

Automatización de un Sistema de Riego Agrícola por Técnica de Goteo y Aspersión

Daniel Gutiérrez, Paul Muñoz, Arturo Suarez

Asesor: Ing. Ricardo J. Palomares Orihuela

Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma – Perú

daniel_gutierrez_a@hotmail.com, paul_2504@hotmail.com, artsua@hotmail.com

RESUMEN

El sistema consiste en la instalación de un sistema de riego doméstico subterráneo, que va a ser controlado por un circuito lógico mediante la gestión del flujo de agua, siendo la salida del circuito de control aplicado a un elemento actuador electro-mecánico. Para ello, una válvula reguladora accionada mecánicamente permanecerá abierta en el nivel requerido. El circuito mide las horas necesarias para la activación, y el riego se realiza en horas de la noche. Por esa razón, se diseña un temporizador digital con el fin de controlar las horas de apertura. Se incluye también un sistema sensorial que mide la intensidad de la luz y la humedad de la tierra para regular el cierre de la llave secundaria que realiza el avance del flujo de agua a través del sistema de tuberías con aberturas suficientemente pequeñas para mantener el riego por goteo. Con el sistema desarrollado se logra obtener un ahorro en el consumo de agua de regadío entre otros beneficios.

PALABRAS CLAVES: Riego por aspersión, riego por goteo, flujo en tuberías, PLC.

ABSTRACT

The system consists of installing an underground domestic watering system, which is to be controlled by a logic circuit by managing the flow of water, being the output of control circuit applied to an electro-mechanical actuator element. For this, a mechanically actuated valve will remain open at the required level. The circuit measures the hours required for activation, and irrigation is carried out in at night. For this reason a digital timer is designed to control the opening hours. Also includes a sensor system that measures the intensity of light and moisture from the ground to regulate the closure of the

secondary key that performs the advance of the flow of water through the pipe system with openings small enough to maintain irrigation drip. With the developed system achieves a saving in water consumption for irrigation and other benefits.

KEY WORDS: Sprinkler irrigation, drip irrigation, pipe flow, PLC.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por goteo surge como alternativa a la escasez de agua a nivel mundial. Al tratarse del problema ambiental más serio de los últimos tiempos, se optó por una investigación detallada de las cantidades y gastos de agua dulce a nivel mundial. El agua, que cubre el 71 por ciento de la superficie terrestre, le otorga a nuestro planeta ese distintivo tono azul perceptible desde el espacio. Sin embargo, a pesar de toda esa agua, la cantidad disponible para el uso humano es sorprendentemente poca. Si imagináramos toda el agua de la tierra en un balde de 1000 litros lleno hasta el borde, la fracción correspondiente al agua dulce, sin contar el agua de los campos de hielo y los glaciares, sería apenas 25 mL [1]. A nivel global, el 70% del agua se utiliza en agricultura, 20% en industria, y 10% para abastecer a la población [2]. Es por esta preocupación que surgió la idea de recurrir a alguna alternativa que permita el uso eficiente del agua para el riego agrícola.

Como alternativa eficaz se recurrió al sistema de riego por goteo, ya utilizado en el medio oriente, el cual consiste en mantener en constante humedad el espacio agrícola a tratar. Ello permite que en el lugar, las plantas permanezcan constantemente obteniendo los nutrientes

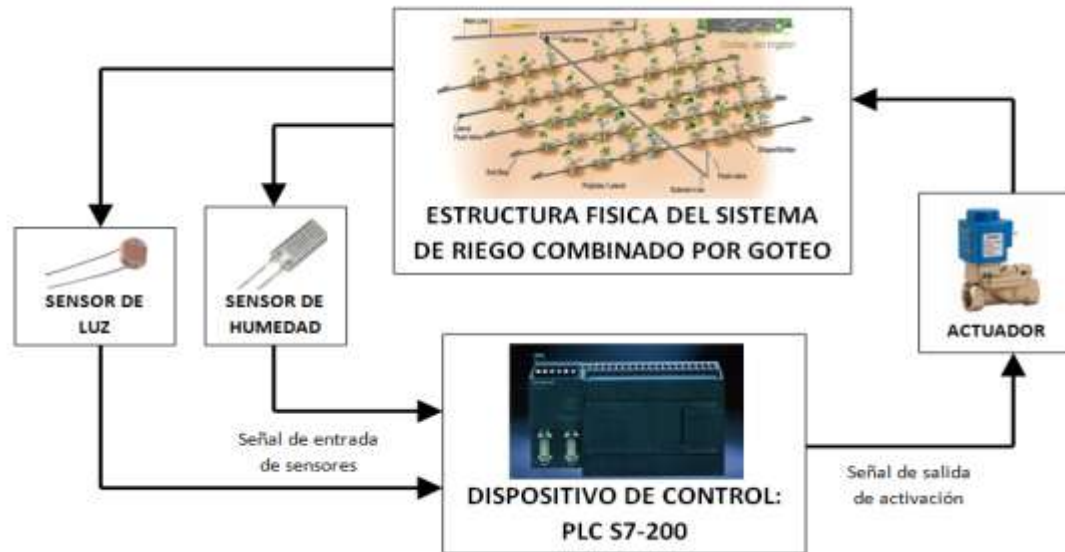


Fig. 1. Sistema de Riego combinado por goteo y aspersión

de los suelos y generando su óptimo desarrollo. Además, proporciona ventajas como evitar el reflejo de los rayos del sol en el agua de riego depositada en la superficie de jardines que queman el mismo y lo amarillentan.

Para la instalación del sistema de riego por goteo es fundamental la obtención de cálculos previos de pérdida de energía y transporte del fluido para tomar decisiones sobre la forma topológica del sistema a instalar y los materiales a utilizar. Además de la decisión del flujo del agua a regular en la válvula principal y la llave secundaria.

En una segunda instancia se diseñará un circuito electrónico de control del sistema de riego. El funcionamiento partirá por el desarrollo de circuitos integrados con lógica booleana. Se utilizarán entradas de sensores de humedad HS1100 con los que se determinará un rango de humedad constante durante la noche. La activación y desactivación del circuito será controlada por un contador que permita determinar las horas de operación del sistema. Existirá una única salida que permita el cerrado de la llave reguladora activada por electroválvula y por un circuito electrónico de potencia.

Con la instalación física del sistema de riego propuesto se logrará mejorar y optimizar los regadíos a nivel doméstico entre otros usos. El sistema y sus componentes se muestran en la Figura N°1.

2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RIEGO

Un sistema de riego por goteo está conformado de líneas principales, líneas secundarias y laterales. Las líneas laterales pueden ser de tubo plástico pequeño combinado con goteros, o simplemente de tubo plástico de baja presión con orificios. Están diseñadas para distribuir agua al campo con un grado aceptable de uniformidad. La línea secundaria actúa como un sistema de control, la cual puede ajustar la presión de agua de tal forma que suministre la cantidad de flujo requerido en cada lateral.

También se utiliza para controlar el tiempo de riego en campos individuales. La línea principal sirve como un sistema de transporte para suministrar la cantidad total de agua requerida en el sistema de riego [3].

Con esa premisa se considerará una regulación mecánica de la salida del flujo de agua en el sistema de riego por goteo a instalar. Para ello se partirá de ecuaciones fundamentales que permitirán obtener las magnitudes del flujo a controlar, además de la forma de la topología a utilizar.

Diseño del Circuito de Control

El circuito de control se implementa a través de un PLC Siemens S7-200 con programación en el software Simatic de lógica proposicional en lenguaje ladder. La

programación contará con temporizadores programados para activarse cada 6 horas permitiendo realizar el riego por aspersión cronológicamente controlado. Además se utilizarán sensores resistivos de luz (LDR) que permitirán determinar la cantidad de luz en el ambiente y que regule el sistema de riego para evitar problemas de quemado por reflejo del agua en la superficie. Además, el sistema contará con una regulación por sensores de humedad resistivos que permitan mantener el área de riego húmeda constantemente. Ellos indicarán el punto exacto requerido de humedad por cada área cubierta.

Regulación a través de válvulas

Para la salida de agua a presión se utilizará una válvula reguladora y una llave de activación. Se considera una válvula de aguja con la cual se regulará la salida del caudal de acuerdo a los datos obtenidos por los cálculos. Posteriormente, la salida de agua será bloqueada por una llave secundaria que permitirá o evitará que pase el agua hacia el sistema. Es ésta llave la que será controlada por el sistema a instalar.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Análisis del sistema hidráulico

Se utilizará para fines prácticos las fórmulas de Williams y Hazen que determina la velocidad del agua en tuberías circulares llenas, o conductos cerrados, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$v = 0.8494 * C * \left(\frac{Di}{4}\right)^{0.63} * S^{0.54} \quad (1)$$

donde:

Di = Perímetro húmedo

v = Velocidad media del agua en el tubo en [m/s].

S = Área interna de la tubería [m³].

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.

Si la línea donde se utilizará el sistema de riego por goteo se encuentre con pendiente, la variación de la presión será afectada por ésta. El cambio de la presión con respecto a la longitud de la tubería se puede determinar como una combinación lineal de la energía de la

pendiente y la pendiente de la línea, tal como se muestra en la formula:

$$\frac{dh}{dt} = -Sf \mp So \quad (2)$$

donde:

Sf = Energía de la pendiente o la línea del gradiente de energía.

So = Pendientes de la línea, con signo positivo cuando la línea está hacia abajo de la pendiente, y con signo negativo cuando la línea está hacia arriba de la pendiente.

La variación en presión a lo largo de la línea secundaria causa una variación en el flujo del gotero a lo largo de la lateral la cual se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$q = C * \bar{h} \quad (3)$$

donde:

q = Flujo de gotero (o flujo hacia la lateral).

h = Cabecera de presión.

Es necesario para la determinación de los materiales a utilizar, la potencia de los motores de activación de la válvula y la optimización del proceso de transporte de agua, y salida de la misma en el lugar de riego.

El proyecto está basado en una propuesta de topología óptima para el riego por goteo. Se utilizarán tubos de acero inoxidable que se instalarán debajo de la superficie. Al ejercerse presión sobre los tubos podrían perder sus propiedades, por lo que se requerirán tubos de acero con una alta resistencia al esfuerzo cortante.

Se ha considerado una superficie de 10m x 10m para la aplicación de las pruebas iniciales, ubicando estratégicamente los dispositivos de goteo a una distancia proporcional de 2.5 metros de radio hidrostático (Rh), tal como se muestra en la Figura N°2, donde LP representa la línea principal, LS1 y LS2 son las líneas secundarias de presión. SH representa a los sensores de humedad y LDR representa a los sensores de luz. V1 representa a la válvula reguladora y V2 la llave principal.

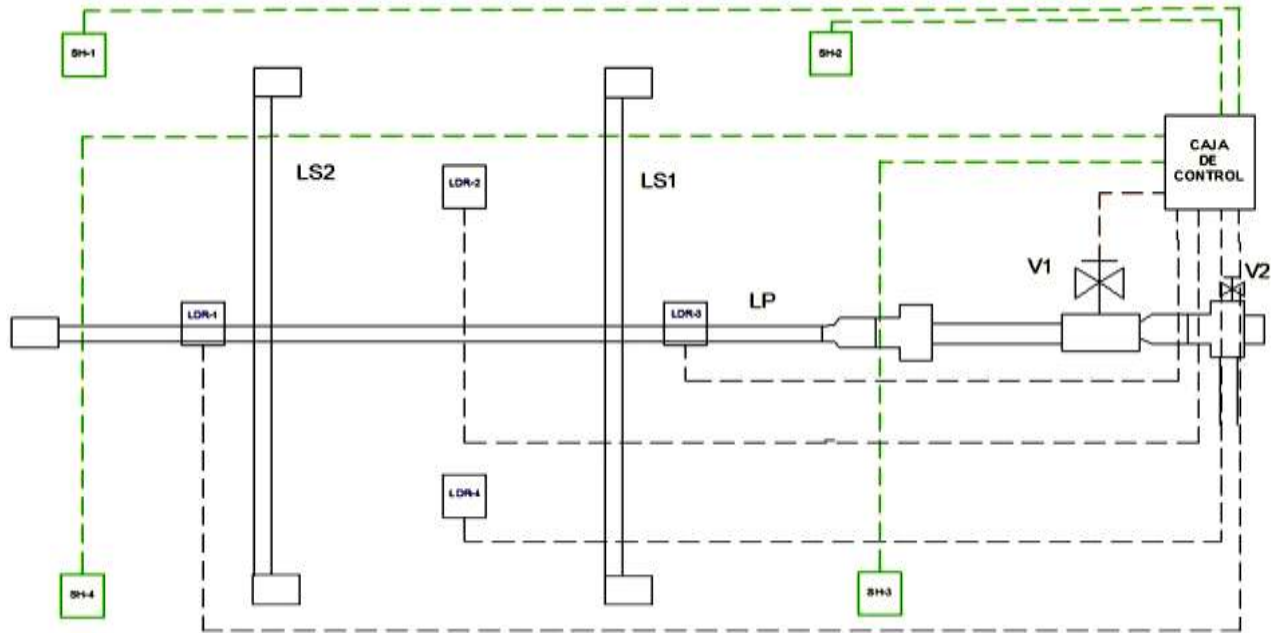


Fig. 2. Diseño físico de la planta de riego a controlar

De los datos recolectados de experiencias previas se solicita tener un caudal de cabecera de $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Siendo además, la fuerza de salida el propio peso del agua por la disposición de las tuberías. Al tener un riego por goteo, la fuerza de salida será del mismo peso de la gota de agua:

$$F = W \quad (4)$$

$$W = 0.6 * 9.8 * 10^{-3}$$

$$W = 5.88 \times 10^{-3}$$

Como se usa una aleación de acero inoxidable para la confección de las tuberías, el coeficiente de rugosidad es de 90mm. De las ecuaciones (3) y (4) se obtiene el siguiente resultado:

$$6 \times 10^{-3} = 0.09 * \bar{h}$$

$$h \cong 2.7 \times 10^{-10}$$

Con los datos de la ecuación (2) se logra obtener la energía de la pendiente. Al ser, para nuestro caso, $S_o = 0$ y la longitud de análisis es de 17.5m, se obtiene:

$$S_f = \frac{2.7 \times 10^{-10}}{17.5} = 1.542 \times 10^{-11}$$

Como la presión es igual a la razón de la fuerza entre el área, se obtiene el diámetro de la tubería como se indica a continuación:

$$A = \frac{2.7 \times 10^{-10}}{4.59 \times 10^{-3}}$$

$$A = 0.459 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0.459$$

$$d = 0.76 \text{ mm}$$

Se obtiene así el primer dato necesario para el diseño del sistema de riego por goteo. Cada cabecera deberá tener un diámetro de 0.76mm aproximadamente.

Para la obtención de la cantidad de cabeceras a diseñar a lo largo de las tuberías se resolverán las ecuaciones de Williams y Hazen. El perímetro húmedo será $D_i = 40\text{m}$. Como se usarán para fines prácticos tuberías de $\frac{3}{4}$ " el área de la sección transversal se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (5)$$

$$S = 1.905 \text{ cm}^2$$

Reemplazando los datos en la ecuación (1), se obtiene el valor de la velocidad.

$$v = 0.8494 * 0.09 * 10^{0.63} * 0.0001905^{0.54}$$

$$v \cong 0.462 \frac{m}{s}$$

El caudal Q se calcula por la expresión:

$$Q = vS$$

$$Q = 0.462 * (0.0001905)$$

$$Q = 8.79 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Como la suma de caudales de salida deberá ser igual a la entrada y siendo N el número de cabezeras insertadas en las tuberías se tiene que:

$$Q = Nq \tag{6}$$

$$N \cong 58.6$$

3.2. Circuito electrónico de control

La lógica de control se implementa en el PLC a través del lenguaje ladder tanto para el riego por goteo como por aspersión.

Empezando por el riego por goteo, se logra determinar entradas digitales generadas por sensores resistivos de humedad arreglados por puentes Wheatstone. Estos envían una señal continua de 5 V cuando el comparador regulado con un potenciómetro, supera la señal inicial. El sensor es responsable del funcionamiento de electroválvulas ON/OFFF que funcionan de acuerdo a la señal o ausencia de ella, de acuerdo a la Figura N°3.

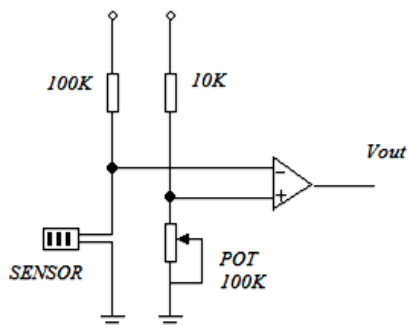


Fig. 3. Estructura del sensor de humedad con el OPAMP

Las señales son enviadas como entradas DI al PLC. Cuando la señal de envío es 1, la salida del circuito es 0 (desenergiza la electroválvula), mientras que cuando la señal es 0, la salida es 1.

La electroválvula se manipula con entradas de voltaje de 220AC, por lo que se necesita de un amplificador de potencia. Para el caso se utilizará un relé, que proteja el circuito de control, de acuerdo a la Figura N°4:

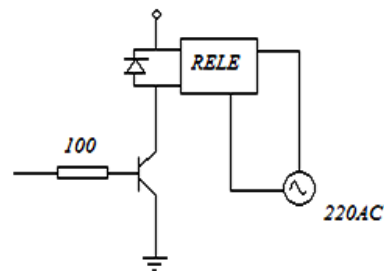


Fig. 4. Estructura de la salida de potencia

El control de riego por goteo está programado para activar cada 6 horas la válvula reguladora. Cumplido este tiempo, el sistema de riego por goteo se detiene momentáneamente, dando paso al sistema de riego por aspersión que se encuentra controlado por los sensores de luz. Se colocan 4 sensores que determinen la cantidad luminosa en el lugar de riego determinada por la Tabla I.

TABLA I
RELACION ENTRE ACTIVACION DE SENSORES Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN

LDR1	LDR2	LDR3	LDR4	Temporizador
0	0	0	0	40min
0	0	0	1	30min
0	0	1	0	30min
0	0	1	1	20min
0	1	0	0	30min
0	1	0	1	20min
0	1	1	0	20min
0	1	1	1	10min
1	0	0	0	30min
1	0	0	1	20min
1	0	1	0	20min
1	0	1	1	10min
1	1	0	0	20min
1	1	0	1	10min
1	1	1	0	10min
1	1	1	1	0min

La tabla muestra el funcionamiento del sistema de riego por goteo cada 6 horas, después del cual se activa el sistema de riego por aspersión.

Las entradas son determinadas por un arreglo similar al sensor de humedad reemplazándolo por un LDR, tal como se muestra en la Figura N°5.

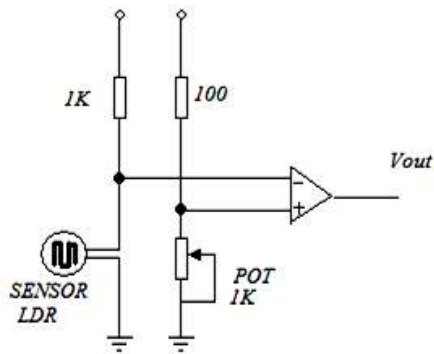


Fig. 5. Estructura del sensor LDR con el OPAMP

Estos sensores envían señales y proporcionan la señal de control de una electroválvula por el tiempo determinado en la Tabla I. Todas las señales de entrada y salida son manipuladas por la lógica ladder tal como se muestra en las Figuras N° 6, 7 y 8:

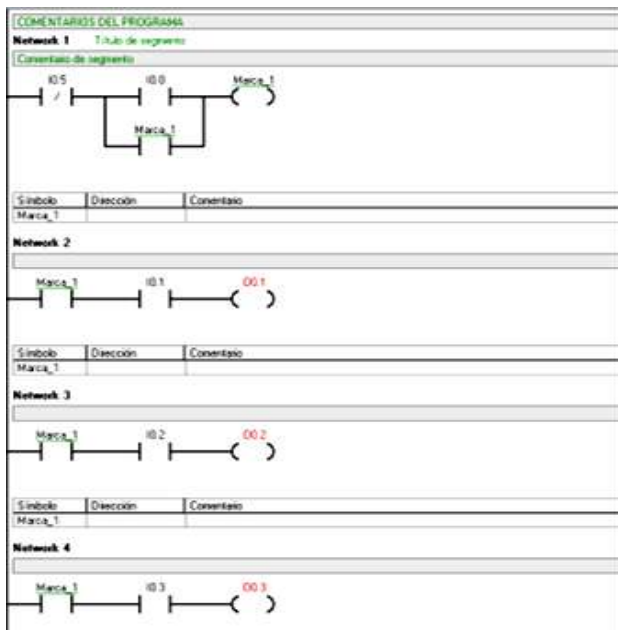


Fig. 6. Programación ladder para manipulación de los sensores de humedad

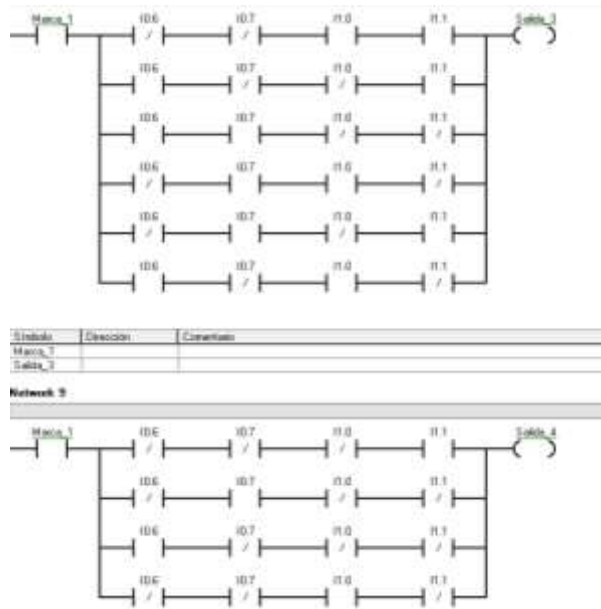


Fig. 7. Programación ladder para manipulación de los sensores de luminosidad

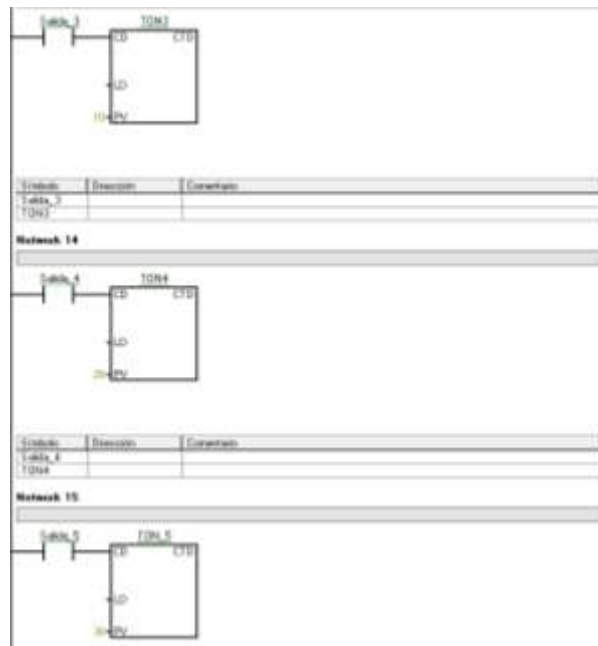


Fig. 8. Programación ladder para controlar tiempos de trabajo

Finalmente, se presenta en la Figura N°9 el esquema de conexión del PLC S7-200 con las entradas de los sensores de humedad, de intensidad de luz y las salidas para las electroválvulas.

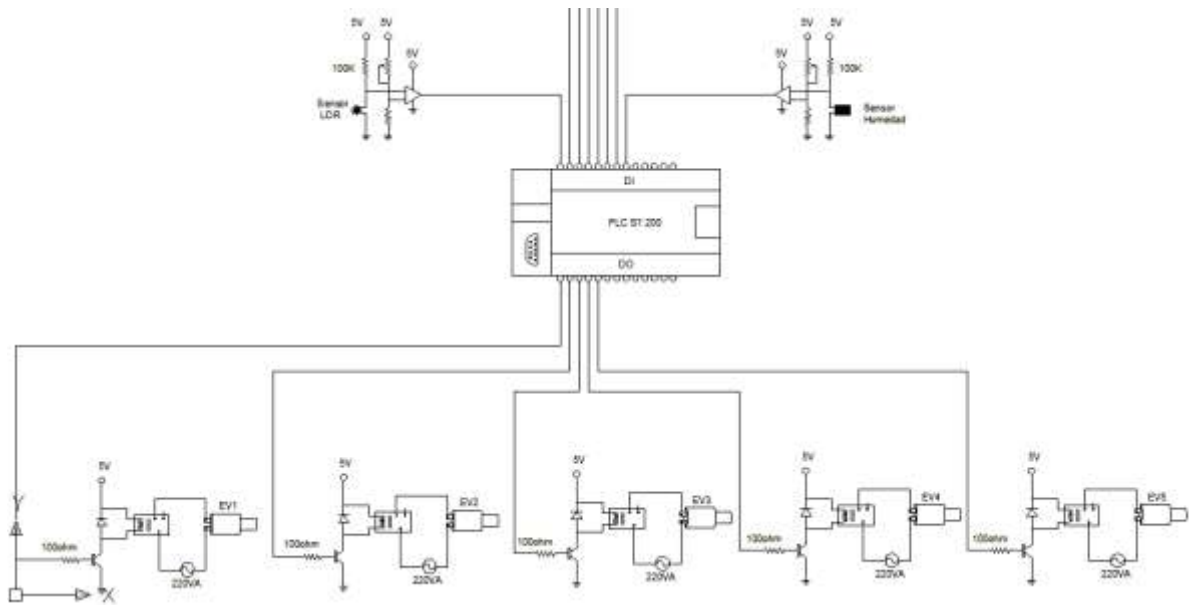


Fig. 9. Esquema de conexión del PLC

4. RESULTADOS

Es necesaria la confección de 59 cabeceras a lo largo de toda la tubería, distribuidas uniformemente y con un diámetro de salida de 0.76 mm cada uno aproximadamente.

Se ha observado el correcto funcionamiento del sistema de control. Cada 24 horas se activa a las 23:00 horas por medio de la rotación del motor que se encuentra adherido a la llave secundaria.

El apagado del motor demora según los cálculos obtenidos entre 3 y 5 horas dependiendo muchas veces de la propia humedad del ambiente.

Se optimiza el consumo diario de agua para regadíos según los estudios previos y post-proyecto en un 71% aproximadamente.

A corto plazo se logra observar una continuidad en la conservación del jardín tratado. Se mantiene húmedo por las noches y en gran parte del día. La coloración y mantenimiento es el deseado. Se ha evitado el quemado de las plantas por el reflejo del sol en el agua depositada en la superficie.

5. CONCLUSIONES

El riego por goteo, controlado electrónicamente permite mejorar notablemente el mantenimiento de jardines, plantas y cultivos. Se logra el beneficio de ahorro de poco más del 70% de agua de riego, que equivalen aproximadamente a 40 litros diarios de agua en un jardín promedio. Con el ahorro del agua en un solo hogar se podría satisfacer a 2 familias en su consumo diario.

Además, como beneficios secundarios se tiene el ahorro de tiempo en el regado diario y un fuerte ahorro económico que irá aumentando geoméricamente a medida que la demanda de agua continúe su tendencia creciente.

REFERENCIAS

- [1] Soluciones Locales a la Crisis Mundial del Agua. Kevin Conway. The International Development Research Centre. Canada 2001
- [2] La Crisis del Agua. De la Vega Lozano, Jorge Alejandro. Categoría Gestión Ambiental y Sostenibilidad. Ciudad de México 2004
- [3] Manejo de Riego por Goteo. Capítulo XIII: Diseño de Sistemas de Riego por Goteo. Megh R. Goyal, Luís E. Rivera Martínez y José V. Pagan Crespo 2005

- [4] Data Sheet NE/SA/SE555/SE555C – Timer. Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003
- [5] Data Sheet Synchronous 4-Bit Binary Counter with Dual Clock. Fairchild. Marzo 2000
- [6] Tuberías. Departamento de Diseño Mecánico, Sistemas Oleohidráulicos. Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial. IIMPI 2003
- [7] Guía de Diseño de Tuberías. Diseño Mecánico. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica 2009
- [8] Sistema de control para Válvula de Expansión Electrónica. Eliwell - Invensys Control Srt. 2009
- [9] Datasheet HS 1100/1101. Humirel-Technical1Data. Junio 2002
- [10] Topologías de Redes Recomendadas para la Administración Pública. Gobierno Bolivariano de Venezuela – Ministerio del Poder Popular para las Telecomunicaciones y la Informática. Caracas 2006