



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**“CONTROL PID MEDIANTE PLC, PARA LA REGULACIÓN DE
PRESIÓN Y SU IMPACTO EN LA OPERATIVIDAD DEL PROCESO
DE TRATAMIENTO DE AGUA, POR OSMOSIS INVERSA, EN LA
EMPRESA MARFRASAL S.A.C.”**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

RUSBEL JOSUE GUERRERO SIERRA

ASESOR

MG. ING. JUAN CARLOS MARCA DELGADO

LIMA, AGOSTO 2019

DEDICATORIA

A Dios por ser mi amparo; A mis queridos padres por sus sabios consejos.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme vivir y así alcanzar mis metas y sueños; A mis padres les agradeceré toda mi vida por ayudarme a realizar este sueño y esta meta que me propuse.

ÍNDICE

ÍNDICE	4
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	15
1.2 Definición del Problema	16
1.3 Objetivos del Proyecto	16
1.4 Justificación de la Investigación	17
1.5 Limitaciones del estudio	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes Bibliográficos	20
2.2 Bases Teóricas	23
2.3 Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III: PROPUESTA DE DISEÑO	39
3.1 Descripción del Diseño	40
3.2 Desarrollo del Diseño	44
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	67
4.1 Diseño metodológico	68
4.2 Diseño muestral	68
4.3 Técnicas de recolección de datos	68
4.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	68
4.5 Aspectos éticos	68
CAPÍTULO V: RESULTADOS	69
5.1 Resultados	70

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	74
6.1 Discusión	75
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	80
ANEXOS	82
Anexo 1	83
Anexo 2	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Estado accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 1.....	40
Tabla 2:	Estado accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 2.....	41
Tabla 3:	Estado accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 3.....	42
Tabla 4:	Sensores y actuadores del proceso.....	53
Tabla 5:	Lista de datos de la función FC1.....	54
Tabla 6:	Lista de datos de la función FC2.....	60
Tabla 7:	Lista de datos de la función FC3.....	62
Tabla 8:	Lista de datos del bloque de organización OB1.....	65
Tabla 9:	Estadístico frecuencia de la presión del sistema manual.....	71
Tabla 10:	Media variación de la presión deseada sistema manual.....	72
Tabla 11:	Estadístico frecuencia de la presión con controlador PID.....	72
Tabla 12:	Media variación de la presión deseada con controlador PID.....	73
Tabla 13:	Análisis anual del cambio de membranas semipermeables	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Proceso osmosis inversa a automatizar.....	43
Figura 2:	Diagrama de Control del Proceso a Automatizar.....	44
Figura 3:	Lazos de control del proceso de tratamiento por osmosis inversa.....	45
Figura 4:	Representación de la variable controlada en el proceso de osmosis inversa.....	48
Figura 5:	Representación de la variable controlada en el entorno PID TUNER ...	49
Figura 6:	Selección del diagrama PID en el proceso de osmosis inversa.....	50
Figura 7:	Diagrama PID del proceso de osmosis inversa.....	51
Figura 8:	Diagrama Bode.....	52
Figura 9:	Segmento 1 de la programación de la función FC1.....	55
Figura 10:	Segmento 2 de la programación de la función FC1.....	56
Figura 11:	Segmento 3 de la programación de la función FC1.....	56
Figura 12:	Segmento 4 de la programación de la función FC1.....	56
Figura 13:	Segmento 5 de la programación de la función FC1.....	57
Figura 14:	Segmento 6 de la programación de la función FC1.....	57
Figura 15:	Segmento 7 de la programación de la función FC1.....	57
Figura 16:	Segmento 8 de la programación de la función FC1.....	58
Figura 17:	Segmento 9 de la programación de la función FC1.....	58
Figura 18:	Segmento 10 de la programación de la función FC1.....	58
Figura 19:	Segmento 11 de la programación de la función FC1.....	59
Figura 20:	Segmento 12 de la programación de la función FC1.....	59
Figura 21:	Segmento 13 de la programación de la función FC1.....	59
Figura 22:	Función FC2.....	61

Figura 23: Segmento 1 de la función FC3.....	63
Figura 24: Segmento 2 de la función FC3.....	63
Figura 25: Segmento 3 de la función FC3.....	64
Figura 26: Segmento 4 y 5 de la función FC3.....	64
Figura 27: Segmento 1 del bloque de organización OB1.....	65
Figura 28: Segmento 2 del bloque de organización OB1.....	66
Figura 29: Segmento 3 del bloque de organización OB1.....	66
Figura 30: Recolección de datos.....	70
Figura 31: Rangos de operatividad e inoperatividad.....	76

RESUMEN

La presente Tesis tiene como objetivo determinar el impacto de la regulación de la presión a través del control PID mediante PLC, sobre la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua, por el método de osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.

Para lo cual, inicialmente se determinó los sensores y actuadores a considerar como parte del automatismo; seguidamente se desarrolló el algoritmo del controlador PID, sobre el PLC Siemens 314C-2DP.

Luego, haciendo uso del instrumento de recolección de datos (Anexo 1), y mediante el método de la observación, se analizó los reportes de medición, que se muestran en el Anexo 2, para después hacer la recolección y procesamiento de datos con el software SPSS versión 24.

Finalmente, se determinó el impacto de la regulación de la presión, el cual es de 82.12%; es decir, con el automatismo se ha reducido en ese porcentaje la variación de la presión deseada; en relación con la inoperatividad se ha disminuido en un 100% el cambio de membranas semipermeables, y por ende las paradas del proceso; lo que significa un ahorro anual de \$ 13,770.00.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to determine the impact of pressure regulation through PLC control over the inoperability of the water treatment process, by reverse osmosis, at Marfrasal S.A.C.

For which initially the sensors and actuators to be considered as part of the input and output elements of the automation were determined; then the algorithm of the PID controller was developed, on the Siemens PLC 314C-2DP, of the water treatment process, by reverse osmosis, in the company Marfrasal S.A.C.

Then using the data collection instrument (Annex 1), and using the observation method, we analyzed the measurement reports, which are shown in Annex 2, to then collect and process data with the SPSS software. version 24.

Finally, the impact of pressure regulation was determined, which is 82.12%; with the automatism, the variation of the desired pressure has been reduced in that percentage; in relation to inoperability, the change of semipermeable membranes has been reduced by 100%, and therefore the process stops; what in cost means an annual saving of \$ 13,770.00.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se evidencia la necesidad de preservar nuestros recursos naturales, siendo el agua un factor muy importante, ante la creciente demanda de la población, tal situación motiva la búsqueda de técnicas de reutilización y exige a las empresas a colaborar en la preservación y cuidado del agua.

La empresa Marfrasal SAC, consume un promedio mensual de 4,859m³. Esta cantidad relevante de consumo de agua obligó a la empresa a implementar políticas de reutilización y la instalación de un proceso manual de tratamiento de agua residual, mediante el método de osmosis inversa.

En la operación del sistema de tratamiento en mención, se evidenciaba paradas de manera frecuente; se detectó, que el punto crítico era el modo de operación manual en la que trabajaba el sistema, ya que la membrana semipermeable que utiliza, requiere de un nivel de presión de 12.5 bar; que en muchas ocasiones no se conseguía, ya que los operarios accionaban manualmente una bomba para generar el paso del agua, pero, al trabajar continuamente se obstruía la membrana y no permitía generar un flujo continuo, deteniéndose así el proceso.

El presente trabajo tiene como objetivo general: Determinar el impacto de la regulación de la presión a través del control PID mediante PLC, sobre la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua.

La importancia de esta investigación se basa en la necesidad de implementar el automatismo del controlador PID mediante PLC, se logrará obtener un sistema de tratamiento de agua continuo, con lo que se disminuirá la constante obstrucción de la membrana semipermeable; evitando de esta manera las frecuentes paradas del sistema, abasteciendo de agua limpia para los procesos que requiere la empresa.

La presente Tesis está compuesta por seis capítulos.

En el Capítulo I, se describe la realidad problemática, sobre la cual se sustenta y justifica mi investigación, precisando la definición del problema, y los objetivos que se pretenden alcanzar.

En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico en la cual se sustenta mi propuesta de solución, en el cual describo los antecedentes de investigación, así como las bases teóricas en relación con las variables independiente y dependientes.

En el Capítulo III, se describe y desarrolla la propuesta de solución, con relación al automatismo del controlador PID mediante PLC, en el proceso de tratamiento de agua por osmosis inversa.

En el Capítulo IV, se hace referencia a la metodología de la investigación, que contiene los siguientes puntos: Diseño metodológico, diseño muestral, técnicas de recolección de datos, técnicas estadísticas para el procesamiento de la información y aspectos éticos de la investigación.

En el Capítulo V, se muestra los resultados.

En el Capítulo VI, se desarrolla la discusión de la investigación.

Finalmente, se considera las conclusiones y las recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO I
REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La empresa Marfrasal SAC, Está dedicada a la producción de derivados químicos para la conservación de alimentos; para tal propósito hace uso de agua potable, en cantidades relevantes que van desde los 4,543m³ a 4,859m³, en promedio por mes. Esta cantidad relevante de consumo de agua obligó a la empresa a implementar políticas de reutilización, es así como en respuesta a esta necesidad se instaló un sistema manual de tratamiento de agua, haciendo uso de la tecnología de osmosis inversa.

Una vez puesto en operación el sistema de tratamiento en mención, se evidenciaba paradas de manera frecuente; en el análisis del porqué de la inoperatividad del sistema de manera continua, se detectó, que el punto crítico era el modo de operación manual en la que trabajaba el sistema de tratamiento, y es que la membrana semipermeable que utiliza el proceso de osmosis inversa, requería de un nivel de presión de 12.5 bar; que en muchas ocasiones no se conseguía, ya que los operarios accionaban manualmente una bomba para generar el paso del agua a tratar por la membrana, pero, al trabajar continuamente se obstruía la membrana y no permitía generar un flujo continuo, deteniéndose así el proceso.

Este escenario de inoperatividad toma mayor realce, al querer solucionarlo, ya que para poner nuevamente en funcionamiento el proceso, se debe adquirir nuevas membranas semipermeables y proceder a retirar las membranas obstruidas, generando así parada del proceso, gastos en recambio del filtro,

gastos en instalación y pérdidas por la no producción durante el tiempo de falla.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema Principal.

¿Cuál es el impacto de la regulación de presión a través del control PID mediante PLC, sobre la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.?

1.2.2 Problemas Secundarios.

- ¿Cuáles son los sensores y actuadores a utilizar en el automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.?
- ¿Cuál es la programación del automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.?

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General.

Determinar el impacto de la regulación de presión a través del control PID mediante PLC, sobre la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar los sensores y actuadores a utilizar en el automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.
- Desarrollar la programación del automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C.

1.4 Justificación de la Investigación

1.4.1 Importancia de la Investigación.

La presente investigación se justifica, ya que a partir del automatismo del controlador PID mediante PLC, se logrará obtener un sistema de tratamiento de agua continuo, con un nivel de presión adecuado, para limpiar el filtro de osmosis inversa, con lo que se disminuirá la constante obstrucción de la membrana semipermeable; evitando de esta manera las frecuentes paradas del sistema.

En ese sentido con el automatismo del controlador PID mediante PLC, se reducirá el cambio constante de membranas semipermeables, reduciendo la inoperatividad del proceso y los costos para la Empresa, asociados al recambio del filtro, instalación y mantenimiento.

1.4.2 Viabilidad de la Investigación.

La presente investigación resulta viable, ya que se cuenta con la tecnología adecuada para obtener resultados favorables en cuanto a la

operatividad del proceso, que trae consigo reducción de costos para la empresa Marfrasal S.A.C.

1.5 Limitaciones del estudio

La limitación de esta investigación fue el restringido acceso a los reportes de medición del sistema de tratamiento de agua por osmosis inversa; su obtención era necesaria para el procesamiento de datos y análisis; los cuyos resultados me permiten determinar el impacto del automatismo sobre la operatividad del proceso.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

- *Diseño de un sistema de control distribuido con control PID difuso para el control de nivel de aguas para una planta de distribución de servicios de agua potable.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. (dominguez Cartolin, 2018)

Después de haber analizado control de nivel y caudal usando el controlador PID vemos que los criterios de operación de la planta en su conjunto son positivos. Respecto a la reducción del golpe de ariete usando el controlador de Lógica difusa de Takagi Sugeno, obtenemos un mejor control del cerrado total de la válvula principal y esto ha ayudado a disminuir el golpe de ariete. Las pruebas de funcionamiento concluyen que es importante determinar los puntos críticos de control dentro del sistema de lógica difusa y determinación de variables de control en lazo cerrado para estos puntos específicos y no para todo el sistema. (dominguez Cartolin, 2018)

- *Desarrollo de un controlador inteligente para un bastidor de osmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar.* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica del Perú, Lima. (Ugarte Diaz, 2016)

El análisis comparativo entre el sistema de control propuesto y el control clásico muestra una mejora en la respuesta temporal del sistema pues estabiliza el flujo y conductividad de permeado en 0.4 minutos y 1 minuto menos, respectivamente. El controlador propuesto resulta ser más robusto frente a la perturbación de presión de 100psi aplicada al sistema. Éste logra

estabilizar el flujo en aproximadamente 0.5 minutos y con sobre impulso de 17.64% mientras que al control clásico le toma 1.5 minutos en estabilizar, aunque con un sobre impulso de 16.47%. (Ugarte Diaz, 2016)

- *Diseño y evaluación de un sistema de control digital para mantener constante la presión mediante la instalación de una válvula de control reguladora del flujo de gas mediante el quemador del generador de vapor en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. (Alzamora Verástequi, 2008)*

Es posible controlar la presión de vapor en el generador LOPU con la instalación de la válvula reguladora de control del flujo de gas accionada a través del PLC obteniendo un significativo ahorro energético al lograr una estricta correspondencia entre la producción y el consumo de vapor. Adecuando al sistema de trabajo la electroválvula y el sensor transmisor de presión se implementó el sistema propuesto, controlando la presión del interior de la caldera y manteniéndose esta constante independientemente de la demanda de vapor o perturbaciones (Alzamora Verástequi, 2008)

- *Estudio e implementación de sistema de control de una planta de tratamiento de agua, para uso en calderas de alta presión, en generación de energía eléctrica. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (Hernandez Padilla , 2010).*

La automatización de una planta de tratamiento de agua, permitirá un retorno de inversión a mediano plazo, debido al consumo de químicos en la misma considerado uno de los rubros más elevados para su operación. La automatización ayuda a evitar dosificaciones innecesarias. Una planta de tratamiento automática reduce el tiempo que el recurso humano invierte en la operación y mantenimiento, el cual permite que este sea utilizado en capacitación e investigación entre otras actividades. El medio ambiente y los recursos naturales deben ser protegidos a nivel mundial para lo cual han surgido muchas organizaciones que velan por los mismos. El agua es uno de los recursos naturales sumamente importantes, y mediante un sistema de control adecuado en una planta de tratamiento de agua, se reduce el consumo de la misma. (Hernandez Padilla , 2010)

- *Diseño de controladores PID avanzado para el control robusto de una unidad de ósmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar.* (Tesis de Posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. (Rojas Carbajal, 2016)

Se efectuó la validación del modelo matemático con resultados satisfactorios, ya que el porcentaje de ajuste en todos los casos fue mayor a 85%. Para el control de planta desacoplada se realizó el diseño de controladores PID avanzado basados en el método MIGO, el cual es un método iterativo que optimiza la atenuación de la perturbación sujeta a restricciones sobre la robustez. (Rojas Carbajal, 2016)

- *Monitoreo del envasado de una purificadora de agua por medio de un PLC, para mejorar la producción.* (Tesis de Pregrado). Instituto Politécnico Nacional de México, Ciudad de México. (Ruiz Reyes, 2017)

Como mejora al proyecto se implementó un control del sistema de envasado, por medio de un PLC, desplazando el sistema común de llenado de garrafones e implementando el sistema de llenado de botellas de litro de PET. Acelerando la producción y optimizando la mano de obra. (Ruiz Reyes, 2017)

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Control PID

Es un mecanismo de control simultáneo (proporcional, integrativo y derivativo). Los controladores PID analógicos son, principalmente, de tipo hidráulico, neumático, electrónico, eléctrico o sus combinaciones. En la actualidad, muchos de estos se transforman en formas digitales mediante el uso de microprocesadores. (Katsuhiko, 1998, pág. 567)

Con frecuencia todos los controladores PID se ajustan en el sitio, en la literatura se proponen muchos diferentes tipos de reglas de sintonización, que permite llevar a cabo una sintonización delicada y precisa en los controladores PID en el sitio. Asimismo, se han desarrollado métodos automáticos de sintonización y algunos de los controladores PID poseen capacidad de sintonización automática en línea. (Katsuhiko, 1998, pág. 567)

Se usan en la industria formas modificadas del control PID, tales como el control I-PD y el control PID con dos grados de libertad. La posibilidad de obtener diferentes métodos prácticos para una conmutación sin choque (desde la operación manual hasta la operación automática) y una programación del aumento. (Katsuhiko, 1998, pág. 567)

La utilidad de los controles PID estriba en que se aplican en forma casi general a la mayoría de los sistemas de control. En el campo de los sistemas para el control de procesos, es un hecho bien conocido que los esquemas PID básicos y modificados han demostrado su utilidad para aportar un control satisfactorio, aunque tal vez no aporten un control óptimo en muchas situaciones específicas. (Katsuhiko, 1998, pág. 568)

A. Reglas de sintonización para controladores PID

Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID. (Katsuhiko, 1998, pág. 568)

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p, T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando solo se usa la acción de control proporcional. Las reglas Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. Por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos. (Katsuhiko, 1998, pág. 569)

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta. Se han propuesto numerosas reglas de sintonización para los controladores PID desde la propuesta de Ziegler-Nichols se les encuentra en la literatura. Sin embargo, aquí solo presentamos las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. (Katsuhiko, 1998, pág. 569)

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón. (Katsuhiko, 1998, pág. 569)

- **Primer método**

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S. (si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente). Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. (Katsuhiko, 1998, pág. 570)

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T. El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $C(t) = K$. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente: (Katsuhiko, 1998, pág. 570)

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} \quad \dots (1)$$

- **Segundo método**

En el segundo método, primero establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando solo la acción de control proporcional, incremente K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.) Por tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente. (Katsuhiko, 1998, pág. 570)

Observe que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas Ziegler-Nichols produce: (Katsuhiko, 1998)

$$G_1(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_d s} + T_d s \right) \quad \dots (2)$$

$$= 0.6K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5P_{cr}s} + 0.125 P_{cr}s \right) \quad \dots (3)$$

$$= 0.075K_{cr}P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \quad \dots (4)$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y cero doble en: (Katsuhiko, 1998, pág. 571)

$$s = -4/P_{cr} \quad \dots (5)$$

Las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols (y otras reglas de sintonización que se presentan en la literatura) se han usado ampliamente para sintonizar controladores PID en los sistemas de control de procesos en los que no se conoce con precisión la dinámica de la planta. Tales reglas de sintonización han demostrado ser muy útiles durante muchos años. Por supuesto, las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se aplican a las plantas cuya dinámica se conoce. (Katsuhiko, 1998) (En estos casos, se cuenta con muchos enfoques analíticos y gráficos para el diseño de controladores PID, además de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. (Katsuhiko, 1998, pág. 571)

Si se conoce la función de transferencia de la planta, se calcula la respuesta escalón unitario o la ganancia crítica K_{cr} y el periodo crítico P_{cr} . A continuación, empleando los valores calculados, es posible determinar los parámetros K_p , T_i y T_d . Sin embargo, la utilidad real de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols (y otras) se vuelve evidente cuando no se conoce la dinámica de la planta, por lo que no se cuenta con enfoques analíticos o gráficos para el diseño de controladores. (Katsuhiko, 1998, pág. 572)

En general, para aquellas plantas con una dinámica complicada y sin integradores, se han aplicado las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. Sin embargo, si la planta tiene un integrador, en algunos casos estas reglas no son pertinentes. Para ilustrar una

situación en la que las reglas de Ziegler-Nichols no se aplican, considere el caso siguiente: suponga que un sistema del control con realimentación unitaria tiene una planta cuya función de transferencia es: (Katsuhiko, 1998, pág. 572)

$$G(s) = \frac{(s + 2)(s + 3)}{S(s + 1)(s + 5)} \quad \dots (6)$$

A. Modificaciones de los esquemas de controladores PID

Considere el sistema de control PID básico, en el cual el sistema está sujeto a perturbaciones y ruido. Si la entrada de referencia es una función escalón, debido a la presencia del término derivativo en la acción de control, la variable manipulada $u(t)$ contendrá una función impulso (una función delta). En un controlador PID real, en lugar del término derivativo puro $T_d s$ empleamos: (Katsuhiko, 1998, pág. 572)

$$\frac{T_d}{1 + y^T d^S} \quad \dots (7)$$

Donde el valor de Y está en algún punto alrededor de 0.1. Por tanto, cuando la entrada de referencia es una función escalón, la variable manipulada $u(t)$ no contendrá una función impulso, sino que implicará una función de pulso aguda. Tal fenómeno se denomina reacción del punto de ajuste. (Katsuhiko, 1998, pág. 572)

Para evitar el fenómeno de la reacción del punto de ajuste, pretendemos operar la acción derivativa solo en la trayectoria

de realimentación, a fin de que la diferenciación ocurra únicamente en la señal de realimentación y no en la señal de referencia. La señal manipulada $U(s)$ se obtiene mediante: (Katsuhiko, 1998, pág. 572)

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) R(s) - K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) B(s)$$

Observe que, en ausencia de perturbaciones y ruido, la función de transferencia en lazo cerrado del sistema de control PID básico y el sistema de control PI-D se obtiene respectivamente mediante: (Katsuhiko, 1998, pág. 573)

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \frac{K_p G_p(s)}{1 + \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) K_p G_p(s)} \dots (9)$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \frac{K_p G_p(s)}{1 + \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) K_p G_p(s)} \dots (10)$$

Vuelva a considerar el caso en el que la entrada de referencia es una función escalón. Tanto el control PID como el control PI-D implican una función escalón en la señal manipulada. En muchas ocasiones, tal cambio escalón en la señal manipulada tal vez no sea conveniente. Por tanto, puede convenir mover la acción proporcional y la acción derivativa a la trayectoria de realimentación, a fin de que estas acciones solo afecten la

señal de realimentación. La señal manipulada se obtiene mediante: (Katsuhiko, 1998, pág. 573)

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) R(s) - K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) B(s) \quad (11)$$

Observe que la entrada de referencia $R(s)$ solo aparece en la parte de control integral. Por tanto, en el control I-PD es imperativo tener la acción de control integral para una operación adecuada de sistema de control. (Katsuhiko, 1998, pág. 574)

La función de transferencia en lazo cerrado $Y(s)/R(s)$ en ausencia de la entrada de perturbación y la entrada de ruido se obtiene mediante: (Katsuhiko, 1998, pág. 574)

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(\frac{1}{T_i s} \right) \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s) \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)} \quad \dots (12)$$

2.2.2 Tratamiento de agua por osmosis inversa

La osmosis inversa es uno de los varios procesos de membrana conducidos bajo presión, para la purificación del agua, entre los que también se incluyen la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración. La osmosis inversa es una técnica muy útil y bien desarrollada para la purificación y desalinización del agua. Consiste en forzar el agua a través de una membrana semipermeable que permite el paso del agua pero no de otro material. (Manahan, 2007, pág. 205)

Este proceso, que no es una simple separación a través de tamices o ultrafiltración, depende de la sorción preferencial del agua en la superficie de una membrana porosa de acetato de celulosa o poliamida. El agua pura de la capa sorbida es forzada a través de los poros en la membrana bajo presión. Si el espesor de la capa de agua sorbida es d , el diámetro del poro para la separación óptima debe ser $2d$. El diámetro óptimo del poro depende del espesor de la capa de agua pura sorbida y puede ser varias veces el diámetro de las moléculas del soluto y del disolvente. (Manahan, 2007, pág. 206)

En un ejemplo de reciclaje propio de la práctica de la química verde, al tratar membranas gastadas de osmosis inversas con permanganato de potasio, se reducen drásticamente sus propiedades de rechazo de sales, lo cual permite su uso en la filtración para eliminar del agua los sólidos en suspensión. Se han reportado reducciones en los sólidos suspendidos de aproximadamente 94% (Vera y Rodríguez-González, 2003). (Manahan, 2007, pág. 206)

La nanofiltración es un proceso de filtración de membrana a presión que no elimina los iones de sales monovalentes, que sí lo son por la osmosis, pero puede ser eficaz en la remoción de la dureza (Ca^{2+}). La nanofiltración opera a presiones más bajas que la osmosis inversa y requiere, por tanto, menos energía y menos gastos. Recientemente ha ganado popularidad como proceso de tratamiento de agua potable (Manahan, 2007, pág. 207)

A. Eliminación del fósforo

El tratamiento avanzado de aguas residuales o desechos líquidos requiere normalmente la remoción del fósforo para reducir el crecimiento de algas. Las algas pueden desarrollarse a niveles de PO_4^{3-} de solo 0.05 mg/L, y la inhibición de su crecimiento requiere niveles por debajo de este nivel. (Manahan, 2007, pág. 217)

Dado que las aguas residuales municipales contienen típicamente alrededor de 25 mg/L de fosfato (en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos insolubles), la eficiencia de la eliminación del fosfato debe ser bastante alta para prevenir el crecimiento de algas. Esta remoción puede ocurrir en el proceso de tratamiento de las aguas residuales: en el sedimentador primario, en la cámara de aireación de la unidad de lodo activo o lodos activados o después del tratamiento secundario. (Manahan, 2007, pág. 217)

El tratamiento de lodo remueve cerca del 20% del fósforo de las aguas residuales. Así, una fracción apreciable del fósforo principalmente biológico, se elimina con el lodo. Los detergentes y otras fuentes aportan cantidades importantes de fósforo a los efluentes residuales domésticos y una parte considerable de ion fosfato permanece en el efluente. Sin embargo, algunos compuestos residuales, como los carbohidratos de las plantas azucareras, son tan deficientes en fósforo que se requiere la adición de un suplemento de fósforo inorgánico al efluentes residual para el

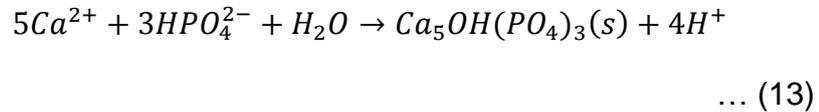
desarrollo adecuado de los microorganismos que degradan estos residuos. (Manahan, 2007, pág. 218)

Bajo algunas condiciones de operación de las plantas de aguas residuales, se han observado remociones de fosforo mucho mayores que las normales. En estas plantas, caracterizadas por altos valores de oxígeno disuelto y alto pH en el tanque de aireación o aeración, se han logrado tasas de eliminación del 60%-90% del fosforo, obteniéndose dos o tres veces el nivel normal de fosforo en el lodo. (Manahan, 2007, pág. 218)

En un tanque de aireación, operado convencionalmente, de una planta de lodos activados o activos, el nivel de CO_2 es relativamente alto debido a su transformación por la biodegradación del material orgánico. Un nivel alto de CO_2 implica un medio de un pH relativamente bajo, debido a la presencia de ácido carbónico. La velocidad de aeración generalmente no se mantiene a un nivel muy alto porque el oxígeno se transfiere más eficazmente del aire cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua son relativamente bajos. (Manahan, 2007, pág. 219)

Por consiguiente, la velocidad de aireación normalmente no es bastante alta para desplazar suficiente dióxido de carbono disuelto y disminuir su concentración hasta niveles bajos. Así, el pH generalmente es suficientemente bajo para que el fosfato se

mantenga principalmente en forma de ión H_2PO_4 . Sin embargo, a una velocidad de aeración mayor, en un agua relativamente dura, el CO_2 se desplaza (Manahan, 2007, pág. 219)



La hidroxiapatita precipitada u otra forma de fosfato de calcio se incorpora en el floculo de lodo. La ecuación depende fuertemente del ion hidrogeno y un aumento en su concentración desplaza el equilibrio a la izquierda. Así, bajo condiciones anaerobias, cuando el lodo se vuelve más ácido debido a los altos niveles de CO_2 , el calcio retorna a la solución. (Manahan, 2007, pág. 219)

Químicamente, el fosfato se elimina más comúnmente por precipitación. Los procesos de precipitación son capaces de remover por lo menos el 90-95% del fósforo a un costo razonable. La cal tiene como ventajas su bajo costo y la cal no es tan alta como se podría predecir por la baja solubilidad de la hidroxiapatita $Ca_5OH(PO_4)_3$. (Manahan, 2007, pág. 220)

Algunas de las posibles razones que explican este hecho, son la precipitación lenta de $Ca_5OH(PO_4)_3$ la formación de coloides que no sedimentan, la precipitación del calcio como $CaCO_3$ en ciertos intervalos de pH y el hecho de que el fosfato puede estar presente como fosfatos poliméricos (polifosfatos) que forman complejos solubles con el ion calcio. (Manahan, 2007, pág. 220)



También puede removerse el fosfato de la solución por adsorción en algunos sólidos, particularmente en la última previamente activada Al_2O_3 . Se han logrado con este método tasas de eliminación o remociones de hasta de un 99.9% de ortofosfato. (Manahan, 2007, pág. 220)

B. Remoción del nitrógeno

Después del fósforo, el nitrógeno es el nutriente de algas que se elimina más comúnmente en el tratamiento avanzado de aguas residuales. En las aguas residuales municipales generalmente el nitrógeno está presente como nitrógeno orgánico o amoníaco. (Manahan, 2007, pág. 220)

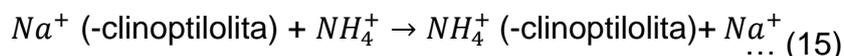
Los tipos de proceso para la eliminación del nitrógeno del agua residual son:

- **Arrastre de amoníaco por aire**

El ion amonio es el producto inicial de la biodegradación del residuo nitrogenado. Se remueve subiendo el pH a alrededor de 11 con cal y desprendiendo el gas amoníaco del agua por el aire en una torre de arrastre. La formación de incrustaciones, la congelación y la contaminación atmosférica son las principales desventajas. (Manahan, 2007, pág. 225)

- **Intercambio de ion amonio**

La clinoptilolita, una zeolita natural, elimina selectivamente el ion amonio por intercambio iónico: (Manahan, 2007, pág. 225)



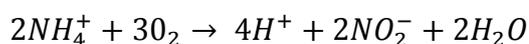
El intercambiador iónico se regenera con sales de sodio o de calcio. (Manahan, 2007, pág. 225)

- **Biosíntesis**

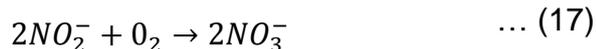
La producción de biomasa en el sistema de tratamiento de aguas residuales y su eliminación posterior del efluente dan lugar a una pérdida neta de nitrógeno del sistema. (Manahan, 2007, pág. 227)

- **Nitrificación desnitrificación**

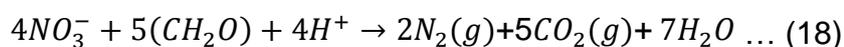
Este enfoque involucra la conversión de nitrógeno amoniacal a nitrato por bacterias bajo condiciones aeróbicas: (Manahan, 2007, pág. 228)



... (16)



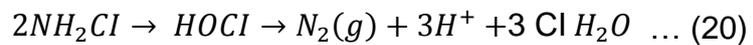
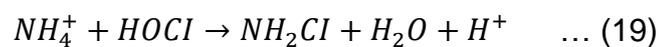
Seguido por la producción de nitrógeno elemental (desnitrificación): (Manahan, 2007, pág. 228)



Típicamente, la desnitrificación se lleva a cabo en una columna anaerobia añadiendo metanol como fuente de carbono (agente reductor microbiano). (Manahan, 2007, pág. 228)

- **Cloración:**

La reacción de ion amonio y el hipoclorito (del cloro) tienen por resultado la desnitrificación por las siguientes reacciones químicas: (Manahan, 2007, pág. 229)



2.3 Definición de términos básicos

- Membrana semipermeable: Cualquier tejido o agregado de tejidos que en conjunto presenta forma laminar y es de consistencia blanda y deja pasar a su través diversas sustancias.
- PLC: Un contador lógico programable se define como un dispositivo electrónico digital que una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas.
- Presión: Es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.
- Regulación: Acción y efecto de acomodar
- Tratamiento de agua residual: El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.

CAPÍTULO III
PROPUESTA DEL DISEÑO

3.1 Descripción del diseño

Como parte de la descripción del diseño, a continuación detallaré las etapas de la secuencia automatizada de las válvulas, las cuales estarán programadas mediante un Controlador Lógico Programable.

Etapas 1 – Llenado de agua para el lavado en contra corriente

Al presionar el pulsador de marcha, se accionará inicialmente las electroválvulas V1 y V2, con la finalidad de que se pueda almacenar agua en el tanque de lavado en contra corriente; para lo cual la electrobomba 1 impulsará el agua del tanque del relave durante 60 segundos (tiempo establecido para conseguir el llenado del tanque de lavado en contra corriente), a una presión de operación de 12.5 bar, dicha presión será medida por el sensor S1.

Es importante señalar que durante este proceso las electroválvulas V3, V4 y V5 están cerradas así como la electrobomba 2 se encuentra apagada.

Tabla 1
Estado de accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 1

Elementos del proceso	Estado de accionamiento
V1	Abierto
V2	Abierto (Durante 60 Segundos)
V3	Cerrado
V4	Cerrado
V5	Cerrado
B1	Encendida
B2	Apagada

Fuente: Elaboración propia

Etapa 2 – Proceso de osmosis inversa

Una vez transcurrido los 60 segundos, tiempo determinado para la carga del tanque de lavado en contra corriente, se cerrará la electroválvula V2, manteniéndose abierto la electroválvula 1 y encendida la electrobomba 1, consiguiendo de esta forma que el relave circule por el filtro de osmosis inversa; con la finalidad de que el agua tratada sea almacenada en su tanque respectivo, es necesario que en esta etapa la electroválvula V5 esté abierto y las electroválvulas V3 y V4 se encuentren cerradas.

Tabla 2

Estado de accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 2

Elementos del proceso	Estado de accionamiento
V1	Abierto
V2	Cerrado
V3	Cerrado
V4	Cerrado
V5	Abierto
B1	Encendida
B2	Apagada

Fuente: Elaboración propia

Etapa 3 – Proceso de lavado en contra corriente

En esta etapa el flujo será inverso, y se utiliza el agua almacenada en el tanque de lavado en contra corriente, donde se accionará la electrobomba 2, la cual impulsará el agua almacenada por medio de la apertura de la electroválvula V3, hacia el filtro de osmosis inversa, en esta etapa la electroválvula V4 estará abierta y dará pase al agua hacia el tanque de relave; el tiempo de duración de este proceso es de 60 segundos, y su función es

limpiar las membranas semipermeables ya que después de la etapa 2 (proceso de osmosis inversa), se suele presentar obstrucciones. Cabe señalar que en esta etapa las electroválvulas V1, V2 y V5 están cerradas, y la electrobomba 1 se encuentra apagada.

Tabla 3
Estado de accionamiento de los elementos del proceso de la etapa 3

Elementos del proceso	Estado de accionamiento
V1	Cerrado
V2	Cerrado
V3	Abierto
V4	Abierto
V5	Cerrado
B1	Apagada
B2	Encendida

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que el Controlador Lógico Programable, recibirá señal del sensor de presión s1, este sensor controlará los RPM de la bomba 1. Los parámetros de presión serán los siguientes:

$P_{\min} = 10.5 \text{ Bar}$

$P_{\text{deseada}} = 12.5 \text{ Bar}$

$P_{\max} = 15 \text{ Bar}$

Es importante indicar que si se supera a la presión máxima (P_{\max}) o se está debajo de la presión mínima (P_{\min}), el sistema dejará de funcionar automáticamente. A continuación en la siguiente figura se muestra el proceso de tratamiento de agua por osmosis inversa a automatizar.

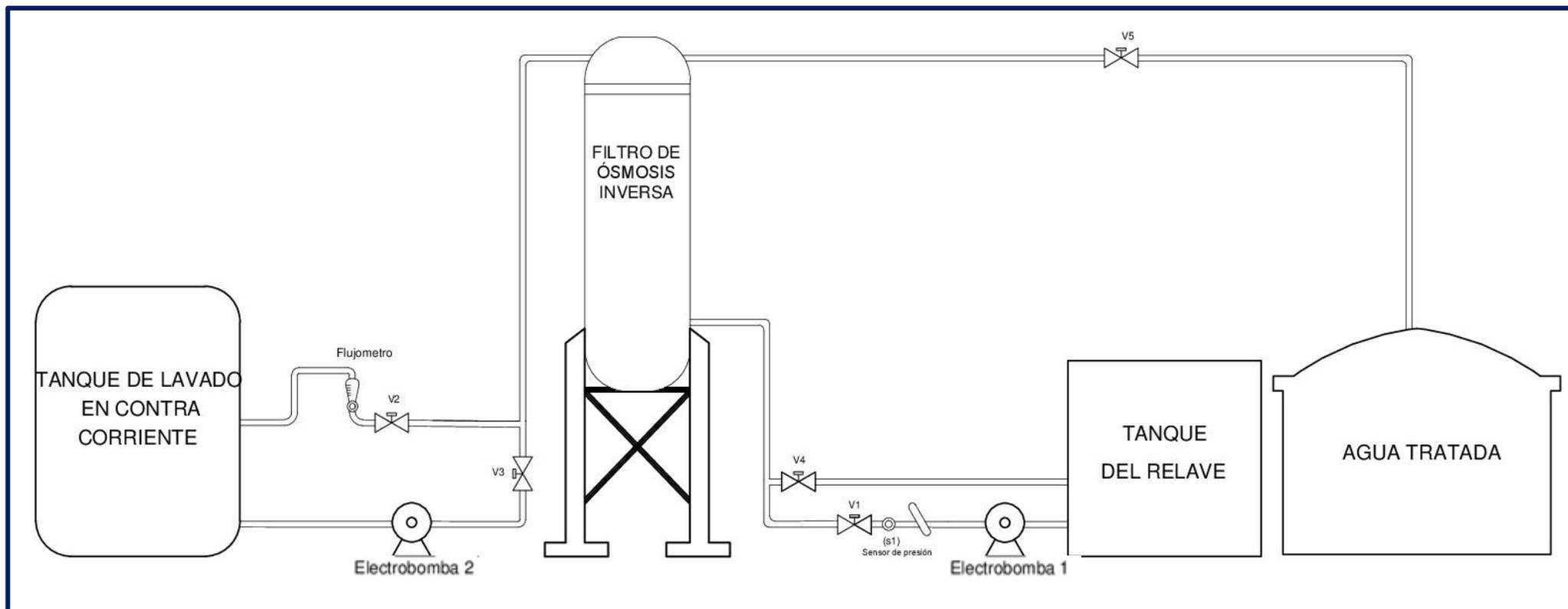


Figura 1: Proceso de osmosis inversa a automatizar
Fuente: Elaboración propia

3.2 Desarrollo del diseño

Con la finalidad de poder desarrollar el diseño a continuación procedo a esquematizar el diagrama de bloques del sistema de control en análisis; cabe señalar que en el diagrama de bloques se identificará el sensor, el controlador, el actuador y la planta o proceso.

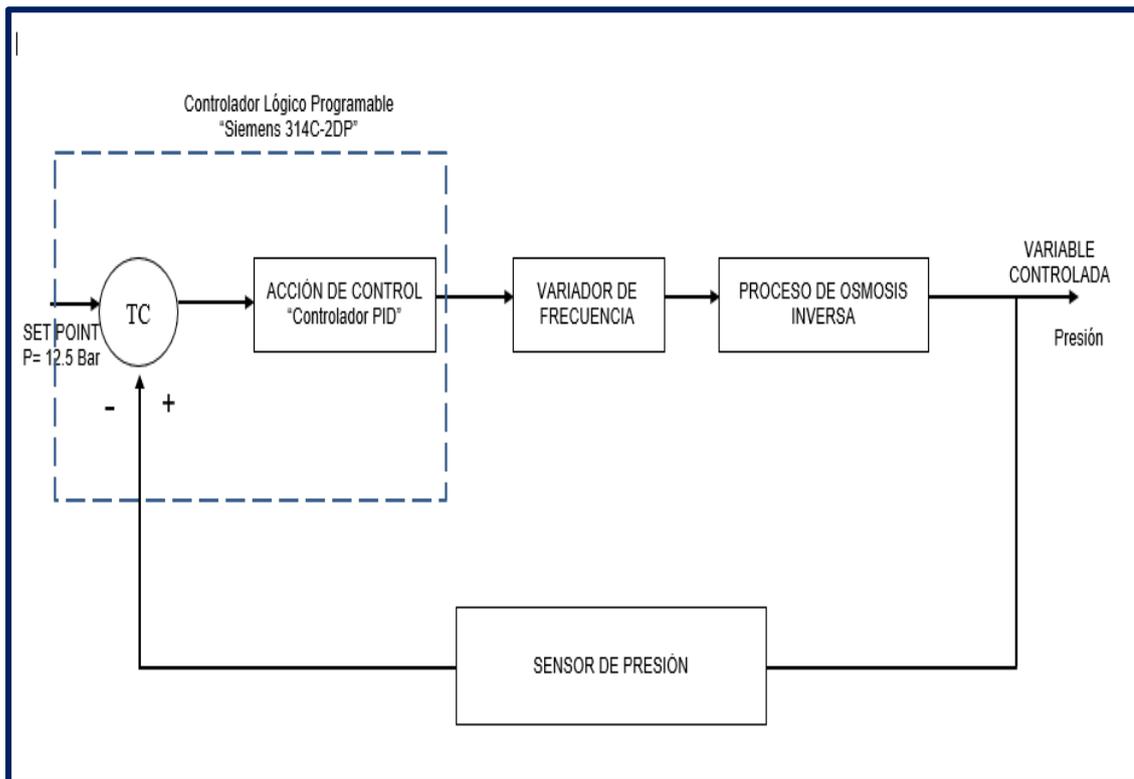


Figura 2: Diagrama de Control del Proceso a Automatizar
Fuente: Elaboración propia

Un aspecto importante por considerar es la etapa en la cual se aplicará la acción de control, en este caso dicha etapa corresponde a la presión del agua a tratar que ingresará al filtro de osmosis inversa, con la finalidad de conseguir que la presión de ingreso a dicho filtro sea de 12.5 Bar, en la siguiente Figura se muestra lo descrito.

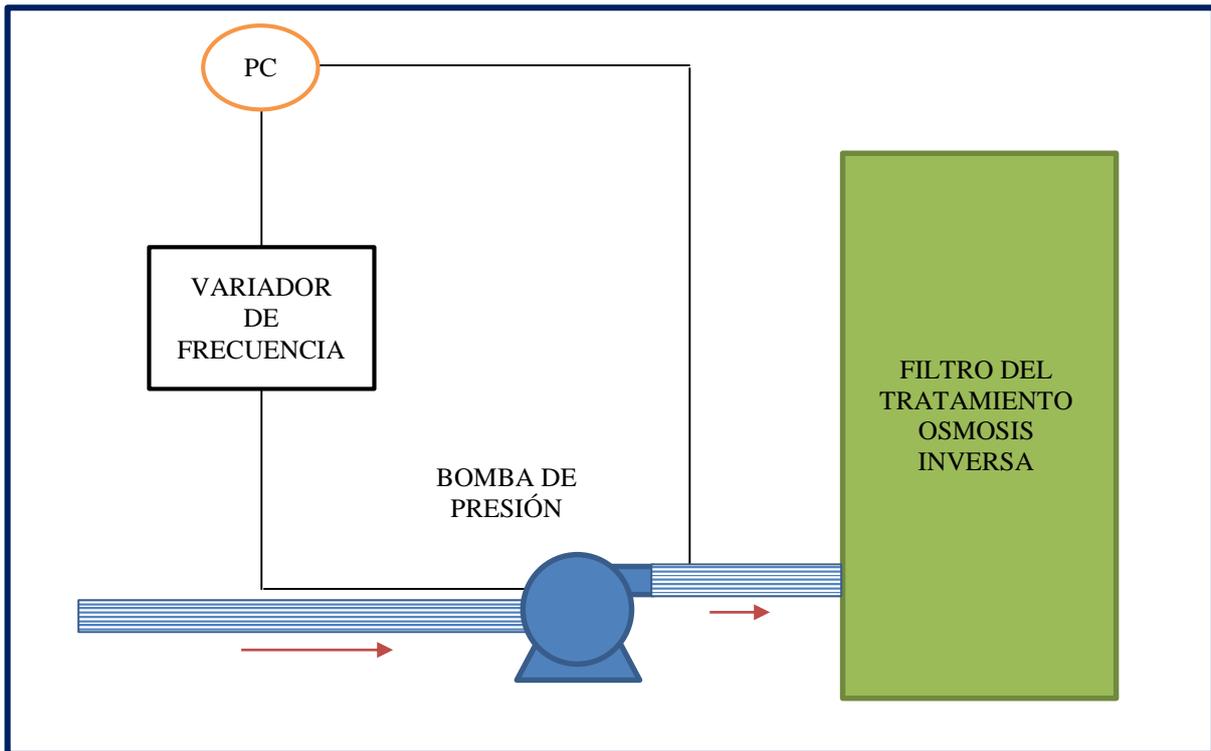


Figura 3: Lazos de control del proceso de tratamiento por osmosis inversa
Fuente: Elaboración propia

Considerando que para el diseño se estableció los siguientes parámetros:

$$P_{\max} = 15 \text{ Bar}$$

$$P_{\text{deseada}} = 12.5 \text{ Bar}$$

$$T_{\text{pico}} = 1.57 \text{ seg}$$

A continuación, se determinará el máximo sobre impulso M_p :

$$12.5 - 100\%$$

$$(15 - 12.5) - M_p$$

$$M_p = \frac{2.5 \times 100\%}{12.5} = 20\%$$

Ahora procedo a calcular el factor de amortiguamiento y considerando que:

$$Mp = e^{\frac{-\pi p}{\sqrt{1-p^2}}}$$

$$\text{Ln}(Mp) = \text{Ln}(e^{\frac{-\pi p}{\sqrt{1-p^2}}})$$

$$\text{Ln}(Mp) = \frac{-\pi p}{\sqrt{1-p^2}}$$

$$\sqrt{1-p^2} = \frac{-\pi p}{\text{Ln}(Mp)}$$

$$1-p^2 = \left(\frac{-\pi p}{\text{Ln}(Mp)}\right)^2$$

$$1-p^2 = \left(\frac{-\pi p}{\text{Ln}(Mp)}\right)^2 \times p^2$$

$$1 = \left(\frac{-\pi p}{\text{Ln}(Mp)}\right)^2 \times p^2 + p^2$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{\left[1 + \left(\frac{-\pi}{\text{Ln}(Mp)}\right)^2\right]}}$$

Reemplazando:

$$p = \sqrt{\frac{1}{\left[1 + \left(\frac{-\pi}{\text{Ln}(0.2)}\right)^2\right]}}$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{[1 + \left(\frac{-\pi}{-1.6094}\right)^2]}}$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{4.8104}}$$

$$p = 0.4559$$

Determinando la frecuencia natural de oscilación (Wn):

$$Tp = \frac{\pi}{Wn\sqrt{1-p^2}} = 1.57 \text{ seg}$$

$$Wn = \frac{\pi}{1.57 \sqrt{1 - (0.4559)^2}}$$

$$Wn = \frac{\pi}{1.3973} = 2.2483 \text{ rad/seg}$$

Determinando la ganancia estática del sistema:

(Amplitud de la señal de entrada) x (Ganancia estática del sistema) = SET POINT

$$1 \times K = 12.5$$

$$K = 12.5$$

Con estos datos; determinaremos la función de transferencia del sistema:

$$F(s) = \frac{K \times Wn^2}{s^2 + 2p \times Wn^2 x s + Wn^2}$$

$$F(s) = \frac{12.5 \times 2.2483^2}{s^2 + 2(0.4559) \times 2.2483^2 x s + 2.248^2}$$

$$F(s) = \frac{63.18566}{s^2 + 2.0499s + 5.05485}$$

A continuación procedo a representar la respuesta de la variable controlada (Presión), haciendo uso del software Matlab; el cual me proporcionará información de los parámetros a mejorar en búsqueda de la estabilidad del sistema de control; y por ende a determinar el tipo de controlador a utilizar.

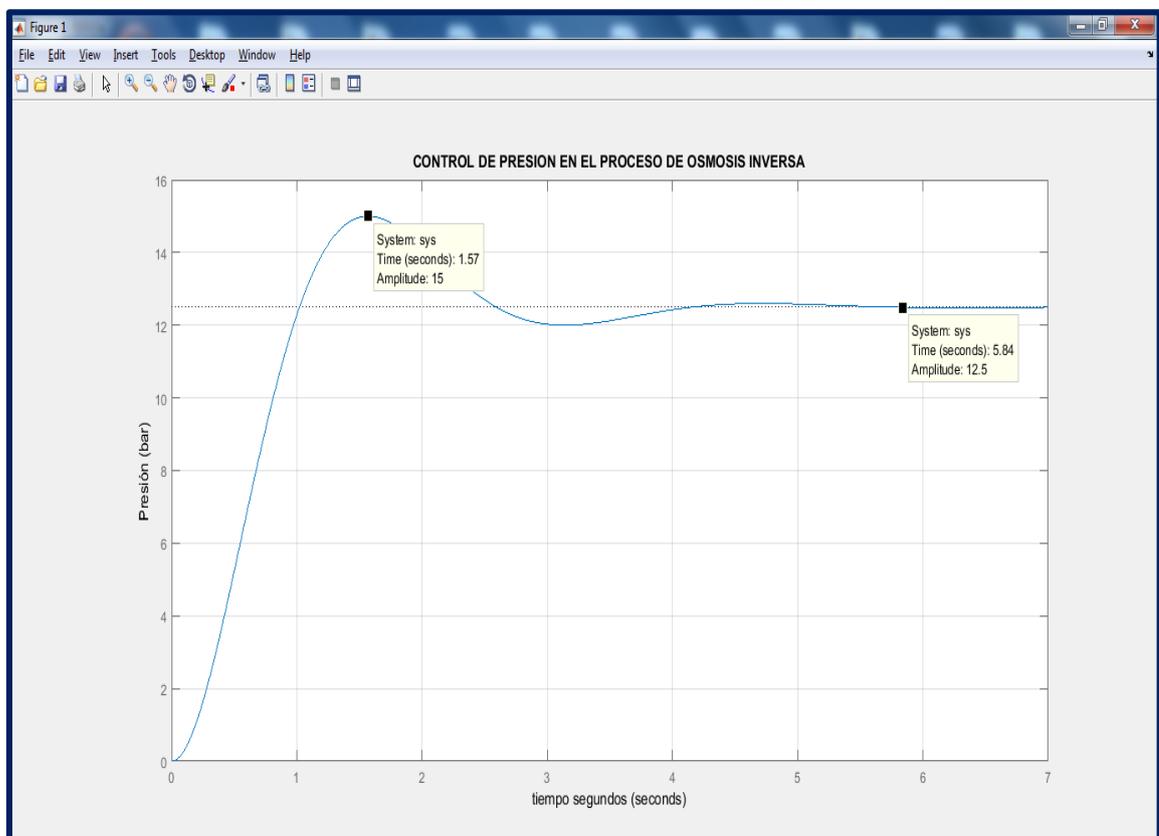


Figura 4: Representación de la variable controlada en el proceso de osmosis inversa
Fuente: Matlab 2015

En la Figura 4 se muestra la representación de la variable controlada del proceso de osmosis inversa, en el cual se puede observar que el sistema al alcanzar la presión máxima de 15 Bar en un tiempo pico de 1.57 segundos, tiene un tiempo de establecimiento de 5.84 segundos para alcanzar la presión deseada de 12.5 Bar.

De la representación anterior deduzco que, es necesario utilizar un controlador PID, cuyos componentes permitirán:

- Mejorar el tiempo de establecimiento (Control proporcional: P)
- Reducir el error en estado estacionario (Control integrativo: I)
- Reducir el sobre impulso (Control derivativo: D)

Con el propósito de determinar las ganancias del controlador PID, que conseguirán mejorar los parámetros mencionados en el párrafo anterior (Tiempo de establecimiento, error en estado estacionario y sobre impulso), se utilizará el comando “pidtol” del Matlab.

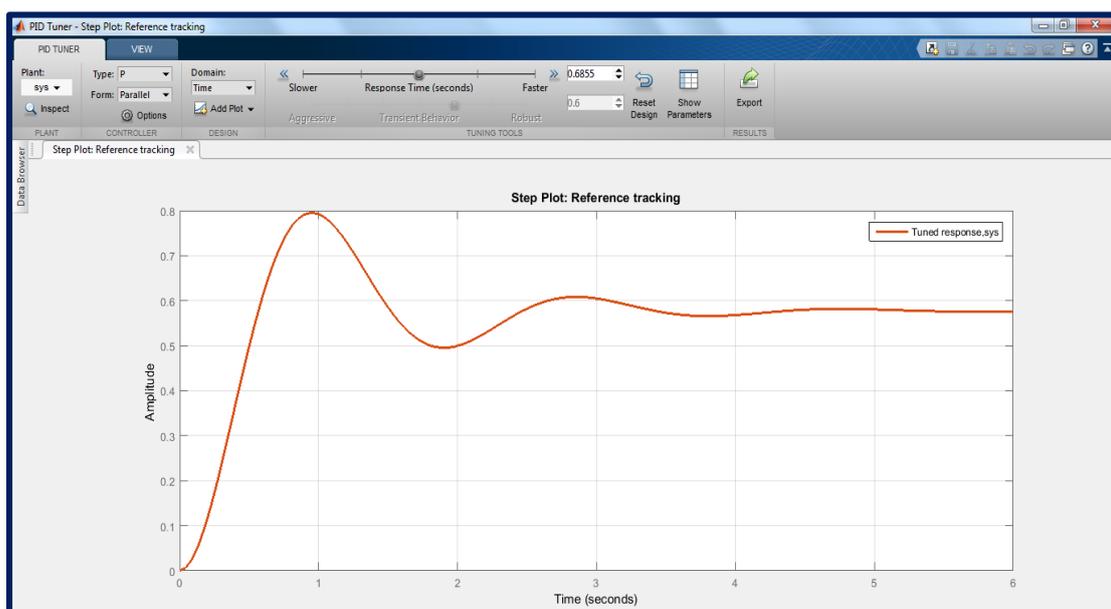


Figura 5: Representación de la variable controlada en el entorno PID TUNER
Fuente: Matlab 2015

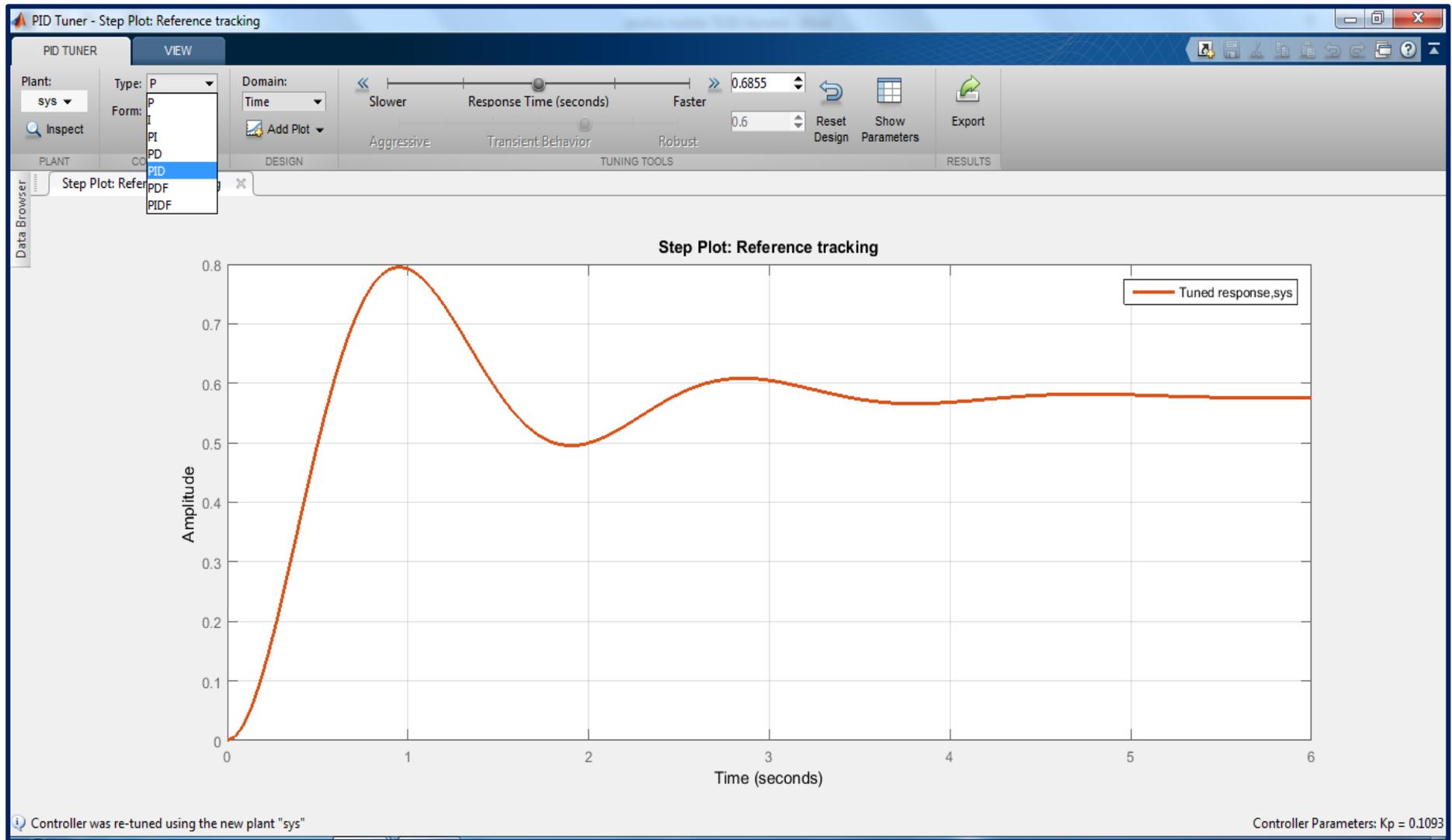


Figura 6: Selección del diagrama PID en el proceso de osmosis inversa
Fuente: Matlab 2015

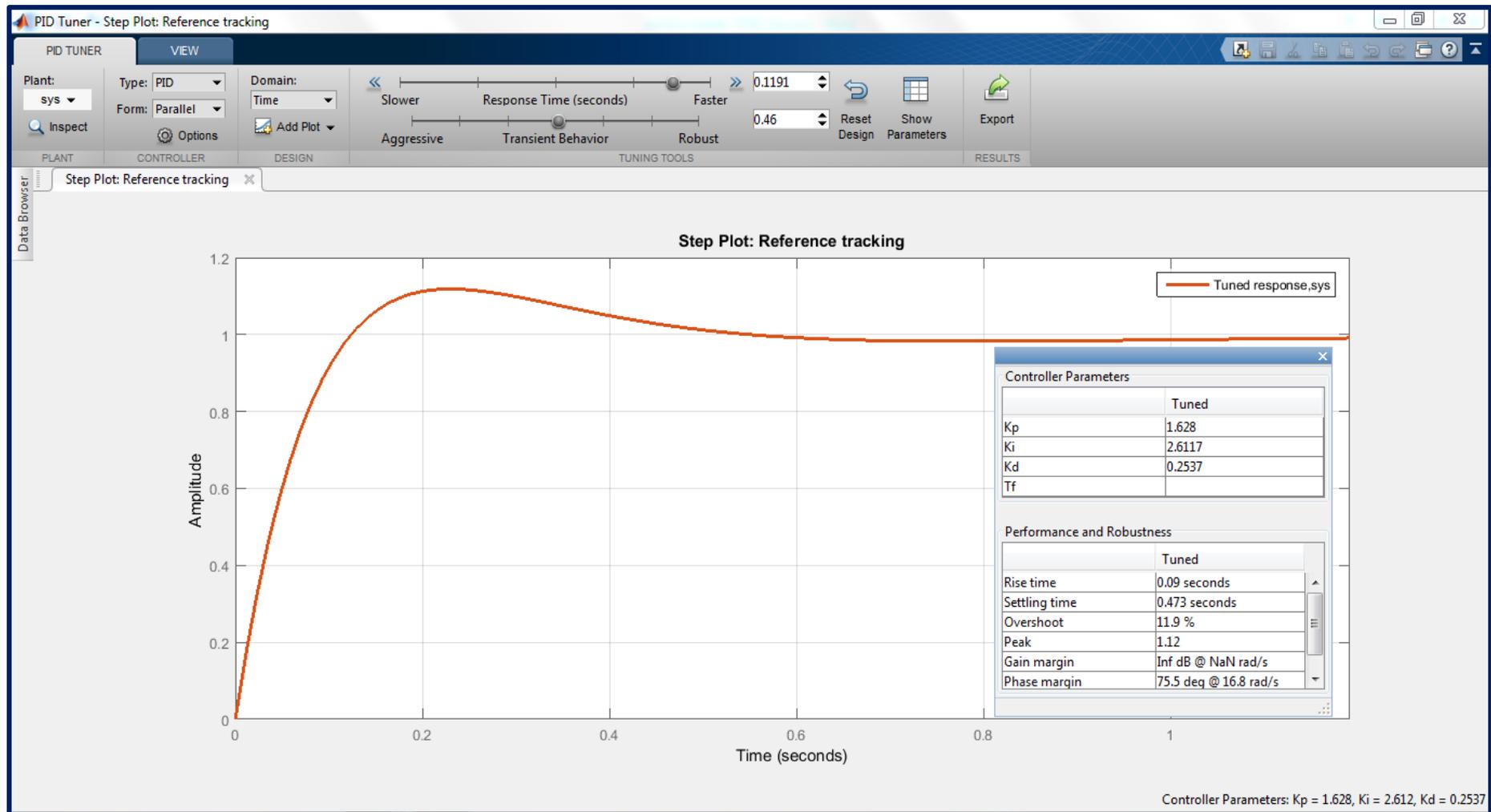


Figura 7: Diagrama PID del proceso de osmosis inversa
Fuente: Elaboración propia

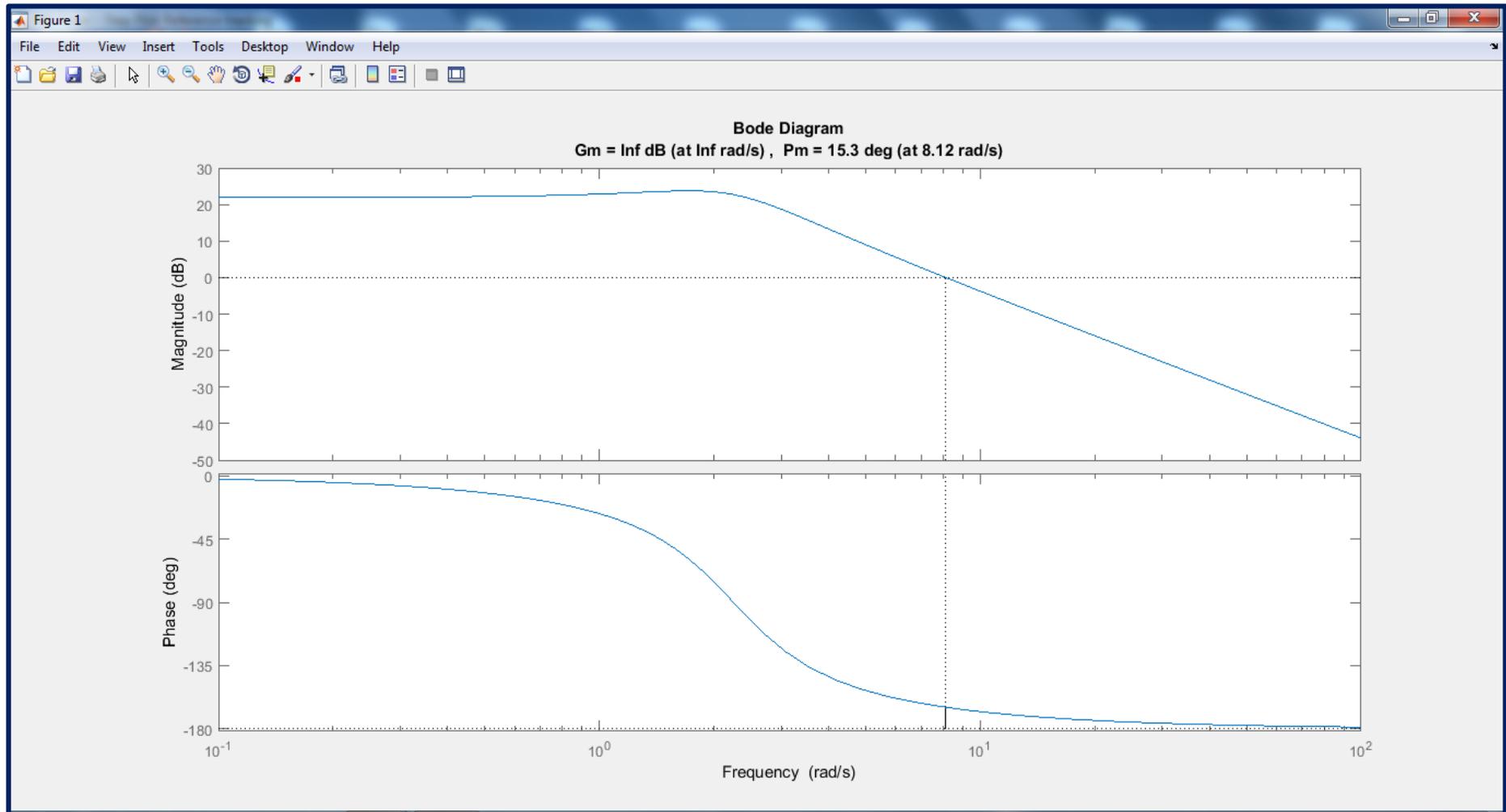


Figura 8: Diagrama Bode
Fuente: Elaboración propia

Continuando con el desarrollo y una vez establecida la secuencia que tendrá el diseño del control PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa; a continuación, se establece los sensores y actuadores a utilizar en el automatismo.

Tabla 4
Sensores y actuadores del proceso

SENSORES	ACTUADORES
Pulsador de Marcha	Electroválvula 1
Pulsador de parada	Electroválvula 2
Reset	Electroválvula 3
	Electroválvula 4
	Electroválvula 5
	Electrobomba 1
	Electrobomba 2

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecido los elementos captadores de señal y los actuadores, determinaremos que el PLC más adecuado a utilizar será el PLC Siemens 314C-2DP.

Cabe señalar que las cinco electroválvulas serán de apertura y cierre (llamadas también válvulas ON /OFF), las cuales se accionarán bajo una secuencia temporizada, para lo cual utilizaremos la función temporizador con retardo a la conexión del PLC. Asimismo, las electrobomba 2 garantiza la presión óptima, ya que será controlada por un variador de frecuencia (VFD), en la etapa del lavado de membranas semipermeables en contra corriente.

Seguidamente, se desarrolló la programación del proceso de tratamiento de agua por osmosis inversa; para lo cual inicialmente se procedió a crear funciones, tales como FC1, FC2 y FC3, donde la función FC1, contiene los componentes relacionados al control de sensores (IN) y actuadores (OUT), en la siguiente Tabla se muestra la lista de datos de esta función.

Tabla 5
Lista de datos de la función FC1

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
IN		0.0	
MARCHA	Bool	0.0	
PARO	Bool	0.1	
RESET	Bool	0.2	
OUT		0.0	
B1	Bool	2.0	
V1	Bool	2.1	
V2	Bool	2.2	
V3	Bool	2.3	
V4	Bool	2.4	
V5	Bool	2.5	
B2	Bool	2.6	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
ETAPA_0	Bool	0.0	
ETAPA_1	Bool	0.1	
ETAPA_2	Bool	0.2	
ETAPA_3	Bool	0.3	
T1	Bool	0.4	
T2	Bool	0.5	
PARO_E	Bool	0.6	
T3	Bool	0.7	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que los FC serán ideales para generar resultados que no tengamos que almacenar. Dentro de la automatización lo usaremos en la lógica general de los programas. En el presente automatismo se usarán en la secuencias e interrelación entre ellas.

En la siguiente Figura se muestra las condiciones necesarias para poder iniciar con la etapa 1 (llenado del tanque del lavado en contra corriente), donde se observa a la memoria M10.0 (para hacer posible el ciclo) y # reset.

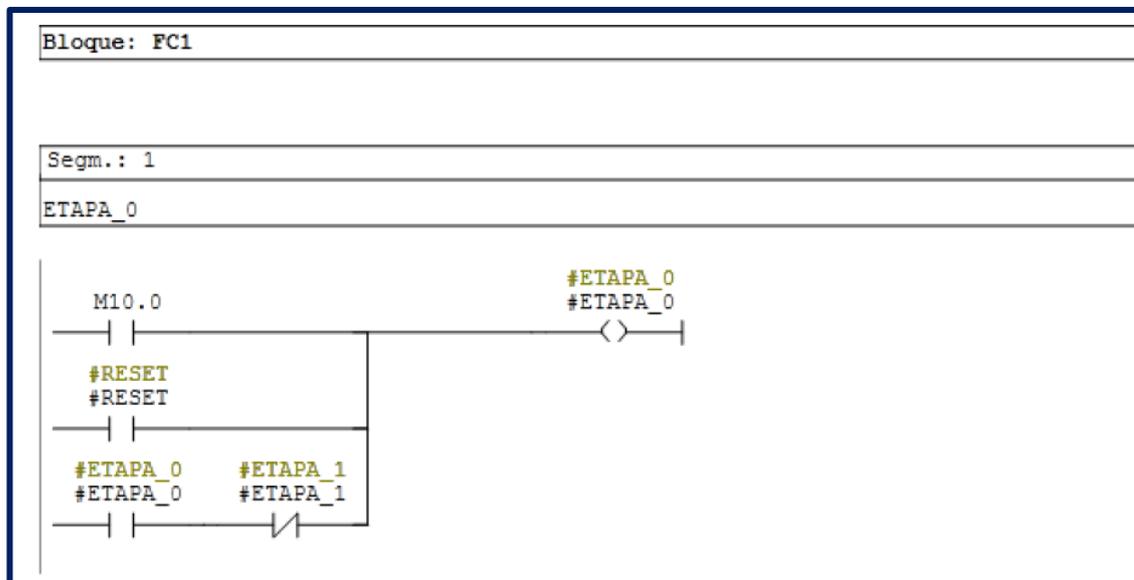


Figura 9: Segmento 1 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra la lógica de la etapa 1 y etapa 3, ya que ambas son temporizadas a 60 segundos. También está el conteo de 60 segundos del proceso de lavado en contra corriente, el cual una vez culminado nuevamente da inicio al conteo de la etapa 1, y así se da inicio al ciclo nuevamente.

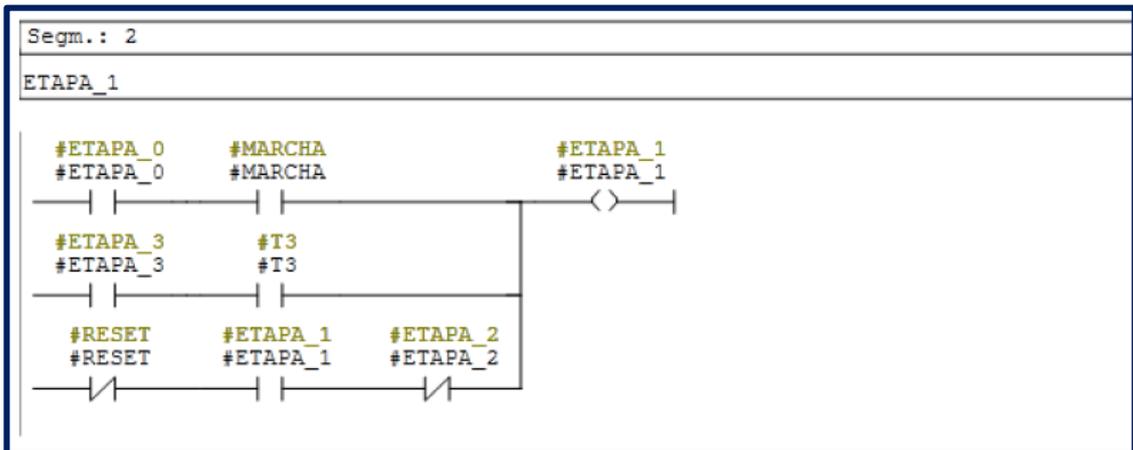


Figura 10: Segmento 2 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el comienzo del conteo de los 60 segundos de la etapa 1 y termina dando inicio a la etapa 2.

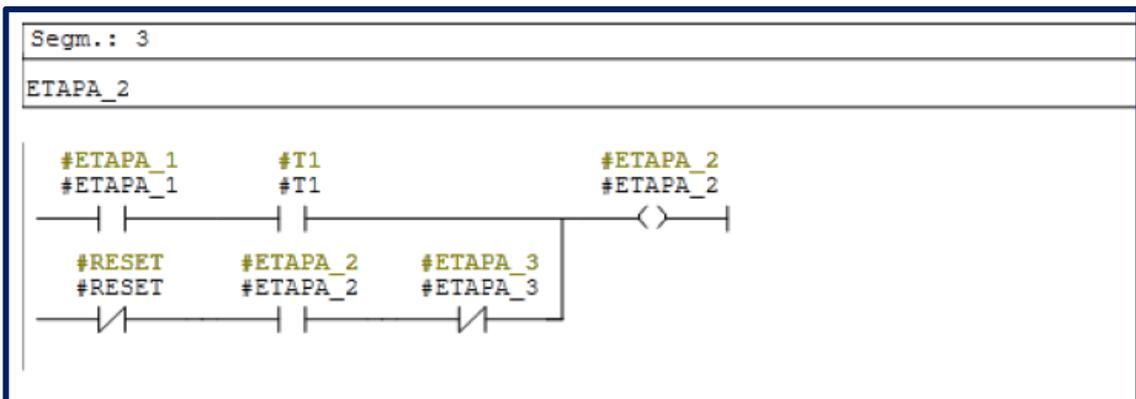


Figura 11: Segmento 3 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el comienzo de la etapa 2 (proceso de osmosis inversa), y termina dando inicio a la etapa 3.

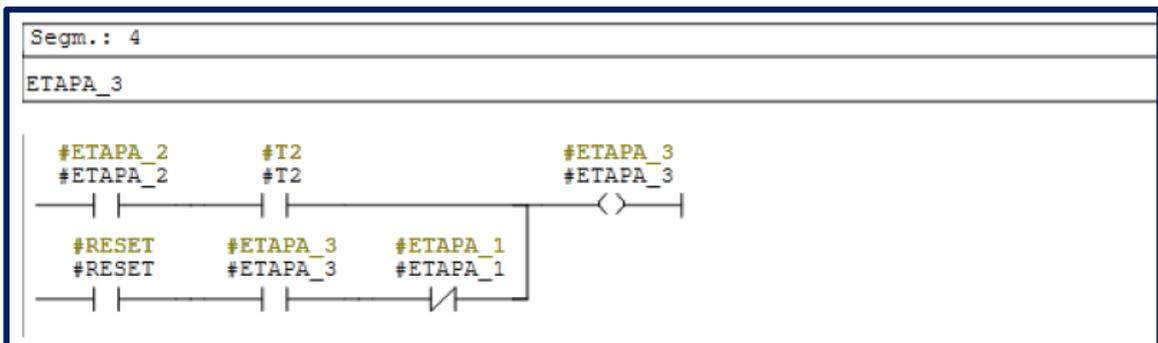


Figura 12: Segmento 4 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el funcionamiento de la electrobomba 1 y la electroválvula 1, las cuales funcionarían exclusivamente en la etapa 1 y 2.

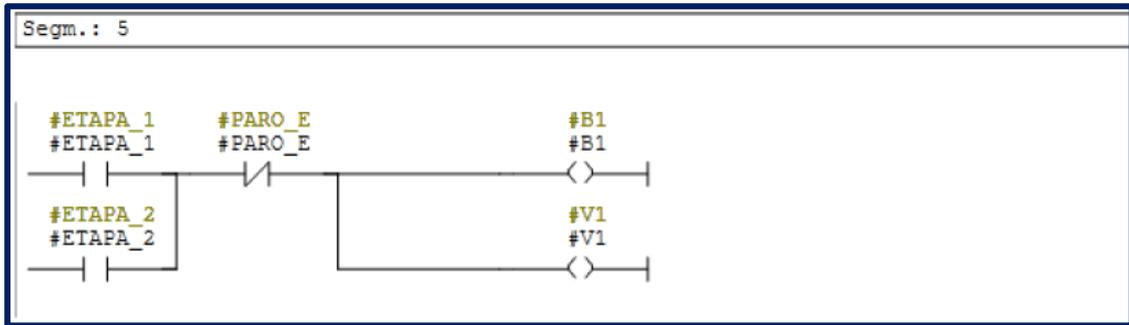


Figura 13: Segmento 5 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el funcionamiento de la electroválvula 2 en la etapa 1; Seguidamente en el segmento 7 se muestra el funcionamiento exclusivo en la etapa 3 de la electroválvula 4 y la electrobomba 2.

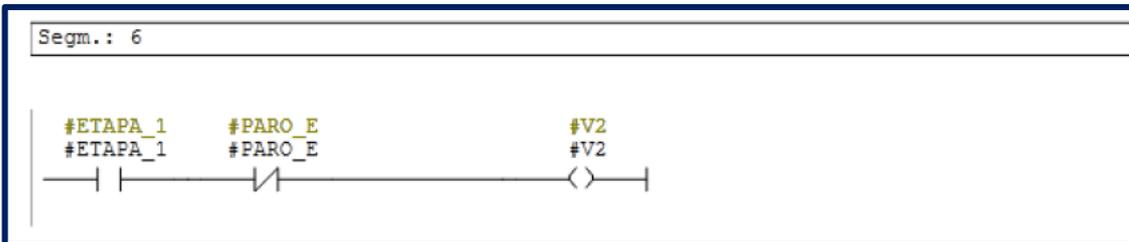


Figura 14: Segmento 6 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

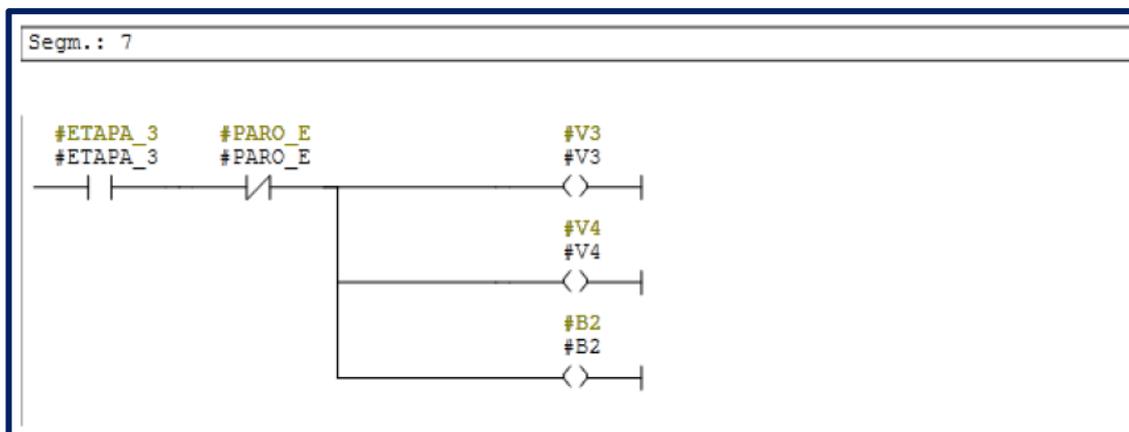


Figura 15: Segmento 7 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el funcionamiento exclusivo de la electroválvula 5 en la etapa 3; Seguidamente en el segmento 9 se muestra el conteo de 60 segundos de la etapa 1.

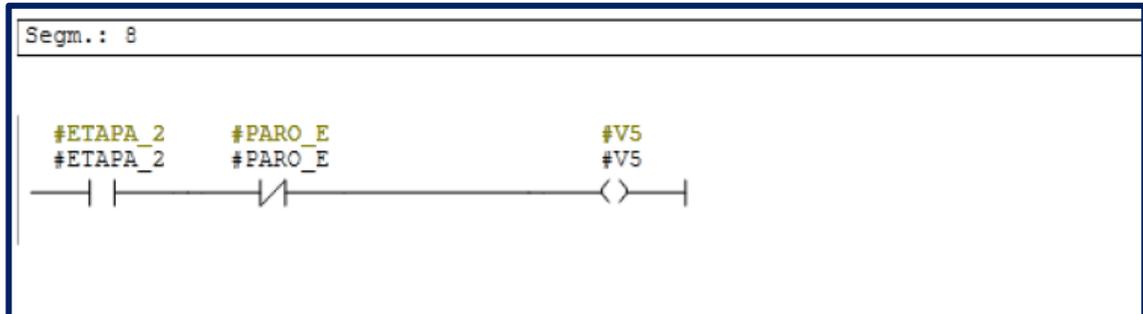


Figura 16: Segmento 8 de la programación de la función FC1
 Fuente: Elaboración propia

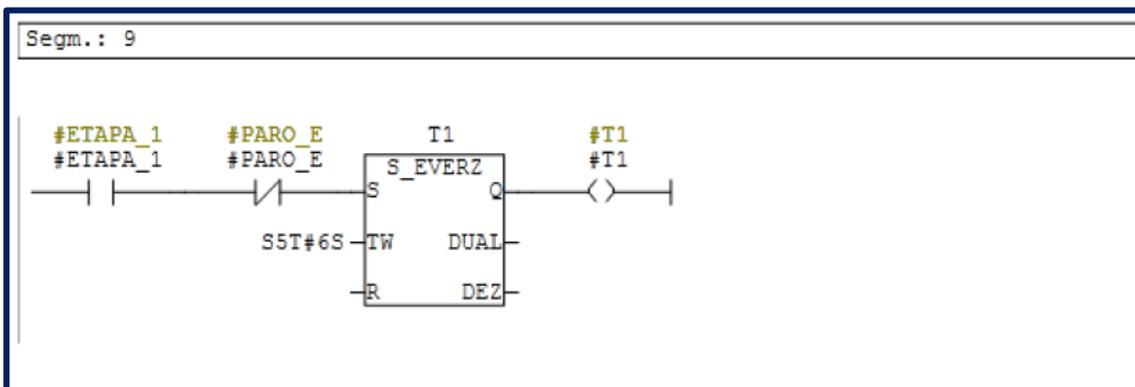


Figura 17: Segmento 9 de la programación de la función FC1
 Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra la etapa 2; Seguidamente en el segmento 11 se muestra el conteo de 60 segundos de la etapa 3.

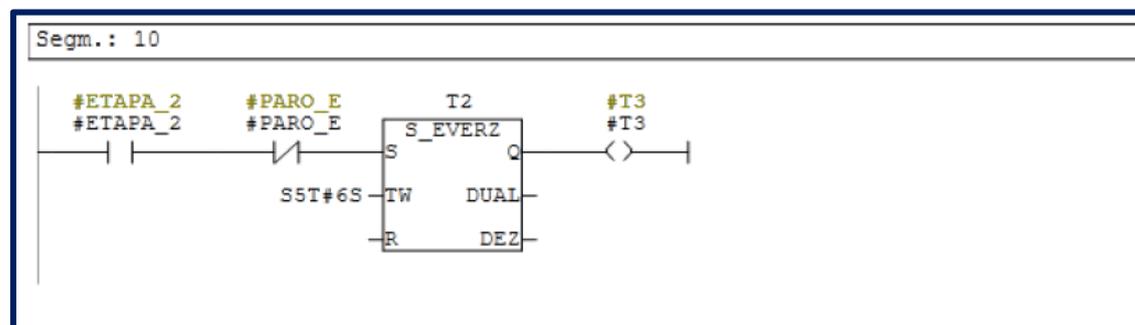


Figura 18: Segmento 10 de la programación de la función FC1
 Fuente: Elaboración propia

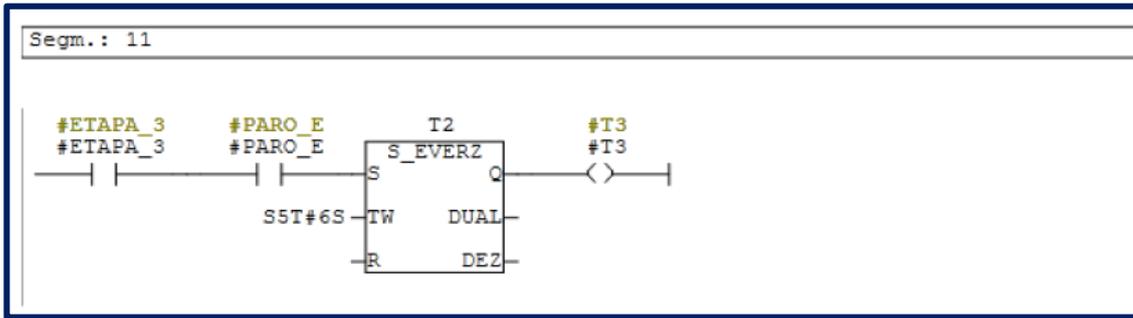


Figura 19: Segmento 11 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el momento del pare, donde la etapa se quedará en estado estacionario donde se realizó el pulso de pare, al momento de dar inicio nuevamente comenzará donde se quedó.



Figura 20: Segmento 12 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

Finalmente en la función FC1, se muestra la memoria (M10.0), la cual es la que hace posible el reseteo del proceso, como requisito para dar inicio a la etapa 0, necesario para comenzar la etapa 1.

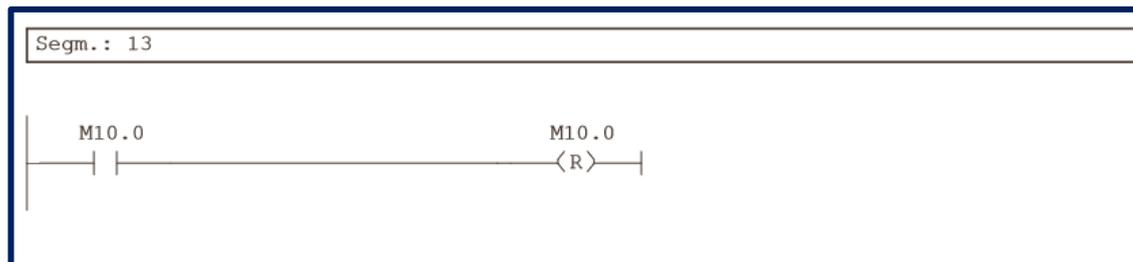


Figura 21: Segmento 13 de la programación de la función FC1
Fuente: Elaboración propia

Asimismo se muestra la función FC2, que contiene los componentes relacionados al control PID, en esta función se utiliza el bloque de función FB41; en la siguiente Tabla se muestra la lista de datos de esta función.

Cabe señalar que el bloque de función (FB), guardan los datos estáticos que se pueden usar entre ciclos; es decir, el valor de las variables se guardan para que se puedan usar en los ciclos posteriores.

Tabla 6
Lista de datos de la función FC2

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
IN		0.0	
SP	Real	0.0	
ENT_ANALOG	Word	4.0	
KP	Real	6.0	
TI	Time	10.0	
TD	Time	14.0	
OUT		0.0	
PV	Real	18.0	
ERROR	Real	22.0	
SAL_ANALOG	Word	26.0	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Fuente: Elaboración propia

Es importante indicar que para que se establezca el valor de la presión deseada, la electrobomba se encargará de regular este indicador, a través del bloque del controlador PID.

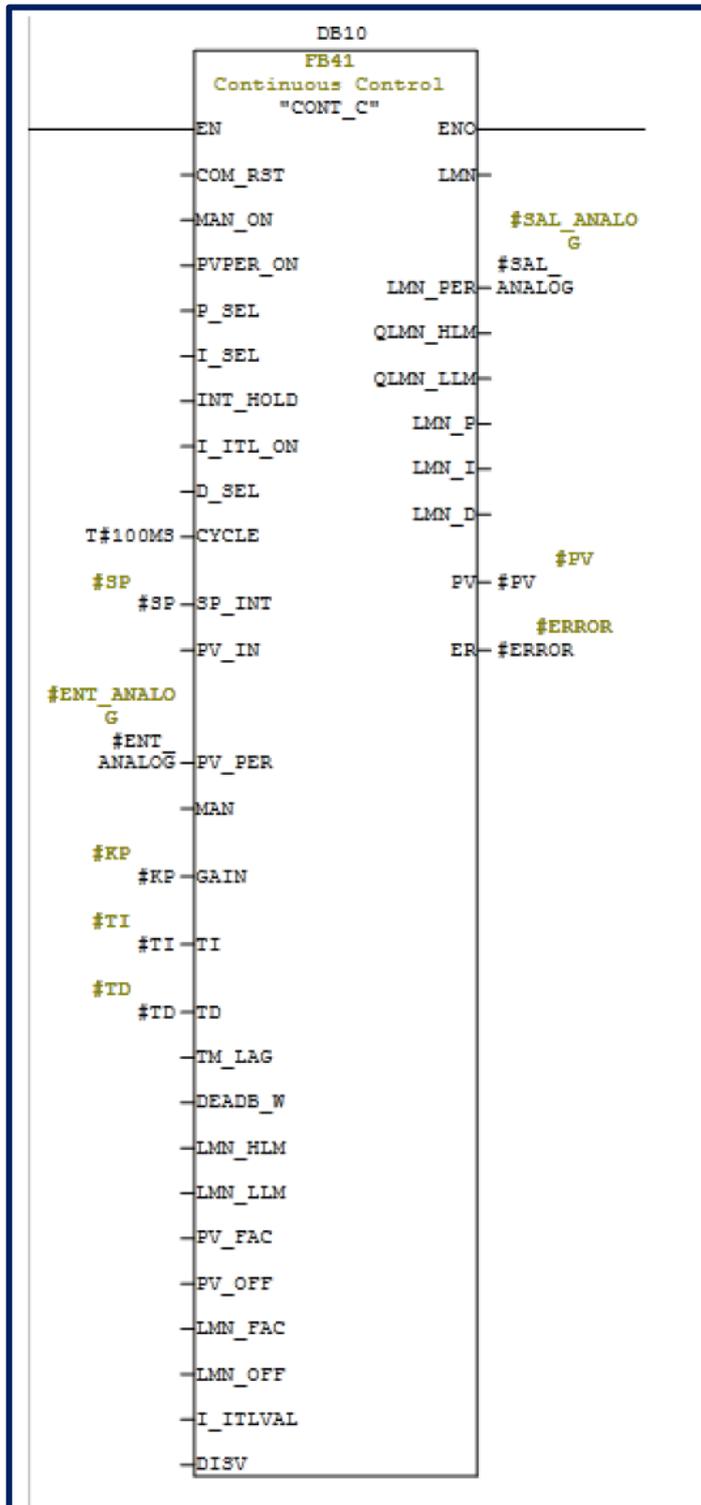


Figura 22: Función FC2
Fuente: Elaboración propia

Los valores de KP, TI y TD, son 1.628, 0.6233, 0.1558 respectivamente, estos datos se calcularon experimentalmente, haciendo uso de múltiples ensayos, de esta manera se dedujo que estos valores son los óptimos.

En la siguiente Tabla de muestra la lista de datos de la función FC3; asimismo se configura al variador de frecuencia, el cual se encargará de regular a los motores.

Tabla 7
Lista de datos de la función FC3

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
IN		0.0	
ARRANCAR_VAR	Bool	0.0	
OL_B2	Bool	0.1	
ARRANCA_B2	Bool	0.2	
OUT		0.0	
PARO_VAR	Bool	2.0	
MARCHA_VAR	Bool	2.1	
MARCHA_B2	Bool	2.2	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra la configuración lógica del sensor de presión (S1).

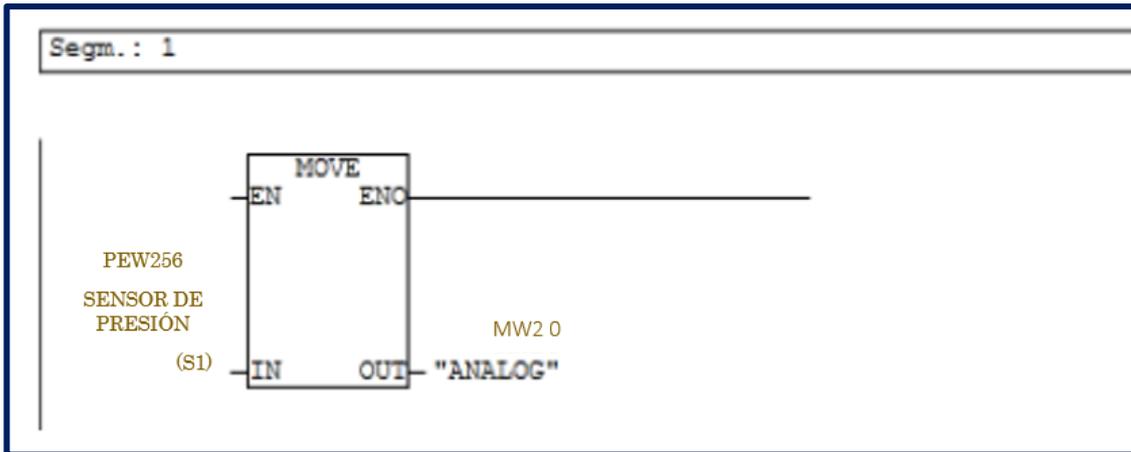


Figura 23: Segmento 1 de la función FC3
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra el límite alto (HI_LIM) y el límite bajo (LO_LIM), configurado en el presente automatismo, así mismo, se observa a la función FC 105, mediante la cual se establecen los rangos de la variable controlada.

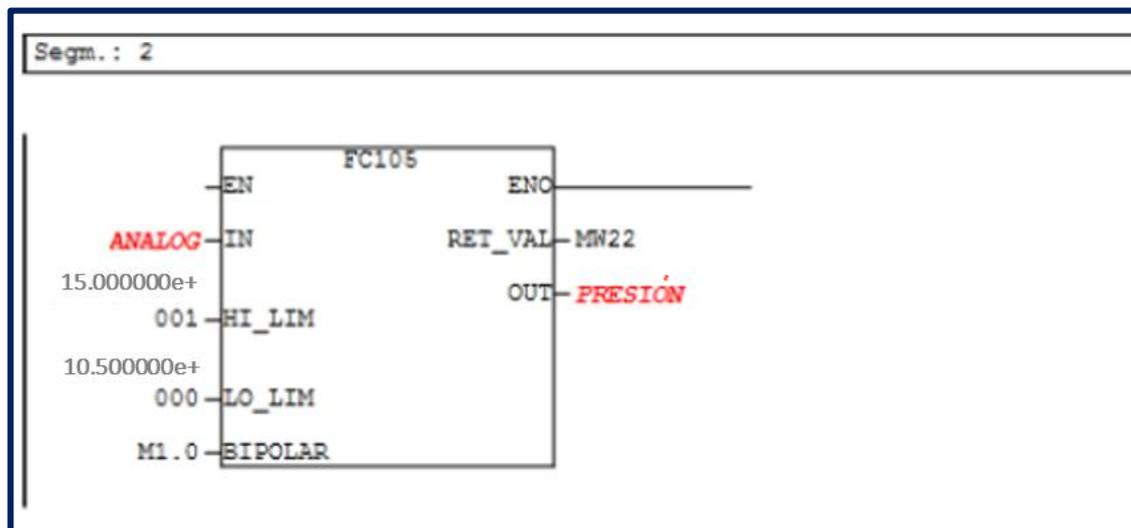


Figura 24: Segmento 2 de la función FC3
Fuente: Elaboración propia

En el siguiente segmento 3, se observa al comparador lógico CMP, el cual indicara si se supera a la presión máxima (Pmax) o si se está debajo de la presión mínima (Pmin), en cualquiera de los dos casos el sistema dejará de funcionar automáticamente.

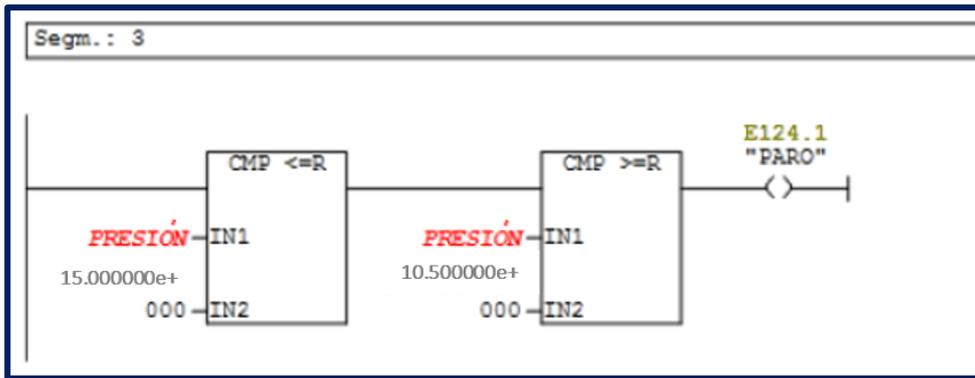


Figura 25: Segmento 3 de la función FC3
Fuente: Elaboración propia

En el siguiente segmento 4 y 5, se observa la programación del variador de frecuencia, el cual controlará a la electrobomba 2 en el proceso de lavado en contra corriente.

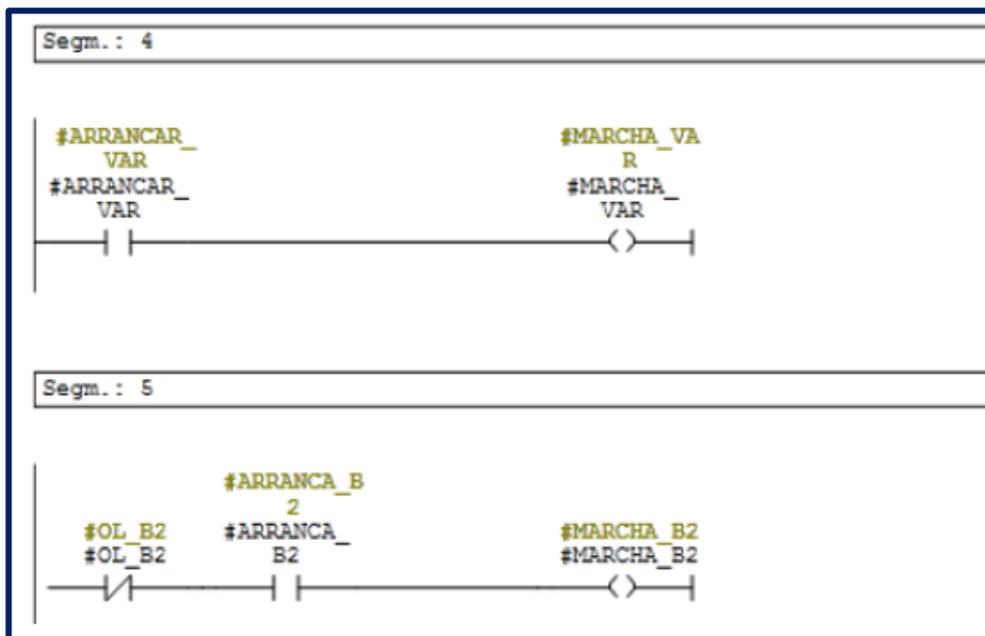


Figura 26: Segmento 4 y 5 de la función FC3
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, todas las funciones (FC1, FC2 y FC3), se van a unir para realizar lo programado por el bloque de organización OB1.

Tabla 8

Lista de datos del bloque de organización OB1

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMER	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la siguiente Figura en esta etapa se produce el accionamiento, parada y reseteo, de los actuadores (electrobomba B1, electrobomba B2, electroválvula V1, electroválvula V2, electroválvula V3, electroválvula V4 y electroválvula V5).

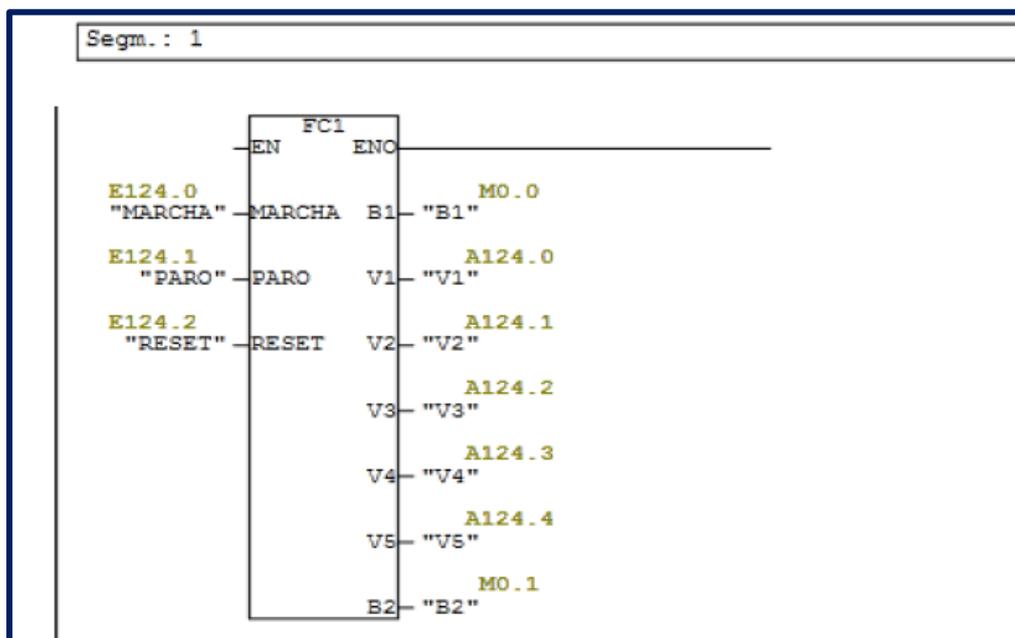


Figura 27: Segmento 1 del bloque de organización OB1

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se muestra la regulación de la presión, del sensor de presión (S1).

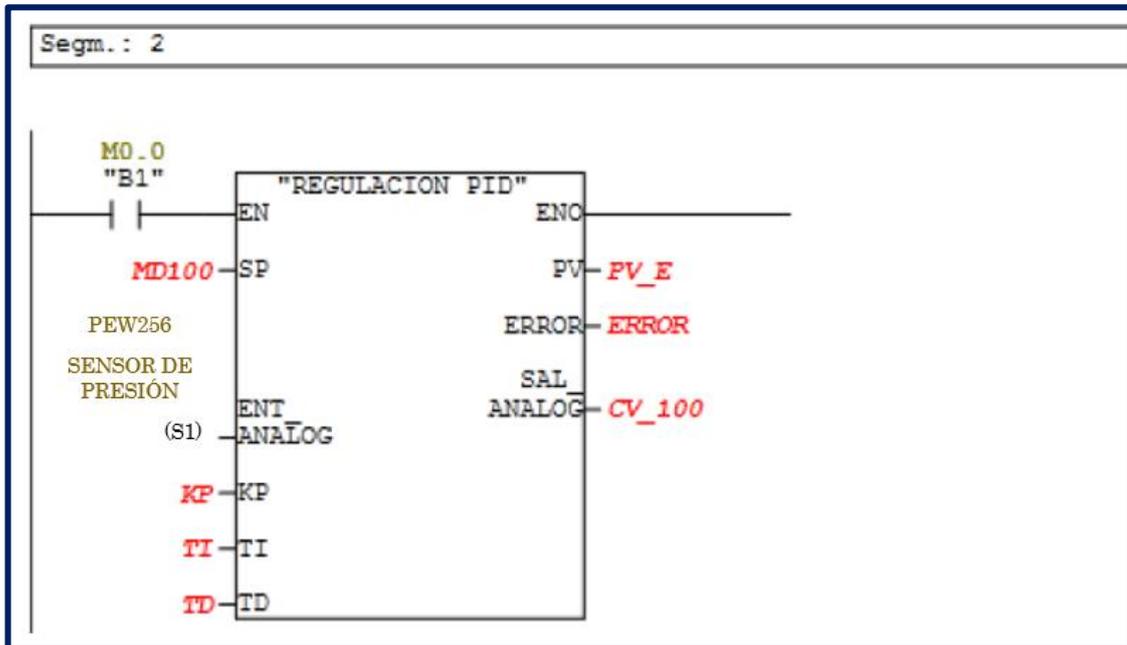


Figura 28: Segmento 2 del bloque de organización OB1
Fuente: Elaboración propia

Finalmente en la siguiente Figura se muestra el accionamiento de la electrobomba 1 y 2, cuya velocidad será regulada por medio del variador de frecuencia (VFD).

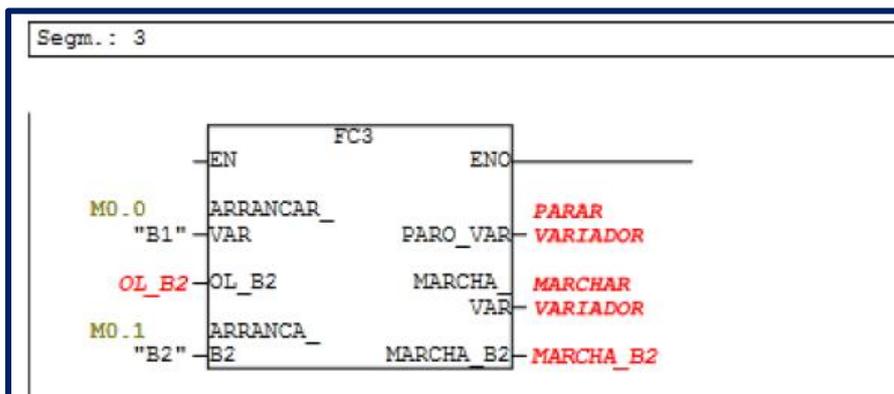


Figura 29: Segmento 3 del bloque de organización OB1
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Diseño metodológico

El diseño de Investigación que se ha determinado para la presente tesis es *Experimental*, ya que, según Collado, C., Baptista, P., y Hernández L (2005) en su libro *Fundamentos de metodología de la investigación*, afirman que: “La investigación experimental consiste en la manipulación de una variable, con el fin de describir por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular”.

4.2 Diseño muestral

Población

La población total para esta investigación será toda el agua sometida al proceso de osmosis inversa.

Muestra de estudio

La muestra para esta investigación será el tratamiento de agua por osmosis inversa.

4.3 Técnicas y recolección de datos

Como técnica y recolección de datos para esta investigación, se usará la observación.

4.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de información

El procesamiento de información se realizará por medio del Software SPSS versión 24.

4.5 Aspectos éticos

Esta investigación estará cumpliendo con lo establecido Ley N° 29338.- Ley de recursos hídricos.

CAPÍTULO V
RESULTADOS

5.1 Resultados

Haciendo uso del instrumento de recolección de datos (Anexo 1), y mediante el método de la observación, se analizó los reportes de medición, que se muestran en el Anexo 2, para luego hacer la recolección y procesamiento de datos con el software SPSS versión 24.

Cabe señalar que la toma de muestra en el sistema manual y con el controlador PID, se realizó en el periodo de un mes, y diario se tomó 5 muestras con intervalos de 2 horas cada una.

Los indicadores que se analizaron fueron presión y variación de la presión deseada, a continuación se muestra la recolección de datos de estos indicadores.

	PRESION_AUTOMATICA_BAR	PRESION_MANUAL_BAR	VARIACIÓN_DE_LA_PRESION_DESEADA_MANUAL_BAR	VARIACIÓN_DE_LA_PRESION_DESEADA_PID_BAR
1	11,9	10,5	2,00	,6
2	12,5	11,3	1,20	,0
3	12,5	11,3	1,20	,0
4	11,9	11,5	1,00	,6
5	12,3	11,5	1,00	,2
6	12,5	11,5	1,00	,0
7	12,1	11,5	1,00	,4
8	12,1	11,5	1,00	,4
9	12,3	11,5	1,00	,2
10	12,3	11,5	1,00	,2
11	12,4	11,5	1,00	,1
12	11,9	11,5	1,00	,6
13	12,4	11,5	1,00	,1
14	11,9	11,5	1,00	,6
15	12,4	11,5	1,00	,1
16	12,5	11,5	1,00	,0
17	11,9	11,6	,90	,6
18	12,3	11,6	,90	,2
19	12,3	11,6	,90	,2
20	12,3	11,6	,90	,2
21	12,6	11,6	,90	,1
22	12,4	11,6	,90	,1

Figura 30: Recolección de datos
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla se muestra el resultado del estadístico de frecuencia en relación con la presión calculada del sistema manual, estos resultados se procesaron de forma cualitativa.

Tabla 9
Estadístico de frecuencia de la presión del sistema manual

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	OPERATIVO	1	,8	,8	,8
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	2,5
	OPERATIVO	13	10,7	10,7	13,1
	OPERATIVO	8	6,6	6,6	19,7
	OPERATIVO	3	2,5	2,5	22,1
	OPERATIVO	6	4,9	4,9	27,0
	OPERATIVO	6	4,9	4,9	32,0
	OPERATIVO	3	2,5	2,5	34,4
	OPERATIVO	5	4,1	4,1	38,5
	OPERATIVO	8	6,6	6,6	45,1
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	46,7
	OPERATIVO	1	,8	,8	47,5
	OPERATIVO	6	4,9	4,9	52,5
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	54,1
	OPERATIVO	6	4,9	4,9	59,0
	OPERATIVO	4	3,3	3,3	62,3
	OPERATIVO	5	4,1	4,1	66,4
	OPERATIVO	4	3,3	3,3	69,7
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	71,3
	OPERATIVO	3	2,5	2,5	73,8
	OPERATIVO	3	2,5	2,5	76,2
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	77,9
	OPERATIVO	11	9,0	9,0	86,9
	OPERATIVO	2	1,6	1,6	88,5
	OPERATIVO	1	,8	,8	89,3
	INOPERATIVO	2	1,6	1,6	91,0
	INOPERATIVO	2	1,6	1,6	92,6
	INOPERATIVO	1	,8	,8	93,4
	INOPERATIVO	1	,8	,8	94,3
	INOPERATIVO	1	,8	,8	95,1
	INOPERATIVO	1	,8	,8	95,9
	INOPERATIVO	1	,8	,8	96,7
	INOPERATIVO	1	,8	,8	97,5
	INOPERATIVO	2	1,6	1,6	99,2
	INOPERATIVO	1	,8	,8	100,0
	Total	122	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente, se muestra el resultado del estadístico de media en relación con la variación de la presión deseada del sistema manual.

Tabla 10
Media de la variación de la presión deseada sistema manual

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
VARIACIÓN_DE_LA_PRESION_DESEADA_MANUAL_BAR	122	,00	7,00	1,0123	1,09458
N válido (por lista)	122				

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el resultado del estadístico de frecuencia en relación con la presión calculada, haciendo uso del controlador PID, estos resultados se procesaron de forma cualitativa.

Tabla 11
Estadístico de Frecuencia de la presión con controlador PID

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	OPERATIVO	6	4,9	4,9	4,9
	OPERATIVO	1	,8	,8	5,7
	OPERATIVO	10	8,2	8,2	13,9
	OPERATIVO	5	4,1	4,1	18,0
	OPERATIVO	13	10,7	10,7	28,7
	OPERATIVO	19	15,6	15,6	44,3
	OPERATIVO	23	18,9	18,9	63,1
	OPERATIVO	23	18,9	18,9	82,0
	OPERATIVO	14	11,5	11,5	93,4
	OPERATIVO	4	3,3	3,3	96,7
	OPERATIVO	4	3,3	3,3	100,0
	Total	122	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se muestra el resultado del estadístico de media en relación con la variación de la presión deseada, haciendo uso del controlador PID.

Tabla 12
Media de la variación de la presión deseada con controlador PID

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
VARIACIÓN_DE_LA_PRESION_DESEADA_PID_BAR	122	,0	,6	,181	,1566
N válido (por lista)	122				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI
DISCUSIÓN

6.1 Discusión

Con la finalidad de determinar el impacto que tiene la regulación de la presión, calcularemos el antes y después de los resultados en relación con la variación de la presión deseada que se muestra en la Tabla 10 y 12 del capítulo 5; para dicho cálculo emplearemos la siguiente ecuación 8.

$$\%impacto = (MSA - MSM / MSM) \times 100 \quad \dots (8)$$

Donde:

MSA= Media del sistema automático

MSM= Media del sistema manual

Reemplazando los valores en la ecuación 8, obtenemos lo siguiente:

$$\%impacto = \left(\frac{0,181 - 1,0123}{1,0123} \right) \times 100$$

$$\%impacto = - 82.12 \%$$

Haciendo uso del controlador PID, se observa que la variación de la presión deseada ha disminuido notablemente en un 82.12%, con lo que se puede concluir que por medio de este automatismo se logra trabajar con la presión de 12.5 bar, obteniendo solo un rango tolerable de variación, con la cual se alcanza una correcta operatividad del proceso.

Cabe señalar que las variaciones de la presión, se debe a que las condiciones del agua tratada son cambiantes diariamente, esto hace que se tenga

diferentes días de obstrucciones, tal como se muestra en los resultados detallados en el Anexo 2.

Asimismo con la finalidad de determinar la operatividad del proceso de tratamiento de agua se realizó un análisis cualitativo, donde se estableció lo siguiente: Los valores que están dentro de 10.5 bar y 15 bar, se encuentran en el rango operativo, ya que la presión deseada para la etapa de lavado en contra corriente de las membranas semipermeables es 12,5 Bar; con dichos valores se logra la óptima limpieza del filtro; pero si los valores disminuyen o exceden a lo establecido, el proceso se vuelve inoperativo, porque una baja presión no logra limpiar óptimamente el filtro de osmosis inversa, trayendo como consecuencia obstrucciones en él, y por ende cambios continuos de las membranas; así también un valor muy elevado de presión puede causar rotura de las membranas semipermeables, razón por la cual el proceso queda inoperativo hasta realizar el cambio.

En la siguiente Figura se muestra los rangos de operatividad e inoperatividad del proceso de tratamiento de agua.

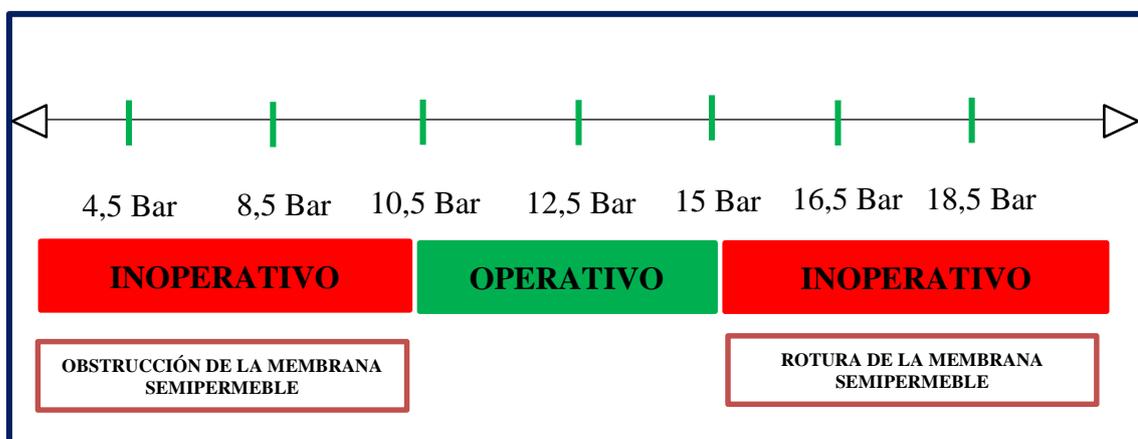


Figura 31: Rangos de operatividad e inoperatividad
Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Tabla 9, el proceso cuando se ha desarrollado de forma manual ha estado inoperativo 13 veces, bien por exceder o por no alcanzar el rango mínimo de presión, establecido líneas arriba; esto quiere decir que en el periodo de un mes se ha tenido que cambiar 13 veces la membrana semipermeable, ocasionando parada en la producción y un sobre costo adicional en la Empresa, por el desecho constante de las membranas; es decir la inoperatividad esta asociado a la cantidad de veces que se ha cambiado las membranas semipermeables.

Asimismo, se observa en la Tabla 11, que en el periodo de un mes no se ha presentado paradas del proceso, esto debido a que ya se encuentra implementado el automatismo del control PID mediante PLC.

Ahora determinaremos el impacto que tiene la implementación del control PID, en la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua por osmosis inversa, en el periodo de un mes.

$$\%impacto = \left(\frac{0 - 13}{13} \right) \times 100$$

$$\%impacto = - 100 \%$$

La inoperatividad en promedio es 13 veces por mes, mientras que con el sistema automatizado no se presenta ningún caso de inoperatividad; esto quiere decir que se ha reducido al 100% los casos de inoperatividad, reduciendo los cambios constantes de membranas semipermeables.

Cabe señalar que la Empresa ha determinado, mediante un plan de mantenimiento predictivo, realizar el cambio de membranas semipermeables, en un tiempo de 6 meses, para así, obtener una óptima función de ella.

En la siguiente Tabla se realizará un análisis de los resultados, en relación con el cambio de las membranas semipermeables, en el periodo de un año, haciendo uso del sistema manual y automático.

Tabla 13
Análisis anual del cambio de membranas semipermeables

SISTEMA	CAMBIO DE MEMBRANAS SEMIPERMEABLES (MENSUAL)	CAMBIO DE MEMBRANAS SEMIPERMEABLES (ANUAL)	COSTO MENSUAL (\$)	COSTO ANUAL (\$)
MANUAL	13	156	90.00	14,040.00
AUTOMÁTICO	1 (cada 6 meses)	3	90.00	270.00

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Tabla anterior, anualmente se estaría disminuyendo el cambio de 153 membranas semipermeables, lo que en costo significa un ahorro de \$ 13,770.00; con dicho resultado se concluye que el proyecto es rentable para la empresa Marfrasal S.A.C.

CONCLUSIONES

1. Se logró determinar el impacto de la regulación de la presión a través del control PID mediante PLC, sobre la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C, el cual es de -82.12%; es decir, con el automatismo se ha reducido en ese porcentaje la variación de la presión, alcanzando la presión deseada de 12.5 Bar; en relación a la inoperatividad se ha disminuido en un 100% el cambio de membranas semipermeables, lo que en costo significa un ahorro anual de \$ 13,770.00.
2. Se logró determinar los sensores y actuadores a utilizar en el automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C, tal como se muestra en la Tabla 4 los elementos de entrada son: Pulsador de marcha, pulsador de parada y Reset; mientras que los elementos de salida son: Electrobomba 1, electroválvula 1, electroválvula 2, electroválvula 3, electroválvula 4, electroválvula 5, y electrobomba 2.
3. Finalmente se logró determinar la programación del automatismo del controlador PID mediante PLC, del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, en la empresa Marfrasal S.A.C; esta relación estará definida por el PLC Siemens 314C-2DP, el cual controlará a las cinco electroválvulas de apertura y cierre (llamadas también válvulas ON /OFF), las cuales se accionarán bajo una secuencia temporizada, asimismo, se controlará a las 2 electrobombas 2 por medio de un variador de frecuencia.

RECOMENDACIONES

1. En relación con la regulación de la presión y a la inoperatividad del proceso de tratamiento de agua, por osmosis inversa, se recomienda, realizar un plan de mantenimiento total productivo (TPM), con la finalidad de mitigar las posibles fallas, y alargar la vida útil de los componentes del proceso.
2. En relación con los sensores y actuadores a utilizar en el automatismo del controlador PID mediante PLC, se recomienda, hacer uso de una interface HMI (Interface Hombre - Máquina), a fin de que se genere un entorno más cómodo para los operarios.
3. Finalmente en relación con la programación del automatismo del controlador PID mediante PLC, se recomienda, realizar capacitaciones a los operarios, con la finalidad que se puedan familiarizar con el programa, conociendo cada una de las herramientas y aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alzamora Verástegui, S. E. Diseño y evaluación de un sistema de control digital para mantener constante la presión mediante la instalación de una válvula de control reguladora del flujo de gas del quemador del generador de vapor en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo.
- dominguez Cartolin, R. Diseño de un sistema de control distribuido con control PID difuso para control de nivel de aguas para una planta de distribución de servicios de agua potable. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Lima.
- Hernandez Padilla , S. E. Estudio e implementación de sistema de control de una planta de tratamiento de agua, para uso en calderas de alta presión, en generación de energía eléctrica. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Katsuhiko, O. (1998). *Ingeniería de control moderna*. México: Pearson Edicación.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverté.
- Rojas Carbajal, D. E. Diseño de controladores PID avanzado para el control robusto de una unidad de ósmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar. (*Tesis de Posgrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ruiz Reyes, J. D. Monitoreo del envasado de una purificadora de agua por medio de un PLC, para mejorar la producción. (*Tesis de Pregrado*). Instituto Politecnico Nacional, Ciudad de México.
- Ugarte Diaz, D. p. Desarrollo de un controlador inteligente para un bastidor de osmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar. (*Tesis de Pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

ANEXOS

ANEXO 1 – INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	
	Presión requerida (Bar)	
	Diferencia de la Presión (bar)	

ANEXO 2 – REPORTE DE MEDICIÓN- SISTEMA MANUAL

SISTEMA MANUAL		
		2/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
		3/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
		4/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	14.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.4
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1

SISTEMA MANUAL		
		5/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
		6/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	9.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
		7/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1

SISTEMA MANUAL		
		9/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	15.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.9
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	10.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2
		10/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
		11/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	15.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.9
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1

SISTEMA MANUAL		
		12/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	9.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3
		13/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
		14/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	15.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8

SISTEMA MANUAL		
		16/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
		17/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	14.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.4
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
		18/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	14.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.4
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9

SISTEMA MANUAL		
		19/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	15
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.5
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	13.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
		20/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8
		21/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	5.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	7
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9

SISTEMA MANUAL		
		23/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	7.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	5
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
		24/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	8.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	4.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
		25/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	15.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.7

SISTEMA MANUAL		
		26/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3.5
		27/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.8
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	8.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	4.2
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
		28/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9

SISTEMA MANUAL		
		30/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	9.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	2.6
		31/07/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.9
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	13
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.5
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	9.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	3.1

SISTEMA AUTOMÁTICO

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		3/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
		4/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
		5/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		6/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
		7/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
		8/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		10/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	11.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.6
		11/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
		12/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		13/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.8
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
		14/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		15/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		17/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		18/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		19/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		20/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.9
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		21/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		22/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		24/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		25/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		26/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.1
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.4
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		27/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
		28/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
		29/09/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.2
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.3
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2

SISTEMA AUTOMÁTICO		
		1/10/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.3
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
		2/10/2018
8:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.7
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.2
10:00 a. m.	Presión obtenida (Bar)	12.6
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
12:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1
3:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.5
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0
5:00 p. m.	Presión obtenida (Bar)	12.4
	Presión requerida (Bar)	12.5
	Diferencia de la Presión (bar)	0.1

ANEXO 3 – FOTOS DEL PROYECTO



