

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO QUE UTILIZA
AGUAS LLUVIAS PARA IRRIGAR UN CULTIVO DE CAFÉ EN LA
FINCA SANTA LUCIA**

JULIO CESAR AMÓRTEGUI CASTAÑO

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
FERNANDO RIVERA INSIGNARES

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NOVIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: CONTROL Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO QUE UTILIZA AGUAS
LLUVIAS PARA IRRIGAR UN CULTIVO DE CAFÉ EN LA FINCA SANTA LUCIA**

JULIO CESAR AMÓRTEGUI CASTAÑO

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
FERNANDO RIVERA INSIGNARES

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mamá Teresa porque me acompañó durante todo este proceso tuvo mucha paciencia y siempre me encomendó a Dios para que todo saliera de la mejor manera.

Agradezco a mi papá Bernardo Amórtegui porque no permitió que desistiera cuando tuve dificultades y me ayudo con la implementación del proyecto.

Agradezco al ingeniero Ernesto Sabogal por tener la disposición de orientarme durante este proceso.

Agradezco a mi director de proyecto Fernando Rivera por darme las pautas necesarias para culminar mi proyecto.

RESUMEN

Los periodos de sequía en Colombia afectan a todas las regiones a causa de las variaciones que se presentan durante todo el año. En el sector rural algunas fincas fueron beneficiadas por un programa de la CAR y están almacenando aguas lluvias, pero no realizaban aprovechamiento de este recurso, el uso del agua se realizaba de forma manual. Con ayuda de la tecnología se implementó un sistema de control en la Finca Santa Lucia que identifica si se cuenta con agua almacenada, la cual va a ser suministrada en un cultivo de café automáticamente cuando la humedad del suelo sea inferior a la requerida para mantener buenas condiciones de producción. Esta implementación permitiría mejorar las condiciones del cultivo de café durante la temporada de sequía.

Palabras Clave: Suministro, Humedad, Almacenamiento, Agua, Sensor

ABSTRACT

Drought periods in Colombia affect all regions because of the variations that occur throughout the year. In the rural sector some farms were benefited by a program of the CAR and are storing rainwater, but the use of this resource was not carried out, the use of water was done manually. With the help of technology, a control system will be implemented in the Santa Lucia Farm that identifies if there is stored water, which can be supplied in a coffee crop automatically when the humidity of the floor is lower than that required to maintain good production conditions. This implementation would improve the conditions of coffee cultivation during the dry season.

Keywords: Supply, Humidity, Storage, Water, Sensor

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1 Contexto.....	15
2.2 Manifestación.....	15
2.3 Causas	15
2.4 Efectos.....	15
2.5 Aspectos a Solucionar.....	16
2.6 Justificación del Proyecto	16
2.7 Propuesta de Solución	16
3. ESTADO DEL ARTE	17
3.1 Bases Teóricas.....	17
3.1.1 El Café.....	17
3.1.1.1 Condiciones Ambientales para Cultivar Café	17
3.1.1.2 Requerimientos Hídricos del Café.....	17
3.1.2 Abastecimiento de Agua.....	18
3.1.2.1 Partes de un sistema de abastecimiento	18
3.1.3 Sistema de Bombeo.....	19
3.1.3.1 Bomba Hidráulica.....	20
3.1.3.2 Tipos de Bombas.....	20
3.2 Tecnología.....	20
3.2.1 Sistema de Bombeo de Velocidad Variable URORA PICSA.....	20
3.2.2 Sistema de Bombeo de Agua Solar Villaya.....	21
3.2.2.1 Características Principales.....	21
3.2.2.2 Beneficios	22
3.2.2.3 Aplicaciones	22
4. GLOSARIO DE TÉRMINOS	22
5. OBJETIVOS	23
5.1 Objetivo General	23
5.2 Objetivos Específicos	23
6. REQUERIMIENTOS	24
6.1 Requerimientos Funcionales.....	24
6.2 Requerimientos de Calidad.....	25
6.2 Requerimientos de Restricción.....	25
7. DISEÑO FUNCIONAL	25

7.1 Sistema	25
7.2 Alternativa de Solución 1.....	26
7.3 Alternativa de Solución 2.....	29
7.4 Sumatoria de Funciones vs Función del sistema	32
7.5 Selección de alternativa	32
8. DISEÑO DETALLADO	33
8.1 Requerimientos del Subsistema A	33
8.1.1 Requerimientos de Componentes Subsistema A.....	34
8.1.1.1 Requerimientos de Componentes para detección del nivel de agua almacenada	34
8.1.2 Esquemático del Subsistema A.....	38
8.2 Requerimientos del Subsistema B	38
8.2.1 Requerimientos de Componentes Subsistema B.....	39
8.2.1.1 Requerimientos de Componentes para detección de la humedad del suelo.....	39
8.2.2 Esquemático del Subsistema B.....	40
8.3 Requerimientos del Subsistema C	41
8.3.1 Requerimientos de Componentes Subsistema C.....	42
8.3.1.1 Requerimientos de Componentes para suministrar agua al sistema de riego	42
8.3.2 Esquemático del Subsistema C.....	46
8.4 Requerimientos del Subsistema D	46
8.4.1 Requerimientos de Componentes Subsistema D	47
8.4.1.1 Requerimientos de Componentes para indicación de funcionamiento del sistema	48
8.4.2 Esquemático del Subsistema D	49
8.5 Requerimientos del Subsistema E	50
8.5.1 Requerimientos de Componentes Subsistema E.....	50
8.5.1.1 Requerimientos de Componentes para energizar los subsistemas.....	51
8.6 Esquemático del Sistema.....	52
9. PLAN DE PRUEBAS	53
9.1 Plan de Pruebas de Componentes.....	53
9.1.1 Prueba Componente 1 (Flotador eléctrico).....	53
9.1.2 Prueba Componente 2 (Sensor de humedad).....	53
9.1.3 Prueba Componente 3 (Controlador).....	54
9.1.4 Prueba Componente 4 (Válvula).....	55
9.1.5 Prueba Componente 5 (Relé).....	55
9.1.6 Prueba Componente 6 (Contactor).....	56
9.1.7 Prueba Componente 7 (Lámparas de indicación).....	56

9.1.8 Prueba Componente 8 (Fuente de Voltaje)	57
9.2 Plan de Pruebas de Subsistemas.....	57
9.2.1 Plan de Pruebas del Subsistema C.....	58
9.3 Plan de Pruebas de Integración	59
9.3.1 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas A, D y E	59
9.3.2 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas B y C	60
9.3.3 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas A, D, E con B y C.....	60
9.4 Plan de Pruebas del Sistema.....	61
10. DISEÑO INDUSTRIAL.....	63
10.1 Conceptualización y Definición del Diseño.....	63
10.1.1 Análisis del Contexto.....	63
10.1.2 Casos de Uso.....	63
10.1.2.1 Casos de Uso Típicos.....	63
10.1.2.2 Casos de Uso Atípicos.....	64
10.1.3 Requerimientos industriales.....	64
10.1.3.1 Requerimientos de uso y Función	64
10.1.3.2 Requerimientos de estructura y producción.....	64
10.1.3.3 Requerimientos de Estética e Identificación.....	65
10.1.4 Materiales, Procesos y Normativas.....	65
10.1.4.1 Materiales	65
10.1.4.2 Procesos	65
10.1.4.3 Normativas.....	66
10.2 Planificación de la Producción	66
10.2.1 Alternativas de Configuración.....	66
10.2.1.1 Alternativa de Configuración 1.....	67
10.2.1.2 Alternativa de Configuración 2.....	68
10.2.1.1 Evaluación y Presentación Alternativa Final	68
10.2.2 Diseño Detallado.....	69
10.2.2.1 Selección de Materiales.....	69
10.2.2.2 Definición de los componentes.....	69
10.2.3 Implementación de Producción	70
10.2.3.1 Plan de Implementación	70
10.3 Documentación	70
10.3.1 Boceto del Sistema	70
11. IMPLEMENTACIÓN	71

11.1 Implementación de Subsistemas.....	71
11.1.1 Implementación Subsistemas C, D y E.....	71
11.1.2 Implementación Subsistema A.....	73
11.1.3 Implementación Subsistema B.....	74
11.1.4 Implementación Subsistemas X y F.....	74
11.2 Integración del Sistema.....	75
12. PRUEBAS.....	76
12.1 Pruebas de Componentes.....	76
12.1.1 Prueba Flotador eléctrico.....	76
12.1.2 Prueba Sensor de humedad MAS-1.....	76
12.1.3 Prueba Controlador LOGO.....	77
12.1.4 Prueba Válvula.....	77
12.1.5 Prueba Relé.....	77
12.1.6 Prueba Contactor.....	78
12.1.7 Prueba Lámparas de Señalización.....	78
12.1.8 Prueba Fuente de Voltaje.....	78
12.2 Pruebas de Subsistemas.....	79
12.2.1 Pruebas del Subsistema C.....	79
13. AJUSTES.....	79
14. PRUEBAS DEL SISTEMA.....	80
15. MANUALES.....	82
15.1 Manual de Funcionamiento para el Sistema de Riego.....	82
16. RESULTADOS.....	82
17. DISCUSIÓN.....	82
18. CONCLUSIONES.....	83
19. REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	84
20. ANEXOS.....	85
20.1 Anexo 1.....	85
20.2 Anexo 2.....	86
20.3 Anexo 3.....	87
20.4 Anexo 4.....	89
20.5 Anexo 5.....	90
20.6 Anexo 6.....	91
20.7 Anexo 7.....	93
20.8 Anexo 8.....	94

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Partes de un sistema de abastecimiento [4].....	18
Imagen 2. Sistema de bombeo típico [7].....	19
Imagen 3. Sistema	25
Imagen 4. Alternativa de solución 1	26
Imagen 5. Alternativa de Solución 2	29
Imagen 6. Subsistema A.....	33
Imagen 7. Diseño funcional del Subsistema A.....	34
Imagen 8. Conexión Tanques de Almacenamiento de Agua	35
Imagen 9. Diagrama Flotador Eléctrico [12]	36
Imagen 10. Esquemático Subsistema A.....	38
Imagen 11. Subsistema B	38
Imagen 12. Diseño funcional del Subsistema B.....	39
Imagen 13. Esquemático Subsistema B.....	40
Imagen 14. Subsistema C	41
Imagen 15. Diseño funcional del Subsistema C.....	42
Imagen 16. Arquitectura PLC [13]	44
Imagen 17. Esquemático Subsistema C.....	46
Imagen 18. Subsistema D.....	47
Imagen 19. Diseño funcional del Subsistema D.....	48
Imagen 20. Esquemático Subsistema D.....	49
Imagen 21. Subsistema E	50
Imagen 22. Diseño funcional del Subsistema E	50
Imagen 23. Esquemático del Sistema.....	52
Imagen 24. Alternativa 1	67
Imagen 25. Alternativa 2	68
Imagen 26. Boceto del Sistema	70
Imagen 27. Tablero eléctrico.....	72
Imagen 28. Software de Programación	72
Imagen 29. Tanques de Almacenamiento y Flotadores	73
Ilustración 30. Sensor de Humedad MAS-1	74
Imagen 31. Bomba con Electroválvulas de Salida	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sumatoria de Funciones vs Función del sistema	32
Tabla 2. Sensores de Nivel	35
Tabla 3. Selección de componentes subsistema A	36
Tabla 4. Selección de Sensores de humedad subsistema B	40
Tabla 5. Selección tipo de Controlador	43
Tabla 6. Selección del controlador para el subsistema B	44
Tabla 7. Selección Relé para subsistema C	45
Tabla 8. Selección contactor para subsistema C	45
Tabla 9. Selección indicadores luminosos para subsistema D.....	49
Tabla 10. Selección Fuente de Alimentación	51
Tabla 11. Selección de Alimentación para subsistemas	52
Tabla 12. Tabla de pruebas Componente 1.....	53
Tabla 13. Tabla de pruebas Componente 2.....	54
Tabla 14. Tabla de pruebas Componente 3.....	55
Tabla 15. Tabla de pruebas Componente 4.....	55
Tabla 16. Tabla de pruebas Componente 5.....	56
Tabla 17. Tabla de pruebas Componente 6.....	56
Tabla 18. Tabla de pruebas Componente 7.....	57
Tabla 19. Tabla de pruebas Componente 8.....	57
Tabla 20. Tabla de pruebas Subsistema C	58
Tabla 21. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas A, D y E.....	59
Tabla 22. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas B y C.....	60
Tabla 23. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas A, D, E con B y C.....	61
Tabla 24. Tabla de pruebas del Sistema	62
Tabla 25. Tabla de Evaluación Alternativa	68
Tabla 26. Pruebas Flotador eléctrico	76
Tabla 27. Pruebas Sensor MAS-1	76
Tabla 28. Pruebas Controlador LOGO.....	77
Tabla 29. Pruebas Válvula.....	77
Tabla 30. Pruebas Relé.....	77
Tabla 31. Pruebas Contactor	78
Tabla 32. Pruebas Lámparas de Señalización	78
Tabla 33. Pruebas Fuente de Voltaje.....	78
Tabla 34. Pruebas Subsistema C.....	79
Tabla 35. Pruebas de integración Subsistemas A, D y E	80
Tabla 36. Pruebas de integración de los Subsistemas B y C.....	81
Tabla 37. Pruebas del Sistema.....	81

1. INTRODUCCIÓN

El uso de agua por parte de los seres humanos siempre ha sido vital no solo para sobrevivir, también para llevar a cabo muchas funciones del día a día, en la industria para la producción de productos, procesamiento de alimentos y en el campo para riegos de cultivos y criaderos de animales.

El acceso a este recurso natural en muchos lugares es limitado sobre todo en el campo, ya que la mayoría de las fincas cuentan con suministro de agua por parte de acueductos veredales, los cuales realizan captación de quebradas y nacederos.

Estos se ven afectados porque durante el año se presentan muchas variaciones climáticas y los periodos de lluvia no son constantes. Otro inconveniente es el exceso de cultivos en algunas regiones del país lo que implica mayor demanda de suministro de agua y sumado a los desperdicios de producción el abastecimiento de los acueductos no da abasto.

Con el pasar del tiempo las personas han empezado a tomar conciencia al respecto de lo importante que es darle buen uso al agua, desarrollando varios sistemas de captación y reutilización de este recurso para ahorrar y aportar al sostenimiento del ecosistema.

Una propuesta que se ha venido implementando es la recolección de aguas lluvias para ser utilizadas en diferentes labores que realizan algunas las fincas. En este documento se quiere mostrar una herramienta que permita hacer uso del agua lluvia después de ser recolectada en algunas funciones de la finca Santa Lucia en Guayabal de Siquima.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

La finca Santa Lucia ubicada en Guayabal de Siquima tiene cultivos de café, plátano y algunos árboles frutales. Esta finca cuenta con un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias que hace parte de un programa de la CAR en la región. El sistema recolecta el agua que cae al techo de la vivienda y por medio de canales la dirige hasta dos tanques donde va a ser almacenada; después de este proceso el agua se puede utilizar para realizar riegos en cultivos convirtiéndose en un recurso vital para afrontar los periodos de sequía.

2.2 Manifestación

El sistema de almacenamiento de aguas lluvias en temporadas de invierno recolecta agua en los tanques, pero no tiene la función de distribuirla hacia el cultivo. La distribución de agua se realiza de forma manual usando mangueras o baldes y normalmente se utiliza este recurso en actividades diferentes al riego afectando la calidad de las cosechas por deficiencia en la hidratación durante el proceso de producción.

2.3 Causas

Las causas que ocasionan las falencias en el sistema son las siguientes:

- Sequía en la región por suelos sobre utilizados [1]
- Las precipitaciones de lluvia varían durante todo el año
- El uso del agua lluvia recolectada se hace de forma manual
- No se tiene control de la disponibilidad de agua que hay almacenada en los tanques

2.4 Efectos

Las temporadas de sequía, sumado al sobre aprovechamiento de los suelos en la región afectan la calidad de los cultivos porque limita la posibilidad de usar agua en las cantidades requeridas para obtener un buen fruto, esta situación disminuye su precio de venta en

aproximadamente 13% por cada carga de Café, impactando la calidad de vida de los propietarios de la finca.

2.5 Aspectos a Solucionar

Para dar una solución que permita mejorar la disponibilidad de usar agua en la finca Santa Lucia se requieren controlar los siguientes aspectos:

- El uso del agua lluvia recolectada se hace de forma manual
- No se tiene control de la disponibilidad de agua que hay almacenada en los tanques

2.6 Justificación del Proyecto

Implementando el dispositivo que integre los tanques de almacenamiento de aguas lluvias con el sistema de riego, se quiere aprovechar el uso del agua en las actividades de la finca. De esta forma se puede realizar suministro de manera automática desde los tanques hacia los cultivos de café mejorando las condiciones de producción durante los tiempos de sequía, manteniendo los niveles de humedad requeridos por el cultivo, lo que aumenta el número de frutos y su tamaño. Además, se estima que la pérdida del valor por carga de café disminuya del 13% al 5% teniendo en cuenta que la producción no depende solo de una buena hidratación del cultivo. Con esta proyección de mejora se estima que la inversión realizada en la automatización del sistema, se va a recuperar en aproximadamente 2 años luego de ser puesto en servicio.

2.7 Propuesta de Solución

Para dar solución al problema se va a implementar un sistema que permita distribuir el agua lluvia almacenada de manera automática, hasta un sistema de riego para un cultivo de café de 1600 metros cuadrados ubicado en la finca Santa Lucia.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 Bases Teóricas

3.1.1 El Café

Es una planta que se da en la región tropical y pertenece a la familia de las rubiáceas. Está conformada por 500 géneros y 800 especies. Uno de esos géneros es el Coffea, constituido por árboles, arbustos y bejucos. Comprende 10 especies cultivadas por el hombre y 50 especies silvestres. [2]

Los granos de café se encuentran en el fruto del arbusto. Cuando el fruto está maduro se le denomina cereza porque se torna de color rojizo. El procesamiento de este fruto permite ser utilizado para el consumo humano. [2]

El fruto de café está compuesto por la pulpa, el mucílago, la cáscara, una cubierta llamada película y la almendra. Los árboles de café se reconocen por sus hojas simples, con estipulas bien desarrolladas tienen flores blancas y el fruto es una drupa con dos nueces y pulpa azucarada [2]. La raíz principal de la planta puede crecer hasta 50cm. En los primeros 10 cm de profundidad se encuentra el 52.3% de raíces absorbentes [3].

3.1.1.1 Condiciones Ambientales para Cultivar Café

Para tener una buena producción de café es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura: Entre 17 a 26°C
- Altura: La producción de café está entre 900 a 1800 metros sobre el nivel del mar
- Vientos: Menores a 30 Km/h
- Lluvias: Necesita precipitaciones entre 1.000 a 3.000 milímetros/año
- Humedad: Se aconseja que el ambiente tenga un 65% a 90% de humedad [3]

3.1.1.2 Requerimientos Hídricos del Café

Un recurso muy importante para el crecimiento y cuidado de las plantas de café es el agua la cual se debe suministrar ya sea por medio de lluvia o por sistemas de riego. Las necesidades

de agua varían de acuerdo al sitio donde se encuentre el cultivo de café, factores como la edad de la planta, la densidad de las plantas por cultivo y la altura de la zona donde esté cultivando.

Por ejemplo, para un cultivo instalado a 1800 metros de altitud con edad inferior a 1 año el requerimiento hídrico es de 8 litros por día por planta, si el cultivo tiene mayor edad la cantidad de agua requerida aumenta [4].

Otro factor importante para la hidratación del cultivo es la humedad del suelo la cual puede variar de acuerdo al sistema de riego que se esté utilizando; por aspersión (100%), por microaspersión (50-70%) o por goteo (30-70%) [5]. Este recurso debe ser controlado para no causar daños en la planta al no brindar las necesidades mínimas de agua o al exceder el suministro de agua, porque la planta se puede marchitar o morir.

3.1.2 Abastecimiento de Agua

Es un sistema que permite llevar agua hacia las viviendas ya sea en ciudades, pueblos o veredas. Este recurso es vital y puede ser utilizado para el consumo humano, para cultivos o para fabricación de productos en la industria.

Teniendo en cuenta el origen del agua que se utiliza es posible clasificar los sistemas de abastecimiento de la siguiente manera:

- Sistemas individuales: son los que están conformados por aguas subterráneas, aguas superficiales o aguas lluvias
- Sistemas públicos: son los conformados por los acueductos

3.1.2.1 Partes de un sistema de abastecimiento

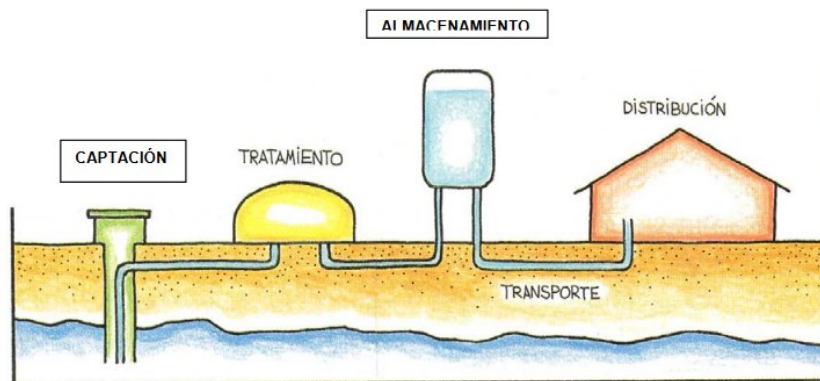


Imagen 1. Partes de un sistema de abastecimiento [6]

- Punto de Captación: Es el lugar de donde se obtiene el agua ríos, pozos, lagos, etc.
 - Tratamiento: Es el proceso al que se somete el agua para ser apta para el consumo humano.
 - Almacenamiento: Acumular agua en uno o varios depósitos donde se pueda garantizar su estado de conservación.
 - Transporte y distribución: Es la etapa encargada de llevar el agua desde el punto de almacenamiento a los puntos de consumo en condiciones cerradas o tuberías.
- [6]

3.1.3 Sistema de Bombeo

Es un conjunto de elementos que permiten transportar líquidos desde una fuente de almacenamiento, cumpliendo con las necesidades de caudal en diferentes sistemas.

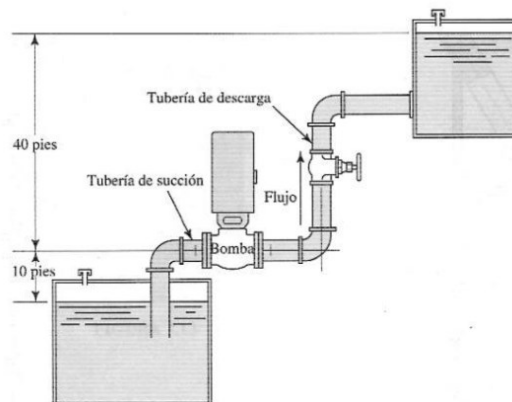


Imagen 2. Sistema de bombeo típico [7]

Un sistema típico utiliza varios elementos tubería para conectar el origen con el destino, bombas para generar energía, tanques de almacenamiento, accesorios y otros elementos que permiten controlar el funcionamiento como válvulas e instrumentos de medida. [7]

Para algunas aplicaciones específicas y según su necesidad es posible configurar los sistemas de bombeo en serie o paralelo. En serie para aumentar la altura del líquido y en paralelo para aumentar el caudal del sistema. [7]

3.1.3.1 Bomba Hidráulica

Es la encargada de convertir energía mecánica en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos. Al aumentar la energía de este fluido, también incrementa su altura, su velocidad o su presión. Normalmente se usan para desplazar el fluido desde un lugar de menor altitud o presión hacia otro con mayor altitud o presión. [8]

3.1.3.2 Tipos de Bombas

Las bombas se pueden clasificar según su tipo de funcionamiento y su tipo de accionamiento. Según su funcionamiento se pueden encontrar bombas volumétricas y rotodinámicas.

Las bombas volumétricas aumentan la presión mientras disminuyen el volumen del fluido que estén manejando; este volumen puede ser fijo o variable. Dentro de este grupo de bombas se encuentran las bombas de émbolo alternativo y las bombas volumétricas rotativas o roto estáticas. [8]

Las bombas rotodinámicas utilizan el movimiento de varios alabes para generar presión en el fluido que las atraviesa. En este grupo se encuentran las bombas radiales o centrífugas, las bombas axiales y las bombas diagonales o helicocentrífugas. [8]

Según el tipo de accionamiento se pueden encontrar bombas accionadas por motores eléctricos y Diesel, por aire a presión, hidráulicas y accionadas por fuerza mecánica. En este grupo se encuentran las electrobombas, las bombas neumáticas, la bomba de ariete, bombas manuales y las motobombas. [8]

3.2 Tecnología

3.2.1 Sistema de Bombeo de Velocidad Variable URORA PICSA

Es un sistema automático que está diseñado para proporcionar agua a una red hidráulica utilizando un variador de frecuencia; este se encarga de ajustar la velocidad de los sistemas hidroneumáticos. También utiliza un controlador que revisa el caudal de descarga y regula la velocidad de las bombas de acuerdo a la presión requerida. [9]

El sistema lo integra un tablero de control marca PICSA, bombas para el suministro de agua, un variador de velocidad, un controlador inteligente, un transductor de flujo y una interfaz para comunicación con el usuario. [9]

El usuario tiene la posibilidad de visualizar la frecuencia de operación, la frecuencia de trabajo del motor, las revoluciones, la corriente, la presión y los tiempos de operación. [9]

Con toda la información que brinda el sistema y su modo de funcionamiento es posible disminuir los costos de mantenimiento durante la operación, evita el golpe de ariete y se ahorra energía durante el proceso. [9]

3.2.2 Sistema de Bombeo de Agua Solar Villaya

La Solución de Bombeo de Agua Solar Villaya es un sistema totalmente automático diseñado para proveer agua a un costo accesible para personas con poco o ningún acceso a la electricidad. Este utiliza la más avanzada unidad de velocidad variable Solar ATV312 para regular la velocidad de un motor AC de 3 fases dependiendo de la energía solar disponible desde el panel solar, es compatible con bombas sumergibles y de superficie. [10]

Utiliza una matriz de paneles solares ATV312 Solar que genera la energía y voltaje necesarios para conducir el motor. La unidad solar convierte la entrada de voltaje DC para una salida AC de 3 fases, con voltaje y frecuencia variable. El algoritmo MPPT de la unidad solar extrae la energía máxima disponible de los paneles solares durante el día y opera el motor en velocidad variable, con base en la entrada de energía en la unidad. La gama de frecuencia en la cual la unidad opera depende de la velocidad del motor, sistema hidráulico y la energía disponible del panel solar. Conforme la luz del sol varía durante el día, la entrada de energía en la unidad varía y la unidad Solar genera a razón de V/F variable, controlando así la velocidad del motor que, a su vez regula la velocidad del impulsor de la bomba. El sensor de nivel del agua es usado solamente cuando el agua es bombeada para el tanque aéreo. [10]

3.2.2.1 Características Principales

- Adecuada para bombas de montaje de superficie y sumergibles de 1hp hasta 7,5 hp con motores asíncronos AC de 3 fases

- Enciende y apaga de forma automática a través del día con detección del nivel del agua en el tanque
- Fácil de transportar
- Resistente a la corrosión, compartimiento IP55 para unidad adecuada para instalación externa [11]
- Bomba de sobrecarga, protección de operación seca

3.2.2.2 Beneficios

Se puede usar en bombeo de agua para riegos, para abastecimiento de agua potable en áreas fuera de la red eléctrica. Economiza tiempo en la recolección y transporte de agua disminuyendo gastos de operación comparado con bombas Diesel, además no produce emisiones de gases previniendo el efecto de invernadero. [11]

3.2.2.3 Aplicaciones

- Riego de tierras
- Abastecimiento doméstico de agua
- Piscicultura
- Agua para ganado
- Fuentes solares [11]

4. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Rubiaceae: Las Rubiáceas, como comúnmente se le conoce, es una gran familia que reúne más 6000 especies de plantas distribuidas por toda la tierra, aunque tiene su máxima expresión en los trópicos, donde está representada, sobre todo, por plantas leñosas. Importantes especies pertenecen a esta familia, dentro de las que resaltamos por su importancia económica al café (*Coffea arábica*).

Fenómeno de Cavitación: Es un fenómeno físico, mediante el cual un líquido, en determinadas condiciones, pasa a estado gaseoso y unos instantes después pasa nuevamente

a estado líquido. La cavitación es un fenómeno muy frecuente en sistemas hidráulicos donde se dan cambios bruscos de la velocidad del líquido.

Fluido Incomprensible: Un fluido incomprensible es cualquier fluido cuya densidad siempre permanece constante con el tiempo, esto quiere decir que ni la masa ni el volumen del fluido pueden cambiar. El agua es un fluido casi incomprensible, es decir, la cantidad de volumen y la cantidad de masa permanecerán prácticamente iguales, aún bajo presión.

Aguas Pluviales: Es la forma como se describe al agua que se origina durante las precipitaciones meteorológicas.

Golpe de Ariete: El fenómeno del golpe de ariete es básicamente una variación de presión debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad.

Bomba de Ariete: es una bomba hidráulica cíclica que utiliza la energía cinética de un golpe de ariete en un fluido para subir una parte de ese fluido a un nivel superior. No necesita por lo tanto aporte de otra energía exterior.

Alabe: Cada una de las paletas curvas de una rueda hidráulica o de una turbina.

Grado de Protección IP: son una normativa internacional que indica el nivel de protección de los equipos frente a la entrada de agentes externos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Diseñar, implementar y probar el prototipo de un sistema automático que use aguas lluvias para irrigar un cultivo de café con una extensión aproximada de 1600 metros cuadrados en la finca Santa Lucia.

5.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema que use agua lluvia para irrigar un cultivo de café
- Elaborar un plan de pruebas
- Implementar el sistema que irriga aguas lluvias a un cultivo de café

- Probar el sistema que irriga aguas lluvias a un cultivo de café
- Elaborar los ajustes necesarios
- Elaborar manuales de usuario

6. REQUERIMIENTOS

6.1 Requerimientos Funcionales

El sistema debe recibir, filtrar, almacenar, monitorear, distribuir aguas lluvias; también deberá medir y monitorear la humedad del suelo en un cultivo de café de la siguiente manera:

El sistema recibirá agua lluvia por medio de dos canales ubicadas a lado y lado del techo de la vivienda. El agua recibida en las canales deberá ser filtrada antes de ser almacenada. Para el almacenamiento del agua filtrada la finca cuenta con dos tanques de 1000 litros interconectados.

El sistema deberá monitorear el nivel de agua almacenada indicando de forma luminosa cuando los tanques están llenos y cuando el agua llegue a su nivel mínimo. Si no hay agua disponible el sistema deberá entrar en modo de almacenamiento indicando este estado de forma luminosa.

Para evitar daños durante el funcionamiento el nivel mínimo de agua en los tanques no debe ser inferior al 10% de su capacidad.

El sistema debe medir y monitorear la humedad del suelo en el cultivo de café que está dividido en dos zonas del mismo tamaño. Cuando la humedad sea menor o igual al 31% en la zona 1 o la zona 2 del cultivo, el sistema debe suministrar el agua almacenada en los tanques solo a la zona que lo requiera. Si las dos zonas tienen la humedad por debajo del 31% el sistema deberá suministrar agua al cultivo completo. Cuando la humedad sea igual o mayor al 35% el sistema debe detener el suministro de agua o cuando el agua almacenada en los tanques llegue al nivel mínimo.

El sistema debe tener una parada de emergencia y una indicación luminosa que se activará si durante el suministro de agua el sistema empieza a trabajar en vacío. Una vez que se solucione el problema se debe desactivar la parada de emergencia y el sistema regresará a su estado inicial de funcionamiento.

6.2 Requerimientos de Calidad

- Con el nivel de humedad por debajo del establecido y teniendo agua almacenada, el sistema puede dejar de distribuir agua hacia el riego máximo por un día durante la sequía
- La medición de la humedad puede tener una tolerancia del 10% en el punto de adquisición del dato
- El nivel mínimo de almacenamiento de agua puede variar 10% con relación a la medida establecida

6.2 Requerimientos de Restricción

- El agua se debe almacenar en dos tanques de 1000 litros cada uno
- El sistema debe utilizar una bomba de 1/2hp suministrada por el usuario
- El sitio donde se realice la instalación de los dispositivos de control deberá contar con protección al polvo y la humedad para evitar fallas en su funcionamiento
- El dispositivo debe funcionar con la tensión que brinda la red comercial 110VAC/60Hz

7. DISEÑO FUNCIONAL

7.1 Sistema

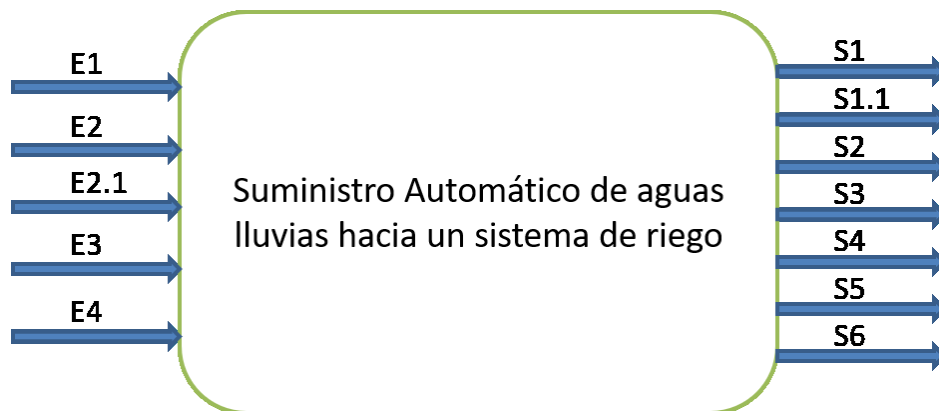


Imagen 3. Sistema

En la imagen 3 se muestra la función general del sistema con sus entradas y salidas, las cuales corresponden a:

- E1: Agua lluvia
- E2: Humedad del suelo zona 1
- E2.1: Humedad del suelo zona 2
- E3: Parada de emergencia
- E4: Tensión de la red comercial 110 VAC / 60 Hz
- S1: Agua suministrada al sistema de riego zona 1
- S1.1: Agua suministrada al sistema de riego zona 2
- S2: Funcionando
- S3: Nivel de agua almacenada Alto
- S4: Nivel de agua almacenada Bajo
- S5: Modo Almacenamiento de agua
- S6: Falla del sistema

7.2 Alternativa de Solución 1

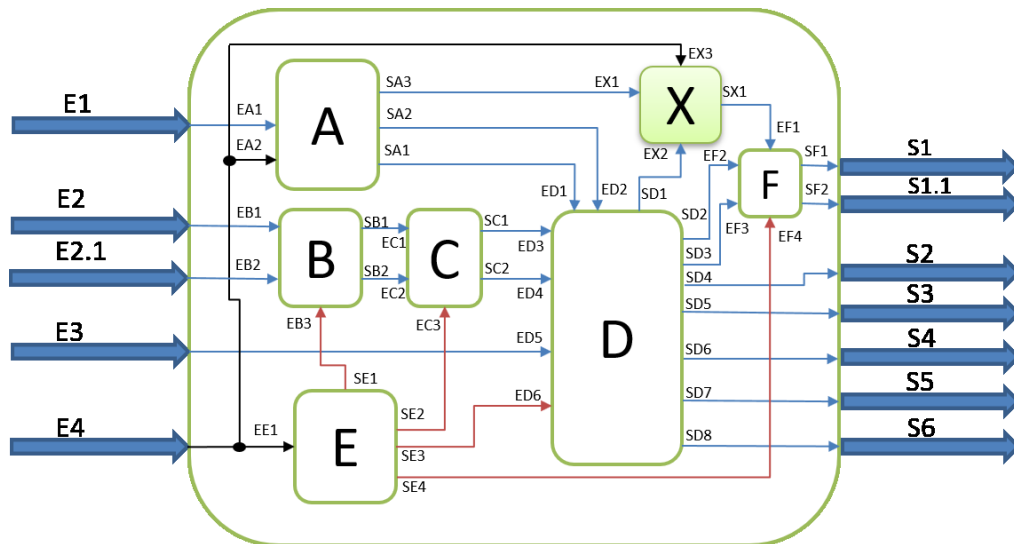


Imagen 4. Alternativa de solución 1

La alternativa de solución 1 está compuesta por siete subsistemas que permiten realizar la función de distribución y monitoreo del sistema cumpliendo con los requerimientos de

entrada y salida. A continuación, se presenta el listado de todas las entradas y salidas que intervienen durante el funcionamiento:

- EA2, EE1, EX3: Voltaje de alimentación 110 VAC
- EA1: Entrada de agua lluvia
- SA1, SA2, SD1: Salida digital 110VAC
- SA3: Salida de agua filtrada
- EB1, EB2: Humedad del suelo zona 1 y zona 2
- SB1, SB2: Salida análoga 0-10V zona 1 y zona 2
- EC1, EC2: Entrada análoga 0-10V zona 1 y zona 2
- SC1, SC2: Salida análoga 0-10V zona 1 y zona 2
- ED1, ED2, EX2: Entrada digital 110VAC
- ED5, EF2, EF3: Entrada digital 24VDC
- ED3, ED4: Entrada análoga 0-10V zona 1 y zona 2
- SD2, SD3: Salida digital 24VDC
- SD4, SD5, SD6, SD7, SD8: Indicación luminosa
- SE1, SE2, SE3, SE4: Salida voltaje de alimentación 24VDC
- EB3, EC3, ED6, EF4: Entrada voltaje de alimentación 24VDC
- EX1: Entrada de agua filtrada y almacenada
- SX1: Salida de agua a presión
- EF1: Entrada de agua a presión
- SF1, SF2: Suministro de agua zona 1 y zona 2

Subsistema A: Es el encargado de recibir el agua lluvia por la entrada EA1, la filtra y almacena quedando disponible para salir por SA3. Cuando se llenan los tanques se genera en su salida SA1 una señal digital 1; si no cuentan con agua suficiente la salida SA2 se activa generando una señal digital 1 indicando que están en el nivel mínimo. Por último, la entrada EA2 recibe voltaje de alimentación para poder generar el estado lógico en las salidas SA1 y SA2.

Subsistema B: Detecta la humedad del suelo en la zona 1 y 2 del cultivo por las entradas EB1 y EB2; luego convierte los datos de humedad en una señal de 0-10V los cuales se muestran

en las salidas SB1 y SB2. En la entrada EB3 recibe voltaje de alimentación para su funcionamiento.

Subsistema C: Recibe las señales del subsistema B por las entradas EC1 y EC2. Repotencia la señal para evitar atención y pérdida de información durante el funcionamiento, luego envía la señal por las salidas SC1 y SC2. En la entrada EC3 recibe voltaje de alimentación para su funcionamiento.

Subsistema D: Se encarga de recibir la información generada por el subsistema A en las entradas ED1 y ED2 para dar la orden de distribución de agua en la salida SD1.

Si la señal digital de la entrada ED1 es igual a 1 indica que se dispone de agua lluvia almacenada activando la salida SD4 y el subsistema pasa a revisar las entradas ED3 y ED4, Si la entrada ED1 es igual a 0 pasa a revisar la entrada ED2 si esta entrada es igual a 0 indica que hay agua disponible pero no está al máximo de la capacidad de almacenamiento y pasaría a revisar la entrada ED3 y ED4. Si ED2 está en 1 el sistema detecta que el agua llegó al nivel mínimo activando la salida SD5, luego entra en modo de almacenamiento que a su vez activa la salida SD7 para indicar de forma luminosa el estado en que se encuentra.

En la entrada ED3 y ED4 el sistema recibe la humedad del suelo de dos zonas, los cuales pasan por un transductor donde se deben escalar los datos para convertirlos en valores de humedad y así lograr identificar el momento en que la humedad del suelo sea menor al 31% en la zona 1 o en la zona 2.

Si el dato de humedad es mayor al 35% el sistema permanece en modo almacenamiento y no genera suministro de agua. Si el dato es menor en alguna de las dos zonas y el estado digital de la entrada ED1 es 1 el sistema activa la salida SD2 o SD3 de acuerdo a la zona donde la humedad este por debajo de lo establecido. Luego activa la salida SD1 para suministrar agua al cultivo y genera una indicación luminosa por la salida SD6.

La entrada ED5 solo la activa el usuario en caso de emergencia para detener su funcionamiento porque el sistema está trabajando en vacío. En caso de que ocurra esta situación activa la salida SD8 con una indicación luminosa y se detiene el funcionamiento del sistema hasta que el usuario resuelva el problema. Por último, en la entrada ED6 recibe voltaje de alimentación para el subsistema.

Subsistema E: Es una fuente de alimentación en la entrada EE1 recibe tensión suministrada por la red comercial, luego energiza una fuente y por las salidas SE1, SE2, SE3 y SE4 genera alimentación de voltaje 24 VDC para los subsistemas B, C, D y F.

Subsistema F: Se encarga de dirigir el suministro de agua al cultivo dividido en dos zonas. Por la entrada EF1 recibe agua a presión que es dirigida a la zona 1 o a la zona 2 cuando la entrada EF1 o EF2 reciben una señal digital igual a 1 activa las salidas SF1 o SF2 según sea la señal en cada entrada. Si las dos entradas tienen señal igual a 1 el suministro de agua será para todo el cultivo. En la entrada EF4 recibe voltaje de alimentación para el subsistema.

Subsistema X: Es el encargado de suministrar el agua almacenada hacia el sistema de riego. En la entrada EX1 recibe agua almacenada y filtrada. Este solo activa su salida SX1 cuando recibe un dato digital igual a 1 en la entrada EX2. Este subsistema recibe voltaje de alimentación por la entrada EX3.

7.3 Alternativa de Solución 2

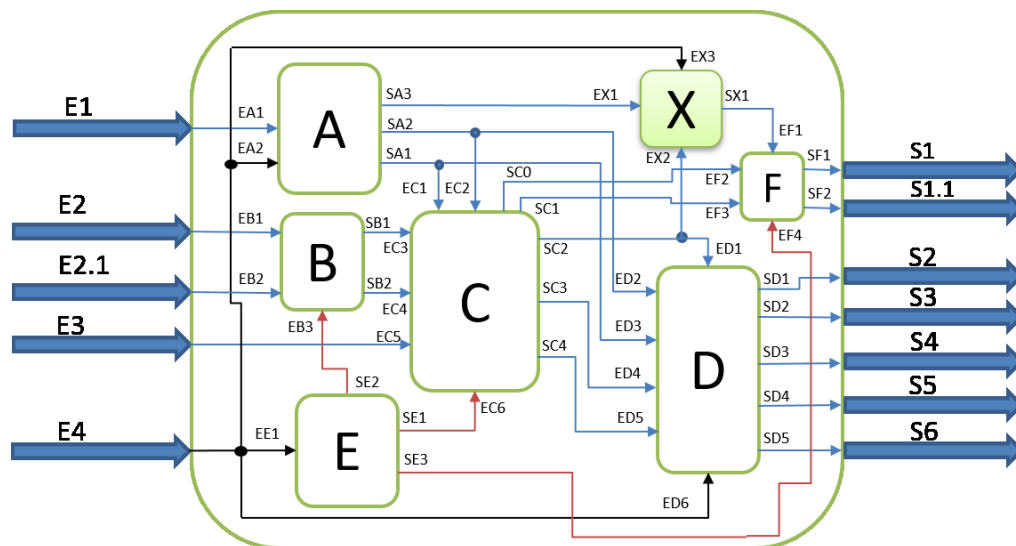


Imagen 5. Alternativa de Solución 2

La alternativa de solución 2 integra siete subsistemas para realizar el monitoreo y distribución del agua lluvia almacenada. A continuación, se presenta el listado de todas las entradas y salidas que intervienen durante el funcionamiento:

- EA2, EE1, EX3, ED6: Voltaje de alimentación 110 VAC

- EA1: Entrada de agua lluvia
- SA1, SA2, SC2, SC3, SC4: Salida digital 110VAC
- SA3: Salida de agua filtrada
- EB1, EB2: Humedad del suelo zona 1 y zona 2
- SB1, SB2: Salida análoga 4-20mA zona 1 y zona 2
- EC3, EC4: Entrada análoga 4-20mA zona 1 y zona 2
- EC1, EC2, EX2, ED1, ED2, ED3, ED4, ED5: Entrada digital 110VAC
- EC5, EF2, EF3: Entrada digital 24VDC
- SC0, SC1: Salida digital 24VDC
- SD1, SD2, SD3, SD4, SD5: Indicación luminosa
- SE1, SE2, SE3: Salida voltaje de alimentación 24VDC
- EB3, EC6, EF4: Entrada voltaje de alimentación 24VDC
- EX1: Entrada de agua filtrada y almacenada
- SX1: Salida de agua a presión
- EF1: Entrada de agua a presión
- SF1, SF2: Suministro de agua zona 1 y zona 2

Subsistema A: Es el encargado de recibir el agua lluvia por la entrada EA1, la filtra y almacena quedando disponible para salir por SA3. Cuando se llenan los tanques se genera en su salida SA1 una señal digital 1; si no cuentan con agua suficiente la salida SA2 se activa generando una señal digital 1 indicando que están en el nivel mínimo. Por último, la entrada EA2 recibe voltaje de alimentación para poder generar el estado lógico en las salidas SA1 y SA2.

Subsistema B: Detecta la humedad del suelo en la zona 1 y 2 del cultivo por las entradas EB1 y EB2; luego convierte los datos de humedad en una señal de 4-20mA los cuales se muestran en las salidas SB1 y SB2. En la entrada EB3 recibe voltaje de alimentación para su funcionamiento.

Subsistema C: Se encarga de recibir la información generada por el subsistema A en las entradas EC1 y EC2 para dar la orden de distribución de agua en la salida SC2.

Si la señal digital de la entrada EC1 es igual a 1 indica que se dispone de agua lluvia almacenada y el subsistema pasa a revisar las entradas EC3 y EC4, Si la entrada EC1 es igual a 0 pasa a revisar la entrada EC2 si esta entrada es igual a 0 indica que hay agua disponible pero no está al máximo de la capacidad de almacenamiento y pasaría a revisar la entrada EC3 y EC4. Si EC2 está en 1, el sistema detecta que el agua llegó al nivel mínimo, luego entra en modo de almacenamiento que a su vez activa la salida SC3 para indicar de forma luminosa el estado en que se encuentra.

En la entrada EC3 y EC4 el sistema recibe la humedad del suelo de dos zonas, los cuales pasan por un transductor donde se deben escalar los datos para convertirlos en valores de humedad y así lograr identificar el momento en que la humedad del suelo sea menor al 31% en la zona 1 o en la zona 2.

Si el dato de humedad es mayor al 35% el sistema permanece en modo almacenamiento y no genera suministro de agua. Si el dato es menor en alguna de las dos zonas y el estado digital de la entrada EC1 es 1 el sistema activa la salida SC0 o SC1 de acuerdo a la zona donde la humedad este por debajo de lo establecido. Luego activa la salida SC2 para suministrar agua al cultivo.

La entrada EC5 solo la activa el usuario en caso de emergencia para detener su funcionamiento porque el sistema está trabajando en vacío. En caso de que ocurra esta situación activa la salida SC4 y se detiene el funcionamiento del sistema hasta que el usuario resuelva el problema. Por último, en la entrada EC6 recibe voltaje de alimentación para el subsistema.

Subsistema D: Es el encargado de señalar de manera luminosa la disponibilidad de agua almacenada y el estado de funcionamiento del sistema. La entrada ED1 activa la salida SD1 cuando el sistema está suministrando agua. Las entradas ED2, ED3 y ED4 activan las salidas SD2, SD3 y SD4 indicando si el sistema tiene nivel máximo de agua almacenada, nivel mínimo o está en modo de almacenamiento. La entrada ED5 activa la salida SD5 cuando ocurre una falla en el sistema. En la entrada ED6 recibe voltaje de alimentación para el subsistema.

Subsistema E: Es una fuente de alimentación en la entrada EE1 recibe tensión suministrada por la red comercial, luego energiza una fuente y por las salidas SE1, SE2 y SE3 genera alimentación de voltaje 24 VDC para los subsistemas B, C, y F.

Subsistema F: Se encarga de dirigir el suministro de agua al cultivo dividido en dos zonas. Por la entrada EF1 recibe agua a presión que es dirigida a la zona 1 o a la zona 2 cuando la entrada EF1 o EF2 reciben una señal digital igual a 1 activa las salidas SF1 o SF2 según sea la señal en cada entrada. Si las dos entradas tienen señal igual a 1 el suministro de agua será para todo el cultivo. En la entrada EF4 recibe voltaje de alimentación para el subsistema.

Subsistema X: Es el encargado de suministrar el agua almacenada hacia el sistema de riego. En la entrada EX1 recibe agua almacenada y filtrada. Este solo activa su salida SX1 cuando recibe un dato digital igual a 1 en la entrada EX2. Este subsistema recibe voltaje de alimentación por la entrada EX3.

7.4 Sumatoria de Funciones vs Función del sistema

Tabla 1. Sumatoria de Funciones vs Función del sistema

Funciones del sistema	Alternativa de Solución 2
Filtrar agua lluvia	Subsistema A
Almacenar agua	Subsistema A
Monitorear la humedad del suelo	Subsistema B y Subsistema C
Monitorear el nivel máximo y mínimo de agua almacenada	Subsistema A y Subsistema C
Suministrar agua al sistema de riego	Subsistema A, Subsistema C, Subsistema X Subsistema F
Dividir el suministro de agua para dos zonas del cultivo	Subsistema F
Realizar indicaciones luminosas según sea el estado de funcionamiento del sistema	Subsistema D
Parada de emergencia	Subsistema C y Subsistema D

7.5 Selección de alternativa

Luego de presentar dos alternativas de solución se puede evidenciar que ambas son integradas por 7 subsistemas marcando la diferencia en la forma de adquisición de la señal de humedad y el uso de un subsistema que mejore la señal de humedad adquirida.

En la Alternativa 1 se propone usar señales de 0-10V para identificar la humedad del suelo. Este proceso de identificación tiene dos limitantes la atenuación de la señal por la distancia donde se realiza la medición lo que implica utilizar un amplificador de señal (subsistema C en

alternativa 1) aumentando los costos de implementación. La otra limitante es que no se puede identificar si el sistema está funcionando cuando el valor de humedad sea igual a cero.

En la alternativa 2 se utilizan señales de 4-20mA que permiten un rango de distancia de hasta 75m sin necesidad de utilizar un dispositivo que mejore la señal, además se pueden identificar fallas de funcionamiento si la medición es igual a 0 lo que puede indicar que los cables o el sensor tienen alguna falla.

Basados en estas diferencias se seleccionó la alternativa 2 para ser implementada porque disminuye los errores en la forma de adquisición del dato de humedad y puede llegar a ser una solución más económica.

8. DISEÑO DETALLADO

8.1 Requerimientos del Subsistema A

- El agua lluvia se debe recibir por medio de dos canales ubicadas a lado y lado del techo de la vivienda
- Se debe filtrar el agua antes de ser depositada en los tanques que la van a almacenar
- El agua se debe almacenar en dos tanques de 1000 litros cada uno
- El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo e indicar de forma luminosa los dos niveles

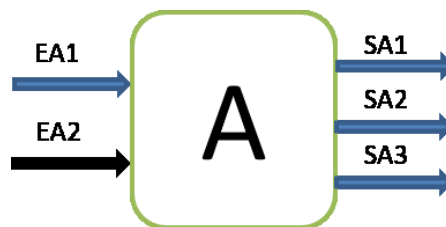


Imagen 6. Subsistema A

El subsistema A se encarga de identificar si hay agua almacenada, en la imagen 6 se muestran sus entradas y salidas que corresponden a:

- EA1: Agua lluvia

- EA2: Voltaje de polarización del subsistema 110VAC/ 60Hz
- SA1: Salida digital igual a 1 cuando el agua de los tanques está a su máximo nivel y 0 cuando no están llenos los tanques
- SA2: Salida digital igual a 1 cuando el agua de los tanques llega al nivel mínimo del 10%
- SA3: Salida de agua almacenada y filtrada

8.1.1 Requerimientos de Componentes Subsistema A

A continuación, se muestran los requerimientos del subsistema A en términos de entradas y salidas.

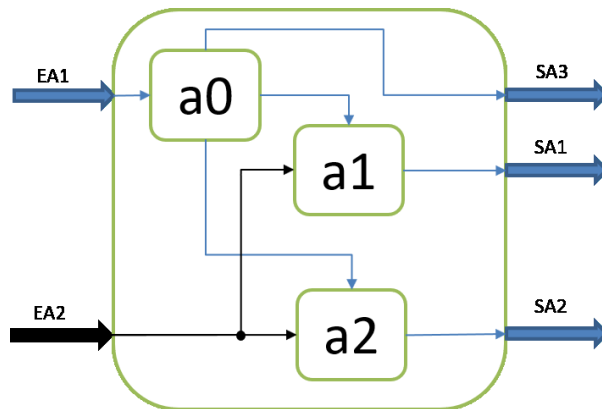


Imagen 7. Diseño funcional del Subsistema A

Como se ve en la imagen 7 el subsistema A utiliza tres componentes para cumplir con los requerimientos del subsistema. Los componentes se encargan de almacenar y filtrar el agua lluvia detectando el nivel de agua que este almacenada. Para realizar esta función se van a utilizar dos tanques de 1000 litros cada uno suministrados por el usuario, dos flotadores eléctricos uno para cada nivel con las mismas características.

8.1.1.1 Requerimientos de Componentes para detección del nivel de agua almacenada

- Componente a0: Tanques para almacenamiento de agua 1000lts
- Componente a1 y a2: Flotador eléctrico
- EA2: Voltaje de alimentación 110VAC / 60Hz

- SA1 y SA2: Salida digital
- SA3: Salida de agua almacenada y filtrada

Tanques de Almacenamiento: Para realizar el almacenamiento de aguas lluvias el usuario dispone de dos tanques de 1000 litros de capacidad cada uno, conectados entre sí garantizando que el agua se distribuya en cada tanque de manera uniforme. El agua antes de ser almacenada pasa por un filtro ubicado en las canales de la vivienda de esta forma ingresa limpia los tanques. En la imagen 8 se muestra la configuración de los tanques.

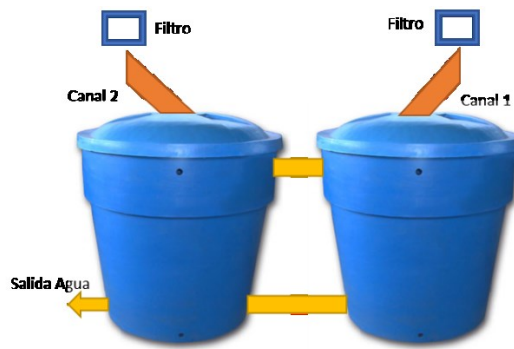


Imagen 8. Conexión Tanques de Almacenamiento de Agua

Sensor de Nivel: Para determinar el nivel de agua almacena, existen varios tipos de sensores capacitivos, ultrasónicos y flotadores de nivel. Los sensores capacitivos utilizan una sonda con la que detectan los cambios de nivel de líquido variando su capacitancia, los sensores de ultrasonido envían una señal ultrasónica a la superficie del líquido y detectan el eco que se genera y el flotador de nivel abre o cierra un interruptor determinando así si hay o no hay agua.

Tabla 2. Sensores de Nivel

Selección Tipo de Sensor de Nivel			
Tipo	Capacitivo	Ultrasónicos	Flotadores de Nivel
Ventajas	Precisión Alta. Accionamiento electrónico	Precisión Alta. Accionamiento electrónico	Fácil configuración, Costos
Desventajas	Requieren hardware adicional para su configuración. Costos	Requieren hardware adicional para su configuración. Costos	Precisión Menor. Accionamiento mecánico.

Teniendo en cuenta la comparación de los sensores en la tabla 2 para el desarrollo del proyecto se van a utilizar los flotadores de nivel por los costos de adquisición a pesar de ser menos precisos.

En la imagen 9 se muestra el diagrama de un flotador eléctrico. Este dispositivo está construido en un material hermético que le permite flotar, utiliza un contrapeso para ajustar su desplazamiento e internamente utiliza una esfera metálica que acciona una palanca para realizar la conmutación en un micro interruptor con dos contactos uno abierto y otro cerrado los cuales varían de acuerdo a la altura del flotador.

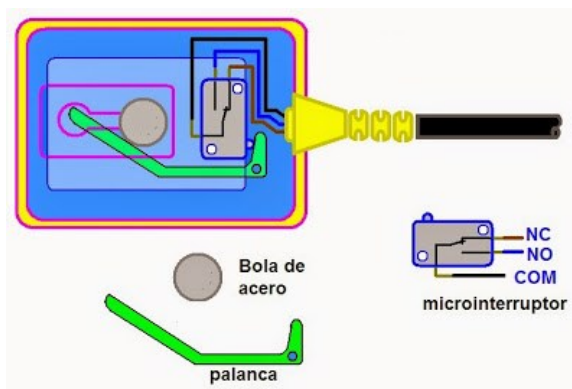


Imagen 9. Diagrama Flotador Eléctrico [12]

Siguiendo con el diseño del subsistema, es necesario realizar la selección de los componentes que se van a utilizar, validando con los requerimientos previamente establecidos. Para este proceso se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 3. Selección de componentes subsistema A

Selección Componente a1 y a2			
Entradas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente Exceline	Requerimiento de Componente Krypall
EA2: Voltaje de Alimentación	110VAC / 60Hz	120 / 220 VAC / 50 / 60Hz 16 Amp	120/ 250 VAC 60Hz 16 Amp
Salidas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente Exceline	Requerimiento de Componente Krypall
SA1, SA2: Salida digital	Estado lógico 1/0	Contacto NO / NC	Contacto NO / NC

Los datos de la tabla sirven para seleccionar los dos componentes que integran el subsistema A, realizando la misma función en etapas diferentes. Para la elección de la marca

del flotador se verifico en el mercado varios dispositivos, todos ofrecían características similares de funcionamiento y construcción por lo que se seleccionó el de menor costo específicamente el de marca Krypal. En el anexo 20.1 se pueden ver las características generales de un flotador.

Altura de los sensores: Para determinar la altura donde se deben instalar los flotadores de nivel en los tanques de almacenamiento se requiere utilizar la siguiente fórmula que corresponde al volumen de un tronco de cono:

$$V = \frac{\pi(R^2 + r^2 + Rr)h}{3} \quad (1)$$

De esta fórmula se debe despejar la altura (h) y con las dimensiones del tanque calcular la ubicación de los sensores.

$$h = \frac{3V}{\pi(R^2 + r^2 + Rr)} \quad (2)$$

Como los tanques están conectados entre sí y son de las mismas características, solo se requiere instalar los flotadores de nivel a uno de los dos tanques por lo tanto los cálculos se deben realizar teniendo en cuenta la mitad de volumen de agua del sistema, también es necesario tener en cuenta las magnitudes de las medidas para no tener inconvenientes al momento de realizar el cálculo de la altura.

Las medidas para realizar los cálculos son: Diámetro 1 D1=910mm, diámetro 2 D2=1185mm, altura total del tanque H1=1270mm, Volumen máximo de almacenamiento V1=1000lts y volumen mínimo de almacenamiento V2=100lts.

Como la formula requiere utilizar los radios del tanque es necesario dividir en 2 el valor de D1 y D2. Con esta información es posible obtener el dato de la altura donde se deben instalar los flotadores de nivel.

$$h1 = \frac{3(1000)}{\pi(0.8275)} \quad h1 = 1154,4mm \quad (3)$$

$$h2 = \frac{3(100)}{\pi(0.8275)} \quad h2 = 115.4mm \quad (4)$$

8.1.2 Esquemático del Subsistema A

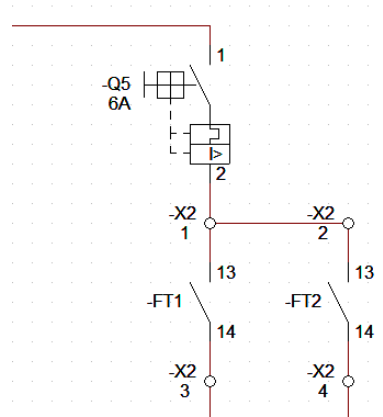


Imagen 10. Esquemático Subsistema A

En la imagen 10 se muestra el diagrama del subsistema A donde FT1 y FT2 representan los Flotadores eléctricos.

8.2 Requerimientos del Subsistema B

- El sistema debe medir y monitorear la humedad del suelo en el cultivo de café dividido en dos zonas
- Identificar cuando la humedad sea menor o igual al 31% y mayor o igual al 35%

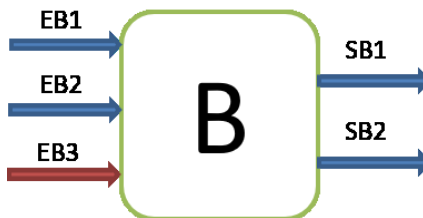


Imagen 11. Subsistema B

El subsistema B recibe los datos de humedad del cultivo de café. En la imagen 11 se muestran sus entradas y salidas que corresponden a:

- EB1, EB2: Humedad del suelo zona 1 y zona 2
- EB2: Voltaje de polarización del subsistema 24Vdc
- SB1, SB2: Salida analoga 4-20mA zona 1 y zona 2

8.2.1 Requerimientos de Componentes Subsistema B

A continuación, se muestran los requerimientos del subsistema B en términos de entradas y salidas.

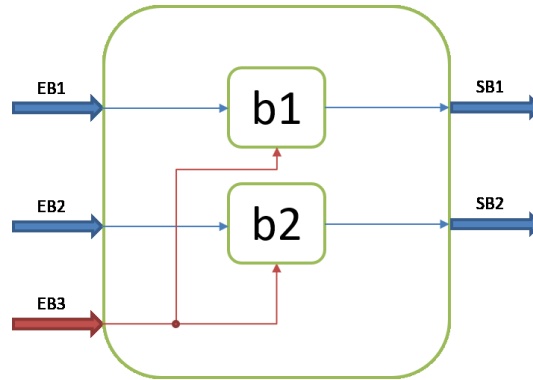


Imagen 12. Diseño funcional del Subsistema B

Como se puede observar en la imagen 12 el subsistema B está compuesto por 2 componentes de que permiten cumplir con los requerimientos del mismo. Este subsistema permite revisar el nivel de humedad en el suelo usando sensores. Los sensores de humedad están ubicados en dos zonas del cultivo para hacer un mejor aprovechamiento del agua al realizar el riego.

8.2.1.1 Requerimientos de Componentes para detección de la humedad del suelo

- Sensores de Humedad (b1, y b2):
 - Salida de 4 – 20 mA
 - Voltaje de alimentación de 24 VDC

Actualmente existen varias formas de medir la humedad del suelo, la mayoría de los métodos son de forma manual como el método gravimétrico que requiere recolección de muestras. También existen métodos intermedios como los resistivos y capacitivos que generan una señal a medida que varía la resistencia o la capacitancia de acuerdo al sensor utilizado y

otros métodos más sofisticados como la teledetección que utiliza radiación electrónica para determinar la humedad del suelo.

Para el desarrollo del proyecto se van a utilizar sensores capacitivos porque su precisión es alta, generan la señal requerida de 4-20mA y son más comerciales.

Ahora es necesario realizar la selección de los componentes del subsistema, los cuales serán validados de acuerdo a los requerimientos previamente establecidos y serán verificados mediante las siguientes tablas:

Tabla 4. Selección de Sensores de humedad subsistema B

Selección Componente b1 y b2			
Entradas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente ECH2O	Requerimiento de Componente MAS-1
EB2: Voltaje de Alimentación	24VDC	24VDC	24VDC
Salidas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente ECH2O	Requerimiento de Componente MAS-1
4-20mA	4-20mA	4-20mA	4-20mA

La tabla 4 presenta la comparación entre dos sensores del mercado que cumplen con los requerimientos de componentes para el subsistema B, se eligió el de referencia MAS-1 por disponibilidad en el mercado. Ver anexo 20.2.

8.2.2 Esquemático del Subsistema B

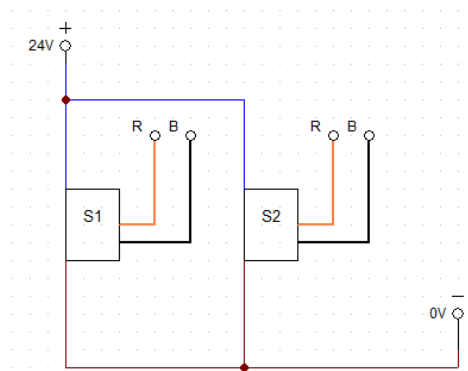


Imagen 13. Esquemático Subsistema B

En la imagen 14 se muestra el diagrama del subsistema B donde SH1, SH2, SH3 y SH4 representan los sensores de humedad. C1 representa el controlador y V1 con V2 representan las electroválvulas.

8.3 Requerimientos del Subsistema C

- El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo
- Se debe indicar una falla de forma luminosa si el sistema empieza a trabajar en vacío y contar con una parada de emergencia
- Si no hay agua disponible el sistema debe entrar en modo almacenamiento e indicar de forma luminosa
- El sistema debe suministrar agua cuando la humedad del suelo sea igual al 31% y detener el suministro cuando la humedad del suelo sea igual al 35%

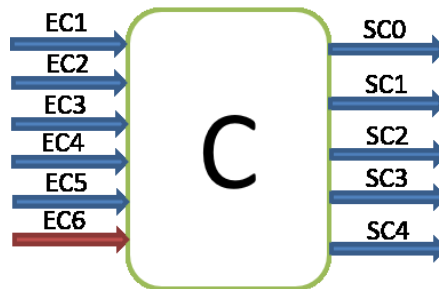


Imagen 14. Subsistema C

El subsistema C es el encargado de controlar el suministro de agua al sistema de riego de acuerdo a los datos recibidos de los subsistemas A y B. Sus entradas y salidas están representadas en la imagen 8 y corresponden a:

- EC1: Entrada digital igual a 1 cuando el agua de los tanques está a su máximo nivel y 0 cuando no están llenos los tanques
- EC2: Entrada digital igual a 1 cuando el agua de los tanques llega al nivel mínimo del 10%
- EC3, EC4: Entrada analógica 4-20mA zona 1 y zona 2
- EC5: Entrada digital parada de emergencia
- EC6: Voltaje de polarización del subsistema 24Vdc

- SC0, SC1: Salida digital 24VDC zona 1 y zona 2
- SC2: Salida digital igual a 1 cuando se va a suministrar agua al sistema de riego
- SC3: Salida digital igual a 1 cuando el sistema está en modo de almacenamiento de agua
- SC4: Salida digital igual a 1 cuando se activa la parada de emergencia

8.3.1 Requerimientos de Componentes Subsistema C

A continuación, se muestran los requerimientos del subsistema C en términos de entradas y salidas.

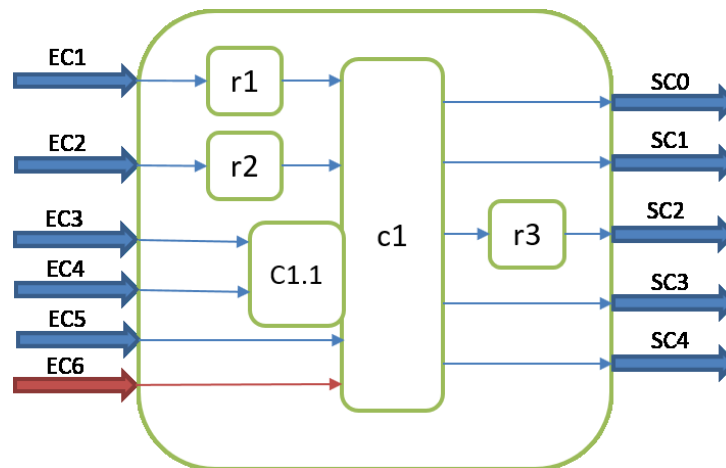


Imagen 15. Diseño funcional del Subsistema C

El subsistema C, integra 4 componentes para realizar la función de control del sistema. Los componentes r1, r2 y r3 corresponden a elementos que permiten acoplar las señales de entrada y de salida para proteger el componente c1. Dentro de los requerimientos de componentes no se tuvo en cuenta el componente c1 ya que su análisis se desarrolló en el subsistema B.

8.3.1.1 Requerimientos de Componentes para suministrar agua al sistema de riego

- Controlador (c1):
 - 5 entradas digitales

- 4 salidas digitales
- 2 entradas análogas 4-20mA
- Voltaje de alimentación 24VDC
- Acopladores de la señal de entrada relé (r1, y r2):
 - Salida digital por un contacto NO
 - Voltaje de alimentación 110 VAC / 60 Hz
- Acoplador de la señal de salida contactor (r3):
 - Indicación de sistema funcionando por un contacto NO
 - Corriente 9A para 1/2 hp
 - Voltaje de alimentación 110 VAC / 60 Hz

Seguendo con los criterios de selección es necesario elegir un controlador que soporte las condiciones de funcionamiento del sistema.

Tabla 5. Selección tipo de Controlador

Selección Tipo Controlador		
Tipo	Microcontrolador	PLC
Ventajas	Menor Costo. Mayor diversidad en el mercado. Fáciles de grabar	Modular. Es robusto para uso industrial. Fácil de instalar
Desventajas	Requieren arreglos electrónicos para funcionar. Menos resistentes No posee entradas 4-20mA	Requiere software específico. Costo elevado

De acuerdo a la tabla 5 por el entorno donde se va a implementar el sistema y la opción de ser modular se seleccionó un PLC para que controle las funciones del dispositivo. En la siguiente imagen se muestra el diagrama de la arquitectura interna de un controlador lógico programable con el que es posible ejecutar todas las tareas establecidas. Ver anexo 20.7.

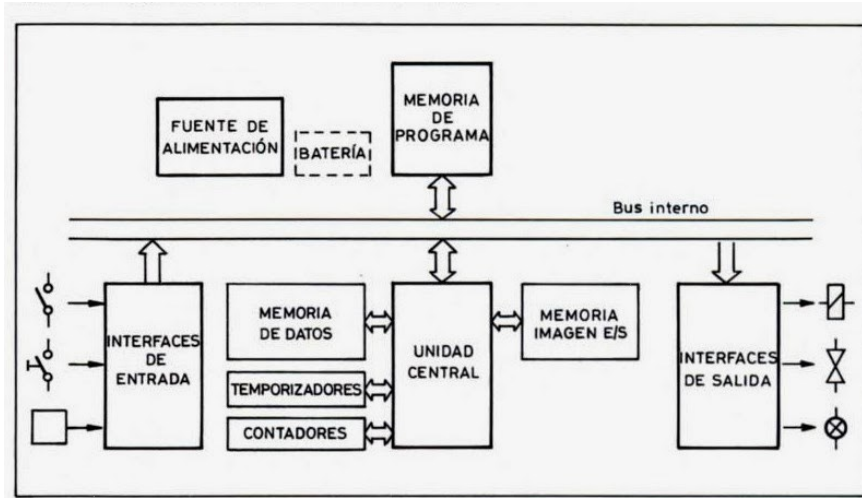


Imagen 16. Arquitectura PLC [13]

Tabla 6. Selección del controlador para el subsistema B

Selección Componente c1				
Entradas	Valor Requerimiento			
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente LOGO	Requerimiento de Componente Zelio	Requerimiento de Componente S7-1200
Voltaje de Alimentación	24VDC	24VDC	24VDC	24VDC
4 entradas análogas	4-20 mA	4-20mA con módulos de expansión	entradas análogas	4-20mA con módulos de expansión
Salidas	Valor Requerimiento			
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente LOGO	Requerimiento de Componente Zelio	Requerimiento de Componente S7-1200
4 salidas	digitales o relé	digitales o relé	digitales o relé	digitales o relé

En la tabla 6 se presentan algunas opciones de controladores que hay en el mercado, se seleccionó el componente LOGO porque es más versátil al momento de ser configurado permitiendo utilizar varios módulos que se adaptan a la necesidad del sistema y en comparación con los otros dispositivos es más económico. Ver anexo 20.3.

Ahora es necesario realizar la selección de los componentes del subsistema, los cuales serán validados de acuerdo a los requerimientos previamente establecidos y serán verificados mediante las siguientes tablas:

Tabla 7. Selección Relé para subsistema C

Selección Componente Relé r1 y r2				
Entradas	Valor Requerimiento			
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente LZS:RT4A4S15	Requerimiento de Componente Dpdt Ly2nj	Requerimiento de Componente RSB2A080F7
Voltaje de Alimentación	110 VAC	110 VAC	110 VAC	110 VAC
Salidas	Valor Requerimiento			
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente LZS:RT4A4S15	Requerimiento de Componente Dpdt Ly2nj	Requerimiento de Componente RSB2A080F7
Salida digital	1 contacto NO	2 contactos NO	2 contactos NO / NC	2 contactos NO

En la tabla 7 se presentan 3 dispositivos que cumplen con los requerimientos de componente para el funcionamiento del subsistema. Como todos cumplen con los requisitos se eligió la referencia LZS:RT4A4S15 porque incluye un indicador luminoso que se activa cuando está en funcionamiento. Esta indicación ayuda en el momento de presentarse alguna anomalía en el sistema. Ver anexo 20.4. Este dispositivo va usar una protección con interruptor termomagnético monopolar de 6A para evitar daños en el sistema

Tabla 8. Selección contactor para subsistema C

Selección Componente contactor r3			
Entradas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente 3RT1023-1AG24	Requerimiento de Componente LC1K0901F7
Voltaje de Alimentación	110 VAC	110 VAC	110 VAC
Corriente	9A	9A	9A
Salidas	Valor Requerimiento		
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente 3RT1023-1AG24	Requerimiento de Componente LC1K0901F7
Indicación de Funcionamiento	1 contacto NO	2 contactos NO / NC	1 contacto NO

En la tabla 8 se presentan 2 contactores que cumplen con los requerimientos de funcionamiento del subsistema. Se selecciona el componente 3RT1023-1AG24 por que brinda más opciones de conexión con sus contactos adicionales. Ver anexo 20.5. Las características de este dispositivo se generaron porque el sistema necesita utilizar una bomba para irrigar el cultivo del café. Esta Bomba la suministra el usuario y tiene las siguientes características ½ hp,

110 VAC, 4 A. Este dispositivo va usar una protección con interruptor termomagnético monopolar de 6A para evitar daños en el sistema.

8.3.2 Esquemático del Subsistema C

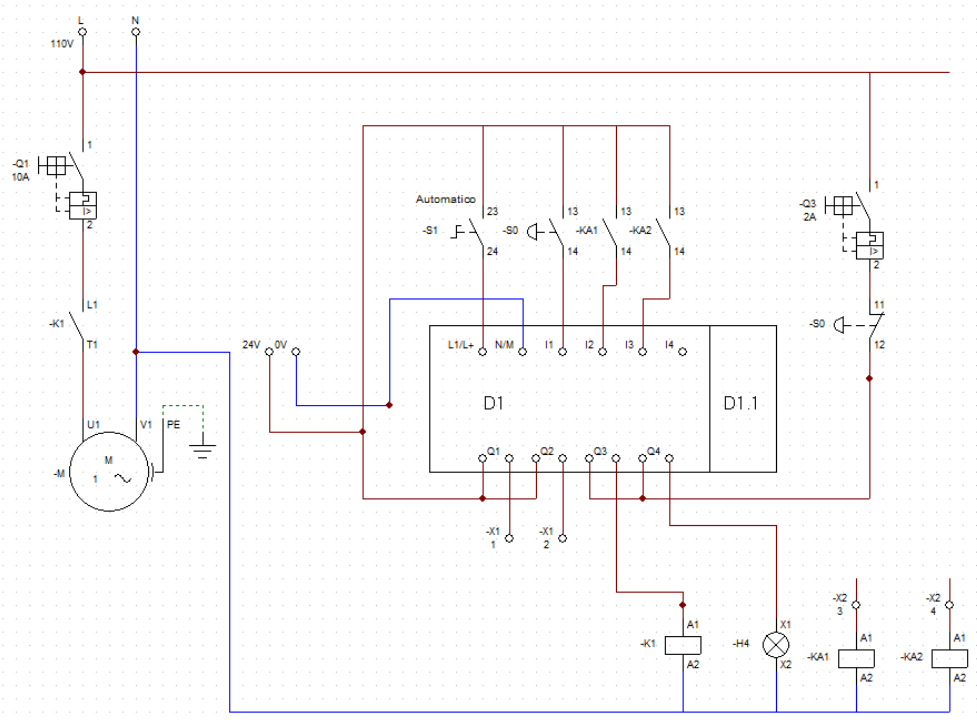


Imagen 17. Esquemático Subsistema C

En la imagen 17 se muestra el diagrama del subsistema C donde R1 y R2 representan los relés para acoplar las señales de entrada y R3 representa un contactor para activar la salida que energiza la motobomba. En el diagrama C1 es el mismo controlador del subsistema B.

8.4 Requerimientos del Subsistema D

- El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo e indicar de forma luminosa los dos niveles
- Se debe indicar una falla de forma luminosa si el sistema empieza a trabajar en vacío y contar con una parada de emergencia
- Si no hay agua disponible el sistema debe entrar en modo almacenamiento e indicar de forma luminosa

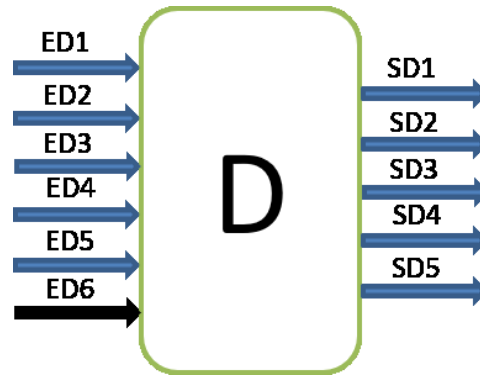


Imagen 18. Subsistema D

El subsistema D es el encargado indicar el estado de funcionamiento del sistema de forma luminosa sus entradas están representadas en la imagen 18 y equivalen a:

- ED1: Entrada digital igual a 1 cuando se está realizando suministro de agua
- ED2: Entrada digital igual a 1 cuando el agua de los tanques llega al nivel mínimo del 10%
- ED3: Entrada digital igual a 1 cuando el agua de los tanques está a su máximo nivel y 0 cuando no están llenos los tanques
- ED4: Entrada digital igual a 1 cuando el sistema está en modo almacenamiento
- ED5: Entrada digital igual a 1 cuando se activa la parada de emergencia
- ED6: Voltaje de referencia (neutro) del subsistema
- SD1, SD2, SD3, SD4 y SD5: Salidas con indicación luminosa mostrando el estado de funcionamiento del sistema

8.4.1 Requerimientos de Componentes Subsistema D

A continuación, se muestran los requerimientos del subsistema D en términos de entradas y salidas.

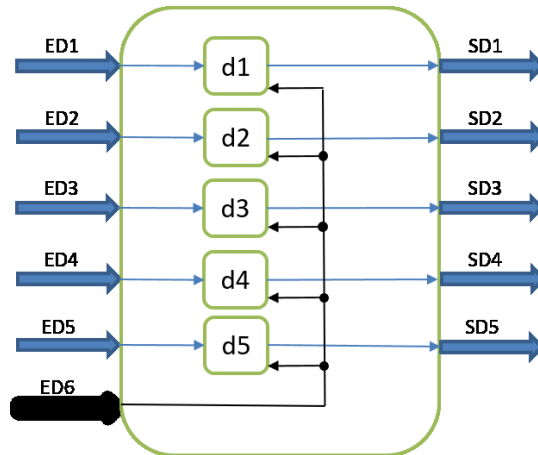


Imagen 19. Diseño funcional del Subsistema D

En la imagen 19 se observa que el subsistema D está compuesto por 5 componentes que permiten realizar la función de monitoreo por medio de indicaciones luminosas.

Estos componentes básicamente son lámparas que se activan cuando los demás subsistemas generan salidas digitales durante el desarrollo de sus actividades.

8.4.1.1 Requerimientos de Componentes para indicación de funcionamiento del sistema

- d1, d3 y d4: Lámparas luminosas verdes
- d2: Lámpara luminosa roja
- d5: Lámpara luminosa amarilla
- ED5: Voltaje de referencia (neutro)
- Voltaje de alimentación 110 VAC / 60 Hz

Ahora es necesario realizar la selección de los componentes del subsistema, los cuales serán validados de acuerdo a los requerimientos previamente establecidos y serán verificados mediante la siguiente tabla:

Tabla 9. Selección indicadores luminosos para subsistema D

Selección Componente Indicador luminoso					
Entradas	Valor Requerimiento				
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente 3SU1103-6AA20	Requerimiento de Componente XB4BV33	Requerimiento de Componente 3SU1103-6AA40	Requerimiento de Componente XB4BV34
Voltaje de Alimentación	110 VAC	110 VAC	110 VAC	110 VAC	110 VAC
Salidas	Valor Requerimiento				
	Requerimiento levantado	Requerimiento de Componente 3SU1103-6AA20	Requerimiento de Componente XB4BV33	Requerimiento de Componente 3SU1103-6AA40	Requerimiento de Componente XB4BV34
Color Verde	3 verdes		Verdes sin bombillo	Verde con Led	
Color Rojo	1 roja	Roja con Led			Roja sin bombillo

En la tabla 9 se compararon cuatro lámparas luminosas 2 rojas y 2 verdes con el mismo voltaje de alimentación, se seleccionaron las de referencia 3SU porque utilizan tecnología Led.

8.4.2 Esquemático del Subsistema D

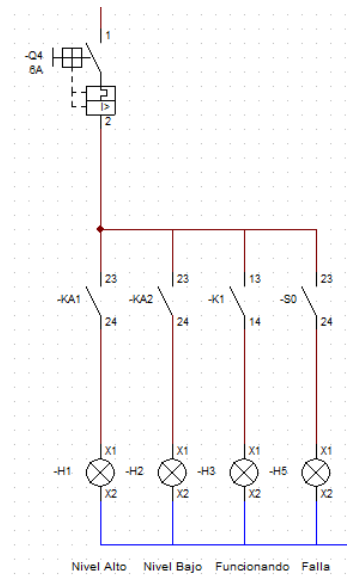


Imagen 20. Esquemático Subsistema D

El diagrama de la imagen 20 representa las indicaciones luminosas del sistema que se activan de acuerdo a su funcionamiento.

8.5 Requerimientos del Subsistema E

- El dispositivo debe funcionar con la tensión que brinda la red comercial 110VAC/ 60Hz

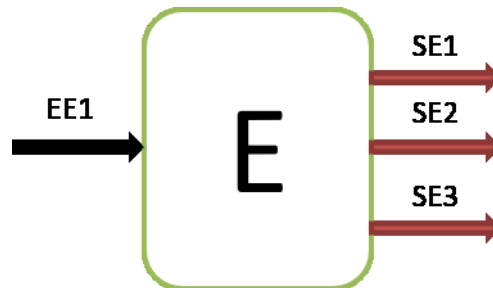


Imagen 21. Subsistema E

El subsistema E es una fuente de alimentación para el funcionamiento de los subsistemas en la imagen 20 están representadas su entrada y sus salidas que equivalen a:

- EE1: Voltaje de alimentación 110VAC/ 60Hz
- SE1 y SE2: Voltaje de polarización de los subsistemas 24Vdc

8.5.1 Requerimientos de Componentes Subsistema E

A continuación, se muestran los requerimientos del subsistema E en términos de entradas y salidas en la imagen 22.

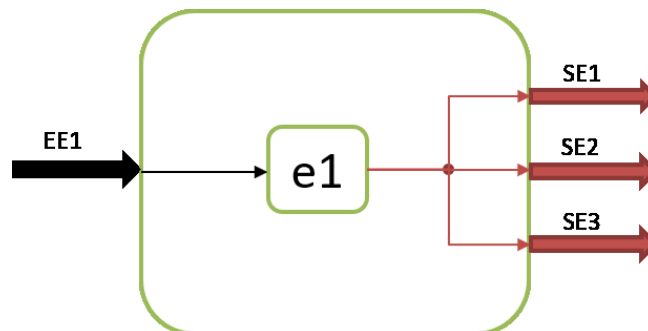


Imagen 22. Diseño funcional del Subsistema E

Este subsistema tiene solo un componente por lo que los requerimientos del subsistema son los mismos del componente. El componente e1 cumple con la función de energizar los demás subsistemas.

8.5.1.1 Requerimientos de Componentes para energizar los subsistemas

- Componente e1: Fuente de alimentación
- Entrada: Voltaje 110 VAC / 60 Hz
- Salidas SE1 y SE2: 24 VDC

Para el funcionamiento del subsistema E es posible utilizar dos tipos de fuentes, lineales o conmutadas en la tabla 10 se muestra una breve comparación para determinar cuál se adapta mejor a las necesidades del sistema.

Tabla 10. Selección Fuente de Alimentación

Selección Fuente de voltaje		
Tipo	Lineal	Conmutada
Ventajas	Costos de fabricación. Diseño simple. Bajo ruido a la salida	Eficiencia 68-90%. Puede funcionar como elevador o reductor por múltiples salidas. Montaje en riel Dim
Desventajas	Peso. Eficiencia del 30-60%. Solo pueden ser reductoras de tensión	Mayor ruido a la salida. Costos

Por el tipo de montaje y por tener mayor eficiencia se seleccionó la fuente conmutada para ser usada en el subsistema. Continuando con el diseño del subsistema, es necesario realizar la selección de la marca de la fuente a utilizar, validando con los requerimientos previamente establecidos por medio de la siguiente tabla.

9. PLAN DE PRUEBAS

9.1 Plan de Pruebas de Componentes

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema, es necesario comprobar que la selección de los componentes que integran el sistema responde de acuerdo a los requerimientos previamente establecidos realizando un plan de pruebas a cada uno.

9.1.1 Prueba Componente 1 (Flotador eléctrico)

Objetivo: Verificar con voltaje de alimentación si el dispositivo abre y cierra sus contactos.

Requerimiento a probar: El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo e indicar de forma luminosa los dos niveles.

Metodología: Utilizar un multímetro para medir continuidad en los cables del flotador eléctrico para verificar en que posición abre y cierra los contactos. Repetir el proceso con el sistema energizado y medir con el multímetro el voltaje en el cable de los flotadores

Tabla 12. Tabla de pruebas Componente 1

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	EA2: Voltaje 110 VAC	Energizar Flotador	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
Requerimientos de salida	SA1: Salida digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
	SA2: Salida digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	110 VAC		

9.1.2 Prueba Componente 2 (Sensor de humedad)

Objetivo: Verificar si el componente genera una señal variable de 4 – 20mA.

Requerimiento a probar: Identificar cuando la humedad sea menor o igual al 31% y mayor o igual al 35%.

Metodología: Conectar los sensores al controlador del sistema. Con un multímetro verificar el voltaje de alimentación. Introducir los sensores en un recipiente con tierra y agregar agua lentamente para verificar la variación de la humedad ayudado de un computador.

Tabla 13. Tabla de pruebas Componente 2

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Sensor	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
Requerimientos de salida	Corriente 4-20mA	Variación de corriente a la salida	1	30 min	Computador /Multímetro	4-20mA		

9.1.3 Prueba Componente 3 (Controlador)

Objetivo: Verificar si el componente activa entradas y salidas digitales

Requerimiento a probar: El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo. Indicar una falla de forma luminosa si el sistema empieza a trabajar en vacío. Si no hay agua disponible el sistema debe entrar en modo almacenamiento e indicar de forma luminosa. El sistema debe suministrar agua cuando la humedad del suelo sea igual al 31% y detener el suministro cuando la humedad del suelo sea igual al 35%.

Metodología: Energizar el controlador, configurar comunicación con un computador para cargar el programa que permita la verificación de entradas y salidas. Si es posible realizar pruebas online para tener respuesta en tiempo real del funcionamiento del controlador en la pantalla del computador.

Tabla 14. Tabla de pruebas Componente 3

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Sensor	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
	Entradas digitales	Simular Entradas	1	20 min	Computador /Multímetro			
Requerimientos de salida	Salidas Digitales	Verificación Salidas	1	20 min	Computador /Multímetro			

9.1.4 Prueba Componente 4 (Válvula)

Objetivo: Verificar si el componente abre o cierra el paso de agua

Requerimiento a probar: El sistema debe suministrar agua a dos zonas del cultivo de café

Metodología: Energizar las válvulas y utilizar un multímetro para medir voltaje de alimentación, verificar si abren y cierran el paso de agua.

Tabla 15. Tabla de pruebas Componente 4

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Válvula	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
Requerimientos de salida	Dividir en dos zonas	Abrir / Cerrar	1	10 min	Multímetro			

9.1.5 Prueba Componente 5 (Relé)

Objetivo: Verificar si el componente abre y cierra sus contactos

Requerimiento a probar: El sistema debe suministrar agua a dos zonas del cultivo de café

Metodología: Energizar los relés, utilizar un multímetro para medir voltaje de alimentación, verificar si abren y cierran los contactos.

Tabla 16. Tabla de pruebas Componente 5

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Relés	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro			

9.1.6 Prueba Componente 6 (Contactor)

Objetivo: Verificar si el componente abre y cierra sus contactos

Requerimiento a probar: El sistema debe suministrar agua a dos zonas del cultivo de café

Metodología: Energizar la bomba de agua; utilizar un multímetro para medir voltaje de alimentación, verificar si realiza suministro de agua.

Tabla 17. Tabla de pruebas Componente 6

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Relés	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro			

9.1.7 Prueba Componente 7 (Lámparas de indicación)

Objetivo: Verificar si el componente se activa

Requerimiento a probar: El sistema debe indicar de forma luminosa nivel mínimo y máximo de agua almacenada. El sistema debe indicar falla si hay suministro en vacío. El sistema debe indicar cuando se encuentra en modo de almacenamiento de agua.

Metodología: Energizar las lámparas de indicación, realizar una verificación visual del color emitido por las lámparas; utilizar un multímetro para medir voltaje de alimentación.

Tabla 18. Tabla de pruebas Componente 7

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC		
	110 VAC	Energizar Lámparas	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
Requerimientos de salida	Indicación Luminosa	Verificar Colores	1	10 min				

9.1.8 Prueba Componente 8 (Fuente de Voltaje)

Objetivo: Verificar si el componente se activa y genera una salida de 24vcd

Requerimiento a probar: El dispositivo debe funcionar con la tensión que brinda la red comercial 110VAC/ 60Hz

Metodología: Energizar la fuente de alimentación. Con un multímetro medir voltaje a la entrada y la salida de la fuente.

Tabla 19. Tabla de pruebas Componente 8

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Fuente	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
Requerimientos de salida	24 VDC	Verificar Voltaje de Salida	1	10 min	Multímetro	24 VDC		

9.2 Plan de Pruebas de Subsistemas

El plan de pruebas de subsistemas se implementa para verificar el cumplimiento de los requerimientos establecidos durante el diseño. Esta verificación se realiza de forma teórica.

En esta ocasión las pruebas de los subsistemas A, B, D y E corresponden a las pruebas realizadas para los componentes 1, 7 y 8 respectivamente. A continuación, se muestran las pruebas para los demás subsistemas.

9.2.1 Plan de Pruebas del Subsistema C

Objetivo: Verificar si el subsistema C selecciona entre el modo de almacenamiento y modo de suministro de agua

Requerimiento a probar: El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo. Indicar una falla de forma luminosa si el sistema empieza a trabajar en vacío. Si no hay agua disponible el sistema debe entrar en modo almacenamiento e indicar de forma luminosa. El sistema debe suministrar agua cuando la humedad del suelo sea igual al 31% y detener el suministro cuando la humedad del suelo sea igual al 35%.

Metodología: Energizar el controlador, configurar comunicación con un computador para cargar el programa que permita la verificación de entradas y salidas. Si es posible realizar pruebas online para tener respuesta en tiempo real del funcionamiento del controlador en la pantalla del computador. Verificar la activación de los relés y el contactor.

Tabla 20. Tabla de pruebas Subsistema C

Requerimientos del Subsistema		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Verificación tanques llenos	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Digital	Nivel mínimo de los tanques	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%		
	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Modo Almacenamiento	1	10 min	Computador /Multímetro			
	Suministro de Agua	Orden de suministro	2	30 min	Computador /Multímetro			

9.3 Plan de Pruebas de Integración

Luego de realizar las pruebas a los componentes y a los subsistemas se requiere integrar los subsistemas para verificar su funcionamiento en conjunto. A continuación, se muestran las pruebas de la integración de subsistemas.

9.3.1 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas A, D y E

Objetivos:

- Verificar que el subsistema A indique los niveles de agua almacenada en el subsistema D.
- Verificar que el subsistema E suministre energía a los subsistemas A y D

Requerimiento a probar: El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel máximo e indicar de forma luminosa los dos niveles. El dispositivo debe funcionar con la tensión que brinda la red comercial 110VAC/ 60Hz

Metodología: Energizar la fuente de alimentación, los flotadores eléctricos y las lámparas de señalización. Con un multímetro verificar el voltaje en los elementos.

Tabla 21. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas A, D y E

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Señalización Nivel Alto	1	10 min	Multímetro			
	Entrada Digital	Señalización Nivel Bajo	1	10 min	Multímetro			
	110 VAC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Almacenamiento nivel Máximo	1	10 min	Multímetro			
	Salida Digital	Almacenamiento nivel mínimo	1	10 min	Multímetro			
	110 VAC	Suministro de Voltaje	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC		

9.3.2 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas B y C

Objetivo: Verificar que el subsistema B indique las variaciones de humedad al subsistema C

Requerimiento a probar: Identificar cuando la humedad sea menor o igual al 31% y mayor o igual al 35%.

Metodología: Conectar los sensores al controlador del sistema. Con un multímetro verificar el voltaje de alimentación. Introducir los sensores en un recipiente con tierra y agregar agua lentamente para verificar la variación de la humedad ayudado de un computador.

Tabla 22. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas B y C

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Orden para irrigar	1	30 min	Computador			

9.3.3 Plan de Pruebas de Integración de los Subsistemas A, D, E con B y C

Objetivos:

- Verificar que la integración de los subsistemas A, D y E indiquen los niveles de agua almacenada a la integración de los subsistemas B y C
- Verificar que la integración de los subsistemas genera indicaciones luminosas de acuerdo al modo de funcionamiento
- Identificar cuando es necesario irrigar agua lluvia almacenada y generar una señal luminosa durante el proceso
- Verificar cuando el sistema entra en modo de almacenamiento de agua

Requerimiento a probar: Identificar cuando la humedad sea menor o igual al 31% y mayor o igual al 35%. El sistema debe identificar si hay agua lluvia almacenada, nivel mínimo y nivel

máximo e indicar de forma luminosa los dos niveles. El dispositivo debe funcionar con la tensión que brinda la red comercial 110VAC/ 60Hz.

Metodología: Integrar todos los subsistemas, verificar con un multímetro el voltaje de funcionamiento de cada subsistema y verificar si se activan las lámparas del sistema.

Tabla 23. Tabla de pruebas de integración de los Subsistemas A, D, E con B y C

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Verificación tanques llenos	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Digital	Nivel mínimo de los tanques	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Digital	Señalización del suministro de agua	1	10 min	Multímetro			
	Entrada Digital	Señalización de almacenamiento de agua	1	10 min	Multímetro			
	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Almacenamiento nivel Máximo	1	10 min	Multímetro			
	Salida Digital	Almacenamiento nivel mínimo	1	10 min	Multímetro			
	Salida Digital	Modo Almacenamiento	1	10 min	Computador /Multímetro			
	Suministro de Agua	Orden de suministro	2	30 min	Computador /Multímetro			
	24 VDC	Verificar Voltaje de Salida	1	10 min	Multímetro	24 VDC		

9.4 Plan de Pruebas del Sistema

Objetivos:

- Verificar todos los requerimientos establecidos durante el proceso de diseño
- Verificar la integración de subsistemas
- Verificar entradas y salidas de todo el sistema

Requerimiento a probar: Todos los requerimientos funcionales del sistema.

Metodología: Energizar el sistema, conectar un computador al controlador para verificar el estado de funcionamiento online. Medir con un multímetro el voltaje en todos los componentes. Es necesario comprobar que las indicaciones luminosas corresponden al estado de funcionamiento en el que se encuentra el sistema. Se puede activar la parada de emergencia para confirmar que se detiene el suministro de agua.

Tabla 24. Tabla de pruebas del Sistema

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Verificación tanques llenos	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Digital	Nivel mínimo de los tanques	2	20 min	Computador /Multímetro			
	Entrada Digital	Señalización del suministro de agua	1	10 min	Multímetro			
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%		
	Entrada Digital	Señalización de almacenamiento de agua	1	10 min	Multímetro			
	110 VAC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC		
Requerimientos de salida	Salida Digital	Almacenamiento nivel Máximo	1	10 min	Multímetro			
	Salida Digital	Almacenamiento nivel mínimo	1	10 min	Multímetro			
	Salida Digital	Modo Almacenamiento	1	10 min	Computador /Multímetro			
	Suministro de Agua	Orden de suministro	2	30 min	Computador /Multímetro			
	110 VAC	Suministro de Voltaje	1	10 min	Multímetro	110 VAC		
	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC		
	24 VDC	Verificar Voltaje de Salida	1	10 min	Multímetro	24 VDC		

10. DISEÑO INDUSTRIAL

10.1 Conceptualización y Definición del Diseño

10.1.1 Análisis del Contexto

El sistema que se requiere implementar va a ser instalado en la finca Santa Lucia del municipio Guayabal de Siquima a 1630 msnm, aproximadamente a 3 kilómetros de la cabecera municipal.

La finca cuenta con una vivienda donde va a estar ubicado el dispositivo que controla el sistema. A un costado de la vivienda se encuentran ubicados dos tanques de almacenamiento de agua lluvia que son los que van a suministrar agua al sistema.

El cultivo de café que va a recibir el suministro de agua por parte del sistema está ubicado a un costado de la vivienda, en una zona donde el suelo está inclinado.

10.1.2 Casos de Uso

10.1.2.1 Casos de Uso Típicos

- El primer paso del usuario es verificar que el sistema esté instalado de forma adecuada
- El usuario debe energizar el sistema
- Accionar las protecciones de los componentes
- El usuario puede observar cuando los componentes que controlan el sistema están activos porque generan una indicación
- Una vez activo el sistema el usuario puede observar la disponibilidad de agua de los tanques a través de señales luminosas generadas por el dispositivo de control
- Si desea comprobar la indicación del dispositivo puede verificar directamente observando en los tanques el contenido de agua
- Si las condiciones de humedad del suelo están por debajo de las establecidas y existe agua disponible se activa el suministro de agua automáticamente indicando al usuario en el dispositivo de control
- Luego de realizar el suministro de agua y de que el suelo tenga la humedad requerida el sistema se detiene y apaga la indicación de funcionamiento

- Si la humedad no cumple con lo establecido y no hay agua el dispositivo indica de manera luminosa al usuario y el sistema queda en modo de almacenamiento de agua

10.1.2.2 Casos de Uso Atípicos

A continuación, se presentan tres casos atípicos de funcionamiento del sistema:

- El sistema no identifica el nivel máximo o mínimo de agua almacenada
- El sistema intenta suministrar agua cuando los tanques están vacíos
- El sistema suministra agua cuando la humedad del suelo es superior al 31 % o en época de lluvias

Cuando estos casos se presenten el sistema debe generar una indicación de falla y contar con un dispositivo de emergencia que pueda detener estas acciones mientras se verifica por que ocurren estas situaciones

10.1.3 Requerimientos industriales

10.1.3.1 Requerimientos de uso y Función

- Los componentes de control del sistema deben estar ubicados en un cofre que tenga puerta
- El componente que suministra el agua va a estar ubicado cerca a los tanques de almacenamiento
- Los modos de funcionamiento se deben presentar en la puerta del cofre del sistema
- El cofre debe permanecer cerrado durante su funcionamiento

10.1.3.2 Requerimientos de estructura y producción

El sistema debe estar ensamblado en un cofre de lámina con acabado en pintura electrostática

Los componentes se deben unir por medio de cable flexible

Se realizará con manufactura existente en el mercado

Incluirá elementos que se encuentren en el mercado

Si es necesario realizar transporte, el dispositivo debe estar empacado con cartón y vinipel para proteger los equipos

Por ser un equipo que funciona con electricidad debe cumplir con algunos lineamientos de la norma RETIE

10.1.3.3 Requerimientos de Estética e Identificación

- Los componentes deben estar ubicados de forma organizada dentro del cofre
- Es necesario marcar cada elemento
- El cofre debe tener marquillas de identificación
- Las señales generadas por el sistema deben tener marquilla de identificación

10.1.4 Materiales, Procesos y Normativas

10.1.4.1 Materiales

Para la construcción del sistema se deben tener en cuenta las características de los componentes que lo integran y de acuerdo a esta condición se van a utilizar los siguientes materiales:

- Cofre en lámina cold rolled
- Perfil normalizado de 35 mm
- Canaleta para cableado
- Cable para conexión

10.1.4.2 Procesos

Para la fabricación del dispositivo se tienen en cuenta los siguientes procesos:

- **Proceso de manufactura:** Aunque incrementa los costos de realización del proyecto puede mejorar la calidad del dispositivo terminado porque cuentan con herramientas especializadas para realizar la construcción del mismo. Además, brinda

garantía y soporte por un tiempo determinado luego de entregar el producto. Los tiempos de entrega dependen de la disponibilidad de los componentes a utilizar.

- **Proceso Artesanal:** Es un método más económico, que puede brindar buena calidad. Implica reunir los componentes desde varios distribuidores. La garantía depende de los distribuidores más no del fabricante del sistema.

De los dos procesos se elige el de manufactura porque brinda mejores tiempos de fabricación y respaldo luego de tener el producto terminado.

10.1.4.3 Normativas

En la fabricación del dispositivo se va a tener en cuenta la norma RETIE para las marcaciones, los colores de los cables y la disposición de los componentes del sistema.

10.2 Planificación de la Producción

10.2.1 Alternativas de Configuración

Para poder realizar la planificación de la producción es necesario tener por lo menos dos alternativas de configuración de permitan identificar cuál de las dos es más adecuada para poder implementar el sistema.

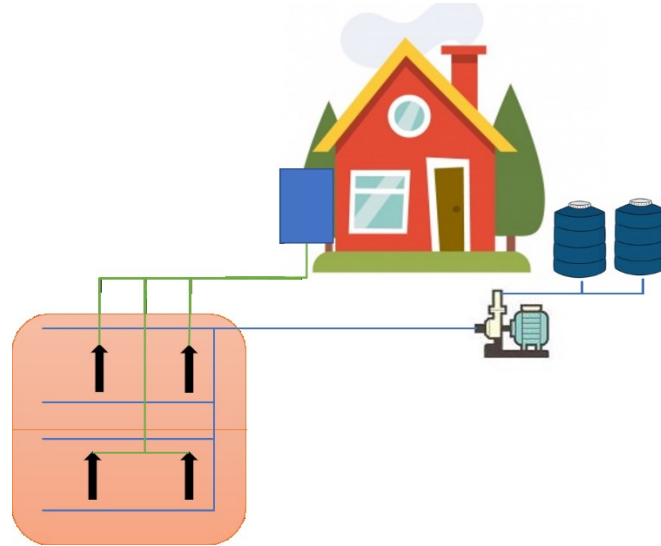
10.2.1.1 Alternativa de Configuración 1

Imagen 24. Alternativa 1

En este diseño se utilizan dos tanques para almacenamiento de agua lluvia ubicada a un costado de la casa, una motobomba para suministrar agua desde los tanques hasta el sistema de riego del cultivo de café. Utiliza un tablero de ubicación en la casa que determina cuando realizar el suministro de agua a través de cuatro sensores de humedad ubicados en el cultivo siempre que se cuente con agua almacenada. La conexión de estos sensores se realiza de manera elevada para evitar daños durante las labores diarias de la finca. Los sensores van a estar señalizados facilitando su ubicación y su cuidado.

10.2.1.2 Alternativa de Configuración 2

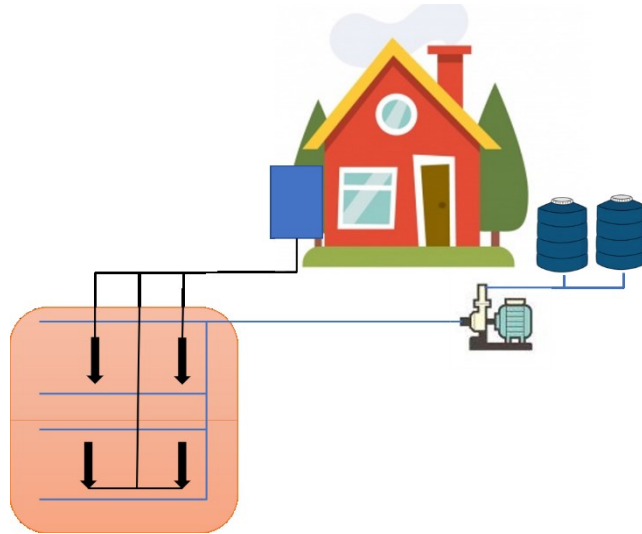


Imagen 25. Alternativa 2

Para este diseño se utilizan dos tanques para almacenamiento de agua lluvia ubicados a un costado de la casa, una motobomba para suministrar agua desde los tanques hasta el sistema de riego del cultivo de café. Utiliza un tablero de ubicado en la casa que determina cuando realizar el suministro de agua a través de cuatro sensores de humedad ubicados en el cultivo siempre que se cuente con agua almacenada. Los sensores van a estar señalizados su conexión se realiza llevando los cables por ductos que están sobre el suelo. Estos ductos deben quedar señalizados y protegidos para evitar daños por las labores diarias de la finca.

10.2.1.1 Evaluación y Presentación Alternativa Final

Tabla 25. Tabla de Evaluación Alternativa

Alternativa	Alternativa 1		Alternativa 2		Peso
	Evaluated	Ponderado	Evaluated	Ponderado	
Costos	3	0,9	5	1,5	30%
Instalación	2	0,4	5	1	20%
Funcionamiento	3	0,9	4	1,2	30%
Mantenimiento	1	0,2	4	0,8	20%
Totales		2,4		4,5	100%

Se decidió elegir la alternativa 2 por varias razones, entre ellas los costos de instalación, requiere menor tiempo de mano de obra para instalar los ductos por dónde va el cableado de los sensores, además brinda una distancia mayor para la conexión de los mismos al no ser elevado el sistema se ganan algunos metros de distancia la cual está limitada a 75mts para cada sensor.

10.2.2 Diseño Detallado

10.2.2.1 Selección de Materiales

Para la implementación del proyecto aparte de los dispositivos de control se requiere utilizar los siguientes materiales:

- Cofre fabricado en lámina cold rolled con protección IP64 soporta polvo y chorros pequeños de agua
- Tubería rígida en PVC para los cables
- Chazos para la fijación del cofre
- Acoples para la tubería (codos, terminales)
- Elemento de protección para puntos críticos por donde va a pasar la tubería

10.2.2.2 Definición de los componentes

Cofre Metálico: Este componente se va a utilizar para almacenar la mayoría de componentes que integran al sistema. Tiene unas medidas aproximadas de 650x400x250mm corresponden al alto, ancho y profundo. Además, debe incluir una chapa con llave para evitar malas manipulaciones de los componentes y protegerlos de factores externos que puedan afectar su comportamiento.

Tubos para Cables: Tienen una longitud aproximada de 3 metros de largo para no tener que realizar muchas uniones a grandes distancias. El diámetro se selecciona de acuerdo a la cantidad de cables que se requieran pasar por los tubos van desde 16 hasta 32 mm de diámetro.

10.2.3 Implementación de Producción

10.2.3.1 Plan de Implementación

Para implementar el sistema se va a trabajar por etapas de la siguiente manera:

- Etapa 1: Verificación de los componentes y fabricación del tablero de control
- Etapa 2: Pruebas de Fabricación
- Etapa 3: Instalación del dispositivo de control en la finca
- Etapa 4: Adecuación e instalación de las tuberías y los sensores en el cultivo
- Etapa 5: Instalación de los flotadores eléctricos
- Etapa 6: Conexión de los tanques con la motobomba y el sistema de riego
- Etapa 7: Verificación de todas las integraciones el sistema
- Etapa 8: Verificación de funcionamiento

10.3 Documentación

10.3.1 Boceto del Sistema

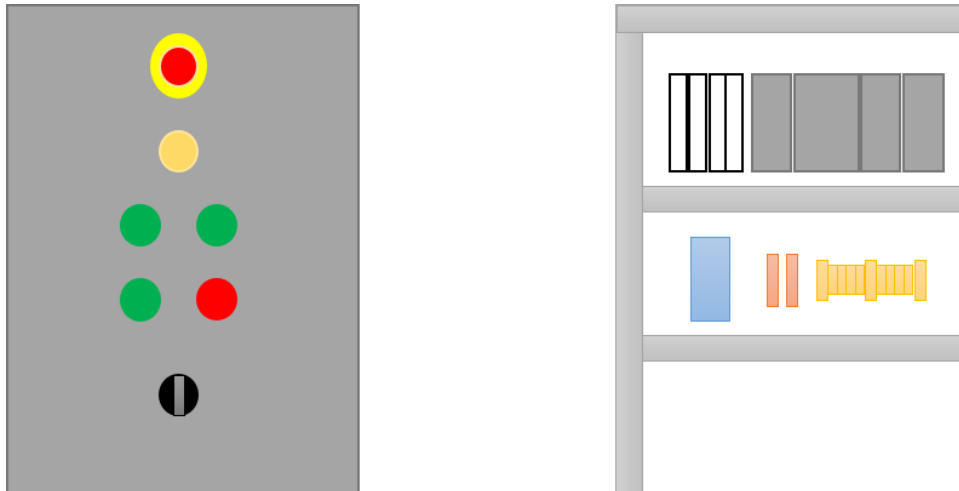


Imagen 26. Boceto del Sistema

En la imagen se muestra un boceto de cómo puede llegar a quedar distribuido el sistema dentro del cofre luego de ensamblar todos sus componentes.

11. IMPLEMENTACIÓN

11.1 Implementación de Subsistemas

La implementación de los subsistemas del proyecto no fue desarrollada con un orden predeterminado, inicialmente se implementaron los subsistemas C, D y E. Luego se implementaron los subsistemas A, B y finalmente el X al mismo tiempo que el F. A continuación, se presenta en detalle la implementación de los subsistemas.

11.1.1 Implementación Subsistemas C, D y E

La implementación de los subsistemas C, D y E se da gracias a la integración de tecnologías previamente seleccionadas en el diseño; esta condición se va repetir durante el desarrollo de todo el proyecto.

Para la instalación de los dispositivos se fabricó un tablero eléctrico que incluye las protecciones para los equipos del sistema interruptores entre 2 y 10A, bornes de conexión, un controlador LOGO con un módulo de entradas análogas, una fuente de alimentación conmutada marca Delta 24VDC, relés, un contactor, dispositivos de maniobra y lámparas de señalización que indican el estado de funcionamiento del sistema. La mayoría de los componentes son marca Siemens.

También fue necesario incluir elementos de ensamble como canaletas, cables, terminales, marquillas y riel dim para ubicar y conectar los dispositivos dentro de un cofre metálico fabricado en lámina cold rol calibre 16, bornes de neutro y tierra.

Además, se realizó la marcación de todos los elementos que integran el tablero incluidos los puntos de conexión de los cables.

Los subsistemas C, D y E dentro del tablero eléctrico corresponden al controlador del sistema, las lámparas de señalización y la fuente de alimentación respectivamente.



Imagen 27. Tablero eléctrico

Otro requerimiento para que la implementación de los subsistemas funcione es la programación del LOGO a través del software LOGO Soft Comfort disponible en la página de siemens en la versión de prueba para usos no comerciales o uso estudiantil. Para uso comercial es necesario comprar la aplicación.

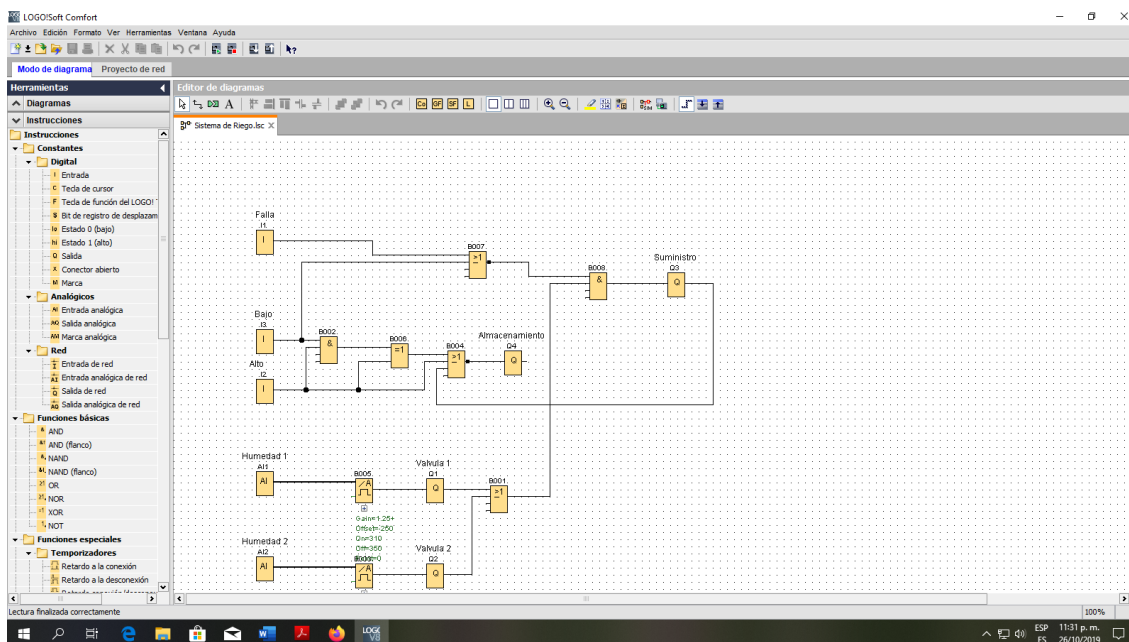


Imagen 28. Software de Programación

La aplicación es muy flexible permite realizar los programas en tres versiones diferentes diagrama de funciones FUP, Esquema de Contactos KOP y diagrama UDF según prefiera el usuario.

Por facilidad de programación se utilizó el diagrama de funciones FUP. Se configuraron las entradas análogas correspondientes a los sensores de humedad del suelo subsistema B y las entradas digitales que corresponden a los flotadores de nivel subsistema A. También se configuro una entrada digital para identificar la falla por funcionamiento en vacío.

Se establecieron unas condiciones para identificar los niveles de agua almacenada; se definieron los rangos de operación de los sensores de humedad y con estas dos condiciones se activan las salidas del LOGO ya sea para suministrar agua al cultivo de café o para esperar por almacenamiento de agua lluvia.

11.1.2 Implementación Subsistema A

El subsistema A utiliza dos flotadores eléctricos; para la implementación se verifico su funcionamiento de forma manual y se determinó cómo sería la instalación en los tanques de almacenamiento de aguas lluvias.



Imagen 29. Tanques de Almacenamiento y Flotadores

Después se graduó la altura de instalación para identificar el nivel alto y el nivel bajo de agua y los flotadores se fijaron en uno de los tanques.

11.1.3 Implementación Subsistema B

El subsistema B utiliza dos sondas MAS-1 (sensores de humedad del suelo) su implementación básicamente consistió en conectar los sensores a cables blindados de 20 y 40m para realizar la medición de la humedad en el cultivo de café.



Ilustración 30. Sensor de Humedad MAS-1

El resto de la implementación consiste en conducir los cables a través de tubos enterrados en el cultivo de café hasta la finca.

Estos sensores se deben humedecer antes de introducirse en el suelo para evitar daños y no afectar la medición de la humedad.

11.1.4 Implementación Subsistemas X y F

Los subsistemas X y F van unidos ya que el primero corresponde a una bomba de agua suministrada por el cliente para realizar el riego al cultivo de café; el subsistema F está compuesto por 2 electroválvulas que dividen el suministro de agua en dos zonas para optimizar el uso de agua durante el riego.



Imagen 31. Bomba con Electroválvulas de Salida

La bomba se fijó en el suelo a la salida de los tanques de almacenamiento y se instaló la tubería correspondiente para conectar los tanques con la bomba. En la salida de la bomba se instalaron las dos electroválvulas para dirigir el agua según se requiera.

11.2 Integración del Sistema

La integración del sistema empieza fijando el tablero eléctrico donde están los subsistemas C, D y E en una pared dentro de la vivienda, en este punto recibe la alimentación de la red eléctrica para su funcionamiento además a va a ser el sitio de comunicación con los demás subsistemas los cuales llegan por medio de tuberías hasta el tablero.

Los subsistemas A, y F se conectan por medio de bornes de conexión al tablero. El subsistema X se conecta directamente a la salida del contactor del tablero y a un punto de neutro en un borne de conexión. El subsistema B conecta los sensores directamente al módulo de entradas análogas del LOGO para evitar problemas de comunicación entre el sensor y el dispositivo.

12. PRUEBAS

12.1 Pruebas de Componentes

Las pruebas de los componentes se realizaron de acuerdo al plan de pruebas establecido en el capítulo 9. A continuación se muestran los resultados de dichas pruebas.

12.1.1 Prueba Flotador eléctrico

Tabla 26. Pruebas Flotador eléctrico

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	EA2: Voltaje 110 VAC	Energizar Flotador	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
Requerimientos de salida	SA1: Salida digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
	SA2: Salida digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAc	100%

12.1.2 Prueba Sensor de humedad MAS-1

Tabla 27. Pruebas Sensor MAS-1

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Sensor	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24.1V	100%
Requerimientos de salida	Corriente 4-20mA	Variación de corriente a la salida	1	30 min	Computador /Multímetro	4-20mA	4-20mA	100%

12.1.3 Prueba Controlador LOGO

Tabla 28. Pruebas Controlador LOGO

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Sensor	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%
	Entradas digitales	Simular Entradas	1	20 min	Computador /Multímetro	Activar entrada	Activar entrada	100%
Requerimientos de salida	Salidas Digitales	Verificación Salidas	1	20 min	Computador /Multímetro	Abrir/ Cerrar	Abrir/ Cerrar	100%

12.1.4 Prueba Válvula

Tabla 29. Pruebas Válvula

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Válvula	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%
Requerimientos de salida	Dividir en dos zonas	Abrir / Cerrar	1	10 min	Multímetro	Abrir	Abrir	50%

12.1.5 Prueba Relé

Tabla 30. Pruebas Relé

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Relés	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120V	100%
Requerimientos de salida	Salida Digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	Abrir / Cerrar	Abrir / Cerrar	100%

12.1.6 Prueba Contactor

Tabla 31. Pruebas Contactor

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Relés	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
Requerimientos de salida	Salida Digital	Verificación Contactos NO	1	10 min	Multímetro	Abrir/Cerrar	Abrir/Cerrar	100%

12.1.7 Prueba Lámparas de Señalización

Tabla 32. Pruebas Lámparas de Señalización

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC	0.5	100%
	110 VAC	Energizar Lámparas	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
Requerimientos de salida	Indicación Luminosa	Verificar Colores	1	10 min	Observación Directa	Ficha Técnica	NA	80%

12.1.8 Prueba Fuente de Voltaje

Tabla 33. Pruebas Fuente de Voltaje

Requerimiento levantado Componente		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	110 VAC	Energizar Fuente	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
Requerimientos de salida	24 VDC	Verificar Voltaje de Salida	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%

12.2 Pruebas de Subsistemas

Las pruebas de los subsistemas se reducen solo al subsistema C ya que las pruebas de los demás subsistemas A, B, D y E corresponden a las mismas pruebas de los componentes que los integran.

12.2.1 Pruebas del Subsistema C

Tabla 34. Pruebas Subsistema C

Requerimientos del Subsistema		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Verificación tanques llenos	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Entrada Digital	Nivel mínimo de los tanques	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%	NA	NA
	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%
Requerimientos de salida	Salida Digital	Modo Almacenamiento	1	10 min	Computador /Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%
	Suministro de Agua	Orden de suministro	2	30 min	Computador /Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%

13. AJUSTES

Durante la implementación del sistema se lograron identificar dos inconvenientes que afectaban su funcionamiento.

El primer caso se presentó al configurar el dispositivo para que funcione de forma manual; no se tuvo en cuenta que el sistema debía activar las electroválvulas para poder suministrar agua al sistema de riego independientemente de la manera en que esté funcionando manual o automático ya que el estado normal de las electroválvulas es normalmente cerrado.

Para solucionar este inconveniente se utilizó un relé adicional que permite activar las válvulas cuando el sistema funciona en modo manual.

El segundo caso se presentó cuando se estaba probando el subsistema A. La indicación del flotador de nivel alto generaba un estado lógico igual a 0 y por programación el sistema está diseñado para trabajar con una señal igual a 1. Se podía solucionar de dos maneras la primera, cambiando la configuración en el programa y la segunda cambiando la conexión del flotador. Aunque las dos soluciones son sencillas se eligió la modificación en la conexión del flotador porque era menor la intervención con el sistema.

14. PRUEBAS DEL SISTEMA

Una vez realizados los ajustes y con todos los subsistemas integrados se puede pasar a verificar el funcionamiento del sistema por medio del plan de pruebas establecido. De esta forma se puede garantizar que el dispositivo cumple con todos los requerimientos para los que fue diseñado.

Tabla 35. Pruebas de integración Subsistemas A, D y E

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Señalización Nivel Alto	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Entrada Digital	Señalización Nivel Bajo	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	110 VAC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
	0 VAC	Verificar V. Referencia	1	10 min	Multímetro	0 VAC	0.5	100%
Requerimientos de salida	Salida Digital	Almacenamiento nivel Máximo	1	10 min	Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Salida Digital	Almacenamiento nivel mínimo	1	10 min	Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	110 VAC	Suministro de Voltaje	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%

Tabla 36. Pruebas de integración de los Subsistemas B y C

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%	NA	NA
Requerimientos de salida	Salida Digital	Orden para irrigar	2	30 min	Computador /Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%

Tabla 37. Pruebas del Sistema

Requerimientos de la Asociación de Subsistemas		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración de la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de pruebas con HW/SW	% Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	Entrada Digital	Verificación tanques llenos	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Entrada Digital	Nivel mínimo de los tanques	2	20 min	Computador /Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Entrada Digital	Señalización del suministro de agua	1	10 min	Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%
	Entrada Análoga	Verificación de la humedad	1	30 min	Computador	31-35%	NA	NA
	Entrada Digital	Señalización de almacenamiento de agua	1	10 min	Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%
	110 VAC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
	24 VDC	Energizar Subsistema	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%
Requerimientos de salida	Salida Digital	Almacenamiento nivel Máximo	1	10 min	Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Salida Digital	Almacenamiento nivel mínimo	1	10 min	Multímetro	Activar / Desactivar	Activar / Desactivar	100%
	Salida Digital	Modo Almacenamiento	1	10 min	Computador /Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%
	Suministro de Agua	Orden de suministro	2	30 min	Computador /Multímetro	Activación Salida	Activación Salida	100%
	110 VAC	Suministro de Voltaje	1	10 min	Multímetro	110 VAC	120VAC	100%
	24 VDC	Verificar Voltaje de Salida	1	10 min	Multímetro	24 VDC	24VDC	100%

15. MANUALES

15.1 Manual de Funcionamiento para el Sistema de Riego

Para que los usuarios puedan operar el sistema y aclarar dudas sobre su funcionamiento es necesario contar con un manual donde se muestran los aspectos más relevantes del sistema. Ver Anexo 20.8.

16. RESULTADOS

Se analizaron los requerimientos hídricos en las plantas de café para implementar un sistema que suministre agua lluvia a través de riego para mitigar los daños generados por las épocas de sequía.

Se adecuo un sistema que permite detectar los niveles de agua almacenada en tanques de forma económica usando flotadores eléctricos con un rango menor de precisión, pero con buena respuesta en cuanto al funcionamiento.

Se logró utilizar la medición de humedad del suelo como un factor determinante para generar una orden de riego hasta el cultivo de café.

Se pudo señalar los estados de funcionamiento del sistema de forma luminosa y la variación de humedad del suelo se pudo representar en la pantalla del controlador facilitando la interpretación al usuario.

Al implementar el sistema con dos modos de funcionamiento se pudo brindar al usuario una opción adicional para que realice fertilización en el cultivo.

17. DISCUSIÓN

Por medio de la investigación durante el desarrollo del proyecto se pudo evidenciar que el uso de sistemas de riego automáticos en los cultivos de café aún no tiene mucha acogida por ser una planta muy robusta que puede soportar algunas variaciones climáticas y por los costos que conlleva implementar este tipo de sistemas.

Teniendo en cuenta esta situación se logró implementar un sistema sencillo que cumpliera con los requerimientos establecidos, sacrificando un poco la precisión al momento de controlar

los niveles de agua con la que cuenta el sistema para realizar el riego. Aun así, se pudo medir los niveles de agua y la humedad de forma automática para determinar la necesidad de riego del cultivo de café; algo que puede llegar a ser novedoso. La limitante de medir la humedad en el suelo es el tiempo, porque al momento de realizar pruebas no es posible forzar los datos. La solución que se encontró para solventar esta situación fue disminuir los parámetros establecidos en la programación. Otro factor que limita el funcionamiento es la cantidad de agua lluvia almacenada al ser un recurso limitado a solo 2000 litros no permite realizar riego al cultivo durante un periodo de sequía muy largo

Si el agro generara más recursos se podría utilizar tecnologías más robustas para controlar este tipo de sistemas; que a largo plazo mejorarían significativamente la producción.

18. CONCLUSIONES

Con la integración de varias tecnologías se logró implementar un sistema que suministra aguas lluvias hacia un cultivo de café teniendo en cuenta si hay agua disponible y si el cultivo requiere ser irrigado de acuerdo a su nivel de humedad.

La implementación del sistema de riego automático puede mejorar las condiciones del cultivo de café produciendo un fruto con mayor calidad, disminuyendo los costos de producción al tener la oportunidad de realizar fertilizaciones con el mismo sistema.

Además, realizando aprovechamiento de aguas lluvias se pueden afrontar los periodos de sequía en la región con más tranquilidad porque es posible mantener en buenas condiciones el fruto durante más tiempo disminuyendo las pérdidas que se puedan presentar al momento de realizar la cosecha.

El uso de tecnología en el campo poco a poco se ha ido posicionando gracias a que los resultados de una producción tecnificada generan mayores beneficios. En este caso el uso de sensores de humedad del suelo fue un factor determinante y no muy utilizado de forma automática para establecer los momentos indicados para realizar el riego.

La disposición de los posibles usuarios para acceder a la tecnología es fundamental al momento de decidir invertir por que el riesgo es alto. Si se contara con mejor acceso a las diferentes soluciones tecnológicas posiblemente las condiciones de producción serían más adecuadas.

Una de las ventajas de implementar sistemas tecnificados en el campo es la optimización del tiempo ya que las cosechas se dan en los periodos establecidos y las actividades inherentes al cultivo agrícola disminuyen en esfuerzo mejorando la calidad de vida.

19. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] I. G. Agustín Codazzi, «IGAC,» 7 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://noticias.igac.gov.co/es/contenido/sequia-del-pais-pega-mas-duro-en-los-suelos-con-exceso-de-cultivos-y-ganado-igac>. [Último acceso: 18 Febrero 2019].
- [2] F. N. Cafeteros de Colombia, «Federación Nacional de Cafeteros de Colombia,» 2010. [En línea]. Available: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/. [Último acceso: 19 Febrero 2019].
- [3] J. Arcila Pulgarín, «Cenicafé,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [4] V. H. Ramírez Builes y J. Arcila Pulgarín, «Cenicafé,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0450.pdf>. [Último acceso: 2 Marzo 2019].
- [5] P. N. Inoñan Alfaro, «Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/103/BC-TES-3809.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 10 Marzo 2019].
- [6] G. Aragon, «Gobierno de Aragon,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/09/docs/Ciudadano/SaludPublica/SaludAmbienta/Publicaciones/Manual%20de%20manipuladores%20de%20abastecimientos%20de%20agua-1.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2019].
- [7] D. P. Gualancañay Miñarcaja y H. D. Jaguaco Quiña, «Universidad Técnica de Cotopaxi,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4372/3/PI-000572.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [8] Admin, «Como Funciona,» 28 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://como-funciona.co/una-bomba-hidraulica/>. [Último acceso: 10 Marzo 2019].
- [9] A. Picsa, «Picsa Bombas y Sistemas,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.picsabombas.com.mx/home/Info/Aire%20Acondicionado/Tableros%20de%20Velocidad%20Variable/Tableros%20de%20Velocidad%20Variable.pdf>. [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [10] S. Electric, «Schneider Electric,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.com.co/es/product-range-presentation/62208-sistema-de-bombeo-de-agua-solar/>. [Último acceso: 14 Marzo 2019].
- [11] E. Schneider, «Schneider Electric,» 16 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.com.co/es/download/document/Villaya+Solar+Water+Pumping+System/>. [Último acceso: 14 Marzo 2019].

- [12] Paco, «Coparoman,» 9 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://coparoman.blogspot.com/2015/05/conexion-de-flotador-electrico.html>. [Último acceso: 20 Abril 2019].
- [13] Unknown, «Programación de PLC Omron,» 2 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://programarplcomron.blogspot.com/2013/11/partes-de-un-plc.html>. [Último acceso: 20 Abril 2019].