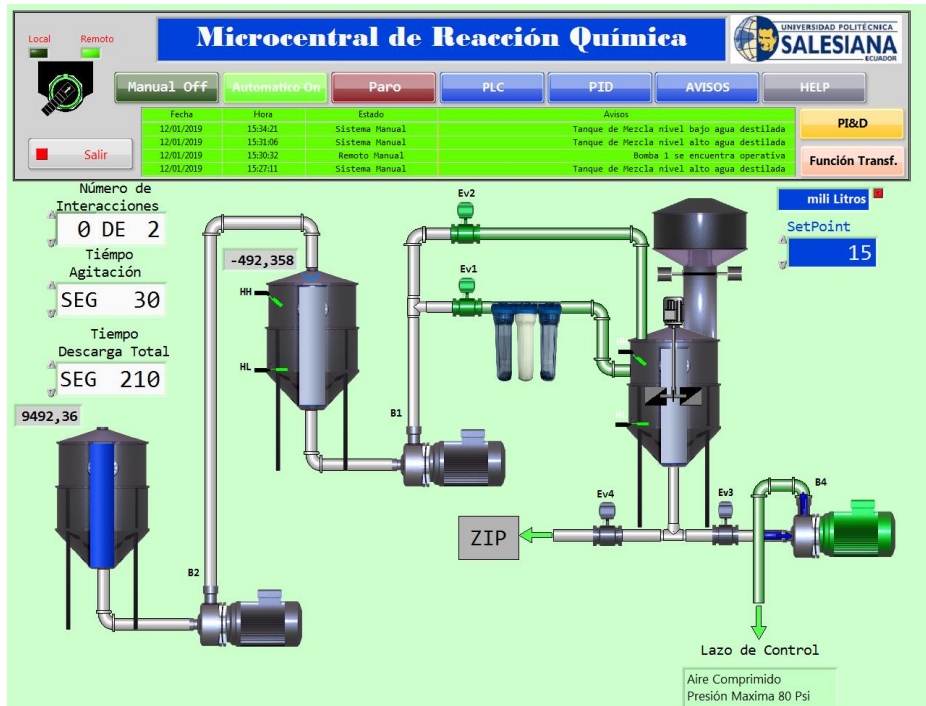


Fig. 37 Pantalla sistema SCADA

- **Pantalla PLC:** En esta pantalla se encuentra toda la información del PLC S7-1200 con sus entradas y salidas.

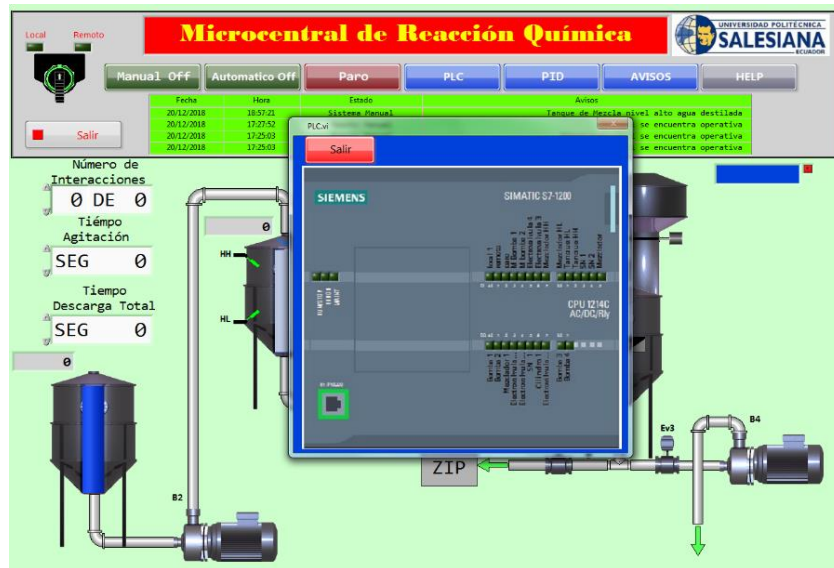


Fig. 38 Pantalla PLC

- **Pantalla PID:** En esta pantalla se muestra la gráfica del Setpoint, la presión que se obtiene en el sistema y la apertura del servomotor.

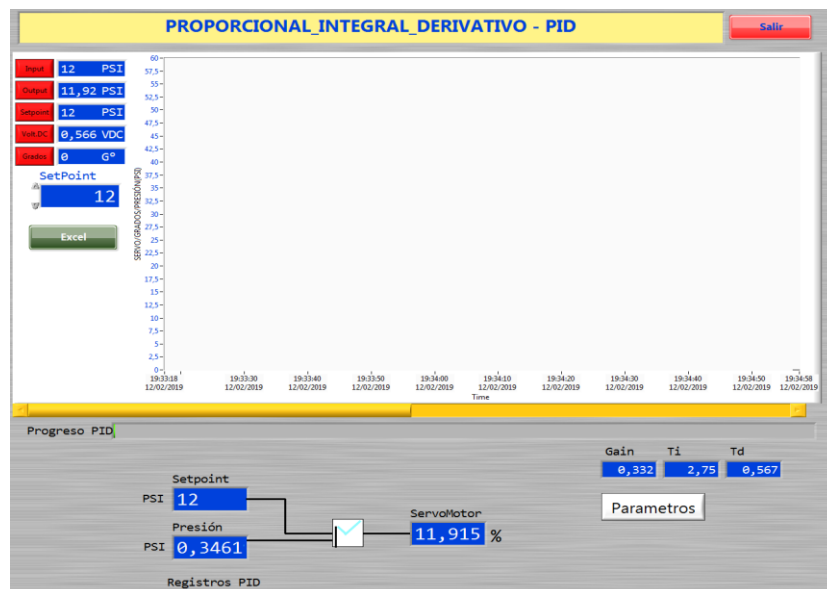


Fig. 39 Pantalla PID

- **Pantalla de avisos:** En esta pantalla se visualiza el estado de cada uno de los elementos que comprenden el sistema, tales como electroválvulas, bombas centrífugas, sensores, etc.



Fig. 40 Pantalla Avisos

- **Pantalla Help:** El sistema SCADA consta de una pantalla con información necesaria de los elementos que se encuentran en el sistema. En la pestaña **Tanque de Mezclado** se encuentra información del funcionamiento del tanque.

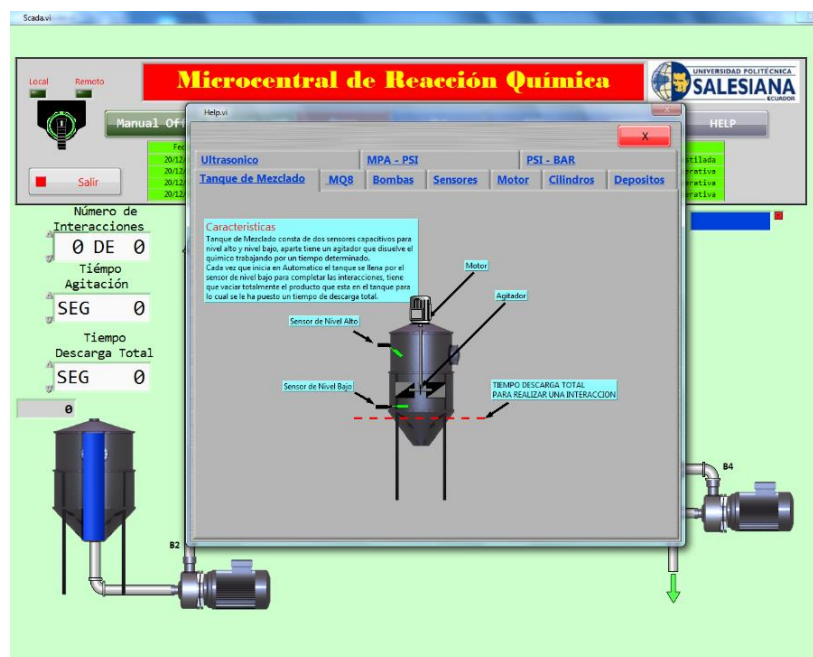


Fig. 41 Pantalla Help – Tanque de Mezclado

En la pestaña **MQ8** se obtiene información de las características del sensor y la programación del mismo.

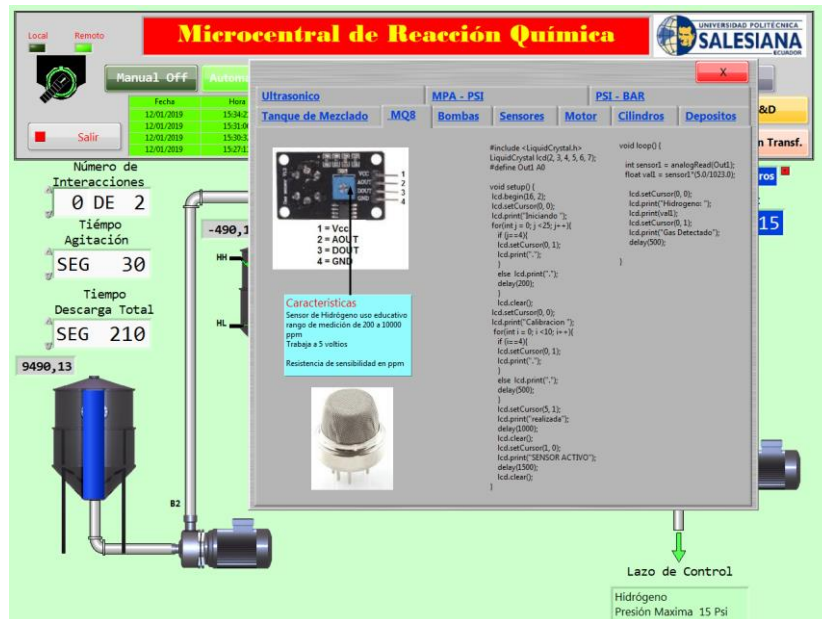


Fig. 42 Pantalla Help – MQ8

En la pestaña **Bombas** se obtiene las características, fallas y recomendaciones para el uso de las bombas.

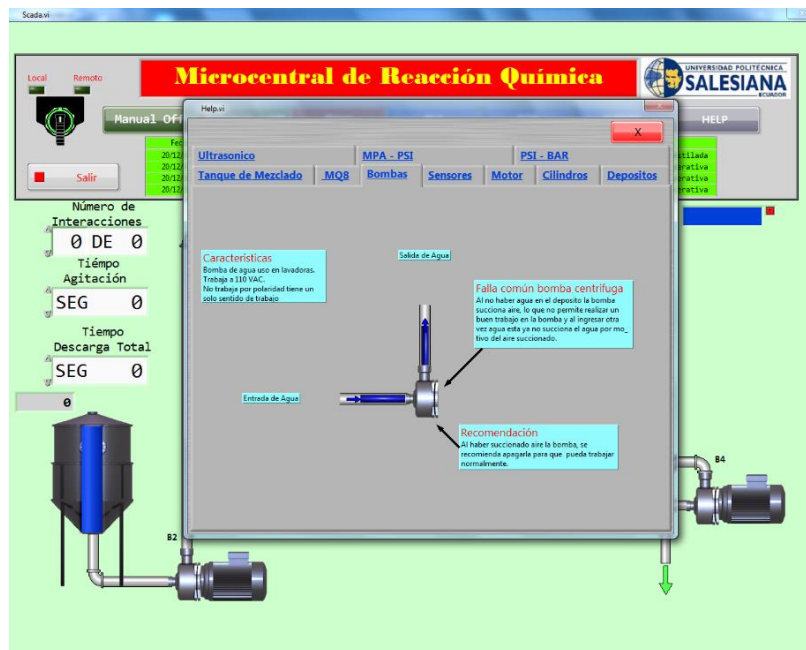


Fig. 43 Pantalla Help – Bombas

En la pestaña **Sensores** se detalla la posición On / Off de los sensores.

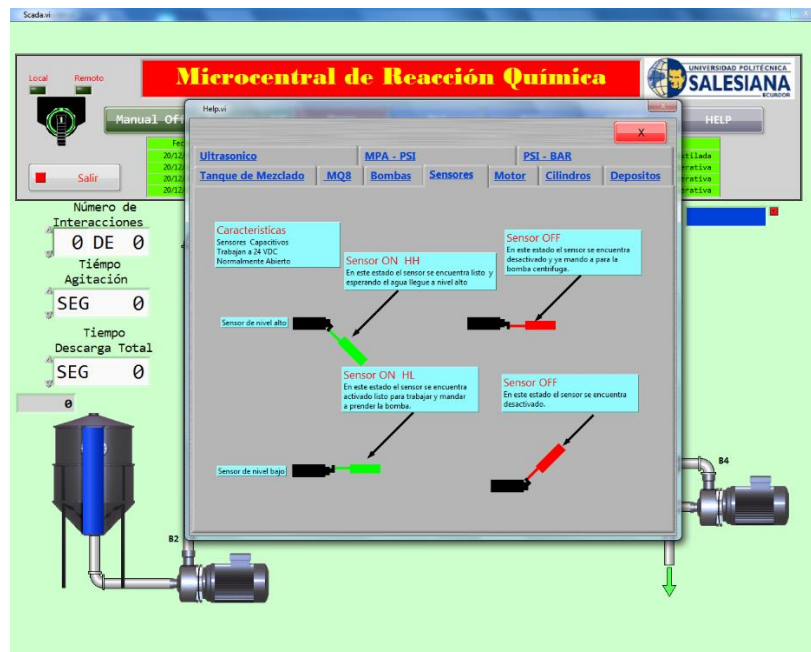


Fig. 44 Pantalla Help – Sensores

En la pestaña **Motor** se detalla la información del motor del agitador del tanque de mezcla.

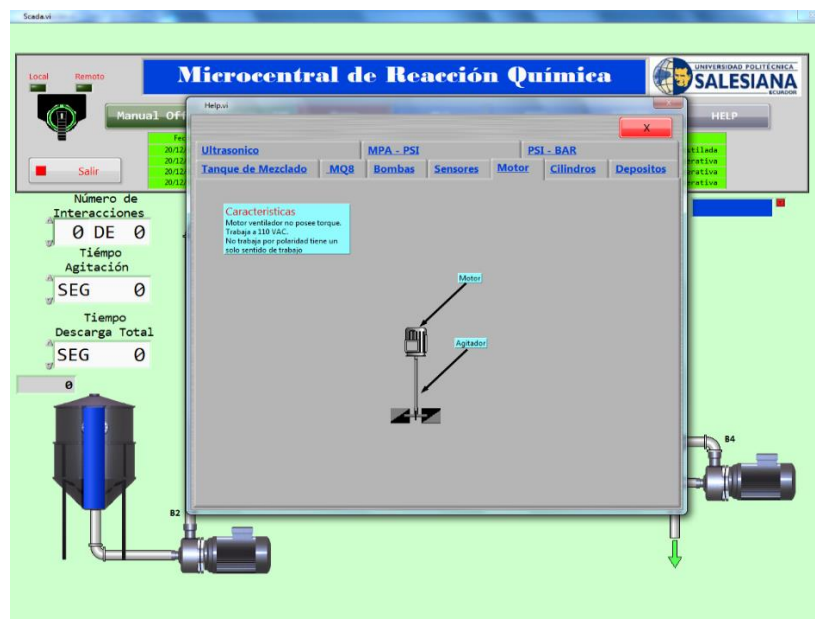


Fig. 45 Pantalla Help – Motor

En la pestaña **Cilindros** se detalla las características y recomendaciones para el uso de los actuadores.

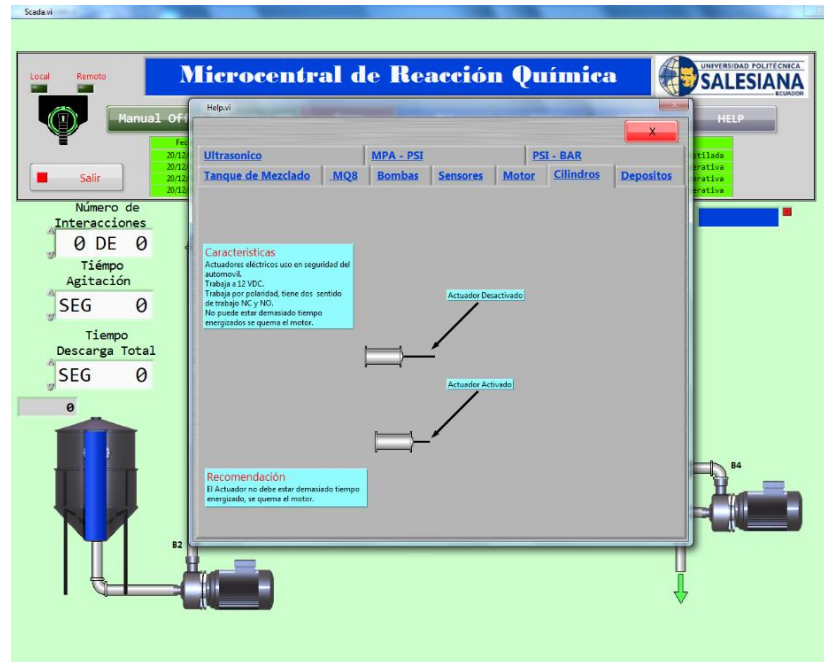


Fig. 46 Pantalla Help – Cilindros

En la pestaña **Depósitos** se detalla la información del funcionamiento de los depósitos.

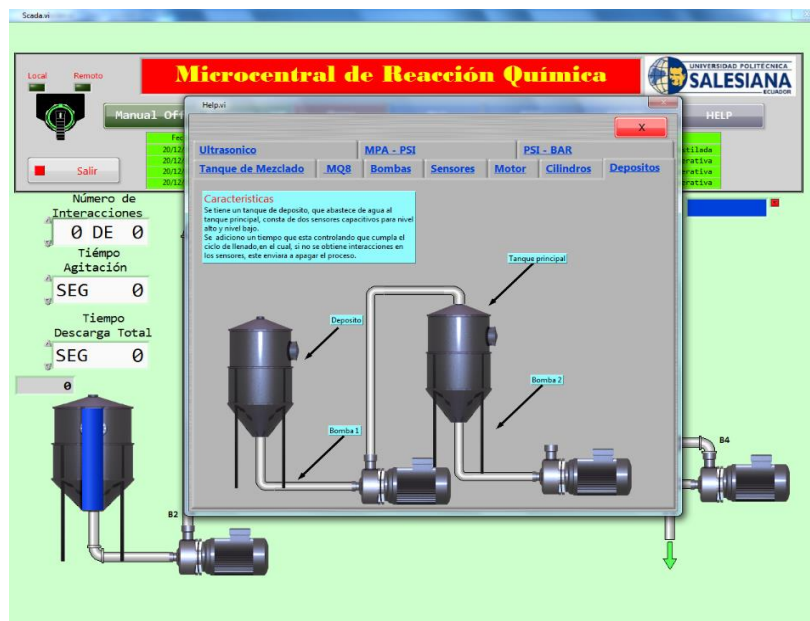


Fig. 47 Pantalla Help – Depósitos

En la pestaña **Ultrasonico** se observa las características del sensor y parte de su programación.

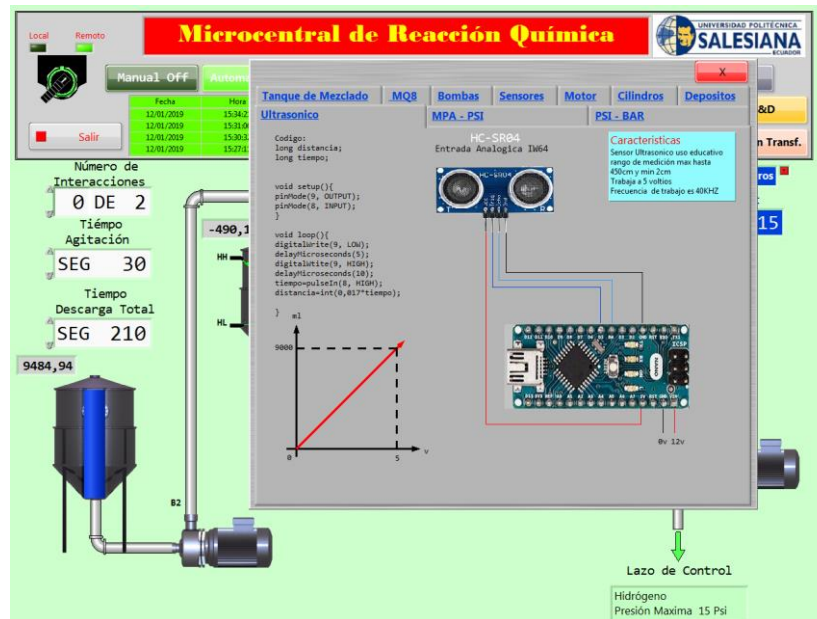


Fig. 48 Pantalla Help – Ultrasonico

En la pestaña **MPA-PSI** se observa las equivalencias y conversiones de MPA a PSI y viceversa.

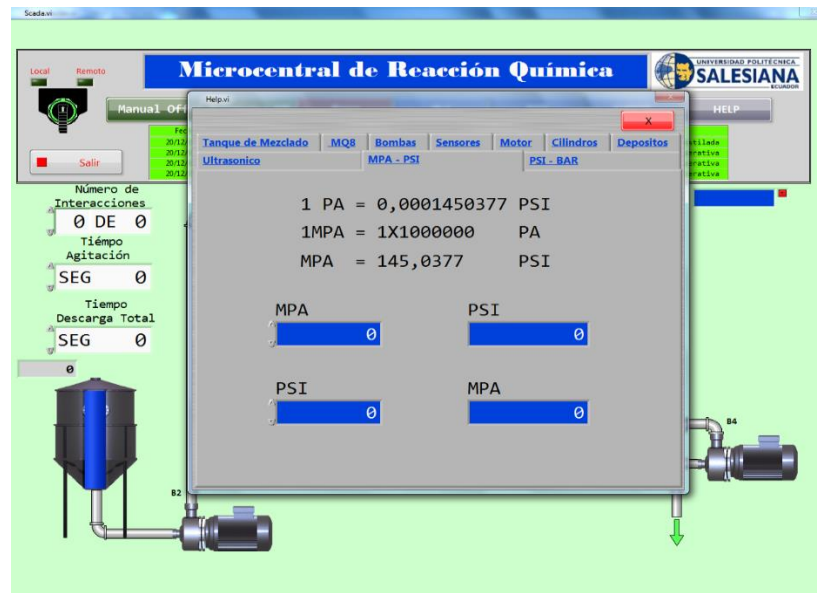


Fig. 49 Pantalla Help – MPA-PSI

En la pestaña **PSI-BAR** se observa las equivalencias y conversiones de PSI a BAR y viceversa.

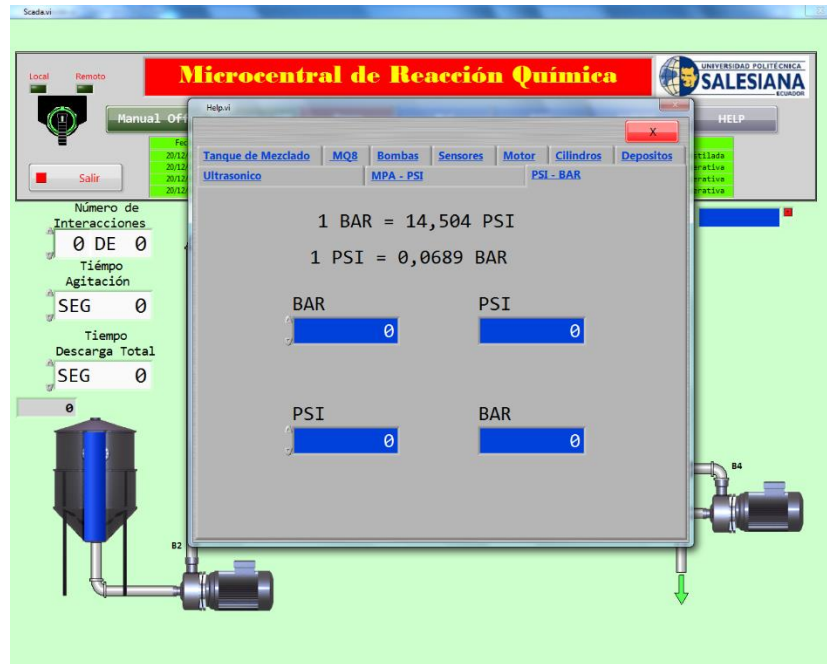


Fig. 50 Pantalla Help – PSI-BAR

En la pestaña **Calibración T. Presión** se realiza la calibración del sensor en caso de que no concuerden los datos con respecto al manómetro.

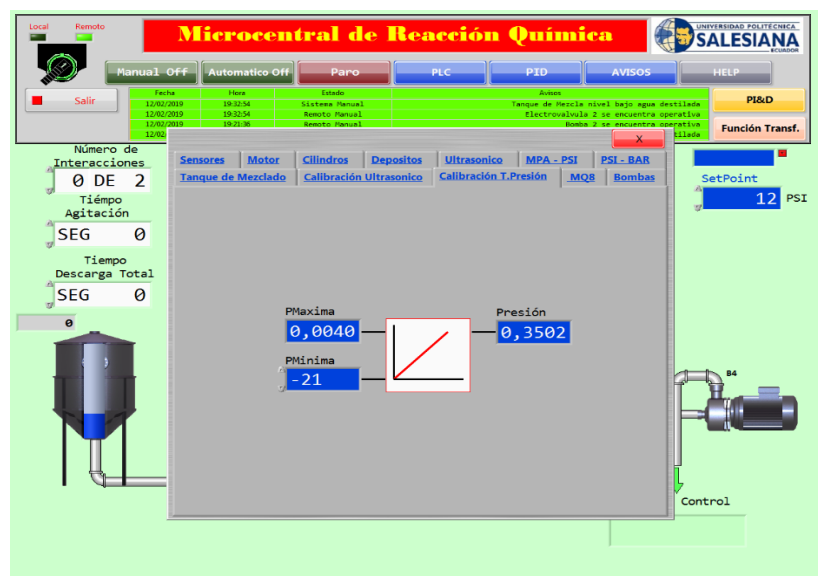


Fig. 51 Pantalla Help – Calibración T. Presión

En la pestaña **Calibración Ultrasónico** se realiza la calibración del sensor en caso de que no concuerde con el nivel del tanque.

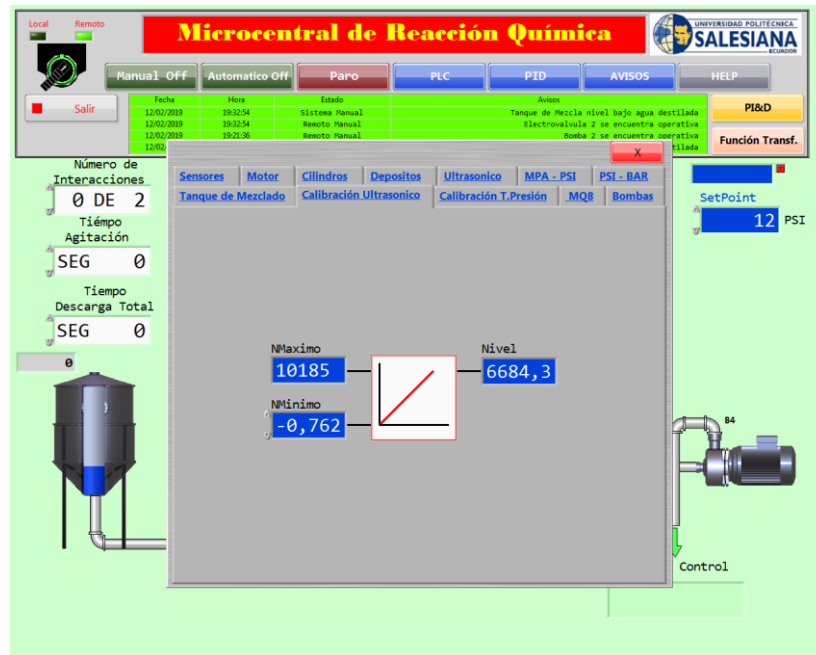


Fig. 52 Pantalla Help – Calibración Ultrasónico

3.11. Software TIA Portal

TIA PORTAL (AUTOMATIZACIÓN TOTALMENTE INTEGRADA), esta es la última plataforma de SIEMENS donde está integrado desde el PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE), HMI (INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA), SCADA (SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS), contiene los diferentes tipos de lenguajes a programar tales como FUP, LADDER, AWL, SCL. Tía portal es muy versátil y efectivo al momento de implementar proyectos por optimizar procesos industriales, diseño e implementación en operación de Hombre-Máquina.

TIA Portal además tiene integrado Wincc RT Profesional, Wincc advanced, Motion & Technology, STEP 7(controladores programables de gama media y alta).

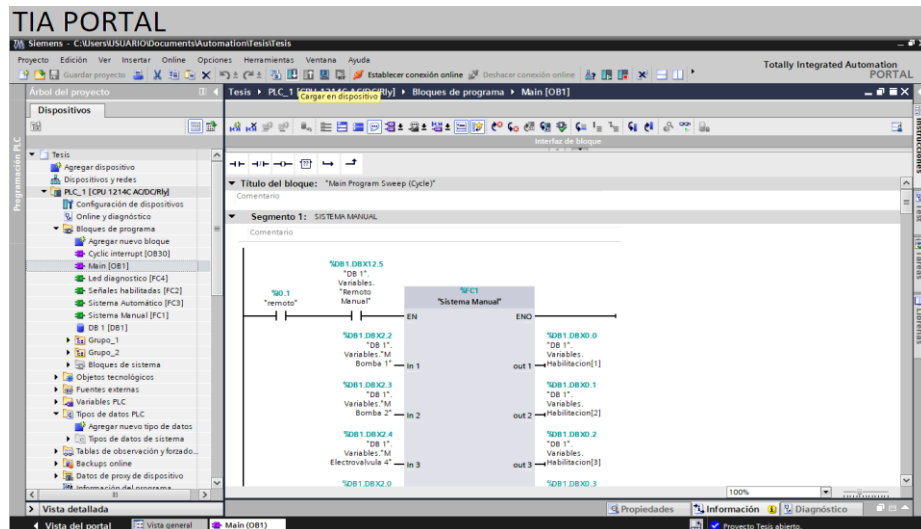


Fig. 53 Software TIA Portal

3.11.1. Pasos para crear un proyecto

Los pasos para crear un proyecto en TIA Portal son:

- Creación del Proyecto
- Nombre del Proyecto
- Configuración del dispositivo
- Agregar Dispositivo
- Selección del controlador

3.11.2. Ventajas del TIA Portal

- Manejo de distintos tipos de comunicación
- Sencillez al cargar datos al controlador
- Gestión de manejo de controladores unificada
- Facilidad en la implementación de un sistema maestro – esclavo
- Diagnóstico asistido en el controlador, Hmi, Scada

3.12. Diseño del sensor de Nivel Ultrasónico

El sensor ultrasónico HC-SR04 de la familia de Arduino calcula distancias o detecta objetos en un rango de 2 a 450cm.

El sensor ultrasónico envía un pulso de alta frecuencia que rebota en los objetos cercanos que es receptado por el sensor.

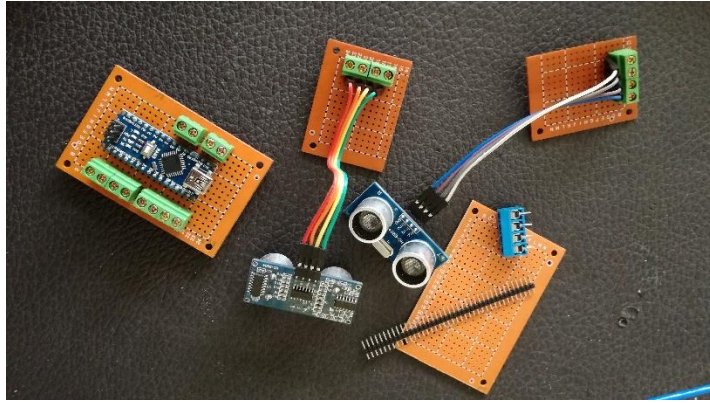


Fig. 54 Sensor Ultrasónico

Fue necesario realizar una tarjeta electrónica con un Nano Arduino que es programado para obtener información del nivel actual que se encuentra en el depósito de agua destilada.

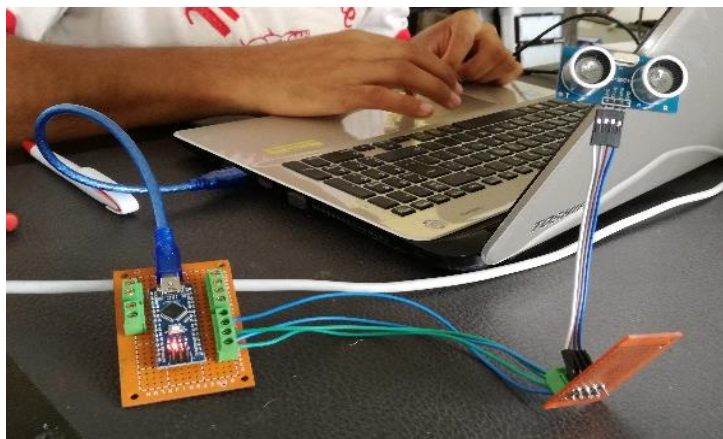


Fig. 55 Programación del Sensor Ultrasónico

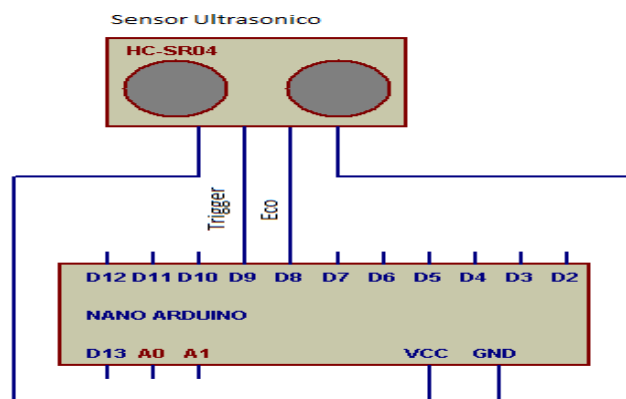


Fig. 56 Circuito del Sensor Ultrasónico

se encuentra perpendicular a la entrada y la salida impidiendo el paso del fluido.



Fig. 57 Válvula de Bola o Esfera

- El servomotor está compuesto por un juego de engranes, un motor eléctrico dc, un potenciómetro interno de $5K\Omega$ y una tarjeta de control. El voltaje de operación es de 4 a 6V con un torque de 15 a 17kg.

Funciona por medio de la modulación de ancho de pulso (PWM) que hace que el circuito de control diferencial interno ponga el servo en la posición indicada dentro de un rango de operación de 0° a 180° .



Fig. 58 Servomotor 1501MG

Se realiza una base cuadrada donde se fija el servomotor y el eje de la válvula de bola, esto permite tener el control de la apertura de la válvula para mantener estable la presión en el tanque de almacenamiento.

También se construyó una estructura para fijar la válvula y el servo al módulo.

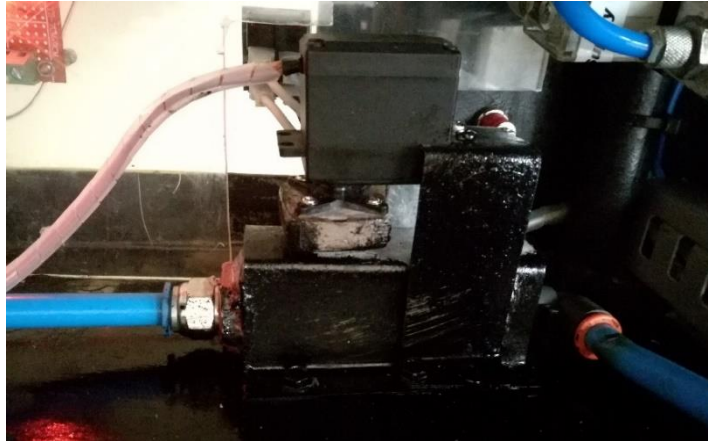


Fig. 59 Servo actuador

3.13.2. Diseño de depósito para lectura de partículas por millón

El sensor MQ8 de Arduino es utilizado para la detección de Gas – Hidrógeno cuenta con una sensibilidad ajustable mediante un potenciómetro, trabaja con 5V y tiene una señal analógica y una señal digital.

De acuerdo a la hoja técnica del sensor MQ8 se recomienda dejarlo 24h activo para obtener mejores lecturas.

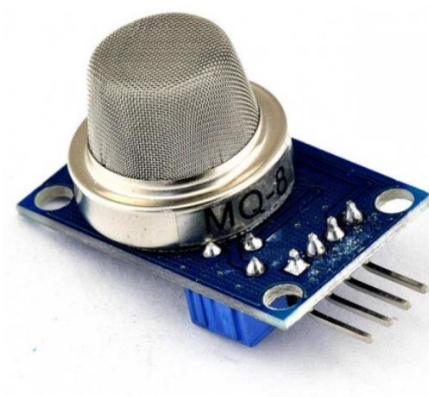


Fig. 60 Sensor MQ8

El sensor fue adaptado a una válvula tipo mariposa para poder verificar las partículas de hidrógeno que circulan en la entrada y la salida del servo actuador.

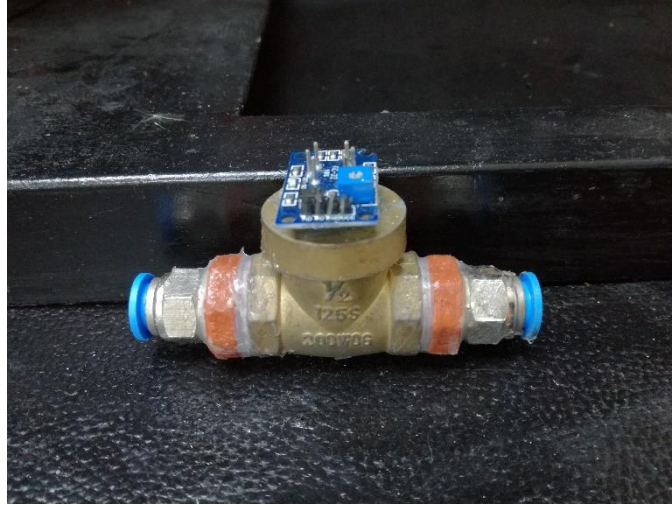


Fig. 61 Estructura Sensor MQ8

Para visualizar las lecturas hechas por el sensor se realizan tarjetas electrónicas para la conexión del sensor con el nano Arduino y pantallas LCD.

Se utiliza la salida analógica del sensor la cual es convertida en una señal digital para ser mostrada en la pantalla LCD mediante la programación del microcontrolador.

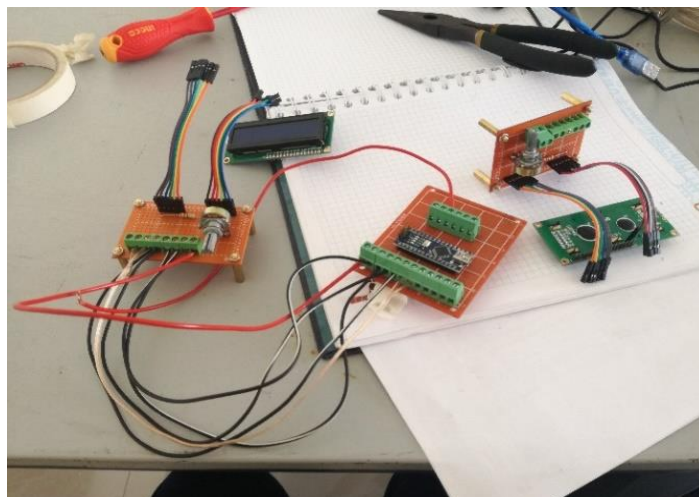


Fig. 62 Tarjetas electrónicas

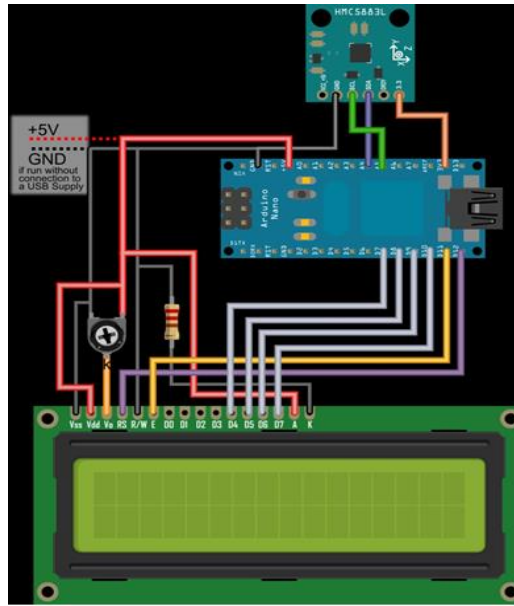


Fig. 63 Diagrama de conexiones



Fig. 64 Visualización de Partículas

3.13.3. Almacenamiento de hidrógeno

Para el almacenamiento del hidrógeno se diseñó un tanque de acero inoxidable con una capacidad máxima de 7 bares, se colocó sobre el tanque un transmisor de presión que mediante una señal de 4 a 20mA, esta señal ingresa en una entrada del módulo Analógico, lo que permite controlar la presión en el sistema.

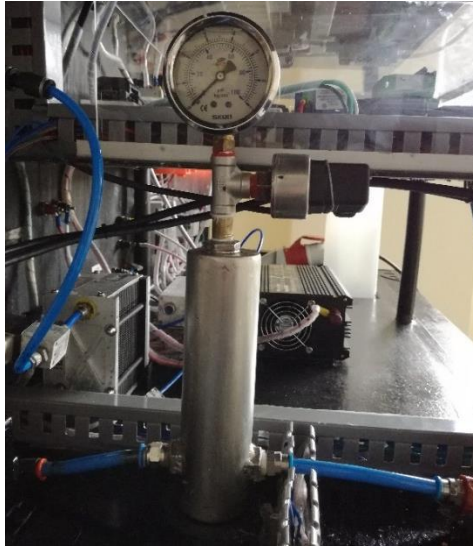


Fig. 65 Depósito de Hidrógeno

En la fig. 66 se muestra los trabajos realizados en el módulo didáctico.

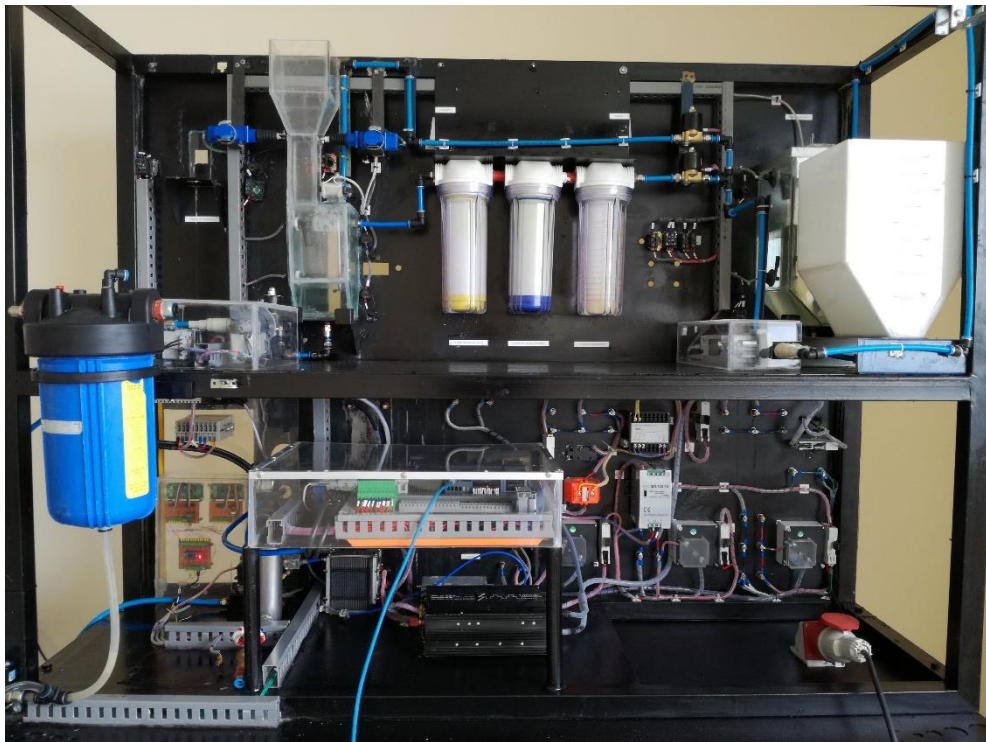


Fig. 66 Módulo Automatizado Vista Posterior

4. Construcción del Control del Servo Actuador

4.1. Lazo de Control

Se realizó un lazo cerrado de control para la presión de hidrógeno que se genera a la salida del proceso y a su vez a la pila de combustible como se muestra en la Fig. 66

El lazo cerrado de control permite modificar diferentes setpoint ingresados para interactuar en el sistema, si el lazo de control cerrado detecta una presión por debajo del Setpoint, envía una señal al controlador para que la válvula motorizada module proporcionalmente, el paso de hidrógeno al depósito hasta lograr establecer la presión, si el caso fuera lo contrario y se detecta una presión por encima de lo establecido la válvula motorizada se cierra proporcionalmente.

Para esta prueba de lazo de control se utiliza aire comprimido para verificar el funcionamiento correcto del controlador PID, dado que el sistema de generación de hidrógeno no se encuentra habilitado y es desarrollado por otro grupo de tesis.

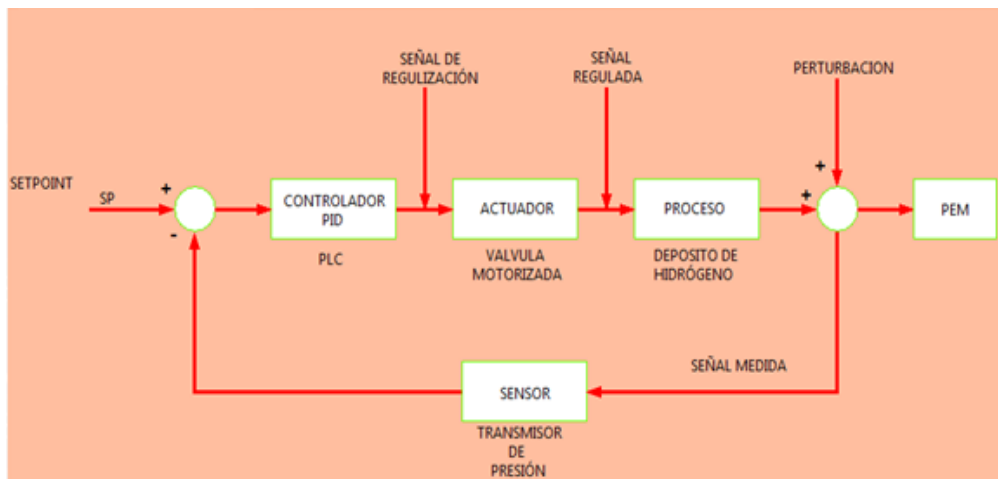


Fig. 67 Lazo de Control Cerrado

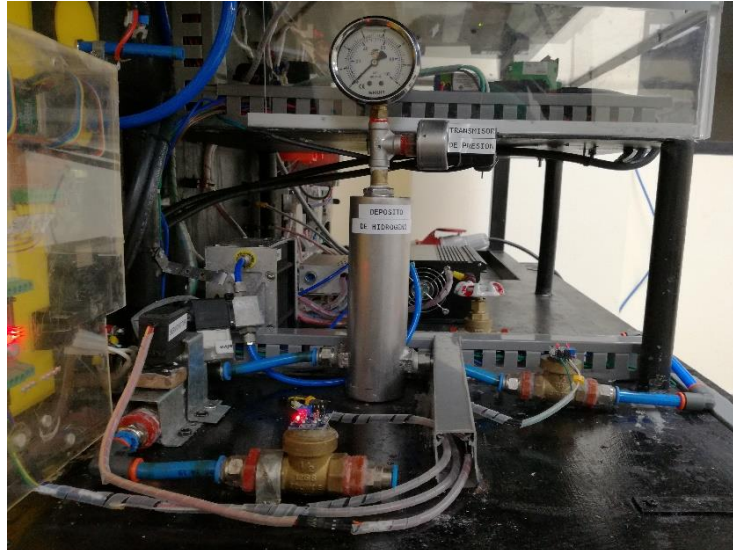


Fig. 68 Lazo de Control Cerrado

4.2. Diseño del controlador

El controlador PID permite controlar un sistema en lazo cerrado para obtener la salida deseada y está compuesto por tres acciones: Proporcional (P), Integral (I), Derivativo (D).

Para realizar el controlador PID con el software del TIA Portal seguiremos los siguientes pasos:

- Damos Clic en “Bloques de programas” y agregamos un nuevo bloque
- Seleccionamos “Bloque de Organización OB” luego “Alarma cíclica” seleccionamos el lenguaje “KOP”, el tiempo de ciclo 100ms y ponemos aceptar.
- Agregamos el bloque regular “PID_Compact” al segmento y se configuran los ajustes básicos.
- Se procede a realizar los ajustes de los parámetros del PID.
- Se realiza la carga al PLC con la programación para realizar el PID
- Por ultimo damos clic en “Optimización inicial” y luego “Optimización fina” esto tardara un lapso de 20 min o más.

Se obtuvo los siguientes datos: Setpoint de 15psi con una estabilidad de 14.20 a 15.58 PSI.

4.3. Método Ziegler - Nichols

Se usó el método Ziegler – Nichols para encontrar los valores del PID, este permite ajustar un regulador PID sin la necesidad de obtener las ecuaciones matemáticas del sistema de control.

Se procede a convertir el lazo cerrado en un lazo abierto retirando el controlador PID y es sustituido por una señal escalón aplicada a la válvula motorizada, cuando la válvula motorizada (variable analógica) reciba un voltaje de 1.1v permite el paso del aire comprimido para obtener un tiempo de respuesta T1 (donde rompe la inercia la presión) y un tiempo donde se estabiliza T2.

En la Fig. 69 se observa de color verde la relación grados- voltaje del servomotor y de color rojo la presión.

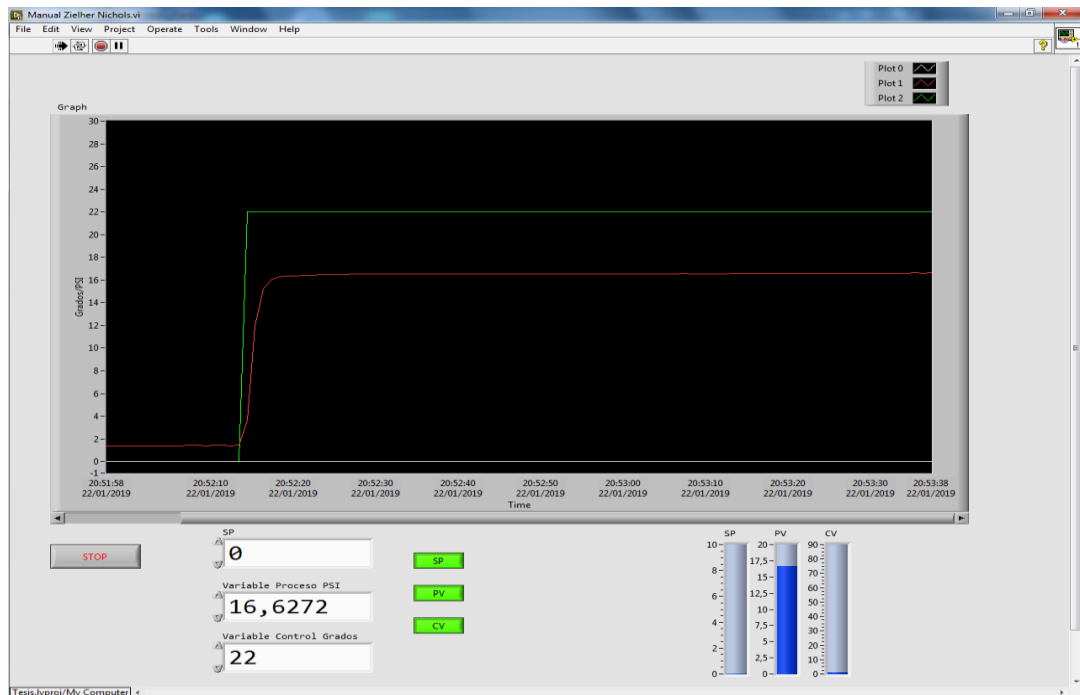


Fig. 69 Presión del sistema al romper la inercia

Para determinar estos tiempos T1 y T2 se traza una línea tangente a la señal de salida (presión)

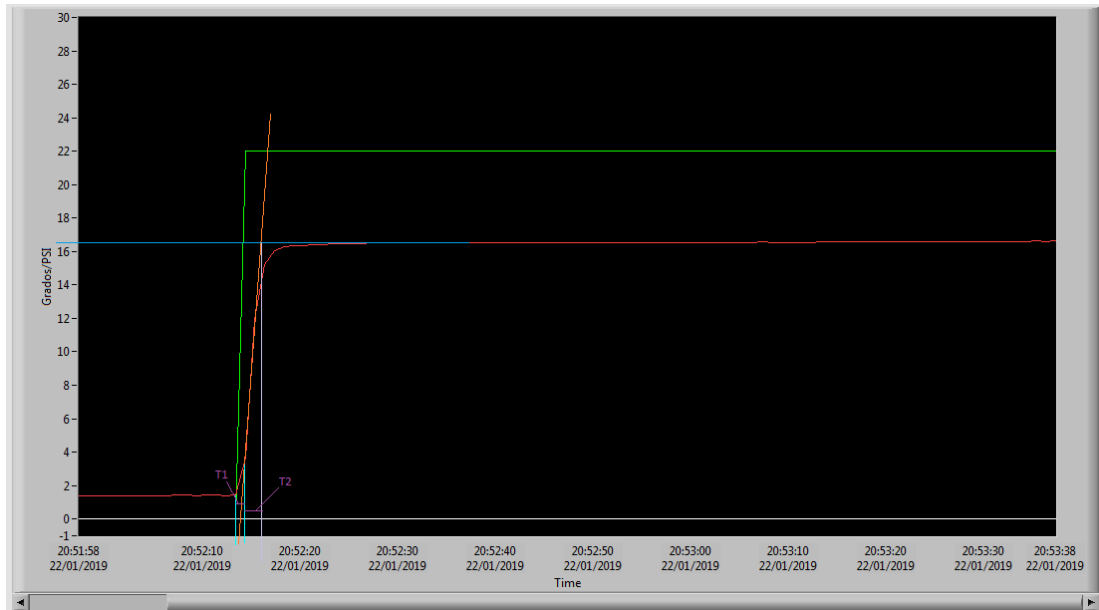


Fig. 70 Tiempos T1 y T2

$$T1 = 1.22$$

$$T2 = 1.5$$

También se debe obtener dx que son los valores que se ingresó a la señal escalón y dy que es variación de la respuesta del sistema, para obtener Ko,

$$dx = 22 - 0 = 22$$

$$dy = 16.53 - 1.38 = 15.15$$

Se procede a obtener los valores de ko

$$ko = \frac{(dx * t2)}{(dy * t1)}$$

$$ko = \frac{(22 * 2)}{(15.15 * 1)} = 2.90$$

Una vez que se obtuvo el valor de ko se calcula los valores del PID

Tabla 2 Ecuaciones para parámetros PID

	Kp	Ti	Td
P	Ko		
PI	0.9*ko	3.3*T1	
PID	1.2*ko	2*T1	0.5*T1

Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 3 Valores de parámetros PID

	Kp	Ti	Td
P	1,78		
PI	2.61	3.3	
PID	3.48	2	0.5

Los valores obtenidos para el PID son ingresados de forma manual al PLC.

Una vez ingresados estos valores se ejecutó el proceso de forma automática para verificar la estabilidad de nuestro PID, se pudo observar un sistema estable, pero al seleccionar un Setpoint de 8PSI no lograba estabilizarse.



Fig. 71 PID Modo automático

5. RESULTADOS

Los valores que se obtuvo de forma manual mediante el método Ziegler - Nichols fueron mejorados para obtener una mejor estabilidad en la válvula motorizada, al momento de trabajar con presiones pequeñas este tendía a desestabilizarse.

Obteniendo así una mejor gráfica con una válvula motorizada más estable sin picos de voltaje y un mejor tiempo de respuesta.

También se observó una presión estable, el sistema trabaja con una presión máxima de 15PSI y una presión mínima de 8 PSI.

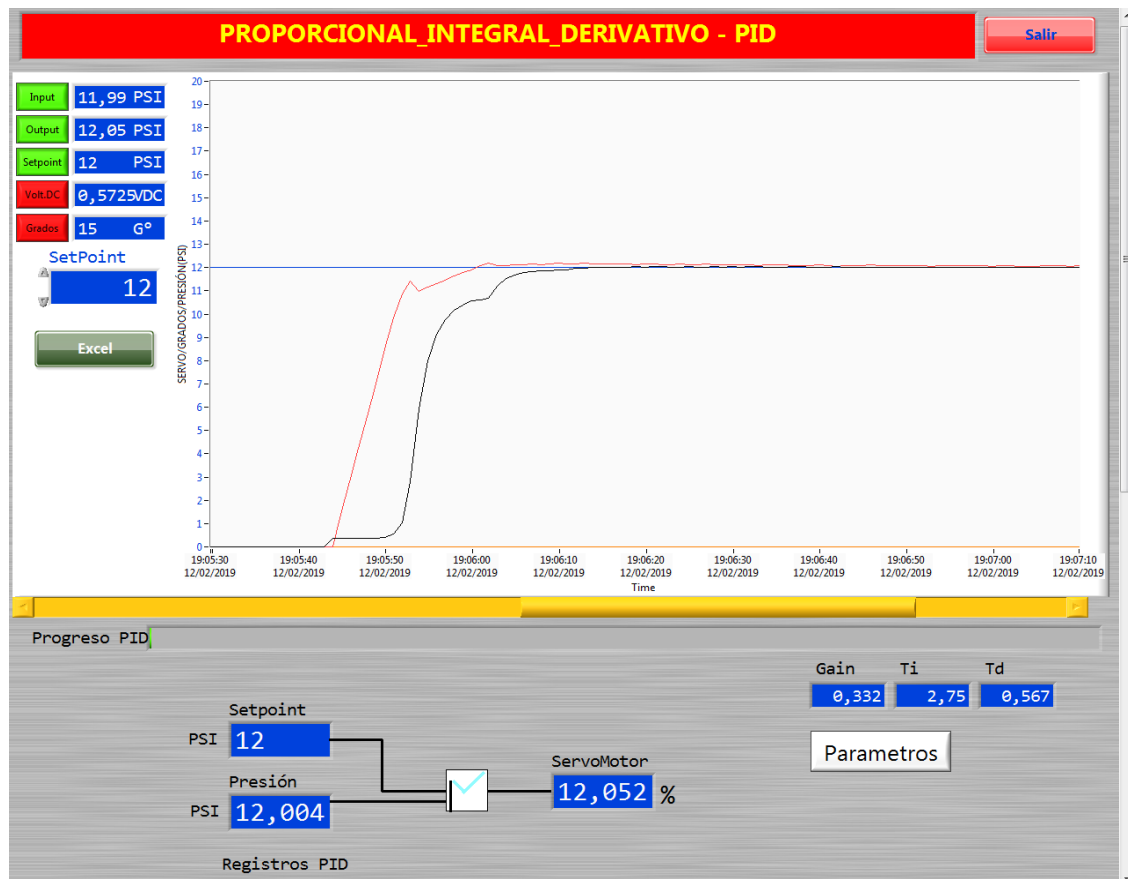


Fig. 72 Sistema PID mejorado

Para verificar la estabilidad del sistema se realizó varias pruebas con diferentes Setpoint obteniendo resultados óptimos.

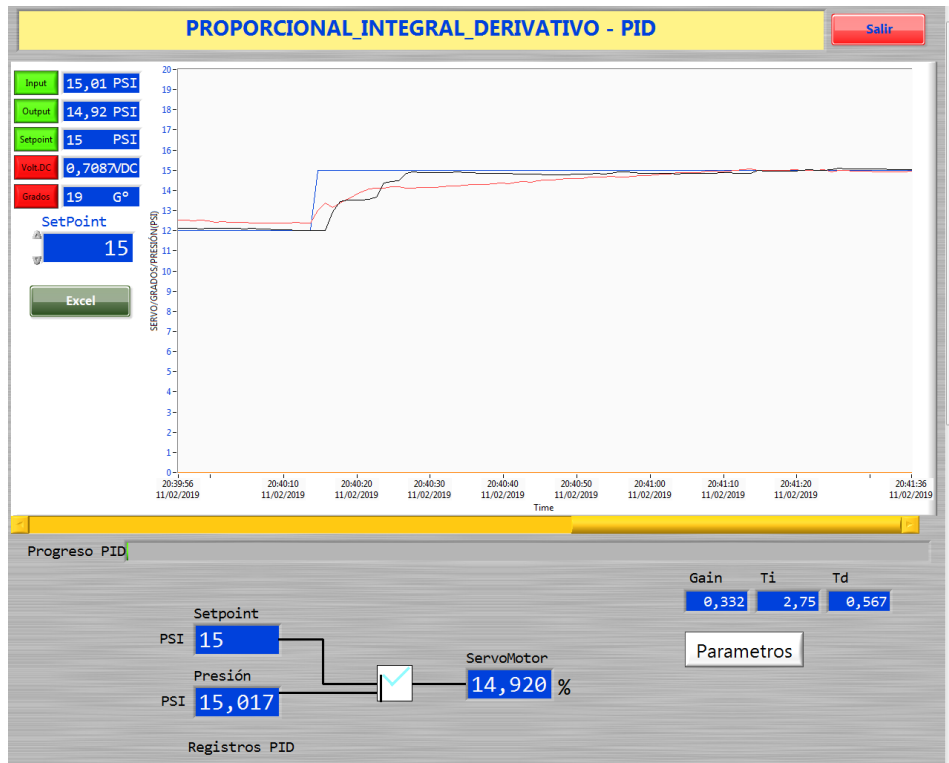


Fig. 73 Setpoint de 12 PSI a 15 PSI

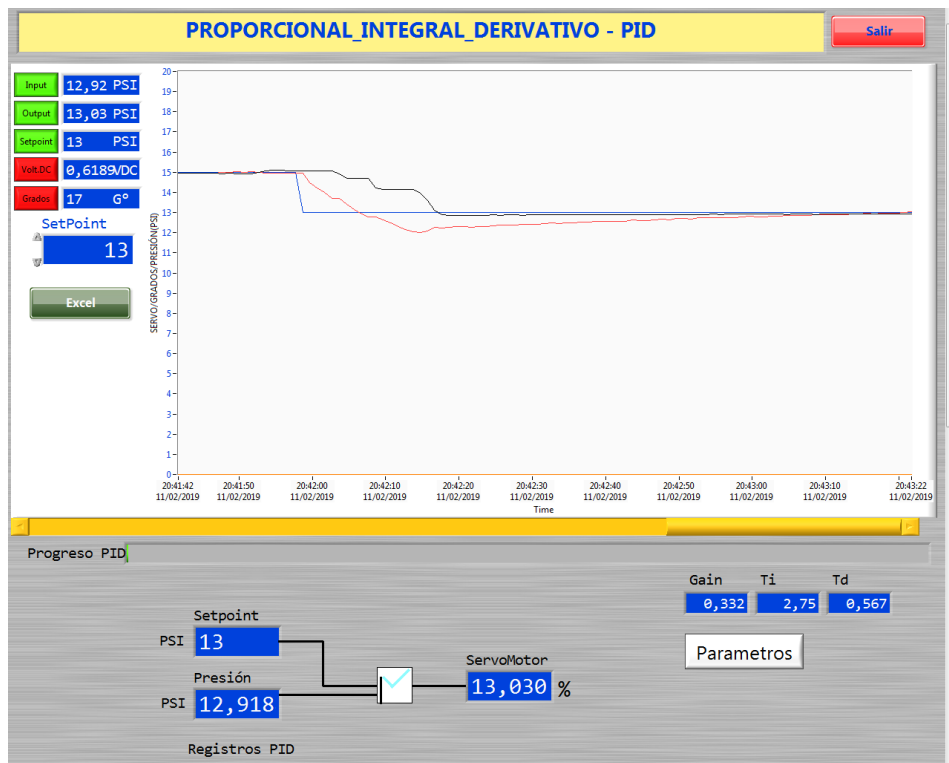


Fig. 74 Setpoint de 15 PSI a 13 PSI

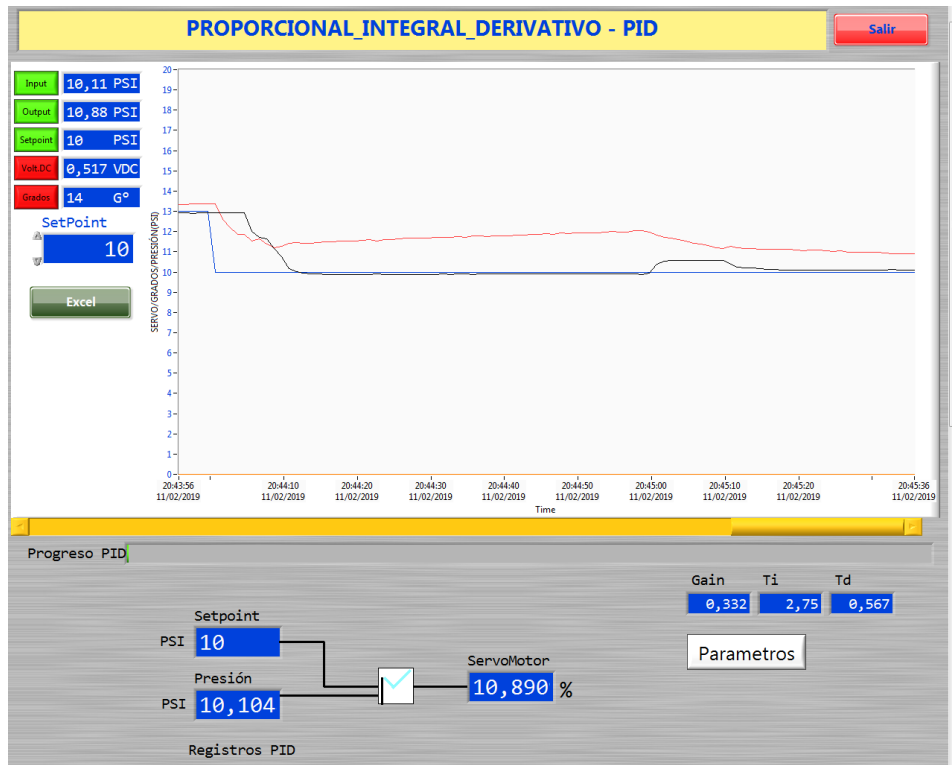


Fig. 75 Setpoint de 13 PSI a 10 PSI

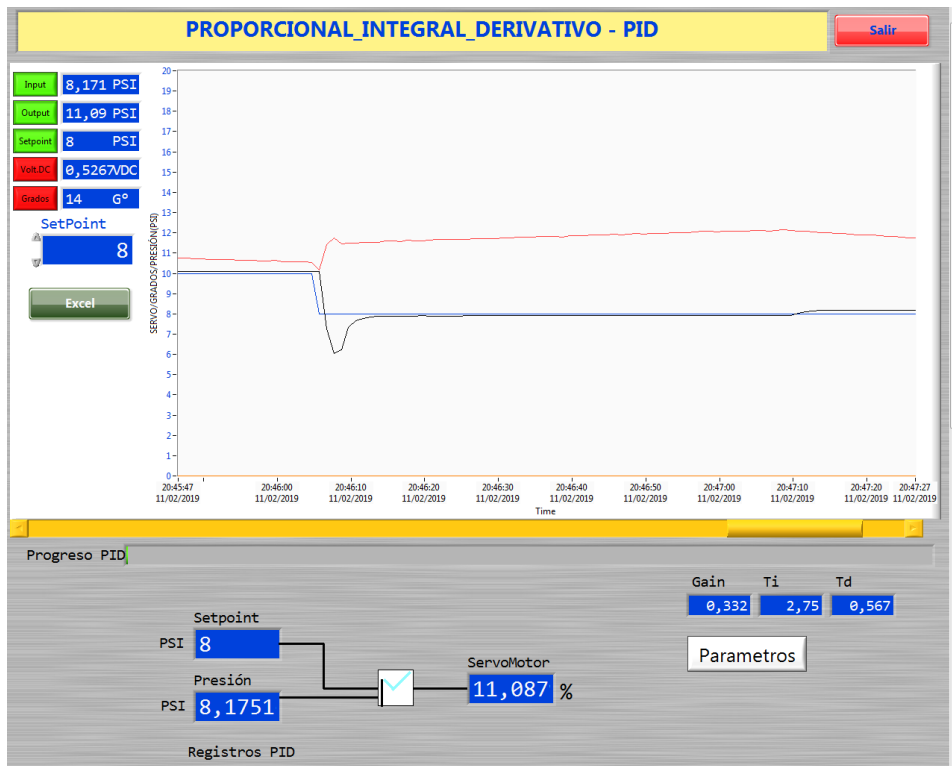


Fig. 76 Setpoint de 10 PSI a 8 PSI

Para cambiar los parámetros de nuestro PID en el sistema SCADA damos clic en el botón “Parámetros” se ingresa usuario y contraseña.

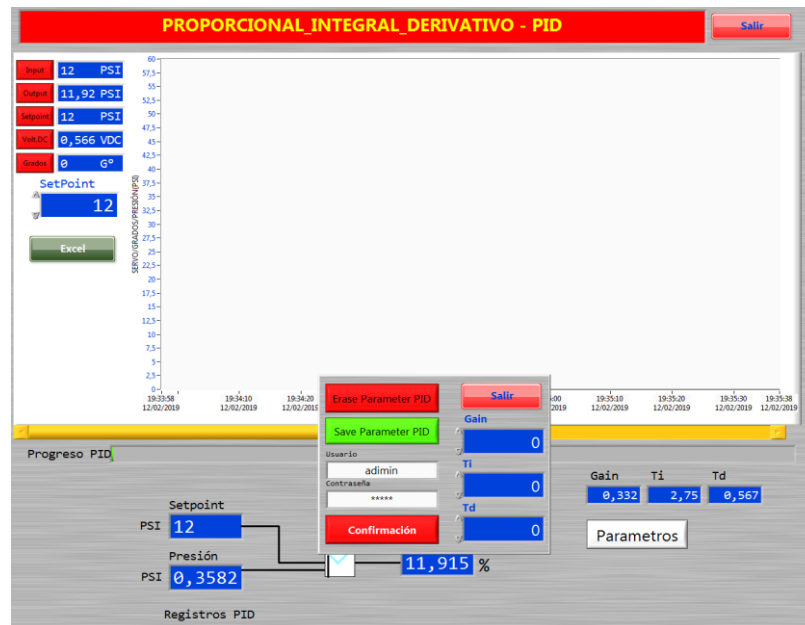


Fig. 77 PID - Usuario y contraseña

Mediante el programa Labview se obtuvo los valores de las señales durante la ejecución del sistema también llamados “Históricos”, para obtener esta tabla daremos clic en el botón “Excel” para generar el archivo. También podemos observar la tabla en la pantalla del SCADA.

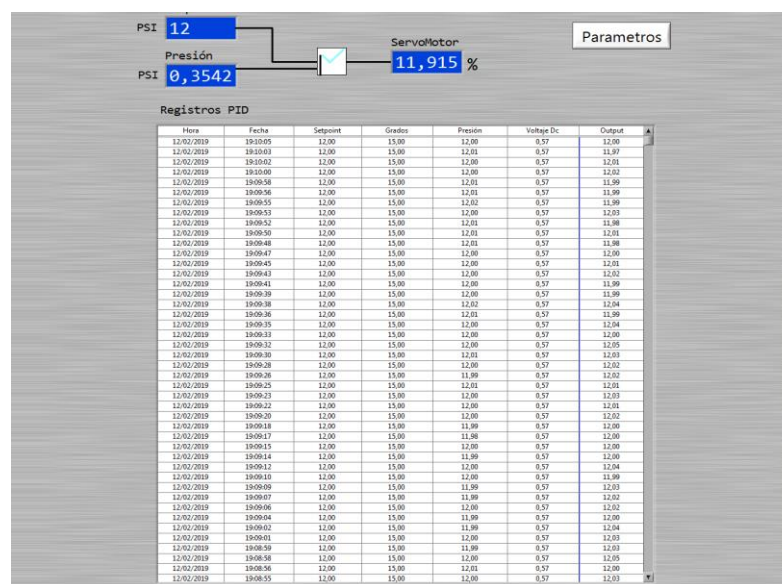


Fig. 78 Tabla de Históricos

6. CONCLUSIONES

Es posible evidenciar en los capítulos anteriores que el proceso pasa de ser manual a un proceso continuo y automático, implementando bombas de agua y actuadores mecánicos para la correcta dosificación del polvo químico para la generación de hidrógeno.

El control para el consumo de hidrógeno fue establecido por técnicas teóricas como el Ziegler and Nichols que brindan un punto de partida del controlador PID para poder perfeccionarlo mediante varias pruebas.

Para estas pruebas se utiliza aire comprimido para verificar el funcionamiento correcto del controlador PID, dado que el sistema de generación de hidrógeno no se encuentra habilitado y es desarrollado por otro grupo de tesistas.

A pesar de la automatización e implementación de un controlador PID, implementar el sistema SCADA proporciona al usuario una supervisión integral de todo el proceso, mediante pantallas colocadas estratégicamente en cada elemento de sensores y actuadores que permiten ver en tiempo real cada una de las variables empleadas.

En la ejecución del proyecto se ha logrado poner en práctica todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, logrando así cumplir con cada uno de los objetivos establecidos en el proyecto.

7. RECOMENDACIONES

Futuras investigaciones, como las líneas de investigación se acogen a las que tiene el grupo GISCOR de la carrera de Electrónica y automatización: Automatización y control, pueden ser aplicadas para realizar nuevos y mejores controladores basados en lógica difusa o controles predictivos.

Para una mejor interacción del módulo y el sistema SCADA se recomienda realizar una breve introducción a la persona encargada de utilizar el modulo.

Es necesario realizar limpieza del sistema cada vez que el modulo sea utilizado ya que el químico KOH es muy fuerte y puede ocasionar deterioro en los elementos.

Se recomienda trabajar con presiones máximas de 15PSI y mínimas de 8PSI que son los valores máximos y mínimos de consumo de la pila de hidrógeno.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Leonardo, R. Piedra y C. Grunauer, «Diseño e Implementacion de una Micro Central de Reacción Química empleando una Pila de Commbustible alimentada por Hidrógenoo y Oxígeno,» Guayaquil, 2017.
- [2] Universidad Politécnica Salesiana, «GISCOR Grupo De Investigación En Sistemas De Control Y Robótica,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.ups.edu.ec/web/guest/giscor>.
- [3] G. Jácome, P. Solís y L. Byron, «DSPACE Universidad Politécnica Salesiana,» Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5307>. [Último acceso: 2017].
- [4] G. G. Miguel, P. R. Juan Carlos y O. H. Fernando Elí, «Estudio de factibilidad de una celda de combustible para aplicación en autobuses urbanos,» Julio 2015. [En línea]. Available: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15688/ISISA-01-15.pdf?sequence=1>. [Último acceso: Enero 2018].
- [5] T. I. EG&G, «Fuel Cell Handbook Seventh Edition,» West Virginia National Energy Technology Laboratory, Noviembre 2004. [En línea].
- [6] Y. Alvaro, D. Jorge y Á. Ramón, «El Hidrogeno como Fuente Alterna de Energía,» 2007. [En línea]. Available: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3263/50.pdf?sequence=1>.
- [7] B. Laureano, «Propulsión Eléctrica Marina con Cero Emisiones mediante el empleo de una Pila de Combustible de Hidrógeno de tipo PEM,» 2014. [En línea].
- [8] E. Blanca y F. Gracia, «Diseño de una Celda de Combustible Microbiológica con uso de Bacterias Oxidantes de Azufre y Hierro,» Marzo 2012. [En línea].
- [9] A. Wilton, «Detección y control del estado de una pila PEM para funcionamiento óptimo: Arquitectura de agentes de percepción y control,» Universidad Carlos III de Madrid, Septiembre 2013. [En línea].

[10] F. Javier, «Modelado, Síntesis y Optimización del Proceso de Reformado de Bioetanol para la Producción de Hidrógeno Grado PEM,» 2008. [En línea].

Available:

<http://web10.unl.edu.ar:8080/tesis/xmlui/bitstream/handle/11185/67/Tesis.pdf?sequence=11&isAllowed=y>.

[11] L. Santiago, «Pilas de Combustible, electricidad para el futuro inmediato,» Técnica Industrial, Diciembre 2012. [En línea].

[12] C. Javier, «Hibridación de una Pila PAFC Operando en Poligeneración con ciclo de Rankine Orgánico,» Junio 2007. [En línea]. Available:

<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/46798cd964dc0.pdf>.

[13] M. Jaasiel, «Síntesis y caracterización de materiales basados en ceria para pilas de combustible de óxidos sólidos,» Julio 2015. [En línea]. Available:

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/815/SINTESIS+Y+CARACTERIZACION+DE+MATERIALES+BASADOS+EN+CERIA+PARA+PILAS+DE+COMBUSTIBLE+DE+OXIDOS+SOLIDOS.pdf?sequence=1>.

[14] D. Segio, «Pilas de combustible: principios y perspectivas,» Universidad Autónoma de Zacatecas, 2009. [En línea]. Available:

https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Cintora_Juarez/publication/279179480_Celdas_de_combustible_de_metanol/links/558c504908ae40781c2047e1.pdf#page=76.

[15] A. Mario y M. Angel, «El Hidrógeno: Fundamento de un futuro equilibrado, Segunda Edición,» 2012. [En línea].

[16] Q. Edison, D. Torres y C. Juan, «Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L,» Diciembre 2014.

[En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7354>.

[17] C. Xavier y J. Lorena, «El hidrogeno y las pilas de combustible: Tratamiento y valorizacion Energética de Residuos,» Ediciones Díaz de Saltos, 2012. [En línea].

[18] B. Marcos, C. Eddy y L. Neira, «Diseño e implementación de un sistema scada en la línea de ensamble sony# 2.,» Septiembre 2016. [En línea]. Available:

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13463>.

- [19] P. Esteban, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» Tecnología en Marcha. Vol. 28, N° 4., 2015. [En línea].
- [20] A. David, «DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA USO EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS,» Abril 2013. [En línea]. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1739>.
- [21] S. Helem, V. Ramon y A. Orlando, «Implementación de Controladores PID: Equivalencia y Optimalidad,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://www.ja2014.upv.es/wp-content/uploads/papers/paper_130.pdf.
- [22] C. Alex y J. Orellana, «Modelado y control de posición de un cilindro de doble efecto utilizando Pid y Pid-difuso con matlab y labview.,» 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14554>.
- [23] S. Creus, «Instrumentación Industrial, 8va Edición,» Alfaomega, 2011. [En línea].
- [24] A. Gary, A. Wilton y C. Holger, «Implementación y analisis de rendimiento de un control industrial de nivel para tanques con fluidos, basados en logica difusa,» 2014. [En línea].
- [25] T. Angelo y V. Roberto, «Diseño e implementación de una planta didáctica industrial con aplicaciones para el control de nivel en un reservorio, para el laboratorio de automatización industrial,» 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13455>.

ANEXOS

ANEXO 1.

Diseño en 3D del Módulo.

