

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Diseño e implementación de un prototipo de controlador de retrolavados
automático para estaciones de filtración de agua**

**Informe de proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado de Licenciatura**

Luis Alejandro Morales Peña

Cartago, junio 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

**Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

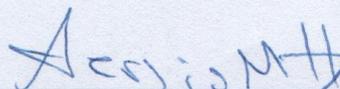
El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado Diseño e implementación de un prototipo de controlador de retrolavados automático para estaciones de filtración de agua, realizado por el señor Luis Alejandro Morales Peña y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador



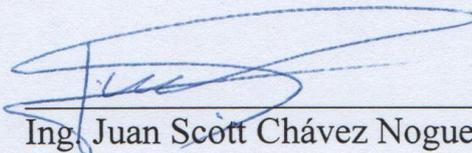
Ing. Carlos Meza Benavides

Profesor lector



Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector



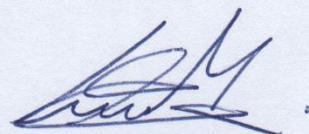
Ing. Juan Scott Chávez Noguera

Profesor asesor

Cartago, 12 de junio, 2018

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado, en su totalidad, por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado material bibliográfico, he procedido a indicar las fuentes mediante citas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.



Luis Alejandro Morales Peña

Cartago, 12 de junio de 2018

Cédula: 504030956

Resumen

En este documento se muestra el proceso de diseño e implementación de un dispositivo electrónico destinado a controlar el proceso de retrolavado de los filtros que poseen las estaciones de filtrado de agua propiedad de la empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda, el cual es desarrollado de acuerdo con los requerimientos y especificaciones de la empresa, así como de los equipos que esta posee. A lo largo del escrito se muestran las diferentes etapas de diseño referentes al desarrollo del sistema electrónico, en cuanto al hardware y el software del dispositivo, así como de la carcasa protectora del mismo. Se proporciona a su vez un análisis funcional del dispositivo; mediante diversas pruebas eléctricas y lógicas. También, se realiza un análisis comparativo entre el dispositivo diseñado y el controlador utilizado por la empresa en sus labores de mantenimiento.

Palabras Claves: Automatización, Controlador de Retrolavados, Filtro, GUI, ModBus, PCB, PLC, SCADA.

Abstract

This document shows the design and implementation process of an electronic device intended to control the backwash process of filters in water filtration stations property of Papagayo Servicios Generales PSG Ltda company's, which is developed according to the requirements and specifications given by the company, as well as the equipment it has. Throughout the text the different stages of design related to the development of the electronic system are shown, in regard to the hardware and software of the device, as well as of the protective casing of it. A functional analysis of the device is also provided, through various logic and electric performance tests. Besides, a comparative analysis between the designed device and the controller used by the company in its maintenance tasks is executed.

Keywords: Automation, Backwashing Controller, Filter, GUI, ModBus, PCB, PLC, SCADA.

A mi madre y mi padre, porque sin su sacrificio y dedicación nada de esto sería posible,
por su apoyo incondicional, por su amor, por sus enseñanzas, porque siempre han
luchado para que nunca me falte nada y que sea feliz, gracias.

Agradecimientos

A Dios por la vida que me ha dado y me permite disfrutar.

A mi familia, por su apoyo incondicional durante estos años de estudio.

A mi madre y mi padre, que son mi motivación y mi ejemplo a seguir, y que sin ellos nada de esto sería posible, muchas gracias por ayudarme a alcanzar mis metas.

A los ingenieros del departamento de recursos hídricos de Papagayo Servicios Generales PSG Ltda, por permitirme desarrollar mi proyecto de graduación en esta empresa.

Luis Alejandro Morales Peña

Cartago, 12 de junio de 2018

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción e identificación del problema presente en la empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda	1
1.2 Características de la solución	4
Capítulo 2: Meta y objetivos	8
2.1 Meta	8
2.2 Objetivo general	8
2.3 Objetivos específicos	9
Capítulo 3: Marco teórico	10
3.1 Sistemas de filtración industrial y proceso de retrolavado de filtros	10
3.2 Protocolo de comunicación ModBus	13
3.3 Sistema SCADA y controladores industriales (PLCs)	19
3.4 Tensiones transitorias y picos de corriente	20
Capítulo 4: Controlador de retrolavados automático	22
4.1 Hardware del controlador de retrolavados	23
4.2 Software del controlador de retrolavados	36
4.3 Diseño de la carcasa protectora	46
Capítulo 5: Análisis y resultados	50
5.1 Pruebas funcionales y de rendimiento	50
5.2 Comparación con el controlador de retrolavados actual (Filtron 246)	66
Capítulo 2: Conclusiones y recomendaciones	70
6.1 Conclusiones	70
6.2 Recomendaciones	71

Bibliografía	72
Apéndices	75
Anexos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Sistema de filtración de agua instalado en una de las estaciones de filtrado propiedad de Papagayo Servicios Generales (izquierda). Tecnología interna del sistema de filtración (derecha).	3
Figura 1.2. Controlador de retrolavado de la marca TALGIL, modelo FILTRON 246, para aplicaciones agrícolas y sistemas de filtrado de agua.	4
Figura 3.1. Estación de filtración de agua (batería de filtrado), sistema con tecnología de anillas, modelo Galaxy de la marca Arkal.	11
Figura 3.2. Tecnología interna de un filtro de anillas modelo Galaxy.	12
Figura 3.3. Color de las anillas internas según su grado de filtración.	12
Figura 3.4. Dirección del flujo de agua durante los procesos de filtrado y retrolavado en los módulos filtrantes.	13
Figura 3.5. Ciclo de comunicación master-slave query-response, y espacios asignados en los formatos de los mensajes del protocolo de comunicación ModBus.	15
Figura 3.6. Trama de datos general (query/response) del protocolo de comunicación ModBus y señalización de las secciones de ADU (application data unit) y PDU (protocol data unit) en esta.	15
Figura 3.7. Trama de datos para la transmisión de información entre el dispositivo maestro y el/los esclavo(s) de la red, utilizando el estándar de comunicación ASCII en ModBus.	17
Figura 3.8. Trama de datos para la transmisión de información entre el dispositivo maestro y el/los esclavo(s) de la red (con intervalos de silencio de inicio y fin), utilizando el estándar de comunicación RTU en ModBus.	18
Figura 3.9. Intervalos de silencio necesarios entre tramas de datos.	18
Figura 3.10. Forma de las tramas de datos (query-response) del protocolo de comunicación ModBus RTU y ejemplo de comunicación con un dispositivo maestro a los Holding Registers (función 03).	19
Figura 3.11. Efecto de transitorios en la simetría de la onda de tensión de la red.	21
Figura 4.1. Diagrama de bloques general del controlador de retrolavados.	23

Figura 4.2. Diagrama de bloques del controlador de retrolavados, con interconexión de las etapas internas (en azul señales de potencia y en verde las señales de datos).	24
Figura 4.3. Circuito esquemático diseñado para alimentar al módulo de relevadores y a la etapa de acondicionamiento del sensor y del microcontrolador.	25
Figura 4.4. Circuito esquemático diseñado para alimentar a las válvulas del tipo LATCH DC o simplemente DC.	26
Figura 4.5. Configuración de fuente de tensión constante y ecuación de tensión de salida para un LM317.	26
Figura 4.6. Circuito esquemático diseñado para proteger al controlador contra transientes de tensión y picos de corriente, además se muestra el proceso de rectificación.	27
Figura 4.7. Diagrama completo de la etapa de potencia (circuito esquemático diseñado).	28
Figura 4.8. Vista “Bottom” de la tarjeta electrónica diseñada con ayuda del software Eagle para la etapa de potencia (medidas en milímetros).	29
Figura 4.9. Acondicionamiento del sensor de presión diferencial (MPX500DP), desacople a la fuente de alimentación y filtrado a la salida del sensor.	30
Figura 4.10. Configuración de pines del microcontrolador (ATmega328P).	31
Figura 4.11. Configuración de interruptor por transistor para reiniciar por software al controlador de retrolavados.	32
Figura 4.12. Diagrama completo de la etapa de acondicionamiento del sensor ΔP y del microprocesador (circuito esquemático diseñado).	33
Figura 4.13. Vista “Bottom” de la tarjeta electrónica diseñada con ayuda del software Eagle para la etapa de acondicionamiento del sensor ΔP y del microcontrolador (medidas en milímetros).	34
Figura 4.14. Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para controlar los retrolavados.	38
Figura 4.15. Diagrama de tiempos del proceso de retrolavado de filtros para un sistema con válvula maestra (representación de los tiempos de activación y desactivación de las válvulas hidráulicas de cada filtro, y la coordinación con los tiempos de permanencia y de estabilización).	39
Figura 4.16. Diagrama de tiempos del proceso de retrolavado de filtros para un sistema sin válvula maestra (representación de los tiempos de activación y desactivación de las válvulas	

hidráulicas de cada filtro, y la coordinación con los tiempos de permanencia y de estabilización).	39
Figura 4.17. Señal enviada a un relé para activar una electroválvula AC o DC, durante 20s (pulso desde $t=5s$ a $t=25s$).	41
Figura 4.18. Señal enviada a un relé para activar una electroválvula LATCH, durante 20s (pulso de encendido: desde $t=4.985s$ a $t=5s$, pulso de apagado: desde $t=24.985s$ a $t=25s$).	42
Figura 4.19. Pantalla de inicio de la interfaz de usuario.	45
Figura 4.20. Pantalla de ajustes de la interfaz de usuario.	45
Figura 4.21. Pantalla de control de la interfaz de usuario.	46
Figura 4.22. Cara superior de la carcasa del controlador de retrolavados (soporte para la pantalla).	47
Figura 4.23. Cara inferior de la carcasa del controlador de retrolavados (soportes empotrar las placas de la etapa de potencia y de relevadores).	48
Figura 4.24. Estructura completa de la carcasa del controlador de retrolavados (tapa de protección de la pantalla abierta).	48
Figura 4.25. Estructura completa de la carcasa del controlador de retrolavados (tapa de protección de la pantalla cerrada).	49
Figura 4.26. Cara posterior de la carcasa del controlador de retrolavados (soportes para fijar al dispositivo a una base por medio de tornillos).	49
Figura 5.1. Extracto de la función de <code>Timer_Trigger()</code> del código de implementación (apéndice A.2).	51
Figura 5.2. Extracto de la función de <code>MPX5500DP_Trigger()</code> del código de implementación (apéndice A.2).	51
Figura 5.3. Extracto de la función de <code>Manual_Trigger()</code> del código de implementación (apéndice A.2).	52
Figura 5.4. Extracto de la función de lectura del botón de lavado manual del código de implementación (apéndice A.2).	52
Figura 5.5. Mensaje de disparo de lavado por ΔP . Imagen tomada durante una prueba de campo.	52

Figura 5.6. Mensaje de disparo de lavado por Timer. Imagen tomada durante una prueba de campo.	53
Figura 5.7. Mensaje de disparo de lavado por activación Manual. Imagen tomada durante una prueba de campo.	53
Figura 5.8. Extracto de la función de ejecución de retrolavados para solenoides LATCH (“Backwashing_Logic_L()”) del código de implementación (apéndice A.2) , con detección de válvula maestra.	54
Figura 5.9. Extracto de la función de ejecución de retrolavados para solenoides AC o DC (“Backwashing_Logic()”) del código de implementación (apéndice A.2), con detección de válvula maestra.	54
Figura 5.10. Extracto del código de implementación para el accionamiento de solenoides tipo LATCH (apéndice A.2).	55
Figura 5.11. Extracto del código de implementación para el accionamiento de solenoides tipo AC o DC (apéndice A.2).	55
Figura 5.12. Extracto del código implementación desarrollado para seleccionar el modo de ejecución del controlador de retrolavados (apéndice A.2).	56
Figura 5.13. Extracto del código de implementación desarrollado para la detección de error en las mediciones del sensor de presión diferencial (apéndice A.2).	56
Figura 5.14. Mensaje de detección de error en las mediciones tomadas por el sensor de presión diferencial (controlador entra en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.	57
Figura 5.15. Mensaje de disparo de lavado por activación Manual (controlador en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.	57
Figura 5.16. Mensaje de disparo de lavado por Timer (controlador en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.	58
Figura 5.17. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo AC o DC, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 15s de Dwell time y sin válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.	58
Figura 5.18. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo AC o DC, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 5s de Dwell time y con operación de válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.	59

Figura 5.19. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo LATCH, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 5s de Dwell time y con operación de válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.	60
Figura 5.20. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo LATCH, con un tiempo de lavado de 10s por filtro, 15s de Dwell time y sin válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.	61
Figura 5.21. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de alerta al operador para que calibre el sensor. Imagen tomada durante una prueba de campo.	62
Figura 5.22. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de calibración exitosa. Imagen tomada durante una prueba de campo.	62
Figura 5.23. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de carga de datos en proceso. Imagen tomada durante una prueba de campo.	63
Figura 5.24. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de carga de datos en la memoria exitoso. Imagen tomada durante una prueba de campo.	63
Figura A.3.1. Diagrama de flujo del funcionamiento general del software del controlador de retrolavados.	95
Figura B.1.1. Planos de la carcasa protectora del controlador de retrolavados.	104
Figura B.2.1. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.	105
Figura B.2.2. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.	106
Figura B.2.3. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.	107
Figura B.2.4. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.	108
Figura B.2.5. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.	109

Figura B.2.6. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Especificaciones funcionales del dispositivo controlador de retrolavados.	5
Tabla 3.1. Códigos de error enviados por el dispositivo esclavo en el protocolo de comunicación ModBus.	15
Tabla 3.2. Descripción de las funciones utilizadas por el protocolo de comunicación ModBus.	16
Tabla 4.1. Especificación de la conexión de pines del microcontrolador.	30
Tabla 4.2. Consumo de potencia estimado del controlador de retrolavados.	35
Tabla 4.3. Forma de la trama de datos necesaria para solicitar leer los registros del 40001 al 40004, en el esclavo 1.	43
Tabla 4.4. Forma de la trama de datos con la respuesta del esclavo 1, a la solicitud realizada por el dispositivo maestro descrita en la tabla 4.3.	43
Tabla 5.1. Comparación entre el consumo de potencia medido y el estimado del controlador de retrolavados.	65
Tabla 5.2. Comparación entre las características funcionales del prototipo diseñado y el dispositivo Filtron 246.	67
Tabla 5.3. Descripción de la inversión necesaria para elaborar el controlador de retrolavados.	68
Tabla 5.4. Descripción de la inversión realizada por la empresa en el proyecto.	69
Tabla A.5.1. Descripción detallada del costo del prototipo elaborado.	100

Capítulo 1

Introducción

1.1 Descripción e identificación del problema presente en la empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda

Cuando se dañan los dispositivos destinados a controlar el retrolavado de las estaciones de filtrado de agua de la empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda (información de la empresa en apéndice A.6), ocurren una serie de inconvenientes; a causa del tiempo de espera necesario para lograr adquirir el dispositivo de reemplazo, lo cual pone en riesgo a los equipos de las estaciones de filtración de agua, y principalmente afecta el servicio de suministro de agua proveído por la empresa a sus clientes. También, se presenta por este mismo motivo la generación de un gasto extra para lograr adquirir un nuevo controlador y en el peor de los escenarios para reemplazar el sistema de filtrado de agua (dañado por la ausencia del controlador de retrolavados). Por otra parte, estos dispositivos también limitan los alcances del proyecto que posee la empresa de implementar un sistema de monitoreo remoto para sus instalaciones (estaciones de filtración de agua, plantas de tratamiento, sistemas de bombeo de agua, entre otros); por causa de las restricciones funcionales que presenta el controlador, específicamente por la ausencia de algún protocolo de comunicación integrado en el mismo.

Por lo tanto, se encuentra que la empresa tiene una problemática la cual afecta sus operaciones, y se presenta desde 5 aspectos relevantes, los cuales son: 1) la distancia que existe entre el proveedor de los equipos y la empresa (la cual incrementa el tiempo necesario para la recepción de los mismos), 2) daños en los equipos de las estaciones de filtración de agua, 3) el costo de la inversión para reemplazar ya sean los equipos mecánicos de las estaciones de filtrado de agua o los dispositivos electrónicos destinados a controlar los retrolavados de las mismas, 4) cortes en el suministro de agua a sus clientes y 5) limitación para realizar operaciones y chequeos remotos al sistema de filtración de agua.

El primer aspecto para tomar en consideración es el de la dificultad de comunicación con el proveedor de los equipos; el cual se ubica en Israel. Esta lejanía provoca una serie de inconvenientes en las labores realizadas por la empresa cuando se presentan daños, ya

sea en los equipos mecánicos o electrónicos utilizados en las tareas de mantenimiento de las estaciones de filtrado de agua (sistema de filtración de agua y controlador de retrolavados específicamente). El inconveniente ocurre debido a que cuando se necesita realizar alguna compra en el extranjero Papagayo Servicios Generales debe lidiar con tiempos de hasta 1 mes como mínimo para lograr tramitarla, más 4 meses de envío (sin considerar los contratiempos que se puedan presentar). Lo cual implica que existe un tiempo de entre 5 y 6 meses necesario para lograr realizar el reemplazo.

Con base a lo anterior, cuando ocurre alguna avería en el dispositivo empleado para controlar los retrolavados de los filtros en las estaciones de filtrado, la empresa se ve obligada a realizar las aperturas y cierres de las válvulas (las cuales controlan el proceso de retrolavado de cada filtro) de forma manual; con la finalidad de evitar realizar cortes al suministro de agua de sus clientes. Sin embargo, este procedimiento tiende a dañar los filtros del sistema; debido a que tiene que existir un intervalo de 5 a 40 segundos entre los accionamientos de los lavados individuales de cada filtro, llamado “Dwell time” (tiempo fundamental para evitar dañar las anillas internas de los filtros); con el cual el sistema se cerciora de que el siguiente filtro que va a ser retrolavado se encuentra completamente lleno de agua, ya que si esto no ocurre este se puede dañar internamente (situación que se ha presentado en la empresa al realizar las aperturas y cierres de forma manual). Otro de los problemas que presentan los filtros durante el periodo en el cual no se cuenta con el controlador, es el daño causado por la sedimentación; la cual se forma al no ejecutarse los lavados con relación a las necesidades reales que tiene el sistema de trasiego de agua en cada instante.

Inclusive, la empresa ha tenido que suspender el servicio de suministro de agua a sus clientes por varias horas todos los días de la semana (agua es utilizada únicamente para riego); esto con la finalidad de evitar dañar los sistemas de filtración y esencialmente porque no pueden garantizar que el agua que están proveyendo posee los niveles de pureza necesarios (lo que si ocurre cuando el controlador realiza los lavados de los filtros en los momentos que el sistema de filtración lo requiere). Punto que, según el ingeniero a cargo de las estaciones de filtrado, es la consecuencia más agravante para la empresa; ya que se ponen en riesgo los estándares de calidad ofrecidos por el proyecto turístico e inmobiliario Península Papagayo a las cadenas hoteleras establecidas en la zona (principal fuente de ingresos).

El aspecto económico del problema es el referente al de la inversión que representa para la empresa sustituir el controlador de retrolavados y el sistema de filtración en las estaciones, donde el primero presenta un valor de 750 USD, y el segundo tiene un precio de 57000 USD; específicamente para los modelos presentados en las Fig. 1.1 y 1.2. Para un total de 57750 USD (según documentos de compra que facilita la empresa).

El último aspecto por tomar en consideración es el de la limitación que provoca el controlador de retrolavados utilizado actualmente por la empresa en su proyecto de implementar un sistema de monitoreo remoto para sus instalaciones (mediante la utilización de sistemas SCADA [23]); debido principalmente a que estos dispositivos no poseen la capacidad de ser controlados remotamente (limitación funcional), ni existe una forma de extraerles los datos que son de interés para la empresa. Problema que reduce el control y la visualización en tiempo real de las estaciones de filtrado de agua (en este caso específico).

Los filtros utilizados por Papagayo Servicios Generales se pueden apreciar en la Fig. 1.1, así como su tecnología interna (anillas), por otra parte, en la Fig. 1.2 se muestra el controlador de retrolavados utilizado por la empresa en sus labores de mantenimiento, el cual es de la marca TALGIL [29].



Figura 1.1. Sistema de filtración de agua instalado en una de las estaciones de filtrado propiedad de Papagayo Servicios Generales (izquierda). Tecnología interna del sistema de filtración (derecha) [8].



Figura 1.2. Controlador de retrolavado de la marca TALGIL, modelo FILTRON 246, para aplicaciones agrícolas y sistemas de filtrado de agua [29].

1.2 Características de la solución

La propuesta consiste en diseñar un controlador de retrolavados automático, el cual debe controlar el proceso de retrolavado de filtros en estaciones de filtrado de agua, conforme a los siguientes modos de accionamiento:

- ❖ Modo manual y automático por ΔP : el controlador realiza el proceso de retrolavado de filtros cuando el operador lo requiere (por medio del accionamiento de un botón virtual en una pantalla táctil), y durante el resto del proceso el sistema opera por ΔP ; donde este actúa de acuerdo con las necesidades del sistema de trasiego de agua de la estación de filtrado (valor recolectado por medio del sensor de presión diferencial).
- ❖ Modo automático por Timer, ΔP y activación manual: el sistema se activa cuando el temporizador alcanza un valor previamente programado por un operador, también opera por ΔP y por activaciones manuales. Sin embargo, estos últimos dos tienen prioridad durante la ejecución, por lo cual, si ocurre una activación manual o por diferencia de presión, la cuenta del timer se reinicia.
- ❖ Modo automático por Timer y activación manual: este modo de operación ocurre cuando el controlador bloquea las activaciones automáticas por ΔP (es

un backup ante fallas en las mediciones tomadas por el sensor). En caso de que el Timer se encuentre desactivado, el sistema debe fijarlo automáticamente para que se dispare el lavado cada 30 minutos.

El controlador también debe comunicarse con un dispositivo maestro (ya sea con un sistema SCADA o un PLC); por medio del protocolo de comunicación ModBus RTU, de forma que entre ambos exista un intercambio de información del tipo Half Duplex.

A continuación, en la tabla 1.1 se muestra un resumen de las especificaciones funcionales del dispositivo controlador de retrolavados.

Tabla 1.1. Especificaciones funcionales del dispositivo controlador de retrolavados.

	Característica
1	Medir el nivel de presión diferencial en tiempo real en las tuberías de entrada y salida de la planta de filtrado de agua.
2	Empotrar el sensor de presión diferencial en el dispositivo final (NO como un módulo por separado).
3	Disparar enjuagues de forma manual, por diferencias de presión y/o intervalos de tiempo programados.
4	Realizar ciclos de enjuague desde una vez cada 10 minutos hasta una vez cada 24 horas.
5	Programar enjuagues que vayan desde 5 segundos hasta 60 segundos, en cada filtro.
6	Intercambiar información con un dispositivo maestro por medio del protocolo de comunicación ModBus RTU.
7	Operar desde 1 hasta 8 electroválvulas de los tipos: 24VAC, 12VDC (NO LATCH), 12VDC (LATCH).

8	El operador del dispositivo puede seleccionar la cantidad de válvulas que van a ser manipuladas por el controlador.
9	El operador puede seleccionar el tipo de válvula que se va a utilizar en el proceso de retrolavado.
10	Seleccionar si el controlador va a operar con “master valve”, o no; en caso de que el sistema de filtrado de la estación posea una válvula maestra, o no.
11	Detectar averías en el sensor de presión diferencial y mostrar una alerta.
12	En caso de que ocurran averías en el sensor, el sistema debe poseer un backup en sus operaciones.
13	Poseer una interfaz de software mediante una pantalla con la cual se puede manipular el dispositivo.
14	Mostrar al usuario el valor de presión diferencial que presenta la estación de filtrado de agua (en tiempo real) y el valor de punto de disparo por ΔP (establecido por el operador).
15	Calibrar las mediciones proporcionadas por el sensor de presión diferencial.
16	Permitirle al operador seleccionar el intervalo que existe entre los lavados de cada filtro (“Dwell time”).
17	Presentar una carcasa que proteja al dispositivo ante todo tipo de contactos, penetración de polvo y de agua.
18	Alimentación con corriente alterna.

19	Protección ante picos de corriente presentes en la red eléctrica.
20	Protección ante transientes de tensión presentes en la red eléctrica.

Capítulo 2

Meta y objetivos

2.1 Meta

Desarrollar un proyecto con el cual la empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda, evite el daño en los equipos de filtración de agua y principalmente que logre disminuir la incidencia de cortes en el suministro de agua proveído a sus clientes. De manera que cuando ocurran averías en los sistemas electrónicos empleados para controlar el retrolavado de filtros de las plantas de filtrado de agua, esta pueda solucionar el inconveniente en un menor tiempo y costo con relación al actual. Asistiendo con ello este proyecto al cumplimiento del objetivo principal de la empresa; el cual es velar por el mantenimiento y la logística administrativa del proyecto turístico e inmobiliario: Península Papagayo.

Indicador: Papagayo Servicios Generales disminuye el tiempo de interrupción en el servicio de mantenimiento brindado a la planta de filtrado de agua, pasando de un periodo de entre 5 y 6 meses, a un mes (tiempo de adquisición de componentes y ensamblaje del dispositivo), así mismo, la empresa logra reducir la cantidad de cortes al suministro de agua en al menos 3 por semana; todo esto cuando se presenta algún desperfecto en el sistema electrónico destinado a automatizar el proceso de retrolavado de filtros. Por otra parte, el costo de la inversión para reemplazar todas las unidades que se pueden ver afectadas se reduce en aproximadamente 99.5% con relación al gasto que debe realizar la empresa actualmente (57750 USD) y el costo de reemplazar solamente el controlador se reduce en al menos un 60%, también con relación al actual (750 USD).

2.2 Objetivo general

Desarrollar un prototipo funcional de Controlador de Retrolavados automático para los filtros de las estaciones de filtrado de agua del proyecto Península Papagayo.

Indicador: El dispositivo desarrollado cumple con cada una de las especificaciones descritas en la tabla 1.1.

2.3 Objetivos específicos

1. Diseñar un dispositivo electrónico que realice retrolavados de forma autónoma y manual.

Indicador: El operador puede programar enjuagues que duren desde 10 segundos hasta 60 segundos y ciclos desde uno cada 10 minutos hasta uno cada 24 horas, también puede realizar lavados de manera manual. El dispositivo realiza ciclos de retrolavados de forma automática cuando la presión de las tuberías alcanza el valor de ΔP establecido por el operador.

2. Desarrollar un algoritmo computacional para que el dispositivo efectúe aperturas y cierres de válvulas hidráulicas de forma automática, de acuerdo con una lógica establecida.

Indicador: El algoritmo desarrollado logra controlar las válvulas hidráulicas de los filtros de la planta de filtrado de agua, según la lógica establecida en la Fig. 4.14, mediante el accionamiento de los solenoides conectadas en cada válvula.

3. Crear una interfaz de software para que el operador se comunique con el dispositivo.

Indicador: Mediante el uso de la interfaz diseñada el operador selecciona el modo de operación del dispositivo, ingresa el valor de ΔP al cual se implementarán los enjuagues, así mismo ingresa la frecuencia con la que se realizarán los ciclos de enjuague (disparos por timer) y la duración de estos, también, selecciona la cantidad de válvulas y el tipo de estas que el dispositivo vaya a operar, el intervalo entre el lavado de cada filtro, así mismo, mediante esta el operador logra calibrar las mediciones del sensor ΔP , y cargar cada uno de estos datos en el dispositivo; todo lo anterior cada vez que dispositivo lo requiera. Por otro lado, usuario puede observar en la pantalla si existe alguna alerta activada o no.

4. Elaborar una carcasa que proteja al dispositivo en un medio hostil para componentes electrónicos.

Indicador: El dispositivo presenta una carcasa que le brinda protección contra todo tipo de contacto (de: animales silvestres presentes en la zona, insectos o alguna clase de anfibio) y evita la penetración de polvo y de agua.

Capítulo 3

Marco teórico

3.1 Sistemas de filtración industrial y proceso de retrolavado de filtros

Los sistemas de filtración industriales son utilizados en el mercado para eliminar partículas de entre 400 y 20 μ m en diferentes tipos de fluidos (agua, aceite, miel, leche, entre otros) [3], el grado de filtración depende de la tecnología interna de los filtros, los cuales pueden ser de: arena (este tipo de filtro realiza filtración en profundidad. El elemento filtrante puede ser arena, u otro material similar. El material contaminante queda retenido en los espacios que quedan entre las caras irregulares de las partículas de arena), malla (este es un tipo de filtro que ofrece filtración en superficie, es decir, las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, que es en sí, el elemento que realiza propiamente la filtración) o de anillas (estos se caracterizan por filtrar en profundidad, su elemento filtrante está compuesto de una pila de anillas ranuradas o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes) [24]. Estos sistemas se implementan en un rango sumamente amplio de aplicaciones alrededor del mundo, tales como: sistemas de protección de riego por goteo, sistemas de enfriamiento de agua, purificación de agua para ciudades, tratamiento de aguas residuales y en sistemas de filtración de pre-membrana para desalinización de agua de mar, entre otros [2].

Los sistemas de filtrado basados en la tecnología de anillas (presentes en la empresa Papagayo Servicios Generales) están conformados por: dos tuberías principales (manifold de entrada y de salida), módulos de filtración (conectados a los manifolds de entrada y salida), válvulas de tres vías (las cuales direccionan el flujo de agua hacía los filtros o la tubería de drenaje), manifold de drenaje y un controlador de retrolavados. En la Fig. 3.1 se observa una batería de filtración Galaxy, en la cual se señalan cada una de las partes descritas, así como la dirección del agua filtrada, sin filtrar y la residual generada al aplicar un proceso de retrolavado a los módulos de filtración.

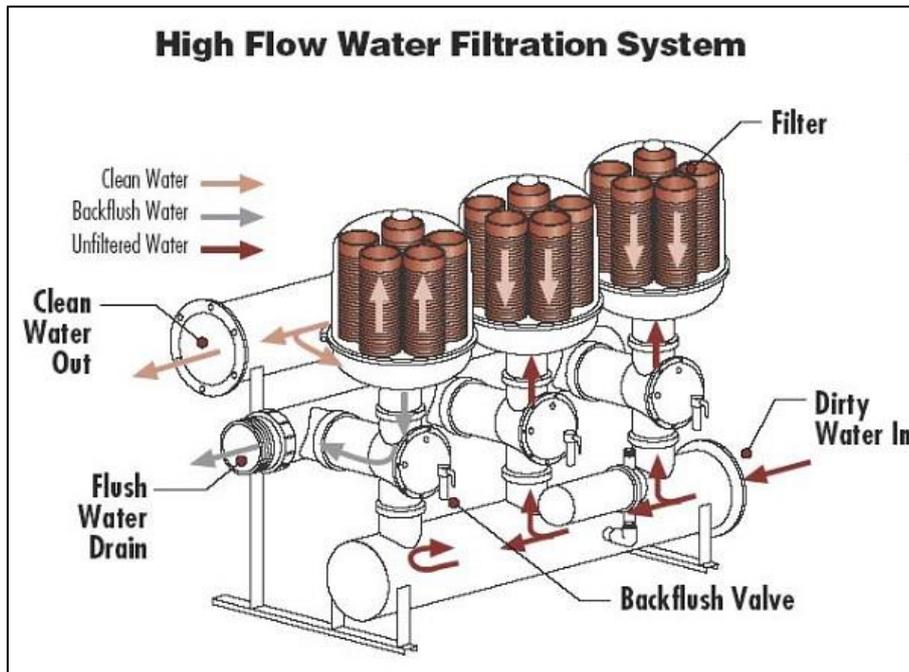


Figura 3.1. Estación de filtración de agua (batería de filtrado), sistema con tecnología de anillas, modelo Galaxy de la marca Arkal [11].

La tecnología de anillas integrada en cada uno de los módulos de filtración (filtro); consiste en una serie de anillas apiladas en una columna, las cuales durante el proceso de filtrado por la fuerza del giro del agua y la presión a la que se encuentra el módulo de filtrado, tienden comprimirse (juntarse) mientras el agua fluye por ellas, atrapando las impurezas en la matriz filtrante. Una vez el agua ha pasado por un módulo de filtración esta es dirigida hacia la tubería de salida, o hacia el siguiente filtro; debido a que este es un sistema modular, entre más filtros más libre de impurezas se obtiene la misma [3]. Las partículas que se acumulan en las anillas de los módulos de filtración tienden a aumentar la diferencia de presión a la que opera el sistema (ΔP) de filtrado (medida tomada entre la tubería de entrada y la de salida); por lo tanto, el valor de ΔP obtenido se interpreta en este tipo de sistemas como el grado de obstrucción o suciedad que poseen los filtros, y se utiliza para indicar cuando estos deben ser retrolavados.

En las Fig. 3.2 y 3.3, se muestra la tecnología interna de un filtro de anillas, y el color de estas según su grado de filtración, respectivamente.



Figura 3.2. Tecnología interna de un filtro de anillas modelo Galaxy [8].



Figura 3.3. Color de las anillas internas según su grado de filtración [8].

El proceso de retrolavado mencionado anteriormente, permite limpiar el material filtrante (anillas internas), liberándolo de acumulaciones de suciedad (sólidos retenidos, biomasa excesiva, sedimentaciones, entre otros) que se han generado durante la fase de filtración [1]. Estos son accionados desde un controlador, el cual envía una orden (señal eléctrica) basada ya sea en el valor de presión diferencial que posee el sistema, tiempo transcurrido, o una combinación de ambos, a una válvula solenoide; que consecuentemente cambia la dirección de la válvula de tres vías, redireccionando el agua hacia el manifold de drenaje, en ese instante el filtro conectado a la válvula accionada comienza un proceso de retrolavado (el agua ingresa por el drenaje del filtro,

comprimiendo las anillas en la dirección opuesta, eliminando el material atrapado en estas), una vez concluido el proceso de lavado en el filtro la válvula de tres vías vuelve a su estado original, las anillas del filtro vuelven a la posición de filtrado y se procede a ejecutar el proceso a los siguientes filtros (durante el proceso de lavado solamente se debe retrolavar un filtro a la vez), cuando existe una válvula maestra (válvula de entrada), esta se cierra y se abre el drenaje durante el proceso de retrolavado, de lo contrario solo se accionan las válvulas conectadas a cada filtro [4]. En la Fig. 3.4, se muestra la dirección de los flujos de agua durante el proceso de retrolavado (válvula de 3 vías redirecciona el flujo de agua hacia el manifold de drenaje).

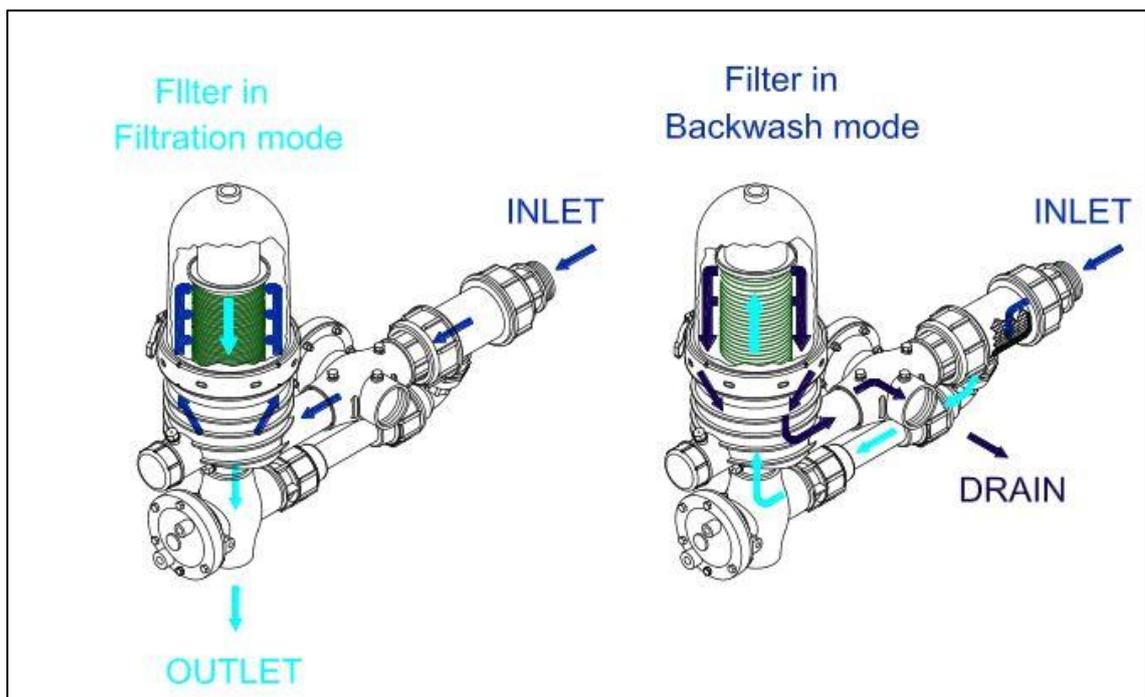


Figura 3.4. Dirección del flujo de agua durante los procesos de filtrado y retrolavado en los módulos filtrantes [4].

3.2 Protocolo de comunicación ModBus

ModBus es un protocolo industrial que fue desarrollado en 1979 para hacer posible la comunicación entre dispositivos de automatización. Originalmente implementado como un protocolo al nivel de la aplicación con la finalidad de transferir datos por una capa serial, este se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo serial, TCP/IP y el User Datagram Protocol (UDP). Este se basa en el tipo de comunicación solicitud-respuesta implementado usando la técnica maestro-esclavo, en la cual la

transferencia de datos siempre se produce en pares, y solo un dispositivo (el maestro) puede iniciar la transmisión (llamada “query”). Los demás dispositivos de la red (esclavos) responden a los datos requeridos por el maestro, o devolviendo los datos solicitados en el mensaje de “query” enviado. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA y el esclavo es un sensor, controlador lógico programable (PLC) o controlador de automatización programable (PAC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las diferentes capas del protocolo [12] [15].

Los puertos utilizados para el protocolo ModBus son los compatibles con el estándar serial de conectores DB9 (RS-232, RS-485), el cual define los pines de entrada salida de datos, cableados, el nivel de tensión de las señales, la velocidad de transmisión de datos (en baudios) y chequeo de errores por medio del bit de paridad [16].

Un dispositivo maestro puede direccionar ya sea a esclavos individuales o iniciar una transmisión hacia todos los esclavos de la red. Para el primero de los casos estos devuelven un mensaje (llamado “response”) con los requerimientos que se les han direccionado de forma individual, en el caso de las transmisiones generales los esclavos no proveen respuestas al dispositivo maestro (debido a que no se les ha direccionado individualmente) [16].

El protocolo de comunicación ModBus establece el formato del mensaje de “query” enviado por el dispositivo maestro, el cual posee los siguientes elementos (en el orden respectivo): la dirección del esclavo al cual se le desea enviar el mensaje (o si es una transmisión general), el código de la función (Discrete input, Coil, Input register, Holding register), un espacio para datos y otro para el código de verificación de error. El formato del mensaje de “response” enviado por los dispositivos esclavos (también establecido por el protocolo de comunicación), contiene los espacios de: confirmación de la función requerida por el dispositivo maestro, los datos requeridos y un espacio para el código de verificación de error. Ambas estructuras conforman un ciclo de comunicación de query-response, entre maestro-esclavo, como se observa en la Fig. 3.5 [16], así mismo, en la Fig. 3.6, se aprecia la estructura general de las tramas de datos del protocolo ModBus.

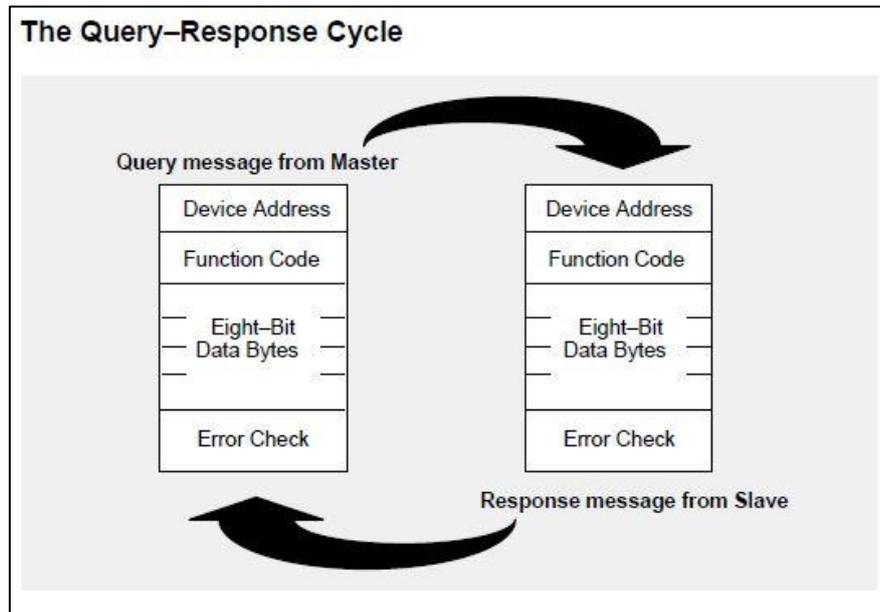


Figura 3.5. Ciclo de comunicación master-slave query-response, y espacios asignados en los formatos de los mensajes del protocolo de comunicación ModBus [16].

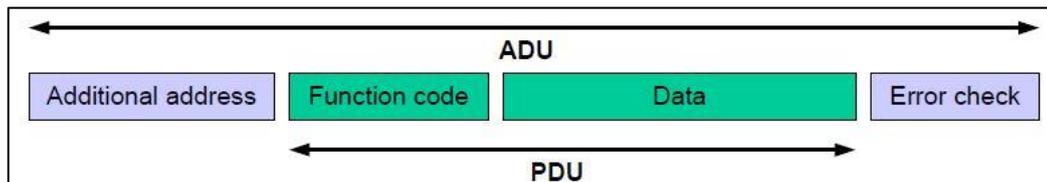


Figura 3.6. Trama de datos general (query/response) del protocolo de comunicación ModBus y señalización de las secciones de ADU (application data unit) y PDU (protocol data unit) en esta [17].

Cuando ocurre un error en la comunicación (ya sea en la recepción del mensaje o si el esclavo no se encuentra habilitado para desarrollar la función requerida), el esclavo construirá un mensaje de error y lo enviará como respuesta (según los códigos descritos en la tabla 3.1).

Tabla 3.1. Códigos de error enviados por el dispositivo esclavo en el protocolo de comunicación ModBus [7].

Código	Significado
0x01	Función Ilegal

0x02	Dirección de datos no válido
0x03	Datos con valor no válido
0x04	Fallo en el dispositivo esclavo
0x05	Ack
0x06	Dispositivo esclavo ocupado
0x07	Nack
0x08	Error de paridad en memoria
0x0A	Puerta de enlace Ruta No disponible
0x0B	Dispositivo de puerta de enlace de destino no respondió

La función asignada a un dispositivo esclavo depende del código que se le es enviado, como se ejemplifica en la tabla 3.2 (en la cual observan las funciones y sus códigos respectivos):

Tabla 3.2. Descripción de las funciones utilizadas por el protocolo de comunicación ModBus [16].

Código (Hex)	Función
0x01	Read Discrete Inputs
0x02	Read Discrete Inputs
0x03	Read Holding Registers
0x04	Write Single Coil
0x05	Write Single Coil
0x06	Write Single Register

Los controladores pueden ser inicializados para comunicarse en las redes ModBus ya sea por alguno de los dos estándares de comunicación del protocolo (ASCII o RTU).

Estos definen el contenido de cada uno de los bits transmitidos en los mensajes, además, fijan la forma en la cual se empaquetan y decodifican los datos en cada uno de los campos del mensaje [16].

3.2.1 Estándar de comunicación ASCII en ModBus

En este modo cada 8-bits (1 byte) son enviados como dos caracteres ASCII, donde el formato de cada uno de estos es el siguiente [16]:

- Codificación del sistema: caracteres ASCII en formato hexadecimal (0–9, A–F).
- Bits por Byte: 1 bit de inicio, 7 bits de datos (el bit menos significativo se envía de primero), 1 bit de paridad (par/impar), el cual puede o no ser usado; si es utilizado existe 1 bit de parada, si no es utilizado entonces existen 2 bits vacíos.
- Campo de detección de error: Longitudinal Redundancy Check (LRC)

La trama de datos para ModBus ASCII se observa en la Fig. 3.7, la cual debe ser respetada para lograr establecer la transferencia de información entre el dispositivo maestro y el/los esclavo(s). En el modo ASCII los mensajes inician con “:” (dos puntos, correspondiente al carácter ASCII 3A en hexadecimal), y terminan con “carriage return-line feed” (CRLF), correspondientes a los caracteres ASCII 0D y 0A en hexadecimal [17].

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

Figura 3.7. Trama de datos para la transmisión de información entre el dispositivo maestro y el/los esclavo(s) de la red, utilizando el estándar de comunicación ASCII en ModBus [17].

3.2.2 Estándar de comunicación RTU en ModBus

En este modo por cada 8-bits (1 byte) son contenidos dos caracteres hexadecimales (4-bits por carácter). La gran densidad de caracteres que se pueden contener en el estándar RTU permite una mayor transferencia de datos en comparación con el modo ASCII (a una misma velocidad de transferencia en baudios). El formato de cada byte en el modo RTU, es el siguiente [16]:

- Codificación del sistema: 8–bits en formato binario, hexadecimal (0–9, A–F), por cada 8-bits son contenidos dos caracteres hexadecimales.
- Bits por Byte: 1 bit de inicio, 8 bits de datos (el bit menos significativo se envía de primero), 1 bit de paridad (par/impar), el cual puede o no ser usado; si es utilizado existe 1 bit de parada, si no es utilizado entonces existen 2 bits vacíos.
- Campo de detección de error: Cyclical Redundancy Check (CRC)

El protocolo ModBus RTU debe iniciar con un intervalo de silencio de al menos 3.5t (3.5 character times) antes de enviar la trama de datos. Este valor es más sencillo de implementar si se utiliza como un múltiplo de caracteres con relación a la velocidad de transferencia en baudios de la red (mostrado como T1–T2–T3–T4 en la Fig. 3.8) [16]. La trama de datos para ModBus RTU se observa en la Fig. 3.8, en la cual se muestran los intervalos de silencio (inicio y fin) que deben existir entre tramas de datos; el cual es necesario para evitar traslapes entre tramas, como se aprecia en la Fig. 3.9.

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK	END
T1–T2–T3–T4	8 BITS	8 BITS	n x 8 BITS	16 BITS	T1–T2–T3–T4

Figura 3.8. Trama de datos para la transmisión de información entre el dispositivo maestro y el/los esclavo(s) de la red (con intervalos de silencio de inicio y fin), utilizando el estándar de comunicación RTU en ModBus [16].

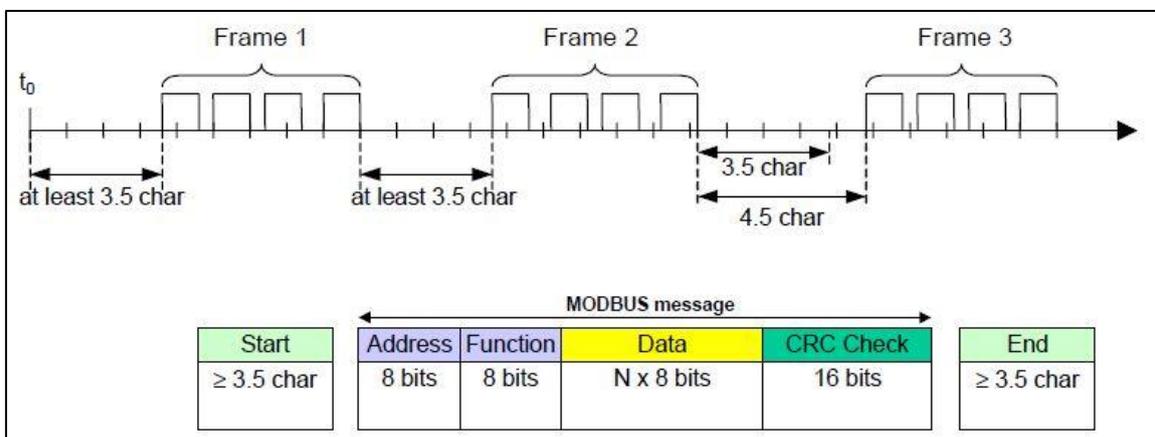


Figura 3.9. Intervalos de silencio necesarios entre tramas de datos [17].

La Fig. 3.10, muestra la forma de las tramas de datos de “request (query)” y “response” (en modo RTU), utilizadas para acceder a los Holding Registers del protocolo.

Request		
Function code	1 Byte	0x03
Starting Address	2 Bytes	0x0000 to 0xFFFF
Quantity of Registers	2 Bytes	1 to 125 (0x7D)

Response		
Function code	1 Byte	0x03
Byte count	1 Byte	2 x N*
Register value	N* x 2 Bytes	

*N = Quantity of Registers

Error		
Error code	1 Byte	0x83
Exception code	1 Byte	01 or 02 or 03 or 04

Here is an example of a request to read registers 108 – 110:

Request		Response	
Field Name	(Hex)	Field Name	(Hex)
Function	03	Function	03
Starting Address Hi	00	Byte Count	06
Starting Address Lo	6B	Register value Hi (108)	02
No. of Registers Hi	00	Register value Lo (108)	2B
No. of Registers Lo	03	Register value Hi (109)	00
		Register value Lo (109)	00
		Register value Hi (110)	00
		Register value Lo (110)	64

Figura 3.10. Forma de las tramas de datos (query-response) del protocolo de comunicación ModBus RTU y ejemplo de comunicación con un dispositivo maestro a los Holding Registers (función 03) [15].

3.3 Sistema SCADA y controladores industriales (PLCs)

3.3.1 Sistema SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es el conjunto de software y hardware empleados para comunicar, controlar y supervisar diversos dispositivos de campo de forma remota. Estos son utilizados para controlar: procesos infraestructurales (tratamiento de aguas, tuberías de gas, granjas eólicas, entre otras aplicaciones), procesos de instalaciones (aeropuertos, estaciones espaciales, envíos de mercadería, etc.), o procesos industriales (producción, manufactura, refinería, generación de energía, entre otros) [23] [25].

Las acciones de control monitoreadas por los sistemas SCADA son las realizadas tanto por RTUs (remote terminal units) y PLCs (programmable logic controllers). Donde el sistema de monitoreo restringe sus funciones a intervención a nivel de supervisión o anulación básica. Mientras que la adquisición de datos inicia desde ya sea el PLC o el RTU, los cuales incluyen el reporte del estatus de los equipos y la lectura de mediciones, posteriormente se les da un formato a los datos recolectados para que el operador del equipo pueda tomar decisiones (anulación de tareas o realizar ajustes a los controles) en los controles, por medio del uso de la HMI [23]. Por ejemplo, en una industria un PLC es el encargado de controlar el flujo de agua de enfriamiento de agua en un proceso industrial, y por su parte el sistema SCADA permite seguir cualquier cambio relacionado con la condición de las alarmas, puntos de activación, entre otras variables importantes.

3.3.2 Controladores lógicos programables (PLCs)

Un PLC es un computador robusto utilizado para realizar automatización a nivel industrial, estos pueden automatizar distintos procesos, el funcionamiento de cierta maquinaria, o inclusive la operación de una línea completa de producción [20]. Los PLCs trabajan recibiendo información ya sea de sensores, o de algún dispositivo conectado a una de sus entradas (procesan y reciben señales digitales y analógicas); posteriormente estos datos son procesados y utilizados para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real (activaciones o desactivaciones de equipos electromecánicos).

3.4 Tensiones transitorias y picos de corriente

3.4.1 Tensiones transitorias

Las tensiones transitorias son fenómenos de gran contenido energético que pueden ocasionar daños o mal funcionamiento de equipos en general, pero especialmente de equipo electrónico. Estas corresponden a variaciones o cambios de corta duración de un nivel de tensión o de señal deseado; son básicamente fenómenos de corta duración (de una frecuencia superior a los 60Hz) pero de una magnitud superior a la tensión nominal pico de la red eléctrica que alimenta al cliente. Este cambio o variación puede ocasionar un problema de funcionamiento en los equipos conectados a la red e inclusive, el daño

total de estos (entre mayor sea la magnitud del transitorio, mayor es la posibilidad de ocasionar algún daño severo en los equipos eléctricos y electrónicos) [30]. En la Fig. 3.11, se observa el efecto de los transitorios en la simetría de la onda de tensión suministrada por la red eléctrica.

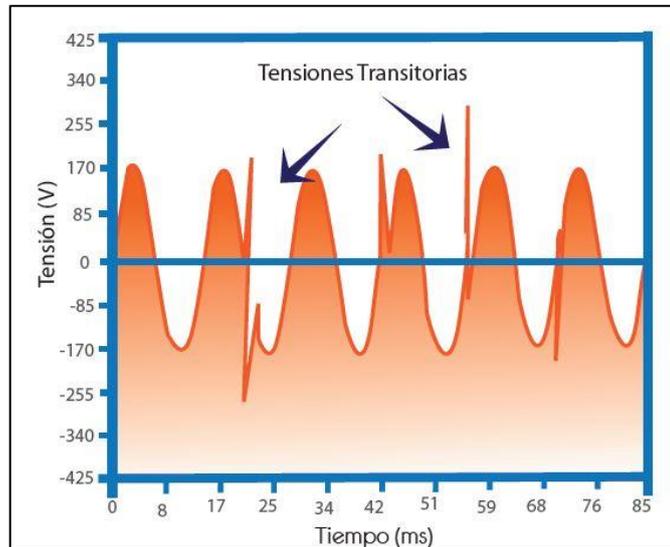


Figura 3.11. Efecto de transitorios en la simetría de la onda de tensión de la red [].

De lo anterior es lógico pensar que las fuentes generadoras de transitorios no son sólo externas a la instalación eléctrica del cliente sino también internas, como por ejemplo motores eléctricos o impresoras láser, por lo que las fuentes más comunes se pueden clasificar en dos grandes grupos: operaciones de conmutación y descargas atmosféricas.

3.4.2 Picos de corriente

También conocidos como sobrecorrientes, son una clase de fenómeno eléctrico de carácter impulsivo, el cual puede ser generado por cortocircuitos, arranques de equipos electromecánicos tales como: bombas, motores, turbinas, entre otros. Al instante que alguno de estos dispositivos es activado la tensión de la red eléctrica baja y se produce un pico de corriente; provocando un efecto destructivo en los equipos conectados a la red (si no están protegidos). Los tipos de protección más comunes son la colocación de fusibles y de disyuntores magnéticos [5].

Capítulo 4

Controlador de retrolavados automático

En este capítulo se describe el proceso de diseño necesario para desarrollar el dispositivo, para ello se utiliza la metodología de diseño modular; con la finalidad de proveerle al lector una estructura guiada de los procedimientos necesarios para el desarrollo del proyecto. Así mismo, se subdivide este capítulo en las 3 principales áreas de diseño abarcadas durante la elaboración del controlador de retrolavados, las cuales comprenden el diseño del hardware, software y el de la carcasa protectora del dispositivo.

Siguiendo las especificaciones dadas en la tabla 1.1 se realiza un esquema general del dispositivo (observado en la Fig.4.1), en el cual se pueden apreciar sus principales señales de entrada y salida, las cuales son: la entrada que se conecta con la estación de filtración de agua (para extraer el valor de la presión a la cual fluye el agua en las tuberías de aguas arriba y aguas debajo de la estación) y la salida que controla el accionamiento de las válvulas conectadas a los filtros de dicho sistema (respectivamente). También, se observa la señal de comunicación con el dispositivo maestro (del tipo Half Duplex); por la cual el controlador diseñado le provee información al mismo. Por último, se aprecia la señal de comunicación entre el controlador y la interfaz HMI (Human Machine Interface); donde dicha interfaz tiene la finalidad de lograr comunicar al controlador con su operador (por medio de una pantalla).



Figura 4.1. Diagrama de bloques general del controlador de retrolavados.

4.1 Hardware del controlador de retrolavados

Esta sección se profundiza en el aspecto eléctrico del dispositivo, el cual se subdivide en el diseño de dos etapas: una de potencia y otra de acondicionamiento para el microcontrolador y el sensor de presión diferencial. El resultado de estos procesos de diseño es la construcción de dos placas electrónicas; en las cuales se albergan los esquemáticos diseñados.

En la Fig. 4.2 se muestra un diagrama de bloques más específico, en el cual se señalan las interconexiones entre las etapas internas del diagrama general del controlador de retrolavados (mostrado en la Fig. 4.1), así como del tipo de señales que provee/recibe cada una.

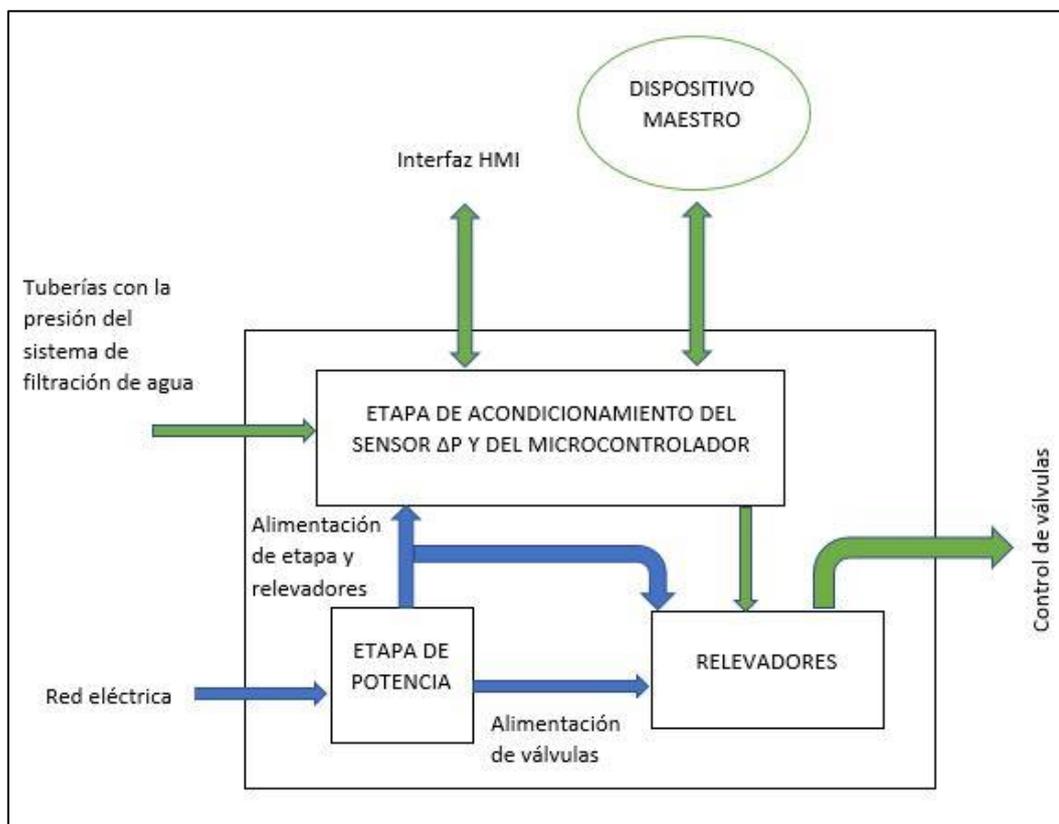


Figura 4.2. Diagrama de bloques del controlador de retrolavados, con interconexión de las etapas internas (en azul señales de potencia y en verde las señales de datos).

4.1.1 Diseño de la etapa de potencia

Los objetivos de esta etapa son dos, el primero generar tres valores distintos de tensión y corriente a partir de los 120 VAC proveídos por la red eléctrica, y segundo proteger al

controlador y a las electroválvulas de dos fenómenos eléctricos presentes en la zona, como lo son los: picos de corriente y transientes de tensión.

El primer valor de tensión y corriente que debe proveer esta etapa es el necesario para alimentar tanto al módulo de relevadores, como a la etapa de acondicionamiento del sensor y del microcontrolador (cabe resaltar que el consumo de los relevadores depende de si el controlador está en modo “active” o “sleep”, los cuales se explican en la sección 4.2.1), por lo tanto con base al cálculo del consumo total de potencia del controlador (apartado 4.1.3), se obtiene que cuando este está en modo active el mismo es de $P \approx 1.2W$ (5VDC @ 240mA) en el peor de los casos, lo cual corresponde a utilizar solenoides del tipo DC o AC en un sistema que posee válvula maestra; ya que con electroválvulas del tipo LATCH el consumo en este modo es de $P \approx 600mW$ (5VDC @ 120mA). Cuando controlador se encuentra en modo sleep la potencia consumida es de $P \approx 600mW$ (5VDC @ 120mA); por lo cual la salida de esta etapa es diseñada para que provea hasta 5VDC @ 1A, mediante la utilización de un LM7805 [21] en la configuración mostrada en la Fig. 4.3.

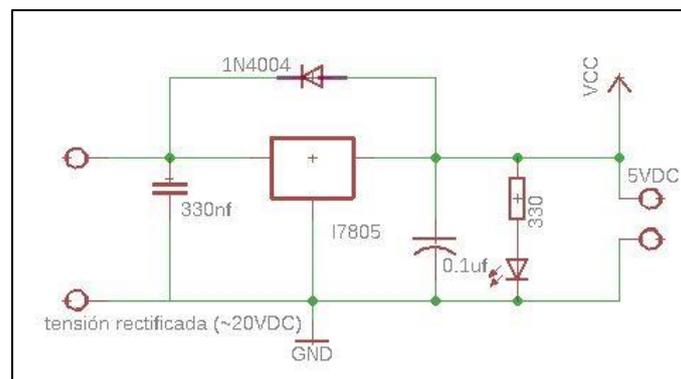


Figura 4.3. Circuito esquemático diseñado para alimentar al módulo de relevadores y a la etapa de acondicionamiento del sensor y del microcontrolador.

El segundo valor es el necesario para alimentar electroválvulas ya sea del tipo Latch (DC) o simplemente DC, las cuales según la hoja de datos del fabricante deben alimentarse con 12 VDC @ 375mA [27], por lo cual se procede a realizar un diseño que provea 15 VDC con capacidad de hasta 1.5A; esto en caso de que se deseen accionar hasta 4 válvulas simultáneamente, lo cual representaría una carga en paralelo para la fuente. Así mismo, la salida se diseña con un valor de tensión superior a los 12VDC mínimos requeridos por esta variedad de solenoides; con el objetivo de evitar que la

tensión se reduzca a un valor menor de ese umbral de operación (cuando las mismas sean conectadas). Estos valores se obtienen mediante la utilización de un LM317 [14] en la configuración mostrada en la Fig. 4.4. Adicionalmente se añade un interruptor para desactivar esta salida; con la finalidad de evitar sobrecalentamientos innecesarios en el transformador, cuando no se estén utilizando electroválvulas que sean alimentadas con corriente directa.

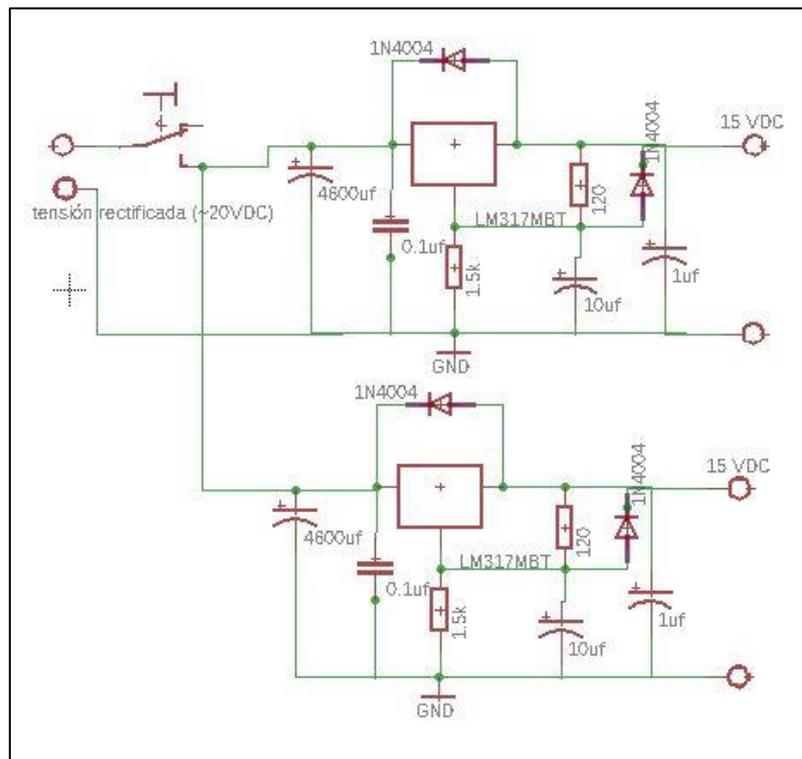


Figura 4.4. Circuito esquemático diseñado para alimentar a las válvulas del tipo LATCH DC o simplemente DC.

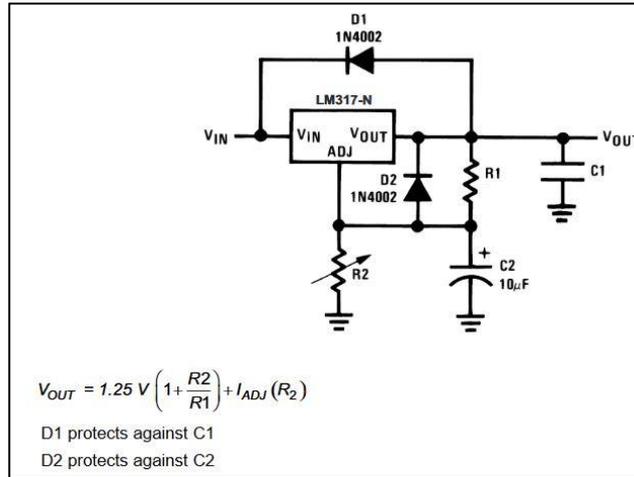


Figura 4.5. Configuración de fuente de tensión constante y ecuación de tensión de salida para un LM317 [14].

Según la hoja de datos del fabricante del LM317 [14], de donde se extrae la Ec. (1) y la Fig. 4.5, se realiza el cálculo necesario para obtener $V_{out}=15V$ (fijando $R_1=120 \Omega$ y despreciando I_{ADJ}); el procedimiento necesario se observa en Ec. (2) y Ec. (3), donde del resultado obtenido en esta última, se selecciona el valor más cercano que se logra conseguir en el mercado, por lo cual $R_2=1500 \Omega$.

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} (R_2) \quad (1)$$

$$15 = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1=120} \right) + (I_{ADJ} = 0) (R_2) \quad (2)$$

$$R_2 \cong 1320 \Omega \quad (3)$$

El último valor que debe proveer esta etapa es el necesario para alimentar electroválvulas del tipo AC, donde según la hoja de datos del fabricante estas se deben alimentar a 24VAC @ 125mA [26]; por lo cual se diseña una salida con el uso de un transformador para proveer hasta 24VAC @ 2A.

La protección del controlador contra los fenómenos eléctricos previamente mencionados se realiza añadiendo un fusible en serie con una de las líneas de entrada de la red eléctrica y con la conexión de un varistor en paralelo a la entrada de la misma; esto para proteger al dispositivo ante variaciones abruptas de corriente y tensión presentes en la zona, respectivamente (las razones por las cuales se presentan estos fenómenos son

descritas en el capítulo 3). El circuito esquemático diseñado para cumplir esta labor se presenta en la Fig. 4.6, además del proceso de rectificación necesario.

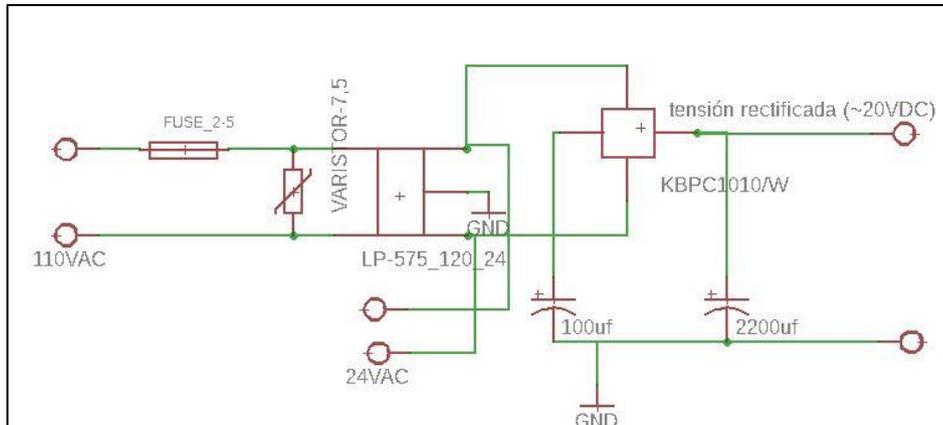


Figura 4.6. Circuito esquemático diseñado para proteger al controlador contra transientes de tensión y picos de corriente, además se muestra el proceso de rectificación.

El diagrama esquemático completo de la etapa de potencia se observa en la Fig. 4.7, en la cual se señalan las entradas y salidas previamente descritas.

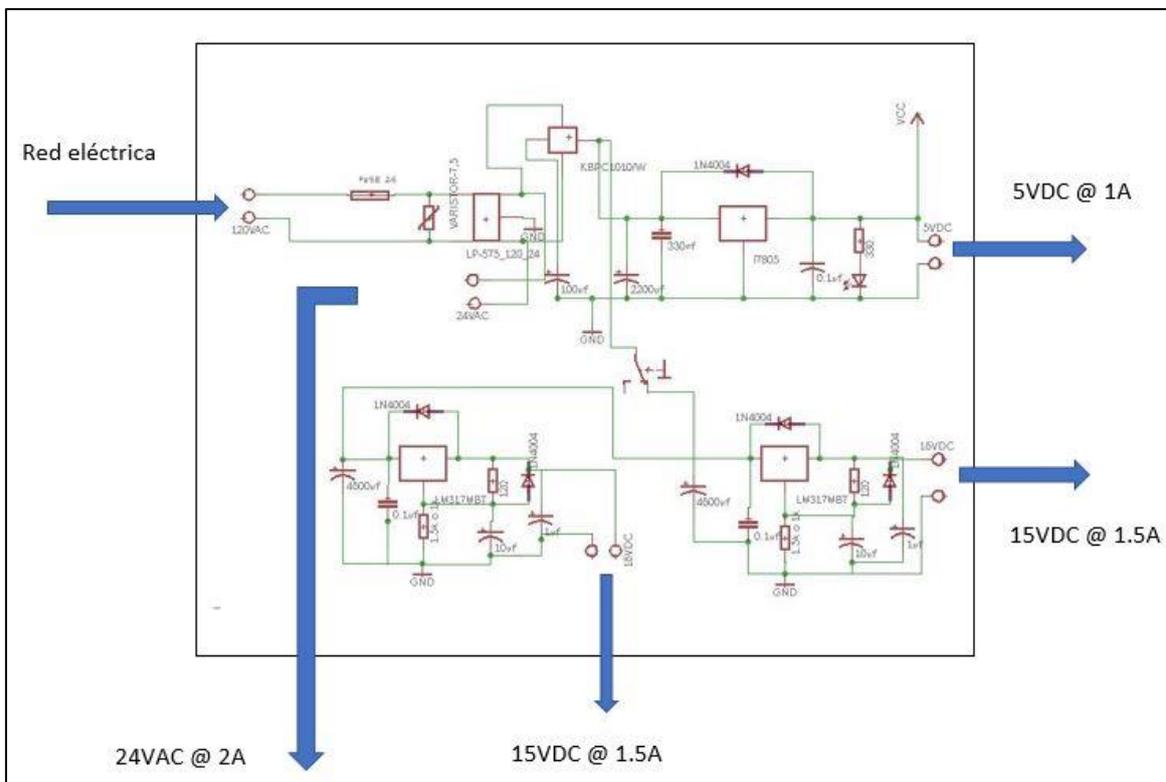


Figura 4.7. Diagrama completo de la etapa de potencia (circuito esquemático diseñado).

El proceso final de la elaboración de esta etapa es el diseño de un circuito impreso, el cual se realiza con ayuda de la herramienta Eagle [9]. Entre los aspectos del diseño de la tarjeta es que esta se realiza utilizando únicamente la capa “Bottom” y con componentes del tipo “through-hole”; debido a que estas son de las restricciones que el proveedor del servicio de manufactura presenta [10]. La tarjeta diseñada se puede apreciar en la Fig. 4.8.

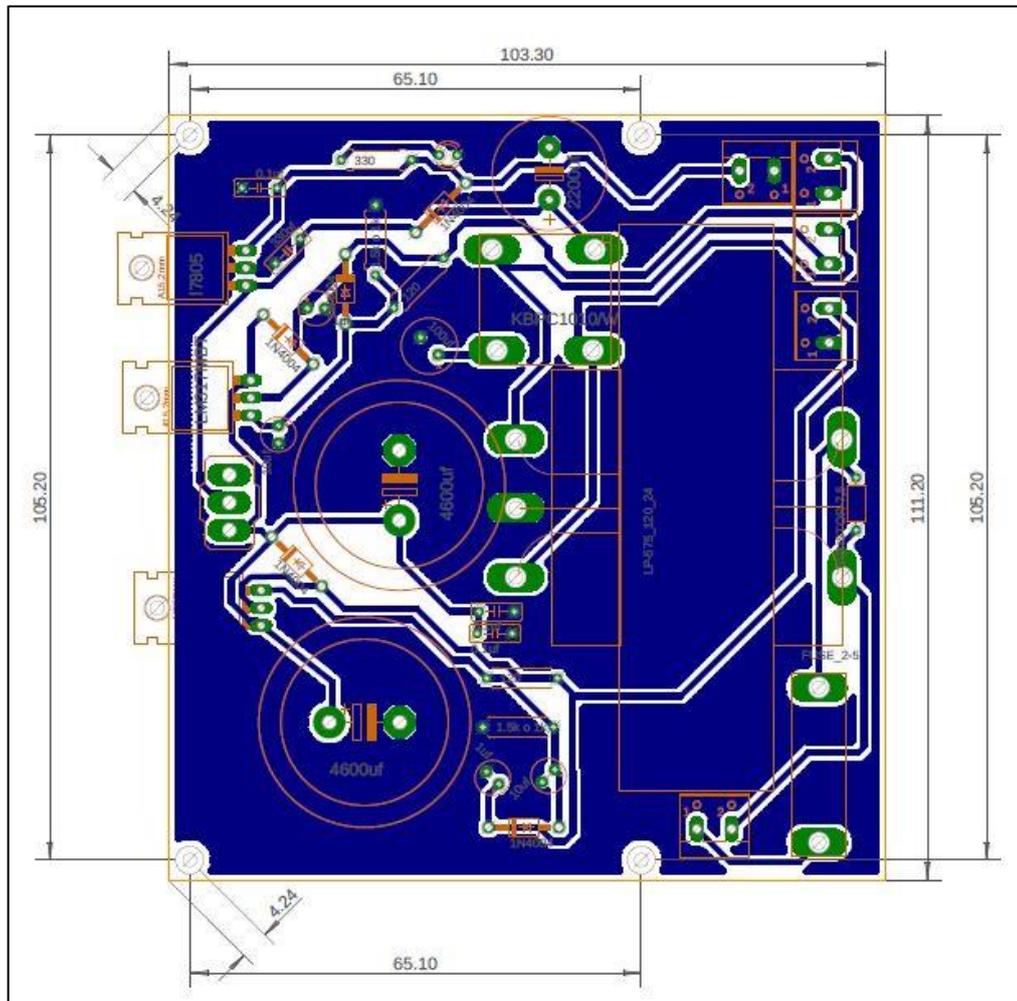


Figura 4.8. Vista “Bottom” de la tarjeta electrónica diseñada con ayuda del software Eagle para la etapa de potencia (medidas en milímetros).

4.1.2 Diseño de la etapa de acondicionamiento para el sensor ΔP y del microcontrolador

El objetivo de esta etapa es acondicionar eléctricamente tanto al sensor de presión diferencial (MPX5500DP), como al microcontrolador (ATmega328P), mediante el uso de hardware; específicamente el mencionado en sus respectivas hojas de datos [13] y [6],

así como otros componentes necesarios para conectar la placa diseñada con los demás elementos del controlador de retrolavados.

Para realizar el acondicionamiento del sensor de presión diferencial, es necesario realizar un desacople a la fuente de alimentación y un filtrado a la salida de este; ambos requerimientos se muestran en la Fig. 4.9, donde los capacitores conectados entre V_s y GND cumplen con la función eliminar el ruido presente en la fuente, el cual puede influir en las mediciones tomadas por el sensor. Así mismo, el capacitor entre Output y GND es el cargado de eliminar las perturbaciones que pueden producir las componentes de alta frecuencia en la señal de salida.

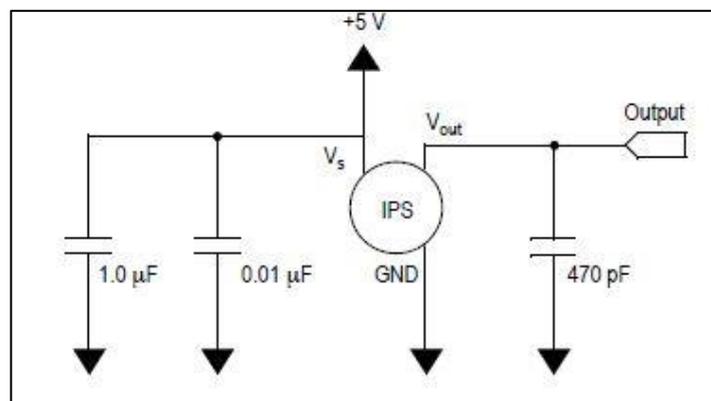


Figura 4.9. Acondicionamiento del sensor de presión diferencial (MPX500DP), desacople a la fuente de alimentación y filtrado a la salida del sensor [13].

La primera etapa de acondicionamiento del microcontrolador consiste en colocar un cristal de 16MHz entre los pines 9 y 10, a los cuales adicionalmente se añaden capacitores en serie de 22pF con el nivel GND de la placa; esto para eliminar distorsiones producidas por las componentes de alta frecuencia a la señal de reloj. Así mismo, el pin 20 (tensión de alimentación del convertidor A/D) se debe conectar a línea de alimentación a través de un filtro paso bajo; lo cual consiste en añadir un capacitor de 100nF entre este pin (conectado a VCC) y GND. Por último, se conecta el pin 21 (valor de referencia del convertidor A/D) con GND mediante un capacitor en serie de 100nF, el cual cumple también una función de filtrado.

En segunda instancia se realiza la conexión de cada uno de los pines del microcontrolador que son utilizados para desarrollar el controlador de retrolavados, por lo cual en la tabla 4.1, se describe la conexión específica que poseen estos y en la Fig.

4.10, se muestra el diagrama de la configuración de pines (pin-out) del ATmega328P, con el fin de referenciar cada uno de estos en la tabla.

Tabla 4.1. Especificación de la conexión de pines del microcontrolador.

Pin del Atmega328P	Conexión
1	Reset
2	RX_HMI
3	TX_HMI
4	Control_reset
5	Válvula 1 (solenoid)
6	Válvula 2 (solenoid)
11	Válvula 3 (solenoid)
12	Válvula 4 (solenoid)
13	Válvula 5 (solenoid)
14	Válvula 6 (solenoid)
15	Válvula 7 (solenoid)
16	RX_ModBus
17	TX_ModBus
18	Control_ModBus
19	Válvula8
28	Conexión con el sensor ΔP

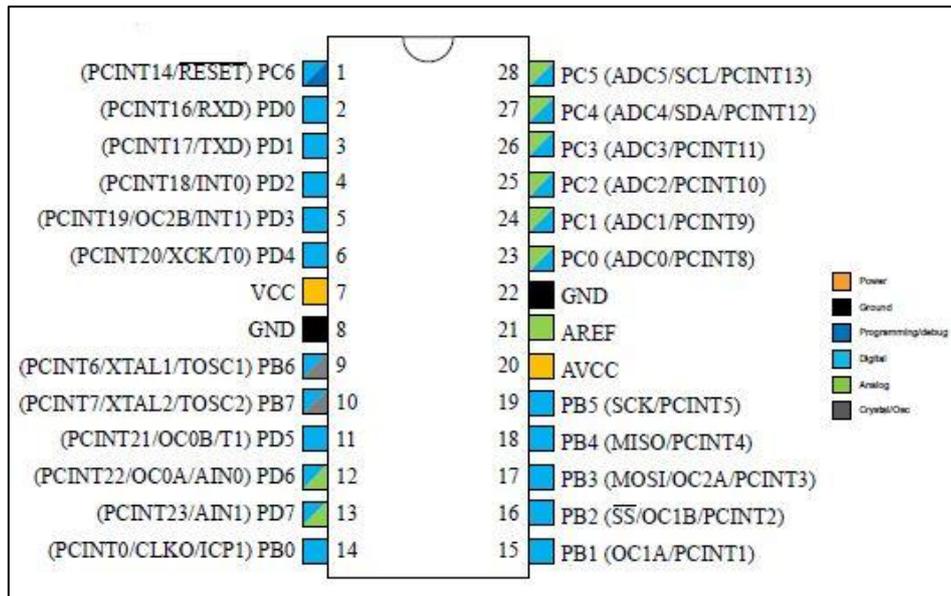


Figura 4.10. Configuración de pines del microcontrolador (ATmega328P) [13].

Otra de las especificaciones para el acondicionamiento del microcontrolador es diseñar un interruptor por transistor para poder reiniciar al controlador de retrolavados mediante su software de ejecución. Por lo cual como se observa en la Fig. 4.11, el pin digital 4 se utiliza para polarizar (en bajo o alto) al transistor BJT (NPN) y el pin de reset se conecta al colector de este; con la finalidad de tomar ya sea el valor de GND o VCC ('1' o '0'), cuando el canal del transistor esté formado o no, respectivamente. El canal en un transistor NPN se forma cuando la tensión de $V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}$, lo cual provoca que V_E y V_C se encuentren a un mismo potencial ($V_{CE} = 0 \text{ V} = \text{GND}$) [31], siendo en este caso en particular el valor de tensión que ve el pin de reset (ya que $V_{CE} = V_{\text{reset}} = \text{GND}$). Cuando el canal no se encuentra formado el pin de reset va a estar conectado únicamente al colector ($V_C = V_{\text{reset}}$) del transistor, el cual tiene el valor de $V_C \approx V_{CC}$ en ese momento; esto debido a que el flujo de corriente a través de la resistencia de $10 \text{ K}\Omega$ es despreciable, por lo tanto, $V_{\text{reset}} = V_{CC}$.

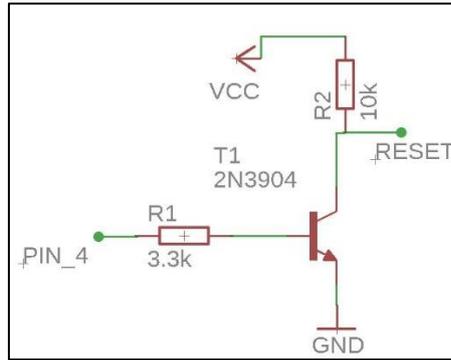


Figura 4.11. Configuración de interruptor por transistor para reiniciar por software al controlador de retrolavados.

La resistencia R2 de 10K Ω es utilizada como un pull-up; ya que en el momento que ocurre alguna transición de estado lógico ('1' \rightarrow '0' o '0' \rightarrow '1') en el pin de reset, se pueden generar corto circuitos entre los rieles de VCC y GND. En el caso de la resistencia R1=3.3K Ω , esta tiene la función de regular la corriente de la base (I_B) y por ende la de colector (I_C). Este valor resistivo se obtiene de asignar un valor mínimo de corriente de colector ($I_C=100mA$), para que fluya por la resistencia de 10K Ω , donde según la hoja de datos del fabricante para este valor de corriente asignado la relación $\frac{I_C}{I_B}$, es de $\beta=75$ [31]. Los cálculos respectivos se observan en las Ec. (4), (5) y (6), donde al final se redondea al valor resistivo más cercano que se puede conseguir en el mercado.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.1}{75} = 1.333mA \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{5-0.7}{1.333 \times 10^{-3}} = 3225\Omega \quad (5)$$

$$R_1 \cong 3.3K\Omega \quad (6)$$

En la Fig. 4.12 se observa el circuito esquemático diseñado para la etapa de acondicionamiento del sensor ΔP y del microcontrolador, así como las entradas y salida de esta.

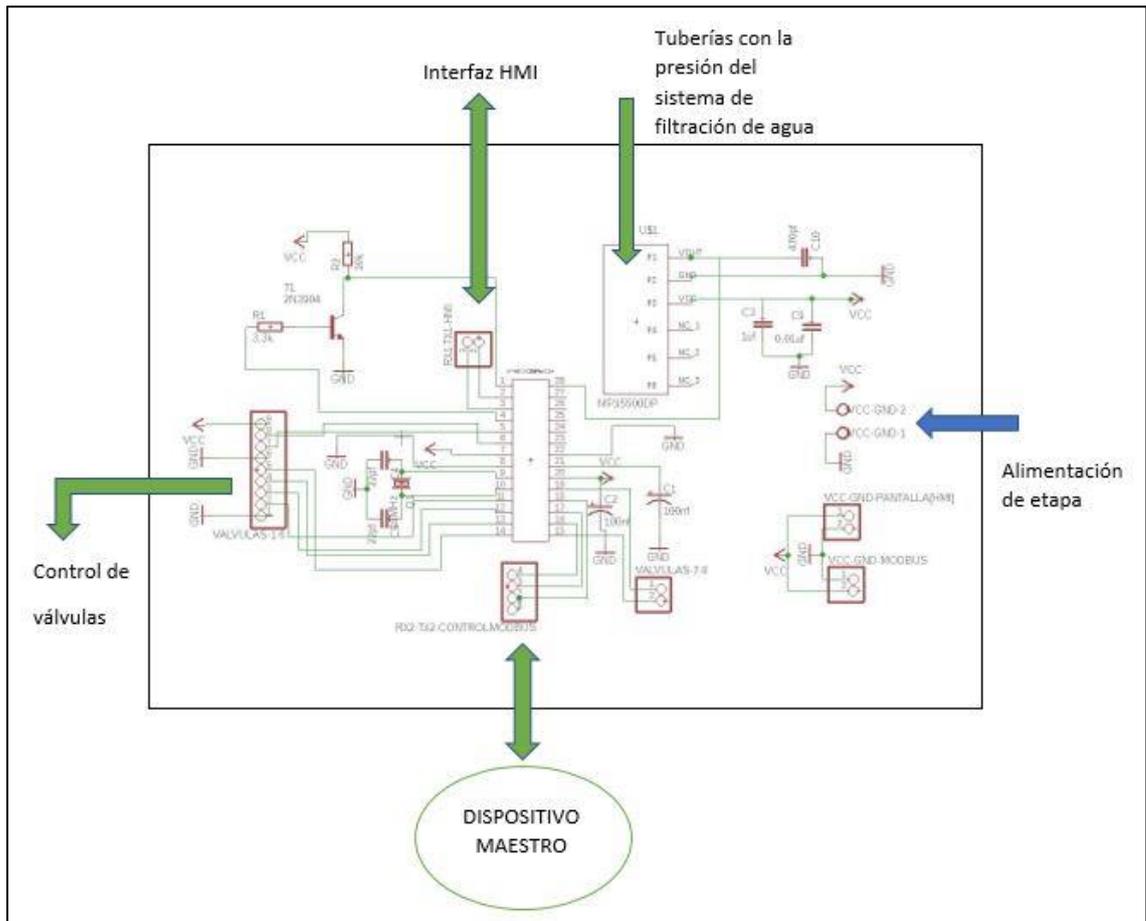


Figura 4.12. Diagrama completo de la etapa de acondicionamiento del sensor ΔP y del microprocesador (circuito esquemático diseñado).

Para lograr la implementación de esta etapa se diseña la tarjeta electrónica mostrada en la Fig. 4.13; en la cual se alberga el circuito esquemático diseñado en esta sección (la cual posee las mismas restricciones físicas que la tarjeta diseñada para la etapa de potencia).

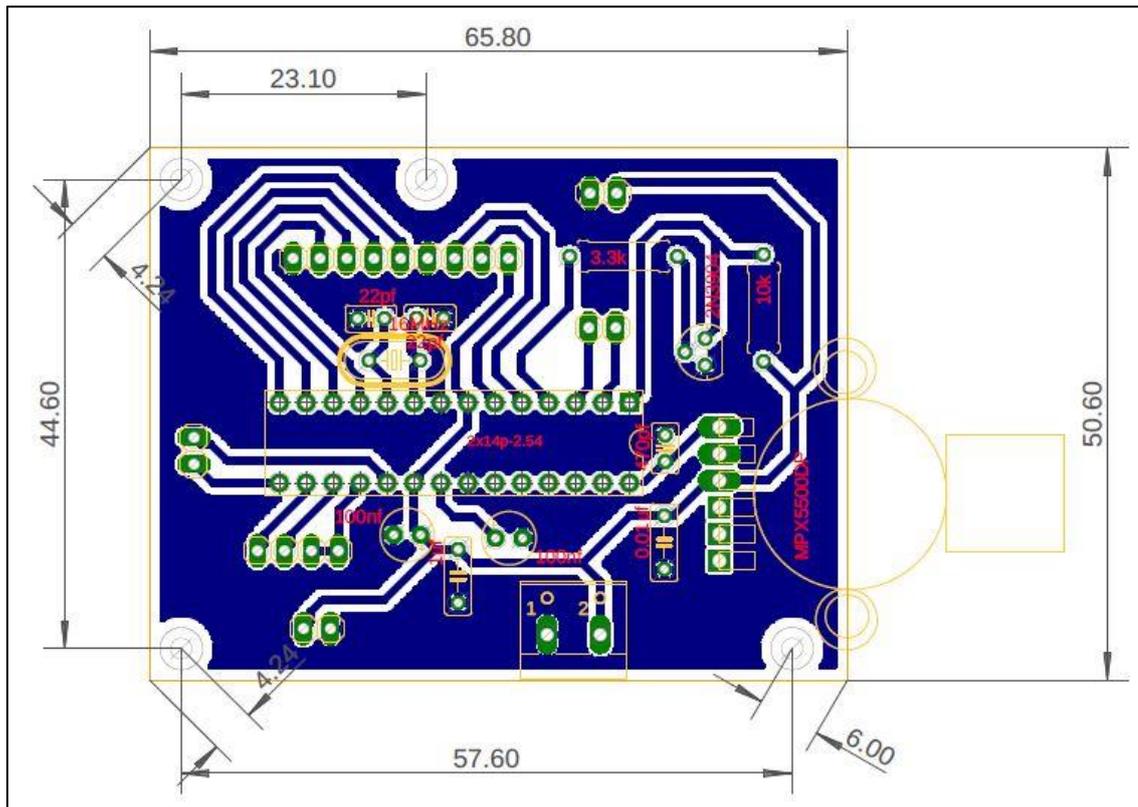


Figura 4.13. Vista “Bottom” de la tarjeta electrónica diseñada con ayuda del software Eagle para la etapa de acondicionamiento del sensor ΔP y del microcontrolador (medidas en milímetros).

4.1.3 Consumo de potencia

En este apartado se detalla el valor de la demanda de potencia exigida (valor estimado) por el controlador de retrolavados; específicamente se describe el consumo de potencia de los elementos que conforman al controlador (según valores extraídos de las respectivas hojas de datos de los fabricantes). Es importante recalcar que el consumo de potencia de este dispositivo está dado por los modos de operación active y sleep (los cuales se detallan en la sección 4.2.1 de este documento).

El punto de mayor consumo de potencia del dispositivo se presenta cuando este se encuentra en modo active, y el menor en el modo sleep; el primero se presenta cuando el controlador se encuentra ejecutando un proceso de retrolavado con válvulas del tipo AC o DC (las electroválvulas LATCH no se consideran, debido a que el tiempo de actividad de los relés con estas es de 15ms), si el sistema de filtración posee válvula maestra, el consumo en modo active es mayor (ya que durante el proceso de retrolavado el

controlador debe mantener encendida el solenoide que la controla), por otro lado, el modo de operación sleep ocurre cuando el controlador se encuentra a la espera del accionamiento de alguno de los disparadores de lavado. Para proveer un detalle más minucioso del consumo de potencia que posee el controlador de retrolavados en la tabla 4.2, se muestra el consumo energético de cada uno de los elementos que lo conforman (según valores extraídos de las respectivas hojas de datos de los fabricantes).

Tabla 4.2. Consumo de potencia estimado del controlador de retrolavados.

Elemento	Consumo Modo active		Consumo Modo sleep
	Con master valve	Sin master valve	
Pantalla (HMI)	P=450mW I=90mA @ 5VDC	P=450mW I=90mA @ 5VDC	P=450mW I=90mA @ 5VDC
Microcontrolador y acondicionamiento	P=100mW I=20mA @ 5VDC	P=100mW I=20mA @ 5VDC	P=100mW I=20mA @ 5VDC
Sensor ΔP y acondicionamiento	P=35mW I=7mA @ 5VDC	P=35mW I=7mA @ 5VDC	P=35mW I=7mA @ 5VDC
Módulo de relevadores (8) (60mA por relé)	Con electroválvulas AC		P≈0W I≈0A @ 5VDC
	P=600mW I=120mA @ 5VDC	P=300mW I=60mA @ 5VDC	
	Con electroválvulas DC		
	P=600mW I=120mA @ 5VDC	P=300mW I=60mA @ 5VDC	
	Con electroválvulas LATCH		
	P≈0W I≈0A @ 5VDC	P≈0W I≈0A @ 5VDC	
Módulo ModBus	P=0.6mW I=120μA @ 5VDC	P=0.6mW I=120μA @ 5VDC	P=1.5mW I=300μA @ 5VDC
Total	Con electroválvulas AC		P=586.5mW
	P=1.1856W I=237.12mA @ 5VDC	P=886.5mW I=177.3mA @ 5VDC	
	Con electroválvulas DC		
	P=1.1856W	P=886.5mW	

	I=237.12mA @ 5VDC	I=177.3mA @ 5VDC	I=117.3mA @ 5VDC
	Con electroválvulas LATCH		
	P=586.5mW I=117.3mA @ 5VDC	P=586.5mW I=117.3mA @ 5VDC	

4.2 Software del controlador de retrolavados

Esta sección se describen las 3 principales partes del software del controlador de retrolavados, las cuales son: la lógica principal que controla al dispositivo (comprendida por el algoritmo de ejecución de lavados, modos de accionamiento, detección de fallos, comunicación con periféricos, modos de operación, así como la adquisición y procesamiento tanto de datos, como de los parámetros de funcionamiento), la comunicación entre el controlador y el dispositivo maestro (vía ModBus RTU), y el diseño de la interfaz gráfica de usuario (GUI).

El diagrama de flujo del funcionamiento general del software del controlador de retrolavados se muestra en el apéndice A.3 y el respectivo código de implementación en el apéndice A.2.

4.2.1 Lógica principal

La lógica principal del controlador de retrolavados está compuesta por los algoritmos que ejecutan los lavados por medio de las electroválvulas (tipo LATCH, y AC o DC), funciones de disparo de lavados (ΔP , Timer, Manual), funciones de detección de errores en la operación, comunicación con periféricos (GUI y puerto ModBus), funciones de adquisición y procesamiento de datos y de los parámetros necesarios para el funcionamiento del dispositivo, así como la función que regula el modo de operación del dispositivo (sleep o active).

Los algoritmos de control de retrolavados están basados en la lógica mostrada en la Fig. 4.14, en la cual se aprecia la ubicación de los tiempos de espera que deben respetarse durante el proceso de retrolavado de filtros, de los cuales los tiempos de Pre-Dwell y estabilización deben ser 15 y 30 segundos respectivamente; el primero de ellos tiene la función de preparar al sistema de filtración para la ejecución del proceso de lavado de filtros cuando existe válvula Master (cuando no, es solamente un intervalo de seguridad),

y el segundo la de proveerle al sensor de presión diferencial un lapso de estabilización en las mediciones tomadas al sistema de filtración (debido a que el proceso de lavado puede alterar los valores de ΔP tomados por el sensor). El tiempo de Dwell; es el intervalo necesario entre el lavado de cada filtro (puede ser de entre 5 y 40 segundos), y es establecido por el operador. La duración del proceso de enjuague en cada filtro es también establecida por el operador, y puede durar de 10 a 60 segundos. Si existe válvula Master en el sistema de filtración, la solenoide que controla su funcionamiento debe ser encendida al inicio del proceso y apagada al final de este (en caso de que el sistema de filtración posea esta funcionalidad, de lo contrario esta no es necesaria); la válvula maestra, tiene la función de direccionar flujo de agua hacia la entrada de los filtros (durante el funcionamiento habitual), y cuando comienza un proceso de retrolavado, esta se cierra y el agua es dirigida hacia la escotilla utilizada para el enjuague de los filtros.

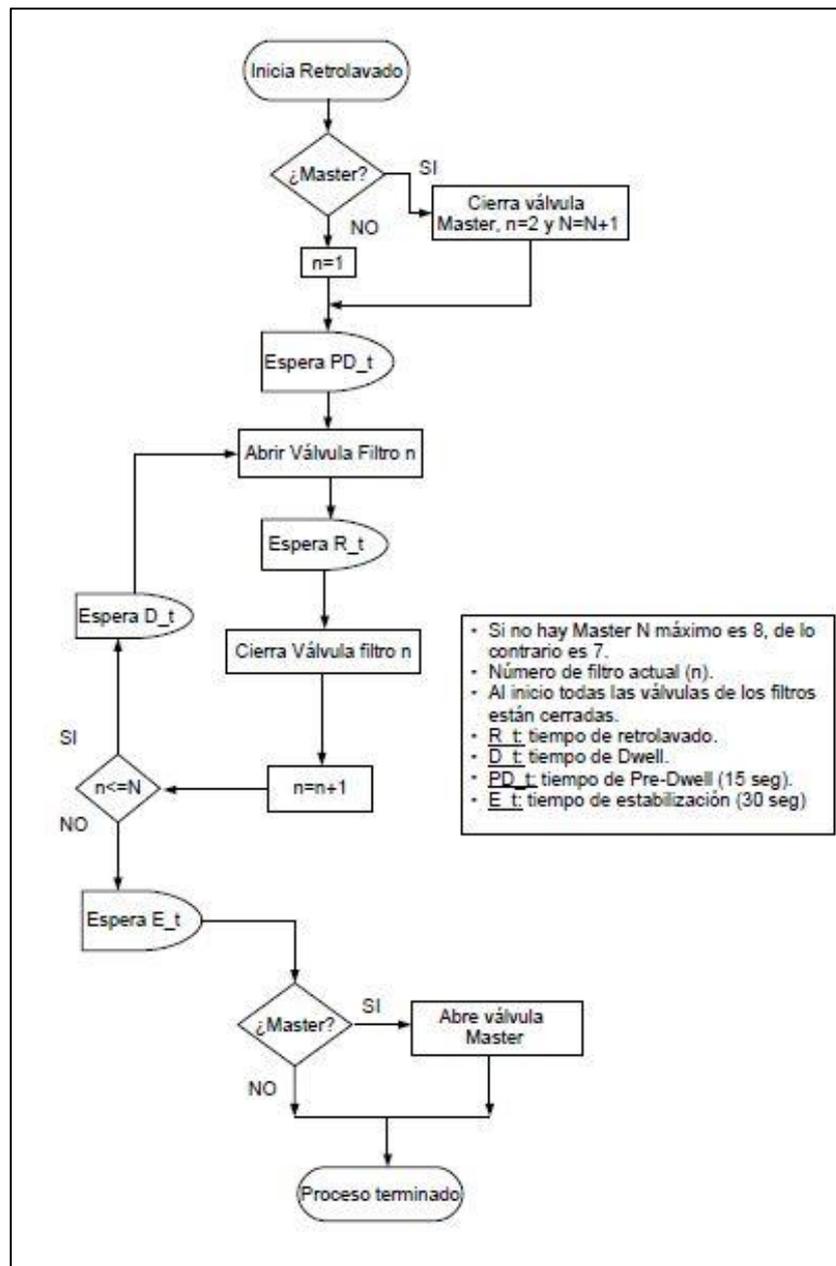


Figura 4.14. Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para controlar los retrolavados.

Los diagramas de tiempos del proceso de retrolavado de filtros, se muestran en las Fig. 4.15, 4.16 (con y sin válvula Master, respectivamente); en los cuales se especifican los intervalos de actividad de las válvulas hidráulicas conectadas a cada filtro del sistema (lapsos en los cuales se retrolavan los filtros), los tiempos de Pre-Dwell, Dwell y el de estabilización, así mismo, se observan los momentos exactos en el cual estos ocurren. Con base a estos diagramas es como se deben accionar las electroválvulas para realizar el proceso de retrolavado.

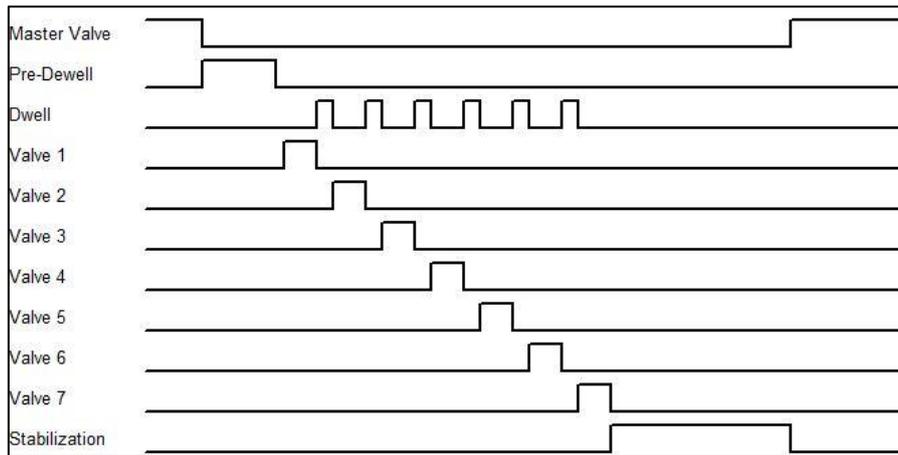


Figura 4.15. Diagrama de tiempos del proceso de retrolavado de filtros para un sistema con válvula maestra (representación de los tiempos de activación y desactivación de las válvulas hidráulicas de cada filtro, y la coordinación con los tiempos de permanencia y de estabilización).

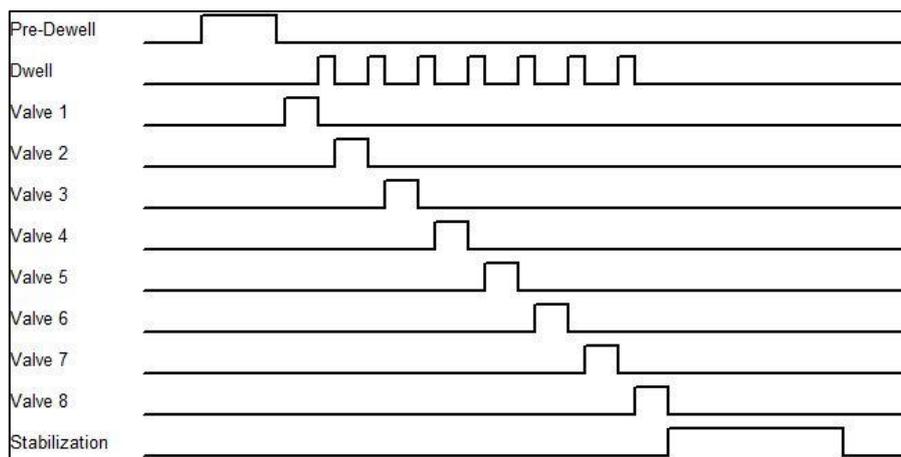


Figura 4.16. Diagrama de tiempos del proceso de retrolavado de filtros para un sistema sin válvula maestra (representación de los tiempos de activación y desactivación de las válvulas hidráulicas de cada filtro, y la coordinación con los tiempos de permanencia y de estabilización).

Los disparadores de retrolavados (ΔP , Timer, Manual), son utilizados en 3 distintos modos de accionamiento (explicados en el capítulo 1), los cuales son:

1. Modo Manual y automático por ΔP .
2. Modo automático por Timer, ΔP y activación Manual.
3. Modo automático por Timer y activación Manual (backup).

El sistema del controlador está diseñado para detectar dos posibles errores en su funcionamiento, de los cuales uno ocurre por limitaciones del microcontrolador, ya que este reinicia el temporizador interno aproximadamente cada 50 días [6] (mientras este se encuentre en uso continuo), por lo cual se implementa una función con el objetivo de detectar ese momento y de adaptar al sistema al cambio ocurrido; esta básicamente detecta cuando se presenta un overflow al instante de calcular el tiempo transcurrido entre dos eventos. La segunda función es la que detecta si existe alguna falla en las mediciones tomadas por el sensor de presión diferencial (una falla en estas mediciones se interpreta como el accionamiento de tres lavados consecutivos); cuando esto ocurre el sistema inmediatamente bloquea las activaciones por ΔP , fija el disparador por Timer a 30 minutos, le informa al operador de la existencia de un error y le solicita reiniciar el controlador.

La adquisición de los datos entregados por el sensor de presión diferencial se realiza mediante la lectura del puerto A05 (A/D) del microcontrolador (pin 28, según la tabla 4.1). Para el procesamiento de estos, se utilizan las ecuaciones Ec. (7), (8) y (9), en el código de implementación; donde “Valor_A/D” es el valor digital adquirido por el puerto A/D (de 10 bits, con tensión de referencia 5 VDC), “Tensión” son los voltios que entrega el sensor (entre 0 y 5VDC), relacionados al valor de presión diferencial medido (ΔP_{kPa} y ΔP_{psi}). La Ec. (8) se extrae de la función de transferencia presentada en la hoja de datos del fabricante [13].

$$\text{Tensión} = (\text{Valor_A/D}) \left(\frac{5}{1023} \right) \quad (7)$$

$$\Delta P_{kPa} = \left(\frac{\left(\frac{\text{Tensión} \pm \text{ERROR}}{5} \right) - 0.04}{0.0018} \right) \quad (8)$$

$$\Delta P_{psi} = (\Delta P_{kPa})(0.145) \quad (9)$$

Para la adquisición de los parámetros utilizados durante la operación del controlador de retrolavados, se utiliza el interfaz humano máquina del dispositivo (explicada en la sección 4.2.3), el procesamiento de estos se realiza al cargar cada uno de los datos en las variables globales utilizadas en el código de implementación (apéndice A.2); proceso que ocurre al pulsar el botón “Program” en la pantalla.

Los modos de operación active y sleep del dispositivo, son controlados mediante la función de lectura de disparadores; la cual se encuentra en constante ejecución con el

objetivo de detectar la activación de alguno (modo sleep), cuando un disparador se activa el controlador entra en modo active (proceso de retrolavado de filtros), durante el cual se encienden y apagan los relés conectados a cada solenoide. Estas activaciones se realizan por medio de pulsos, donde la duración de estos depende de la variedad de solenoide que se esté operando, para el caso de las electroválvulas AC y DC, la duración del pulso es la misma que la del respectivo lavado a cada filtro, si las solenoides son del tipo LATCH se deben enviar dos pulsos, uno para activarla y otro para desactivarla, los cuales deben tener una duración de entre 10 y 30ms (en este caso se utilizan 15ms); es por esto que el consumo de potencia del controlador de retrolavados es menor cuando se utiliza esta variedad de electroválvulas. En las Fig. 4.17 y 4.18, se muestran las formas de las señales de control enviadas a los relés desde el microcontrolador, para activar los solenoides por 20 segundos (estas se envían en lógica negativa, debido a que este es el modo de funcionamiento de los relés).

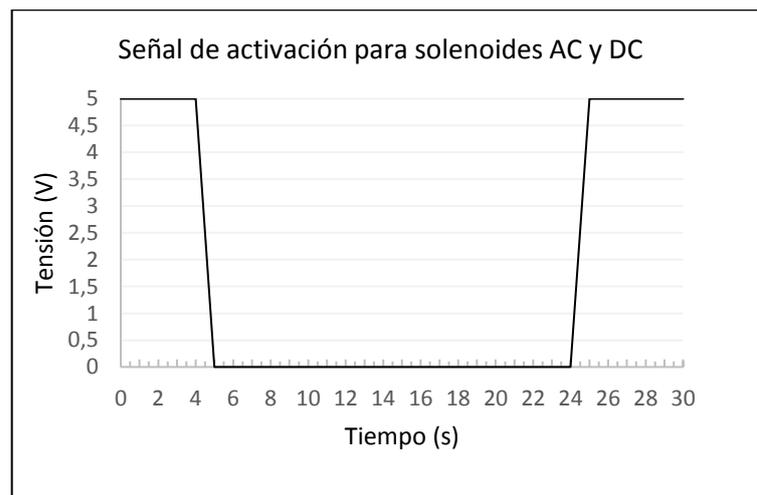


Figura 4.17. Señal enviada a un relé para activar una electroválvula AC o DC, durante 20s (pulso desde $t=5s$ a $t=25s$).

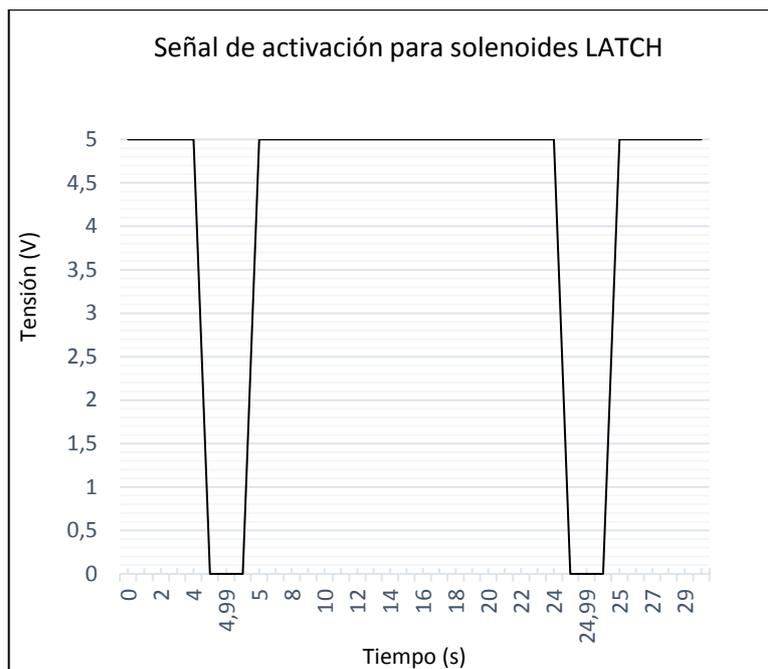


Figura 4.18. Señal enviada a un relé para activar una electroválvula LATCH, durante 20s (pulso de encendido: desde $t=4.985s$ a $t=5s$, pulso de apagado: desde $t=24.985s$ a $t=25s$).

4.2.2 Comunicación con el dispositivo maestro vía ModBus RTU

El dispositivo maestro con el cual el controlador de retrolavados establece un intercambio de información del tipo Half Duplex, puede ser ya sea un sistema SCADA, o algún controlador industrial (PLC); los cuales son compatibles con el protocolo de comunicación ModBus RTU (descrito en el capítulo 3 del documento).

Para establecer la comunicación con el dispositivo maestro se establece al controlador de retrolavados como el esclavo número 1 de la red, seguidamente se hace uso de la función 03 del protocolo; la cual utiliza los Holding Registers del mismo. Posteriormente se guardan los datos de mayor interés (para la empresa) en los registros del 40001 al 40004; donde los datos guardados son los siguientes:

1. El estado del controlador, mediante la transmisión de un '1' o un '0' en el registro 40001; lo cual hace referencia a la existencia de algún error, o no (respectivamente), durante la ejecución del sistema.
2. El valor establecido por el operador como punto de disparo de lavados por ΔP , en el registro 40002.
3. Valor actual de presión diferencial del sistema de filtración, en el registro 40003.

4. El número de la válvula que esta activa; representado mediante el envío de un entero (del 1 al 8), como representación de la electroválvula que está encendida, y un cero si no hay ninguna activa, en el registro 40004.

La trama de datos enviada por el dispositivo maestro (request) se observa en la tabla 4.3 y en la tabla 4.4, se observa la trama de datos con la que responde el controlador de retrolavados (response), las cuales se basan en la forma de la trama de datos para ModBus RTU, mostrada en la Fig. 3.10. Es importante señalar que los datos almacenados en los registros se empaquetan en tamaños de dos bytes; donde el primer byte posee los bits más significativos y el segundo los menos significativos del dato almacenado. Por otra parte, el valor del starting address, tiene un offset de 1; por lo tanto, si se desea que la dirección de inicio sea la 40001 se debe escribir la 40000, lo cual corresponde a escribir en la trama los siguientes valores: starting address Hi=00 y starting address Lo=00.

Tabla 4.3. Forma de la trama de datos necesaria para solicitar leer los registros del 40001 al 40004, en el esclavo 1.

Field name	RTU (hex)
Slave address	01
Function	03
Starting address Hi	00
Startin address Lo	00
Quantity of registers Hi	00
Quantity of registers Lo	04

Tabla 4.4. Forma de la trama de datos con la respuesta del esclavo 1, a la solicitud realizada por el dispositivo maestro descrita en la tabla 4.3.

Field name	RTU (hex)
Slave address	01
Function	03
Byte count	08
Data Hi (40001)	XX
Data Lo (40001)	XX
Data Hi (40002)	XX
Data Lo (40002)	XX

Data Hi (40003)	XX
Data Lo (40003)	XX
Data Hi (40004)	XX
Data Lo (40004)	XX

4.2.3 Diseño de la interfaz gráfica de usuario (GUI)

La interfaz gráfica de usuario (GUI) del controlador de retrolavados se realiza haciendo uso de la pantalla táctil Nextion 2.4" LCD Touch Display [19]; la cual cumple la función de ser un interfaz humano máquina (HMI) entre el dispositivo y su operador.

El diseño de la GUI del controlador está constituido por 3 ventanas: inicio, ajustes y una de control (observadas en las Fig. 4.19, 4.20 y 4.21, respectivamente); confeccionadas con la herramienta de software Nextion Editor [19]. La ventana de inicio muestra una leyenda con el nombre del dispositivo (sección superior de la pantalla) y un botón para avanzar a la siguiente ventana (esquina inferior izquierda). En la ventana de ajustes el usuario ingresa los parámetros necesarios para la operación del controlador de retrolavados (Dwell time, Master valve, número de válvulas, tipo de solenoide, flushing time, puntos de disparo de lavado por ΔP y Timer), así mismo, en esta se realiza la calibración del sensor ΔP y se procede a la programación de los parámetros ingresados en el controlador. La pantalla de control tiene el objetivo de proveerle al operador información del estado actual y de las acciones que está llevando el dispositivo; más específicamente en la esquina inferior izquierda de esta el operador puede observar cuando se presenta alguna falla, el disparador que activa el lavado (ΔP , Timer, Manual), entre otras cosas, en la parte superior de la pantalla se brinda la información del valor que fue programado como punto de disparo por ΔP y del valor de presión diferencial al cual el sistema de filtración está operando (en el manual de usuario del dispositivo, presentado en el apéndice A.1, se puede acceder a una información más detallada del uso del dispositivo).

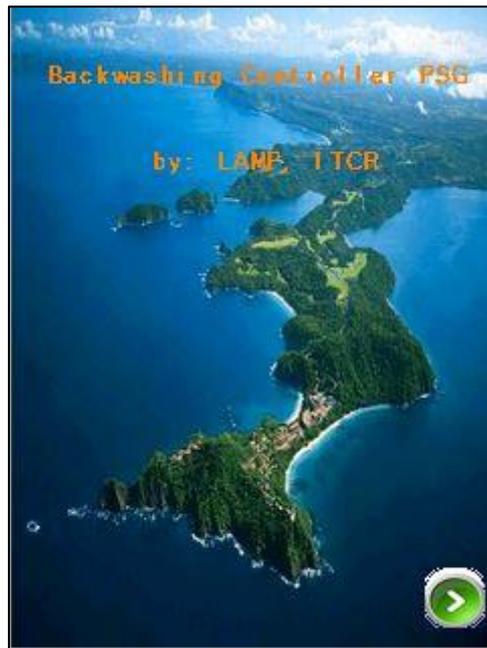


Figura 4.19. Pantalla de inicio de la interfaz de usuario.



Figura 4.20. Pantalla de ajustes de la interfaz de usuario.

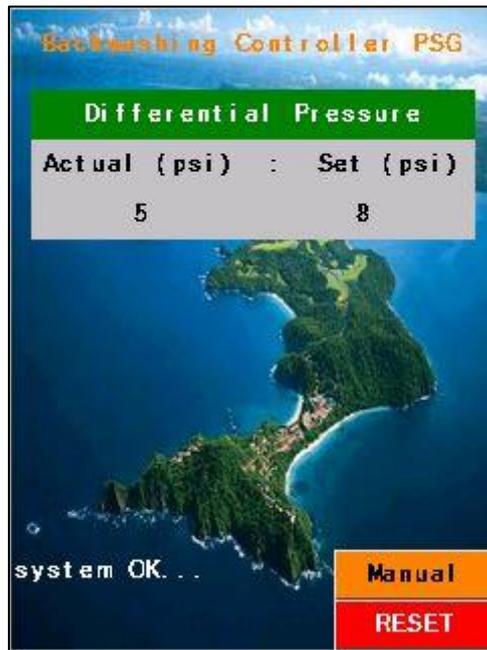


Figura 4.21. Pantalla de control de la interfaz de usuario.

4.3 Diseño de la carcasa protectora

La carcasa del controlador de retrolavados posee los siguientes objetivos: brindarle protección a su circuitería y facilitar la manipulación del dispositivo. Para el primer caso es importante considerar las condiciones ambientales donde el dispositivo va a ser instalado, las cuales son sumamente hostiles para componentes electrónicos; por esto según las investigaciones realizadas la carcasa debe cumplir con los estándares de las normativas IP, las cuales estipulan el tipo de protección que debe tener un dispositivo electrónico según las condiciones en las cuales este se va a encontrar, específicamente ante el contacto y penetración tanto de agua como de suciedad. Concretamente los planos de la carcasa se desarrollan considerando algunas de las estipulaciones dadas por Norma IP65, específicamente en cuanto a las que requieren que los dispositivos posean protección completa contra todo tipo de contacto, penetración de polvo y chorros de agua [22]. Para facilitar su manipulación, el diseño implementado se realiza en forma de caja y en la cara posterior se añaden soportes para que este pueda ser atornillado a una base.

El diseño y manufactura de la carcasa son realizados por la empresa 3DCreativa [32] (la cual realiza un prototipo bajo los requerimientos antes explicados). El prototipo diseñado se puede observar en el anexo B.1, para la elaboración de este se emplea la técnica de corte laser, en material acrílico de 3 mm y 6mm (en la cara posterior, lugar

donde se sitúan los soportes). Para evitar el contacto de líquido o polvo a lo interno del dispositivo; las aberturas utilizadas para el ingreso/salida de cables son cubiertas con empaques, y en la sección de la pantalla se diseña una tapa removible, también recubierta con empaques (como se observa en las Fig. 4.22, 4.23). En las Fig. 4.24 y 4.25, se muestra la cara superior de la carcasa (la cual posee soporte para instalar la pantalla y es removible para facilitar la manipulación interna del dispositivo) y la cara inferior de esta (donde se empotran las placas de la etapa de potencia y la de los relevadores), respectivamente, mientras que la cara posterior de la carcasa (donde se sitúan los soportes utilizados para atornillar el dispositivo a una base sólida) se aprecia en la Fig. 4.26.

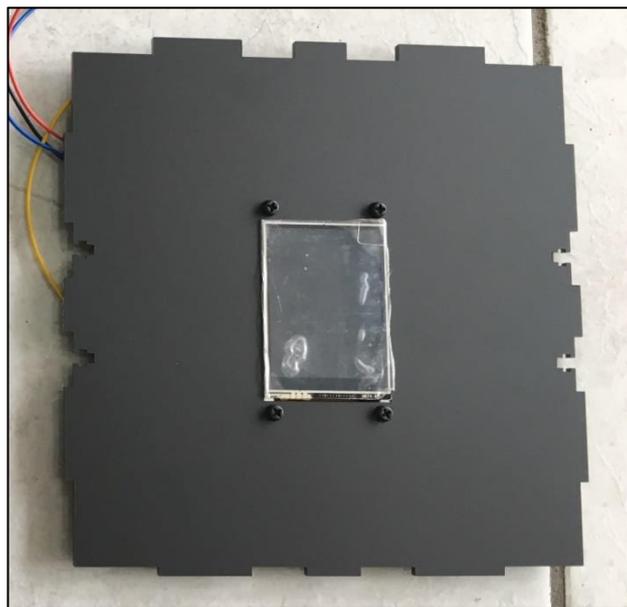


Figura 4.22. Cara superior de la carcasa del controlador de retrolavados (soporte para la pantalla).

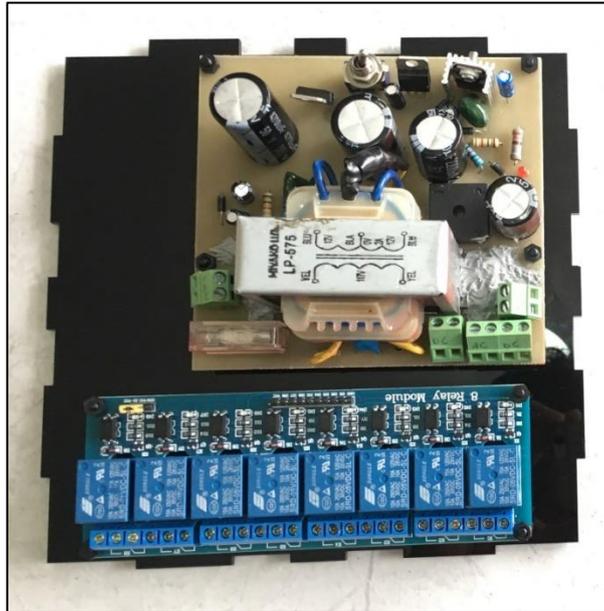


Figura 4.23. Cara inferior de la carcasa del controlador de retrolavados (soportes empotrar las placas de la etapa de potencia y de relevadores).



Figura 4.24. Estructura completa de la carcasa del controlador de retrolavados (tapa de protección de la pantalla abierta).



Figura 4.25. Estructura completa de la carcasa del controlador de retrolavados (tapa de protección de la pantalla cerrada).



Figura 4.26. Cara posterior de la carcasa del controlador de retrolavados (soportes para fijar al dispositivo a una base por medio de tornillos).

Capítulo 5

Análisis y resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del prototipo diseñado, así como el respectivo análisis de estos, también realiza una comparación con el dispositivo (Filtron 246, hoja de datos en el anexo B.2) que posee actualmente Papagayo Servicios; en los aspectos de: funcionalidad, rendimiento y valor económico.

5.1 Pruebas funcionales y de rendimiento

5.1.1 Pruebas de funcionamiento de disparadores de retrolavados

El controlador de retrolavados diseñado, posee la capacidad de realizar retrolavados de forma autónoma y manual. Para el primero de los casos operador programa los enjuagues para que estos se ejecuten ya sea por tiempo (ciclos desde uno cada 10 minutos hasta uno cada 24 horas), ΔP (cuando la presión de las tuberías alcanza el valor de ΔP establecido), o por la combinación de ambos, en el caso de las activaciones manuales están son efectuadas a conveniencia del operador (cada enjuague a su vez es programado para que duren desde 10 hasta 60 segundos por filtro). Estos requerimientos se logran mediante el llamado de las funciones “Timer_Trigger()”, “MPX5500DP_Trigger()” y “Manual_Trigger()”, respectivamente, durante la ejecución del programa del dispositivo (funciones desarrolladas en el código de implementación, apéndice A.2):

- “Timer_Trigger()”: dispara lavados según lapsos de tiempo transcurridos; en el momento que los intervalos sean iguales o mayores al tiempo fijado por el operador, se ejecuta un lavado y se reinicia el timer, en la Fig. 5.1 se muestra un extracto de la función desarrollada (unidades de tiempo en mili segundos).
- “MPX5500DP_Trigger()”: dispara lavados según el valor medido por el sensor de presión diferencial; en el momento que la medición de presión sea igual o mayor al valor de ΔP fijado por el operador, se ejecuta un lavado y se reinicia el timer (si este se encuentra activo), en la Fig. 5.2 se muestra un extracto de la función desarrollada.

- “Manual_Trigger()”: dispara lavados cuando el operador presiona el botón lavado manual; en ese instante el controlador ejecuta un lavado y reinicia el timer (si este se encuentra activo), en la Fig. 5.3 se muestra un extracto de la función desarrollada y en la Fig. 5.4 la función de lectura del botón destinado a realizar lavados manuales.

```

int Timer_Trigger(){//
    int OutputFlagT;
    unsigned long _overflow= 4000000000;
    int overflowFlagT=0;
    unsigned long finishTime;
    unsigned long currentTime;
    unsigned long currentTimeDP;
    finishTime=millis();|
    currentTime=finishTime-startTime;
    currentTimeDP=finishTime-lastMesure_DP;
    if ((currentTime) >= _overflow){
    if ((currentTime>=setPointT)&&(overflowFlagT==0)){//ok
    else {
        return OutputFlagT;
    }
}

```

Figura 5.1. Extracto de la función de Timer_Trigger() del código de implementación (apéndice A.2).

```

int MPX5500DP_Trigger(){
    // read the input on analog pin 0:
    int OutputFlagDP;
    float epsilon=0.002;
    uint32_t Carry;
    int sensorValue = analogRead(_pinADC);
    // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
    float voltage = sensorValue * (5 / 1023.0);
    DPpsi = (((voltage-epsilon)-0.2)/0.009)*.145 + DPpsi_offset;//took of Datasheet
    int INT_PSI=int(round(DPpsi));
    Carry=uint32_t(INT_PSI);
    actual_DP.setValue(Carry);
    if ((INT_PSI>=setPointDP)&&(ERROR_DETECTED!=1)){
    else {
        return OutputFlagDP;
    }
}

```

Figura 5.2. Extracto de la función de MPX5500DP_Trigger() del código de implementación (apéndice A.2).

```

int Manual_Trigger() {
    int OutputFlagM;
    if (setManual==true){
        OutputFlagM=1;
        if (setPointI>0){
            setManual=false;
        }
    }
    else {
        OutputFlagM=0;
    }
    return OutputFlagM;
}

```

Figura 5.3. Extracto de la función de Manual_Trigger() del código de implementación (apéndice A.2).

```

void manual_BackPopCallback(void *ptr) {
    setManual=true;
    message_sys_1.setText("MANUAL");
}

```

Figura 5.4. Extracto de la función de lectura del botón de lavado manual del código de implementación (apéndice A.2).

El controlador le comunica al operador la función que ha disparado el retrolavado, como se muestra en las Fig. 5.5, 5.6 y 5.7 (imágenes tomadas durante la realización de pruebas de campo).



Figura 5.5. Mensaje de disparo de lavado por ΔP . Imagen tomada durante una prueba de campo.



Figura 5.6. Mensaje de disparo de lavado por Timer. Imagen tomada durante una prueba de campo.



Figura 5.7. Mensaje de disparo de lavado por activación Manual. Imagen tomada durante una prueba de campo.

5.1.2 Pruebas de funcionamiento de la lógica implementada para efectuar la apertura y cierre de válvulas hidráulicas (algoritmo de retrolavado)

Para controlar las válvulas hidráulicas (válvulas de 3 vías) que direccionan el flujo de agua ya sea hacía los módulos de filtrado o hacía el manifold de desagüe; se desarrollan dos funciones: “Backwashing_Logic_L()” y “Backwashing_Logic()”, las cuales básicamente son las que activan y desactivan solenoides (según la lógica establecida en la Fig. 4.14) del tipo LATCH y AC o DC, respectivamente. Así mismo, si el sistema opera

con válvula maestra estas lo detectan y asignan al solenoide conectado al primer relé del módulo de relevadores como el encargado de su accionamiento (en las Fig. 5.8, 5.9, se observan extractos de estas funciones).

```

void Backwashing_Logic(){//for AC and DC except latch valves:
    int valve_;
    int i;
    int N_;
    if (setPointT!=0){
        if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Timer_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){
            //Each time value are based on the times diagram
            if (master_v=="NO"){
            }
            else{
                delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
                for (i;i<N_;i++){
                    delay(Stabilization_time); //delay of stabilizatoin
                    if (master_v=="YES"){
                        digitalWrite(valve_1,HIGH);//open the master valve, TURN OFF SOLENOID
                    }
                }
            }
        }
        else{
            if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){
            }
        }
        message_sys_1.setText(" ");
    }
}

```

Figura 5.8. Extracto de la función de ejecución de retrolavados para solenoides LATCH (“Backwashing_Logic_L()”) del código de implementación (apéndice A.2) , con detección de válvula maestra.

```

void Backwashing_Logic_L(){//for latch valves, latch valves are activated and deactivated with a pulse
    int valve_;
    int i;
    int N_;
    if (setPointT!=0){
        if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Timer_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){//ok
            //Each time value are based on the times diagram
            if (master_v=="NO"){
            }
            else{
                delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
                for (i;i<N_;i++){
                    delay(Stabilization_time); //delay of stabilizatoin
                    if (master_v=="YES"){
                    }
                }
            }
        }
        else{
            if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){//ok
                if (master_v=="NO"){
                }
                else{
                    delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
                    for (i;i<N_;i++){
                        delay(Stabilization_time); //delay of stabilizatoin
                        if (master_v=="YES"){
                        }
                    }
                }
            }
        }
        message_sys_1.setText(" ");
    }
}

```

Figura 5.9. Extracto de la función de ejecución de retrolavados para solenoides AC o DC (“Backwashing_Logic()”) del código de implementación (apéndice A.2), con detección de válvula maestra.

El accionamiento de los solenoides del tipo LATCH se realiza mediante la implementación del código observado en la Fig. 5.10 (pulsos de duración de 15ms, para apagar y encender las electroválvulas), mientras que en la Fig. 5.11 se observa el extracto del código implementado para el accionamiento de solenoides del tipo AC y DC (pulso mantenido durante el tiempo de lavado de los filtros).

```
//TURN ON SOLENOID
digitalWrite(valve_,LOW);//PULSE ON
delay(latch_delay);
digitalWrite(valve_,HIGH);//PULSE OFF
//flush time
delay(BackwashingTime);
//TURN OFF SOLENOID
digitalWrite(valve_,LOW);//PULSE ON
delay(latch_delay);
digitalWrite(valve_,HIGH);//PULSE OFF
```

Figura 5.10. Extracto del código de implementación para el accionamiento de solenoides tipo LATCH (apéndice A.2).

```
digitalWrite(valve_,LOW);//TURN ON SOLENOID
delay(BackwashingTime);//flush time
digitalWrite(valve_,HIGH);//TURN OFF SOLENOID
```

Figura 5.11. Extracto del código de implementación para el accionamiento de solenoides tipo AC o DC (apéndice A.2).

Los modos de ejecución del controlador de retrolavados (modo Manual y automático por ΔP , modo automático por Timer, ΔP y activación Manual, y modo automático por Timer y activación Manual; backup), se ejecutan por medio de los condicionales mostrados en la Fig. 5.12, con excepción del modo backup, el cual es accionado cuando la función de detección de error en las mediciones tomadas por el sensor ΔP (“ErroDP_Detection()”, extracto de la función en la Fig. 5.13), levanta la bandera de error; (se considera como un error el accionamiento de 3 lavados consecutivos por ΔP) en ese instante se desactivan la función “MPX5500DP_Trigger()”, y se fijan los disparos por timer a 30 minutos (en las Fig. 5.15 y 5.16, se observa el controlador operando en modo backup, accionando lavados de forma manual y por timer, respectivamente), así

mismo, el controlador alerta al operador de la existencia de un error por medio de la pantalla, como se observa en la Fig. 5.14.

```
if (setPointI!=0){
  if ((MPX5500DP_Trigger()==1)|| (Timer_Trigger()==1)|| (Manual_Trigger()==1)){
  }
else{
  if ((MPX5500DP_Trigger()==1)|| (Manual_Trigger()==1)){
  }
}
```

Figura 5.12. Extracto del código implementación desarrollado para seleccionar el modo de ejecución del controlador de retrolavados (apéndice A.2).

```
int ErrorDP_Detection(){
  //int overflowFlagDP=0;
  unsigned long _overflow= 4000000000;
  unsigned long init_to_finsh_DP;
  unsigned long currentDp_accumulator;
  currentDp_accumulator=millis();
  init_to_finsh_DP=currentDp_accumulator-tMesureStart_accumulator;
  if (init_to_finsh_DP >= _overflow){
    accumulatorDP=0;
    ErrorDP_Flag=1;
    overflowFlagDP=1;
  }

  if ((accumulatorDP_Flag==1)&&(init_to_finsh_DP<=errorTime)&&(overflowFlagDP==0)){
  }
else{
  ErrorDP_Flag=0;
  //accumulatorDP_Flag=0;
}
return ErrorDP_Flag;
}
```

Figura 5.13. Extracto del código de implementación desarrollado para la detección de error en las mediciones del sensor de presión diferencial (apéndice A.2).

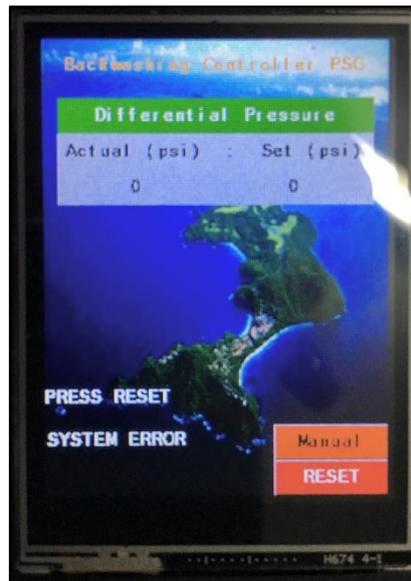


Figura 5.14. Mensaje de detección de error en las mediciones tomadas por el sensor de presión diferencial (controlador entra en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.



Figura 5.15. Mensaje de disparo de lavado por activación Manual (controlador en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.



Figura 5.16. Mensaje de disparo de lavado por Timer (controlador en modo backup). Imagen tomada durante una prueba de campo.

El funcionamiento de los algoritmos de retrolavado se observa en las Fig. 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 (señales de operación de solenoides), las cuales corresponden a las señales generadas por el microcontrolador en los puertos digitales para controlar el accionamiento de las electroválvulas (por medio de los relés). En la Fig. 5.17 se muestran las señales generadas para retrolavar un sistema de 2 filtros (durante 5 segundos por filtro), operado con solenoides AC o DC, con un tiempo de Dwell de 15 segundos y sin válvula maestra (las señales en bajo corresponden al tiempo de lavado y las que están en alto son las correspondientes a los tiempos de Dwell).

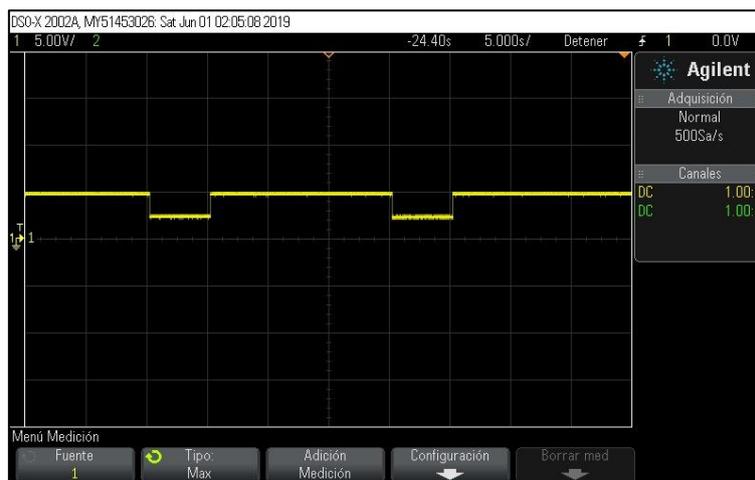


Figura 5.17. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo AC o DC, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 15s de Dwell time y sin válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.

La Fig. 5.18 se muestra las señales generadas para retrolavar un sistema de 2 filtros (durante 5 segundos por filtro), con válvula maestra, operado con solenoides AC o DC, con un tiempo de Dwell de 5 segundos. También se puede apreciar que en el instante en el cual se enciende la electroválvula maestra, existe un tiempo de espera de 15 segundos (pre-Dwell), posteriormente cuando se desactiva la última electroválvula hay un tiempo de espera entre ese instante y la desactivación del solenoide maestro; correspondiente al tiempo de estabilización.

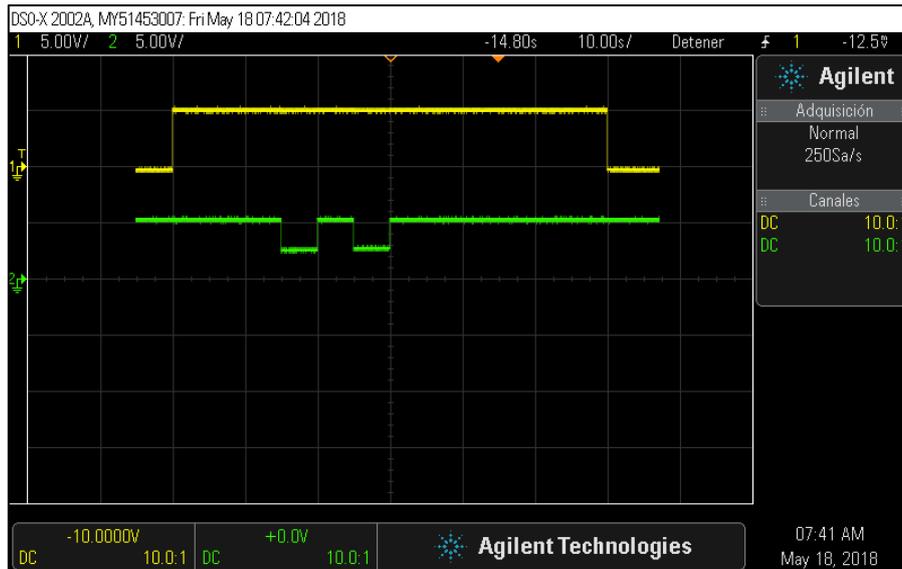


Figura 5.18. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo AC o DC, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 5s de Dwell time y con operación de válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.

La Fig. 5.19 se muestra las señales generadas para retrolavar un sistema de 2 filtros (durante 5 segundos por filtro), con válvula maestra, operado con solenoides LATCH, con un tiempo de Dwell de 5 segundos. La diferencia entre la operación de este sistema y el de la Fig. 5.18, son las señales de activación y desactivación de las electroválvulas, las cuales como se aprecia son pulsos de 15ms de duración; razón por la cual estas se aprecian como líneas en el osciloscopio, ya que para adquirir el ciclo completo de retrolavado (60 segundos) las divisiones en el eje de tiempo deben ser de 10 segundos, sin embargo, se observa claramente que el tiempo de actividad de los solenoides es de 5 segundos, y que el de la electroválvula maestra es de 60 segundos (tiempo entre el pulso de activación y el de desactivación).

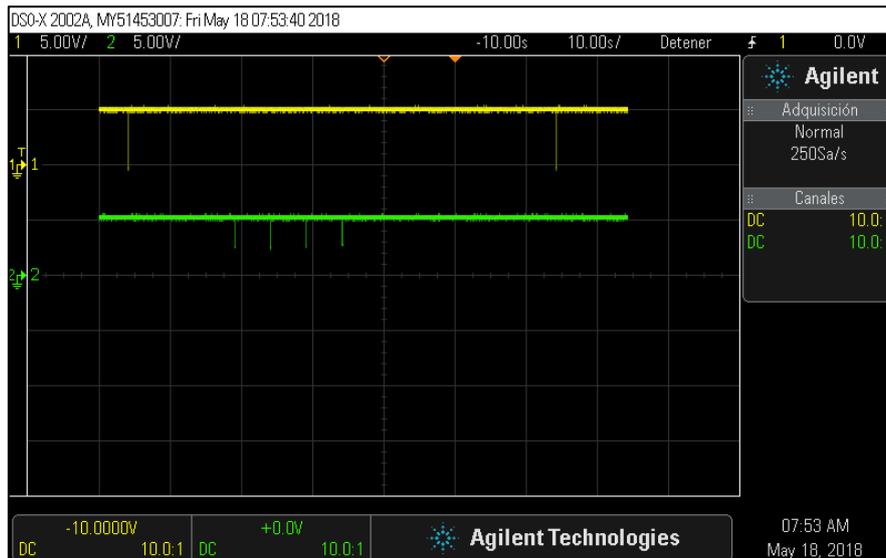


Figura 5.19. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo LATCH, con un tiempo de lavado de 5s por filtro, 5s de Dwell time y con operación de válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.

En la Fig. 5.20 se observan las señales de control generadas para retrolavar un sistema de 2 filtros (durante 10 segundos por filtro), operado con solenoides del tipo LATCH, con un tiempo de Dwell de 15 segundos y sin válvula maestra; en esta se aprecian como los tiempos entre los pulsos de encendido y apagado de las electroválvulas son los correspondientes a los de lavado y de Dwell previamente programados.

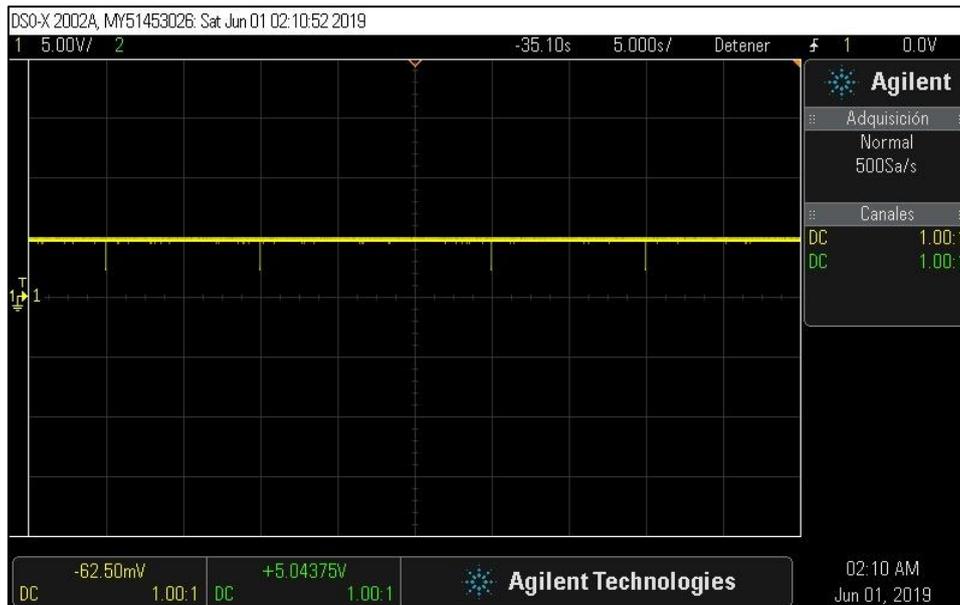


Figura 5.20. Señales de control generadas por el controlador para operar un sistema de 2 filtros mediante solenoides tipo LATCH, con un tiempo de lavado de 10s por filtro, 15s de Dwell time y sin válvula maestra. Imagen tomada durante una prueba de campo.

5.1.3 Pruebas de funcionamiento de la interfaz de software diseñada para la comunicación entre el dispositivo y el operador del dispositivo

Por medio de la interfaz diseñada se selecciona el modo de operación del dispositivo, la cantidad de válvulas y el tipo de estas que el dispositivo vaya a operar, así mismo, se ingresa el valor de ΔP al cual serán disparados los enjuagues, el intervalo entre el lavado de cada filtro (Dwell time), la frecuencia con la que se realizarán los ciclos de enjuague (disparos por timer) y la duración de estos, también mediante esta el operador logra calibrar las mediciones del sensor ΔP (por medio de la función “cal_dpPopCallback()”, apéndice A.2), y cargar cada uno de estos datos en la memoria del controlador (el procesamiento de cada uno de estos datos se realiza mediante la función desarrollada para cargar parámetros en el código de implementación, “progPopCallback()”). Proceso que se puede apreciar en las Fig. 5.21, 5.22, 5.23 y 5.24, las cuales corresponden a los datos cargados en el controlador para obtener las señales de control de la Fig. 5.19. Por otro lado, en estas imágenes se muestran a su vez las alertas enviadas por el controlador al operador.



Figura 5.21. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de alerta al operador para que calibre el sensor. Imagen tomada durante una prueba de campo.

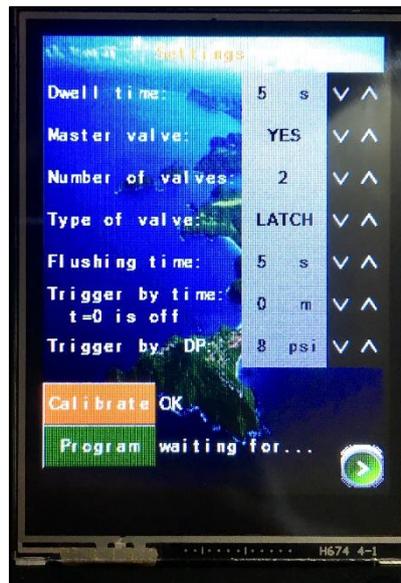


Figura 5.22. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de calibración exitosa. Imagen tomada durante una prueba de campo.

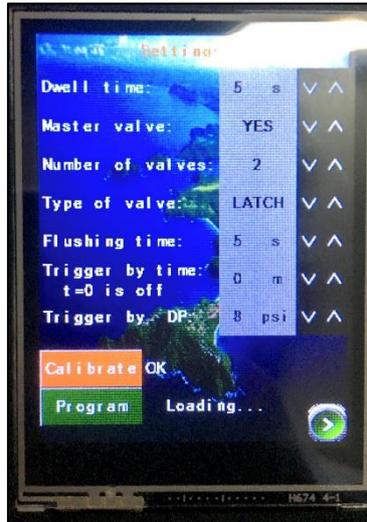


Figura 5.23. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de carga de datos en proceso. Imagen tomada durante una prueba de campo.

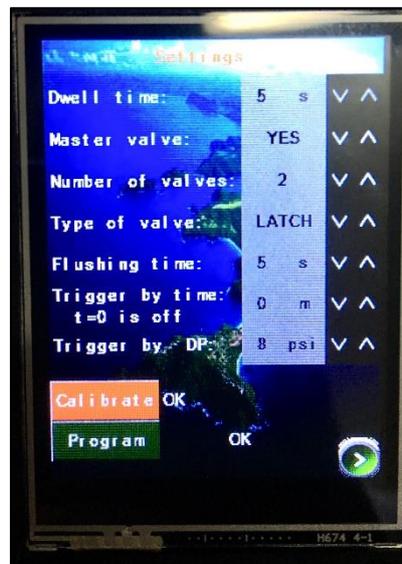


Figura 5.24. Programación de parámetros en el controlador de retrolavados (datos cargados para generar las señales de la Fig. 5.19), mensaje de carga de datos en la memoria exitoso. Imagen tomada durante una prueba de campo.

5.1.4 Funcionalidad del diseño de la carcasa en el medio

Con las diferentes pruebas de campo realizadas en las estaciones de filtrado de la empresa, se corrobora la funcionalidad del diseño elaborado de la carcasa protectora

(descrito en la sección 4.3), no obstante, la prueba que más arroja resultados sobre la funcionalidad de esta, es cuando se instala el prototipo en la estación de filtrado “Planta Marina”; ya que esta presenta las condiciones ambientales más adversas, porque se encuentra en un medio totalmente expuesto a: contacto de la brisa del mar, sol, agua de lluvia (condición que se presentó el día de la instalación) y al ingreso de algún animal silvestre, insecto o anfibio pequeño.

La prueba realizada en “Planta Marina”, permite corroborar que el diseño desarrollado evita el ingreso de polvo o agua en el dispositivo; ya que, aunque las condiciones eran lluviosas, esta impidió la penetración de agua hacia la circuitería. Por lo tanto, se ratifica que la decisión tomada de utilizar empaques las aberturas donde ingresan/salen los cables utilizados por el prototipo, y en la tapa protectora de la pantalla de este (Fig. 4.24 y 4.25), hace funcional el diseño en este tipo de medios.

En cuanto a otros tipos de contactos, el diseño planteado en forma cerrada (que también le proveen los empaques) evita el ingreso ya sea de insectos o alguna clase de anfibio. Además, los soportes mostrados en la Fig. 4.26, permiten que el controlador sea instalado a una distancia considerable del suelo y que este sea fijado a una base sólida, lo cual le brinda protección ante animales como: mapaches, pizotes y monos presentes en la zona.

5.1.5 Pruebas de comunicación entre el controlador y el dispositivo maestro

Para corroborar la comunicación entre el controlador de retrolavados y el dispositivo maestro (sistema SCADA o PLC) por medio del protocolo de comunicación ModBus RTU, se establece una comunicación maestro-esclavo, entre el dispositivo y un computador (dispositivo maestro); donde por medio de la aplicación Modbus Poll [18], se envía el mensaje de “query” (de acuerdo a lo establecido en la tabla 4.3) a una frecuencia de una vez por segundo (para crear un lazo de comunicación query-response/master-slave, como se explica en el capítulo 3), a un sistema de dos filtros, fijado a 8 psi de presión diferencial, con 15s de Dwell time, y 15s de lavado en cada filtro, y sin válvula maestra. Los resultados obtenidos se observan en el apéndice A.4, en los cuales aprecian los periodos de actividad de las válvulas, el valor actual de presión diferencial medido, los 8 psi fijados como punto de disparo y el estado del sistema (ok = 0, error=1).

5.1.6 Pruebas de rendimiento energético del controlador de retrolavados

Esta sección tiene el objetivo de obtener el consumo real de potencia del dispositivo (como se muestra enseguida en la tabla 5.1.), para ello se mide la corriente consumida durante los distintos modos de operación (active y sleep), y su tensión de operación, esto con cada tipo de solenoide (AC, DC y DC-LATCH), operando con válvula maestra o sin ella. También, se comparan los valores medidos durante las pruebas realizadas con los valores estimados en la sección 4.1.3 (tabla 4.2).

Tabla 5.1. Comparación entre el consumo de potencia medido y el estimado del controlador de retrolavados.

Medición	Consumo Modo active		Consumo Modo sleep
	Con master valve	Sin master valve	
Valor Medido	Con electroválvulas AC		P=612.15mW I=115.5mA @ 5.3VDC
	P=1.30168W I=245.6mA @ 5.3VDC	P=989.51mW I=186.7mA @ 5.3VDC	
	Con electroválvulas DC		
	P=1.30168W I=245.9mA @ 5.3VDC	P=989.51mW I=186.7mA @ 5.3VDC	
	Con electroválvulas LATCH		
	P=615.86mW I=116.2mA @ 5.3VDC	P=612.68mW I=115.6mA @ 5.3VDC	
Valor estimado (sección 4.1.3)	Con electroválvulas AC		P=586.5mW I=117.3mA @ 5VDC
	P=1.1856W I=237.12mA @ 5VDC	P=886.5mW I=177.3mA @ 5VDC	
	Con electroválvulas DC		
	P=1.1856W I=237.12mA @ 5VDC	P=886.5mW I=177.3mA @ 5VDC	
	Con electroválvulas LATCH		
	P=586.5mW I=117.3mA @ 5VDC	P=586.5m W I=117.3mA @ 5VDC	

Los errores porcentuales entre las mediciones y los valores estimados de consumo de potencia se mantienen por debajo del 10%; estas diferencias presentadas se dan principalmente porque el consumo de corriente se incrementa debido a que los componentes discretos utilizados en la tarjeta electrónica diseñada para la etapa de acondicionamiento del sensor y microcontrolador (resistencias, capacitores, transistor BJT, pines de salida, entre otros), no fueron considerados para realizar el cálculo mostrado en la tabla 4.2, así mismo, porque el valor de la tensión de alimentación es de 5.3 VDC y no de 5VDC, como se definió anteriormente.

5.2 Comparación con el controlador de retrolavados actual (Filtron 246)

La descripción del equipo utilizado actualmente por la empresa Papagayo Servicios Generales para controlar los ciclos de retrolavado en las estaciones de filtrado de agua (controlador de la marca TALGIL, modelo FILTRON 246 [29]), se puede observar en el anexo B.2.

5.2.1 Comparación de rendimiento energético

Las mediciones realizadas para obtener el consumo energético del dispositivo Filtron 246, detallan que este requiere una potencia de $P=10.5W$ (15VDC @ 700mA); durante su operación. El cual comparado con los 1.30168W (correspondiente al peor de los casos en cuanto a consumo de potencia, tabla 5.1) que requiere el controlador de retrolavados diseñado (prototipo), demuestra que existe una disminución significativa del gasto de energía (alrededor de 9W), con respecto al dispositivo empleado actualmente por la empresa en sus labores de mantenimiento.

5.2.2 Comparación funcional

El controlador de retrolavados diseñado (prototipo), provee una mayor cantidad de características funcionales con relación al dispositivo Filtron 246, hecho que se puede apreciar en la tabla 5.2; en la cual se realiza una comparación de las especificaciones que estos poseen.

Tabla 5.2. Comparación entre las características funcionales del prototipo diseñado y el dispositivo Filtron 246.

Característica funcional	Prototipo	Filtron 246
Manipulación	Pantalla HMI, interfaz GUI	Perillas y sonido
Tipos de solenoides que puede operar	AC, DC, LATCH-DC	LATCH-DC
Comunicación con otros dispositivos	Si	No
Sensor ΔP embebido en el dispositivo	Si	No
Cantidad de solenoides que puede operar	8	Posee 2 como valor de fábrica, y es expandible a 8
Detección de error en mediciones de ΔP	Si	Si
Preselección de la cantidad de válvulas a operar	Si	No
Modo backup en caso de detección de error	Si	No
Dispara enjuagues de forma manual, por diferencias de presión y/o intervalos de tiempo programados.	Si	Si
Muestra al usuario el valor de presión diferencial que presenta la estación de filtrado de agua (en tiempo real) y el valor de punto de disparo por ΔP (establecido por el operador).	Si	No

Ciclos de prueba de funcionamiento	No	Si
Preselección del tiempo de Dwell	Si	Si
Preselección del tiempo de estabilización	No	Si

5.2.3 Análisis económico

La primera fase del análisis económico es la correspondiente a la comparación del costo total del controlador de retrolavados diseñado (prototipo), en relación con el valor económico que posee el dispositivo Filtron 246 en el mercado (750 USD); para ello en la tabla 5.3 se presenta una descripción de la inversión necesaria para desarrollar el dispositivo (costo de componentes, tarjetas electrónicas y carcasa), la cual como se observa es 73.75% menor al valor de la inversión que debe realizar actualmente la empresa (la descripción detallada del costo de cada uno de los componentes y las tarjetas se puede observar en el apéndice A.5).

Tabla 5.3. Descripción de la inversión necesaria para elaborar el controlador de retrolavados.

Descripción	Valor unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Componentes electrónicos	99,89	1	99,89
Tarjetas electrónicas	26,67	1	26,67
Carcasa	65,79	1	65,79
Envío	4,5	1	4,5
Total (USD)			196,85

Como segunda fase, se incorpora el costo de la indemnización mensual recibida, al total presentado en la tabla 5.3; suma que representa el costo total del proyecto (tabla 5.4). A pesar de que este sobrepasa el costo que posee el controlador Filtron 246 en el mercado, es importante resaltar que el prototipo diseñado le permite a la empresa; reemplazar los dispositivos dañados en un menor tiempo al actual, debido a que el valor económico del dispositivo en sí (131,06 USD, incluyendo envío, y sin carcasa), le permite a Papagayo

Servicios Generales poseer un stock de dispositivos (tarjetas electrónicas ya ensambladas) en su almacén, lo cual no ocurre actualmente, por otro lado, el dispositivo aparte de poseer características similares al modelo Filtron 246, provee aún más funcionalidades que este (tabla 5.2), como lo es la capacidad de transmitir datos hacía el sistema SCADA (lo cual le brinda a los ingenieros encargados del mantenimiento de las estaciones la capacidad de conocer el estado del sistema de filtración en tiempo real, apartado 4.2.2), por último, se resalta que este dispositivo es desarrollado con base a cada uno de los requerimientos de la empresa (diseño personalizado).

Tabla 5.4. Descripción de la inversión realizada por la empresa en el proyecto.

Descripción	Valor unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
Controlador de retrolavados	196,85	1	196,85
Subsidio mensual	600	4	2.400,00
Total (USD)			2.596,85

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Las pruebas de campo realizadas demuestran el correcto funcionamiento del prototipo elaborado; ya que durante estas se implementan exitosamente ciclos de retrolavado a sistemas de filtración de agua (con y sin válvula maestra).

El controlador de retrolavados diseñado acciona automáticamente ciclos de enjuague cuando se alcanzan los valores fijados por el operador como puntos de disparo (por timer y ΔP), y mediante accionamientos manuales.

El algoritmo computacional elaborado controla exitosamente la apertura y cierre de válvulas hidráulicas en estaciones de filtración, puede accionar hasta 3 clases distintas de solenoides (LATCH, AC o DC), es capaz de controlar ciclos de retrolavado en sistemas sencillos de un filtro (sin válvula maestra), o en otros más complejos de hasta 7 filtros con válvula maestra.

Con la interfaz de usuario diseñada se logran adquirir los datos necesarios para que el dispositivo ejecute su funcionamiento e inclusive mediante esta se muestran alertas, mensajes y requerimientos al operador.

Aunque no se posea un set de pruebas específicas realizadas a la carcasa elaborada, las experimentaciones realizadas en el campo corroboran que el diseño de esta protege al dispositivo (tarjetas electrónicas) contra el contacto de: animales silvestres presentes en la zona, insectos o alguna clase de anfibio; gracias a su estructura cerrada. Además, con los empaques colocados en las aberturas destinadas a la entrada/salida de cables y en la sección de la tapa protectora de la pantalla; se garantiza el no ingreso de polvo o de agua a lo interno de la carcasa.

Se logra extraer la información en tiempo real correspondiente al valor de presión diferencial al cual está operando el sistema de filtración, punto de disparo por ΔP establecido por el operador, número de filtro que está siendo retrolavado y estado del

controlador (ok o error); utilizando el protocolo de comunicación ModBus RTU, desde un dispositivo maestro.

Las comparaciones técnicas y económicas realizadas entre el prototipo diseñado y el dispositivo utilizado actualmente por la empresa demuestran que el controlador elaborado es más eficiente; ya que: en el aspecto técnico este reduce el consumo de potencia en aproximadamente 9W y aumenta las características funcionales proveídas al usuario. En cuanto al aspecto económico el costo de manufactura es un 70% menor al valor de la inversión que debe realizar la empresa para adquirir el dispositivo Filtron 246.

6.2 Recomendaciones

Proveer un manual de usuario a la empresa en el cual se estipulen los temas de manipulación, instalación y programación del controlador de retrolavados diseñado.

La persona encargada de instalar, y manipular el dispositivo (operador); debe previamente leer el manual de usuario del controlador, y ser capacitado en el uso de este por un experto.

Se recomienda a la empresa revisar la instalación eléctrica y física de los lugares en los cuales ubican sus equipos (destinados en general a automatizar procesos), puesto que a pesar de que estos cumplen con la norma IP65, presentan una reducción significativa de su vida útil; a causa del contacto directo en los tomacorrientes con agua de lluvia, lo que afecta a los dispositivos conectados en esos sitios.

Por último, se recomienda a la empresa evaluar la aplicabilidad y funcionalidad del prototipo a mediano plazo en sus instalaciones; con el fin de proveer una realimentación en cuanto al desempeño e inconvenientes presentados durante su manipulación y así posteriormente implementar las mejoras que sean requeridas en el dispositivo.

Bibliografía

- [1] Albercas Ecológicas. (2013). Obtenido de: <http://albercasecologicas.weebly.com/blog/1>
- [2] ARKAL SPIN KLIN DISC. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=Ot8LzXv1m2k>
- [3] Arkal Spin Klin Disc Filtration. Obtenido de:
<https://www.youtube.com/watch?v=dFS1tdwv3h0>
- [4] ARKAL SPIN KLIN Sistemas de Filtración con Contralavado Automático. Obtenido de:
http://www.irrigationglobal.com/products/arkal/2_Spin_Klin_SK_compact_stand_alone_manual_es.pdf
- [5] Arranque y protección de motores CA. Schneider Electric.
- [6] ATmega328/P. Atmel (2016). Atmel-42735B-328/P_Datasheet_Summary-11/2016.
- [7] Códigos de error Modbus. Obtenido de: <http://www.xmcarne.com/blog-tecnico/errores-modbus/>
- [8] Disc Filter Rings. Obtenido de: <https://www.sprinklerwarehouse.com/DF100-140-p/df100-140.htm>
- [9] EAGLE. Obtenido de: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>.
- [10] ELECTRO ALFA S.A. Obtenido de: <http://www.electroalfacr.com/>
- [11] Filtros Arkal. Obtenido de: <https://www.globalriego.cl/pdf/filtros-arkal.pdf>
- [12] Información Detallada sobre el Protocolo Modbus. Obtenido de: <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>
- [13] Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated. MOTOROLA , Inc. (2001). Freescale Semiconductor, Inc.
- [14] LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. TEXAS INSTRUMENTS. Obtenido de:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [15] MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b. (2006), Modbus-IDA. Obtenido de: <http://www.Modbus-IDA.org>.

- [16] Modicon Modbus Protocol Reference Guide. (1996), MODICON, Inc., Industrial Automation Systems.
- [17] MODBUS over Serial Line Specification and Implementation Guide V1.02. (2006).
Obtenido de: <http://www.modbus.org/>
- [18] Modbus Poll. Obtenido de: http://www.modbustools.com/modbus_poll.html.
- [19] Nextion Home. Obtenido de: <https://nextion.itead.cc/>
- [20] PLC (Controlador Lógico Programable). Obtenido de:
<http://www.logicbus.com.mx/plc.php>
- [21] POSITIVE VOLTAGE REGULATORS, L7800 SERIES. (2004), STMicroelectronics.
- [22] Rein Medical. (2017). Clases de protección IP. Obtenido de
<http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html>
- [23] SCADA Systems. Obtenido de: <http://www.scadasystems.net/>
- [24] Sistemas de Filtrado. Obtenido de:
<http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/filtrado.aspx>
- [25] Sistemas SCADA. Obtenido de: <http://www.autracen.com/sistemas-scada/>
- [26] SOLENOID VALVES, Special Purpose. Direct Operated 3W GEM-A, BACCARA VALVES CATALOG.
- [27] SOLENOID VALVES, Special Purpose. Latch, BACCARA VALVES CATALOG.
- [28] Spin Klin Galaxy. Obtenido de: <http://www.pepfilters.com/products/disc/spinklin/galaxy.htm>
- [29] TALGIL Computing & Control LTD. (2007). TALGIL. Obtenido de:
http://www.talgil.com/index.php?current_lang=4
- [30] Tensiones Transitorias. Boletín Informativo, Dirección Estrategia y Desarrollo de Negocios Unidad Sostenibilidad/ Área Eficiencia Energética, CNFL-ICE.
- [31] 2N2222. NPN switching transistors. Obtenido de: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/15067/PHILIPS/2N2222/1745/7/2N2222.html>

[32] 3D Creativa. Obtenido de: <https://www.facebook.com/3dcreativacr/>

Apéndices

A.1 Manual de usuario del controlador de retrolavados

Lista de características:

- Mide el nivel de presión diferencial en las tuberías de entrada y salida de la planta de filtrado de agua (en tiempo real).
- Sensor de presión diferencial empotrado en el dispositivo final.
- Dispara enjuagues de forma manual, por diferencias de presión y/o intervalos de tiempo programados.
- Realiza ciclos de enjuague desde una vez cada 10 minutos hasta una vez cada 24 horas, programa enjuagues que vayan desde 5 segundos hasta 60 segundos, en cada filtro.
- Intercambia información con un dispositivo maestro por medio del protocolo de comunicación ModBus RTU.
- Opera desde 1 hasta 8 electroválvulas de los tipos: 24VAC, 12VDC (NO LATCH), 12VDC (LATCH).
- El operador del dispositivo puede seleccionar la cantidad de válvulas que van a ser manipuladas por el controlador y el tipo de electroválvula que se va a utilizar en el proceso de retrolavado.
- Seleccionar si el controlador va a operar con “master valve”, o no.
- Detecta averías en el sensor de presión diferencial y muestra una alerta.
- El sistema posee un modo backup.
- Posee una interfaz de software mediante una pantalla.
- Muestra al usuario el valor de presión diferencial que presenta la estación de filtrado de agua (en tiempo real) y el valor de punto de disparo por ΔP (establecido por el operador).
- Calibrar las mediciones proporcionadas por el sensor de presión diferencial.
- Permite al operador seleccionar el intervalo que existe entre los lavados de cada filtro (“Dwell time”).
- Alimentación con corriente alterna.
- Protección ante picos de corriente y transientes de tensión.

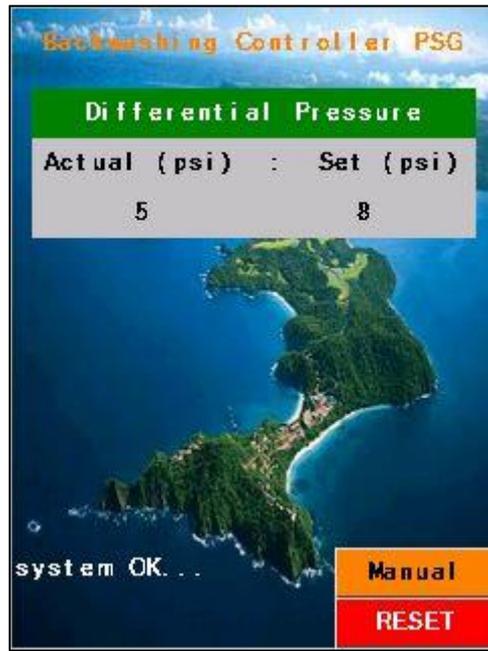
Como programar el controlador:

En la pantalla de ajustes se muestran cada uno de los parámetros necesarios para la operación del dispositivo:



- Dwell time: tiempo de permanencia entre el lavado de cada filtro (de 5 a 60 segundos).
- Master valve: YES/NO, para estaciones con válvula maestra seleccionar YES, en caso contrario NO.
- Number of valves: si Master valve es NO, se pueden operar hasta 8 solenoides, de lo contrario 7.
- Type of valve: NLATCH para válvulas de 15 VDC, LATCH solenoides controladas por pulsos a 15VDC y AC para electroválvulas a 24VAC.
- Flushing time: tiempo de retrolavado por filtro 5 a 60 segundos.
- Trigger by time: si se selecciona 0 minutos, se desactiva el disparador, en caso contrario el tiempo va desde 10 minutos a 24 horas.
- Trigger by DP: valor de punto de presión diferencial al cual ocurren los lavados.
- Botón Calibrate: calibra el sensor de presión diferencial, cuando el proceso es exitoso se muestra la leyenda “OK”, de lo contrario “RETRY”.
- Botón Program: se debe presionar primero el botón Calibrate, de lo contrario el sistema le enviara un mensaje al usuario, se tiene que pulsar una vez ingresados cada uno de los parámetros de la estación.

Operación:

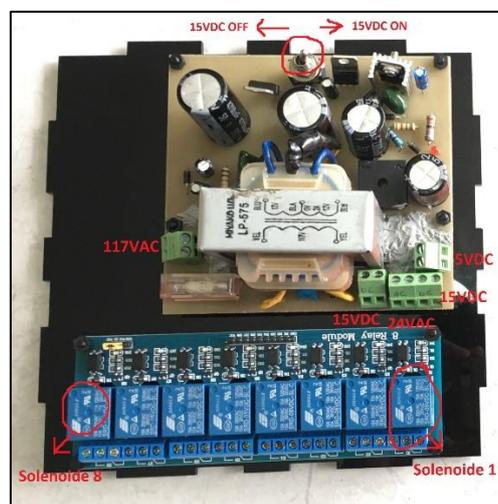


- Botón Manual: dispara un lavado.
- Botón RESET: reinicia el controlador.
- Mensajes: en la esquina inferior izquierda se muestran los mensajes/alertas del dispositivo al usuario.

Válvula maestra:

En caso de que exista válvula maestra en la estación se debe seleccionar Master valve=YES, proceso que reducirá el numero de solenoides que puede controlar el dispositivo a 7. El primer solenoide será el encargado de operar la válvula maestra.

Información técnica:



Para operar solenoides LATCH o DC, el interruptor debe estar hacia la derecha, y caso de que se operen electrovalvulas AC este debe estar hacia la izquierda.

Con válvulas LATCH: conectar -15VDC con el pin de NC del relé y +15VDC con el pin de NO del relé. Cable rojo de la electroválvula al pin de NO y cable negro al pin de NC del relé y el cable blanco a pin central del relé.

Con válvulas DC-AC: conectar ya sea línea o neutro al pin de NO del relé, y de igual forma línea o neutro al cable negro del solenoide, en el caso del cable rojo este se debe conectar al pin de central del relé. El pin NC estará sin conexión.

Realizar pruebas de exigencia al equipo, accionando lavados seguidos por 24 horas cada 10 minutos.

A.2 Código de implementación del controlador de retrolavados

```
#include "Nextion.h"
#include <SimpleModbusSlave.h>
#define HOLDING_REGS_SIZE 4
/*NEXTION DEFINITIONS*/
NexButton prog = NexButton(1, 33, "prog");
NexButton cal_dp = NexButton(1, 14, "cal_dp");
NexButton reset = NexButton(2, 1, "reset");
NexButton manual_Back = NexButton(2, 3, "manual_Back");

NexText response = NexText(1, 34, "response");
NexText u_tt = NexText(1, 18, "u_tt");
NexText u_cal = NexText(1, 15, "u_cal");
NexText _type_v = NexText(1, 16, "_type_v");
NexText master = NexText(1, 36, "master");
NexText message_sys = NexText(2, 8, "message_sys");
NexText message_sys_1 = NexText(2, 9, "message_sys_1");

NexNumber dwell= NexNumber(1, 2, "dwell");
NexNumber n= NexNumber(1, 3, "n");
NexNumber flush_= NexNumber(1, 7, "flush_");
NexNumber t_t= NexNumber(1, 10, "t_t");
NexNumber t_dp= NexNumber(1, 12, "t_dp");
NexNumber set_dp= NexNumber(2, 6, "set_dp");
NexNumber actual_DP= NexNumber(2, 5, "actual_DP");
/*PINS DEFINITION
*
* A0->PIN23-sensor_DP
* 13->PB5->PIN19-valve8
* 12->PB4->PIN18-control
* 11->PB3->PIN17-tx_2
* 10->PB2->PIN16-rx_2
* 9->PB1->PIN15-valve7
* 8->PB0->PIN14-valve6
* 7->PD7->PIN13-valve5
* 6->PD6->PIN12-valve4
* 5->PD5->PIN11-valve3
* 4->PD4->PIN6-valve2
* 3->PD3->PIN5-valve1
* 2->PD2->PIN4-control_reset
* 1->PD1->PIN3-tx
* 0->PD0->PIN2-rx
*/
const int valve_1=3;
const int valve_2=4;
const int valve_3=5;
const int valve_4=6;
const int valve_5=7;
const int valve_6=8;
const int valve_7=9;
const int valve_8=13;
const int _pinADC=A5;
const int control_reset=2;
//const int ModBus_control=12;
```

```

unsigned long BackwashingTime;//this value is setting by an operator.
int setPointDP;//this value is setting by an operator, by default setPointDP=1
unsigned long setPointT;//this value is setting by an operator, by default setPointT=0.
unsigned long Pre_Dwell=15000;//this value need be 15 seconds.
unsigned long Dwell;//this value is setting by an operator, by default Dwell=5.
unsigned long Stabilitazion_time=30000;//this value need be 30 seconds.
unsigned long latch_delay=15;//minimum value.
bool setManual=false;//Manual activation.
int N;//number of valves, by default N=1.
String type_v="";//3 different types: Latch, NLatch and AC, 12VDC, 12VDC and 24VAC
respectively, by default type_v="Latch".
String master_v="";//by default master_v="NO", without master valve.
//const float epsilon=0.002;//uncertainty of the DP sensor.
//int OutputFlagDP;//if the flag is on High state the controller will execute a washing, else won't
do anything.
//int OutputFlagT;//if the flag is on High state the controller will execute a washing, else won't
do anything.
//int OutputFlagM;//if the flag is on High state the controller will execute a washing, else won't
do anything.
int ErrorDP_Flag;//if the flag is on High state the controller will ignore the changes in the DP
sensor.
int ERROR_DETECTED=0;//if the flag is on High state the controller will ignore the changes
in the DP sensor and sets backwashing each 30 minutes.
int overflowFlagDP=0;//if the flag is on High state the controller will reset all variables of time.
//int CalibratinDP_Flag=0;//if the flag is on High state the controller won't execute the function
to calibrate the sensor.
int errorValue=3;//3 times followed are interpreted like an error in the sensor
int accumulatorDP_Flag=0;
//bool h_m_flag=false;
unsigned long startTime=0;
unsigned long lastMesure_DP=0;
unsigned long tMesureStart_accumulator=0;
//unsigned long _overflow= 4000000000;//46.2962963 days
unsigned long errorTime;//=(Pre_Dwell+(N*BackwashingTime)+((N-
1)*Dwell)+Stabilitazion_time+10000)*3, this value include Stabilitazion_time=30 seconds,
unsigned long time_vs_DP;//time_vs_DP= setPointT;
int START_FLAG=3;
int accumulatorDP=0;
float DPpsi_offset=0;
float DPpsi;

//Register a button object to the touch event list.
NexTouch *nex_listen_list[] = {
  //&next2,
  &prog,
  &cal_dp,
  &reset,
  &manual_Back,
  //&page2,
  NULL
};

unsigned int holdingRegs[HOLDING_REGS_SIZE]; // function 3 and 16 register array
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() { //init the pins of the system

```

```

nexInit();
pinMode(valve_1, OUTPUT);
pinMode(valve_2, OUTPUT);
pinMode(valve_3, OUTPUT);
pinMode(valve_4, OUTPUT);
pinMode(valve_5, OUTPUT);
pinMode(valve_6, OUTPUT);
pinMode(valve_7, OUTPUT);
pinMode(valve_8, OUTPUT);
pinMode(control_reset, OUTPUT);
digitalWrite(valve_1,HIGH);//off
digitalWrite(valve_2,HIGH);
digitalWrite(valve_3,HIGH);
digitalWrite(valve_4,HIGH);
digitalWrite(valve_5,HIGH);
digitalWrite(valve_6,HIGH);
digitalWrite(valve_7,HIGH);
digitalWrite(valve_8,HIGH);
// pinMode(ModBus_control, OUTPUT);
//next2.attachPop(next2PopCallback, &next2);
prog.attachPop(progPopCallback, &prog);
cal_dp.attachPop(cal_dpPopCallback, &cal_dp);
reset.attachPop(resetPopCallback, &reset);
manual_Back.attachPop(manual_BackPopCallback, &manual_Back);
//page2.attachPop(page2PopCallback);
modbus_configure(10,11, 9600, SERIAL_8N2, 1, 12, HOLDING_REGS_SIZE,
holdingRegs);

// modbus_update_comms(baud, byteFormat, id) is not needed but allows for easy update of
the
// port variables and slave id dynamically in any function.
modbus_update_comms(9600, 1);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
//char * ultoa(unsigned long l, char * buffer, int radix);
uint32_t Carry;
while ((nexSerial.available() <= 0)||((nexSerial.available() >0)){

nexLoop(nex_listen_list);
//nexLoop(nex_listen_list);
if (START_FLAG==0){
if (setPointT!=0){
startTime=millis();
time_vs_DP= setPointT;
}
errorTime=(Pre_Dwell+(N*BackwashingTime)+((N-
1)*Dwell)+Stabilization_time+1500)*3;//mod
/*if (master_v!="NO"){//TURN OFF MASTER
if(type_v=="LATCH"){
//turn on the master valve
//Start_System();
digitalWrite(valve_1,LOW);//PULSE ON
delay(latch_delay);
digitalWrite(valve_1,HIGH);//PULSE OFF

```

```

    }
    else{
        Start_System(); //enciende master
    }
}
else{//WITHOUT MASTER
    Start_System();
}*/
START_FLAG=1;
//nexLoop(nex_listen_list);
}
else if (START_FLAG==1){
    nexLoop(nex_listen_list);
    modbus_update();
    Carry=uint32_t (setPointDP);
    set_dp.setValue(Carry);
    if (type_v!="LATCH"){
        nexLoop(nex_listen_list);
        Backwashing_Logic();
        if(ERROR_DETECTED==1){
            message_sys.setText("SYSTEM ERROR");
            message_sys_1.setText("PRESS RESET");
        }
        nexLoop(nex_listen_list);
        //Start_System();
    }
    else{
        nexLoop(nex_listen_list);
        Backwashing_Logic_L();
        if(ERROR_DETECTED==1){
            message_sys.setText("SYSTEM ERROR");
            message_sys_1.setText("PRESS RESET");
        }
    }
}
holdingRegs[0] = ERROR_DETECTED; // set register according to button on Slave
holdingRegs[1] = setPointDP; // set register according to button on Slave
holdingRegs[2] = int(round(DPpsi)); // set register according to button on Slave
holdingRegs[3]= 0; // set register according to button on Slave
//delayMicroseconds(5000);
}
}
/**/
//unsigned long B=millis();
//unsigned long T=(B-A);
//float t=T/1000;
//lcd.clear();
//lcd.setCursor(0,0);
//lcd.print(t);
}
void progPopCallback(void *ptr) {
    //Serial.println(Serial.read());
    bool h_m_flag=false;
    String a;
    uint32_t Carry;
    char buff [10] = {0};
    String m_h;

```

```

memset(buff, 0, sizeof(buff));
u_cal.getText(buff, sizeof(buff));
a=String(buff);
if (a=="OK"){
    //get all the values
    dwell.getValue(&Carry);
    Dwell=Carry;
    Dwell=Dwell*1000;

    n.getValue(&Carry);
    N=int(Carry);

    flush_.getValue(&Carry);
    BackwashingTime=Carry;
    BackwashingTime=BackwashingTime*1000;

    t_dp.getValue(&Carry);
    setPointDP=int(Carry);

    memset(buff, 0, sizeof(buff));
    u_tt.getText(buff, sizeof(buff));
    m_h=String(buff);
    if (m_h=="m"){//m
        h_m_flag=false;
    }
    else{
        h_m_flag=true;
    }

    t_t.getValue(&Carry);
    setPointT=Carry;

    if (setPointT!=0){
        if (h_m_flag==false){//minutes
            setPointT=setPointT*60*1000;
        }
        else{
            setPointT=setPointT*60*60*1000;//hours
        }
    }
    memset(buff, 0, sizeof(buff));
    _type_v.getText(buff, sizeof(buff));
    type_v=String(buff);

    memset(buff, 0, sizeof(buff));
    master.getText(buff, sizeof(buff));
    master_v=String(buff);

    response.setText("Loading...");
    delay(1000);
    response.setText("OK");
    START_FLAG=0;
}
else {
    //retry

```

```

    if (a!="Retry"){
        response.setText("First press calibrate...");
    }
    else{
        response.setText("RETRY..");
    }
}

}

void cal_dpPopCallback(void *ptr) {
    //Serial.println(Serial.read());
    //calibrating_DP();
    float epsilon=0.002;
    int sensorValue= analogRead(_pinADC);
    // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
    float voltage= sensorValue * (5 / 1023.0);
    float offset = (((voltage-epsilon)-0.2)/0.009)*.145;//took of Datasheet
    DPpsi_offset=-offset;
    sensorValue = analogRead(_pinADC);
    // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
    voltage = sensorValue * (5 / 1023.0);
    DPpsi = (((voltage-epsilon)-0.2)/0.009)*.145 + DPpsi_offset;//took of Datasheet
    if (int(round(DPpsi))==0){
        u_cal.setText("OK");
    }
    else{
        u_cal.setText("RETRY");
    }
}

}

void resetPopCallback(void *ptr) {
    // Serial.println(Serial.read());
    message_sys_1.setText("RESET...");
    digitalWrite(control_reset,HIGH);
    //message_sys_1.setText("RESET...");
}

}

void manual_BackPopCallback(void *ptr) {
    //Serial.println(Serial.read());
    setManual=true;
    message_sys_1.setText("MANUAL");
}
/*
*
* Backwashing main logic to everytype of valve:
*
*
* Reads if somewhere flag is on High state, next it does a routine for wash the filters.
* It consists of first turn off the valves and next turn on the valves one by one while
* the others are off.
*
*
*/
void Backwashing_Logic(){//for AC and DC except latch valves

```

```

int valve_;
int i;
int N_;
if (setPointT!=0){
  if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Timer_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){
    //Each time value are based on the times diagram
    if (master_v=="NO"){
      i=0;
      N_=N;
    }
    else{
      i=1;
      N_=N+1;
      digitalWrite(valve_1,LOW);//close the master valve; TURN ON SOLENOID
    }
    delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
    for (i;i<N_;i++){
      if (i==0){
        valve_=valve_1;
      }
      else if (i==1){
        valve_=valve_2;
      }
      else if (i==2){
        valve_=valve_3;
      }
      else if (i==3){
        valve_=valve_4;
      }
      else if (i==4){
        valve_=valve_5;
      }
      else if (i==5){
        valve_=valve_6;
      }
      else if (i==6){
        valve_=valve_7;
      }
      else if (i==7){
        valve_=valve_8;
      }
    }
    digitalWrite(valve_,LOW);//TURN ON SOLENOID
    delay(BackwashingTime);//flush time
    digitalWrite(valve_,HIGH);//TURN OFF SOLENOID
    if
    (((N_==1)&&(i==0))||((N_==2)&&(i==1))||((N_==3)&&(i==2))||((N_==4)&&(i==3))||((N_==
5)&&(i==4))||((N_==6)&&(i==5))||((N_==7)&&(i==6))||((N_==8)&&(i==7)))
    //nada
  }
  else{
    delay(Dwell);//Dwell time
  }
}
delay(Stabilitazion_time); //delay of stabilizazion
if (master_v=="YES"){
  digitalWrite(valve_1,HIGH);//open the master valve, TURN OFF SOLENOID

```

```

    }
  }
}
else{
  if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||((Manual_Trigger()==1)){
    if (master_v=="NO"){
      i=0;
      N_=N;
    }
    else{
      i=1;
      N_=N+1;
      digitalWrite(valve_1,LOW);//close the master valve, TURN ON SOLENOID
    }
    delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
    for (i;i<N_;i++){
      // holdingRegs[3]= i+1; // set register according to button on Slave

      if (i==0){
        valve_=valve_1;
      }
      else if (i==1){
        valve_=valve_2;
      }
      else if (i==2){
        valve_=valve_3;
      }
      else if (i==3){
        valve_=valve_4;
      }
      else if (i==4){
        valve_=valve_5;
      }
      else if (i==5){
        valve_=valve_6;
      }
      else if (i==6){
        valve_=valve_7;
      }
      else if (i==7){
        valve_=valve_8;
      }
    }
    //modbus();
    digitalWrite(valve_,LOW);//TURN ON SOLENOID
    delay(BackwashingTime);//flush time
    digitalWrite(valve_,HIGH); //TURN OFF SOLENOID
    //modbus();
    if
    (((N_==1)&&(i==0))||((N_==2)&&(i==1))||((N_==3)&&(i==2))||((N_==4)&&(i==3))||((N_==
    5)&&(i==4))||((N_==6)&&(i==5))||((N_==7)&&(i==6))||((N_==8)&&(i==7)))
    {
    }
    else{
      delay(Dwell);//Dwell time
    }
  }
}

```

```

    delay(Stabilization_time); //delay of stabilization
    if (master_v=="YES"){
        digitalWrite(valve_1,HIGH);//open the master valve, TURN ON SOLENOID
    }
}
}
message_sys_1.setText(" ");
}

```

void Backwashing_Logic_L(){//for latch valves, latch valves are activated and deactivated with a pulse

```

//message_sys_1.setText("LATCH");
int valve_;
int i;
int N_;
if (setPointT!=0){
    if ((MPX5500DP_Trigger()==1)||(Timer_Trigger()==1)||(Manual_Trigger()==1)){//ok
        //Each time value are based on the times diagram
        if (master_v=="NO"){
            i=0;
            N_=N;
        }
        else{
            i=1;
            N_=N+1;
            //turn off master valve, TURN ON SOLENOID
            digitalWrite(valve_1,LOW);//PULSE ON
            delay(latch_delay);
            digitalWrite(valve_1,HIGH);//PULSE OFF
        }
        delay(Pre_Dwell);//Pre Dwell
        for (i;i<N_;i++){
            if (i==0){
                valve_=valve_1;
            }
            else if (i==1){
                valve_=valve_2;
            }
            else if (i==2){
                valve_=valve_3;
            }
            else if (i==3){
                valve_=valve_4;
            }
            else if (i==4){
                valve_=valve_5;
            }
            else if (i==5){
                valve_=valve_6;
            }
            else if (i==6){
                valve_=valve_7;
            }
            else if (i==7){
                valve_=valve_8;
            }
        }
    }
}

```



```

else if (i==4){
    valve_=valve_5;
}
else if (i==5){
    valve_=valve_6;
}
else if (i==6){
    valve_=valve_7;
}
else if (i==7){
    valve_=valve_8;
}
//TURN ON SOLENOID
digitalWrite(valve_,LOW);//PULSE ON
delay(latch_delay);
digitalWrite(valve_,HIGH);//PULSE OFF
//flush time
delay(BackwashingTime);
//TURN OFF SOLENOID
digitalWrite(valve_,LOW);//PULSE ON
delay(latch_delay);
digitalWrite(valve_,HIGH);//PULSE OFF
if
(((N_==1)&&(i==0))||((N_==2)&&(i==1))||((N_==3)&&(i==2))||((N_==4)&&(i==3))||((N_==
5)&&(i==4))||((N_==6)&&(i==5))||((N_==7)&&(i==6))||((N_==8)&&(i==7))) {
    //nada
}
else{
    delay(Dwell);//Dwell time
}
}

delay(Stabilitazion_time); //delay of stabilizacion
if (master_v=="YES"){
    //turn on master valve, TURN OFF SOLENOID
    digitalWrite(valve_1,LOW);//PULSE ON
    delay(latch_delay);
    digitalWrite(valve_1,HIGH);//PULSE OFF
}
}
}
message_sys_1.setText(" ");
}
/*
*
* Trigger by MPX5500DP reading:
*
*
* Reads the voltage given for the MPX5500DP sensor module, next interpretes the value (psi),
* if the value is bigger or equal than the set value by the operator a flag will be gets up
* on the contrary gets down.
*
*
*/
int MPX5500DP_Trigger(){
    // read the input on analog pin 0:

```

```

int OutputFlagDP;
float epsilon=0.002;
uint32_t Carry;
int sensorValue = analogRead(_pinADC);
// Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
float voltage = sensorValue * (5 / 1023.0);
DPpsi = (((voltage-epsilon)-0.2)/0.009)*.145 + DPpsi_offset;//took of Datasheet
int INT_PSI=int(round(DPpsi));
Carry=uint32_t(INT_PSI);
actual_DP.setValue(Carry);
if ((INT_PSI>=setPointDP)&&(ERROR_DETECTED!=1)){

    if (accumulatorDP==0){
        tMeasureStart_accumulator=millis();
        accumulatorDP=1;
    }
    else{ //this section eliminates the exponential wrong
        if (accumulatorDP==errorValue){
            accumulatorDP_Flag=1;
            accumulatorDP=errorValue-1;
        }
        accumulatorDP +=1;
    }
    if ((ErrorDP_Detection())==1){

        if (overflowFlagDP==0){
            //anula esta funcion
            ERROR_DETECTED=1;
            if (setPointT==0){
                setPointT=1800000;//debe poner el tiempo de lavado en cada 30 minutos minimo, es un
backup
                //setPointT=10000;
                startTime=millis();
                time_vs_DP= setPointT;
            }
        }
        overflowFlagDP=0;
        OutputFlagDP=0;
    }
    else {
        OutputFlagDP=1;
        message_sys_1.setText("DP");
        lastMeasure_DP=millis();//con esta se puede arreglar el problema
        if (setPointT!=0){
            startTime=lastMeasure_DP;//este se agrega para reiniciar el lavado por timer, entonces ya
no se van a dar lavados cercanos nunca
        }
        if ((accumulatorDP==3)&&(accumulatorDP_Flag==1)){
            accumulatorDP=0;
            accumulatorDP_Flag=0;
        }
    }
}
else {
    OutputFlagDP=0;

```

```

    }
    return OutputFlagDP;
}
/*
*
* Trigger by timer reading:
*
*
* Reads the time set value by the operator and if the value is achieved a flag will be gets
* up on the contrary gets down.
*
*
*/
int Timer_Trigger(){//
    int OutputFlagT;
    unsigned long _overflow= 4000000000;
    int overflowFlagT=0;
    unsigned long finishTime;
    unsigned long currentTime;
    unsigned long currentTimeDP;
    finishTime=millis();
    currentTime=finishTime-startTime;
    currentTimeDP=finishTime-lastMesure_DP; //if it is less or equal to 3.33 minutes the
backwashing is not executed
    if ((currentTime) >= _overflow){
        startTime=millis();
        OutputFlagT=0;
        overflowFlagT=1;
    }
    if ((currentTime>=setPointT)&&(overflowFlagT==0)){//ok
        if (currentTimeDP<time_vs_DP){//si el tiempo actual desde la ultima medicion de deltap es
menor al tiempo que debe haber entre lavados se ejecuta
            OutputFlagT=0;
        }
        else {
            if (currentTimeDP>= _overflow){//I don't know
                accumulatorDP=0;
                OutputFlagT=0;
                startTime=millis();
            }
            else{
                OutputFlagT=1;
                message_sys_1.setText("TIMER");
                startTime=millis();
            }
        }
    }
    else {
        OutputFlagT=0;
    }
    return OutputFlagT;
}
/*
* Trigger by manual activation:
*

```

```

* Check if the operator push the button to do a backwashing, if is true a flag will be gets
* up on the contrary gets down.
*
*
*/
int Manual_Trigger(){//
int OutputFlagM;
if (setManual==true){
OutputFlagM=1;
if (setPointT>0){
startTime=millis();
}
setManual=false;
}
else {
OutputFlagM=0;
//Serial.println("manual trigger off");
}
return OutputFlagM;
}
/*
* Error in the messure of MPX550DP:
*
* Process to verify if the system doesn't have any error in DP sensor
*
*/
int ErrorDP_Detection(){
//int overflowFlagDP=0;
unsigned long _overflow= 4000000000;
unsigned long init_to_finsh_DP;
unsigned long currentDp_accumulator;
currentDp_accumulator=millis();
init_to_finsh_DP=currentDp_accumulator-tMeasureStart_accumulator;//if it is less or equal to 9
minutes there a failure in the DP sensor
if (init_to_finsh_DP >= _overflow){
accumulatorDP=0;
ErrorDP_Flag=1;
overflowFlagDP=1;
}

if ((accumulatorDP_Flag==1)&&(init_to_finsh_DP<=errorTime)&&(overflowFlagDP==0)){
ErrorDP_Flag=1;
//accumulatorDP=0;
}
else{
ErrorDP_Flag=0;
//accumulatorDP_Flag=0;
}
return ErrorDP_Flag;
}
/*
* Calibrates the measures of MPX550DP sensor:
*
* Process to calibrates the DP sensor
*
*/

```

```

/*void calibrating_DP(){
  if (CalibratinDP_Flag==0){
    float epsilon=0.002;
    int sensorValue_1 = analogRead(_pinADC);
    // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
    float voltage_1 = sensorValue_1 * (5 / 1023.0);
    float offset = (((voltage_1-epsilon)-0.2)/0.009)*.145;//took of Datasheet
    DPpsi_offset=-offset;
    CalibratinDP_Flag=1;
  }
}*/

/*
void Start_System(){
  if (master_v=="NO"){
    digitalWrite(valve_1,HIGH);//off
    digitalWrite(valve_2,HIGH);
    digitalWrite(valve_3,HIGH);
    digitalWrite(valve_4,HIGH);
    digitalWrite(valve_5,HIGH);
    digitalWrite(valve_6,HIGH);
    digitalWrite(valve_7,HIGH);
    digitalWrite(valve_8,HIGH);

  }
  if(master_v=="YES"){
    if (type_v!="LATCH"){
      digitalWrite(valve_1,LOW);//on
      /*digitalWrite(valve_2,HIGH);
      digitalWrite(valve_3,HIGH);
      digitalWrite(valve_4,HIGH);
      digitalWrite(valve_5,HIGH);
      digitalWrite(valve_6,HIGH);
      digitalWrite(valve_7,HIGH);
      digitalWrite(valve_8,HIGH);
    }
    else{
      digitalWrite(valve_1,HIGH);//on
      digitalWrite(valve_2,HIGH);
      digitalWrite(valve_3,HIGH);
      digitalWrite(valve_4,HIGH);
      digitalWrite(valve_5,HIGH);
      digitalWrite(valve_6,HIGH);
      digitalWrite(valve_7,HIGH);
      digitalWrite(valve_8,HIGH);
    }
  }
}*/

```


A.3 Diagrama de flujo del funcionamiento general del software del controlador de retrolavados

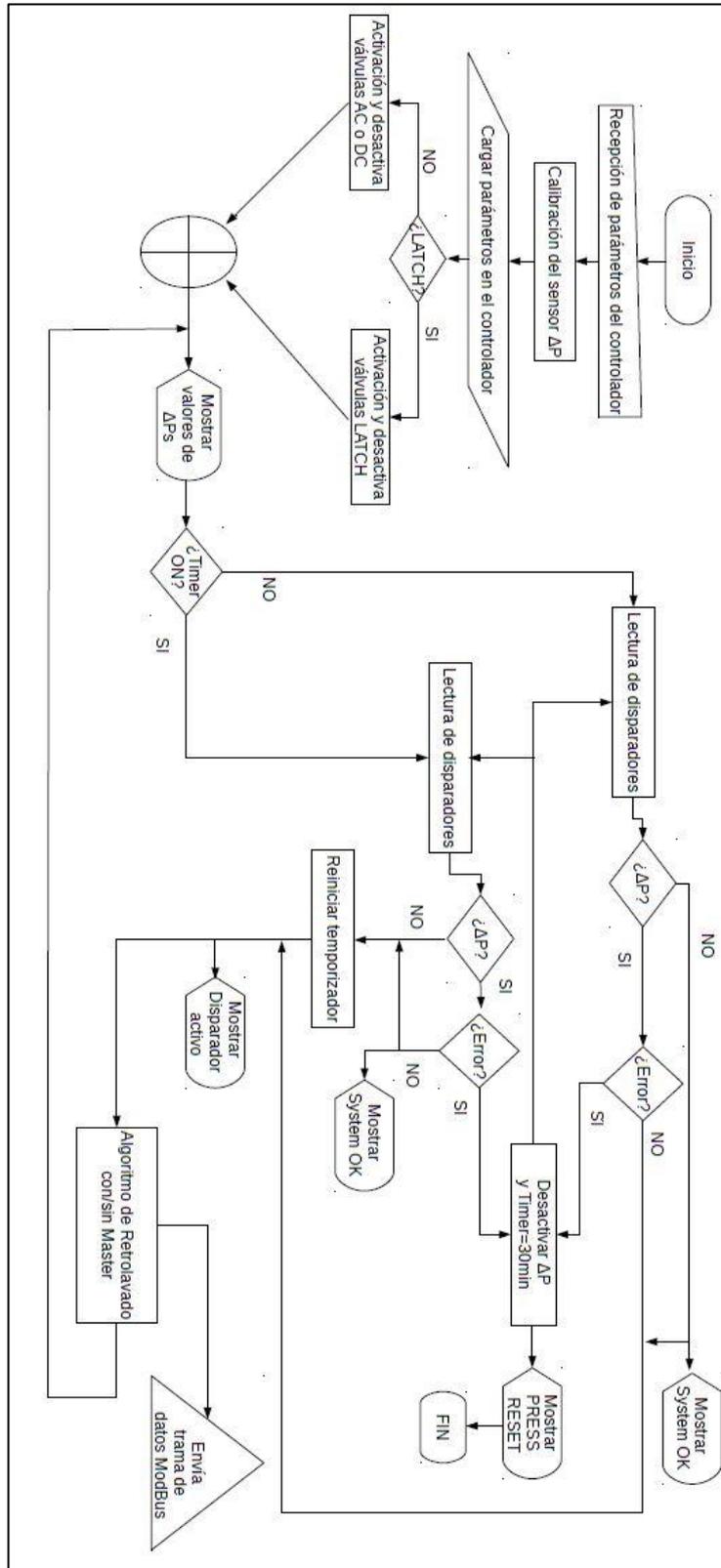


Figura A.3.1. Diagrama de flujo del funcionamiento general del software del controlador de retrolavados.

A.4 Resultado de pruebas de comunicación vía ModBus RTU (modbus Poll)

[14:24:37] Disconnected

[14:24:37] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:37] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:34] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:34] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:31] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:31] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:29] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:28] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:26] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:25] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:22] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:22] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:19] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:19] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:16] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:16] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:13] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:13] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:12] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:10] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:09] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:07] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:06] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16

[14:24:04] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:24:03] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:24:01] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:24:00] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:58] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:57] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:55] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:54] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:52] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:51] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:49] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:48] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:46] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:45] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:43] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:42] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:40] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:39] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:37] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:36] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:34] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:33] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:31] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:30] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 02 74 16
[14:23:28] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:27] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:25] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:23:24] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:22] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:21] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:19] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:18] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:16] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:15] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:23:13] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:12] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 01 74 16
[14:23:10] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:09] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 01 74 16
[14:23:07] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:06] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 01 74 16
[14:23:04] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:03] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 01 74 16
[14:23:01] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:23:00] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 01 74 16
[14:22:58] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:57] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:55] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:54] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:52] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:51] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:49] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:48] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:46] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09

[14:22:45] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:43] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:41] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:40] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:37] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:37] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:34] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:34] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:31] <= Response: 01 03 08 00 00 00 08 00 00 00 00 74 16
[14:22:31] => Poll: 01 03 00 00 00 04 44 09
[14:22:31] Connect to COM 4:9600,N,8,2.0 timeout: 1

A.5 Descripción detallada del costo necesario para elaborar el controlador de retrolavados

Tabla A.5.1. Descripción detallada del costo del prototipo elaborado.

Componente	Precio unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
MAX485 Module	2,95	1	2,95
8 Channel 5V Relay Module for Arduino	9,95	1	9,95
Nextion 2.4" LCD Touch Display (Serial controlled)	16,95	1	16,95
3.3K Ω ½W Resistencia	0,06	1	0,06
10K Ω ½W Resistencia	0,06	2	0,12
22pF / 50V Capacitor Cerámico	0,25	2	0,5
16 MHz Cristal HC-49S	0,95	1	0,95
0.1uF @ 50V Capacitor Electrolítico [A-4531] [100nF]	0,25	3	0,75
40Pin 2.54mm Header Male Breakable	0,6	1	0,6
1uF [105] 50V Capacitor Tantalio	0,38	1	0,38
0.01uF / 50V Capacitor Cerámico	0,25	1	0,25
470pF / 50V Capacitor Cerámico	0,25	1	0,25
Wire Jumper Hembra-Hembra (20 Unidades)	2,4	1	2,4
MPX5500DP - Differential Pressure Sensor	15,95	1	15,95
ATMega328 - microcontroller - bootloader UNO	5,95	1	5,95
2N2222 Transistor NPN Propósito General	0,25	1	0,25
EK500A-2 Bloque Terminal 2 Polos 5mm 45°	0,75	6	4,5
330 Ω ½W Resistencia	0,06	1	0,06
P-520 Cable AC Polarizado 6Ft.	3,1	1	3,1

150VAC 15J Varistor Oxido Zinc 1200A [A- 298]	0,6	1	0,6
330 η F [334] 100V Capacitor Poliester Metalizado [0.33uF] [A- 4115]	0,44	1	0,44
4700uF @ 50V Capacitor Electrolítico	1,95	2	3,9
100uF @ 50V Capacitor Electrolítico	0,55	1	0,55
2200uF @ 50V Capacitor Electrolítico [A-4550]	1,75	1	1,75
Fuse Holder Case w Cover 5x20mm Panel Mount PCB	0,8	1	0,8
0.750A / 250V Fusible Vidrio Europeo (5x20mm)	0,35	1	0,35
LP-575 Transformador Miyako 110VAC 12+12VAC / 2A	10	1	10
L7805 Regulador Voltaje +5VDC	0,6	1	0,6
LED Rojo 3mm Difuso	0,14	1	0,14
120 Ω ½W Resistencia	0,06	2	0,12
1.5k Ω ½W Resistencia	0,06	2	0,12
0.1uF @ 50V Capacitor poliester	0,9	2	1,8
1uF @ 50V Capacitor Electrolítico	0,3	2	0,6
Mini Toggle Switch SPDT ON-ON 125V @ 6A [Blue]	0,8	1	0,8
10uF @ 50V Capacitor Electrolítico	0,35	2	0,7
LM317 Regulador Voltaje Ajustable Positivo	0,99	2	1,98
1N4001 Diodo Rectificador	0,2	4	0,8
Kit TO-220 Heat Sink Aluminum	1,2	3	3,6
M3 X 6mm Nylon Screw Black	0,13	8	1,04
M3 Nylon Nut Black	0,13	8	1,04

M3 6mm+6mm Nylon Spacer Black Male-Femal	0,13	8	1,04
KBPC1010 Puente Rectificador 700V 10A	1,2	1	1,2
Tarjeta electrónica-etapa de potencia	16,24674196	1	16,24674196
Tarjeta electrónica-etapa de acondicionamiento sensor y ucontroller	10,42571677	1	10,42571677
Carcasa	65,78740226	1	65,78740226
Costo de envío (USD)	4,5	1	4,5
Tipo de cambio	575,5		
Total, del controlador	Total, carcasa	Total, componentes	Total, tarjetas electrónicas
\$196,85	\$65,79	\$99,89	\$26,67
₡113.287,10	₡37.860,65	₡57.486,70	₡15.350,00

A.6 Información sobre Papagayo Servicios Generales PSG Ltda

A.6.1 Descripción de la empresa

La empresa Papagayo Servicios Generales PSG Ltda, es la encargada de velar por el mantenimiento y la logística administrativa del proyecto turístico e inmobiliario: Península Papagayo, desarrollado por Ecodesarrollo Papagayo, concesionario del Estado costarricense, en cumplimiento del Plan Maestro acordado con el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) a través de la oficina del Polo Turístico Golfo de Papagayo. En dicho Plan Maestro se tiene el compromiso de desarrollar a partir de 1999, en un período de 28 años, la Península de Nacascolo, incluyendo entre otros: nueve hoteles, tres campos de golf, al menos 1.580 unidades residenciales, clubes de playa, una marina y un pueblo comercial, con todas las facilidades y servicios.

A.6.1 Descripción del departamento en el cual se realizó el proyecto

El departamento de recursos hídricos es el encargado de garantizar el uso eficiente del agua en el proyecto turístico e inmobiliario Península Papagayo, así como de proveer un servicio de calidad a sus clientes, el cual debe ser acorde a los estándares de calidad exigidos por las cadenas hoteleras instaladas en el proyecto.

Anexos

B.1 Planos de la carcasa protectora del controlador de retrolavados

Planos diseñados por la empresa 3DCreativa para la manufactura de la carcasa protectora del controlador de retrolavados.

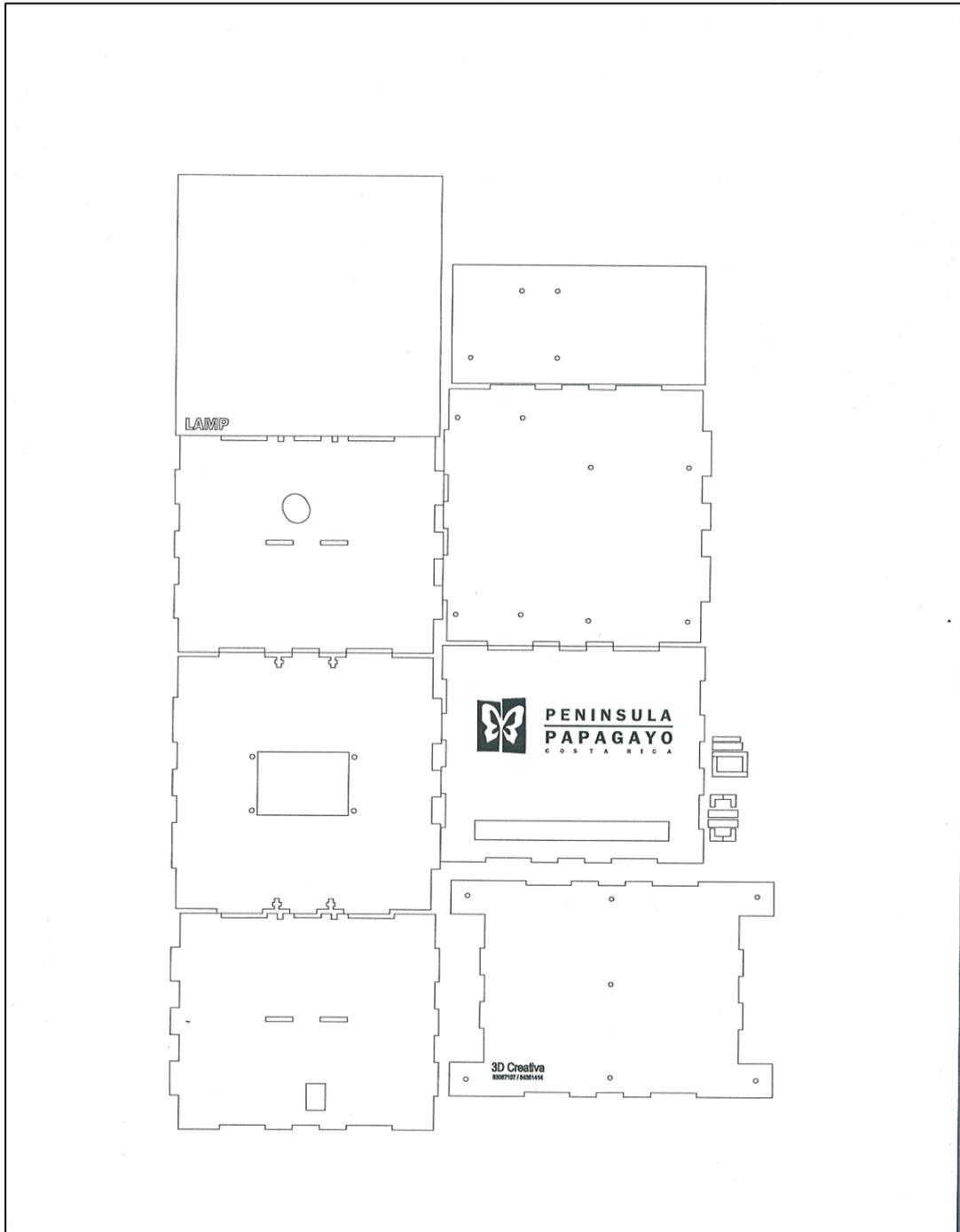


Figura B.1.1. Planos de la carcasa protectora del controlador de retrolavados.

B.2 Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246 de compañía Talgil



TALGIL
Computing & Control Ltd.

Talgil Computing & Control Ltd.
Haifa Akko road 7000 P.O.B 775 Kiryat Motzkin 26119
Tel : 972-4-8775948 Fax : 972- 4-8775949
E-mail : talgil33@netvision.net.il

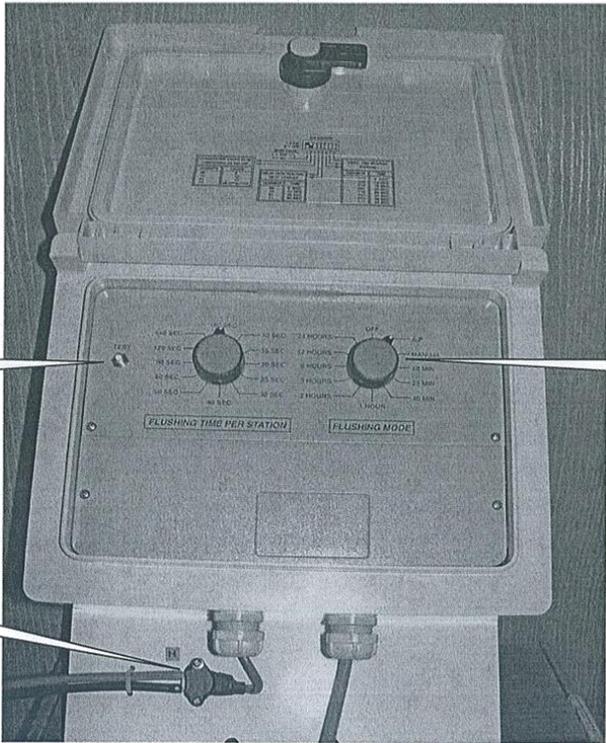
FILTRON 246 + DP BUILT IN

The FILTRON 246 backflushing controller designed and manufactured by TALGIL to meet the demands of a low cost easy to use controller.

The FILTRON 246 exists in 3 sizes - with 2, 4 or 6 stations. DC and AC versions are available. The DC versions are powered by a 12v Alkaline battery. The AC versions include built-in transformer of 24v.

The program selection is done by two ROTARY SWITCHES and an internal DIP-SWITCH that enables setting some rarely changing parameters. Optionally an external counter can be added to count the number of backflushing cycles.

New models are now available with a built-in electronic Pressure Differential sensor (DP) that enhances the accuracy and the reliability of the control system.



The photograph shows the front panel of the Filtron 246 controller. It features a 'TEST' button on the left, a 'DP sensor' port at the bottom, and two rotary switches on the right. The left rotary switch is labeled 'FLUSHING TIME PER STATION' and has settings for 10 SEC, 20 SEC, 30 SEC, 45 SEC, 1 MIN, and 2 HOURS. The right rotary switch is labeled 'FLUSHING MODE' and has settings for OFF, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100. A small label 'THE NOTION' is visible on the top panel.

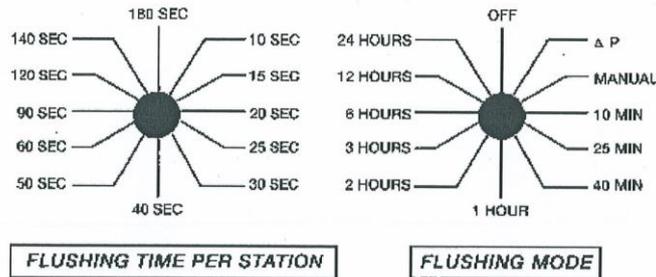
Figura B.2.1. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

LIST OF FEATURES

- ❖ DC or AC versions available
- ❖ Flushing triggered by Pressure Difference only
- ❖ Flushing triggered by Pressure Difference and/or time intervals
- ❖ User selectable parameters include:
 - ❖ mode of operation: Manual, DP only, DP with time override
 - flushing cycle
 - flushing time
 - dwell time
 - differential pressurstat response time.
 - number of consecutive backflush cycles caused by faulty DP that will be considered circular endless looping.
- ❖ Built-in electronic DP sensor
- ❖ A special test button for initiating immediate test cycles
- ❖ Optional activation counter
- ❖ Detecting and eliminating circular endless looping

PROGRAM SELECTION

There are two rotary switches on the front panel, the right switch selects the FLUSHING MODE and the left switch selects the FLUSHING TIME PER STATION.



- ❖ When the right switch is in the OFF position the controller is switched off and no flushing will take place. The internal buzzer keeps sounding every 4 seconds to indicate that the controller is energized.
- ❖ When the right switch points to the DP position, backflushing will only take place when the pressure differential indication is received.
- ❖ When the right switch is on MANUAL position, a single flushing cycle is initiated.
- ❖ In all other positions of the right switch, the controller will flush according to the specified cycle or upon detection of the pressure differential signal, the event that occurs first.
- ❖ Changing the position of any of the switches makes the buzzer sound. The right switch will make a longer beep when passing through the OFF position and the left switch will make a longer beep when passing the 10 SEC position. The longer beep helps readjusting the position of knobs when needed.

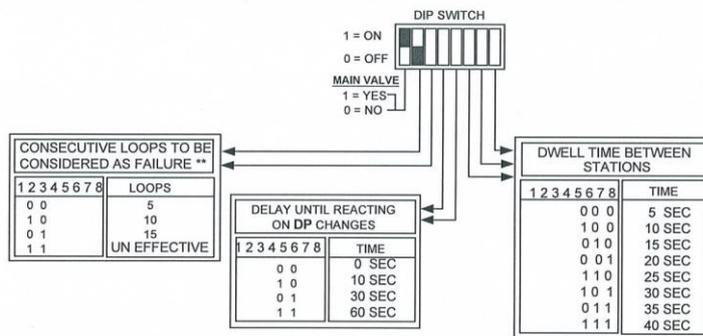
Figura B.2.2. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

ADJUSTING THE POSITION OF THE ROTARY SWITCHES KNOBS

1. Keep turning the rotary switch clockwise until you hear the longer beep.
2. At the right switch, fasten the knob with the arrow pointing on OFF.
3. At the left switch, fasten the knob with the arrow pointing on 10 SEC.

SETTING THE CONSTANT PARAMETERS

At the bottom right corner of the main PCB board there is a block of DIP-SWITCHES used for setting some constant parameters. The following drawing which appears also on the internal side of the controller's cover, describes how to set the parameters using the DIP-SWITCHES.



When the DP signal keeps arriving after executing the specified number of consecutive back flushing cycles, it will be considered a failure of endless looping. An alarm sound will indicate the failure and the DP signal will be ignored. If the selected flushing mode includes time override, the time based cycles will continue uninterruptedly with the selected interval.

To recover normal operation when the endless DP signaling stops, the right rotary switch has to be rotated to OFF position and back to its normal position.

MAIN VALVE

The unit can control a downstream main valve which is turned off while flushing to increase pressure. When such a main valve is incorporated in the system, DIP SWITCH No. 1 will be set ON, otherwise it will remain OFF. The main valve will be connected to output No.2 in FILTRON 2, to output No. 4 in FILTRON 4 and to output No. 6 in FILTRON 6.

Figura B.2.3. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

SETTING THE DP SENSOR

The DP sensor is connected to the hydraulic system by two command tubes. A red command tube upstream the filter and a black command tube downstream the filter. The PCB that controls the DP sensor is separate from the main board. On this PCB another block of DIP-SWITCHES can be found (S1), these switches are used for setting the reaction point of the DP as indicated in the table below.

	S1 (1=ON ; 0=OFF)	Reaction pressure difference	
		Atm.	psi
00	0 0 0 0	The unit is not active	
01	1 0 0 0	0.1	2
02	0 1 0 0	0.3	4
03	1 1 0 0	0.4	6
04	0 0 1 0	0.5	8
05	1 0 1 0	0.7	10
06	0 1 1 0	0.8	12
07	1 1 1 0	1.0	14
08	0 0 0 1	1.1	16
09	1 0 0 1	1.2	18
10	0 1 0 1	1.4	20
11	1 1 0 1	1.5	22
12	0 0 1 1	1.6	24
13	1 0 1 1	1.8	26
14	0 1 1 1	1.9	28
15	1 1 1 1	2.0	30

THE LEDS INDICATION

There are two LEDS on the DP control board. The green LED is indicating that the DP signal is ON (contact closed). It will be lighting also when the test button is pushed.

The red LED acts as described in the following table:

The red LED behavior	The indication
The LED is OFF	The unit is not active
A short blink every 5 seconds	Normal operation & battery level above 9.5 v
3 fast blinks every 5 seconds	Operating with low battery, less than 9 v

Figura B.2.4. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

THE TEST BUTTON

Pushing the test button initiates a test cycle. A DP signal is generated (green LED is ON) and when sensed by the main board a flushing cycle is executed testing all the system's components.

TECHNICAL DATA

POWER SOURCES: FOR AC MODELS - 220V/50HZ OR 115/60HZ TRANSFORMED INTO 24V. MAXIMUM POWER 25W.

FOR DC MODELS - 12 V 6AH. DRY ALKALINE BATTERY.

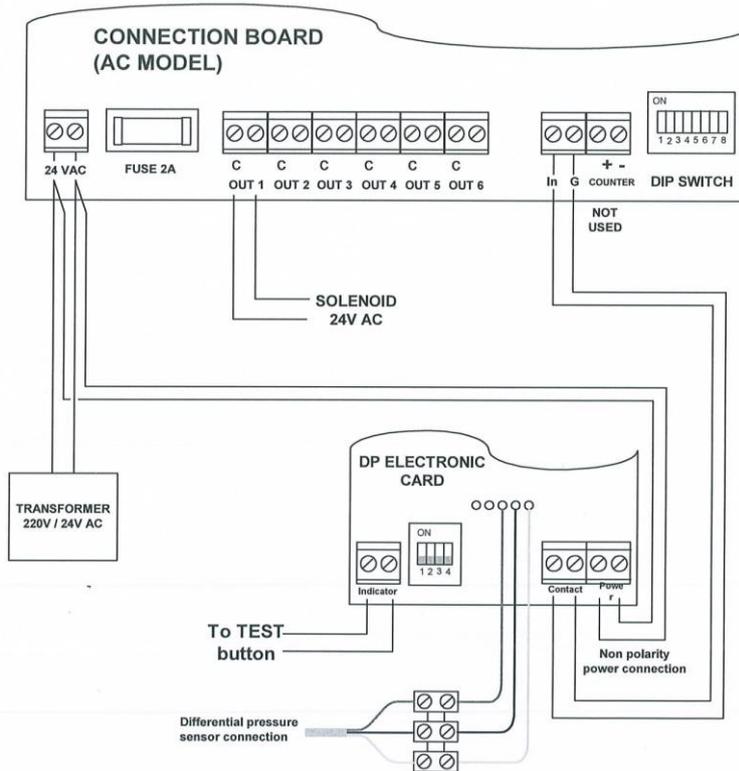


Figura B.2.5. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.

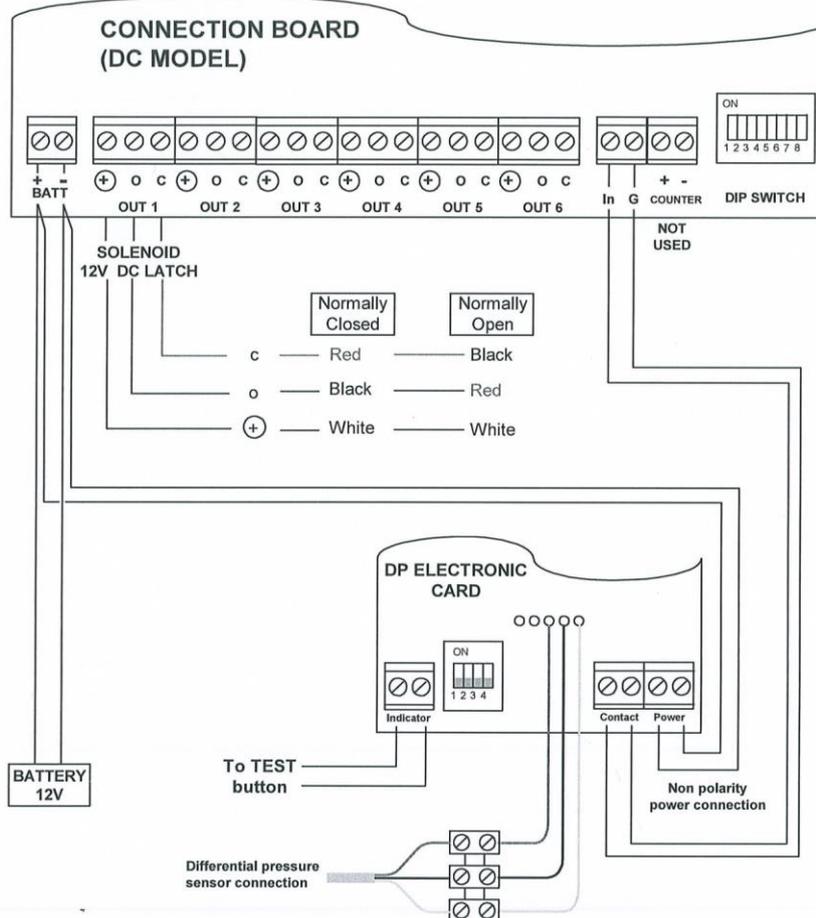


Figura B.2.6. Hoja de datos del controlador de retrolavados Filtron 246, de la compañía Talgil.