

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO
CON REALIMENTACIÓN DE VARIABLE DE HUMEDAD**

**IMPLEMENTACIÓN ELECTROMECAÁNICA DEL SISTEMA DE
RIEGO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECAÁNICA**

DAVID ALEXANDER SIMBAÑA MOYA

DIRECTOR: Ing. ALAN DANIEL CUENCA SANCHÉZ, MSC.

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, David Alexander Simbaña Moya declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



SIMBAÑA MOYA DAVID ALEXANDER

david.simbana01@epn.edu.ec

alex-simb@hotmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por el Sr. David Alexander Simbaña Moya, bajo mi supervisión.



ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.

DIRECTOR

alan.cuenca@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

SIMBAÑA MOYA DAVID ALEXANDER

Correo: david.simbana01@epn.edu.ec

Teléfono: 099 2098 296

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todo mi proceso de formación, a mí mismo y al esfuerzo puesto en superar cada reto en los distintos niveles académicos. Por lograr motivarme y seguir en los momentos en los cuales sentía que no podía mantenerme frente a los reveses de la vida.

David A. Simbaña

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes que han aportado a mi formación profesional, especialmente a los ingenieros Hugo Zúñiga y Abraham Loja, quienes supieron aconsejarme y brindarme apoyo moral cuando no tenía dirección e impulsarme hasta el final de mi carrera en la Escuela de Formación de Tecnólogos.

Asimismo, agradezco a mis abuelos, madre y hermana, cuyo apoyo económico, cuidado y plato de comida siempre estuvo presente en cuanto les fue posible.

Sin olvidar de agradecer a los terapeutas, a todas las personas que me han brindado su ayuda y a todas las fuentes de inspiración que han impactado de forma positiva en mi vida y en mi formación personal y artística, mismas que me han dado herramientas para culminar la carrera.

David A. Simbaña

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| CERTIFICACIONES | I |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| RESUMEN..... | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO..... | 1 |
| 1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.3. Alcance..... | 3 |
| 1.4. Marco teórico..... | 3 |
| Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)..... | 3 |
| Programa “Territorios que Sanan” | 4 |
| Sistemas de Riego..... | 5 |
| 2 METODOLOGÍA..... | 7 |
| 2.1 Requerimientos del Sistema | 9 |
| Selección de Componentes | 9 |
| 2.2 Dimensionamiento..... | 13 |
| Dimensionamiento mecánico | 13 |
| Dimensionamiento Eléctrico | 19 |
| Dimensionamiento Electrónico..... | 22 |
| Selección del gabinete..... | 25 |
| 2.3 Planos y esquemas | 26 |
| Plano Eléctrico..... | 26 |
| Plano Mecánico | 26 |
| Esquema electrónico | 26 |
| 2.4 Algoritmo de Control | 27 |
| 2.5 Construcción..... | 28 |
| Ensamblaje..... | 29 |
| 2.6 Manual de uso y mantenimiento | 36 |
| 3 RESULTADOS | 37 |
| 3.1 Pruebas y análisis de resultados | 37 |
| Funcionamiento del sistema eléctrico | 37 |

| | | |
|---|---|----|
| | Funcionamiento del sistema mecánico | 39 |
| | Funcionamiento del sistema electrónico | 41 |
| 4 | CONCLUSIONES | 46 |
| 5 | RECOMENDACIONES..... | 48 |
| 6 | Referencias | 50 |
| 7 | ANEXOS | 52 |
| | Anexo I. Porcentaje de similitud generado por Turnitin | 53 |
| | Anexo II. Certificado de funcionamiento del Trabajo de Integración Curricular | 54 |
| | Anexo III. Fichas técnicas de los elementos | 55 |
| | Anexo IV. Planos y esquemas | 62 |
| | Anexo V. Diagrama de Flujo | 65 |
| | Anexo VI. Certificado de aprobación firmado por delegado del PNUD..... | 66 |

RESUMEN

En este documento correspondiente al proyecto de titulación "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO CON REALIMENTACIÓN DE VARIABLE DE HUMEDAD" impulsado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo con su plan "TERRITORIOS QUE SANAN" tiene como objetivo la facilitación de un sistema de riego que minimice el esfuerzo realizado en los terrenos donde realizan labores de agricultura. El proyecto instalado en la parroquia de Llano Chico comprende el levantamiento de la red de riego y su respectiva bomba, circuito de potencia subordinado de un tablero que contiene al sistema de control.

El texto descrito a continuación se divide en siete fragmentos bien diferenciados los cuales aportan el siguiente contenido:

La primera sección traza los objetivos generales y específicos del proyecto según se ideó en la fase de planificación, el alcance de este y las bases teóricas en las que se cimienta la distribución de la obra.

La sección dos desarrolla la metodología empleada en el proyecto de titulación en cuanto al diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión automatizado.

Por su parte, la sección tres cubre todo lo que comprende a resultados obtenidos durante las pruebas del sistema y su respectivo dimensionamiento.

En la cuarta sección se hallan las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de proyecto de titulación.

La sección cinco abarca las recomendaciones donde se consideran puntos a mejorar del proyecto e información de gran importancia su réplica.

La sexta sección recopila todas las fuentes bibliográficas empleadas para la construcción del sistema.

Para finalizar la sección siete contiene los anexos, necesarios para complementar la información.

PALABRAS CLAVE: Higrómetro, Riego, Aspersión, Automatización, PNUD.

ABSTRACT

In this document corresponding to the titling project IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC IRRIGATION SYSTEM WITH VARIABLE HUMIDITY FEEDBACK promoted by the United Nations Development Program with its plan *TERRITORIOS QUE SANAN* has as objective the facilitation of a system of irrigation that minimizes the effort made on the land where agricultural work is carried out. The project installed in the *Llano Chico* parish contemplates the erection of the irrigation network and its respective pump, a power circuit subordinated to a panel that contains the control system.

The text described below is divided into seven well-differentiated fragments which provide the following content:

The first section traces the general and specific objectives of the project as devised in the planning phase, its scope, and the theoretical bases on which the distribution of the work is based.

Section two develops the methodology used in the degree project regarding the design and implementation of an automated sprinkler irrigation system.

For its part, section three covers everything that includes the results obtained during the system tests and their respective sizing.

In the fourth section are the conclusions obtained throughout the development of the titling project.

Section five covers the recommendations where points to improve the project and information of significant importance are considered for its replication.

The sixth section compiles all the bibliographic sources used for the construction of the system.

Finally, section seven contains the annexes, necessary to complement the information.

KEYWORDS: Hygrometer, Irrigation, Sprinkling, Automation, UNDP.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Tomando en cuenta la intervención del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en conjunto con el Museo de la Ciudad con la finalidad de mejorar el estilo de vida de las personas que trabajan en la plataforma Primero de Mayo ubicada en San Roque, cantón Quito. El PNUD realizó un convenio con la Escuela Politécnica Nacional, de la cual los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) aportaron al propósito de las organizaciones con nuevas ideas de las cuales se desarrollaron las que más interés despertaron en el colectivo de hierbateras, vendedoras y productoras que laboran en ese lugar del centro histórico.

Partiendo la premisa del servicio comunitario realizado por los estudiantes de la ESFOT en la plataforma de comercio de plantas y hierbas medicinales Primero de Mayo, se realizó toda una serie de procesos en las cuales delegados del PNUD y estudiantes de distintas carreras compartieron sus conocimientos asistiendo y socializando en talleres donde se formaron grupos con diferentes planes de trabajo [1].

La producción de maquetas y su respectiva presentación al público fue el punto de partida para la elección del modelo propuesto por el grupo de riego al alcanzar una buena aceptación. Se manufacturó el prototipo del primer sistema de riego por aspersión con ayuda del financiamiento del PNUD y la autogestión para la obtención de ciertos elementos como tableros y pulsadores. Tras la elaboración del tablero de control y el montaje de una línea de riego, se realizó una demostración pública, cuyos resultados desembocaron en un concurso para la instalación del proyecto desarrollado en el presente documento en los terrenos de las personas que cumplan los requisitos básicos de instalación.

La implementación de este sistema presentaba ciertos requerimientos que los terrenos tenían que cumplir para ser elegibles, por ejemplo, las parcelas debían contar con: servicio eléctrico y fuente de agua cercana. El tablero está diseñado para funcionar a 120 (Vac) y debe ser conectado a un tomacorriente, por otra parte, el reservorio de agua fue proporcionado por el PNUD para su ubicación en el lugar en el cual se asentaría el diseño. El diseño de todo el sistema se realizó tomando en cuenta las necesidades hídricas de las plantaciones y las dimensiones del terreno donde se levanta la unidad de riego.

La instalación de la parte mecánica, compuesta por: la bomba centrífuga monofásica, red de riego de manguera $\frac{3}{4}$ de pulgada y ramificada con sus respectivos aspersores se realizó de forma tal que abarcó toda el área de regadío.

El ensamblaje del circuito eléctrico por su lado fue realizado de manera tal que encajaron los elementos como: pulsadores, luz indicadora, selector de tres posiciones, disyuntor, entre otros y el conductor dentro del tablero, organizándose con ayuda de canaletas.

La sección electrónica compone el centro de control del tablero, compuesto por: Arduino Nano con su módulo de expansión, módulo relé para Arduino, módulo de acondicionamiento para sensor humedad, sensor bajo de nivel y LCD. Además, se dispone del código de programación encargado de comandar todo el sistema, dicho código pasó por varias etapas, empezando por pruebas de luz piloto, código empleado en el prototipo, hasta llegar al código del trabajo de titulación.

Para la implementación del presente proyecto se elaboró y entregó una lista de materiales al PNUD debido a que esta entidad se encargó del financiamiento de la obra que fue instalada en terrenos de personas de interés para esta organización.

Con la información recopilada se seleccionó un terreno en la parroquia de Llano Chico, en donde se inició la implementación de toda la estructura bajo el nombre de la Señora Etelvina y, además, se gestionó la construcción de una caseta para proteger el tablero, la bomba y el reservorio. La instalación se realizó en dos días, de los cuales en el primero se montó casi la totalidad del proyecto y en el segundo, se realizaron correcciones a la red de riego, cambio de elementos defectuosos, corrección de fugas, carga del nuevo programa y ejecución de pruebas de funcionamiento.

1.1. Objetivo general

Implementar un sistema de riego automático con realimentación de variable de humedad

1.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de requerimientos del sistema
- Implementar el sistema electrónico
- Implementar el sistema electromecánico
- Realizar pruebas y análisis de resultados
- Elaborar los manuales de uso y mantenimiento

1.3. Alcance

El proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de riego automático que tenga las siguientes funciones:

- Modo ON/OFF: Modo Manual que requiere el accionamiento por parte de un operario hasta que el usuario lo apague.
- Modo Temporizador: Modo Manual que permite al operador establecer el tiempo de regado.
- Modo detección de Humedad: Modo Automático que permite que el sistema sea activado o desactivado mediante la realimentación de la señal de un sensor de humedad en el suelo.

Propiedades:

Interfaz sencilla de fácil aprendizaje para todas las personas.

Se contará con un selector de tres posiciones para seleccionar cada modo y tres pulsadores.

El sistema requerirá suministro de energía eléctrica monofásica y una fuente de agua o reservorio. La planificación en conjunto con el PNUD tiene como objetivo ofertar un sistema de riego más accesible económicamente frente a los ya existentes. Razón por la cual el presente proyecto tiene como finalidad la instalación de un tablero y la red riego por aspersión en uno de los terrenos parte del plan "TERRITORIOS QUE SANAN".

La primera parte del proyecto consiste en el dimensionamiento y diseño de toda la estructura y organización de este, así la segunda corresponde al ensamblaje y pruebas de la unidad de control patrocinado por el PNUD y la fase final corresponde a la instalación, pruebas in situ, entrega de manuales y capacitación a los usuarios del tablero.

1.4. Marco teórico

- **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**

Desde sus inicios en 1965, el PNUD ha impulsado actividades en más de 170 países tales como: fomentar el desarrollo de habilidades de gobierno, formación de líderes, formación de asociaciones y varias más, con el propósito de alcanzar las metas desarrollo sostenible, afianzar la paz y democracia en estados de derecho, y respuesta ágil y fácil adaptación frente a desastres y el cambio climático. Y de esta forma establecer los cimientos que impulsarán y brindarán conocimientos y recursos a países en vías de desarrollo en zonas

estratégicas [2]. En la Figura 1.1 se aprecia la Interfaz de la página oficial del PNUD en la cual se encuentra la información sobre los planes en los que la entidad interviene en Ecuador.



Figura 1.1 Página oficial del PNUD

- **Programa “Territorios que Sanan”**

Las Naciones Unidas como Organismo Internacional ha asentado en Ecuador uno de sus proyectos con el objetivo de sobreponerse a la desigualdad y la pobreza en países latinoamericanos. Este proyecto se ha llevado en conjunto con la Plataforma Primero de Mayo y El Museo de la Ciudad, ubicados en Quito, los cuales exploraban distintas opciones para mejorar la calidad de vida de las hierbateras y sus familias en sus actividades de recolección de recursos naturales y comercialización de estos [3]. Sin olvidar que se busca ser responsables con el ecosistema priorizando la conservación de los lugares que se extraen las plantas medicinales empleadas al servicio y ejercicio de la medicina ancestral [4]. Como parte de las primeras fases de esta propuesta, se realizó una convivencia y exploración de soluciones a los distintos problemas que presentaban las hierbateras de modo que se tomó la iniciativa de implementar un sistema de riego automático como prototipo y posterior desarrollo de sistemas del mismo tipo instalados en los terrenos de las beneficiarias, tal como se evidencia en la Figura 1.2. Figura 1.2



Figura 1.2 Participación de estudiantes de la ESFOT en el Proyecto “Territorios que Sanan”

- **Sistemas de Riego**

Un sistema de riego es aquel que con ayuda de distintos mecanismos se encarga de suministrar a sembradíos y parcelas de cultivo el agua que requieren las plantas para garantizar su correcto desarrollo [5]. El mismo sistema posee la característica de poder automatizarse con ayuda de circuitos y dispositivos de control. En la implementación de estructuras de automatización es importante recalcar que el objetivo de estas es controlar y regular la provisión de agua de forma que sin necesidad de gastar tiempo o hacer esfuerzo, facilitando la labor de los individuos al momento de la ejecución [6]. Estas funciones se logran con el trabajo de un microcontrolador que funge como elemento maestro de los cuales dependen los esclavos como preactuadores, elementos de maniobra, módulos de acondicionamiento, elementos de visualización de la información, entre otros elementos. Tal como se muestra en la Figura 1.3 los sistemas de riego pueden ser bastante simples según los elementos empleados en el armado del tablero, pero se recalca todo el trabajo que realiza la bomba para suministrar al sistema de manera eficiente y adecuada.



Figura 1.3 Red de riego suministrando agua

2 METODOLOGÍA

Para realizar el montaje del esquema se aplicó la metodología Design Thinking, respaldándose en los siguientes pasos: la empatía, donde se reconoció e identificó el problema; la definición, aquella fase que permitió centrarse en la problemática del uso del agua; de la ideación con su lluvia de ideas nació la iniciativa de implementar un sistema de riego capaz de suplir las necesidades de parcelas de tierra en temporadas de sequía o simplemente para reducir la carga laboral. La fase de prototipado, también considerada como método experimental para el desarrollo del proyecto partió de un tablero de muestra y fue evolucionando según nuevas necesidades y problemas iban surgiendo; la prueba, se realizó los ensayos de código, conexionado y demás con el fin de recolectar información que permitió la réplica y mejora del sistema final desarrollado en el presente documento por lo que garantiza la reproducibilidad del proyecto.

De esta forma se establecieron requerimientos indispensables para el funcionamiento del sistema como el suministro básico de energía eléctrica monofásica de 115 (V_{ac}), el reservorio de agua con las respectivas perforaciones de 1 (in) y 12 (mm) para la succión de la bomba y el sensor de nivel de líquido horizontal de montaje lateral respectivamente. Además, se realizó una visita al sitio donde se proyectó instalar la unidad para recopilar los datos necesarios para cubrir los requerimientos de las parcelas de cultivo donde se estableció el uso de tres aspersores que cubren un área de 333 (m^2) en un terreno de 1647.47 (m^2) de área total.

La incorporación de Arduino que se alimenta con 5 (V_{dc}) y el trabajo de su microcontrolador ATMEGA328 que comanda a sus módulos complementarios, en función de la información que recibe de sensores de nivel de agua, sensores de humedad del suelo y pulsadores debe tomar en consideración posible ruido al cual se someta al sistema [7]. Si bien Arduino no es una plataforma muy robusta, se han evitado fenómenos como el rebote con soluciones análogas al conectar capacitores de 10 (μF) en cada pulsador. Además, en los mencionados elementos de maniobra se usaron bloques normalmente abiertos en función del código de programación desarrollado, mismo que cuenta con los parámetros de uso de cada modo de trabajo, de la misma forma permite visualizar la información en una pantalla LCD de 2x16.

El dimensionamiento de conductores, ductos de agua y demás elementos para el componente electromecánico empezó desde la elección de una bomba adecuada para el trabajo en sitio. Así, para la parte mecánica se facilitó el uso de un reservorio de 55 (gal) y una estructura para el montaje de la turbomáquina. De esta forma la boquilla de succión

de la bomba fue conectada al reservorio a través de una válvula antirretorno y sus respectivos acoples. También, se redujo la sección de descarga a $\frac{3}{4}$ (in) y con el análisis de pérdidas por accesorios, por distancia y por la diferencia de altura, se estableció que la potencia de la bomba debía de 372.85 (W).

Recalcando que todo este proceso fue iterativo, de esta manera, basado en las características del motor de la bomba, se obtuvo que el cable AWG 14 era el indicado para el trabajo de potencia, así como la protección termomagnética tipo C de 6 (A) y el contactor sobredimensionado a 12 (A).

Una vez diseñado y construido el sistema se realizaron pruebas de funcionamiento eléctricas, electrónicas y mecánicas. Dichas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de la ESFOT validando su funcionamiento para su posterior implementación en el terreno. Se probaron los modos: manual todo o nada, manual temporizado y automático con realimentación por sensor de humedad, se obtuvieron resultados satisfactorios.

Finalmente, el proyecto se entregó al delegado del PNUD, se realizó una serie de capacitaciones a la dueña del terreno y se desarrolló un video que detalla las acciones para el uso correcto del sistema y su mantenimiento respectivo.

En el Anexo II se presenta el certificado de aprobación del proyecto y de la misma forma, en el Anexo VI se aprecia el certificado de aprobación y conformidad firmado por parte del delegado del PNUD validando así el funcionamiento del sistema instalado.

2.1 Requerimientos del Sistema

- **Selección de Componentes**

Para esta selección se siguió un proceso de varios pasos, los cuales incluyeron visitas al sitio, dimensionamientos de los componentes más críticos en función de las dimensiones del terreno a cubrir entre otras características, recalando que el PNUD proporcionó casi la totalidad de los materiales según fue requerido.

Como se observa en la Figura 2.1 se requirió un bloque de contacto normalmente cerrado para pulsador a fin de remplazarlo por el bloque de contacto normalmente abierto de los pulsadores verdes que tienen esas características de producción.



Figura 2.1 Bloque de contactos NC para pulsadores

Un selector de tres posiciones I 0 II tal como se muestra en la Figura 2.2 es indispensable en el tablero ya que permite elegir entre los dos modos manual y automático, pasando por un punto de desconexión entre cada cambio.



Figura 2.2 Selector Industrial de 3 Posiciones

En la Figura 2.3 se aprecia el microcontrolador encargado de ejecutar el algoritmo de control, un Arduino Nano con su respectivo cable para cargar el programa desde un computador con Arduino IDE [7].

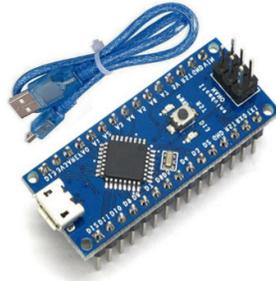


Figura 2.3 Arduino Nano

Para tener acceso a más zócalos para el conexionado de control, se adquirió un módulo de expansión Shield de Arduino nano para disponer de pines de datos, tensión y tierra para cada una de las entradas y salidas, además de ser compatibles con cables macho-hembra o hembra-hembra. Así se muestra el elemento que brinda estas características en la Figura 2.4 [8].



Figura 2.4 Módulo Shield de Expansión Arduino

Como se visualiza en la Figura 2.5 se tiene un higrómetro que permite la medición de humedad del suelo, dicha señal se envía al microcontrolador para su acondicionamiento.

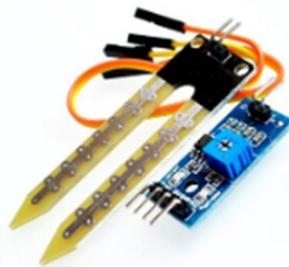


Figura 2.5 Sensor de humedad del suelo y módulo de acondicionamiento

Para mostrar la información relevante de cada uno de los modos de funcionamiento, el sistema dispone de una pantalla LCD la cual se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Pantalla matricial LCD de 2 líneas 16 caracteres

En la Figura 2.7 se muestra un Pulsador Rojo NC y un Pulsador Verde NO, son elementos de maniobra, importantes para navegar en los menús de los modos de funcionamiento disponibles para el usuario.



Figura 2.7 Pulsadores Industriales Rojo y Verde

El convertor AC/DC de la Figura 2.8 es un elemento de suma importancia en el tablero de control ya que de este depende la alimentación de la parte electrónica del sistema.



Figura 2.8 Convertor AC/DC 127 (*Vac*) – 5 (*Vdc*)

En la Figura 2.9 se aprecia el sensor de nivel tipo interruptor que evita que el tanque de almacenamiento de agua se encuentre vacío.



Figura 2.9 Sensor de nivel de líquido horizontal de montaje lateral

En la Figura 2.10 se observa el pre accionador para activar la etapa de potencia mediante el microcontrolador.



Figura 2.10 Módulo Relé para Arduino

En esta sección se han listado los elementos más importantes en el montaje de la unidad de riego, entre ellos se encuentran: componentes electrónicos, sensores, elementos de maniobra, entre otros. El listado completo de los materiales y fichas se encuentra en el Anexo III

2.2 Dimensionamiento

Como parte del diseño y selección de elementos, se determinó que la mayoría de los componentes de la unidad de riego deberían ser seleccionados posterior a las visitas del terreno con el objetivo de dimensionar los elementos según requiera el lugar. Por esta razón y mediante los siguientes cálculos se determinó la carga a la que se sometería al sistema. Además, es importante recalcar que para todo el desarrollo se realizó un proceso iterativo del cómputo de datos a fin de obtener los mejores resultados posibles en la intervención, siguiendo la metodología del libro de Cengel [9].

- **Dimensionamiento mecánico**

Para el dimensionamiento de la bomba se consideró un área útil de 867 (m), la cual se obtuvo tomando las medidas del terreno. Para la elección de los aspersores se evaluó el desempeño de la marca utilizada en las pruebas del prototipo, así con la Ecuación 2.1 y radio de acción (r_a) de 10.3 (m) de los aspersores *TRUPER* se determina el área de aspersión máxima.

$$\text{Área}_{\text{Círculo}} = \pi \times r^2$$

Ecuación 2.1 Área del Círculo

El área de trabajo de los aspersores a condiciones nominales se obtiene con la siguiente expresión.

$$\text{Área}_{\text{Aspersión}} = \pi \times r_a^2 = 106.09\pi (m^2) = 333.29 (m^2)$$

De esta manera se obtiene que cada aspersor cubre un área de 333 (m^2) por lo que el uso de tres podría abarcar aproximadamente 1000 (m^2), con un caudal medio de trabajo de 0.4762 ($\frac{l}{s}$) por aspersor, se realizaron los cálculos para su uso independiente.

Continuando con la selección de manguera para la red de riego se optó una propuesta comercial de $\frac{3}{4}$ (in), misma que está fabricada de polietileno liso y cuenta con una rugosidad relativa (ϵ_r) de 0.0015 (mm). Conociendo el diámetro y aplicando el principio de continuidad que matemáticamente dicta lo expresado en la Ecuación 2.2.

$$Q_1 = Q_2; A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

Ecuación 2.2 Principio de Continuidad

Donde:

Q : Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A : Sección Transversal (m^2)

V : Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

Obteniendo que:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0004478 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0.000285 (m^2)} = 1.671 \left(\frac{m}{s}\right)$$

De esta forma y respaldándose en la Ecuación 2.3 y los datos mostrados previamente, se puede expresar matemáticamente el valor adimensional del número de Reynolds como se aprecia en la Ecuación 2.3.

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu}$$

Ecuación 2.3 Número de Reynolds

Donde:

Re : Número de Reynolds

V : Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

D : Diámetro de la sección (m)

ρ : Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

μ : Viscosidad dinámica $\left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)$

Así, se remplazan los valores conocidos previa su conversión a las unidades requeridas, recordando también que se emplean las propiedades del agua a condiciones de 20 (°C):

$$\rho_{Agua} = 997.1 \left(\frac{kg}{m^3}\right); \mu_{Agua} = 8.905 \times 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)$$

Entonces:

$$Re = \frac{1.671 \left(\frac{m}{s}\right) \times 0.01905 (m) \times 997.1 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{8.905 \times 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)} = 35637$$

Al obtener tal número de Reynolds se razona que se trata de un flujo de naturaleza turbulenta. De esta forma para conocer el factor de fricción las operaciones se deben apegar a la Ecuación 2.4.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\left(\frac{\frac{\varepsilon_r}{D}}{3.7} \right) + \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \right)$$

Ecuación 2.4 Ecuación de Colebrook

Donde:

- f : Factor de fricción
- $\frac{\varepsilon_r}{D}$: Rugosidad Absoluta
- Re : Número de Reynolds

Remplazando y despejando se obtiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\left(\frac{\frac{1.5 \times 10^{-6} (m)}{0.01905 (m)}}{3.7} \right) + \left(\frac{2.51}{35637 \times \sqrt{f}} \right) \right)$$

$$f = 0.02279$$

Para calcular las pérdidas mayores del sistema se considera la Ecuación 2.5.

$$h_{mayores} = \frac{f \times L \times V^2}{2 \times D \times g}$$

Ecuación 2.5 Ecuación de Darcy

Donde:

- $h_{mayores}$: Pérdidas mayores (m)
- f : Factor de fricción

- L : Longitud del ducto (m)
 V : Velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)
 D : Diámetro de la sección (m)
 g : Gravedad $9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

De esta forma se obtienen las pérdidas mayores por carga y longitud.

$$h_{mayores} = \frac{0.02279 \times 40(m) \times \left(1.671 \left(\frac{m}{s}\right)\right)^2}{2 \times 0.01905(m) \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)} = 6.81(m)$$

A diferencia de las anteriores, las pérdidas menores se obtienen posterior al análisis de todos los coeficientes de pérdidas en accesorios, recopilados en la Tabla 2.1 y usados en la Ecuación 2.6.

Tabla 2.1 Coeficientes de Pérdidas en accesorios

| Accesorio | k |
|------------------------------|------|
| Rejilla de Entrada | 0.8 |
| Válvula de Retención | 2.5 |
| Tee con flujo en línea recta | 0.2 |
| Tee con salida bilateral | 1 |
| Reducción Brusca | 0.35 |
| Válvula de Bola Abierta | 10 |
| Uniones | 0.3 |
| Entrada con tubo reentrando | 0.9 |

$$h_{menores} = \frac{k \times V^2}{2 \times g}$$

Ecuación 2.6 Pérdidas menores

Donde:

- $h_{menores}$: Pérdidas menores (m)
 k : Coeficiente de pérdidas

V : Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

g : Gravedad $9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Realizando la suma algebraica de las pérdidas en accesorios se consigue el coeficiente (k) total según la cantidad empleada.

$$k = 0.8 + 2.5 + 1 + 0.35 + 0.2 + 3 \times 10 + 9 \times 0.3 + 0.9 = 38.45$$

$$h_{menores} = \frac{38.45 \times \left(1.671\left(\frac{m}{s}\right)\right)^2}{2 \times 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)} = 5.47 (m)$$

De esta forma en la Ecuación 2.7 se consideran todas las pérdidas ya previstas y se incluyen la diferencia de altura entre la bomba y la fuente de agua.

$$h = h_{mayores} + h_{menores} + h_{\Delta altura}$$

Ecuación 2.7 Pérdidas totales por carga del sistema

Donde:

h : Pérdidas totales por carga (m)

$h_{mayores}$: Pérdidas mayores (m)

$h_{menores}$: Pérdidas menores (m)

$h_{\Delta altura}$: Pérdidas por diferencia de altura (m)

Obteniendo así:

$$h = 6.81(m) + 5.47(m) + 0(m) = 12.28 (m)$$

Finalmente, para determinar la potencia del fluido que requiere suministrar la bomba se emplea la Ecuación 2.8.

$$\dot{W} = h \times \rho_{Agua} \times g \times Q$$

Ecuación 2.8 Potencia del fluido

Donde:

\dot{W} : Potencia del fluido (W)

h : Pérdidas totales por carga (m)

ρ_{Agua} : Densidad del agua $997.1\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

g : Gravedad $9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

Q : Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

De modo que:

$$\dot{W} = 12.28 (m) \times 997.1 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) \times 0.0004762 \left(\frac{m^3}{s}\right) = 57.2(W)$$

Se obtuvo $57.2 (W)$ de potencia de fluido, mismos que equivalen a $0.07667 (HP)$ por lo que considerando la eficiencia de la motobomba 0.68 , la potencia requerida para la bomba fue de $0.1127 (HP)$. Así mismo, se escogió entre un catálogo la Bomba Periférica Paolo de $\frac{1}{2}$ PKM-60 que se muestra en la Figura 2.11 cuyas características más importantes se recopilan en la Tabla 2.2.



Figura 2.11 Apariencia Bomba Paolo $\frac{1}{2}$ (HP)

Tabla 2.2 Especificaciones Bomba Paolo $\frac{1}{2}$ (HP)

| Especificaciones | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Potencia Máxima | 0.5 (HP) |
| Caudal Máximo | 40 $\left(\frac{l}{min}\right)$ |
| Altura Máxima | 40 (m) |
| Tensión | 115(Vac) |
| Factor de Potencia (fp) | 0.85 |

- **Dimensionamiento Eléctrico**

A partir de la potencia nominal de la bomba se dimensionaron los conductores y respectivas protecciones para los equipos que conforman el sistema de riego. De la Tabla 2.2 se toman los valores de interés como la potencia de 372.85 (W), tensión de trabajo de 115 (Vac) y factor de potencia 0.85. Se operan dichos valores en la Ecuación 2.9. Y teniendo presente el enunciado que dicta que siempre se debe cumplir:

$$I_{Nominal} < I_{Conductor\ Calculada} < I_{T\ Seleccionada} < I_{Contactor} < I_{Conductor\ Seleccionado}$$

$$I_{Nominal} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{fp \times V}$$

Ecuación 2.9 Corriente nominal bomba monofásica

Donde:

$I_{Nominal}$: Corriente nominal de la bomba (A)

$P_{m\acute{a}x}$: Potencia de la bomba (W)

fp : Factor de potencia de la bomba

V : Tensión de trabajo de la bomba (Vac)

De esta manera y considerando que para dimensionar el conductor se requiere aplicar un factor de seguridad mostrado en la Ecuación 2.10.

$$I_{Conductor} = 1.25 \times I_{Nominal}$$

Ecuación 2.10 Corriente del conductor

Donde:

$I_{Conductor}$: Corriente del conductor (A)

$I_{Nominal}$: Corriente nominal de la bomba (A)

Se obtiene:

$$I_{Nominal} = \frac{372.85(W)}{0.85 \times 115(V)} = 3.81(A)$$

$$I_{Conductor\ Calculada} = 1.25 \times 3.81(A) = 4.76(A)$$

Tomando estas consideraciones se tiene que elegir entre los distintos catálogos de cables. Por lo tanto, se seleccionó un conductor de cobre calibre AWG 14, cuyas características que se encuentran a continuación en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Características Cable AWG 14 Electrocables

| Conductor Calibre AWG 14 | |
|---------------------------------|-----------|
| Sección | 2.08 (mm) |
| Hilos | 19 |
| Espesor Aislamiento | 0.76(mm) |
| Capacidad de Corriente | 25(A) |

$$I_{\text{Conductor Seleccionada}} = 25 (A)$$

Con esta información, dimensionamiento y selección se da paso a la ponderación del disyuntor. El tablero tiene un elemento de protección termomagnética para resguardar a la carga en función de la corriente máxima admisible para el sistema, de esta forma y siguiendo la gráfica de curvas de disparo de protecciones termomagnéticas de la norma IEC-60898 mostrada en la Figura 2.12 se selecciona la mejor opción de disyuntor para el sistema.

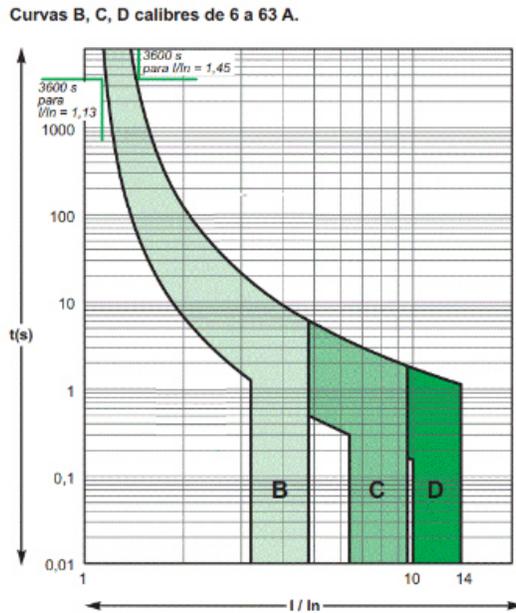


Figura 2.12 Curvas de disparo para termomagnéticos

Para la selección del termomagnético se toman a consideración los datos calculados previamente como la corriente nominal de la bomba y la corriente máxima del conductor seleccionado, y además con la Ecuación 2.11, se calcula una variable adicional, la corriente del dimensionamiento del termomagnético.

$$I_{T \text{ Calculada}} = 1.25 \times I_{Nominal}$$

Ecuación 2.11 Corriente de dimensionamiento del termomagnético

$$I_{T \text{ Calculada}} = 1.25 \times 3.81(A) = 4.76(A)$$

Teniendo en conocimiento las características del tipo de curva C las cuales ofrecen un accionamiento a efectos térmicos de entre 1.13 a 1.44 veces la corriente nominal y un efecto magnético de entre 5 a 10 veces la corriente nominal. Se selecciona un disyuntor con una corriente de acción mayor a la corriente calculada del termomagnético y menor a la corriente máxima que soporta el conductor, siendo estas 4.76 (A) y 25 (A), respectivamente.

Adicionalmente se tomaron las siguientes consideraciones:

- El termomagnético requerido es de un polo
- La corriente de arranque de la bomba no supera el 1.5 veces la corriente nominal

Por lo que se seleccionó un disyuntor monopolar Tipo C de 6 (A) que se muestra en la Figura 2.13.



Figura 2.13 Termomagnético tipo C monopolar de 6 (A)

$$I_{T \text{ Seleccionada}} = 6 (A)$$

Continuando así con la selección del contactor, este se escoge según el criterio técnico considerando el enunciado al inicio del dimensionamiento eléctrico y la Tabla 2.4, la cual expresa las categorías de contactores para el servicio que realizan entre las categorías 1 y 4.

Tabla 2.4 Categoría de contactores y aplicaciones frecuentes

| Categoría | Servicio |
|------------------|---|
| AC-1 | Cargas ligeras, $fp > 0.95$ de cargas resistivas |
| AC-2 | Arranque e inversión de motores de rotor devanado |
| AC-3 | Motores jaula de ardilla, arranques y frenados durante la marcha. |
| AC-4 | Grúas, ascensores, arranque y frenado por contracorriente. |

Por lo que de este modo se seleccionó el contactor tripolar AC-3 de la Figura 2.14 cuyas características están en la Tabla 2.5 al considerarse el más apto para el trabajo y encontrarse dentro del rango de la corriente de acción de termomagnético y la corriente máxima que soporta el conductor.



Figura 2.14 Contactor tripolar 12 (A)

Tabla 2.5 Datos relevantes del contactor seleccionado

| Características del contactor | |
|--------------------------------------|-----------|
| Voltaje nominal | 120 (Vac) |
| Corriente nominal | 12 (A) |
| Categoría | AC-3 |
| Contactos de potencia NA | 3 |

- **Dimensionamiento Electrónico**

Para la selección de los componentes electrónicos se dispuso a replicar los elementos empleados en el armado del prototipo puesto que estos mostraron un rendimiento satisfactorio y sus características permitían el ensamblaje en conjunto con el circuito eléctrico. De este modo se seleccionó un Arduino Nano v3 cuyas especificaciones más importantes se hallan en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Especificaciones del Arduino Nano

| Características | |
|----------------------|------------|
| Microcontrolador | ATMega328 |
| Velocidad del reloj | 60 (MHz) |
| Voltaje de trabajo | 5 (Vdc) |
| Voltaje de entrada | 7-12 (Vdc) |
| Pines E/S Digitales | 22 |
| Pines E/S Analógicos | 8 |

Con la plataforma seleccionada, se vio la necesidad de adquirir un módulo de expansión *Shield* a fin de realizar todas las conexiones requeridas para las entradas y salidas. Así en la Tabla 2.7 se encuentran algunas características del dispositivo de expansión nano [10].

Tabla 2.7 Especificaciones del módulo de expansión Arduino

| Características | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Compatibilidad Arduino Nano | v2.x y v3.x |
| Pines entradas y salidas | Tipo servomotor: V, S y GND |
| Pines alimentación | Tipo servomotor |
| Pines de expansión | I2C 5 |

Un grupo de las señales de entrada que recibe el microcontrolador son variables correspondientes a sensores, mismos que cumplen la función de ingresar información al controlador del sistema y que condicionan el uso de los distintos modos de trabajo, así se observa en las Figura 2.15 el funcionamiento del sensor de nivel y sus alternativas de montaje.

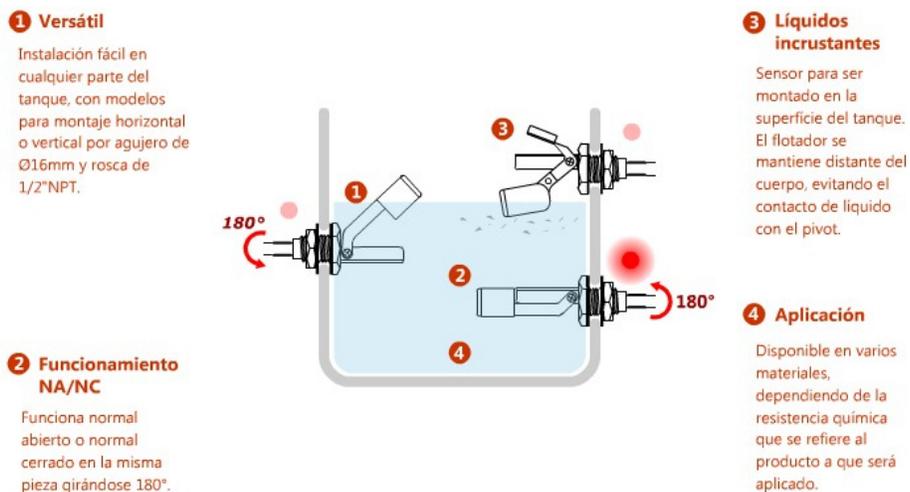


Figura 2.15 Aplicaciones del sensor de nivel de montaje lateral

De este modo, se seleccionó este detector de nivel de líquido horizontal de montaje lateral empleándolo como un sensor bajo de nivel (LLE), ya que actúa como un interruptor permitiendo el paso de corriente al mantenerse a nivel y abriendo el circuito al bajar su mirilla, misma señal que es receptada y procesada por el Arduino.

Por otro lado, el higrómetro fue seleccionado en función de su servicio como variable de entrada analógica, compatibilidad con la plataforma, gracias a su módulo de acondicionamiento y pruebas previas que se realizaron en el prototipo del tablero de control [11]. En la Tabla 2.8 se aprecian las tensiones de trabajo y salida del higrómetro.

Tabla 2.8 Especificaciones del higrómetro y módulo de acondicionamiento

| Características del Higrómetro | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Tipo de señal | Digital y Analógica |
| Voltaje de trabajo | 5 (Vdc) |
| Voltaje de salida | 0-5 (Vdc) |

Por último, pero no menos importante se tienen los elementos de maniobra y la pantalla LCD. Los pulsadores se seleccionaron de color verde y rojo con bloques normalmente abiertos con el fin de facilitar futuras configuraciones al contar con botones idénticos en su funcionamiento mecánico, fue necesario cambiar los bloques de los pulsadores verdes porque esta normalizado el uso de bloques normalmente cerrados para estos.

La pantalla necesaria para la visualización fue escogida en función de los caracteres máximos que podía mostrar además de su retroiluminación, fondo azul y caracteres blancos que facilitaba la visualización de la información al tener un buen contraste frente a su contraparte de fondo de pantalla verde. Dicha representación de esta comparación se aprecia en la Figura 2.16.



Figura 2.16 Comparación de interfaces LCD

Por último, el módulo relé se escogió considerando la corriente máxima que este elemento soporta y su compatibilidad con la plataforma Arduino. En la Tabla 2.9 se observan las características del elemento seleccionado.

Tabla 2.9 Especificaciones del módulo relé

| Características | | |
|-----------------------------|-----------|----------|
| Voltaje máximo de operación | 250 (Vac) | 30 (Vdc) |
| Voltaje de bobina | 5 (Vdc) | |
| Corriente máxima NO | 10 (A) | |
| Tiempo de acción | 10 (ms) | |

Selección del gabinete

Con el fin de escoger el mejor gabinete posible se tomaron diversas consideraciones al momento de buscar el armazón del tablero de control como el volumen que ocuparían los elementos previamente dimensionados, la protección que este ofrece a los componentes y conexiones, y donde sería ubicado. La necesidad que se presentaba era que este elemento indispensable cumpla con las siguientes características: puerta con cerradura y bisagra metálica, doble fondo y perforaciones para cables.

Se establecieron las medidas del tablero basándose en la experiencia previa con el prototipo y conforme con las necesidades observadas durante ese proceso. Tal como se planificó, el gabinete debía ser colocado en una caseta que lo protegería de la lluvia, salpicaduras por el servicio de los aspersores, tierra y demás. En la Tabla 2.10 se observan las características del grado de protección en función de la representación cada dígito.

Tabla 2.10 Grado de protección IP contra objetos sólidos y sustancias líquidas

| Protección IP contra cuerpos | | | | |
|------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| IP | Sólidos | | Líquidos | |
| 0 | Sin Protección | | Sin Protección | |
| 1 | Protección contra | Sólidos hasta 50 (mm) de diámetro | Protección contra | Goteo de agua en vertical |
| 2 | | Sólidos hasta 12 (mm) de diámetro | | Goteo con inclinación de hasta 15° |
| 3 | | Sólidos hasta 2.5 (mm) de diámetro | | Pulverización de agua |
| 4 | | Sólidos hasta 1 (mm) de diámetro | | Salpicaduras de agua |
| 5 | | Polvo ligero | | Chorros de agua |
| 6 | | Toda partícula de polvo | | Chorros continuos de agua |

Con todo lo expuesto anteriormente y agregando que no se tenía intención alguna de perforar el cuerpo, se consideró adecuada la adquisición de un gabinete de dimensiones 400x300x200 (mm) con protección IP 42 producido en acero al carbono pintado en color beige RAL 7030. La estructura básica del gabinete se aprecia en la Figura 2.17.

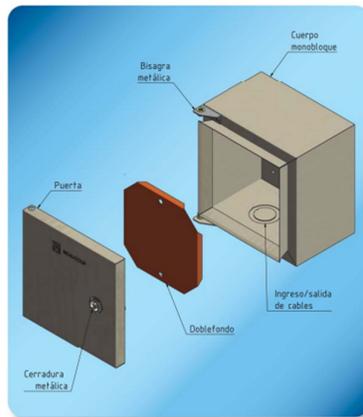


Figura 2.17 Estructura del gabinete

2.3 Planos y esquemas

- **Plano Eléctrico**

Para el plano eléctrico se tomaron en consideración todos los elementos que conforman el circuito de potencia y se detalla el conexionado de todos los componentes de forma clara, tal que, facilite la replicabilidad del proyecto. Además, cada pieza eléctrica ha sido dibujada y nombrada de manera comprensible según corresponda a cada una, presentada en formato unifilar. Dicho plano eléctrico se encuentra en el Anexo IV lámina 1

- **Plano Mecánico**

El plano mecánico muestra las dimensiones y la longitud de cada sección de los ductos para agua, incluyendo también, los elementos conectados que componen parte de la red de riego manteniendo su simbología y respectiva leyenda. Dicho plano mecánico se encuentra en el Anexo IV lámina 2

- **Esquema electrónico**

Con la finalidad de facilitar la comprensión, mantenimiento y armado de un sistema de control de la unidad de riego automática se dispusieron las conexiones desde el conversor AC/DC, y todas las vinculaciones físicas de la plataforma Arduino en sus entradas y salidas, pulsadores y sensores, y pantalla LCD y módulos relé, respectivamente. Dicho esquema

electrónico se encuentra en el Anexo IV lámina 3. Además, en la Figura 2.18 se adjunta la impresión del circuito simulado en el software Proteus 8.12.

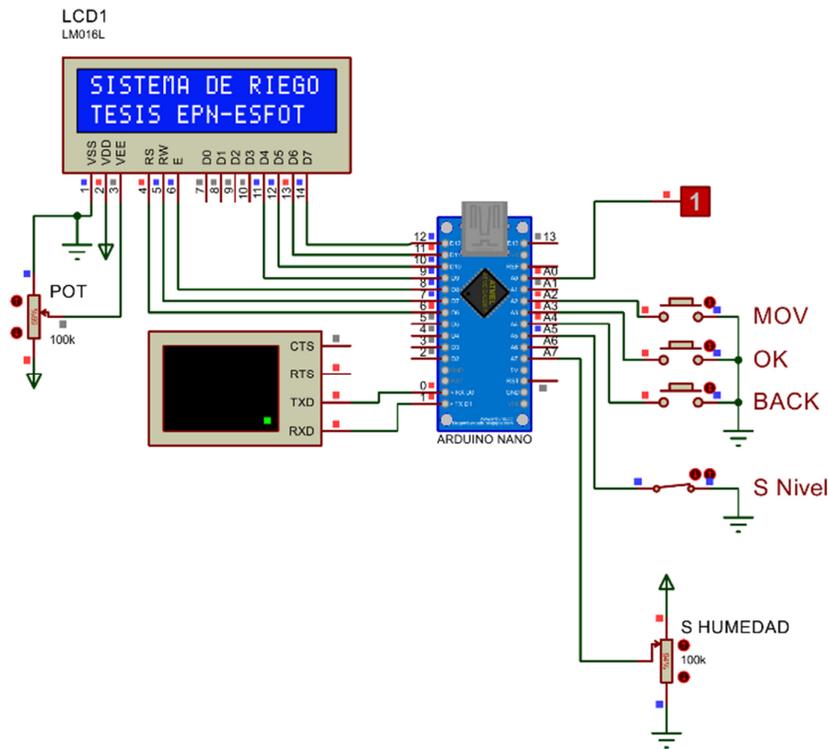


Figura 2.18 Simulación del circuito de control

2.4 Algoritmo de Control

El algoritmo de control empleado en el sistema paso por varios periodos de prueba desde el prototipado, hasta la implementación y entrega del proyecto. El código fue desarrollado en el software libre Arduino IDE y cargado a la plataforma Arduino Nano v3 [12].

La función que cumple el programa en el microcontrolador ATMEGA328 es comandar todo el sistema de tal manera que se cumplan las condiciones preconfiguradas mediante datos de las variables de entradas digitales y analógicas.

Se debe tomar en cuenta que la unidad de riego tiene dos modos de funcionamiento: modo manual y modo automático.

- Dentro del modo automático se dispone el modo sensor (lazo cerrado) y el temporizado (lazo abierto). Se estableció que el sistema se apague y no permita su

accionamiento si no cumple el nivel mínimo de agua en el tanque, además el higrómetro en el modo sensor de humedad solo permite el accionamiento cuando el voltaje que devuelve se halla en el umbral establecido. Para el modo temporizado se consideró que el tiempo base de funcionamiento es tres minutos y con cada pulso del botón P1 (Move), se añaden otros tres minutos a la cuenta regresiva.

- Dentro del modo manual se dispone el botón de inicio que permite la activación de la bomba según las consideraciones del usuario, dicho modo toma en cuenta que el reservorio disponga de agua para que el sensor de nivel se mantenga enviando la señal que permite el accionamiento del sistema.

En la Figura 2.19 se encuentra el acceso mediante Código QR



Figura 2.19 Código QR del Algoritmo de control del sistema
(Enlace: <https://bit.ly/3XTdkrV>)

En el Anexo V se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de control del sistema.

2.5 Construcción

La primera visita técnica al terreno fue la piedra angular para el dimensionamiento, planificación y montaje de los dispositivos que componen la unidad de riego tal como se muestra en la Figura 2.20. Cada una de las especialidades que componen el proyecto se llevaron a cabo en diferentes fases de construcción. El primer avance hace referencia al montaje de elementos eléctricos, protecciones, preaccionadores y secciones de conductor, todo lo correspondiente al circuito de potencia del sistema. El segundo avance corresponde al conexionado del circuito de control, este incluye el microcontrolador y el resto de los dispositivos electrónicos. El tercer y último avance cubrió todo con respecto al acoplamiento mecánico, red de riego, estructura de la bomba y montaje de esta.



Figura 2.20 Lugar de implementación del sistema

Ensamblaje

Posterior a la visita y con todos los materiales a disposición se distribuyeron y conformaron los circuitos eléctricos de potencia y circuitos de control siguiendo el plano eléctrico y el esquema electrónico, al igual que en el prototipo. Se revisaron las medidas de las canaletas y riel DIN para cortar y adaptar los pedazos más pequeños para ordenarlos con el resto de las piezas. Todas estas se dispusieron en la extensión del doble fondo para apreciar y decidir en donde serían colocados y crear los empalmes entre elementos con el conductor tal como se muestra en la Figura 2.21.



Figura 2.21 Materiales para armar el tablero de control

Por motivos de evitar comprometer el grado de protección IP del tablero al realizar perforaciones, se buscaron alternativas como colocar una placa de metal para crear dentro del gabinete una cara frontal la cual fue perforada según los requerimientos de los elementos. Así se adquirió una plancha de metal de 260x360 (mm) que posteriormente se envió para realizar varios tipos de agujeros según los datos de la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Listado de agujeros realizados en la plancha

| Cantidad | Tipo de perforación | Dimensiones (mm) |
|----------|-------------------------|------------------|
| 1 | Perforación rectangular | 71x24 |
| 1 | | 45x19 |
| 2 | Perforación circular | Ø28 |
| 4 | | Ø22 |
| 4 | | Ø8 |

La distribución de estas aberturas se colocó previamente en cortes de cartón prensado para comprobar la conveniencia de su ubicación por lo que, en la placa, se marcaron las partes donde colocar: la pantalla LCD, la protección termomagnética, luz piloto, tres pulsadores y selector de tres posiciones, y los orificios para la varilla roscada, en el orden mostrado en la tabla anterior. De la misma forma se muestra este proceso en la Figura 2.22.

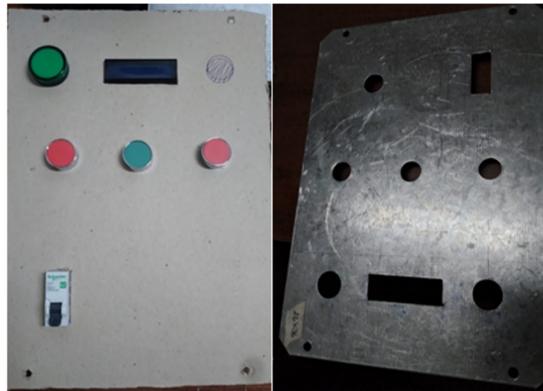


Figura 2.22 Molde de armado de la cubierta del tablero

Una vez recibida la placa con las perforaciones se procedió a rectificar los bordes con ayuda de una lima para que los elementos, especialmente la pantalla LCD y el termomagnético sean de fácil ubicación. Una vez realizada la colocación de canaletas, las piezas se ubicaron en sus puestos respectivos y se unieron con ayuda del conductor. Para este último, se realizó un recorrido entre el componente, canaleta y otro componente, esto con el objetivo de garantizar un correcto cableado y facilidad de maniobra al retirar la cubierta para realizar mantenimientos. También, se recortó espuma antiestática del tamaño adecuado para los elementos electrónicos con el fin de aislarlos de la superficie metálica. Así como se muestra en la Figura 2.23.

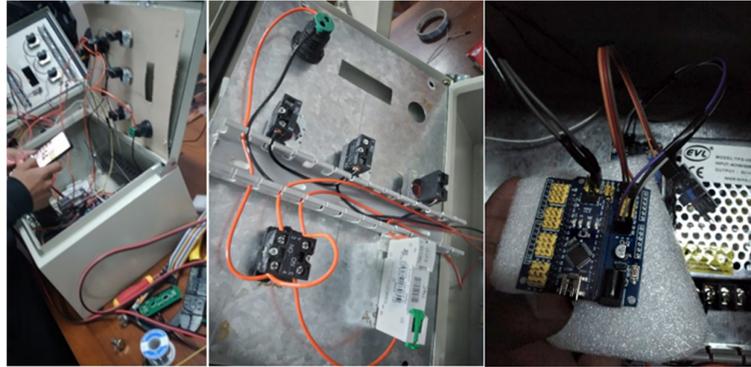


Figura 2.23 Migración del cableado y reubicación de materiales

Con el circuito de potencia armado y ajustado, el trabajo se centró en realizar las conexiones entre los sensores, módulos, pulsadores, la pantalla LCD y el Arduino tal como correspondía cada pin y según el algoritmo de control. Para esto se adaptaron zócalos macho a la pantalla LCD, cables Dupont hembra-hembra al largo adecuado para conectar módulos, sensores y pantalla, se soldaron cables AWG 18 a capacitores de 10 (μF), y se prepararon los bloques de los pulsadores.

De esta forma se consiguió entablar la transferencia de datos entre el LCD (RS, RW, EN, D4, D5, D6, D7) y el Arduino (6,7,8,9,10,11,12), recalcando que para cada conexión se realizaron agrupaciones de cables empalmados con un color diferente para cada pin como se muestra en la Figura 2.24. También, se formaron las pistas de los pulsadores colocando en cada bloque un capacitor electrolítico al mismo sentido que la polaridad indicada para enviar la señal correspondiente con cada pulso (entradas A2, A3 y A4). Se conectaron los módulos de acondicionamiento y módulo relé a la plataforma en los puertos A7 y A5 respectivamente. Parte de todo el proceso mencionado se encuentra retratado en la Figura 2.24.

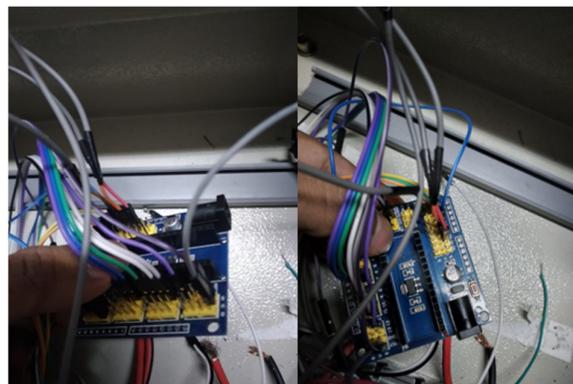


Figura 2.24 Armado y unión del circuito de control

Tras culminar toda la unión de componentes faltaba ordenar el cableado de la parte eléctrica y de control en las canaletas que se ubicaron con este propósito. Así se dispuso a agrupar los cables Dupont y AWG 14 colocándolos en una manguera en espiral para cada uno. La pantalla LCD se pegó en la tapa con resina epoxi. En la Figura 2.25 se observa el tablero de control con todo su conductor organizado.

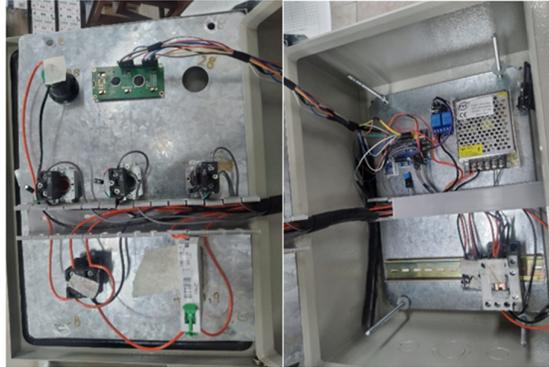


Figura 2.25 Organización de cables

A razón de favorecer el fácil mantenimiento de las líneas se deja cada cable con su respectiva etiqueta al inicio y al final de este, además de colocar la cobertura a las canaletas tal como se muestra en la Figura 2.26. Se realizó una revisión de las conexiones en el Arduino al ser la zona donde se separan los cables con mayor frecuencia al no estar ajustada por tornillos.



Figura 2.26 Interior del tablero de control

Previa la intervención en el terreno, se gestionó el montaje de una estructura en la cual al arribar se articuló un soporte para el tablero de control y la cubierta para cuando se requiera desmontarla tal como se observa en la Figura 2.27. El soporte y el tablero fueron ubicados con ayuda de un nivel con el fin de garantizar una correcta instalación y evitar incomodidad al usuario, esto se aprecia en la Figura 2.28.



Figura 2.27 Caseta para el sistema de control



Figura 2.28 Ubicación del tablero en la caseta

Se realizó la unión del conductor desde las borneras cortocircuitables a la bomba para que reciba suministro cuando se cierre el circuito. A su vez, se instaló la bomba en la caseta asegurando que tenga el flujo de aire suficiente para evitar sobrecalentamientos. En las boquillas de suministro y succión se colocaron los ductos, abrazaderas y se arraigó la bomba. En este proceso también se agregó el cableado del sensor de nivel dado que no

se podía realizar previamente porque se tenía que acoplar al tanque. Así en la Figura 2.29 se aprecia la bomba instalada y la conexión del sensor de nivel.



Figura 2.29 Bomba instalada y unión eléctrica-mecánica

Tras una última revisión de los empalmes del sistema se dejó todo en su lugar, procurando que la cubierta haya ingresado correctamente, se ajustaron las tuercas con arandelas y se comprobó el funcionamiento para que el tablero del sistema de control entre en servicio en cualquier momento. De esta manera en la Figura 2.30 se observa el tablero instalado.



Figura 2.30 Tablero instalado y funcionando

Para finalizar la instalación, se realizaron una serie de pasos que permitieron el levantamiento de la estructura de la red de riego, entre estos se tiene que: distribuir la

manguera por el terreno y cortarla en las secciones requeridas con ayuda de una sierra, colocar los acoples necesarios y sus respectivas abrazaderas según la distribución de los aspersores montados en estacas. También se colocó un filtro en el punto de succión del reservorio de agua, de forma que se aseguró que sea de fácil acceso para su mantenimiento. En la Figura 2.31 se aprecia la unión de las mangueras con los accesorios, destacando que se independizaron los aspersores mediante válvulas de bola a petición del usuario para riego de una zona a la vez. Se aplicó cemento CPVC en cada unión para reducir, prevenir y eliminar las posibles fugas en la red de riego. Las longitudes de cada parte de la manguera se encuentran en la Tabla 2.12.



Figura 2.31 Instalación de la red de riego

Tabla 2.12 Longitud de cada sección del ducto de agua

| Sección | Longitud (m) |
|---------|--------------|
| A | 5 |
| B | 0.017 |
| C | 10 |
| D | 4.3 |
| E | 0.01 |
| F | 16 |
| G | 0,01 |
| H | 1.6 |
| Total | 36.937 |

Finalmente, en la Figura 2.32 se muestra el sistema de riego construido.



Figura 2.32 Sistema de riego construido

2.6 Manual de uso y mantenimiento

Con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento y uso de la unidad de riego, se realizó un video demostrativo de la puesta en marcha de todo el sistema, haciendo énfasis en la ejecución y accionamiento de los modos de trabajo disponibles. De esta forma el código QR de acceso al video y a la información del manual de uso se observa en la Figura 2.33. Adicionalmente, en la Figura 2.34 se encuentra el código QR del manual de mantenimiento en el cual se hallan datos relevantes del sistema de riego, puntualizando recomendaciones y advertencias para prolongar el servicio de la unidad.



Figura 2.33 Código QR del video del manual de uso
(Enlace de acceso: <https://youtu.be/WgRKwepAtDc>)



Figura 2.34 Código QR manual de mantenimiento
(Enlace del video: <https://youtu.be/viPXz6ZfFOs>)

3 RESULTADOS

3.1 Pruebas y análisis de resultados

Durante todo el proceso de construcción y montaje de la unidad de riego se realizaron varias pruebas que buscaban revelar potenciales errores y principalmente poner a prueba el funcionamiento de cada elemento en ocasiones de manera individual y en conjunto. Por lo que las pruebas realizadas se dividen en tres componentes: eléctricas, mecánicas y electrónicas.

Funcionamiento del sistema eléctrico

- **Prueba de continuidad de conductores**

Como acción previa al conexionado de conductores, a todo el cable medido, cortado y desprendido de aislante en sus extremos, se realizaron pruebas de continuidad con ayuda de un multímetro cuando las secciones eran pequeñas, recibiendo 0L cuando no conduce y un valor numérico cuando si lo hace. Por otro lado, se comprobó continuidad de los cables de mayor longitud al conectarlos a un tomacorriente y obtener voltaje al medir con un multímetro.

Este proceso se lo llevó a cabo con la finalidad de verificar que el conductor en cuestión haya estado en buen estado antes de su utilización, tal como se muestra en la Figura 3.1.

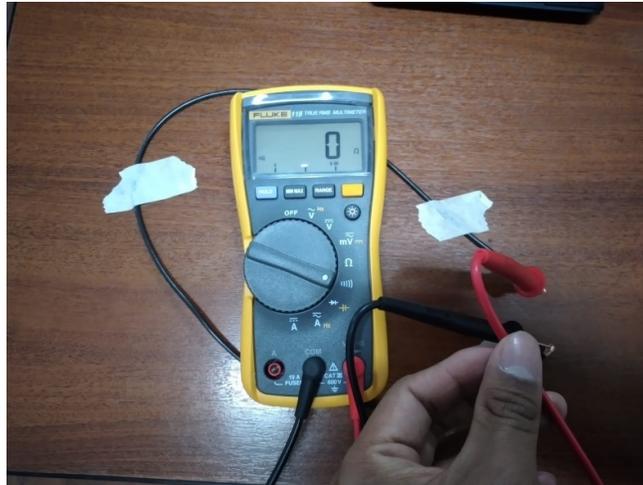


Figura 3.1 Prueba de continuidad del conductor

- **Prueba de accionamiento del contactor**

Como parte del montaje de tablero de control de la unidad de riego se vieron necesarias ejecutar distintas pruebas de continuidad en los contactos de las bobinas, su accionamiento y prueba de funcionamiento de la parte mecánica de la bobina, esto se puede notar en la Figura 3.2. Teniendo presente que en este elemento los contactos de fuerza eran normalmente abiertos, el uso de un multímetro entre cada uno de los polos no enviaba señal al no energizar la bobina. Para probar la continuidad en los contactos se presionó el portacontactos móvil hasta escuchar el pitido que indicaba la unión de la placa conductora. Por otro lado, con ayuda del multímetro se cercioró que entre los bornes de la bobina exista continuidad, así al suministrarle el voltaje desde un tomacorriente se comprobó que el contactor se accionaba normalmente.

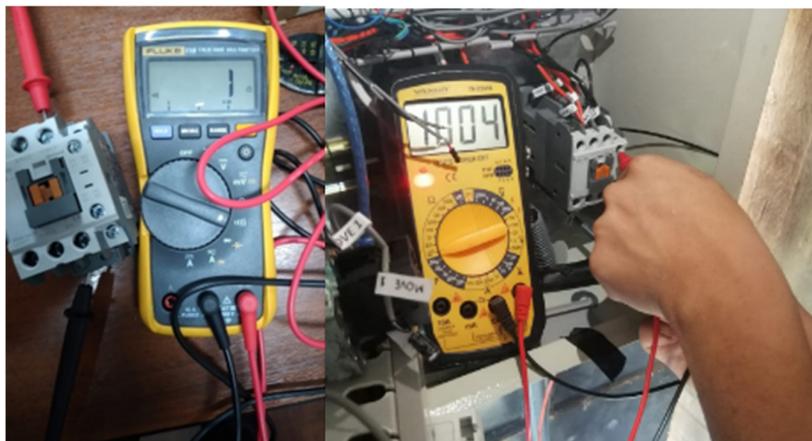


Figura 3.2 Pruebas realizadas al contactor

- **Prueba inicial de puesta en marcha**

El modo manual del sistema depende de la utilización del selector de tres posiciones por lo que al escoger este modo necesita la presencia del usuario y que este accionó el termomagnético con anterioridad. Se comprobó que el sistema se energiza al cerrar el disyuntor y que este permite a su vez activar el modo manual ya que en este modo el contactor es el encargado de realizar todo el trabajo al girar la perilla al modo indicado hasta que sea desactivada. En la Tabla 3.1 se muestra la recopilación de las pruebas realizadas a los elementos de forma individual y al sistema implementado, considerando únicamente el apartado eléctrico.

Tabla 3.1 Pruebas eléctricas realizadas a la unidad de riego

| Prueba Realizada | | Estado |
|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Continuidad Conductor | Fase | ✓ |
| | Neutro | ✓ |
| Accionamiento mecánico contactor | | ✓ |
| Continuidad Contactor | Bobina | ✓ |
| | Contacto L1 | ✓ |
| | Contacto L2 | ✓ |
| | Contacto L3 | ✓ |
| Accionamiento de la bomba modo manual | | ✓ |
| Activación del termomagnético | | ✓ |

Funcionamiento del sistema mecánico

- **Prueba de fugas**

Se realizaron diversas pruebas de fugas tanto para la red de riego y sus accesorios como para el tanque de agua proporcionado que servía como reservorio. Así se observa en la Figura 3.3 como se realiza el llenado del depósito después de colocar sellante en los orificios dispuestos para instalar la boca de succión de agua y el sensor de nivel de acoplamiento lateral. De la misma forma se reforzaron las uniones con teflón y cemento CPVC como medida contra fugas, esta se tomó en las válvulas, acoples y aspersores.



Figura 3.3 Pruebas de fuga en el reservorio de agua

- **Prueba de funcionamiento de la red de riego**

Durante el levantamiento de la red de riego se fueron apreciando los elementos que iban formando parte de esta por lo que se hizo una revisión visual y mecánica de todas las piezas y se recopiló dicha información en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Revisión individual de los elementos de la red de riego

| Prueba realizada | | Visual | Mecánica |
|-----------------------------|----------|--------|----------|
| Aspersores | Número 1 | ✓ | ✓ |
| | Número 2 | ✓ | ✓ |
| | Número 3 | ✓ | ✓ |
| Válvulas | Check | ✓ | ✓ |
| | Bola 1 | ✓ | ✓ |
| | Bola 2 | ✓ | ✓ |
| Acoples 3/4" Rosca-manguera | Grupo 1 | ✓ | ✓ |
| | Grupo 2 | ✓ | ✓ |
| Abrazaderas 3/4" | Todas | ✓ | ✓ |
| Tees | Número 1 | ✓ | ✓ |
| | Número 2 | ✓ | ✓ |

Se debe resaltar que el aspersor 2 en la etapa inicial no cumplía con su servicio, por lo que fue remplazado.

En la Tabla 3.3 se observa la verificación de las pruebas realizadas a la parte mecánica del sistema de riego

Tabla 3.3 Resumen de pruebas mecánicas realizadas

| Prueba realizada | | Estado |
|-------------------------------|-------------------|--------|
| Aspersores que cubren su área | Área 1 | ✓ |
| | Área 2 | ✓ |
| | Área 3 | ✓ |
| Válvulas | Check | ✓ |
| | Bola | ✓ |
| Accesorios varios | | ✓ |
| Fugas revisadas y prevenidas | Tee 1 | ✓ |
| | Tee 2 | ✓ |
| | Aspersor 1 | ✓ |
| | Aspersor 3 | ✓ |
| | Aspersor 4 | ✓ |
| | Válvula-Acoples 1 | ✓ |
| | Válvula-Acoples 2 | ✓ |
| | Válvula-Acoples 3 | ✓ |

Funcionamiento del sistema electrónico

- **Simulación**

Para considerar al algoritmo de control apto para comandar el sistema, primero fue probado en el software Proteus 8.12 con el fin de rectificar errores o incongruencias de código, incluso las declaraciones de variables para los estados de la bomba. Se creó un circuito, se cargaron las librerías correspondientes para simular al microcontrolador y se cargó el código programado en la aplicación de escritorio Arduino IDE. En la Figura 3.4 se contempla la pantalla de simulación en la cual se probaron las diferentes versiones del algoritmo empleado en el proyecto.

- **Prueba de pulsadores**

A fin de detectar posibles desperfectos en el funcionamiento de las entradas a cargo de los elementos de maniobra se dispuso a hacer una serie de ensayos a los botones P1, P2 y P3 o bien llamados Move, Okay y Back, los cuales cumplen la función de navegación, aceptar y regresar, respectivamente. En la Tabla 3.4 se observa la lista de pruebas realizadas a los pulsadores para garantizar el servicio de forma adecuada. Considerando que el rebote se eliminó de forma analógica con ayuda de capacitores y por acción de estos al ser de tipo electrolíticos deja el accionamiento de los pulsadores con un retardo, también, los pulsos de cada botón se realizaron devolviendo al sistema a sus condiciones iniciales.

Tabla 3.4 Pruebas realizadas a los pulsadores

| Prueba realizada | | Reacción | Funciona |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| Pulsador 1 (Move) | Rebote | No existe | ✓ |
| | Tiempo de respuesta | Aprox. 1 segundo | |
| | Primer pulso | Cambio de menú | |
| | Segundo pulso | Cambio de menú | |
| | Tercer pulso | Cambio de menú | |
| | Retorno a su posición | Correcto | |
| Pulsador 2 (Okay) | Rebote | No existe | ✓ |
| | Tiempo de respuesta | Aprox. 1 segundo | |
| | Primer pulso | Enciende la bomba | |
| | Segundo pulso | Apaga la bomba | |
| | Tercer pulso | Enciende la bomba | |
| | Retorno a su posición | Correcto | |
| Pulsador 1 (Back) | Rebote | No existe | ✓ |
| | Tiempo de respuesta | Aprox. 1 segundo | |
| | Primer pulso | Ninguna | |
| | Segundo pulso | Ninguna | |
| | Tercer pulso | Ninguna | |
| | Retorno a su posición | Correcto | |

- **Prueba del tablero**

Cada uno de los modos de trabajo fue probado en laboratorio y posteriormente en el sitio donde se instaló. En la Figura 3.6 se observa el trabajo realizado en el tablero.

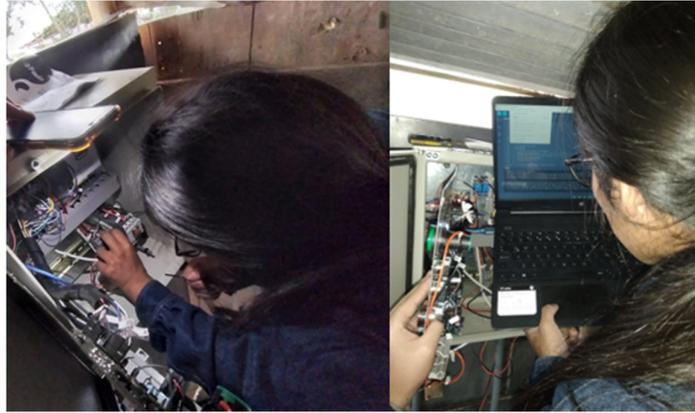


Figura 3.6 Actualización del algoritmo de control y pruebas en sitio

En la Tabla 3.5 se realiza un resumen y recopilación de las pruebas realizadas a la parte de control del sistema correspondiente a la sección electrónica de la unidad de riego.

Tabla 3.5 Pruebas electrónicas realizadas a la unidad de riego

| Prueba realizada | | Estado |
|----------------------------------|-------------|--------|
| Continuidad Cable Dupont | | ✓ |
| Funcionamiento de Pulsadores | P1 | ✓ |
| | P2 | ✓ |
| | P3 | ✓ |
| Modos de trabajo en lazo cerrado | Manual | ✓ |
| | Temporizado | ✓ |
| | Higrómetro | ✓ |

Finalmente, para complementar la información de las pruebas realizadas se puede acceder a un video demostrativo a través del Código QR de la Figura 3.7.



Figura 3.7 Código QR del video de pruebas del sistema de riego
(Enlace de acceso: <https://youtu.be/TxhL8NvfP9k>)

Una vez que el sistema de riego fue probado y validado, se realizó la entrega formal del proyecto al delegado del PNUD. Se evidencia la recepción y conformidad del proyecto en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Entrega del Proyecto al PNUD y firma del acta de Recepción

4 CONCLUSIONES

- La unidad de riego por aspersión con modo de trabajo a lazo abierto y a lazo cerrado se implementó de forma exitosa en la parroquia de Llano Chico, atendiendo los requerimientos hídricos de las plantaciones gracias a los aspersores independientes instalados en puntos estratégicos.
- Con el fin de favorecer la comprensión de la lectura del higrómetro para el usuario, se estableció que la interfaz en el modo sensor del sistema únicamente presente dos estados: suelo húmedo y suelo seco, pese a que el microcontrolador recepta una señal analógica.
- Se seleccionó la plataforma Arduino por la velocidad de respuesta demostrada en la fase de pruebas del prototipo, por su hardware accesible y software de programación de uso libre, de esta manera favorece la replicabilidad del tablero de control incluso para personas que tienen conocimientos técnicos básicos.
- El algoritmo de control tiene una estructura básica de modo que es posible reconocer y modificar los parámetros de funcionamiento de las modalidades de trabajo, siendo los más destacables el tiempo agregado con cada pulso del modo temporizado y el rango de acción del higrómetro en función su voltaje.
- El diagrama eléctrico unifilar realizado en AutoCAD empleó la simbología adecuada para cada elemento, detalla las conexiones entre todos los componentes del tablero asegurándose que sea de fácil comprensión y agregando su respectiva leyenda.
- Para el sistema de riego se emplearon aspersores de impacto de medio alcance que permitieron regular su radio de acción, cubriendo idealmente el área más estrecha del terreno, también, facilitaron la irrigación con ayuda de un tornillo incorporado haciendo que se rocié de mejor forma reduciendo aún más el alcance, evitando desperdicio de agua en paredes y estructuras.
- La red de riego compuesta por tuberías se distribuyó de manera tal que los aspersores terminaron en diferentes ramales, permitiendo colocar válvulas para usar solamente un aspersor a la vez tal como se diseñó, tomando en cuenta el correcto funcionamiento del último elemento al final de la línea crítica.
- La ejecución de las pruebas de funcionamiento del sistema evidenció el accionamiento de cada uno de los modos de trabajo, las protecciones y las señales

de respuesta de los sensores, los cuales satisfacen la demanda de las personas conforme a lo ofertado.

- Las pruebas del sistema electrónico fueron las más exigentes de modo que en cada fase del desarrollo del proyecto y en cada sesión de trabajo, armado y ensamblado se realizaba una de estas puesto que es la parte más delicada y de la que depende toda la unidad de riego.
- El tablero de control cuenta con un etiquetado en las entradas y salidas de sus elementos en cada uno de sus cables, el mismo que permitirá al operario detectar posibles fallas o simplemente realizar mantenimiento preventivo.
- Se realizó un video sencillo y de fácil comprensión para el usuario de tal forma que el operario pueda acudir a este recurso cada vez que necesite volver a instruirse en el manejo del tablero de control.
- Los delegados del PNUD fueron complacidos con la instalación del proyecto en la fecha de entrega, de la misma forma mostraron apertura a seguir trabajando en conjunto, así también, se apreció un legítimo interés por parte de dueños y encargados del terreno en cada visita y labor de instalación.

5 RECOMENDACIONES

- En medida de lo posible involucrar a los dueños y/o encargados del terreno en el montaje de las estructuras dado que de esta forma aportan ideas, se familiarizan con el sistema, aportan con otra perspectiva del trabajo y en su rol de cliente/beneficiario están en derecho de sugerir cambios a favor de cubrir de mejor forma la necesidad según sea posible.
- Tomar en consideración las características del terreno en donde se realizará la instalación de la unidad de riego, la inclinación y diferencia de altura entre el reservorio y la bomba, además del nivel de humedad requerido por cada tipo de cultivo para de este modo regular el volumen de agua adecuado en un tiempo apropiado.
- Es importante aislar la parte electrónica del sistema, dado que es bastante sensible y con el fin de mejorar el rendimiento de la unidad de riego es posible agregar válvulas solenoides y más sensores para sectorizar el riego automatizado, especialmente si se renuevan estos últimos por transmisores de humedad del suelo con señal normalizada entre 4 a 20 (*mA*).
- El algoritmo de control puede ser cargado a cualquiera de los diferentes modelos de Arduino siempre que se tenga instaladas las librerías necesarias y se adapte al circuito de control, además su código puede transcribirse a otros lenguajes y migrar a otros microcontroladores o controladores para mejorar su rendimiento.
- Para incrementar la robustez del tablero de control es muy importante considerar el uso de un PLC, como un *LOGO*, de este modo el tablero puede cumplir las demandas más exigentes de los clientes como el riego en horas específicas.
- En el dimensionamiento se deben considerar los factores de seguridad de los elementos eléctricos para garantizar la integridad del tablero de la unidad de riego en cuanto a su circuito eléctrico y electrónico.
- Es posible equipar al reservorio con sensores de nivel con el fin de tener mayor control al contar con más señales de entrada, lo que permitiría colocar alarmas auditivas cuando se presenten niveles mínimos o máximos, siendo recomendable la automatización del llenado del reservorio puesto que hasta el momento se realiza de forma manual.

- El uso de una bomba de mayor potencia y un incremento del área transversal del ducto de agua permitirá emplear los tres aspersores a la vez o incluso agregar expansiones a la red de riego.
- Es posible complementar al suministro del tanque con la cosecha de agua siempre que se filtren las partículas y sedimentos antes de ingresar el agua al reservorio, de la misma forma el añadir un reservorio de emergencia o de expansión favorecería al uso más frecuente del sistema.
- Para disipar o reducir las dudas sobre el funcionamiento del operario no técnico, se debe socializar las pruebas de funcionamiento del sistema con el fin de compartir información y aclarar las acciones en la unidad de riego.
- Cuando se presenta algún desperfecto o un trabajo por debajo de lo esperado en cualquiera de los aspersores se debería extraerlo de la red y realizar pruebas individuales como conectarlo a la red de agua potable, compararlo con los otros aspersores que funcionan correctamente, solicitar la garantía y por último revisar, reajustar y manipular el elemento.
- Se debe entregar los manuales de uso de la bomba y explicar las limitaciones que tienen tanto esta máquina como el tablero de control, a fin de evitar accidentes y mantener la vida útil del sistema.
- Se debe realizar recorridos y tareas de mantenimiento en la red de riego, especialmente en el tanque, reemplazar los filtros y hacer limpieza para evitar que sedimentos ingresen a la bomba.
- Para reducir la contaminación visual de la red de riego se consideró que esta debería componerse por una estructura de tubos PVC enterrada y únicamente mantener las mangueras en la salida que suministra a los aspersores.

6 REFERENCIAS

- [1] UNDP, «Territorios que sanan: Al encuentro de las Hierbateras’, una exposición temporal para valorar el trabajo de las hierbateras de Quito,» 30 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3Y8nJQ9>.
- [2] UNDP, «Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo,» UNDP, [En línea]. Available: <https://www.undp.org/es>. [Último acceso: 4 Diciembre 2022].
- [3] UNDP, «Otros Mapas,» UNDP, 15 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.otrosmapas.org/territorios-que-sanan>. [Último acceso: 4 Diciembre 2022].
- [4] Fundación Museos de la Ciudad, «Territorios que sanan: Al encuentro de las Hierbateras,» FMC, 19 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://fundacionmuseosquito.gob.ec/territorios-que-sanan-al-encuentro-de-las-hierbateras/>. [Último acceso: Diciembre 2022].
- [5] AGROMASAN SL, «Mundo Riego,» 13 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://mundoriego.es/automatizacion-de-sistemas-de-riego/>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [6] Macrotubo S.A, «elRiego.com,» 23 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://elriego.com/informacion-tecnica/>. [Último acceso: 6 Diciembre 2022].
- [7] Arduino, «Arduino,» Arduino.cc, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/hardware#nano-family>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [8] SSDielect, «ssdielect.com,» 5 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://ssdielect.com/adaptadores-smd-a-dip/1003-expansion-nano.html>.
- [9] Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, *Mécanica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 2012.
- [10] EG Shop, «Electro Geek,» 4 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/>. [Último acceso: Diciembre 2022].

[11] L. Llamas, «MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO CON ARDUINO E HIGRÓMETRO FC-28,» 19 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>.

[12] Arduino, «Arduino IDE,» 17 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>.

7 ANEXOS

ANEXO I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin

ANEXO II. Certificado de funcionamiento del Trabajo de Integración Curricular

ANEXO III. Fichas técnicas de los elementos

ANEXO IV. Planos y esquemas

ANEXO V. Diagrama de Flujo

ANEXO VI. Certificado de aprobación firmado por delegado del PNUD

Anexo I. Porcentaje de similitud generado por Turnitin

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, como director del presente Trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin:

| | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Autor de la entrega: | David Alexander Simbaña Moya |
| Título del ejercicio: | Tesis ESFOT |
| Título de la entrega: | Tesis Simbaña |
| Nombre del archivo: | David_Alexander_Simba_a_Tesis.pdf |
| Tamaño del archivo: | 2.05M |
| Total páginas: | 52 |
| Total de palabras: | 10,726 |
| Total de caracteres: | 53,795 |
| Fecha de entrega: | 31-ene.-2023 02:52p. m. (UTC-0500) |
| Identificador de la entre... | 2003533759 |

Tesis Simbaña

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 7 % | 7 % | 1 % | 1 % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias Apagado



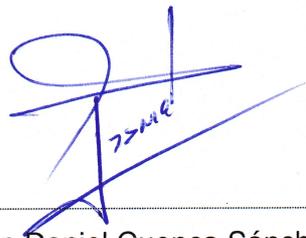
Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez, MSc.

DIRECTOR

Anexo II. Certificado de funcionamiento del Trabajo de Integración Curricular

DMQ, 01 de febrero del 2023

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certifico que he constatado el correcto funcionamiento la unidad de riego por aspersión con realimentación de variable de humedad, en las áreas de instalaciones eléctricas, diseño electrónico y montaje mecánico que fueron desarrolladas y ejecutadas por el estudiante David Alexander Simbaña Moya. El proyecto cumple con los requerimientos necesarios para que cualquier usuario pueda usar el dispositivo diseñado de forma ágil y fiable.



Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez, MSc.

DIRECTOR

Anexo III. Fichas técnicas de los elementos



CÓDIGO: 10321 CLAVE: ASP-11X

Aspersor metálico dos vías, estaca de 11", Truper

- Cabeza de aspersor metálico de pulsaciones con clip de límite de riego
- Estaca metálica

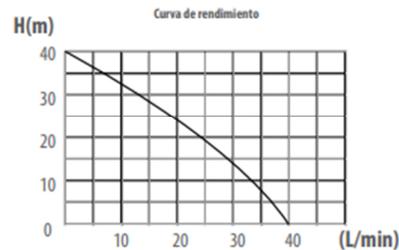


Área de riego

Especificaciones

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Presión de trabajo | 40 a 50 PSI |
| Entrada de agua | 3/4" |
| Conexión estaca - aspersor | 1/2" |
| Estaca | 20 cm |
| Vías | 2, conexión en serie |
| Empaque individual | Tarjeta plástica |
| Inner | 6 |
| Master | 48 |

BOMBA DE AGUA ELÉCTRICA IMPELER PERIFÉRICO



| Código Promesa | Modelo | Medida | Caja |
|----------------|----------|--------|---------|
| 21314 | PKM - 60 | 1/2 HP | 1 unid. |
| 21324 | PKM - 65 | 3/4 HP | 1 unid. |
| 21325 | PKM - 80 | 1 HP | 1 unid. |

Características:

- Motor con eje de acero inoxidable.
- Sello Mecánico de anillo de cerámica y sello de grafito.
- Impeler de aletas radiales, fabricado en aleación de bronce.
- Protector térmico incorporado
- Menor consumo eléctrico
- Motor silencioso.
- Sución y descarga de 1" NPT
- Motor 115/230V
- Ciclos 60/2-3450rpm

Usos:

- Tanques de reserva
- Jardines de riego
- Insuficiencia de presión
- Aplicaciones sanitarias

| 21314 | |
|----------------|------------------|
| Caudal L./Min. | Altura en metros |
| 0 | 40 |
| 5 | 38 |
| 10 | 33,5 |
| 15 | 29 |
| 20 | 24 |
| 25 | 19,5 |
| 30 | 15 |
| 35 | 10 |
| 40 | 5 |

| 21324 | |
|----------------|------------------|
| Caudal L./Min. | Altura en metros |
| 0 | 55 |
| 5 | 50 |
| 10 | 45,5 |
| 15 | 40,5 |
| 20 | 36 |
| 25 | 31 |
| 30 | 26 |
| 35 | 22 |
| 40 | 17 |

| 21325 | |
|----------------|------------------|
| Caudal L./Min. | Altura en metros |
| 0 | 70 |
| 5 | 66 |
| 10 | 61 |
| 15 | 56 |
| 20 | 51 |
| 25 | 46 |
| 30 | 41 |
| 35 | 36 |
| 40 | 31 |

BOMBA DE AGUA ELÉCTRICA IMPELER PERIFÉRICO

Contactors (22AF)

Description

- 3-pole(NO) main contact
- Finger proof design
- DIN rail or screw mountable
- AC or DC control in different physical size
- Front/side mountable accessories available
- Direct mountable overload relay available Rating
- 1NO or 1NC Auxiliary contact built-in as standard.



MC-22b

Rating

| Contactor type | | MC-9b | | MC-12b | | MC-18b | | MC-22b | | | |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|----|----|
| | | kW | A | kW | A | kW | A | kW | A | | |
| AC duty | AC 3 | 200/240V | 2.5 | 11 | 3.5 | 13 | 4.5 | 18 | 5.5 | 22 | |
| | | 380/440V | 4 | 9 | 5.5 | 12 | 7.5 | 18 | 11 | 22 | |
| | | 500/550V | 4 | 7 | 7.5 | 12 | 7.5 | 13 | 15 | 20 | |
| | | 690V | 4 | 5 | 7.5 | 9 | 7.5 | 9 | 15 | 18 | |
| | AC 4 | 200/240V | 1.5 | 8 | 2.2 | 11 | 3.7 | 16 | 3.7 | 18 | |
| | | 380/440V | 2.2 | 6 | 4 | 9 | 4 | 11 | 5.5 | 13 | |
| | | AC 1 | - | 25 | - | 25 | - | 32 | - | 40 | |
| | DC1 duty (L/R=1ms) | 2-pole | 24V | - | 18 | - | 18 | - | 18 | - | 32 |
| | | | in series | 48V | - | 17 | - | 17 | - | 17 | - |
| 110V | | | - | 12 | - | 12 | - | 12 | - | 23 | |
| 3-pole | | 24V | - | 20 | - | 20 | - | 20 | - | 32 | |
| | | in series | 48V | - | 20 | - | 20 | - | 20 | - | 32 |
| | | 110V | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 27 | |
| DC 2,4 duty (L/R=15ms) | 2-pole | 24V | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 25 | |
| | | in series | 48V | - | 12 | - | 12 | - | 12 | - | 20 |
| | | 110V | - | 8 | - | 8 | - | 8 | - | 15 | |
| | 3-pole | 24V | - | 18 | - | 18 | - | 18 | - | 30 | |
| | | in series | 48V | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 30 |
| | | 110V | - | 12 | - | 12 | - | 12 | - | 20 | |
| Directly mountable Overload relay | | MT-32 | | | | | | | | | |
| Conductor size (solid, stranded) | | AWG | | 16-10 | | 16-8 | | 14-8 | | | |
| (the max. number of conductors: 2) | | mm ² | | 1.5-4 | | 1.5-10 | | 2.5-10 | | | |
| Conductor type | | 65/75°C Cu-wire only | | | | | | | | | |



Coil voltage



2-pole in series



3-pole in series

| | | |
|----|---------|---|
| AC | 50Hz | 24, 32, 42, 48, 80, 100, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 500, 550V |
| | 60Hz | 24, 48, 110, 110, 12, 200, 208, 220, 230, 240, 277, 380, 480, 600V |
| | 50/60Hz | 24, 48, 100, 110, 120, 200, 220, 230, 240, 380, 415, 440, 500, 550V |
| DC | | 12, 20, 24, 48, 60, 80, 100, 110, 125, 200, 220, 250V |

Certification

- CE (IEC)
- UL908

DESCRIPCIÓN

INFO

El Sensor de humedad de Suelo FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de 2 electrodos resistivos. Compatible con Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32. El sensor es ideal para monitorear el nivel de humedad de tus plantas y así recordar cuando necesitan ser regadas o incluso para realizar un sistema totalmente automatizado de riego añadiendo una válvula o una bomba de agua. Si el sistema se conecta a internet podríamos controlar/monitorear nuestro jardín desde cualquier lugar del mundo!

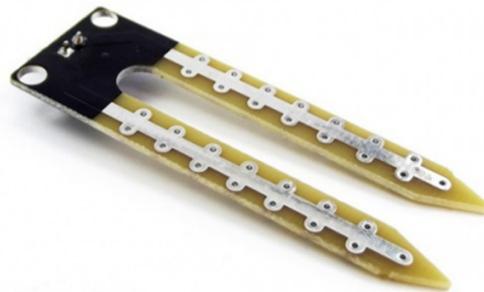
El funcionamiento del sensor se basa en medir la resistencia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo, por lo que para un suelo muy húmedo tendremos una resistencia muy baja (corto circuito) y para un suelo muy seco la resistencia será muy alta (circuito abierto). El electrodo va conectado a una tarjeta de acondicionamiento (YL-38) que entrega una salida digital y otra analógica. La salida digital (DO) es la salida de un opamp en modo comparador, la salida digital se activa cuando el nivel de humedad es menor al nivel deseado, este nivel (umbral o threshold) se puede regular con el potenciómetro de la tarjeta. La salida analógica (AO) es la salida de un divisor de tensión entre una resistencia fija y la resistencia entre los electrodos, entrega un voltaje analógico desde 0V para un suelo muy húmedo hasta 5V para un suelo muy seco. Para la conexión a Arduino podemos optar por utilizar la salida analógica del módulo conectada a una entrada analógica del Arduino o por utilizar la salida digital (DO) conectada a una entrada digital del Arduino.

Recomendaciones: Introducir en la tierra solo la parte de los electrodos, los circuitos debe ser protegidos de la humedad. Para extender la vida útil del sensor se puede alimentar el sensor solo cuando va a ser leído y no permanentemente. Una alternativa de mayor vida útil es el [Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo](#).

Nota: La salida del sensor es de tipo cualitativo más que de tipo cuantitativo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC (VCC)
- Corriente de operación: 35mA
- Voltaje de señal de salida analógico (AO) : 0 a VCC
- Voltaje de señal de salida digital (DO) : 3.3V/5V TTL
- Opamp LM393 en modo comparador, umbral (threshold) regulable por potenciómetro
- Superficie de electrodo: Estaño
- Incluye: Electrodo, Placa y cable de conexión
- Vida útil electrodo sumergido: 3 a 6 meses
- Dimensiones YL-38: 30*16 mm
- Dimensiones YL-69: 60*20*5 mm
- Peso:



CONEXIONES

- **VCC:** Voltaje de alimentación (3.3V - 5V DC)
- **GND:** Tierra (GND 0V)
- **DO:** Salida digital
- **AO:** Salida analógica

2 Channel 5V Relay Module



This is a LOW Level 5V 2-channel relay interface board, and each channel needs a 15-20mA driver current. It can be used to control various appliances and equipment with large current. It is equipped with high-current relays that work under AC250V 10A or DC30V 10A. It has a standard interface that can be controlled directly by microcontroller.

Feature:

Relay Maximum output: DC 30V/10A, AC 250V/10A

2 Channel Relay Module with Optocoupler LOW Level Triger expansion board, which is compatible with arduino

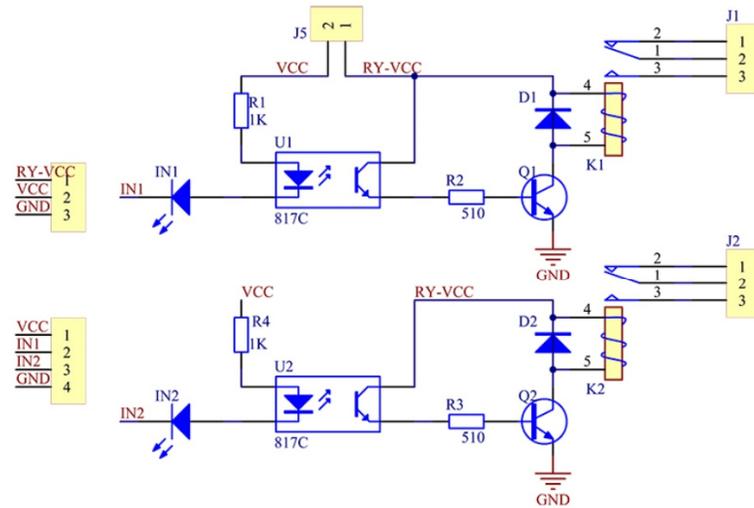
Standard interface that can be controlled directly by microcontroller (8051, AVR, *PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic)

Relay of high quality loose music relays SPDT. A common terminal, a normally open, one normally closed terminal

optocoupler isolation, good anti-jamming

www.openplatform.cc

Schematic



Input:

VCC : Connected to positive supply voltage (supply power according to relay voltage)

GND : Connected to negative supply voltage

IN1: Signal triggering terminal 1 of relay module

IN2: Signal triggering terminal 2 of relay module

Output:

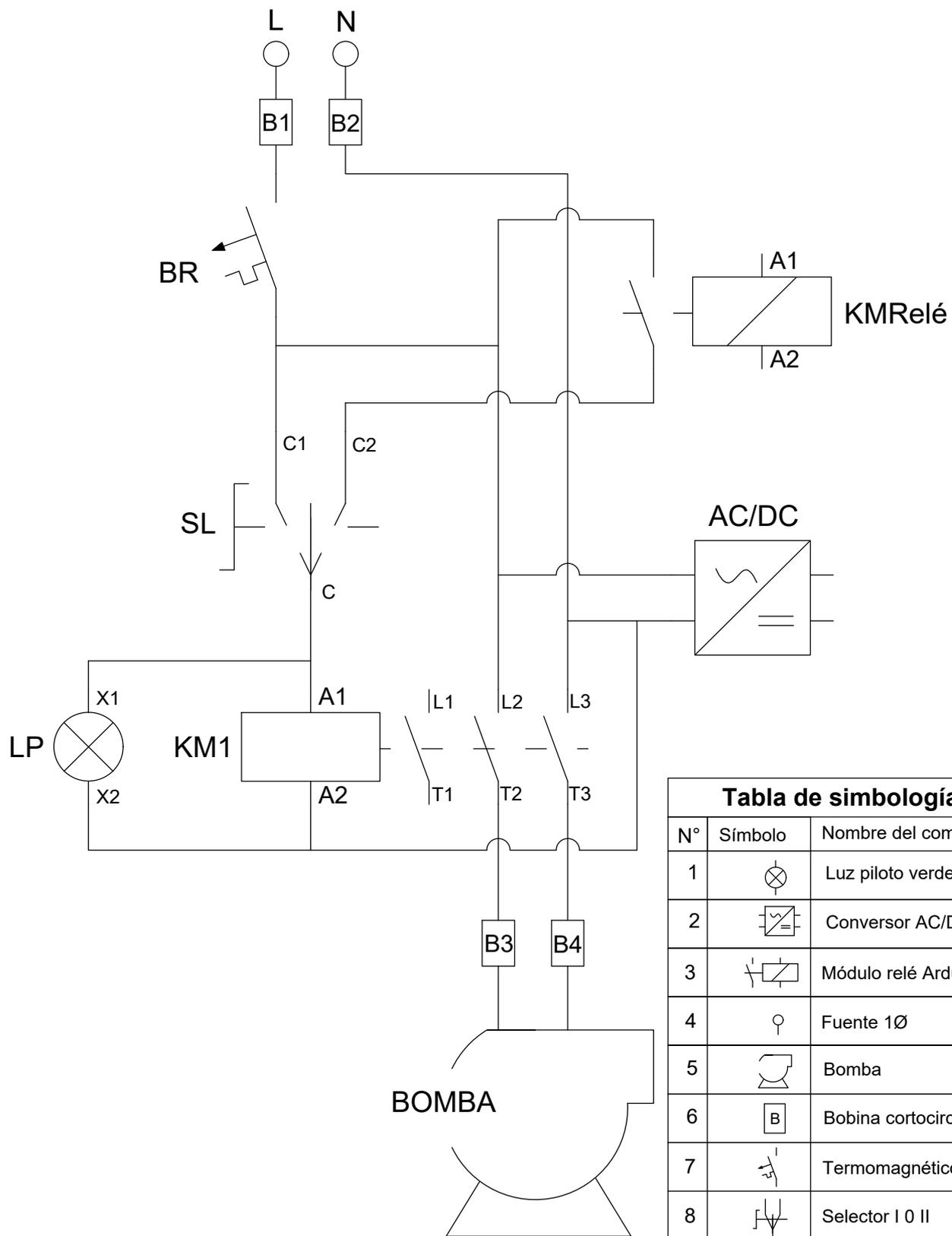
Each submodular of the relay has one NC(normalclose), one NO(normalopen) and one COM(Common). So there are 2 NC, 2 NO and 2 COM of the channel relay in total. NC stands for the normal close port contact and the state without power; No stands for the normal open port contact and the state with power. COM means the common port. You can choose NC port or NO port according to whether power or not.

| Tabla de precios componentes utilizados | | | | |
|---|--------|--|-----------------|--------------|
| Cantidad | Medida | Componentes | Precio Unitario | Precio Total |
| 1 | u | Bloque de contactos NC para pulsadores | 1,11 | 1,11 |
| 1 | u | Switch Industrial de 3 Posiciones | 2,99 | 2,99 |
| 1 | u | Enchufe blindado de dos patas | 0,75 | 0,75 |
| 1 | u | Arduino Nano V3.0 | 12,76 | 12,76 |
| 1 | u | Módulo shield de Expansión | 3,12 | 3,12 |
| 1 | u | Sensor de humedad del suelo | 3,12 | 3,12 |
| 1 | u | Pantalla matricial LCD de 2 líneas 16 caracteres | 4,37 | 4,37 |
| 25 | m | Cable duplex AWG 18 | 0,78 | 19,5 |
| 2 | u | Pulsadores Industriales Rojos NC | 2,55 | 5,1 |
| 1 | u | Pulsadores Industriales Verdes NA | 2,55 | 2,55 |
| 1 | u | Riel metálico de 35mm | 2,37 | 2,37 |
| 3 | u | Capacitor 10uF | 0,09 | 0,27 |
| 1 | u | Funda de Amarras Plásticas de 10cm | 0,76 | 0,76 |
| 1 | u | Paquete de Cables Macho-Macho | 2,5 | 2,5 |
| 1 | u | Paquete de Cables Hembra-Macho | 2,5 | 2,5 |
| 1 | u | Paquete de Cables Hembra-Hembra | 2,5 | 2,5 |
| 1 | u | Rollo de estaño delgado | 2 | 2 |
| 1 | u | Convertor AC/DC In: 127 Vac / Out: 5Vdc | 15 | 15 |
| 1 | u | Indicador de Luz Verde | 2 | 2 |
| 1 | u | Sensor tipo mirilla (boya) | 6 | 6 |
| 1 | u | Módulo Relé para Arduino | 2,5 | 2,5 |
| 1 | u | Manguera en espiral para cables 1" | 1,4 | 1,4 |
| 30 | m | Cable de Cobre THHN AWG14 color ROJO | 1,28 | 38,4 |
| 30 | m | Cable de Cobre THHN AWG14 color NEGRO | 1,28 | 38,4 |
| 1 | u | Disyuntor 1 Polo 6A | 5,4 | 5,4 |
| 1 | u | Contacto Tripolar 12A | 8,48 | 8,48 |
| 1 | u | Tablero IP 42 40x30x20 | 37,05 | 37,05 |
| 25 | m | Manguera corrugada de 1/2 " | 0,23 | 5,75 |

| | | | | |
|--------------|---|--|-------|---------------|
| 1 | u | Bomba 1/2 HP Marca Paolo | 43,99 | 43,99 |
| 40 | m | Manguera Negra de 3/4" para Agua | 2,06 | 82,4 |
| 1 | u | Filtros | 2 | 2 |
| 18 | u | Abrazaderas metálicas de 3/4" | 0,6 | 10,8 |
| 3 | u | Abrazaderas metálicas de 1" | 0,8 | 2,4 |
| 1 | u | Canaleta Ranurada para cables eléctricos de 3,5 cm | 5,2 | 5,2 |
| 1 | u | Reductor 1" a 3/4" | 1,75 | 1,75 |
| 2 | u | Teflón | 0,8 | 1,6 |
| 2 | u | Aspersor metálico Truper | 10,95 | 21,9 |
| 1 | u | Valvula check de 1/2 " | 16,5 | 16,5 |
| 2 | u | Te plástica de 3/4" | 0,36 | 0,72 |
| 2 | u | Acople de 1" de rosca a 3/4" | 0,4 | 0,8 |
| 1 | u | Cinta Doble Faz | 4,02 | 4,02 |
| 6 | u | Borneras | 0,4 | 2,4 |
| 1 | u | Unión Universal | 2 | 2 |
| 1 | u | Cemento CPVC Anaranjado | 7,5 | 7,5 |
| 1 | u | Taípe | 1,1 | 1,1 |
| 1 | u | Pasta para Soldar | 3,99 | 3,99 |
| 2 | u | Sierra | 1,25 | 2,5 |
| 3 | u | Válvula de Bola | 8,5 | 25,5 |
| 9 | u | Acople manguera roscado 3/4" | 0,45 | 4,05 |
| Total | | | | 471,77 |

Anexo IV. Planos y esquemas

Lamina 1. Plano eléctrico



| Tabla de simbología | | |
|---------------------|---------|----------------------------|
| Nº | Símbolo | Nombre del componente |
| 1 | | Luz piloto verde |
| 2 | | Convertor AC/DC |
| 3 | | Módulo relé Arduino |
| 4 | | Fuente 1Ø |
| 5 | | Bomba |
| 6 | | Bobina cortocircuitable |
| 7 | | Termomagnético |
| 8 | | Selector I 0 II |
| 9 | | Contactora tripolar 12 (A) |

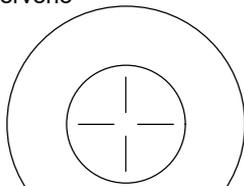
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

| | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------|
| Esquema eléctrico del tablero de control | TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A | MATERIAL: Eléctrico |
| | ESCALA: 1:5 | FORMATO: A4 |
| DISEÑADO POR: David Alexander Simbaña Moya | FECHA: 26/01/2023 | LÁMINA: 1 |

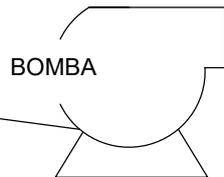
Lamina 2. Plano Mecánico

| Medidas de las mangueras | | |
|--------------------------|---------|-------------|
| N° | Sección | Medida (cm) |
| 1 | A | 500 |
| 2 | B | 1.7 |
| 3 | C | 1000 |
| 4 | D | 430 |
| 5 | E | 1 |
| 6 | F | 1600 |
| 7 | G | 1 |
| 8 | H | 160 |
| 8 | Succión | 300 |

Reservorio

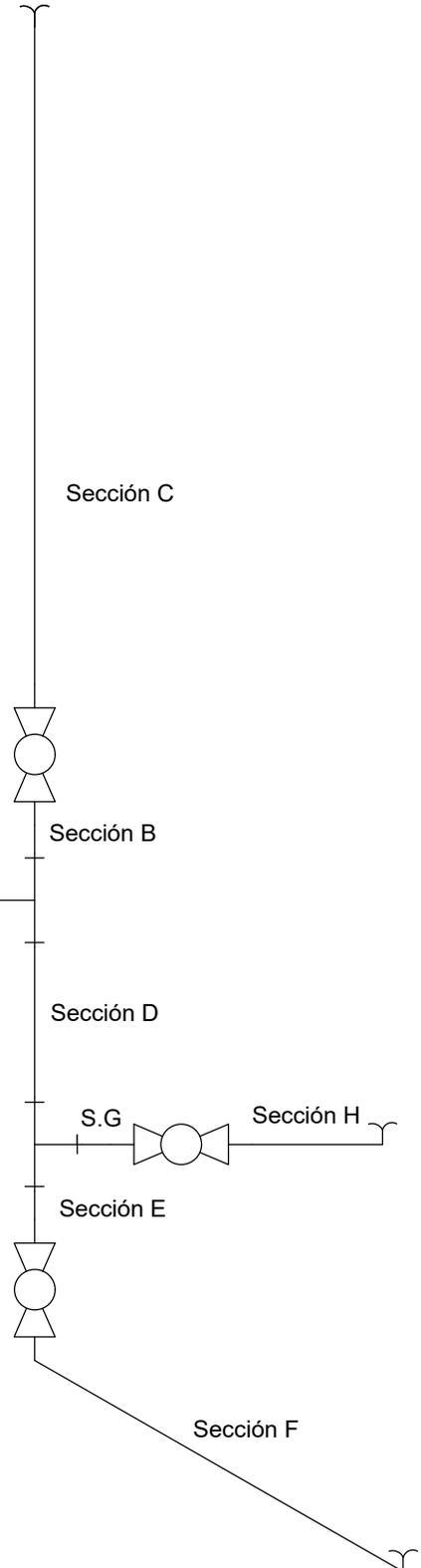


Succión



Sección A

| Tabla de simbología | | |
|---------------------|---------|--|
| N° | Símbolo | Nombre del componente |
| 1 | | Tanque de agua |
| 2 | | Válvula Check |
| 3 | | Válvula de bola |
| 4 | | Te |
| 5 | | Bomba |
| 6 | | Tubería $\varnothing \frac{3}{4}$ (in) |
| 7 | | Aspersor de impacto |



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Plano mecánico de la red de riego

TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A

MATERIAL:
Mecánico

ESCALA:
1:8

FORMATO:
A4

DISEÑADO POR:
David Alexander Simbaña Moya

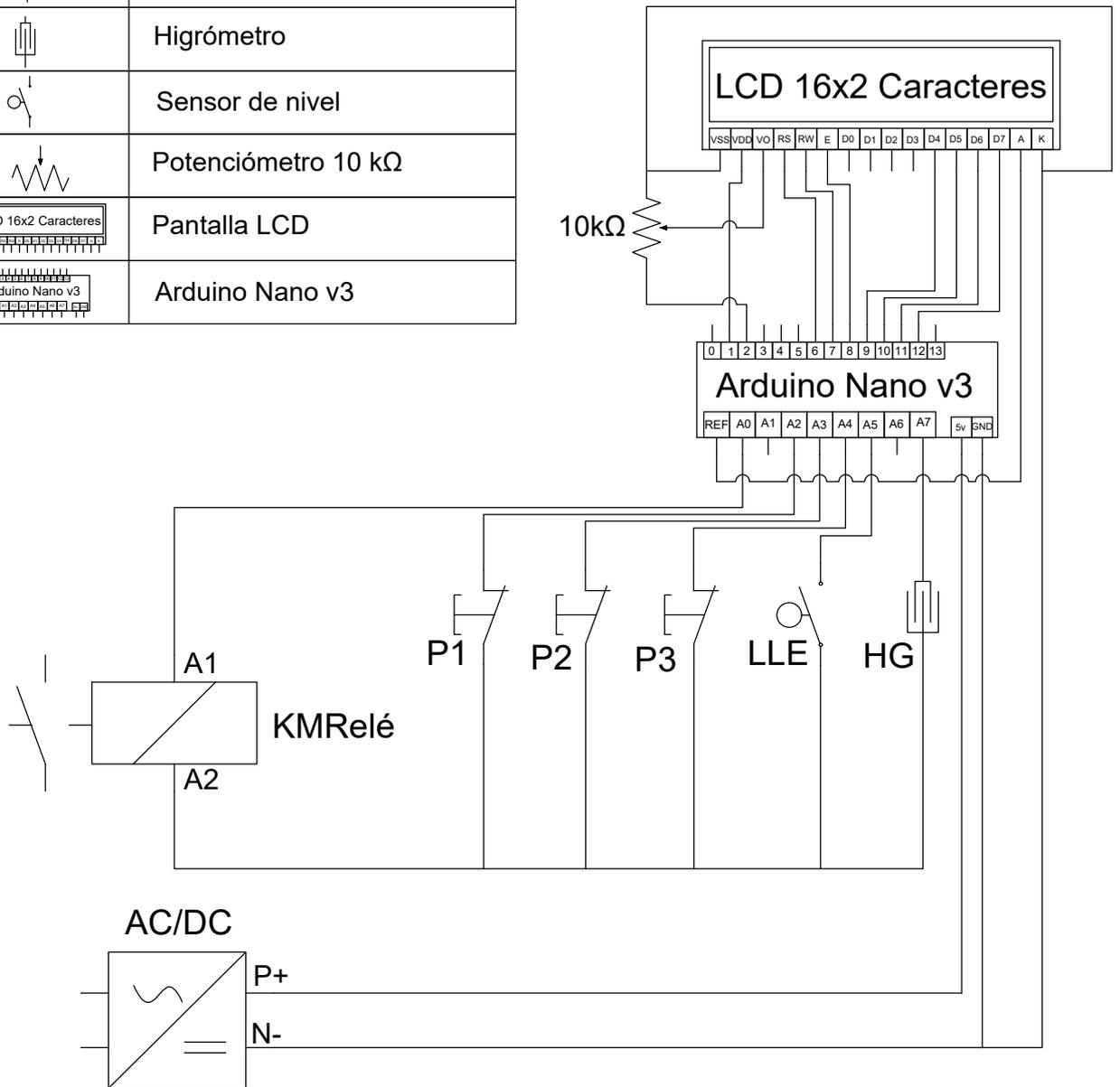
FECHA:
26/01/2023

LÁMINA:
2

Lamina 3. Esquema electrónico

Tabla de simbología

| N° | Símbolo | Nombre del componente |
|----|---------|-----------------------|
| 1 | | Convertor AC/DC |
| 2 | | Módulo relé Arduino |
| 3 | | Pulsador NC |
| 4 | | Higrómetro |
| 5 | | Sensor de nivel |
| 6 | | Potenciómetro 10 kΩ |
| 7 | | Pantalla LCD |
| 8 | | Arduino Nano v3 |



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Esquema electrónico del tablero de control

TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A

MATERIAL:
Electrónico

ESCALA:
1:5

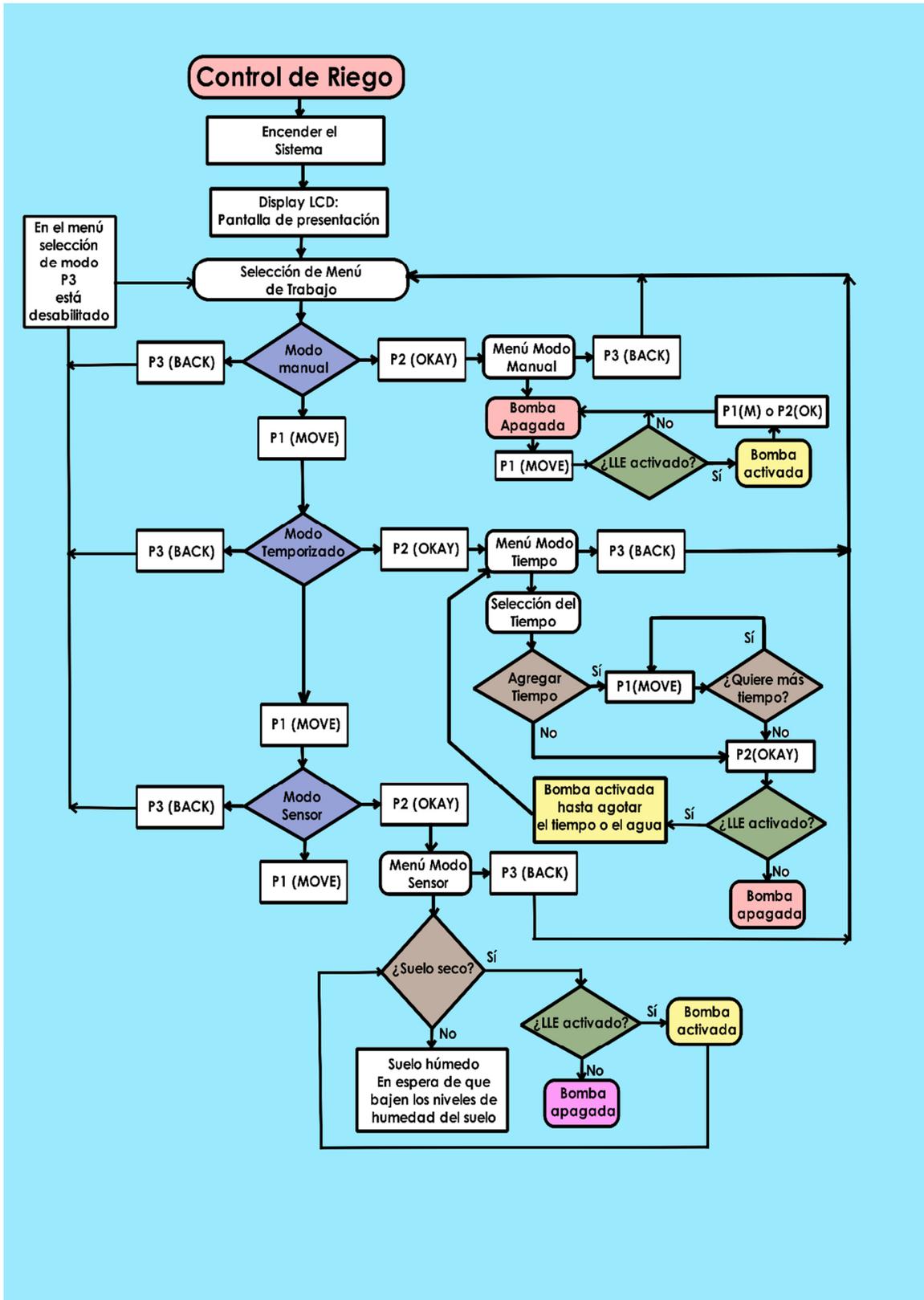
FORMATO:
A4

DISEÑADO POR:
David Alexander Simbaña Moya

FECHA:
26/01/2023

LÁMINA:
3

Anexo V. Diagrama de Flujo



Anexo VI. Certificado de aprobación firmado por delegado del PNUD



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS
Carrera Electromecánica (RRA20)

ACTA DE ENTREGA-RECEPCIÓN DEL PROYECTO

Quito, D.M., jueves 05 de enero de 2023

ENTREGA: David Alexander Simbaña Moya

RECIBE: Delegado del Proyecto de Las Naciones Unidas Para el Desarrollo

REPARTO: ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS convenio "TERRITORIOS QUE SANAN"

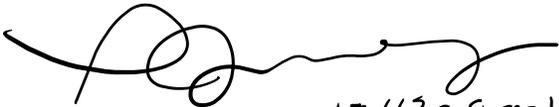
Presente

Se realiza la recepción del tablero de control correspondiente al proyecto IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO CON REALIMENTACIÓN DE VARIABLE DE HUMEDAD en la ciudad de QUITO, parroquia LLANO CHICO en la CALLE DE LOS NOGALES Y DE LAS PALMERAS a los 5 días del mes de enero del año 2023 con las siguientes características:

- Tablero de control que tiene: Arduino, módulos relé y de acondicionamiento del sensor de humedad, entre otros elementos entregados por la PNUD.
- Sistema de canales de riego que incluye aspersores, mangueras y acoples
- Bomba de ½ HP
- Sensores de nivel y humedad del suelo conectados al tablero

Se valida el funcionamiento correcto del sistema construido

Atentamente



1711398824

Firma de delegado de la PNUD

Nombre: Paulina Jiménez

CI: 1711398824

Teléfono: 0995045566

Correo Electrónico: paulina.jimenez@undp.org