

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN POR GOTEO PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE AGUA Y FERTILIZANTES EN CULTIVOS DE CEBOLLA LARGA
DEL MUNICIPIO DE AQUITANIA (BOYACÁ)

LUIS ALEJANDRO HERRERA FONSECA

OSCAR DAVID GARCIA PABON



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA, COLOMBIA

2019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN POR GOTEO PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE AGUA Y FERTILIZANTES EN CULTIVOS DE CEBOLLA LARGA
DEL MUNICIPIO DE AQUITANIA (BOYACÁ)

LUIS ALEJANDRO HERRERA FONSECA

OSCAR DAVID GARCIA PABON

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Director:

Pablo Andrés Álvarez Camargo

Ing. Electrónico Universidad Santo Tomás Tunja

Codirector:

Cesar Mauricio Galarza Bogotá

Ing. Electrónico Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA, COLOMBIA

2019

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, noviembre de 2019

Las ideas presentadas en este trabajo son de responsabilidad exclusiva del autor, no es la opinión de la Universidad Santo Tomás o de la Facultad de Ingeniería Electrónica.

DEDICATORIA

“Este trabajo se lo dedico a Dios, por ser mi guía en este largo camino, a mi señora madre María Aurora Pabón Pérez, a mi señor padre Oscar García Motta por su esfuerzo y dedicación para lograr este primer objetivo, a mis hermanos Stella García y Oscar Hernán García por sus grandes consejos y finalmente a mi novia Brenda Tatiana porque siempre estuvo alentando y ayudándome a tomar las mejores decisiones”

Oscar David García Pabón.

“El presente trabajo de grado lo dedico especialmente a mis padres, María Isabel Fonseca y Luis Alfredo Herrera, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre, a mis hermanos Cristian Camilo y Andrés Felipe Herrera por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.”

Luis Alejandro Herrera Fonseca

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Agradecemos a los Ingenieros Pablo Andrés Álvarez Camargo y Cesar Mauricio Galarza Bogotá por su guía y apoyo durante el desarrollo del trabajo, al Ingeniero Wilson Alberto Poveda Osorio por su guía e invaluable colaboración.

A la Facultad de Ingeniería Electrónica de La Universidad Santo Tomás Tunja, gracias por habernos permitido formarnos en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de nuestro paso por la universidad, a todos los docentes que nos acompañaron durante toda la carrera, por su enseñanza, guía y acompañamiento en el desarrollo del proyecto y de formación.

INDICE

<u>1.</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	
<u>2.</u>	<u>GLOSARIO DE TÉRMINOS</u>	13
<u>3.</u>	<u>JUSTIFICACIÓN</u>	15
<u>4.</u>	<u>PROBLEMA</u>	16
<u>4.1.</u>	<u>Formulación del problema</u>	16
<u>4.2.</u>	<u>Planteamiento del problema</u>	16
<u>4.3.</u>	<u>Delimitación del problema</u>	17
<u>5.</u>	<u>OBJETIVOS</u>	18
<u>5.1.</u>	<u>Objetivo General</u>	18
<u>5.2.</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	18
<u>6.</u>	<u>MARCO REFERENCIAL</u>	19
<u>6.1.</u>	<u>Marco teórico</u>	19
I.	Elementos que intervienen	19
a.	El Suelo	19
b.	La Planta	19
c.	El Agua	20
d.	Laguna De Tota	20
e.	Prácticas de agricultura presentes en la laguna de Tota	20
<u>6.2.</u>	<u>Marco histórico</u>	20
<u>6.3.</u>	<u>Marco conceptual</u>	23
I.	Riego 23	
II.	Fertilización:	23
III.	Manejo del agua:	23
IV.	Riego por goteo:	24
V.	Comunicaciones industriales	25
VI.	Clasificación de las redes industriales	25
a.	Redes de control	25
b.	Redes de controladores	25
c.	Redes de sensores-actuadores	26
d.	Redes de sensores-actuadores de capacidad limitada	26
e.	Redes de sensores-actuadores de elevada capacidad	26
VII.	Protocolos de Comunicación	26
<u>7.</u>	<u>DISEÑO METODOLÓGICO</u>	28
<u>7.1.</u>	<u>Tipo de investigación</u>	28
<u>7.2.</u>	<u>Muestra o población</u>	28
<u>7.3.</u>	<u>Método de investigación</u>	29

8.	<u>EJECUCIÓN DEL PROYECTO</u>	30
8.1.	<u>Fases del Proyecto:</u>	30
8.2.	<u>Descripción Básica del Proyecto:</u>	31
8.3.	<u>Análisis del Entorno</u>	33
8.4.	<u>Filosofía de Control</u>	35
I.	<u>Modos de operación</u>	35
i.	<u>Manual</u>	35
ii.	<u>Automático</u>	35
8.5.	<u>Fases de Ingeniería</u>	36
I.	<u>Ingeniería Conceptual</u>	36
II.	<u>Ingeniería Básica</u>	36
8.5.	<u>Diagrama de Flujo del Proceso</u>	37
8.6.	<u>Descripción básica de comunicaciones y Aspecto HMI</u>	38
8.7.	<u>Topología de Red del Sistema</u>	40
I.	<u>Topología de red de la planta</u>	40
II.	<u>Tecnología IoT para medición de variables ambientales</u>	42
8.8.	<u>Control PID de Llenado de Tanques</u>	44
8.9.	<u>Datalogger para la medición de parámetros ambientales</u>	47
8.10.	<u>Despliegues de HMI y visualización WEB, SCADA, Excel</u>	49
I.	<u>Comunicación PLC-KEPSERVER-EXCEL</u>	49
8.11.	<u>Despliegues de Desarrollo HMI, recetario y proceso de mezcla</u>	54
8.12.	<u>Estimación de Sensores Para medición de variables Ambientales</u>	57
I.	<u>Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11</u>	57
II.	<u>Sensor humedad de suelo SEN-13322</u>	58
III.	<u>Sensor de lluvia óptico RG-11</u>	58
IV.	<u>Sensor de Luminosidad</u>	59
8.13.	<u>Diagrama P&ID</u>	59
8.14.	<u>Diagrama de Planta</u>	64
8.15.	<u>Listado de Instrumentos</u>	65
I.	<u>Accesorios de Instalación</u>	65
II.	<u>Instrumentos</u>	65
III.	<u>Equipos de Control y Comunicación</u>	66
8.17.	<u>Stakeholders y Estudio de Mercado</u>	69
I.	<u>Stakeholders</u>	69
II.	<u>Estudio de Mercado</u>	69
8.18.	<u>Captura de Valor y Análisis de Viabilidad de Riesgo</u>	71
I.	<u>Objetivos de la Organización</u>	71
II.	<u>Viabilidad del Proyecto</u>	71
III.	<u>Costo del Proyecto</u>	72
IV.	<u>Principales Riesgos del Proyecto</u>	73
8.19.	<u>Estructura Desglosada del Proyecto</u>	74
8.20.	<u>Matriz DOFA</u>	75

<u>8.21.</u>	<u><i>Aplicativo para Humedad y Temperatura con App Inventor</i></u>	76
<u>I.</u>	<u>Pantalla 1.</u>	78
<u>II.</u>	<u>Pantalla 2</u>	78
<u>9.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	84
<u>10.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	85
<u>11.</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	86
<u>12.</u>	<u>INFOGRAFÍA</u>	87

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama Explicativo del Proceso	33
Figura 2 Diagrama de Flujo del proceso	39
Figura 3 HMI Flexem	40
Figura 4 Flexem señales digitales	40
Figura 5 Flexem señales analógicas	41
Figura 6 Conexión HMI PLC, Profibus	42
Figura 7 Topología de red	42
Figura 8 Control PID de llenado de tanque	45
Figura 9 Ganancias calculadas	46
Figura 10 Llenado de tanque en 1m de la HMI	46
Figura 11 Cambio de referencia del llenado a 4 metros	47
Figura 12 Datalogger	48
Figura 13 Valores instantáneos de los sensores	49
Figura 14 Conexión NetToPLCSIM	51
Figura 15 Nuevo enlace con dirección IP	51
Figura 16 Inicio del enlace	52
Figura 17 Configuración Kep-Server	52
Figura 18 Configuración comunicación hacia PLC	53
Figura 19 Configuración Tags Exel con PLC	53
Figura 20 Verificación de conexión Exel-PLC	54
Figura 21 Lista de tags en estado Good (1)	54
Figura 22 Comprobación de comunicación bidireccional	55
Figura 23 HMI Sistema de fertirrigación	56
Figura 24 Receta en PLC	56
Figura 25 Elementos de la receta, seleccionado su valor	57
Figura 26 HMI en aplicativo WEB PLC	57
Figura 27 P&ID (Parte 1)	61
Figura 28 P&ID (Parte 2)	62
Figura 29 P&ID (Parte 3)	63
Figura 30 P&ID (Parte 4)	64
Figura 31 Diagrama de Planta	67
Figura 32 Propuesta de valor	70
Figura 33 Modelo Canvas Social	70
Figura 34 Modelo Canvas Económico	71
Figura 35 Modelo Canvas Ambiental	71
Figura 36 Estructura Desglosada del proyecto	77
Figura 37 Programa Arduino para DTH11 (Parte 1)	79
Figura 38 Programa Arduino para DTH11 (Parte 2)	79
Figura 39 Programa Arduino para DTH11 (Parte 3)	80
Figura 40 Programa Arduino para DTH11 (Parte 4)	80
Figura 41 Programa Arduino para DTH11 (Parte 5)	80
Figura 42 Aplicativo App inventor (Parte 1)	81
Figura 43 Aplicativo App inventor (Parte 2)	82
Figura 44 Aplicativo App inventor (Parte 3)	82

Figura 45 Aplicativo App inventor (Parte 4)	82
Figura 46 Aplicativo App inventor (Parte 5)	83
Figura 47 Aplicativo App inventor (Parte 6)	83
Figura 48 Aplicativo App inventor (Parte 7)	84
Figura 49 Aplicativo App inventor (Parte 8)	84
Figura 50 Resultados en Tiempo real en Firebase	85
Figura 51 Montaje Arduino, Módulo Bluetooth y DTH11	85
Figura 52 App	86

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1 Instrumento, Identificador en P&ID, Tag y tipo de variables en PLC y P&ID	49
Tabla 2 Accesorios de instalación	68
Tabla 3 Lista instrumentos	69
Tabla 4 Lista Equipos de control y comunicación	69
Tabla 5 Tabla de Anexos	93

1. INTRODUCCIÓN

La investigación en el área agrícola y tecnológica, está en la actualidad enfocada a la búsqueda de una producción sostenible quedando atrás los tiempos en que necesitaban grandes cantidades de mano de obra para la aplicación de fertilizantes y riego para poder producir hortalizas y otros productos agrícolas. Los aportes tecnológicos en los sistemas de producción agrícola hoy en día nos permiten regar una plantación con menor consumo de agua y aplicando, al mismo tiempo, la cantidad exacta de fertilizante a cada planta para que esta se desarrolle correctamente, aumentando la calidad y productividad de la cosecha.

Hoy en día el agua es una comodidad bastante costosa, especialmente en los lugares áridos o en lugares donde existen otras operaciones agrarias y el agua no abunda. La aspersión aérea de fertilizantes y la aplicación manual son prohibitivas por la cantidad de fertilizantes que se pierden y la cantidad de mano de obra necesaria para fertilizar una parcela. Además de esto, al no tener un control sobre las cantidades de fertilizantes distribuidos, el crecimiento de las plantas no es uniforme y, por lo tanto, la producción tampoco lo es.

El uso de sistemas de fertirriego ha venido a cambiar todo esto, dando al agricultor la posibilidad de controlar no solo la aplicación efectiva de cantidades exactas de fertilizantes, sino también de agua por parcela y por planta sembrada. Esto elimina el factor de error humano y también reduce las posibilidades del desarrollo de enfermedades y parásitos atraídos por el exceso de humedad en la plantación.

En el presente trabajo de grado se propone el diseño de un Sistema de fertirrigación por goteo para la optimización de agua y fertilizantes en cultivos de cebolla larga en el municipio de Aquitania en el Departamento de Boyacá, por ello se elaborará una solución de ingeniería, que consiste en un sistema automático el cual por medio de tanques mezcladores, se realice la solución química viable para las condiciones en las que se encuentra el cultivo.

Para el óptimo desarrollo y funcionamiento del sistema se deben implementar una distribución topológica de los dispositivos, que se conectaran a una red LoRaWan que brindará la cobertura de red de los sensores que se utilizaran para la medición de las variables meteorológicas en el cultivo.

El uso de sistemas meteorológicos que se pondrán en funcionamiento tienen la finalidad de monitorear y registrar los nutrientes necesarios al cultivo, a ritmo y en relación a cada etapa de desarrollo de la planta. Para una fertirrigación razonable del cultivo, se deben considerar variables ambientales para la parametrización o tipificación de la zona como lo son la humedad del suelo los cuales son útiles para reducir el desperdicio de agua en algunas zonas, la temperatura en la que la planta se encuentra y la humedad relativa de la zona, útiles para prevenir hongos y contaminantes microbianos, la precipitación atmosférica para detectar la cantidad de milímetros

(mm) de agua que cae sobre el cultivo y la luminosidad ya que la luz provee de energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta.

Para observar la viabilidad y veracidad del sistema se hará por medio del desarrollo de una aplicación en app Inventor con la ayuda de un Arduino el cual nos proveerá los datos tomados en tiempo real por los sensores para llevarlos a una base de datos teniendo control y conocimientos de los cambios presentados en el sistema.

2. GLOSARIO DE TÉRMINOS

PLC (Controlador lógico programable), “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”. NEMA (Asociación Nacional de fabricantes eléctricos).

HMI, El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable. (Wonderware).

FERTIRRIGACIÓN, La fertirrigación es una técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego. Se trata por tanto de aprovechar los sistemas RLAF (Riegos Localizados de Alta Frecuencia) para aplicar los nutrientes necesarios a las plantas. A pesar de utilizarse en múltiples sistemas RLAF, la técnica de la fertirrigación está totalmente extendida en el caso del riego por goteo. (Marco Antonio Oltra Cámara es Doctor Ingeniero Agrónomo).

MATRIZ DOFA, La matriz DOFA (también conocida como matriz FODA, matriz DAFO o análisis SWOT en inglés), es una herramienta utilizada para la formulación y evaluación de estrategia. Generalmente es utilizada para empresas, pero igualmente puede aplicarse a personas, países, etc. (de gerencia).

PID, Controlador proporcional, integral y derivativo, es un mecanismo de control simultáneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. (Fundamentos de Controladores PID, 2007)

MODELO CANVAS, El «Business Model Canvas» o Modelo Canvas, también conocido como lienzo del modelo de negocio, es un concepto que permite visualizar en un sólo documento la idea y la visión global de un modelo de negocio según 9 campos preestablecidos, mostrando las interconexiones entre sus diferentes elementos que intervienen en el mismo. (joseff acchin).

APP, El término app es una abreviatura de la palabra en inglés application. Es decir, una app es un programa. Pero con unas características especiales. (AboutEspañol, 2016).

APP INVENTOR, Es un entorno de desarrollo de aplicaciones para dispositivos Android. Para desarrollar aplicaciones con App Inventor sólo necesitas un navegador web y un teléfono o tablet Android (si no lo tienes podrás probar tus aplicaciones en un emulador). (Codigo21, 2017).

ARDUINO, Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. (Arduino, 2017).

SCADA:(Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia (Penin, A. R. (2011). Sistemas Scada. Marcombo.)

OPC:(OLE for Process Control) es una aplicación de software (driver) que cumple con una o más especificaciones definidas por la OPC Foundation. El Servidor OPC hace de interfaz comunicando por un lado con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolos nativos (típicamente PLCs, DCSs, básculas, Módulos I/O, controladores, etc.) y por el otro lado con Clientes OPC (típicamente SCADAs, HMIs, generadores de informes, generadores de gráficos, aplicaciones de cálculos, etc.). (Zheng, L. y Nakagawa, H. (agosto de 2002). Especificación OPC (OLE para control de procesos) y sus desarrollos. En Actas de la 41ª Conferencia Anual SICE. SICE 2002. (Vol. 2, págs. 917-920). IEEE)

BLUETOOTH, Es una especificación tecnológica para redes inalámbricas que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante una radiofrecuencia segura (2,4 GHz). ... Existen tres clases de Bluetooth: Clase 1 (con un alcance aproximado de 100 metros), Clase 2 (10 metros) y Clase 3 (1 metro). (definición.de, 2018).

P&ID, es lo que se define como un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) también conocido del idioma inglés como piping and instrumentation diagram/drawing (P&ID) y es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental. (Pirobloc).

3. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se realizará con la finalidad de implementar técnicas de fertirrigación que permitan la reducción de costos en cultivos de cebolla en el municipio de Aquitania, Boyacá, donde normalmente se utilizan estrategias tradicionales, donde la aplicación de fertilizantes se hace de forma manual y edáfica.

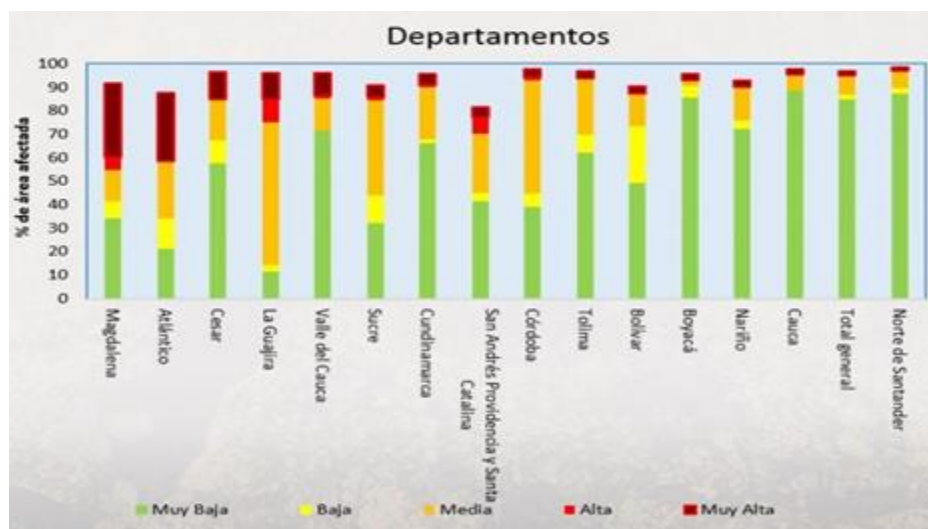
El diseño de un sistema automático para fertirrigación es importante para la base del ahorro y uso responsable del agua y de fertilizantes en los escenarios climáticos cambiantes de este siglo; en donde este se encargue de dosificar el agua y los fertilizantes adecuados para la máxima productividad del cultivo teniendo en cuenta minimizar los costos que a esto allega.

Este proyecto se enfoca en la definición de las tecnologías para la adquisición de datos ambientales y del terreno para su posterior transmisión a un sistema tecnológico controlado, con el fin de tipificar y ordenar los parámetros predominantes locativos que infieren en la producción del cultivo.

La contaminación de aguas superficiales y subterráneas está en la mira de todas las autoridades en Colombia, la fertirrigación y el riego localizado, optimiza el consumo de agua y nutrientes, evitando la erosión producida por corrientes de agua y minimizando la percolación. Por ello se reduce la contaminación de agua. Adicionalmente, los usos de inhibidores de la nitrificación disminuyen la contaminación por nitratos de las aguas. Lo cual nos permite concluir que la necesidad de sistemas de fertirrigación son precisos para poder reducir el caudal esencial por hectárea de cultivo.

Con el objetivo de estudiar y monitorear los recursos naturales del país, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) presentó el primer mapa nacional de los suelos degradados del país por salinización. En total 14 millones de hectáreas –el 12,3 por ciento del área continental e insular de Colombia- se ven afectadas. La salinización de los suelos puede ocurrir por causas naturales, erupción de cenizas volcánicas, zonas con inundaciones y climas secos- pero también antrópicas, actividades agropecuarias, turismo inadecuado, minería y deforestación.

La concentración de sales en el perfil superior de la tierra (donde se desarrollan las raíces) ocasiona la disminución y pérdida de la capacidad productiva de los suelos. En otras palabras, las sales disminuyen la presencia de microorganismos que permiten la dinámica y fijación de determinados nutrientes que hacen más apto (fértil) un suelo para la agricultura o pastos para ganadería. (IDEAM)



Departamentos que presentan mayor degradación de sus suelos por salinización.

Fuente: IDEM

Se puede observar que en Boyacá no se presenta un gran índice de degradación de sus suelos por salinización.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), basado en los estudios y análisis agrológicos, se dio a la tarea de establecer cuántas hectáreas cuentan con características para albergar cultivos, y así identificar en dónde están los mejores suelos para la agricultura. Los mejores suelos para cultivar en Colombia suman 11.009.018 hectáreas, cifra que equivale al 9,6 por ciento de todo el territorio nacional.

De acuerdo a lo anterior el ministerio de Agricultura realizo un reporte de Área, Producción, Rendimiento y Participación del municipio de Aquitania en el Departamento de Boyacá por Cultivo cebolla larga (*Allium Fistulosum*) permitiendo visualizar las siguientes gráficas.



Fuente: Evaluaciones Agropecuarias, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Así revelando que el área de sembrada y de cosecha ha disminuido en los últimos años considerablemente.

"Es una preocupación a nivel mundial, debido a que la salinización del suelo incide directamente en la pérdida de fertilidad, lo que perjudica o imposibilita el desarrollo de cultivos y pastos. Es posible frenar o mitigar parcialmente el proceso de lavado, que pueden ser supremamente costosos. En algunos lugares del mundo, han explotado pasar a cultivos que toleren mejor la salinidad", le dice a EL TIEMPO, Germán Darío Álvarez, subdirector IGAC.

Las contribuciones tecnológicas en los sistemas de producción agrícola, han contribuido a que en los cultivos se establezcan de forma intensiva, unos más que otros. Por lo que el uso racional del agua es una necesidad, es por ello que se evidencia el grado de importancia en el uso de los sistemas de fertiriego por goteo y su impacto sobre los cultivos, sus alcances sobre las diferentes prácticas agrícolas, rendimiento, uso del agua y presencia de enfermedades.

4. PROBLEMA

4.1. Formulación del problema

¿Es posible mejorar la dosificación de agua y nutrientes, según las indicaciones del cultivo y que se monitoree variables ambientales para fortalecer cultivos de suelo como lo es el de cebolla en el municipio de Aquitania en Boyacá?

4.2. Planteamiento del problema

Boyacá es una región que desde sus inicios se ha caracterizado por su gran sector agrario, en el cual agricultores a medida que los años pasan han implementado una gran variedad de técnicas de siembra, fertilización y atención a las plantaciones, esto con el fin de permitir obtener mejores rendimientos en la producción agrícola, sin dejar a un lado el uso eficiente de los recursos con los que se cuenta. (Barreto Piña, J. (2015). Evolución de labores técnicas agrícolas y sistemas de producción de papa en Boyacá – Colombia. Cultura Científica, (13), 46-57.)

Desde hace un tiempo empresas del sector agrario han venido trabajando con algunas tecnologías que permiten adquirir características que el agricultor demanda como es el uso eficiente de los recursos y el rendimiento productivo del cultivo. (Herruzo, A. C. (2003). Las patentes como indicadores de la innovación tecnológica en el sector agrario español y su industria auxiliar. OFICINA ESPAÑOLA PATENTES MA.)

Sin embargo, a pesar de que Boyacá es un departamento rico en extensiones de terreno idóneas para la agricultura, se está optando por técnicas de cultivos alternativas, ya que con estas le presentan al agricultor todas las características que necesita para su beneficio, esto debido a que es posible el control de malezas, plagas y dar una buena administración al suministro de nutrientes. (Del Basto, E. B. R., & Preciado, M. P. (2013). Los instrumentos de la política nacional de ciencia, tecnología e innovación en el sistema regional de ciencia, tecnología e innovación-srcti de Boyacá. Criterio Libre, 11(19), 67-91.)

Dentro de estos cultivos alternativos encontramos la aeroponía e hidroponía, las cuales el agricultor hace uso de su habilidad para mejorar las condiciones de las siembras y así alcanzar una mayor ganancia. (Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra Latinoamericana, 17(3), 221-229.)

Desafortunadamente estas técnicas solo son posibles principalmente para cultivos frutales de pequeña envergadura debido a que presentan un fácil manejo y generan buen rendimiento, entre

ellos encontramos los cultivos de fresas, uchuvas, feijoa entre otras. (Cadahia, C. (Ed.). (2005). Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-prensa Libros.)

Para cultivos de grandes extensiones y a nivel de suelo se cuenta con muy poco estudio ya que estos presentan variables diferentes, esto sucede ya que no se puede controlar las condiciones ambientales a la que estos cultivos se ven afectados, esto conlleva a malas prácticas agrícolas las cuales afectan de manera preocupante al medio ambiente. (Chávez, L. T. (1999). Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 237-245.)

Las malas prácticas en cultivos de cebolla larga (*Allium Fistulosum*) está arrojando desechos directamente al agua, estas actividades han llevado al ecosistema de la laguna de Tota a un deterioro, afectando su capacidad de resiliencia, evidenciando una disminución en la población tanto en la fauna como en la flora nativa, proveyendo así problemas de eutrofización la cual conlleva a reducir el área de la laguna. (Martínez-Nieto, P., García-González, D., Silva-Bonilla, P. S., Vargas-Chaparro, G., & Valderrama-Escallón, F. (2011). Manejo de residuos generados directa o indirectamente por el cultivo de cebolla en Aquitania (Boyacá-Colombia). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 4(2), 23-34.)

4.3. Delimitación del problema

Esta investigación se limitará al diseño de una ingeniería básica para un sistema de fertirriego por goteo, con este se controla la dosificación de agua y fertilizantes para cultivos de cebolla larga (*Allium Fistulosum*) en el municipio de Aquitania en el departamento de Boyacá en un terreno de una hectárea, este proyecto definirá los lineamientos generales e ideas básicas para el sistema, estas ideas y definiciones son pilares en las cuales se puede basar para una ingeniería a detalle, en esta investigación se elaborarán planos, técnicas y documentación suficiente para evaluar la obra y los trabajos de montaje, con suficiente aproximación para lograr una coste válido del Proyecto.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Desarrollar una Ingeniería básica para un Sistema de Fertirrigación por goteo para la optimización de agua y fertilizantes en cultivos de cebolla en el municipio de Aquitania, Boyacá, integrando tecnologías de bajo costo.

5.2. Objetivos Específicos

- Establecer las especificaciones técnicas para un sistema automatizado de riego y suministro de fertilizantes para un sistema de fertiriego por goteo
- Diseñar un diagrama P&ID para observar el flujo del proceso en las tuberías, equipos instalados e instrumentos necesarios en el sistema de Fertiriego.
- Determinar los materiales y componentes necesarios para la realización de un sistema de fertiriego.
- Diseñar una topología de red que se ajuste a los dispositivos conectados al sistema de fertiriego.
- Determinar el costo y viabilidad para determinar si es factible realizar inversiones en sistemas de fertiriego.
- Estimar el grupo de sensores de bajo costo que permita medir variables ambientales como: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad y precipitación atmosférica las cuales son necesarias para la parametrización o tipificación de la zona de cultivo.
- Identificar una tecnología IoT de comunicación que se ajuste al concepto bajo consumo energético para sistemas agrícolas de gran extensión.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Marco teórico

Dependiendo de los diferentes sistemas de riego empleados se pueden diferenciar tres clases de fertirrigación:

- Fertirrigación en riegos de alto caudal y baja frecuencia. Están incluidos los riegos por inundación y aspersión, ya sea ésta con instalaciones fijas o móviles. En este caso la fertirrigación, generalmente, se reduce al aporte de abonos nitrogenados en el agua de riego, en sustitución de abonado tradicional, fraccionando la aplicación durante parte del ciclo vegetativo.
- Fertirrigación en riegos de bajo caudal y alta frecuencia. Se incluyen todos los sistemas de riego localizado, denominados así por mojar solamente una parte de la superficie del suelo, donde se efectúa la aportación de macro elementos y también a veces de micro elementos, a través del agua durante todo el ciclo del cultivo.
- Fertirrigación en hidroponía. Consiste en la aplicación de soluciones nutritivas completas, con todos los macros y micro elementos, a cultivos en los que el sistema radicular se encuentra en un soporte prácticamente inerte.

I. Elementos que intervienen

a. El Suelo

El papel del suelo en la fertirrigación es más importante desde el punto de vista de su composición física que química, pues la actividad del complejo arcillo-húmico en fertirrigación es mucho menor que en los otros sistemas de riego y abonado, debido a la posibilidad de aportar, mediante el fraccionamiento adecuado, lo que diariamente necesita la planta, que se incorpora a la solución del suelo, de donde es fácilmente absorbido.

b. La Planta

Aunque existen teorías que recomiendan mantener una riqueza constante de nutrientes en la solución del suelo, el estado vegetativo de la planta y en consecuencia sus necesidades nutritivas en cada momento también son importantes para decidir la cantidad y el tipo de abono a incorporar. Se sabe que en los primeros estados fenológicos son importantes las necesidades en fósforo para el crecimiento radicular, el nitrógeno para los momentos de máximo desarrollo vegetativo y el potasio es decisivo en la fructificación. Se ha comprobado que la planta responde mejor al aporte de fósforo cuanto mayor es su solubilidad y que la movilidad del fósforo y potasio aumenta, aún en el caso de alto grado de fraccionamiento.

c. El Agua

Un perfecto conocimiento del agua que se va a utilizar es necesario si se desea realizar una adecuada fertirrigación. Si se conoce su posible comportamiento físico-químico se sabrá, con bastante aproximación, cuál será la respuesta a la incorporación de cada fertilizante aplicado.

d. Laguna De Tota

El lago de Tota es un cuerpo de agua natural situado en el departamento de Boyacá Colombia. Con una superficie cercana a los 70 km² es el lago más grande de Colombia; a este le sigue la laguna de la cocha con más de 40 km². Se encuentra ubicado a 15 km al sur de la ciudad de Sogamoso, aproximadamente 200 km al noroeste de la capital, Bogotá. El lago se encuentra en jurisdicción de los municipios de Cuitiva, Tota y Aquitania, a una altura de 3.115 msnm, lo que la convierte en el segundo lago navegable más alto de América del Sur.

e. Prácticas de agricultura presentes en la laguna de Tota

Los agricultores han tomado una posición en la cual ellos se ven obligados a mantener y ayudar a preservar la laguna para que no sea contaminada ya que, con esta, ellos se benefician regando sus cultivos. El problema que presentan algunos agricultores es que están invadiendo la zona de protección que tiene la laguna la cual no se permite cultivar ningún producto a menos de una hectárea de la laguna. (Acosta & Naranjo, 2011)

Las prácticas agrícolas que se realizan en la región donde se encuentra la laguna son la producción de hortalizas y cebollas en las cuales son utilizados fungicidas y plaguicidas los cuales conllevan al deterioro del suelo alrededor de la laguna dañándola, además estos factores acarrean factores epidemiológicos para la población cerca a esta laguna los cuales se producen de forma respiratoria y digestiva. No obstante, además del anterior criterio, también resulta significativo considerar la presencia de patógenos específicos, cuyo impacto en el bienestar comunitario y ambiental es de interés para la salud pública. (Adán Sepúlveda Montes, 2002).

6.2. Marco histórico

El primer gran trabajo de la aplicación práctica de la fertirrigación, ligado al de la hidroponía, se inició en la década de los 70 en Japón y algunos países europeos. Países todos ellos que desarrollaron la tecnología necesaria. La técnica de la fertirrigación y los sustratos han permitido pasar de terrenos áridos y pedregosos a superficies hortícolas altamente productivas, como en Almería. (Alarcón Vera, A. L. (2017). Programación de la fertirrigación en cultivos sin suelo en el sudeste español. Estudio de la nutrición cálcica.)

Según datos de 1991, la superficie mundial fertirrigada ocupaba una extensión aproximada de 1,800.000 hectáreas, lo que representa un incremento superior al 300% respecto a 10 años atrás. Estados Unidos, con una superficie de 900.000 ha, es el país con una mayor implantación de la fertirrigación. España es el segundo país del mundo con una mayor superficie fertirrigada,

alrededor de 200.000 ha. Cabe significar que el porcentaje de superficie con riego localizado frente al total de superficie de regadío es cercano al 6%; lo que hace proveer un importante incremento de la superficie fertirrigada a medida que aumente la superficie irrigada con sistemas localizados. En la misma línea, destacaremos la evolución del riego murciano: En 1975 había 60 ha bajo fertirrigación, un 0,008% sobre el total de las zonas de regadío; en 1985 había 21630 ha, un 21,2% sobre el total de regadío; en 1993 se contabilizaban 42305 ha, que representan un 27,7% del total de regadío. Para los próximos años se prevé que se acentúe aún más esta evolución hasta llegar a unos porcentajes cercanos al 60% del total de la superficie irrigada. (CORFO,2003)

El desarrollo y la implementación de un sistema de fertirrigación automático por goteo que utiliza algoritmos de lógica difusa ha sido desarrollado por la empresa Autoagronom, este sistema fue implementado en el desierto valle pampa en Perú en el año 2009 logrando minimizar la utilización de agua y nutrientes en los cultivos de esparrago verde (120 ha) y granada (51 ha), se logró reducir en un 77% el uso del agua en comparación a la media de la zona y un 60% de fertilizantes con respecto a la media de la zona.

Un estudio realizado en cuba del año 2010 por investigadores del ministerio de Agricultura revelo que, en ambientes controlados para cultivos la correcta dosificación de agua y de fertilizantes bajo el concepto de la conservación de recursos naturales mejora el aprovechamiento de la tierra y el tamaño de los frutos de tomate que son uno de los de mayor importancia en Cuba.

Desde que se introdujo el riego localizado (por goteo) en España, hacia 1970 en Canarias y en 1975 en la Península y Baleares las mejoras tecnológicas producidas en el tiempo han sido muy elevadas, principalmente en los materiales componentes de las instalaciones y en la tecnología propia de las instalaciones. En este sentido, si analizamos sucintamente las componentes más importantes de la instalación podemos sacar conclusiones a tener en cuenta.

Filtración del agua de riego. El cambio más significativo ha sido la tendencia a eliminar la filtración de arena en el sistema de filtraje de la instalación. Hace 20 años era impensable prescindir de la filtración de arena, sin embargo, actualmente se sustituye por filtros automáticos de malla y/o anillas ranuradas auto limpiantes. Los filtros auto limpiantes son más sofisticados con procesos de limpieza muy eficaces y de una calidad incuestionable. Como inconveniente de no instalar filtraje de arena en el equipo de filtración cabe señalar el descenso en la eficacia de la filtración en aquellos casos donde el agua lleva partículas de materia orgánica en suspensión. Actualmente a la vista de los problemas que se producen cuando el agua es tomada de embalses de regulación no está clara la suspensión de la filtración de arena, la cual también se puede automatizar totalmente. (Correa Álvarez, W. A. (2016). Sistema automático de fertirrigación y riego por goteo para la empresa florícola Maporex & Ross (Bachelor's thesis))

La calidad de los materiales de fabricación de los filtros también ha evolucionado, tendiendo a filtros de materiales plásticos y metales ligeros altamente resistentes. (Dávila, J. L., Galeas, S.,

Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales.)

Tecnología de inyección de fertilizantes. Es la componente de la instalación del riego por goteo donde se han producido los avances tecnológicos más destacados, así como en su automatización. Los avances han derivado a la inyección múltiple de fertilizantes, técnica actualmente instalada en la mayoría de las instalaciones de fertirrigación. La denominación de inyección múltiple se refiere a la técnica que permite incorporar independientemente cada una de las disoluciones concentradas de fertilizantes y la del ácido a la red de riego. La inyección múltiple comprende dos sistemas distintos:

"la inyección múltiple continua" y "la inyección proporcional o en proporción a la cantidad de fertilizantes" (RINCÓN Y SÁEZ, 2005). La inyección continua directa se utiliza indistintamente en cultivos sobresuelo y en hidroponía, a diferencia de la inyección proporcional o en proporción que está diseñada para hidroponía. El inconveniente más acusado de estas técnicas de inyección reside en la determinación de parámetros de aplicación y en la baja formación del usuario en estas tecnologías.

Tuberías y goteros. El cambio tecnológico más relevante ha sido el sistema integrado de tubería porta gotero en un proceso de fabricación conjunto. Estos materiales comenzaron a evolucionar comercialmente a partir de 1995, siendo aplicados extensamente en viña y en cultivos hortícolas al aire libre donde actualmente han sustituido al ramal de riego compuesto de tubería y gotero interlínea.

Las instalaciones en plantaciones arbóreas se han mantenido sin cambios apreciables prácticamente, utilizándose los mismos tipos de goteros interlínea desde 1970 con ligeras modificaciones y desde 1978 los goteros insertados compensantes y no compensantes.

Es necesario resaltar que la calidad de las tuberías terciarias y porta goteros ha disminuido con el tiempo. Las tuberías fabricadas actualmente no tienen la calidad ni prestaciones que las tuberías de hace 20 años. De ello son conscientes todos los usuarios e instaladores. Antes una tubería pasaba los 10 años de garantía sin problemas, incluso 15 años y ahora llegar a los cinco años es difícil. Es un tema a tener en cuenta.

Programadores de la fertirrigación. Es la componente de la instalación que más ha evolucionado. Actualmente los programadores existentes en el mercado permiten atender a cualquier tipo de automatización de fertirrigación incluso en combinación con el control climático de invernaderos. (Talens, J. A. M. (2009). Riego localizado y fertirrigación. Mundi-Prensa Libros.)

6.3. Marco conceptual

Condiciones Agroclimáticas para el cultivo de cebolla larga (*Allium Fistulosum*).

En Colombia la zona de cultivo con mayor área sembrada y de producción de cebolla se localiza en el municipio de Aquitania en Boyacá, el cual se encuentra a una altura de entre los 3.000 y 3.4000 metro sobre el nivel del mar. La cebolla de rama pertenece a una especie vegetal que, para su desarrollo, producción constante y buena calidad demanda buenos volúmenes de agua, siendo necesaria la aplicación de riego complementario, especialmente durante las temporadas de menor precipitación o en épocas de verano. Las condiciones agroecológicas más adecuadas para el desarrollo del cultivo de la cebolla de rama o cebolla junca son:

- Temperatura 11-20 °C.
- Altura sobre el nivel del mar de 1.500 a 3.000 metros.
- Suelos de textura media franca (F) a franco-arcillosa (FAr), profundos, con buena retención de humedad y medio a alto contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos a neutros con pH 6,2-7,3 y no salinos.

(Corpoica y Asohofrucol, 2004, y Corpoica, 2007).

I. Riego

El cultivo de la cebolla de rama demanda cantidades importantes de agua para sus procesos metabólicos, los cuales se ven reflejados en un buen desarrollo, crecimiento, producción y calidad del producto; se puede llegar a un consumo directo de una lámina de agua cercana a los 600 milímetros anuales o el equivalente a 6.000 metros cúbicos por hectárea al año. Por otra parte, el exceso de humedad puede llegar a favorecer la ocurrencia de enfermedades ocasionadas por hongos o bacterias, como la pudrición de la cebolla de rama, la cual es responsable de grandes pérdidas en el cultivo.

II. Fertilización:

El exceso de gallinaza y un desbalance nutricional favorecen el desarrollo de la pudrición, mientras que una planta bien nutrida ofrece tolerancia al ataque de la enfermedad. Por esto, el plan de fertilización debe estar basado en un análisis de suelos, suministrando los nutrientes de acuerdo a los requerimientos del cultivo, realizando las enmiendas necesarias en presembrado y aplicaciones racionales durante el desarrollo del cultivo. En caso de requerirse aplicaciones de materia orgánica, esta debe ser totalmente madurada o compostada.

III. Manejo del agua:

El exceso de humedad favorece el desarrollo de la enfermedad, por lo que se debe regular el riego de acuerdo con la precipitación o las lluvias presentadas y la humedad del suelo. Nunca se debe aplicar riego por calendario, y hay que calcular el tiempo de riego de acuerdo con el caudal de los aspersores.

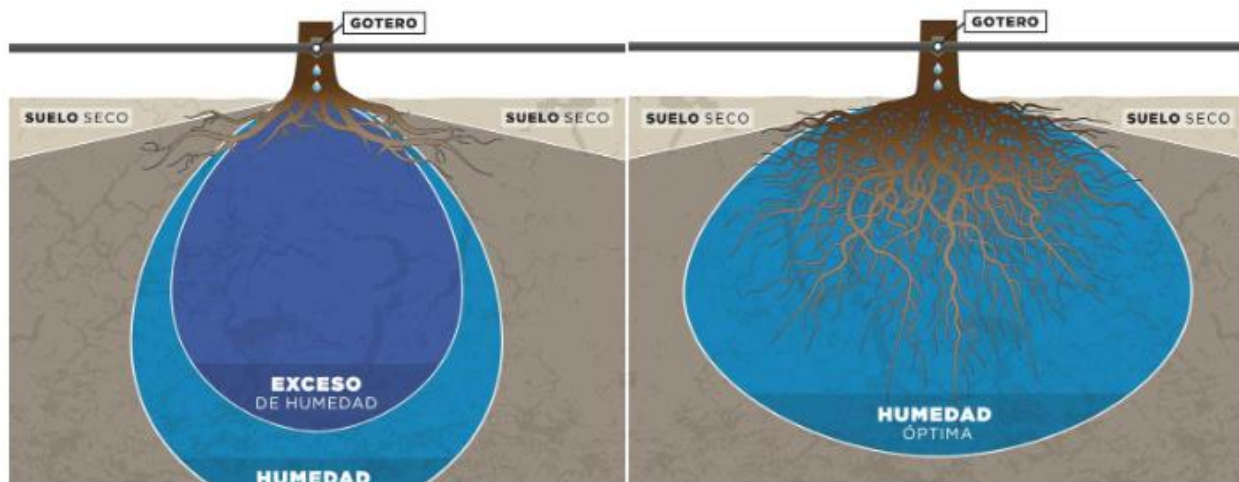
IV. Riego por goteo:

El riego por goteo es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, libreada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada.

El agua de riego es transportada a través de una extensa red de cañerías hasta cada planta; la estructura que emite el agua fuera de la red hidráulica se denomina emisor o goteo. Los emisores disipan la presión que existe en la red de tuberías por medio de orificios de pequeño diámetro o por medio de un largo camino o recorrido; de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos litros por hora por cada goteo.

Después de dejar el emisor, el agua es distribuida en el interior del perfil del suelo de acuerdo con los gradientes de potencial.

De esta manera, el volumen del suelo que puede ser humedecido por cada punto emisor está limitado por restricciones del movimiento horizontal y vertical del agua en el perfil del suelo como se muestra a continuación.



Se eliminan las zonas con exceso de agua y falta de aireación, que frenan el desarrollo radicular.

Fuente: <https://www.interempresas.net/Agricultura/Articles/157221-.html>

V. *Comunicaciones industriales*

Se pueden definir las Comunicaciones Industriales como área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión del ciclo de vida de los productos industriales. En la década de 1980, las comunicaciones industriales comenzaron a realizarse mediante comunicaciones digitales punto a punto para, posteriormente, evolucionar hacia la aplicación de redes multipunto. La revolución de las comunicaciones industriales ha demostrado gran potencial en el perfeccionamiento de los sistemas de control de procesos y su aplica contribución a la mejoría de sus servicios permitiendo la realizar tareas como el control de maquinarias y la vigilancia de linead de área de producción.

VI. *Clasificación de las redes industriales*

Las diferentes características (por ejemplo, tiempos de respuesta) exigidas al sistema de comunicaciones de cada uno de los niveles hacen que sea diferente el tipo de red de comunicaciones necesaria para implementarlo.

Redes de datos u ofimáticas

- Redes de empresas y fábricas
- Redes de células

Redes de control o de campo

- Redes de sensores actuadores de funcionalidad limitada de alta funcionalidad
- Redes de controladores

a. *Redes de control*

Suelen recibir el nombre genérico de buses de campo (Fieldbuses). Las redes de control resuelven los problemas de comunicación en los niveles inferiores de la pirámide CIM. Se utilizan, por tanto, para comunicar entre ellos sistemas de control industrial y/o con dispositivos de campo. Históricamente, el desarrollo de esta clase de redes (que se produjo en la década de los 80) fue debido a la elevación de la complejidad en la automatización de los sistemas industriales, que incrementó desmesuradamente el volumen de cableado que era preciso realizar para conectar a los equipos de control un elevado número de dispositivos sensores y actuadores mediante hilos independientes. Para resolver el problema, surgió la idea de conectar cada grupo de dispositivos de campo a un procesador de comunicaciones y éstos, a su vez y mediante otro procesador de comunicaciones, al sistema de control. Surgen así las redes de sensores-actuadores.

b. *Redes de controladores*

Este tipo de redes de control están diseñadas para realizar la comunicación de varios sistemas electrónicos de control (PLC's, CNC's, robots,) entre sí. Son, por lo general, redes de área local

de tipo principal- subordinado (master-Slave) o productor-consumidor (producer-consumer) que poseen varios nodos principales Multimaster Networks.

c. Redes de sensores-actuadores

En este grupo se encuentran las redes de campo diseñados con el objetivo específico de intercomunicar los sistemas electrónicos de control con los dispositivos de campo conectados al proceso. Funcionan en aplicaciones de tiempo real estricto en una pequeña zona de la planta (típicamente una máquina o célula). Los fabricantes suelen denominarlas redes de periferia distribuida (distributed periphery).

d. Redes de sensores-actuadores de capacidad limitada

Las redes de sensores-actuadores de capacidad funcional limitada han sido diseñadas para integrar principalmente dispositivos todo-nada (fin de carrera, fotocélula, relé, ...). Se caracterizan por tener, en general, un único nodo principal. Como ejemplo de este tipo de redes se puede citar la red AS-i (Actuador Sensor Interface).

e. Redes de sensores-actuadores de elevada capacidad

Las redes de sensores-actuadores de elevada capacidad funcional disponen de una capa de enlace adecuada para el envío eficiente de bloques de datos de mayor tamaño que en el caso anterior. Estos mensajes más complejos permiten que, mediante ellas, se puedan configurar, calibrar e incluso programar dispositivos de campo (Field Devices) más “inteligentes” que los todo/nada (codificadores absolutos, sensores de temperatura, presión o caudal, variadores de velocidad, servoválvulas, etc.).

VII. Protocolos de Comunicación

Existen dos tipos de estándares principalmente.

- Por un lado, nos encontramos con los factory bus, que son redes de fábrica y que se utilizan en el nivel más alto de control en la fábrica (todo se ve desde las oficinas de control o producción).
- Por otro lado, tenemos las field bus, que se encuentran en la parte más baja de la comunicación y que se usan para la comunicación que existe entre los sensores y los actuadores de proceso. Este último es el nivel que se da cuando nos encontramos en los pasos de fabricación del producto.

En el nivel más alto está la información de la red local, que, además, se utiliza para las órdenes de producción que se da en los niveles más bajos. En este nivel los canales de comunicación son mediante redes locales usando internet.

En el nivel más bajo es donde están los sensores y controladores, comunicándose utilizando un bus de campo. En este nivel la comunicación se realiza a través de autómatas programables o robots; estos usan ethernet y fibra óptica.

A continuación, nombraremos algunos de los protocolos de comunicación más famosos:

- HART

Empecemos por uno de los más conocidos; el protocolo HART que se caracteriza por reunir información digital sobre la señal analógica de 4 a 20 mA DC.

Esta señal digital utilizar dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz que simbolizan los dígitos 1 y 0, y que en conjunto crean una onda sinusoidal que se superpone al flujo de corriente de 4-20 mA.

Hay que tener en cuenta que la señal promedio de una onda sinusoidal es de cero, por lo que no se incorpora ningún elemento DC a la señal analógica de 4-20 mA. Esto permite seguir usando la variación analógica para controlar mejor el proceso.

- MODBUS

Quizá es el más popular de la lista y se utiliza para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA), pero con control centralizado.

Se puede comunicar con una o más Estaciones Remotas a fin de conseguir datos de campo para supervisión y control de un proceso. Por otro lado, sus Interfaces de Capa Física es posible configurarlas en RS-485, RS-422 y RS-232.

- PROFIBUS (o Process Field Bus)

Este es un protocolo para bus de campo de altísima velocidad que sirve perfectamente para el control de procesos normalizada en Europa por EN 50170. Hoy día existen tres tipos:

Profibus DP (Decentralized Periphery). Está destinado a sensores y/o actuadores que están enlazados a procesadores o terminales.

Profibus PA (Process Automation). Es ideal para el control de proceso y cumple con las normas especiales de seguridad para el sector de la industria química.

Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Se usa para establecer comunicación entre células de proceso o dispositivos de automatización.

- FOUNDATION FIELDBUS (FF)

Consiste en un protocolo de comunicación industrial que se usa especialmente en aplicaciones de control distribuido.

El FF tiene la capacidad de comunicar grandes volúmenes de información, así que es perfecto para aplicaciones que tengan varios lazos de control, ya sea de automatización o de procesos.

La verdad es que este protocolo está pensando para interconectar equipos en industrias de proceso continuo. Y es que los equipos de campo se nutren mediante el bus Fieldbus una vez que la potencia que se necesita para el funcionamiento lo permite.

- DEVICENET

Es un protocolo de comunicación industrial muy utilizado en el sector de la automatización y, es considerado como una red de bajo nivel que sirve para conectar equipos sencillos como pulsadores, sensores magnéticos, sensores fotoeléctricos...

Aunque también se puede conectar con dispositivos de alto nivel: HMI, PLCs, computadores, controladores, etc.

La característica más resaltante de Devicenet es que suministra información adicional acerca del estado de la red que se desplegará en la interfaz.

Estamos seguros que después de leer este artículo tienes más aclarado el panorama y ya sabes cuáles son protocolos de comunicación industrial más populares.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada en el cual el problema está establecido y es conocido por el investigador, por lo que se utiliza la indagación para dar respuestas a interrogaciones específicas.

Esta investigación pondrá en práctica todos los conocimientos alcanzados a lo largo de la carrera, principalmente en áreas de instrumentación electrónica y comunicaciones realizando el diseño de un Sistema de Fertiriego para cultivos de Cebolla, asimismo asentando conocimientos de Control de válvulas, Sensorica, Interpretación de Especificaciones, Redes y Análisis de Resultados, para así hallar elementos y estrategias que permitan lograr el objetivo de la investigación.

7.2. Muestra o población

La población a la cual va dirigida la investigación es los diferentes cultivadores de agricultores de la región del municipio de Aquitania, del Departamento de Boyacá, con el fin de mejorar las condiciones de las siembras y así alcanzar una mayor ganancia, mejorando el medio ambiente que los rodea.

7.3. Método de investigación

Esta investigación corresponde a una de tipo Hipotético-deductiva (“Metodología De La Investigación: TIPOS DE INVESTIGACION Y DISEÑO DE INVESTIGACION,” n.d.) ya que a partir de un caso conocido por el autor y colaboradores se genera un hipótesis que es el caso de estudio, de esta hipótesis se generan una serie de deducciones a consecuencia del conocimiento previo de quienes participan en la investigación y mediante la utilización de este conocimiento y la experiencia propia se puede llegar a una conclusión final que da la respuesta a la hipótesis y cumplimiento a los objetivos planteados.

Debido al tipo de investigación y el entorno en que se desarrolla la investigación, se obliga e incita a la utilización de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera profesional en campos como la electrónica y las comunicaciones, dando un enfoque especial en las comunicaciones, realizado un diseño de topología de red, el cual pueda ser implementado en el campo del agro y que pueda ser acoplado a una red de sensores, propiciando a que sea una red escalable, confiable y de fácil implementación.

Para la ejecución de este proyecto se plantean las siguientes fases: comenzando por la fase de identificación del terreno, en la cual se hará un relevamiento de las características del terreno la

ubicación, características del terreno y los desplazamientos actuales que el personal realiza actualmente etc. En la segunda fase del proyecto se definirán las características del acceso a la red, en donde se definirá la mejor alternativa de conectividad en la región, teniendo en cuentas las características tan complejas de la ubicación. En la tercera etapa del proyecto se definirán las características del diseño, las variables del cultivo, los elementos que componen la solución y la relación entre estos para la posterior integración de estos y generar el diseño final. En la cuarta etapa se propondrá la alternativa para el suministro energético para el sistema, esta solución tendrá con la intención principal de generar un impacto positivo, en el medio ambiente, con algún tipo de energía que sea no invasiva para la región y con características de energía renovables amigables con el medio ambiente. En la quinta etapa se diseñará la topología integrando todas las soluciones definidas en las etapas previas, para definir el modelo general de la solución. En la sexta y última etapa se definirán los modelos de implementación, ejecución y operación del sistema que darán las herramientas y procedimientos requeridos para que el proyecto se ejecute de la manera más eficaz y genere el menor impacto negativo y la gestión del proyecto sea la mejor con la menor cantidad de recursos humanos posibles y esta etapa dará fin al proyecto.

8. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

8.1. Fases del Proyecto:

Se pueden notar las siguientes fases para el desarrollo del proyecto.

Diseño. Durante esta fase se especificará la ingeniería conceptual y detallada para la construcción de un sistema de fertirrigación inteligente, se concebirá una arquitectura y una lógica de funcionamiento que permita entender la interacción de los diferentes dispositivos electrónicos necesarios para mezclar fertilizantes y para irrigar el campo o parcela de la forma más efectiva posible disminuyendo el uso de agua y fertilizantes.

Prototipo. Crear un pequeño modelo de adquisición de información de parámetros de calidad de la tierra, el objetivo es minimizar el valor del hardware necesario para este fin. Mediante la definición de la instrumentación y equipos adquirir un pequeño controlador para crear un prototipo de control del sistema de bombeo y mezcla, esto permitirá evidenciar la capacidad de respuesta de la primera versión del software.

Fabricación. Tener una versión piloto implementada en una parcela de cebolla larga en el municipio de Aquitania Boyacá, este modelo deberá permitir medir consumos de agua e insumos químicos. Este modelo debe poder ser autoajutable de acuerdo a la información adquirida de calidad del suelo. Esta primera implementación debe evidenciar los pormenores de la inclusión de un sistema automático de fertirrigueo en el campo.

Mercado. La utilización de sondeos y encuestas en las zonas agrícolas de Aquitania permitirán determinar el enfoque del eslogan del proyecto. Realizar una campaña promocional vía radio puede ser una herramienta efectiva en la comunidad agrícola, en áreas agrícolas la radio sigue siendo el medio de comunicación preferido.

Disposición Final. Por fabricación los componentes electrónicos serán tropicalizados lo que permite tener tiempos de vida de entre 15 y 20 años, los dispositivos electrónicos válvulas y sensores serán en su mayoría de compra nacional y fácil homologación.

8.2. Descripción Básica del Proyecto:

El sistema de fertirrigación desarrollado consiste en la interacción de tres subsistemas:

Sistemas de adquisición de información ambiental: este subsistema esta desarrolla con la intención de proveer al controlador principal (PLC-001) de información básica sobre los parámetros ambientales del cultivo. Mediante un set de sensores se registra la humedad y temperatura del ambiente, así como información de la humedad y ph de la tierra. Este set de sensores es solo una de los tantos que deben ser distribuidos a lo largo del cultivo con el fin de tipificar la calidad de la tierra y las condiciones ambientales de la zona.

Sistema de irrigación: Para irrigar es necesario contar con un abastecimiento de agua constante, es de suma importancia poseer unos dispositivos que permitan asegurar el bache de agua necesario para mezclar con los compuestos fertilizantes, estos dispositivos también aseguran una calidad básica de agua (filtro de arena) y está compuesto por el set, Tanque de agua, bomba de agua controlada por variador y filtro de arena.

Sistema de mezclado y dosificación: Es el encargado de dosificar y mezclar los compuestos fertilizantes, el controlador (PLC-001) es alimentado con la información ambiental y de acuerdo a esta información comunica a la interfaz humana maquina (HMI-001) la información de proceso, selecciona la receta de mezclado e informa en pantalla el tipo de mezcla que se va a realizar. Este sistema también se encarga de verificar mediante un set de instrumentos la calidad de la mezcla de fertilizantes para utilizar durante la fase de irrigación.

En la figura 1 se da a conocer un diagrama de bloques el cual es la representación gráfica del funcionamiento interno del sistema.

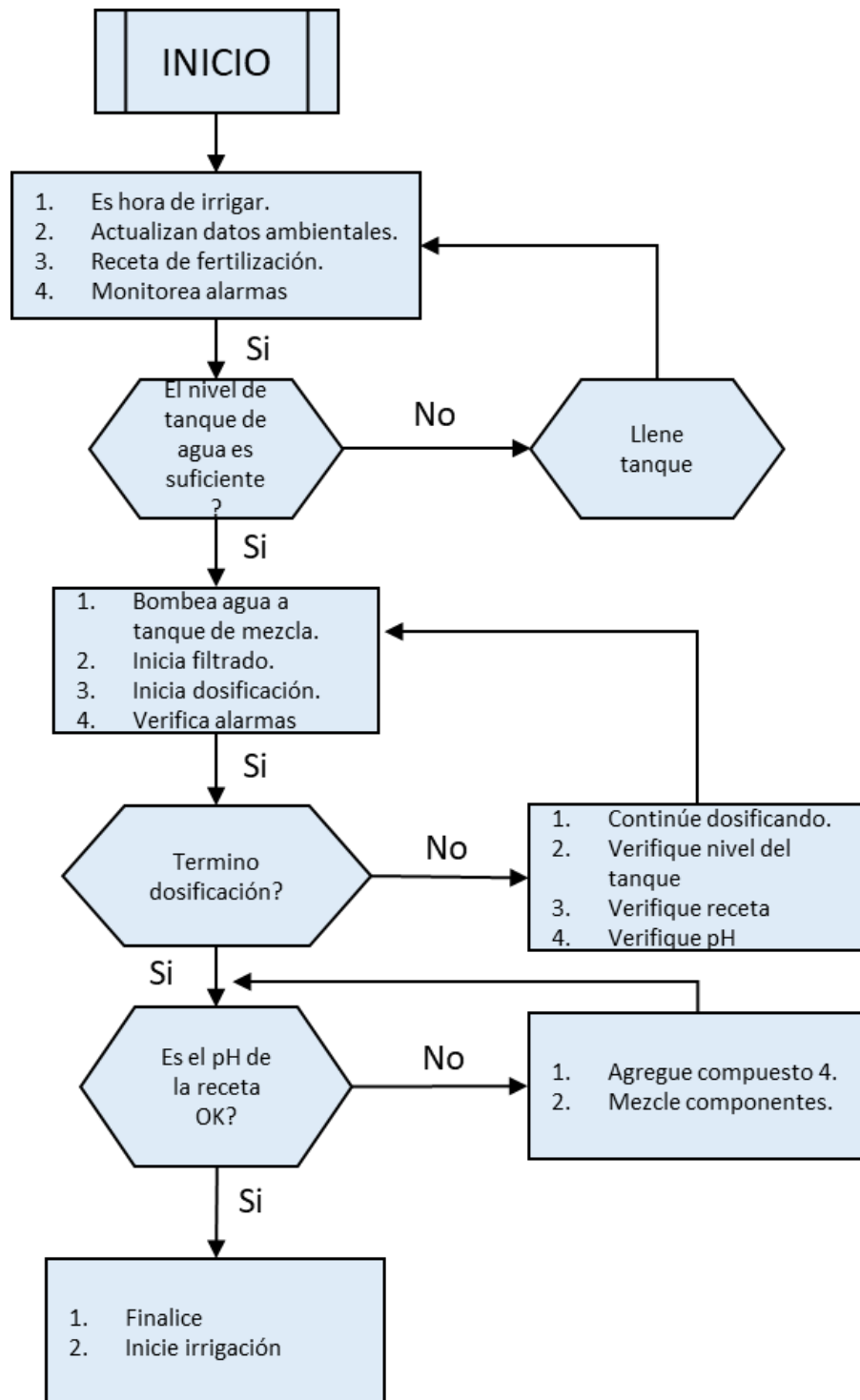


Figura 1 Diagrama Explicativo del Proceso

Fuente: Autores

8.3. Análisis del Entorno

CATEGORÍA DE ENTORNO	ELEMENTOS ANALIZADOS
POLITICO	● Existencia del Plan Nacional del cual tiene como objetivo principal el desarrollo y posicionamiento de nuestro país como una plataforma de exportación regional, mediante la mejora en la competitividad y diversificación del sector exportador e internacionalización de las empresas agrícolas. ● El nuevo modelo de desarrollo regional contempla políticas y estrategias que no solo priorizan la articulación de nuestra economía regional con el mercado interno y de exportación, sino que además buscan promover e impulsar mejores sistemas de agricultura y comercialización, exportación de productos regionales competitivos, asociatividad y formación de cadenas productivas; y fomentar la inversión privada responsable, así como la diversificación productiva. ● El municipio de Aquitania a través de su Plan de desarrollo, pretende impulsar un clima empresarial y comercial favorable al desarrollo económico local sostenible con el objetivo de promover la organización y asociatividad empresarial y de productores en torno a cadenas productivas ● El gobierno ha implementado una medida para fomentar la inversión en innovación, la cual consiste en brindar beneficios tributarios para los agricultores que realicen innovaciones e investigaciones científicas orientadas a la mejora continua de la competitividad de la oferta exportable.
ECONOMICO	● En Estados Unidos se prevé que el crecimiento registre un repunte moderado en 2020 impulsado por la mejora del mercado, lo cual dinamizara la demanda interna. EEUU es el primer destino de las exportaciones de cebolla Larga. ● Caída de la demanda interna ocasiona un menor nivel de ventas y menor producción, afectando principalmente a las empresas de los sectores comercio, transporte y turismo, así mismo gran parte de la agricultura y ganadería de Boyacá no se encuentra certificadas para exporta. ● La región de Aquitania alcanza las tasas de pobreza en los últimos seis años, gracias al elevado porcentaje de población rural (66%) dedicados a actividades agrarias que no han tenido un desenvolvimiento económico muy favorable debido al

	impacto de la caída de los precios internacionales. (Cardozo, D. M. C., & Otero, M. E. P. (2012). Un Camino al Desarrollo Territorial: la especialización en la producción de Cebolla de Rama “Allium Fistulosum” en el municipio de Aquitania-Boyacá. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 8(14), 69-81.)
SOCIAL	● La Caída del empleo adecuado y mayores tasas de desempleo juvenil y empleo informal han generado que la migración sea un fenómeno que se da sobre todo en un sector de jóvenes con alto nivel educativo, el cual tiene un efecto sobre el crecimiento en el largo plazo de la región. ● Actualmente la agricultura la actividad que más trabajadores emplea, seguida por la industria y manufactura empleando el 70% de la población. ● Existencia del Plan de Gestión de la gerencia (regional de Desarrollo social cuyo objetivo es encaminar el desarrollo social sostenible de nuestro territorio, mediante el aprovechamiento de oportunidades que posibiliten la realización plena de las personas, mediante políticas y estrategias de inversión en capital humano y fortalecimiento del capital social en la región
TECNOLOGICO	● Existen la secretaria de la productividad, tecnologías de la información, las comunicaciones y gestión del conocimiento, que está encargada de conducir políticas y proyectos de ciencia, tecnología e innovación en la región, esta viene realizando concursos de proyectos de investigación científica para las diversas cadenas productivas del departamento, contribuyendo a la mejora en competitividad del departamento. ● Variedad de tecnologías de dispositivos de conexión y funcionalidad para mejorar la conectividad de la región. ● Mejoramiento en los sistemas de seguridad de datos personales e intimidad de los usuarios haciendo que los datos de productividad del cultivo no sea de conocimiento público.
AMBIENTAL	● En la región de Aquitania, el 45% de tierras corresponde a tierras de protección, ya pertenecen a la laguna de Tota, por otro lado, solo el 10% de la superficie puede ser utilizado para cultivos permanentes (frutales nativos e instalados) y el 8% para el cultivo de pastos, mientras que el 37% de tierras están aptas solo para el desarrollo de actividades forestales.

	● El aumento de la ruralidad departamental ha ocasionado una fuerte desertificación de los suelos gran parte de la región, siendo las cercanías al lago las más afectadas. ● La baja infraestructura limita el aprovechamiento del agua en actividades productivas, por otro lado, debido al acelerado proceso de desertificación está disminuyendo la capacidad de retención del recurso hídrico. ● El departamento de Boyacá posee gran potencial para la generación de energía eólica y solar, sin embargo, no existe un plan integral de aprovechamiento de largo alcance. ● La deforestación tala ilegal y la mala gestión de recursos naturales es un problema que representa el 80% del territorio que genera pérdidas de diversidad biológica por sobre-explotación o desperdicio de recursos forestales y destrucción directa de bosques para sustituirlos con agricultura precaria y minería efímera.
--	--

8.4. Filosofía de Control

I. Modos de operación

El sistema está pensado para ser operado de manera manual o automática, utilizando como mando central el HMI de seguimiento local del proceso.

i. Manual

En el caso que los sistemas de adquisición de información ambiental no puedan entregar información al controlador central PLC-001, es posible escoger la receta de mezclado directamente desde el HMI, en este HMI será posible controlar la velocidad de filtrado de agua fresca a través del control de la velocidad de frecuencia de la bomba PXXXX. En esta interfaz de HMI también se podrá hacer mezclado e irrigación en los ciclos o periodos que el operador considere necesario.

ii. Automático

EL sistema tendrá mando de control de acuerdo a las condiciones ambientales y de calidad de la tierra, el PLC determinará mediante lógica programada, la concentración de fertilizantes, así como la periodicidad de la fertilización. Mediante la interacción de los sensores y válvulas de control el sistema está en capacidad de irrigar y fertilizar el cultivo.

El sistema mezclado está compuesto por dos módulos de control, el primero se encarga de la adquisición de datos ambientales y el aprovisionamiento del insumo principal del proceso que es agua fresca bombeada desde un tanque de almacenamiento. El segundo módulo se encarga de la dosificación, preparación y estabilización de los compuestos fertilizantes necesarios por el cultivo. Para que el proceso sea posible es necesario instalar equipos e instrumentos que controlen y que verifiquen la calidad de la mezcla. Así como equipos que hagan posible la transferencia y circulación de los insumos al tanque de mezclado.

8.5. Fases de Ingeniería

I. Ingeniería Conceptual

La ingeniería conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcara una pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Es necesario evitar restarle importancia al desarrollo de las ingenierías conceptuales, descuidando el estimado de costo global de los proyectos. El documento resultante de esta etapa permitirá, en el nivel de decisión que corresponda, definir si se avanza con las etapas siguientes del proyecto.

La ingeniería conceptual tiene por objetivo fundamental identificar la viabilidad técnica y económica de las alternativas visualizadas.

Durante esta etapa se estudian que tipos de tecnologías aplican y se define el marco de las normas técnicas que regulan los diseños.

El objetivo de la ingeniería conceptual es que se establezca como la estimación de costo asociada con el proyecto en esta fase, con el objetivo de evaluar la viabilidad y una aprobación preliminar del presupuesto asociado para definir luego la ejecución de las siguientes etapas.

- Distribución de planta
- Lista de equipos preliminar
- Estimación económica de la inversión más o menos 30 por ciento.

II. Ingeniería Básica

La ingeniería básica tiene por objetivo completar el alcance de la alternativa seleccionada durante la fase de ingeniería conceptual y desarrollar un plan de ejecución del proyecto que permita en cierta medida comprometer fondos o iniciar la gestión para obtener el financiamiento que se requiere.

Para analizar esta ingeniería y su interrelación con las estrategias de ejecución de proyectos conviene centrarse en los siguientes tres aspectos:

- **Alcance.** Por definición es una ingeniería intermedia entre la ampliación de la ingeniería conceptual o básica y el 30% de la ingeniería de detalle completa. Esta ingeniería debe cubrir aspectos de la constructividad del proyecto, y debe asegurar que se cuente con

definiciones que permitan hacerlo físicamente posible. Si no se monitorean los cálculos resultantes de las ingenierías en esta etapa, se corre el riesgo de ejecutar proyectos sobrevaluados en alcances que no hacen del proyecto viable.

- **Relación con el estimado de costo y contrataciones de ejecución.** Esta etapa de ingeniería debe brindar los cálculos de unidades de obra que permitan realizar el estimado de costos y además dar los elementos de definiciones para los contratos de ejecución posteriores.
- **Compras de equipos.** La definición de los equipos más relevantes de los proyectos condiciona el desarrollo de la ingeniería básica extendida, ya que las dimensiones, pesos y tecnología que cada fabricante proponga para sus equipos suele tener alto impacto en los estimados de costo. Entender la relación entre los equipos y los alcances del proyecto que debe considerar la ingeniería es la decisión más compleja en materia de estrategia en esta etapa. Si se asumen para el proceso de diseño los equipos con mayor impacto (más pesados, más grandes, con mayor cantidad/ complejidad de sistemas de control e instrumentación, etc.), se penaliza el costo del estimado del proyecto.

Durante esta fase se fija de manera concreta el alcance del proyecto, se establecen las capacidades y las características de los productos y servicios que genera el proyecto:

- P&ID
- Lista de equipos

8.5. Diagrama de Flujo del Proceso

El diagrama de flujo de procesos (PFD) es un tipo de diagrama de flujo en el cual se ilustra las relaciones entre los principales componentes de una planta, se usa para documentar o mejorar un proceso o modelar uno nuevo.

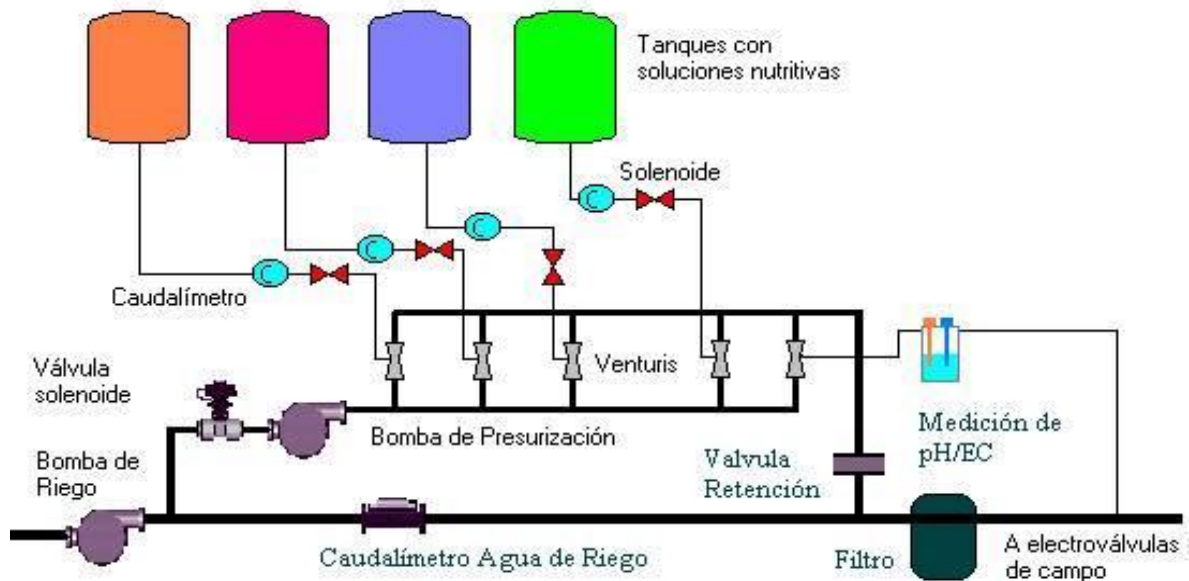


Figura 2 Diagrama de Flujo del Proceso

Fuente: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/08/que-es-un-cabezal-de-riego-manejo-del-riego-localizado-y-fertirrigacion/>

8.6. Descripción básica de comunicaciones y Aspecto HMI

Para la supervisión y control del proceso del sistema de fertirrigación se implementará una HMI (Human Machine Interface) en la cual se desarrollará una supervisión local en una HMI Flexem de 7 pulgadas esta estará conectada a un PLC el cual tendrá el control total del proceso.

La HMI se desarrolló por medio de 3 despliegues en donde se observará lo siguiente:

- En el primer despliegue del HMI se observará el ingreso según el nivel del usuario (operario, administrador) por medio de una ventana donde se ingresará el usuario y la contraseña. Los permisos asignados para cada usuario varían y por lo tanto las tareas.
- En el segundo despliegue se observará un listado en donde se seleccionará la receta requerida o necesaria para el proceso en el momento de selección.
- En el tercer despliegue se observará un SCADA del proceso de fertirrigación donde encontraremos 5 tanques, 3 tanques de fertilizantes, 1 tanque de mezcla y 1 tanque de almacenamiento de agua; también se observarán las válvulas asociadas a cada tanque en el proceso y los sensores con un indicador de la medida.

Para el desarrollo de una supervisión local se utilizará una HMI de Flexem tipo capacitivo de 7" (F007). Ver características extendidas en los anexos C.



Figura 3 HMI Flexem

Fuente: <http://english.flexem.com/product-detail-9.html>

El PLC (Programmable Logic Controller) que se utilizara para las señales digitales es el FL2N-40MRT de Flexem; el cual cuenta con 24 entradas digitales y con 16 salidas digitales. Ver características extendidas en anexo B.

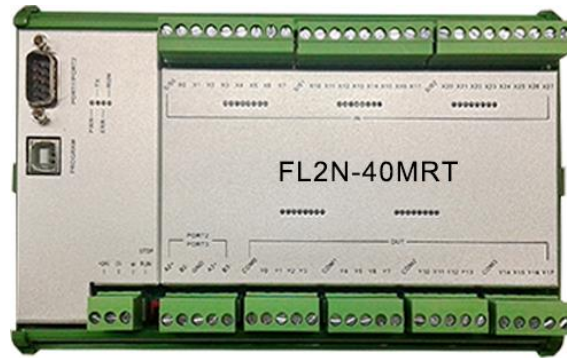


Figura 4 PLC Flexem Señales digitales

Fuente: <http://english.flexem.com/product-detail-21.html>

El PLC (Programmable Logic Controller) que se utilizara para las señales análogas es el FL2N-4AD-4DA de Flexem; el cual cuenta con 4 entradas análogas, tiene una temperatura de operación de -20~70°C. Cuenta con un puerto de programación USB. Ver características extendidas en anexo C



Figura 5 PLC Flexem Señales análogas

Fuente: <http://english.flexem.com/product-detail-22.html>

Para la programación de sistema de fertirrigación se utilizará el programa de Flexem “FlexLogic” el cual se podrá descargar de forma gratuita en el siguiente link: http://english.flexem.com/download_2.html

Mientras que para la supervisión del proceso de fertirrigación se utilizará una HMI de Flexem, esta se desarrollara en un programa propio de esta misma marca “FStudio 2.0” el cual se podrá descargar de forma gratuita en el siguiente link “ <http://fs.flexem.com/en>”

8.7. Topología de Red del Sistema

Para la topología de red se manejó en dos partes las cuales se explican a continuación:

I. Topología de red de la planta

Para la comunicación de los equipos de control se eligió protocolo ModbusTCP, ya que este permite el control de una red medición de temperatura y nivel de los tanques, pudiendo comunicar los resultados al PLC, teniendo una interfaz de HMI para mostrar el proceso que gobierna, la comunicación entre PLC y HMI se configuro por defecto con profinet.

Al igual que otros protocolos, no se dispone de ningún módulo propio para elaborar el stack de dicho protocolo.

Se implementó una base de datos en Microsoft Acces que a través de la función de protocolo OPCDA almacena información de proceso y los consumos de insumos.

La topología de comunicaciones de la totalidad del sistema se describe en el gráfico 7.

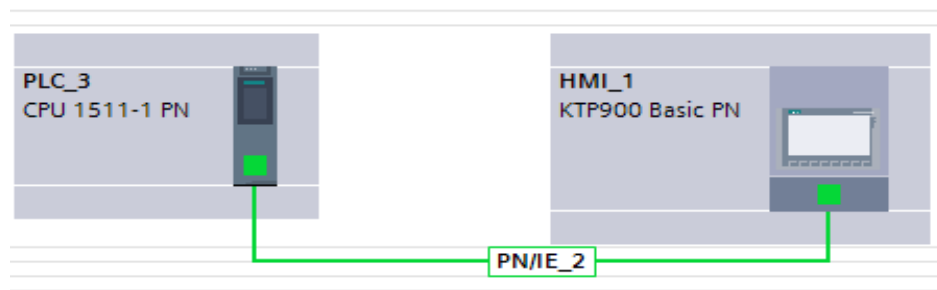


Figura 6 Conexión HMI PLC, Profibus

Fuente: Autores

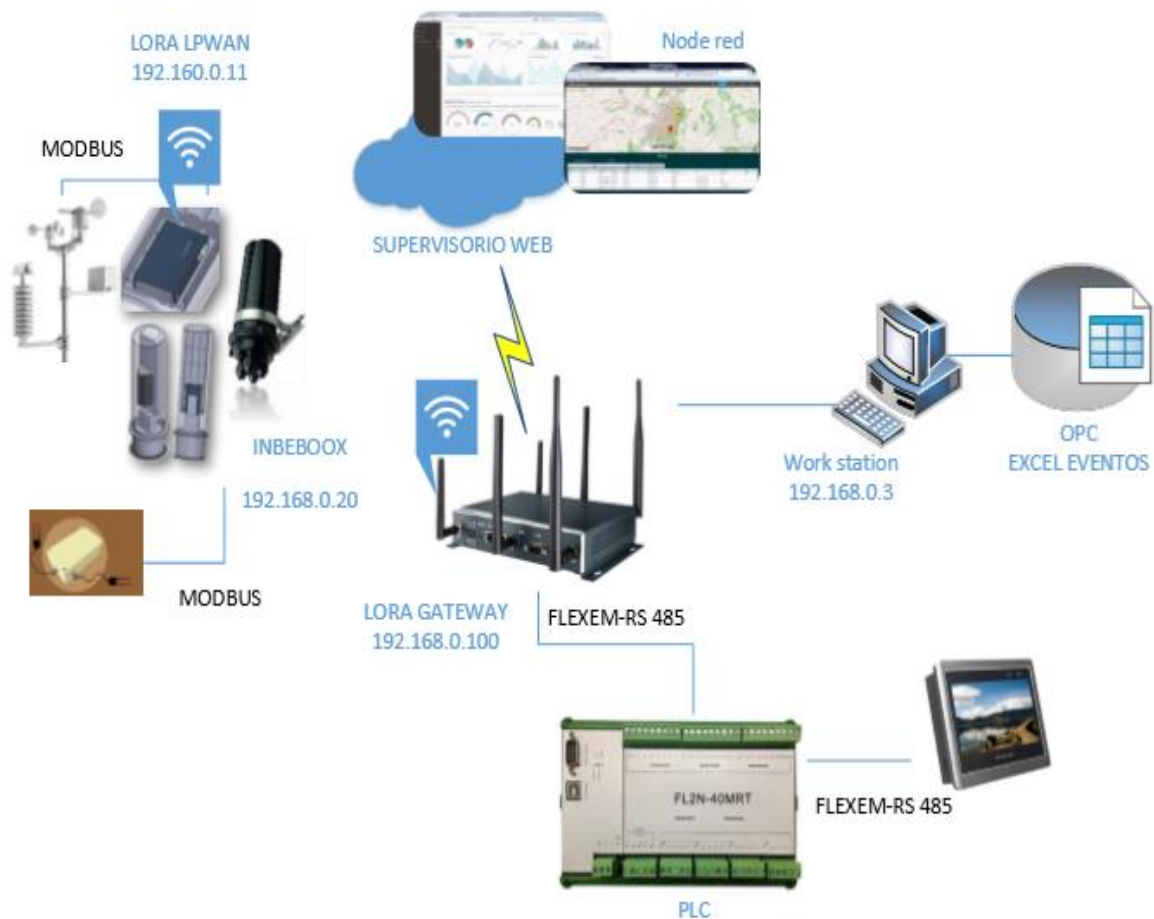


Figura 7 Topología de red

Fuente: Autores

II. Tecnología IoT para medición de variables ambientales

Una marea de servicios y sistemas de IoT ha comenzado a llegar al mercado, repleto de variadas arquitecturas, conjuntos de funciones y aplicaciones. Si bien hay muchos factores a considerar cuando se invierte en hardware de IoT o en una solución completa de IoT, al comprender los protocolos disponibles para los sensores de IoT y cómo los tomadores de decisiones empresariales con visión de futuro pueden tomar la mejor decisión sobre el protocolo, ahora y a largo plazo, es de suma importancia.

Un protocolo IoT es el lenguaje de red que hablan los nodos de un sistema IoT, y es fundamental para la viabilidad general de una implementación. El protocolo determina el alcance, el formato y la complejidad de las comunicaciones de la solución IoT, y desempeña un papel principal en la determinación de costos y característica

Para la considerara la mejor opción de tecnología IoT se toman 2 factores importantes para el funcionamiento del sistema son los cuales son:

Energía: los sensores necesitan permanecer en el campo durante días, meses o años funcionando solo con la energía que suministra una batería, estos no necesitan informar con frecuencia, y se considera dispositivos con baterías desechables o recargables.

Conectividad: el rango de debe cubrir las comunicaciones y los datos que se necesitan enviar en cada mensaje, Los proveedores celulares podrían mantener la conectividad, o se preferirá mantener su propia red y los datos que se ejecutan en su red.

Cuando se necesitan estas especificaciones, las implementaciones que se buscan son dispositivos que cubran áreas grandes de cultivos, pero a su vez transmisiones de datos de pequeños volúmenes para esto las redes autónomas de área amplia de baja potencia son la solución, LoRaWan y SigFox son las opciones más populares.

Para lo anterior se escoge una red de área de bajo consumo como lo es LoRaWan ya que en lugar de conectarse a una red IoT celular, brindan una red de área privada para el espacio de cobertura, asimismo dando que los dispositivos, la red y los datos que se envíen son de la propiedad del beneficiario.

La tecnología LoRaWAN y LoRa han mostrado el mayor crecimiento en los últimos años, así como el potencial de crecimiento en los próximos cinco años.

Lo primero que hay que aclarar es que LoRa y LoRaWAN no son lo mismo. LoRa es el tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech, mientras que LoRaWAN es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para comunicar y administrar dispositivos LoRa. Se compone

de dos partes principalmente: gateways (pasarelas) y nodos (sensores). Los primeros son los encargados de recibir y enviar información a los nodos y los segundos, son los dispositivos finales que envían y reciben información hacia el gateway.

8.8. Control PID de Llenado de Tanques

Para el llenado de los tanques se utiliza la acción de autoajuste del PID para cambiar el comportamiento acorde a las circunstancias. Intuitivamente, un controlador adaptable es aquel capaz de modificar su comportamiento en respuesta a cambios en la dinámica del proceso a controlar o de las perturbaciones que presenta el sistema a través del tiempo.

Aplicamos una referencia al bloque PID y ejecutamos el auto-tuning que encontramos en el programa de SIMATIC STEP 7 de Siemens.

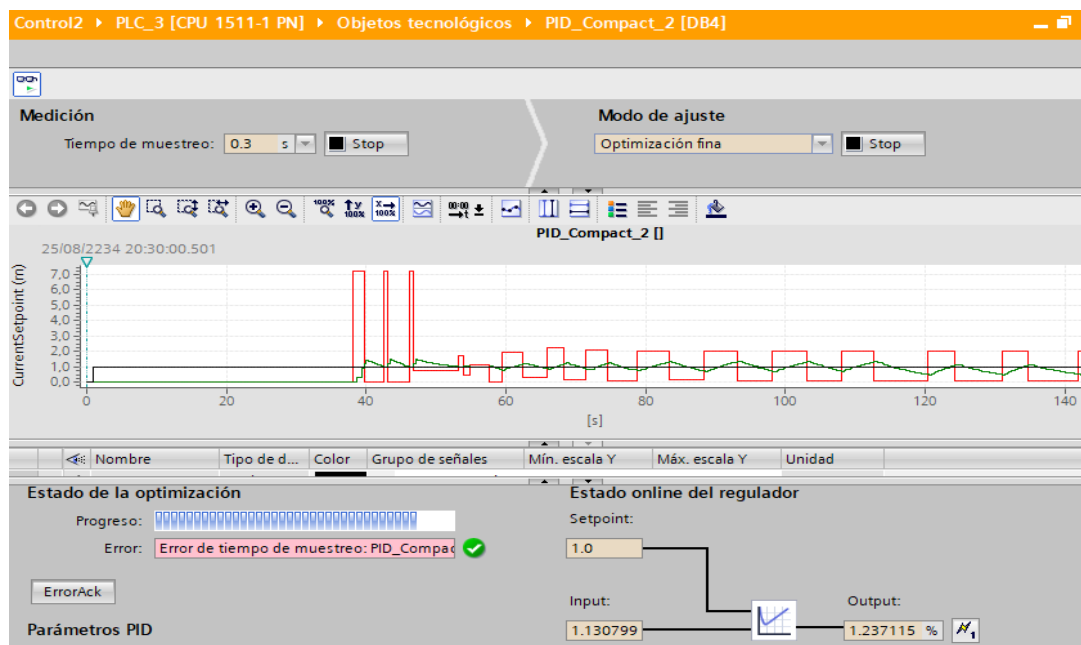


Figura 8 Control PID de llenado de tanque

Fuente: Autores

Cuando hablamos de ganancia del controlador, nos referimos a la agresividad de su acción de control proporcional: la razón del cambio de salida con el cambio de entrada. Sin embargo, podemos ir un paso adelante y representar cada componente dentro de un lazo de control como si tuvieran su propia ganancia (la razón del cambio de salida entre el cambio de entrada).

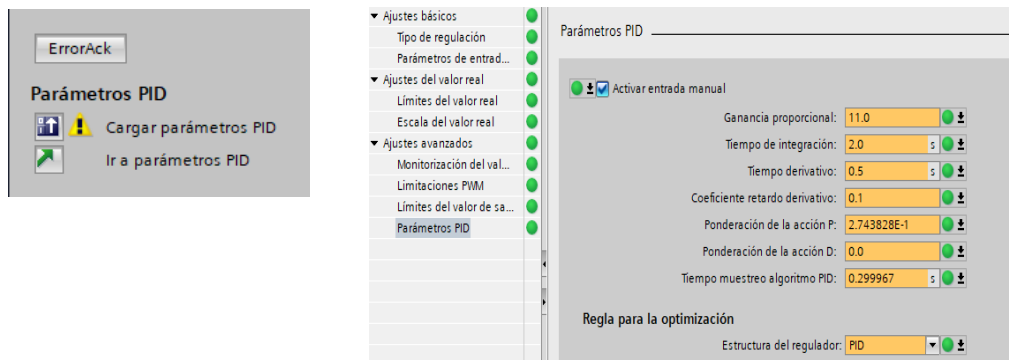


Figura 9 Ganancias calculadas

Fuente: Autores

Corroboramos la ejecución correcta en el HMI para la referencia de 1 metro.

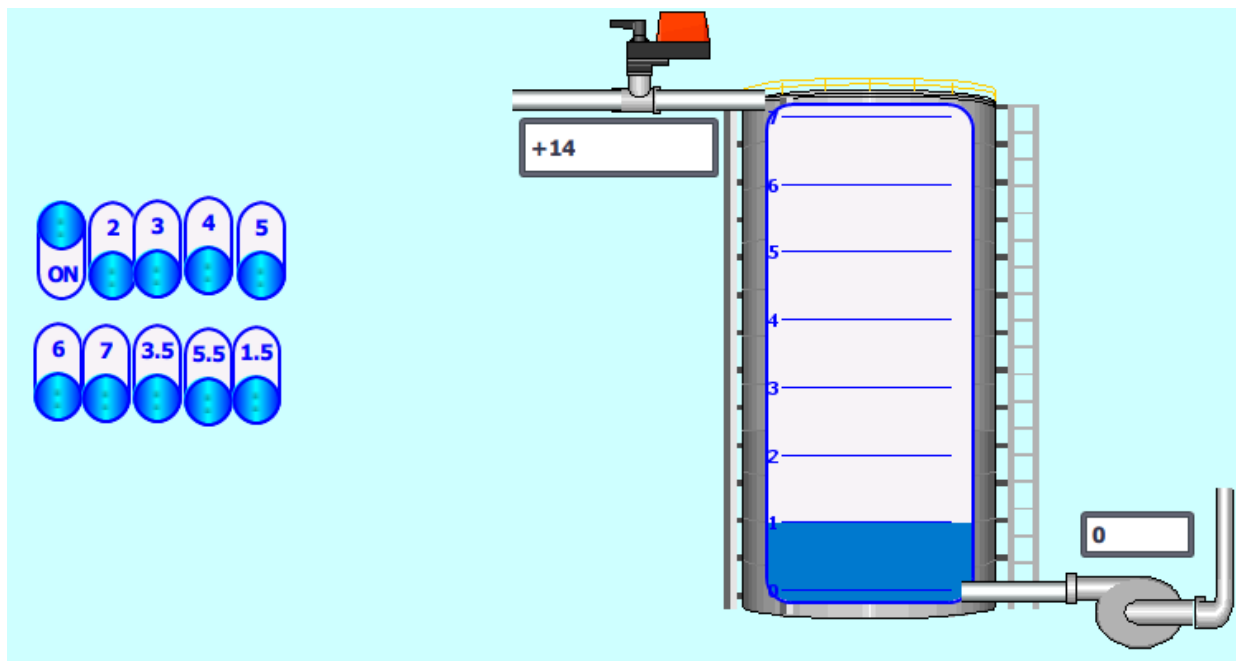


Figura 10 Llenado de tanque en 1m en la HMI

Fuente: Autores

Cambiamos la referencia a 4 metros y corroboramos en el auto-tuning y en el HMI

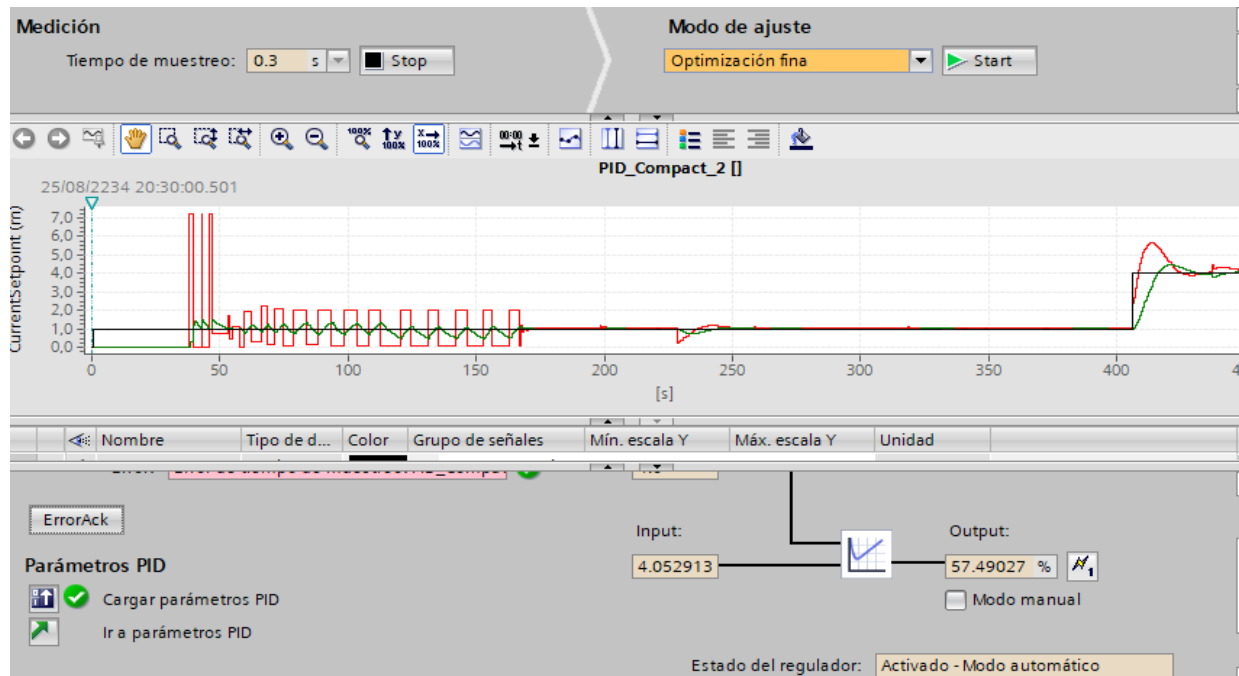


Figura 11 Cambio de referencia del llenado a 4 Metros

Fuente: Autores

8.9. Datalogger para la medición de parámetros ambientales

Dentro del proyecto se plantea el uso de un Datalogger el cual permitirá el registro y almacenamiento de los datos obtenidos en tiempo real, con este dispositivo se puede lograr por medio de los instrumentos, sensores y dispositivos conectados al sistema se pueda analizar diferentes datos registrados con anterioridad y así poder predecir eventos que puedan afectar tanto al sistema como al cultivo.

Con lo anterior en la figura 12 se evidencia algunos de los datos a los que podemos registrar.

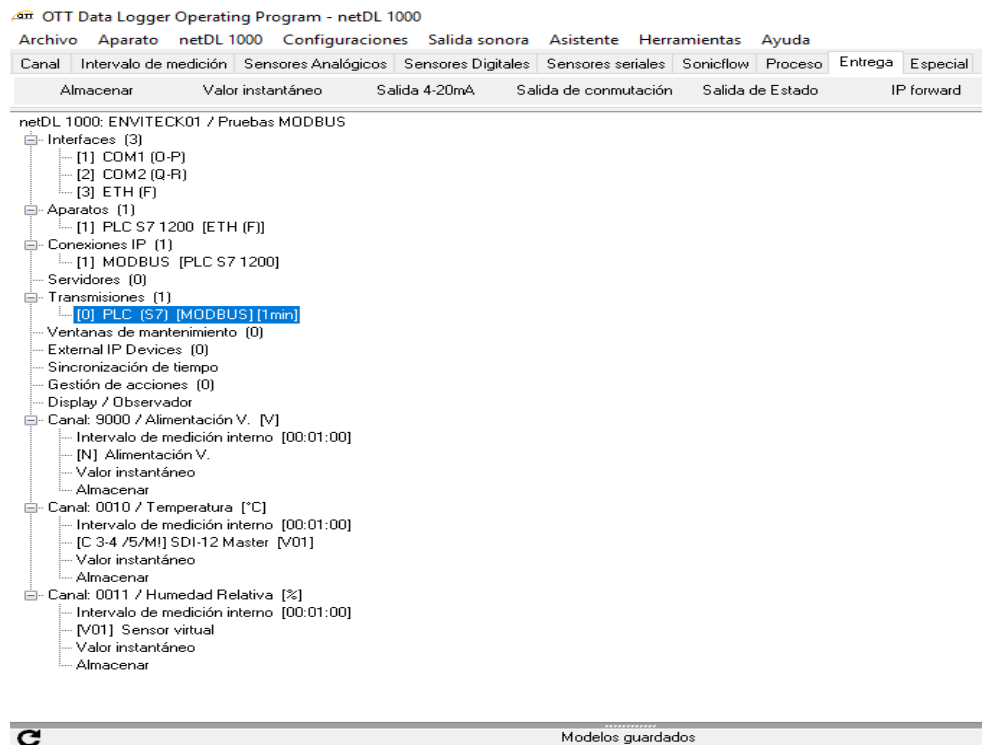


Figura 12 Datalogger

Fuente: Autores

Para lo anterior se realiza una prueba de registro el cual podemos observar en la figura 16 , el cual muestra valores tanto instantáneos como valores ya guardados en memoria de datos de Temperatura y humedad Relativa del Cultivo.

netDL 1000 - Valores instantáneos: COMUNINDUS / Pruebas MODBUS		
Número del sensor	Valor instantáneo	Ultimo valor de memoria
9000 / Alimentación V. [V]	13.66 5:03:04 p. m.	13.66 5:03:00 p. m.
0010 / Temperatura [°C]	23.1 5:03:04 p. m.	23.1 5:03:00 p. m.
0011 / Humedad Relativa [%]	49 5:03:04 p. m.	49 5:03:00 p. m.

Actualizar Terminar

Figura 13 Valores instantáneos de los sensores

Fuente: Autores

El PLC estará encargado de controlar el flujo de agua para el sistema, verifica e inicia las rutinas de llenado y dosificado, además almacenará y recopilará información ambiental para indicar al

operador sobre el estado del cultivo y así este pueda tomar la decisión de cual receta debe seleccionar. Los instrumentos y las señales de control conectadas a este PLC son las siguientes:

Instrumento/ Equipo	Identificador P&ID	Tag	Tipo de variable
Medidor trasmisor pH	pHT-01	Pht-01	Análoga
Válvula Tanque 1	V-1	V-1	Análoga
Válvula Tanque 2	V-2	V-2	Análoga
Válvula Tanque 3	V-3	V-3	Análoga
Válvula Tanque 4	V-5	V-5	Análoga
Transmisor de flujo 1	FT-01	FT-01	Análoga
Transmisor de flujo 2	FT-02	FT-02	Análoga
Transmisor de flujo 3	FT-03	FT-03	Análoga
Transmisor de flujo 4	FT-04	FT-04	Análoga
Medidor de nivel de tanque de mezcla	LT-01	LT-01	Digital
Motor Agitador	M-01	M-01	Digital

Tabla 1 Instrumento, Identificador en P&ID, Tag y tipo de variables en PLC y P&ID

Fuente: Autores

El tanque de almacenamiento de mezcla de los insumos (incluida el agua), no puede rebosar y cuenta con una doble protección para este fin, una válvula de acción por nivel que corta el suministro de agua y un transmisor de nivel electrónico que está conectado al PLC-01 del proceso de dosificación que siempre indica el espacio disponible para albergar más componentes de mezcla.

8.10.Despliegues de HMI y visualización WEB, SCADA, Excel

I. Comunicación PLC-KEPSERVER-EXCEL

A continuación, se presenta un diagrama descriptivo de cómo se debe realizar la conexión del PLC con el KEP-SERVER para llevar los datos de las variables ambientales tomadas a Excel, esto con el fin de permitir más adelante el estudio de la tipificación del cultivo y como va evolucionando a medida que pasa el tiempo.

Para esto se simulo el procedimiento por medio de un PLC de Siemens S7-1200 conectado a por medio de una pasarela llamada NetToPLCSIM el cual es un programa que hace el intercambio entre el simulador y el protocolo S7 Ethernet.

Esto permite conectar el PLC simulado con otras entidades como lo es el OPC de KEP-SERVER, para así transmitir los datos que llegan al PLC y enviarlos a Documento en Excel.

- **Arquitectura usando PLCSIM**



- **Arquitectura conexión Física**

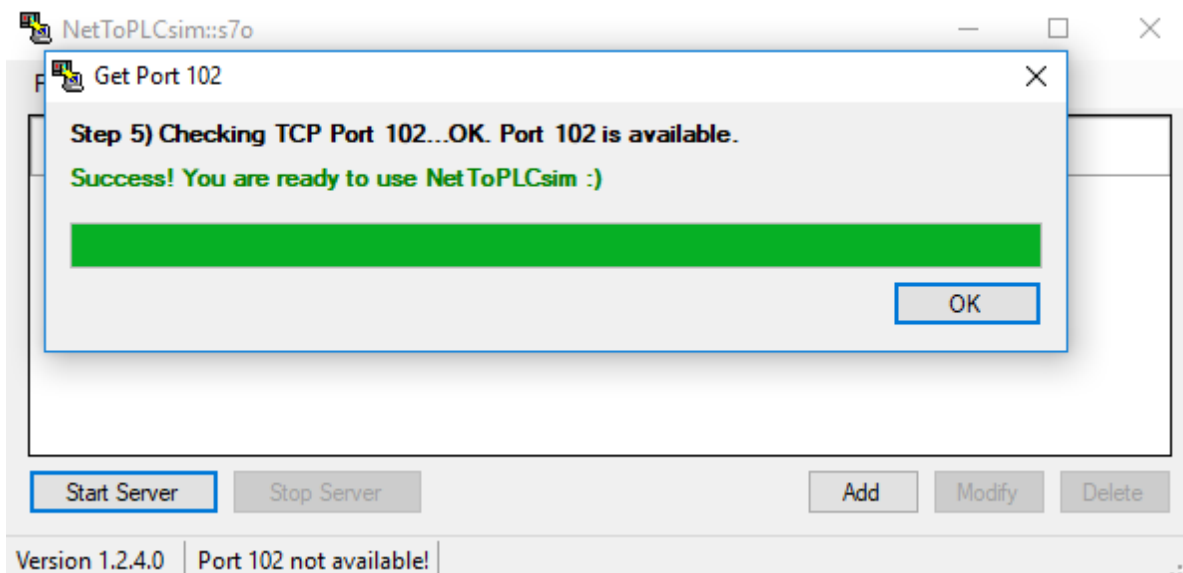
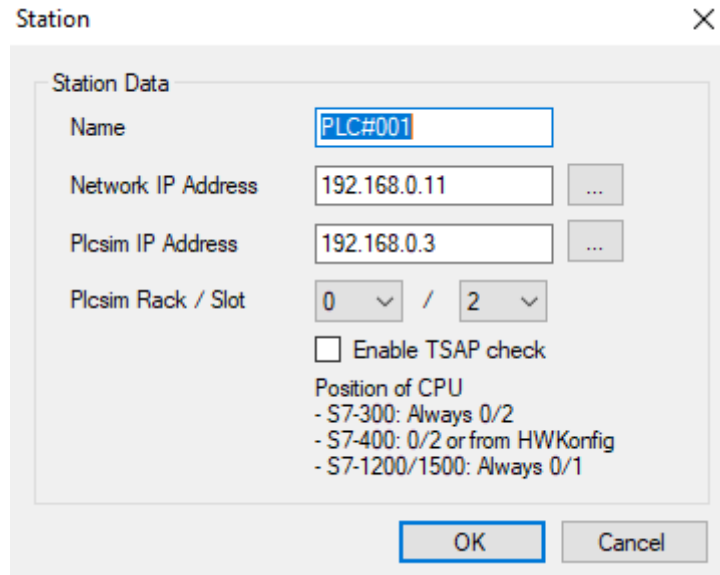


Figura 14 Conexión NetToPLCSIM

Fuente: Autores

Para esto, se añade un nuevo enlace donde en el espacio Network IP Address se establece la dirección IP ya sea de nuestra Interfast Ethernet o WiFi, en el espacio PLcsim IP adres activa la IP del PLC.



Station

Station Data

Name: PLC#001

Network IP Address: 192.168.0.11

Plcsim IP Address: 192.168.0.3

Plcsim Rack / Slot: 0 / 2

☐ Enable TSAP check

Position of CPU

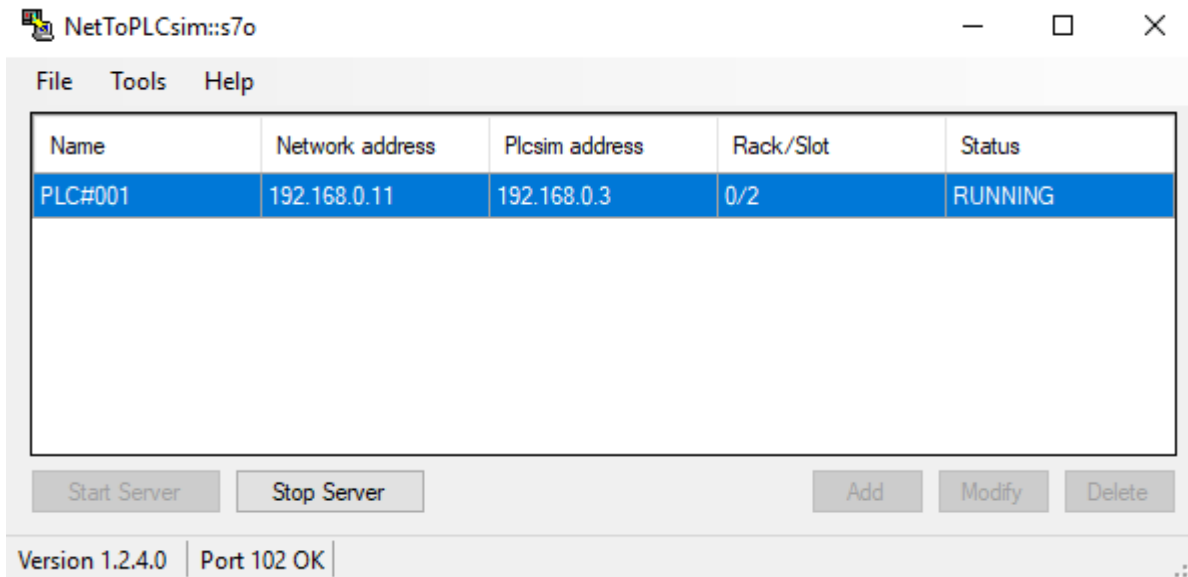
- S7-300: Always 0/2
- S7-400: 0/2 or from HWKonfig
- S7-1200/1500: Always 0/1

OK Cancel

Figura 18 Nuevo enlace con dirección IP

Fuente: Autores

Se inicia el enlace para verificar que la conexión entre el simulador y el OPC es óptima, dando así inicio a las pruebas de envío de los datos.



NetToPLCsim::s7o

File Tools Help

Name	Network address	Plcsim address	Rack/Slot	Status
PLC#001	192.168.0.11	192.168.0.3	0/2	RUNNING

Start Server Stop Server Add Modify Delete

Version 1.2.4.0 | Port 102 OK

Figura 16 Inicio del enlace

Fuente: Autores

Luego se procede a configurar la comunicación del Kep-Server y Excel, para esto es necesario tener la hoja de Excel abierta, y que todos los tags estén en conexión con el PLC.

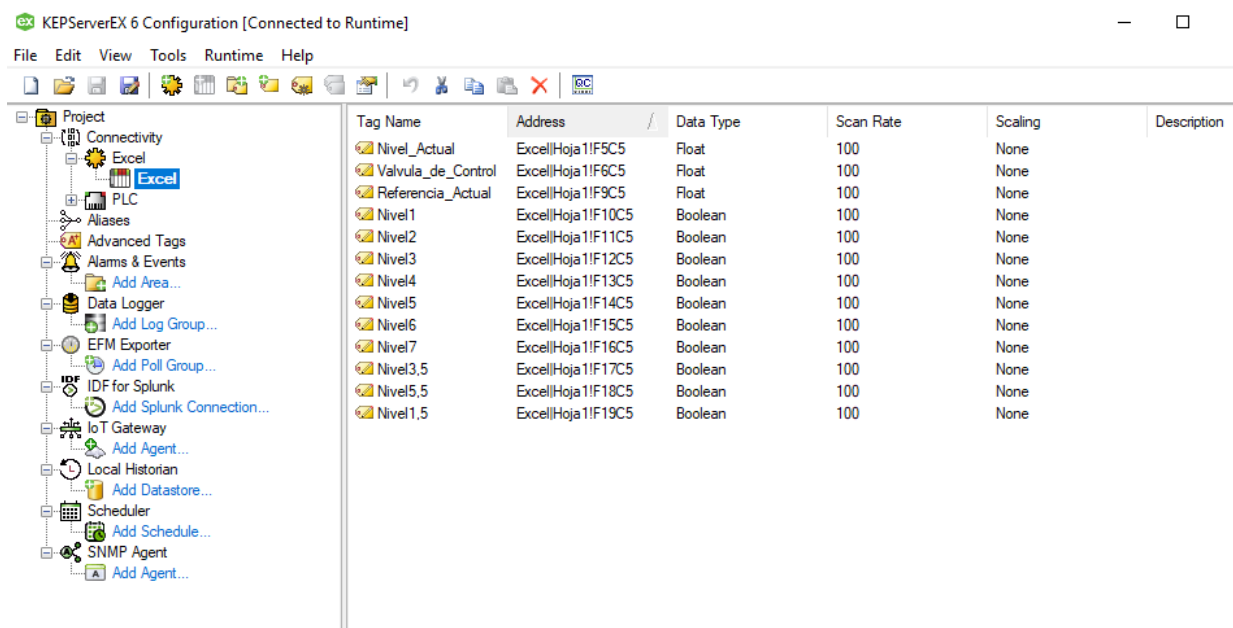


Figura 17 Configuración Kep-Server

Fuente: Autores (KepServerEX6)

Luego procedemos a configurar la comunicación del Kep-server hacia el PLC, el PLC debe estar corriendo

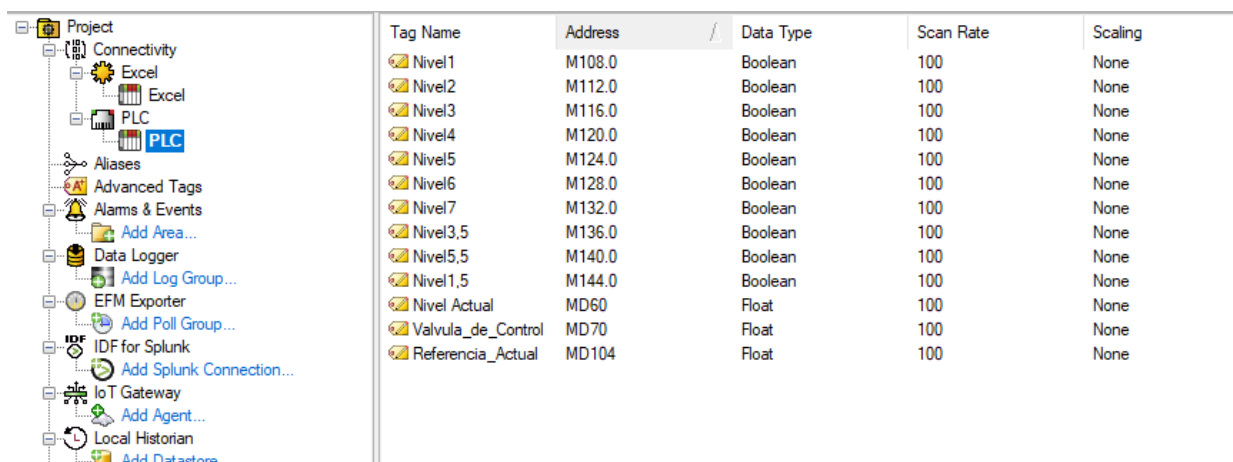


Figura 18 Configuración comunicación hacia PLC

Fuente: Autores (KepServerEX6)

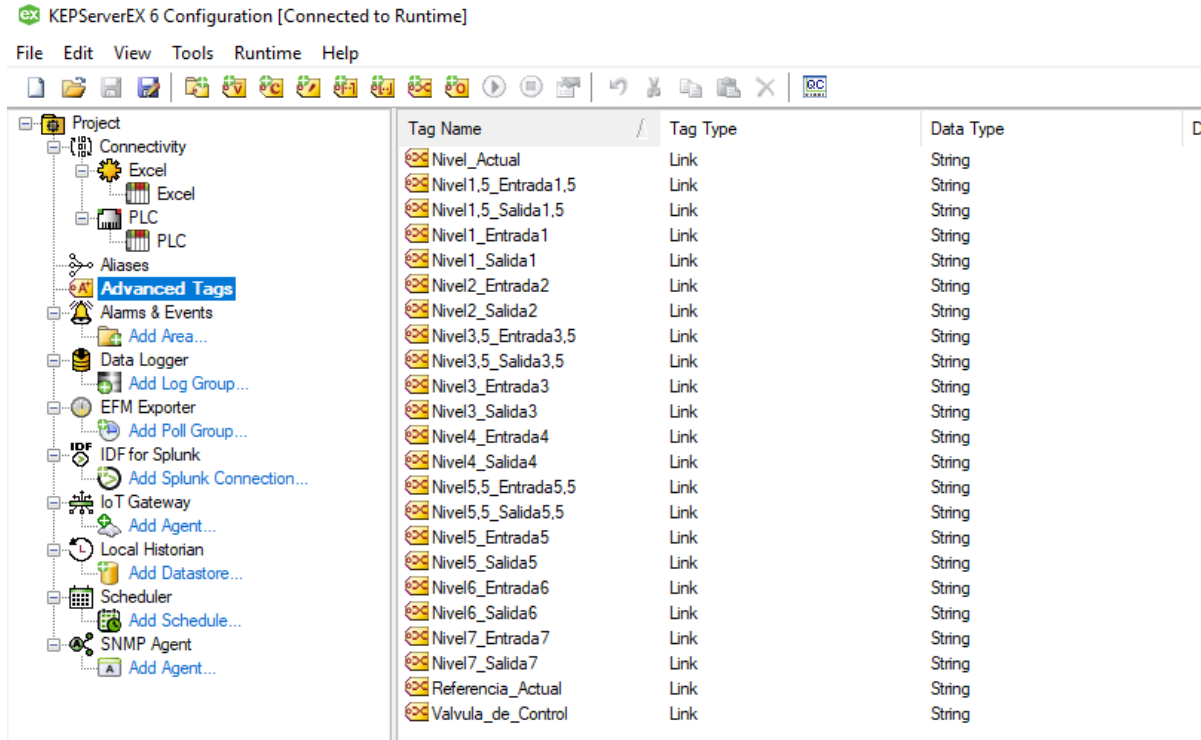


Figura 19 Configuración Tags Exel con PLC

Fuente: Autores (KepServerEX6)

Verificamos conexión entre la hoja de Excel y el PLC

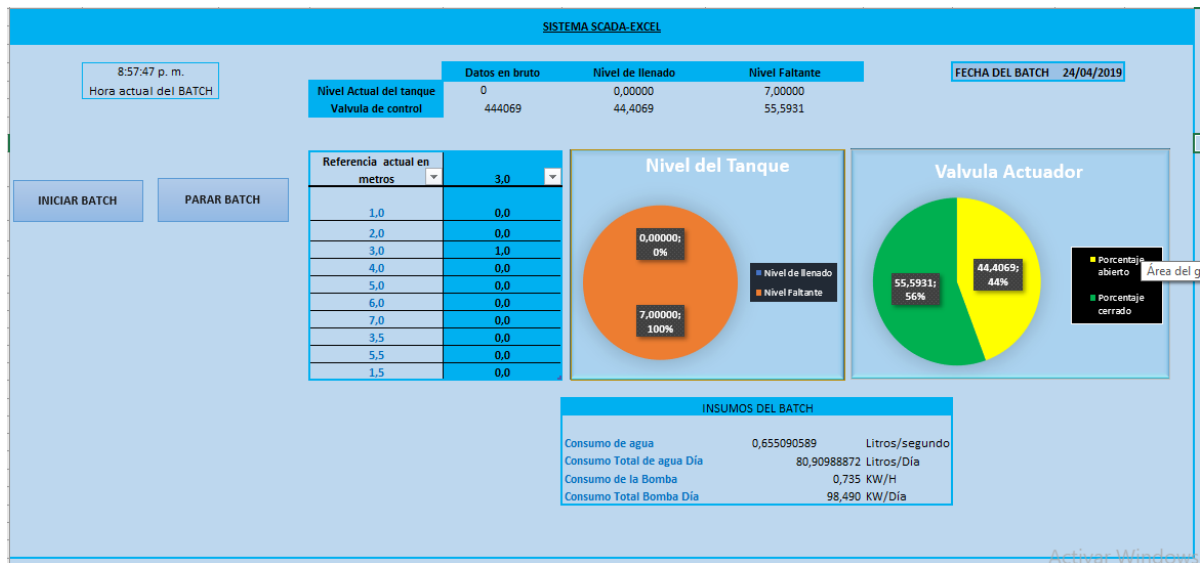
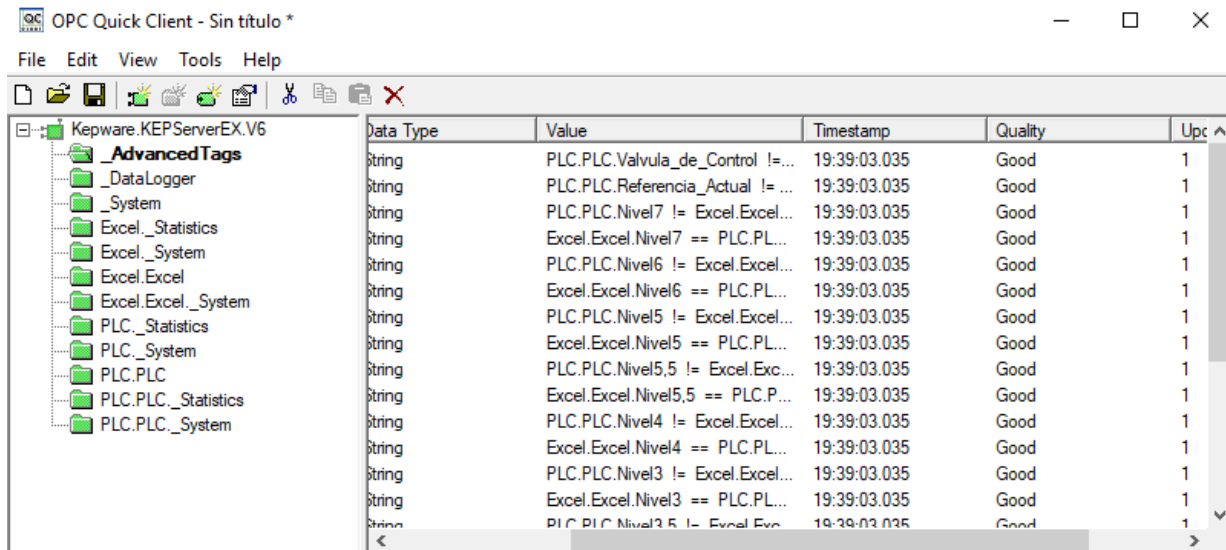


Figura 20 Verificación de conexión Exel-PLC

Fuente: Autores

Corrobóranos que todos los tags estén en estado Good tanto del Excel como del PLC y los enlaces para saber si la conexión es optima



Data Type	Value	Timestamp	Quality	Upc
String	PLC.PLC.Valvula_de_Control !=...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Referencia_Actual != ...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel7 != Excel.Excel...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel7 == PLC.PL...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel6 != Excel.Excel...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel6 == PLC.PL...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel5 != Excel.Excel...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel5 == PLC.PL...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel5,5 != Excel.Exc...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel5,5 == PLC.P...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel4 != Excel.Excel...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel4 == PLC.PL...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel3 != Excel.Excel...	19:39:03.035	Good	1
String	Excel.Excel.Nivel3 == PLC.PL...	19:39:03.035	Good	1
String	PLC.PLC.Nivel3,5 != Excel.Exc...	19:39:03.035	Good	1

Figura 21 Lista de tags en estado Good (1)

Fuente: Autores (OPC Quick Client)

En la figura 27 comprobamos la comunicación bidireccional, enviando y recibiendo datos correctamente entre el Excel y el PLC.

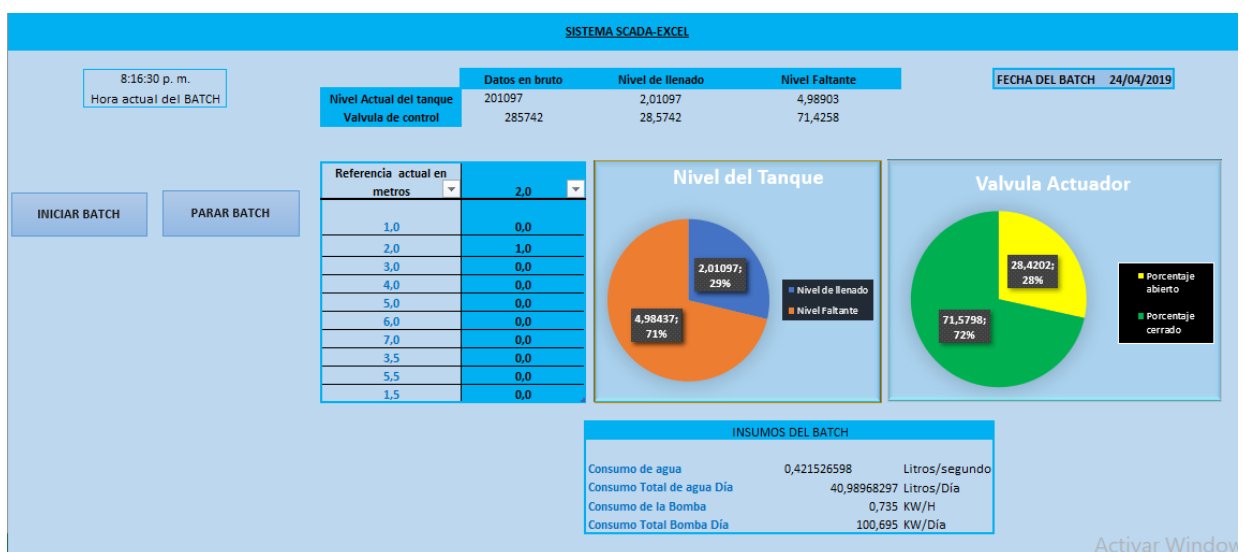


Figura 27 Comprobacion de comunicacion bidireccional

Fuente Autores

No debemos olvidar en el PLC activar la opción de permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto (PLC, HMI, OPC.)

Finalmente, el sistema nos permite validar la fecha y hora actual del batch, así como los insumos del mismo los cuales son el consumo de agua y de energía.

8.11.Despliegues de Desarrollo HMI, recetario y proceso de mezcla

En las siguientes figuras (29,30,31,32) se observará la interfaz HMI del sistema de fertirrigación en el PLC S7 1200 en donde encontraremos 3 tanques de fertilizantes con sus respectivas válvulas, 1 tanque de PH con su válvula y un tanque mezclador (figura 29).

En la figura 30 observaremos la receta en PLC donde se observará la cantidad de fertilizante suministrada al proceso.

Cabe aclarar que este es un primer vistazo al HMI, al no contar con la HMI que se plantea para el sistema, se hace el diseño en un PLC de Siemens S7-1200, pero al hacer al realizar el diseño en la HMI Flexem no cambiaría mucho.

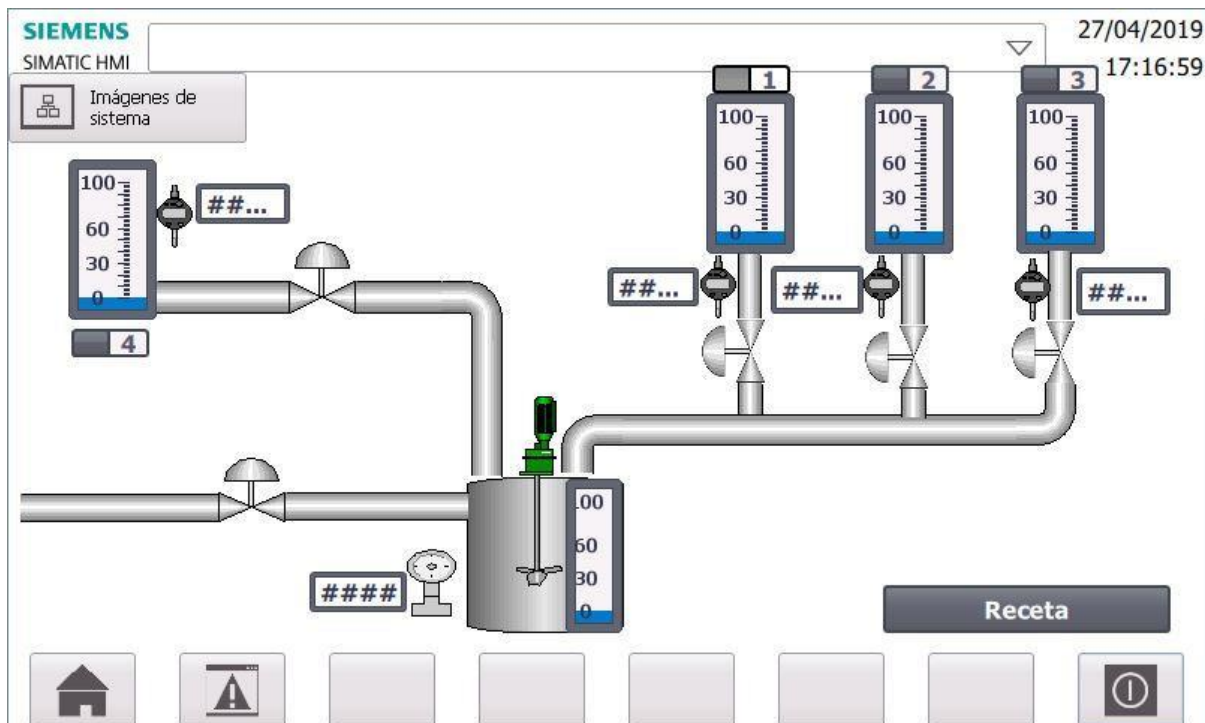


Figura 23 HMI Sistema de fertirrigación

Fuente: Autores

Nombre de receta: N.º:

Nombre de registro: N.º:

Nombre de entrada	Valor
Elemento_receta_1	0
Elemento_receta_1	0
Elemento_receta_1	0

Listo

Figura 24 Receta en PLC

Fuente: Autores

En la figura 31 se crearon los valores para la receta, con las cantidades para cada elemento de esta la cual se seleccionará en el proceso, en este caso solo se crea una receta, pero el programa de PLC nos da la libertad de crear varias con diferentes elementos o cantidades.

Programación y elementos de receta programados en PLC 1, recepción de variables desde el HMI

Recetas								
Nombre	Nombre de visualizac..	Número	Versión	Tipo	Número máximo de re...	Tipo de comunicación	T...	
Fertilirigacion	Receta_1	1	27/04/2019 13:...	Limitado	100	Variables		
<Agregar>								
Elementos								
Nombre	Nombre de visualizac..	Variable	Tipo de datos	Longitud d...	Valor predetermi...	Valor mínimo	V...	
Fertilizante1	Elemento_receta_1	T-01	Real	4	0	-3,402823466E+38	3...	
Fertilizante2	Elemento_receta_1	TK-02	Real	4	0	-3,402823466E+38	3...	
Fertilizante3	Elemento_receta_1	TK-03	Real	4	0	-3,402823466E+38	3...	
Reductor de PH	Elemento_receta_1	T-04	Real	4	0	-3,402823466E+38	3...	

Figura 25 Elementos de la receta, seleccionado su valor

Fuente: Autores

En la figura 26 se muestra la HMI del sistema en un aplicativo web PLC, y el despliegue aplicativo WEB HMI -01 de las recetas

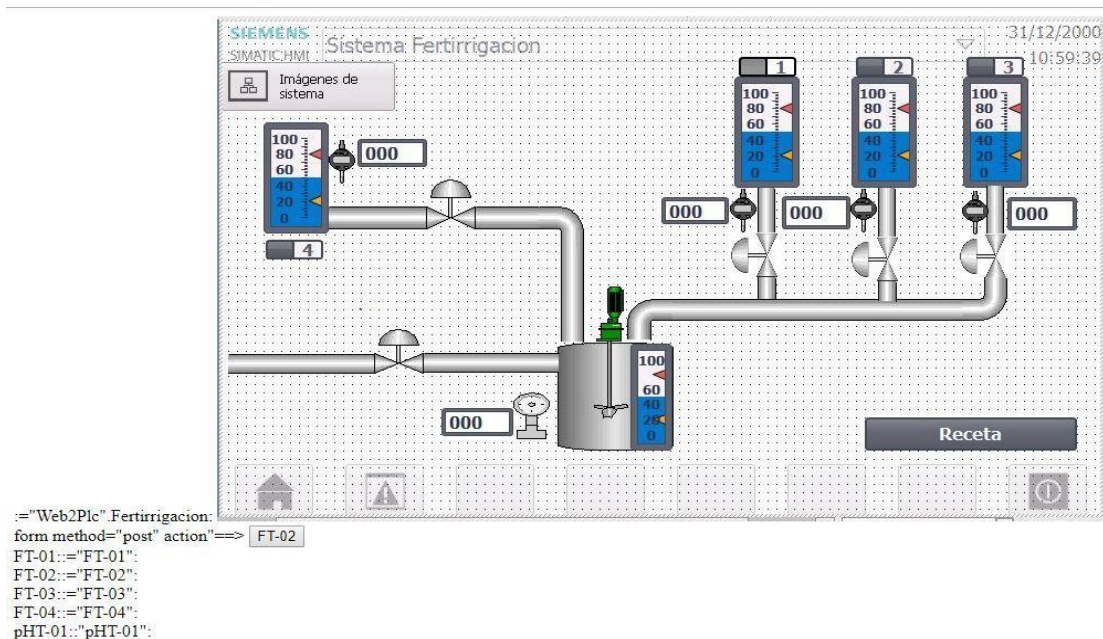


Figura 26 HMI en aplicativo WEB PLC

Fuente: Autores

8.12. Estimación de Sensores Para medición de variables Ambientales

Para seleccionar los sensores de bajo costo que permita medir variables ambientales necesarias para la parametrización o tipificación de la zona de cultivo se escoge principalmente un kit de agricultura inteligente el cual tenga la capacidad para monitorear parámetros ambientales como humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y luminosidad que tenga el cultivo.

Los sensores de humedad de suelo son útiles para reducir el desperdicio de agua mediante riego selectivo en zonas secas. Por otro lado, el control de la humedad y los niveles de temperatura pueden prevenir los hongos y otros contaminantes microbianos. Los valores medidos por las sondas de los diferentes sensores conectados, son recolectados en las unidades Plug & Sense, las cuales son alimentadas por medio de paneles solares, así mismo los datos son enviados de forma inalámbrica a la unidad central.

Para la selección de los dispositivos con los cuales realizar el diseño de la red inalámbrica de sensores para la adquisición y monitoreo remoto de las variables ambientales, debe cumplir con las características esenciales del protocolo de telecomunicaciones LoRaWAN.

Las especificaciones técnicas para el sistema de monitoreo es el siguiente:

- Voltaje de operación: 2.7 – 3.6 Vdc
- Corriente de operación: 40mA a 3.3 Vdc
- Alcance máximo con obstrucción (interior) 40 m
- Alcance máximo con visión directa (aire libre) 120 m.

- Entradas/salidas digitales: 9
- Entradas análogas: 4 (con conversor análogo/ digital de 10 bits).
- Velocidad de transmisión: 250 Kbps.
- Frecuencia de operación: 2.4 GHz

I. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11

Sensor digital de temperatura y humedad. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán mínimas cada 2 segundos.

Características

- **Alimentación:** $3.3V_{dc} \leq V_{cc} \leq 6V_{dc}$
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0.5$ °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de sensado: 2s

II. Sensor humedad de suelo SEN-13322

Este sensor puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea. Es un sensor de baja tecnología, pero es ideal para el seguimiento de un jardín urbano o un cultivo. Se trata de una herramienta indispensable para saber el estado de humedad del suelo. Cuenta con dos sondas para pasar corriente eléctrica a través del suelo circundante, y luego lee la resistencia para obtener el nivel de humedad. Más agua hace que el suelo conduzca la electricidad con mayor facilidad (menos resistencia), mientras que el suelo seco es un mal conductor de la electricidad (más resistencia). Será útil para recordarle que debe regar las plantas o para monitorear la humedad del suelo en su jardín o cultivo.

Especificaciones

- Fuente de alimentación: 3,3 V o 5 V
- Señal de tensión de salida: 0 ~ 4.2v
- Corriente: 35 mA

- Salida analógica
- Tamaño: 60x20x5mm (2.36x0.79x0.2 ")
- Acabado superficial: Oro de la inmersión

III. Sensor de lluvia óptico RG-11

El RG11 monta un sensor óptico por lo que no requiere mecánica, ni químicos o conductores. Por consiguiente, es mucho más robusto, sensible y fiable que cualquier otra tecnología. El sensor es extremadamente sensible, sin embargo, es absolutamente resistente a los empujones y el movimiento. No hay conductores expuestos a corrosión. No requiere ningún tipo de mantenimiento.

Especificaciones

- Funciona a 3.5 a 5 VDC Con protección de polaridad inversa
- Corriente nominal 15mA, alrededor de 1,5mA en modo reposo micro energía
- Salidas: cierre de relé, contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados
- Rango de temperatura de funcionamiento -40° a 60°C
- Proporciona medida instantánea de nivel de precipitación en litros/m2/hora

IV. Sensor de Luminosidad

Un LDR es un dispositivo cuya resistencia varía de acuerdo con la cantidad de luz que reciba. Son muy útiles para proyectos de control de iluminación, seguidores solares, interruptores crepusculares entre otros.

La salida digital posee solo 2 estados: activo/apagado, el cambio de un estado a otro depende del umbral que se fije con el potenciómetro del módulo. La salida digital puede utilizarse para controlar un relay y así realizar una acción dependiente de la intensidad de luz.

Características:

- Capaz de detectar la luminosidad ambiente y la intensidad de la luz
- Sensibilidad ajustable (mediante potenciómetro digital azul)
- Tensión de funcionamiento 3.3V-5V
- salidas de conmutación digitales (0 y 1) -D0
- Con el agujero de perno fijo para una fácil instalación
- Tamaño pequeño placa PCB: 3cm * 1.6cm
- Características de tensión amplia gama comparador LM393

8.13. Diagrama P&ID

El siguiente diagrama de flujo se muestra el proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental. El diagrama está compuesto en 4 partes como se muestra a continuación.

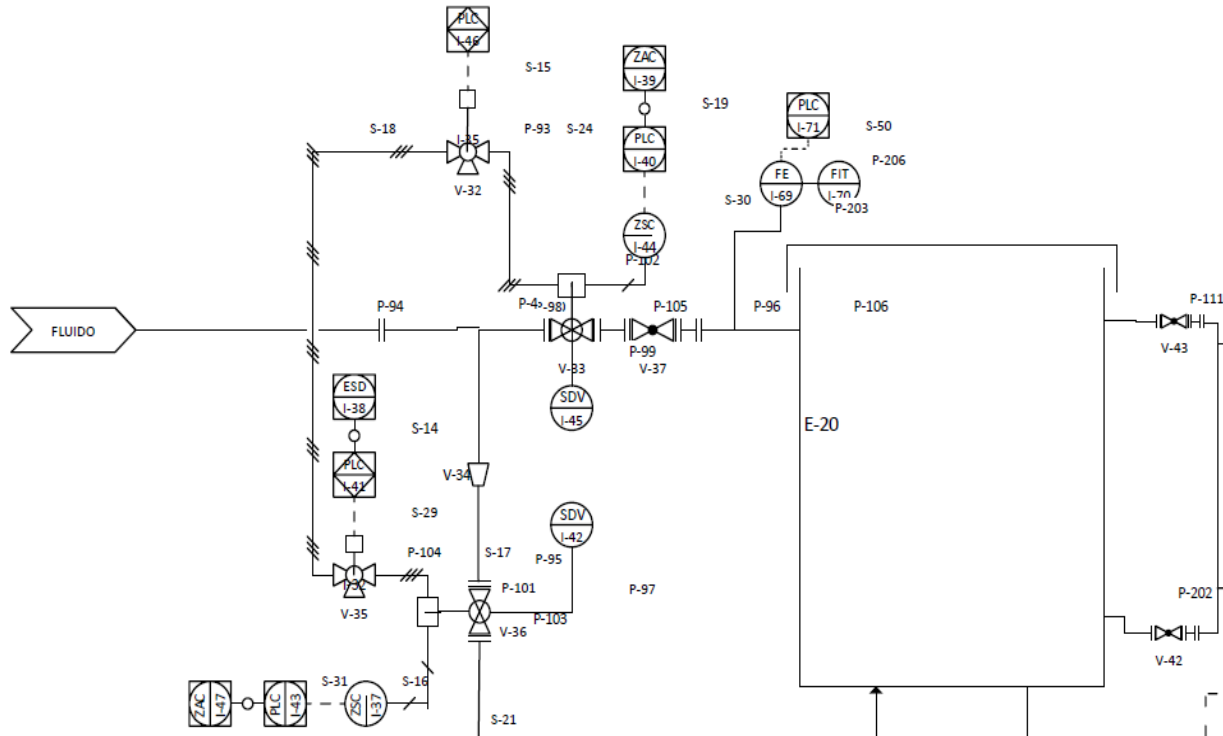


Figura 27 P&ID (Parte 1)

Fuente: Autores

Parte 1

En este fragmento el objetivo principal es controlar el llenado del tanque, a un ritmo constante y preciso sin que se presenten fugas; este con un sistema que permiten que pueda lavar el contenedor de agua sin ningún problema y cerrando o accionando el llenado del tanque de agua.

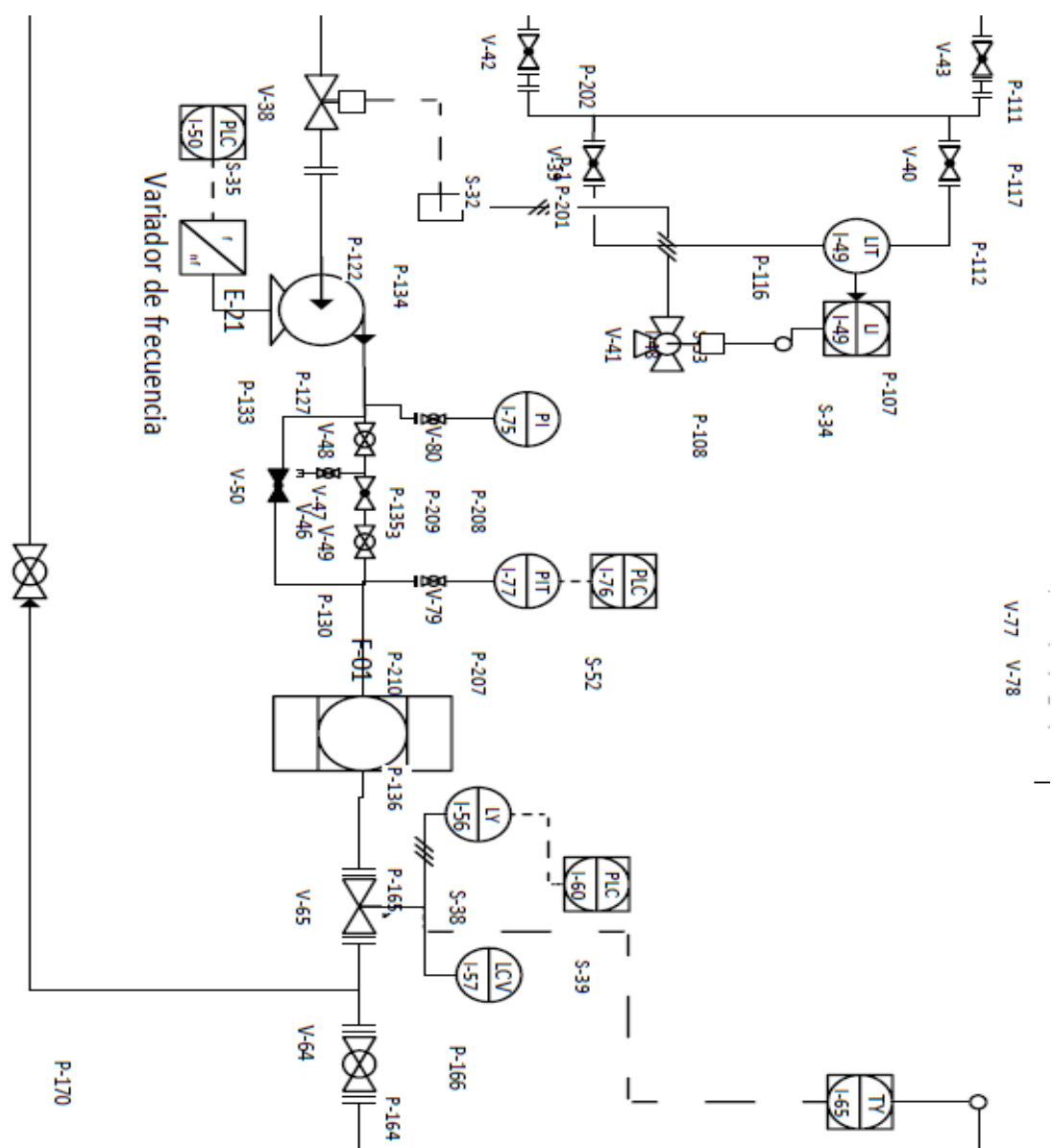


Figura 28 P&ID (Parte 2)

Fuente: Autores

En este segmento los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares que retiran y retienen los contaminantes. Al terminar estos procesos, el agua se pasa a través de filtros de manera que las partículas restantes se adhieran por sí mismas al material de filtro

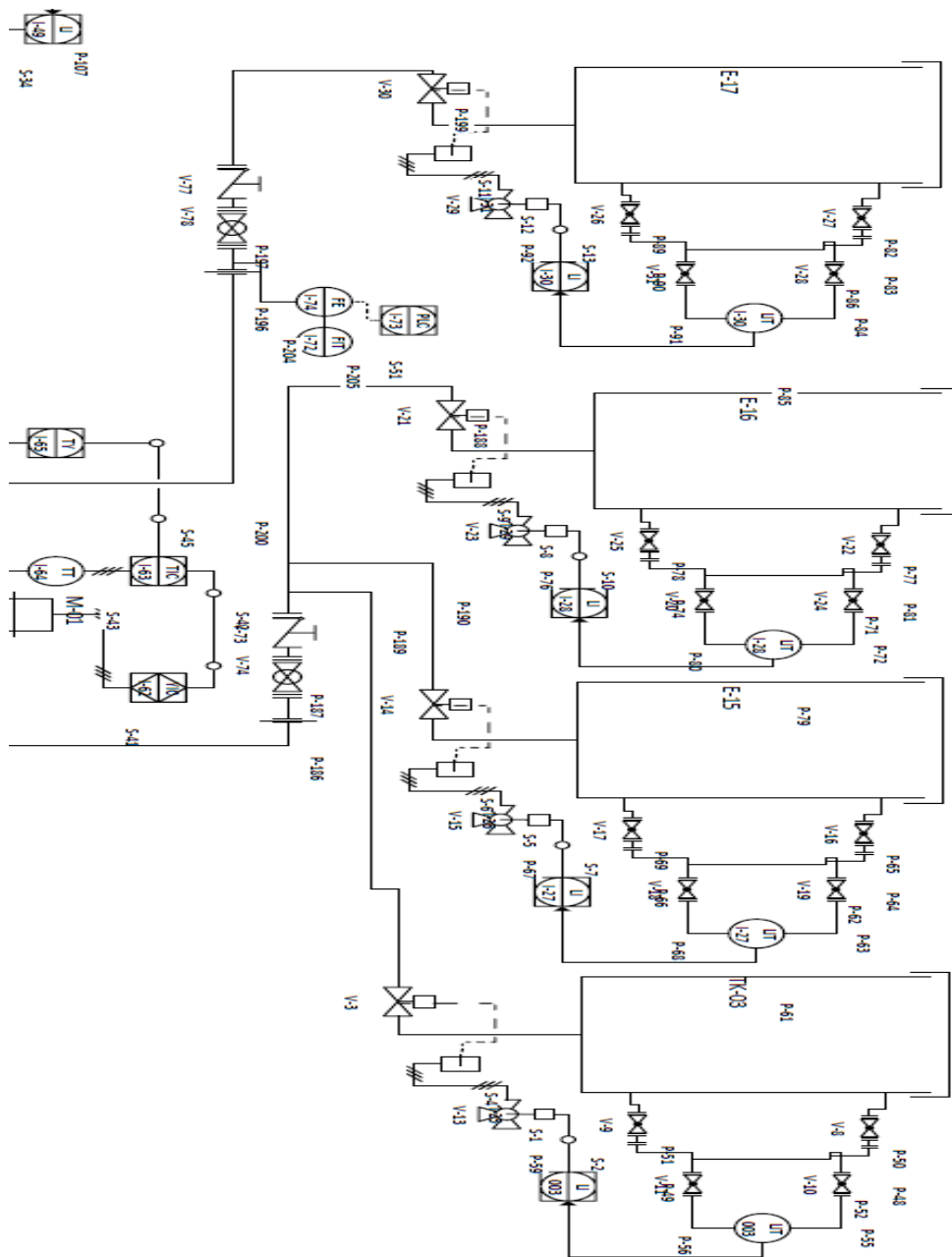


Figura 29 P&ID (Parte 3)

Fuente: Autores

En este subsistema esta desarrolla con la intensión de proporcionar los diferentes fertilizantes, para esto es necesario la utilización de 3 tanque cada uno con su sistema de precaución en caso de emergencia, también es necesario un 4 tanque el cual mantiene una solución química en caso de que el PH del agua no sea el optimo

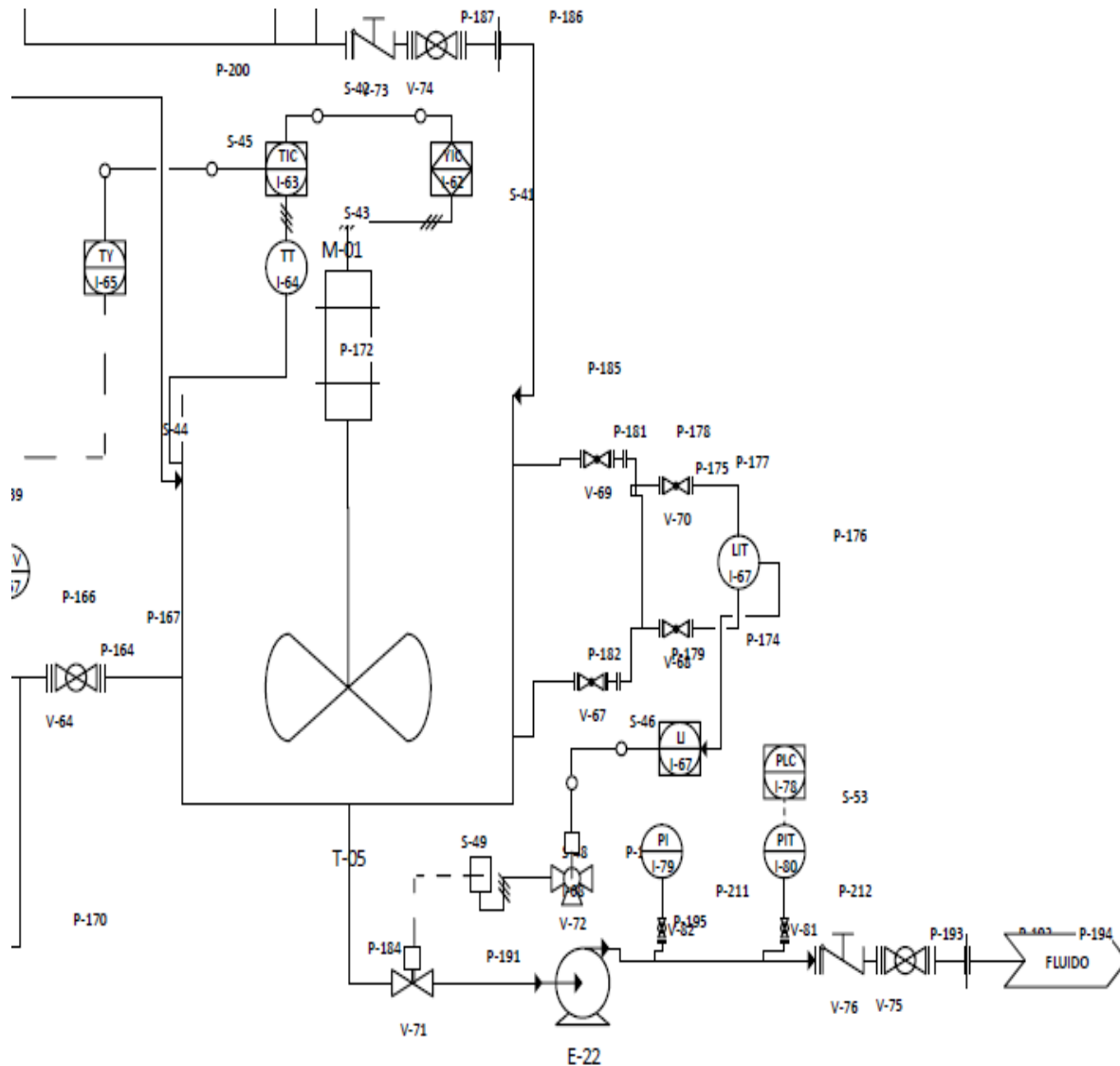


Figura 30 P&ID (Parte 4)

Fuente: Autores

En este segmento el tanque es el encargado de dosificar y mezclar los compuestos fertilizantes, el controlador (PLC-001) es alimentado con la información ambiental y de acuerdo a esta información comunica a la interfaz humana maquina (HMI-001) la información de proceso

8.14. Diagrama de Planta

En el diagrama de planta presentado observaremos cómo será la distribución de los diferentes tanques, el cuarto de control, la bodega de almacenamiento de insumos, la ubicación de instrumentos de seguridad y las entradas y salidas de la planta.

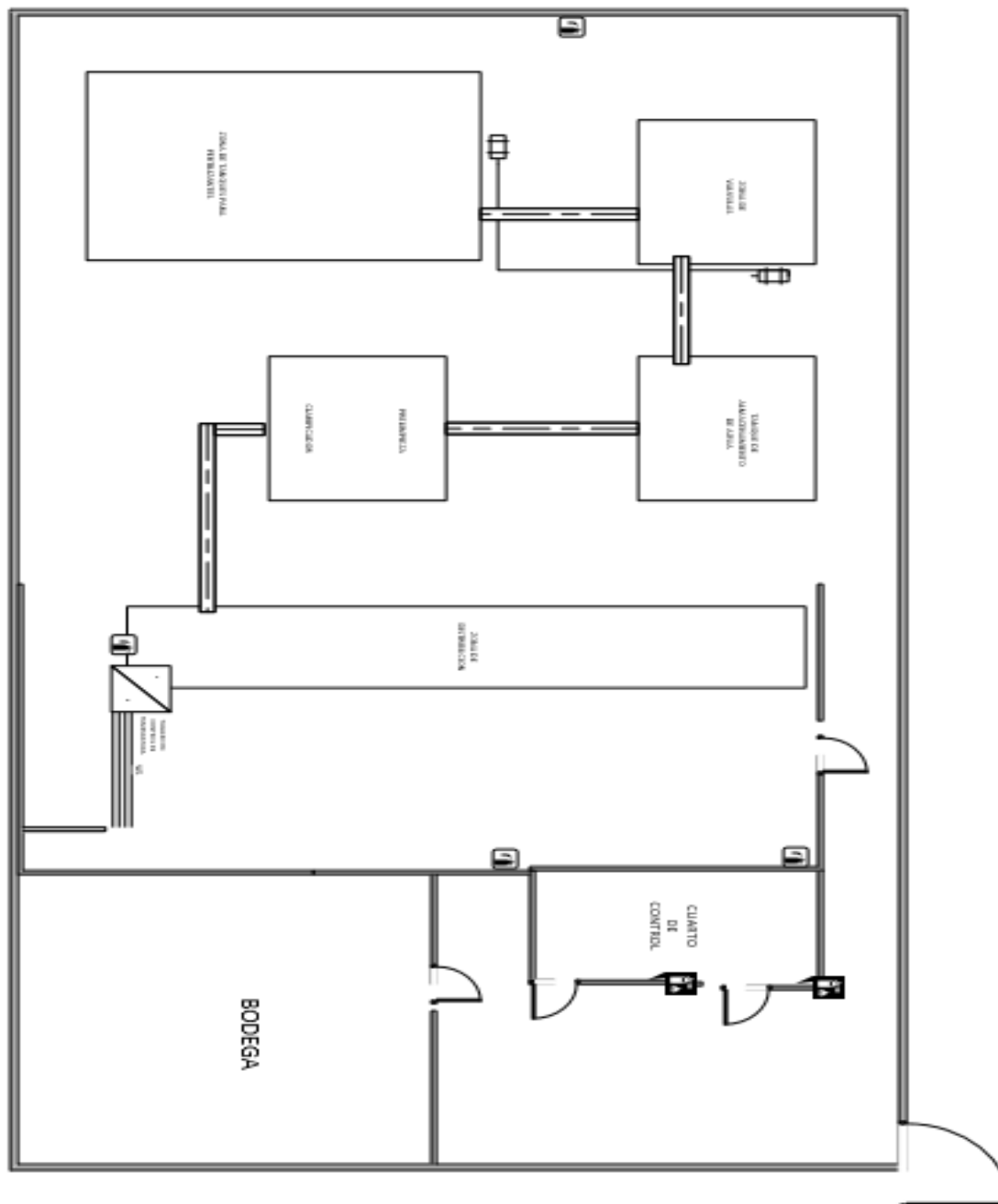


Figura 31 Diagrama de Planta

Fuente: Autores

8.15.Listado de Instrumentos

I. Accesorios de Instalación

En la tabla 3 se muestra los accesorios necesarios para la instalación del sistema en un cultivo de una Hectárea.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (pesos)	COSTO TOTAL
1	Tubería PVC SDR 64 2"	m	17	\$ 15.000	\$ 255.000
2	Manguera de PE de 16 mm	m	10	\$ 32.000	\$ 320.000
3	Tee lisa 2" PVC	UN	20	\$ 6.500	\$ 130.000
4	Codo de 45° PVC 2"	UN	20	\$ 7.500	\$ 150.000
5	Codo de 90° PVC 2"	UN	20	\$ 9.000	\$ 180.000
6	Adaptadores macho C/R PVC 2"	UN	20	\$ 7.000	\$ 140.000
7	tapón hembra C/R PVC 2"	UN	20	\$ 6.000	\$ 120.000
8	Filtro de disco 2" 120 mesh ,FLF "	UN	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
9	Rollos de teflón 3 / 4 , por rollo	UN	10	\$ 6.500	\$ 65.000
10	Conector inicial PVC y empaque 2" PVC	UN	20	\$ 6.500	\$ 130.000
11	Tubo de silicon, para PVC media presión , trabajo industrial	UN	5	\$ 9.000	\$ 45.000

Tabla 2 Accesorios de instalación

Fuente: Autores

II. Instrumentos

La tabla 4 Se especifican los instrumentos necesarios para que el sistema funcione con las especificaciones mencionadas este documento.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	Goteros Pro K de 8 l/h	UN	3740
2	Válvula independiente de presión Electrónica, 2" roscada cuerpo pvc actuador motorizado, 0 – 100%	UN	10
3	Inyector tipo Venturi 2"+ kit/suc	UN	5
4	Indicador de presión Rango 0-100 psi, con fluido glicerina, para instalación succion y descarga de bombas.	UN	4
5	Inyector tipo Venturi 2"+ kit/suc	UN	3
6	Motobomba De Agua Centrifuga 3/4hp 100l/min Toolcraft Tc2664	UN	2
7	Sensor de PH	UN	3
8	Sensor de temperatura °C de inserción, medición de tanque	UN	5
9	Sensor de Nivel, tipo flotador indicador local de regleta. Para instalación en tanques	UN	5

Tabla 3 Lista instrumentos

Fuente: Autores

III. Equipos de Control y Comunicación

Para los sistemas de comunicación y control se realiza la tabla 5, evidenciado los equipos necesarios para el funcionamiento del sistema.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	MARCA 1	COSTO UNITARIO	MARCA 2	COSTO UNITARIO	MARCA 3	COSTO UNITARIO
1	Gateway lora, 10000 puntos, Intemperie IP 66.	UN	1	INBEEBOX	\$ 3.200.000	ADVANTECH	5'200.000	-	-
2	Set sensores parámetros de la tierra.	UN	1	IOT, Propios	\$ 3.200.000	-	-	-	-
3	Rtu para registro de parámetros de calidad de la tierra, 1 GB, mes de almacenamiento, comunicación lora, I/O digital, análogas + gabinete.	UN	1	INBEEBOX	\$ 2.100.000	-	-	-	-
4	Unidad de meteorología	UN	1						
5	Plc control proceso de dosificación y bombeo, industrializado, comunicación serial 485 modbus rtu, I/O análogas, digitales. 32K pasos, fuente 24VDC, NPN + licencia.	UN	1	flexem	\$ 800.000	Siemens, no incluye licencia	\$ 1.800.000	Delta	\$ 1.200.000
6	Work Station, PC escritorio. 4 GB ram, core i5, USB 3.0, CD. WIN 10.	UN	1	HP	\$ 1.500.000	Janus	\$ 1.200.000	Dell	\$ 1.800.000

Tabla 4 Lista Equipos de control y comunicación

Fuente: Autores

8.16. Propuesta de Valor

En la propuesta de valor mostramos como el sistema de fertirrigación mejoraría la producción agrícola logrando reducir el tiempo de producción, bajar la mano de obra, ahorrar en la cantidad de insumos consumidos, reducción en el consumo de agua lo que provoca menores costos y una recuperación de la inversión del sistema.

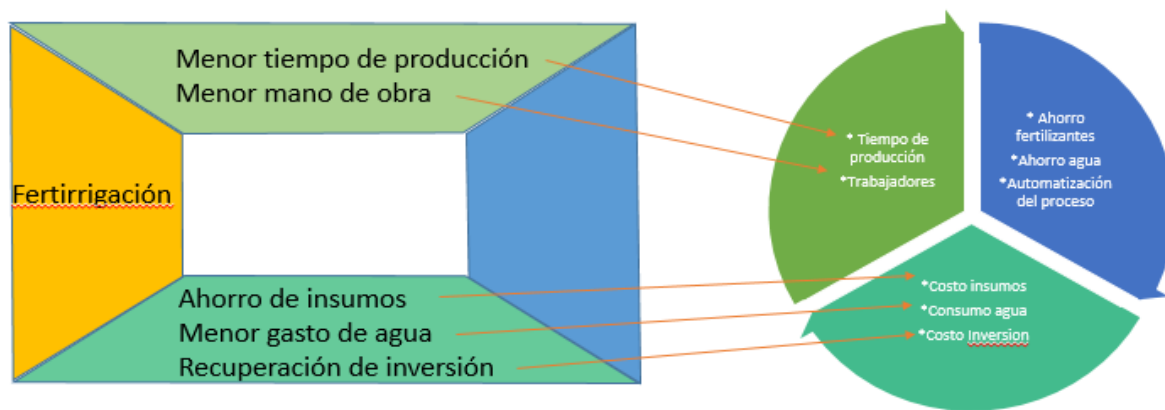


Figura 32 Propuesta de valor

Fuente: Autores

En el modelo Canvas social elegimos la comunidad a la que va dirigida el proyecto, el valor social que se obtendrá, como la generación de empleos y la reducción en el consumo del agua, el impacto social y obtendremos el usuario final. Este modelo nos ayuda a observar el impacto social que tendrá el proyecto.



Figura 33 Modelo Canvas Social

Fuente: Autores

El modelo Canvas económico nos mostrara cuales son nuestros Partners (socios o personas involucradas), los costos que se tendrán en el desarrollo, los canales de comercialización, su propósito de valor y los recursos requeridos.

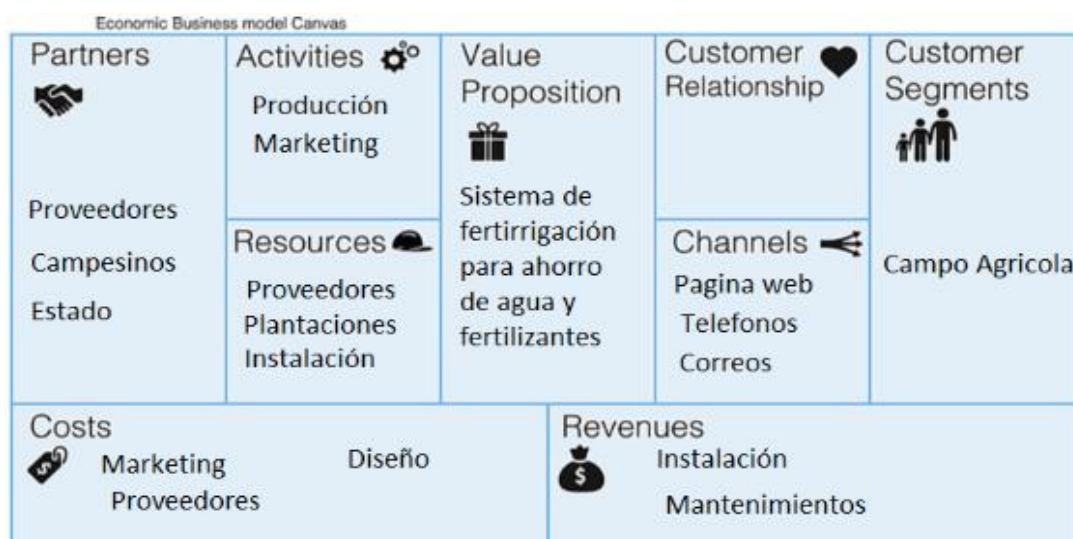


Figura 34 Modelo Canvas Económico

Fuente: Autores

En el modelo Canvas ambiental obtendremos la función de valor del proyecto, la distribución, los impactos y beneficios ambientales que se tendrán en poner en marcha el proyecto.

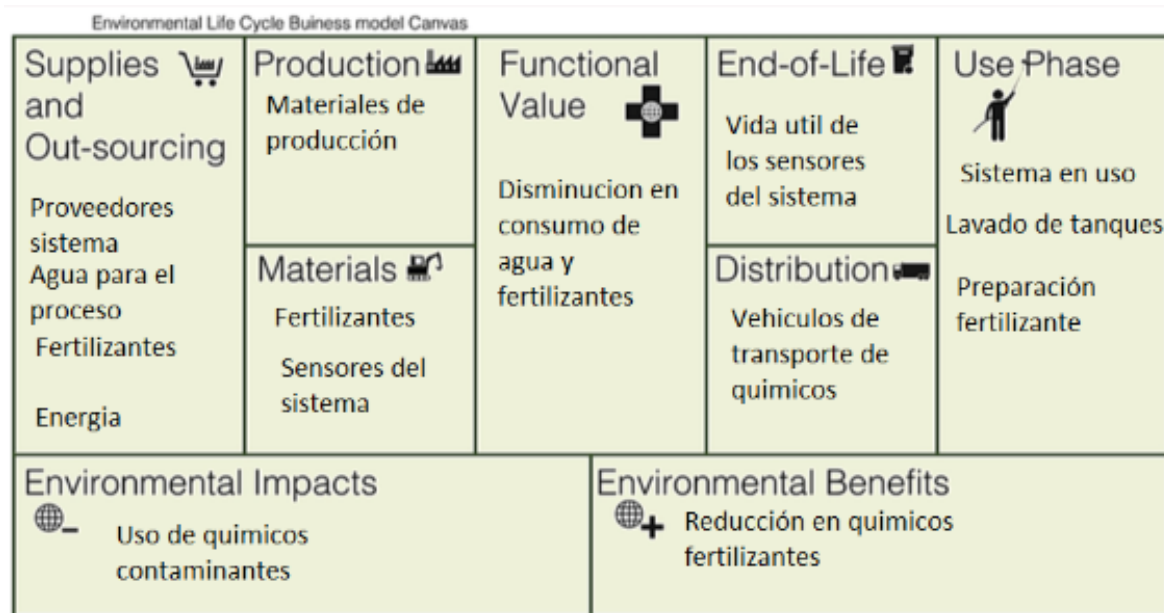


Figura 35 Modelo Canvas Ambiental

Fuente: Autores

8.17.Stakeholders y Estudio de Mercado

I. Stakeholders

Los stakeholders son todas aquellas personas, grupos y entidades que tienen intereses de cualquier tipo en una empresa y se ven afectados por sus actividades. Son interesados, directos o indirectos, en que la empresa funcione ya que en caso contrario les afectaría directamente

- **Gobierno:** El interés político y económico de los gobiernos de transito por hacer al campesino más competitivo en la producción de diferentes productos agrícolas. Colombia es un país agrícola por tradición y necesita ser competitivo a niveles internacionales.
- **Clientes:** Existen iniciativas privadas para aumentar la producción por Ha sembrada.
- **Comunidades locales:** No solo el gobierno central se podría interesar, alcaldes o gobernadores podrían abanderar un proyecto de este tipo, con el fin de desarrollar sus regiones y hacerlas competitivas.

- **Manufactura:** las empresas que fabrican sistemas de almacenamiento de agua y sistemas de riego son aliados al momento de tomar el siguiente paso, crear un sistema inteligente que manipule y controle los sistemas que ellos fabrican.
- **Empleados:** Al ser un sistema que reducen y optimizan el uso de recursos como el agua, se crea una atmosfera de responsabilidad y conservación ambiental.
- **Accionistas:** Al ser un área de negocios en crecimiento y creación, se puede captar el interés de diversos grupos de inversionistas que estarían emocionados por hacer parte de una propuesta innovadora y responsable.

II. Estudio de Mercado

Para realizar el estudio de mercado se investigaron diferentes empresas a nivel internacional, las cuales realizan partes del mismo proceso.

A. Autoagronom

AutoAgronom Israel Ltd. proporciona sistemas de riego para agricultores en Israel. Los productos de la compañía muestrean y monitorean los cambios químicos y físicos en los niveles superiores de la zona de la raíz del cultivo en tiempo real. Recopilan datos del suelo mediante diversos sensores, como tensiómetros, oxígeno, pH, conductividad y concentraciones de nitrato; realizan análisis computarizados y activan automáticamente el riego y la fertilización utilizando algoritmos de control basados en lógica difusa. También ofrece servicios, que incluyen diseños hidráulicos, gestión de proyectos, monitoreo agronómico en el sitio y en línea, y soporte técnico 24/7. La compañía fue fundada en 1988 y tiene su sede en Yokneam, Israel. Fue adquirida por Yuanda Group de china en el 2018. (<https://www.autoagronom.com>). Una instalación para fertirrigueo de 2 Hectáreas ronda los USD 45.000, incluye Sensorica, controladores y ajuste de sistema. El sistema de riego y bombeo es opcional.

B. Huete International

Empresa española especialista en proyectos llave en mano de fabricación y montaje de invernaderos. Ofrece sistemas de riego y fertirrigueo. Como especialistas en proyectos agrícolas de tipo ECP incursionan a nivel mundial trabajando en 25 países entre ellos Colombia. Cuentan con planta de fabricación en México y España donde desarrollan y construyen la ingeniería necesaria para materializar sus proyectos. Desarrollaron un sistema de

control para invernaderos que permite tener alto porcentaje de condensación del agua irrigada y mejora la retención de líquidos en la tierra.(<http://jhuete.es/invernaderos/#sistemas-riego>)

C. SMART fertilizer manager

<https://www.smart-fertilizer.com/es/fertigation>

SMART es una empresa privada, establecida en 2014. Enfocada en el desarrollo de software para sistemas de fertilización de precisión.

SMART desarrollo un software que selecciona y calcula al instante la mezcla óptima de fertilizantes para fertiriego de cada tipo de cultivo según los datos del campo:

La composición y calidad de agua, los análisis de suelo o sustrato, el clima, los requerimientos nutricionales del cultivo en cada etapa de crecimiento, los parámetros del sistema de inyección entre otros.

Los usuarios evitan las combinaciones químicas indeseables, la sobre-fertilización o sub-fertilización, el daño al suelo o a los recursos del agua, las obstrucciones de los emisores de riego, la acumulación de salinidad y muchas otras adversidades que presenta la fertirrigación. El software de fertirrigación de SMART mejora los rendimientos y la calidad de cultivo, mientras reduce significativamente los gastos en fertilizantes y aumentando el potencial de crecimiento en todos los tipos de sustratos de cultivo. (<https://www.smart-fertilizer.com/es/fertigation>)

Ofrecen

- El desarrollo de software agrícola profesional.
- servicios de consultoría agrícola.
- El software se ofrece entre USD 400 y USD 1600 anual y depende del tamaño de la granja a calcular.

8.18. Captura de Valor y Análisis de Viabilidad de Riesgo

I. Objetivos de la Organización

- Convertirse en una de las marcas líderes en el mercado nacional de los sistemas de Fertiriego.
- Superar el margen anual de ventas estipulado en al menos 50%.
- Establecer un nicho de consumo internacional en un mercado incipiente.
- Superar a la competencia en visibilidad y ventas dentro del mercado on-line de los sistemas de Fertiriego nacional e internacional.
- Imponer una tendencia de consumo novedosa, rentable y respetuosa del medio ambiente.
- Rentabilizar el modelo de producción hasta convertirlo en un sistema autónomo.
- Incrementar el margen anual de ingresos de manera responsable y proactiva.

- Convertirse en el máximo y más responsable empleador del país e imponer una cultura de honestidad y trabajo entre los empleados.
- Ofrecer alternativas de consumo saludable y respetuoso en medio del abrumador mercado de la comida rápida.

El proyecto contara con 3 socios los cuales tendrán la siguiente participación:

Alejandro Herrera 33% responsable de los diseños y parametrización del sistema.

Wilson Poveda 34% líder del proyecto con participación en gestión y administración del proyecto

Oscar García 33% responsable de documentación y análisis de resultados para mejoramiento de los diseños.

II. Viabilidad del Proyecto

1. Entorno ambiental: El proyecto apunta a la disminución del uso de agua en el cultivo de cebolla larga, así como la utilización de fertilizantes utilizados para el aseguramiento de la producción. Esto no solo mejora ambientalmente el uso de los recursos naturales, si no que impide que los productores utilicen grandes cantidades de agua de los afluentes o cuerpos de agua cercanos a la zona de cultivo, la reducción de los fertilizantes impide que los excedentes sean vertidos a estos cuerpos de agua o que la tierra cultivable se sature de compuestos que impidan el crecimiento adecuado de la siguiente cosecha.
2. Entorno Económico: al ser necesario menos consumo de agua y fertilizantes el agricultor ve reducido el gasto fijo para bombeo, compra y distribución de agua y fertilizantes en el campo cultivable. Esto permite al agricultor ser más competitivo en el precio del producto cultivado o incrementar el margen de ganancia actual de la carga de cebolla.
3. Entorno social: teniendo mejores márgenes de ganancia y por consecuencia mejores oportunidades de competencia de precio con producciones de cebolla de otros países como el caso de Ecuador o Venezuela. El municipio de Aquitania Boyacá asegura que la inversión en este cultivo siga siendo atractiva y por consiguiente se beneficiarían la cabecera municipal, el comercio y las entidades territoriales. Los productores de cebolla serian el foco de competencia para la región andina.

III. Costo del Proyecto

Inversiones Desarrollo de sistema					
Tipo	Marca o referencia	Periodicidad de inversion	Cantidad	Costo unitario del equipo	Costo total
Equipos electronicos+Montaje+tanques					
Instrumentación	N/A	1	1	\$ 15.000.000,00	\$ 15.000.000,00
Controladores+gabinete	N/A	1	1	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00
Equipos de comunicación	N/A	1	1	\$ 4.000.000,00	\$ 4.000.000,00
Cables de instrumentación	N/A	1	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Cables electricos	N/A	1	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
Tableros electricos + protecciones	N/A	1	1	\$ 4.000.000,00	\$ 4.000.000,00
Tuberia PVC agua 2"	N/A	1	1	\$ 7.000.000,00	\$ 7.000.000,00
Uniones universales+uniones+sellos	N/A	1	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Tanques PVC 1m3	N/A	1	4	\$ 1.200.000,00	\$ 4.800.000,00
Bomba+variador frecuencia	N/A	1	1	\$ 7.500.000,00	\$ 7.500.000,00
Estaciones de trabajo (work station)	N/A	1	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
					\$ 60.300.000,00
Otras Inversiones					
Diseños sistema irrigación		1	1	\$ 7.200.000,00	\$ 7.200.000,00
Herramientas menores		1	1	\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00
Herramienta especializada		1	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Computadores para desarrollo		1	1	\$ 12.000.000,00	\$ 12.000.000,00
					\$ 28.200.000,00
Costos de Operación					
Salarios Ingenieros de desarrollo		1	2	\$ 3.500.000	\$ 7.000.000,00
Asesoría, especialidad agronomia		1	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000,00
Asesoría, especialidad, Ing Química		1	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000,00
Tecnico electricista		1	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000,00
Prestaciones sociales		1	1	\$ 3.055.000	\$ 3.055.000,00
Imprevistos		1	1	\$ 600.000	\$ 600.000,00
					\$ 15.855.000,00
Impuestos					
Costo de arrendamiento		1	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
Costo de compra		1	1	\$ 4.500.000,00	\$ 4.500.000,00
Pólizas		1	1	\$ 800.000,00	\$ 800.000,00
Licencias y permisos especiales		1	1	\$ 3.600.000,00	\$ 3.600.000,00
					\$ 10.900.000,00
Gastos Administrativos					
Gasto de administración del proyecto		1	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
Personal contable+revisoría		1	1	\$ 2.200.000,00	\$ 2.200.000,00
Prestaciones		1	1	\$ 4.680.000,00	\$ 4.680.000,00
Otros(viajes, caja menor)		1	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
Equipos de trabajo(computadoras)		1	1	\$ 400.000,00	\$ 400.000,00
					\$ 14.280.000,00
Costos de Operación totales					\$ 41.035.000,00
Valor Total por período de tiempo(año)					\$ 492.420.000,00
Costos de operacion por el tiempo de duracion de desarrollo (6 meses)			6	\$ 41.035.000	\$ 246.210.000,00

IV. Principales Riesgos del Proyecto

ASPECTO	RIESGO
Apoyo Ejecutivo	• Los directivos no apoyan el proyecto. El equipo del proyecto puede no tener la autoridad para lograr los objetivos del proyecto. En tales casos, el apoyo ejecutivo es fundamental para el éxito del proyecto. • Los ejecutivos pierden el interés en el proyecto y así comienzan a ignorar las comunicaciones del proyecto y reuniones. • conflictos entre los actores del proyecto perturba a los miembros de la Junta Directiva o hay un desacuerdo sobre los problemas del proyecto a nivel ejecutivo. • Un ejecutivo clave abandona la empresa, esa desvinculación se convierte en un gran problema para el proyecto.
Alcance	• El equipo del proyecto añade sus propias características al producto y estas características no son requerimientos o solicitudes de cambio. • Estimaciones inexactas es un riesgo común en realidad el proyecto. • Puede afectar drásticamente la programación del proyecto y también los costes. • Faltan actividades necesarias en la definición del alcance.
Gestión de Costos	• Las estimaciones y pronósticos de costo son inexactos. • variaciones en el tipo de cambio pueden tener un impacto importante en el proyecto
Gestión de Cambio	• Un gran número de solicitudes de cambio dramáticamente aumenta la complejidad del proyecto y distrae las características clave. • El cambio puede ser el origen del conflicto de las partes interesadas. • Debido a un gran número de solicitudes de cambio como de prioridades, tenemos la percepción de que el proyecto fracasó. Cuando el calendario y el presupuesto se cambian continuamente - las partes interesadas pueden sentir que el proyecto ha perdido sus objetivos originales. • El Control de cambio es esencial para la gestión del cambio para grandes proyectos. • Dónde se priorizan los cambios no esenciales, también tendremos un impacto en la ejecución de proyectos. • Las solicitudes de cambio que no tienen sentido en el contexto de los requisitos.

8.19. Estructura Desglosada del Proyecto

En la estructura desglosada del sistema de fertirrigación observaremos las 6 partes más relevantes del proyecto: Dirección del proyecto, Valor del producto, Diseño de modelo, Software, Instalación y documentación que se deben tener en cuenta para el desarrollo final del proyecto.

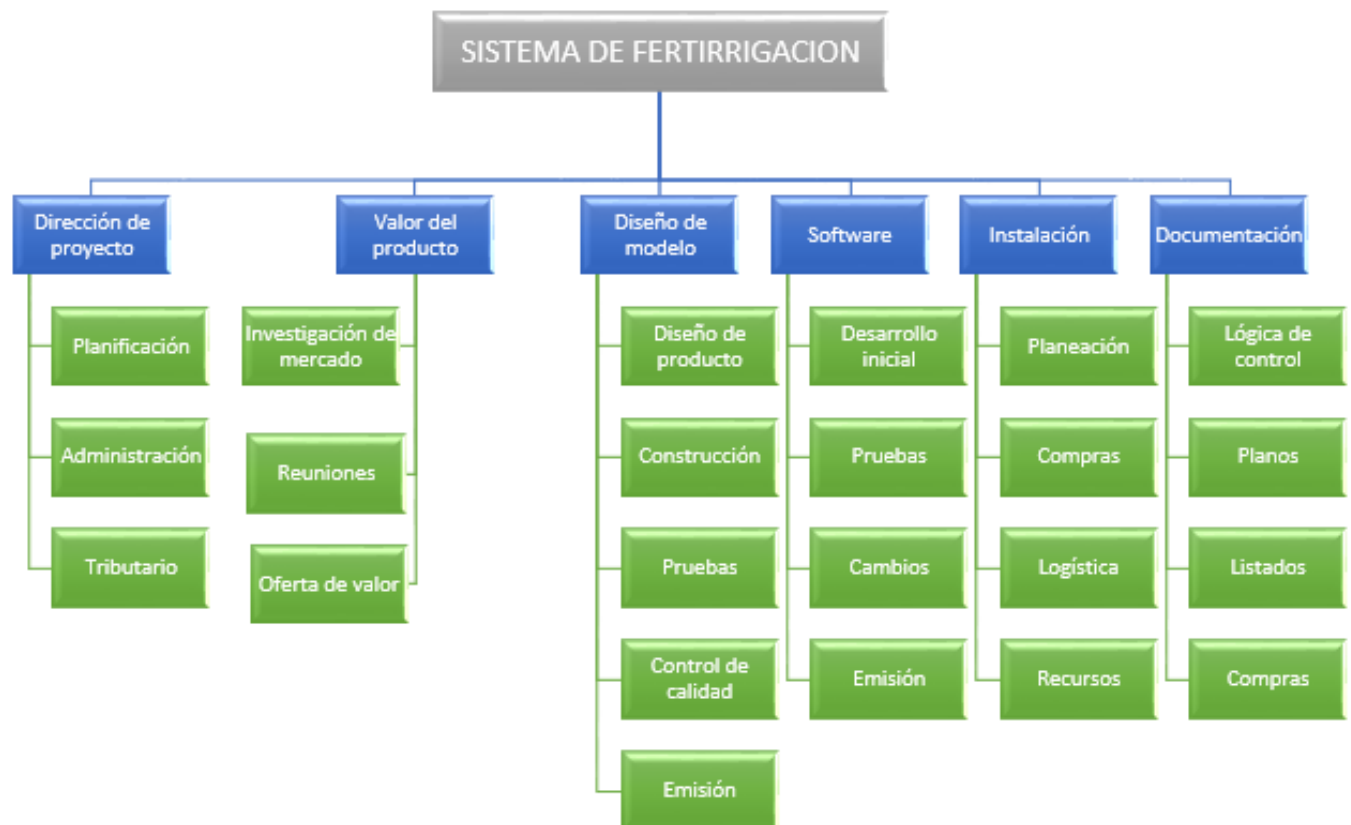


Figura 36 Estructura Desglosada del proyecto

Fuente: Autores

8.20. Matriz DOFA

La matriz DOFA nos muestra de forma más detallada las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas que se encuentran en el desarrollo del proyecto.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
La aplicación del producto representa mayor productividad para el agricultor. Han permitido orientar las soluciones demostradas hacia aquellos sectores en los que se ha constatado que existe una mayor posibilidad de ahorros hídricos. Ahorros de agua, superiores al 60%. Conocimiento exacto del consumo, lo que permite comprobar la eficacia de los criterios de riego aplicados. Reduce el coste de mantenimiento, al poder controlar varios riegos desde un mismo punto (eficiencia del riego, fugas y averías). El riego se realiza mediante goteros-difusores automáticos; evitando así la necesidad de “pinchar” los aspersores tipo “bayoneta”.	Es necesario que los sistemas que se implanten resulten fiables y que el personal encargado de su mantenimiento y de la interpretación de los datos, tenga la cualificación necesaria para poder atender las posibles incidencias y requerimientos del cultivo. Instalación errónea o mantenimiento deficiente. Falta de adecuación de los componentes a las condiciones de la zona
OPORTUNIDADES	AMENAZAS

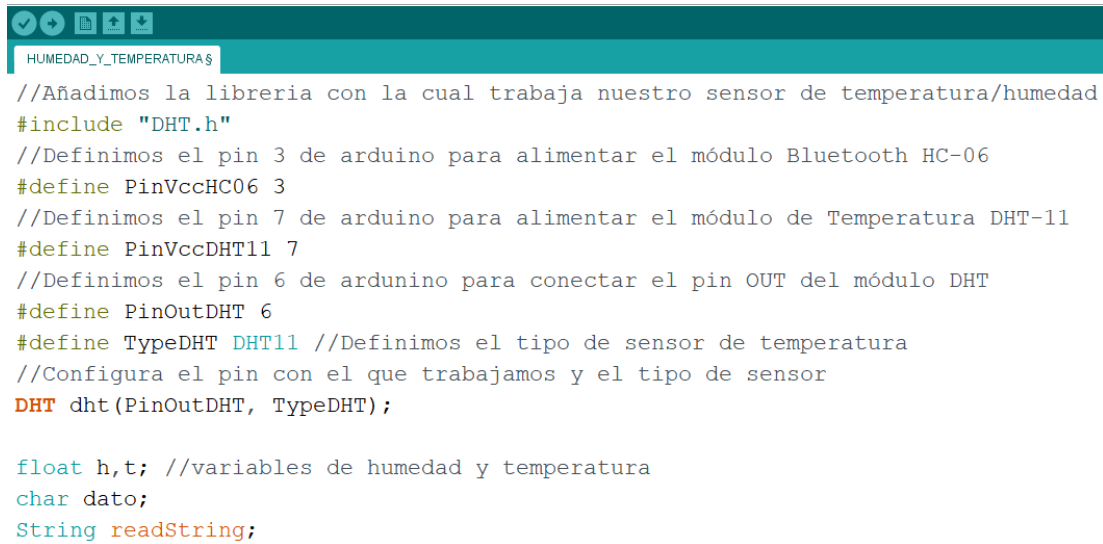
El mercado de proyectos de fertirriego en Colombia es aproximadamente de un 10% lo cual indica que no hay empresas que realicen esta clase de propósitos. Como recurso escaso e imprescindible para la vida, la demostración de sistemas que favorezcan el ahorro de agua y sensibilicen a la población acerca de la necesidad de racionalizar su uso; ha supuesto y supondrá en el futuro, un acierto que beneficiará a las organizaciones que apuesten por su implantación. El compromiso con el medio ambiente mejora la imagen de toda organización y favorece en la población, importantes sinergias medioambientalmente beneficiosas.	Puede generar reticencias empresariales, derivadas de la pérdida de competitividad por imputación de su coste en el producto final (viviendas y productos agroalimentarios); y en los consumidores, al ver encarecido el precio del producto final. Por parte del personal operario de los cultivos, pueden sentir peligrar sus puestos de trabajo. Todo avance tecnológico conlleva estos riesgos y amenazas, si bien está demostrado, que la mano del hombre resulta siempre necesaria y, es más, el recurso humano disponible podrá atender de manera más eficaz a mayor número de hectáreas. Problemas de fiabilidad del sistema o errónea interpretación de los datos: Esta amenaza, para el caso de la agricultura; lo será tan solo respecto a garantizar la fiabilidad y mantenimiento del sistema, pues los conocimientos agronómicos del responsable de la explotación, siendo elemento clave en este caso, estarán garantizados por la experiencia de la que seguro dispondrá respecto de los cultivos que aborde.
--	---

8.21. Aplicativo para Humedad y Temperatura con App Inventor

Para medir la temperatura y la humedad relativa se utilizó el módulo DHT-11 y para la conexión con el dispositivo Android utilizó el módulo HC-06.

Para la programación de la placa Arduino UNO se utilizó el IDE de Arduino, para programar el dispositivo Android utiliza App Inventor 2.

A continuación, describimos el código que se realizó en Arduino



```

//Añadimos la libreria con la cual trabaja nuestro sensor de temperatura/humedad
#include "DHT.h"
//Definimos el pin 3 de arduino para alimentar el módulo Bluetooth HC-06
#define PinVccHC06 3
//Definimos el pin 7 de arduino para alimentar el módulo de Temperatura DHT-11
#define PinVccDHT11 7
//Definimos el pin 6 de arduino para conectar el pin OUT del módulo DHT
#define PinOutDHT 6
#define TypeDHT DHT11 //Definimos el tipo de sensor de temperatura
//Configura el pin con el que trabajamos y el tipo de sensor
DHT dht(PinOutDHT, TypeDHT);

float h,t; //variables de humedad y temperatura
char dato;
String readString;

```

Figura 37 Programa Arduino para DTH11 (Parte 1)

Fuente: Arduino



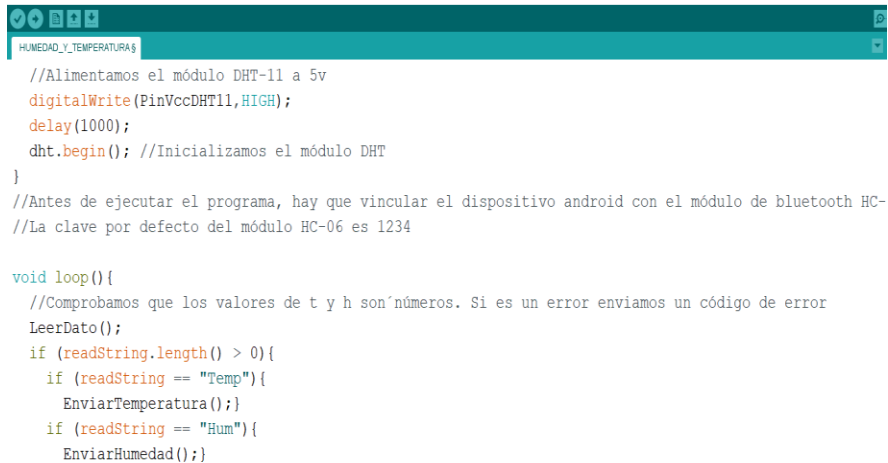
```

void setup() {
  //por defecto, el módulo HC-06 viene configurado 9600 N 8 1
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(PinVccHC06,OUTPUT);
  pinMode(PinVccDHT11,OUTPUT);
  //Alimentamos el módulo HC-06 a 0v
  digitalWrite(PinVccHC06,LOW);
  //Alimentamos el módulo DHT-11 a 0v
  digitalWrite(PinVccDHT11,LOW);
  digitalWrite(13,HIGH);
  delay(1000);
  //Activa los sensores
  digitalWrite(13,LOW);
  //Alimentamos el módulo HC-06 a 5v
  digitalWrite(PinVccHC06,HIGH);
}

```

Figura 38 Programa Arduino para DTH11 (Parte 2)

Fuente: Arduino



```

//Alimentamos el módulo DHT-11 a 5v
digitalWrite(PinVccDHT11,HIGH);
delay(1000);
dht.begin(); //Inicializamos el módulo DHT
}

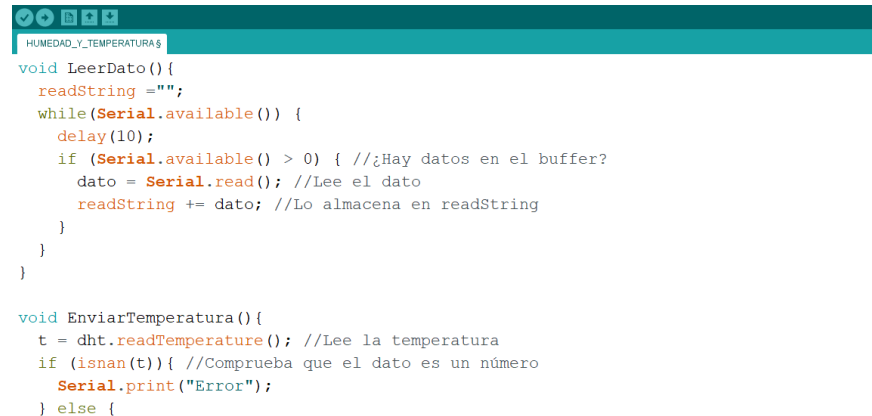
//Antes de ejecutar el programa, hay que vincular el dispositivo android con el módulo de bluetooth HC-
//La clave por defecto del módulo HC-06 es 1234

void loop(){
  //Comprobamos que los valores de t y h son números. Si es un error enviamos un código de error
  LeerDato();
  if (readString.length() > 0){
    if (readString == "Temp"){
      EnviarTemperatura();
    }
    if (readString == "Hum"){
      EnviarHumedad();
    }
  }
}

```

Figura 39 Programa Arduino para DTH11 (Parte 3)

Fuente: Arduino



```

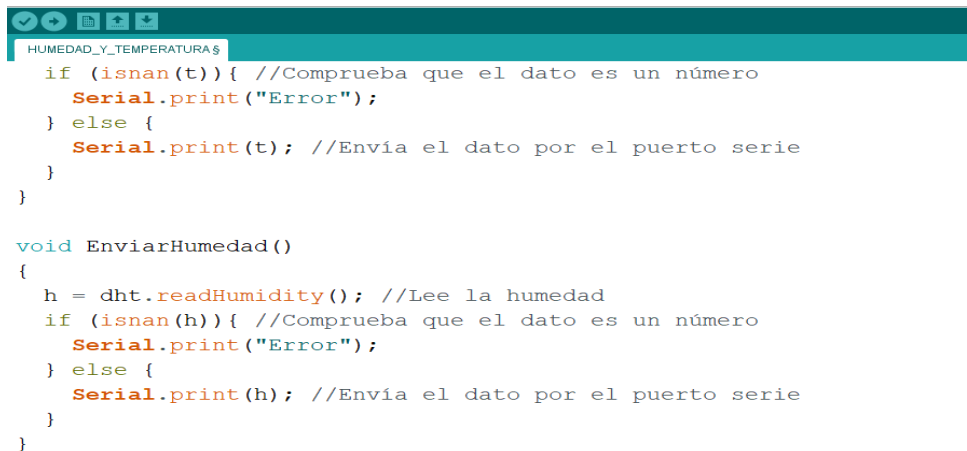
void LeerDato(){
  readString="";
  while(Serial.available()) {
    delay(10);
    if (Serial.available() > 0) { //¿Hay datos en el buffer?
      dato = Serial.read(); //Lee el dato
      readString += dato; //Lo almacena en readString
    }
  }
}

void EnviarTemperatura(){
  t = dht.readTemperature(); //Lee la temperatura
  if (isnan(t)){ //Comprueba que el dato es un número
    Serial.print("Error");
  } else {

```

Figura 40 Programa Arduino para DTH11 (Parte 4)

Fuente: Arduino



```

    Serial.print(t); //Envía el dato por el puerto serie
  }
}

void EnviarHumedad(){
  {
    h = dht.readHumidity(); //Lee la humedad
    if (isnan(h)){ //Comprueba que el dato es un número
      Serial.print("Error");
    } else {
      Serial.print(h); //Envía el dato por el puerto serie
    }
  }
}

```

Figura 41 Programa Arduino para DTH11 (Parte 5)

Fuente: Arduino

De forma resumida, el programa realiza las siguientes tareas:

1. Carga la librería para programar el sensor de temperatura.
2. Define en que pin y que modelo de sensor de temperatura vamos a utilizar
3. En setup inicializamos tanto el puerto serie que se comunicará con el sensor bluetooth como el sensor de temperatura. Además, alimentamos ambos módulos.
4. En loop básicamente llamamos al procedimiento de leer un dato por el puerto serie. Si la lectura es correcta comprobamos si nos solicitan la temperatura o la humedad, realizamos la medición y enviamos el dato por el puerto serie.

A continuación, se muestra el diseño del aplicativo en App inventor:

I. Pantalla 1.

Como esta pantalla solo es la presentación de la app no tiene una gran programación, en esta solo se configura que al oprimir el botón que dice aplicación no envíe a la segunda pantalla.

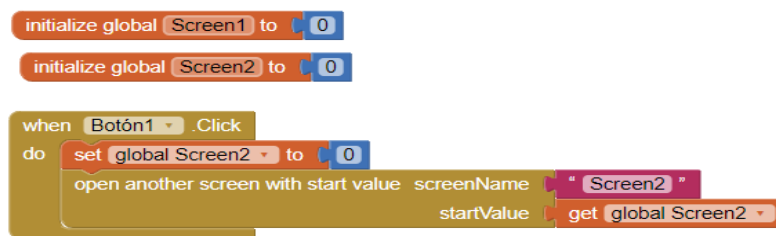


Figura 42 Aplicativo App inventor (Parte 1)

Fuente: Autores

Como vemos inicializamos las pantallas y se agrega la condición de que cuando se de click en el botón nos envíe a la segunda pantalla.

II. Pantalla 2

Primero colocamos la variable que vamos a utilizar

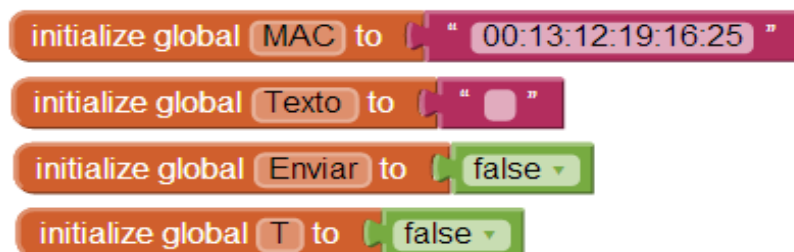


Figura 43 Aplicativo App inventor (Parte 2)

Fuente: Autores

El valor que se encuentra en la MAC es la dirección del módulo bluetooth que se estaba utilizando esto con el fin de agilizar la conexión con el dispositivo.

Iniciamos las variables

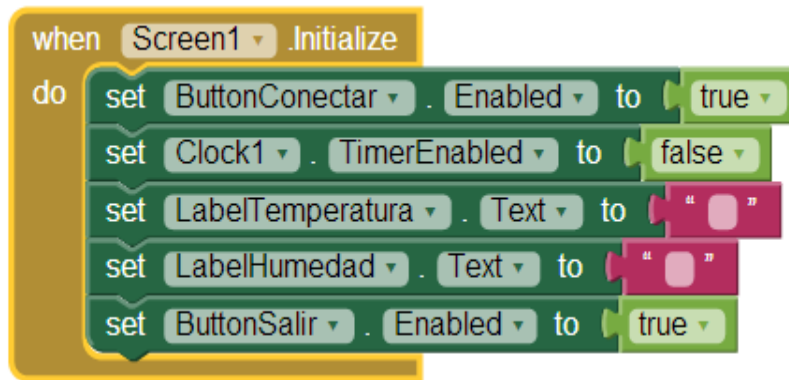


Figura 44 Aplicativo App inventor (Parte 3)

Fuente: Autores

Hacemos la conexión con el modulo bluetooth

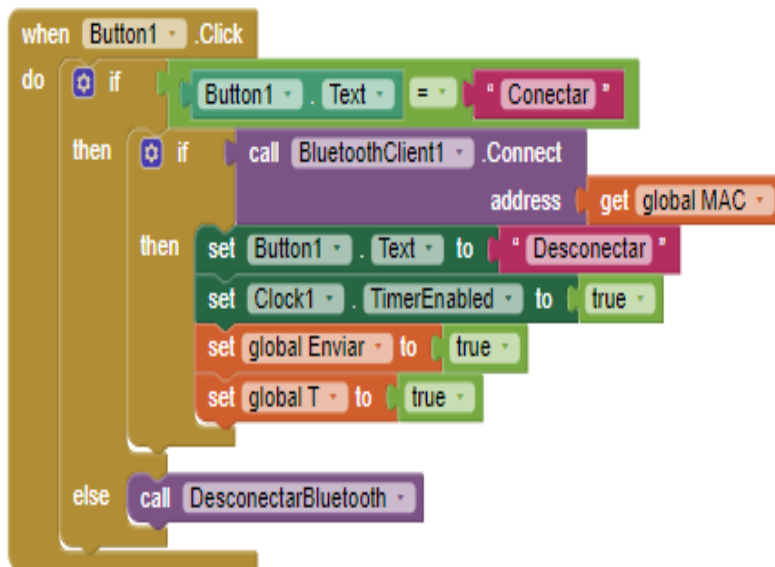


Figura 45 Aplicativo App inventor (Parte 4)

Fuente: Autores

Hacemos la lectura de los datos con un intervalo de tiempo de 1:1000

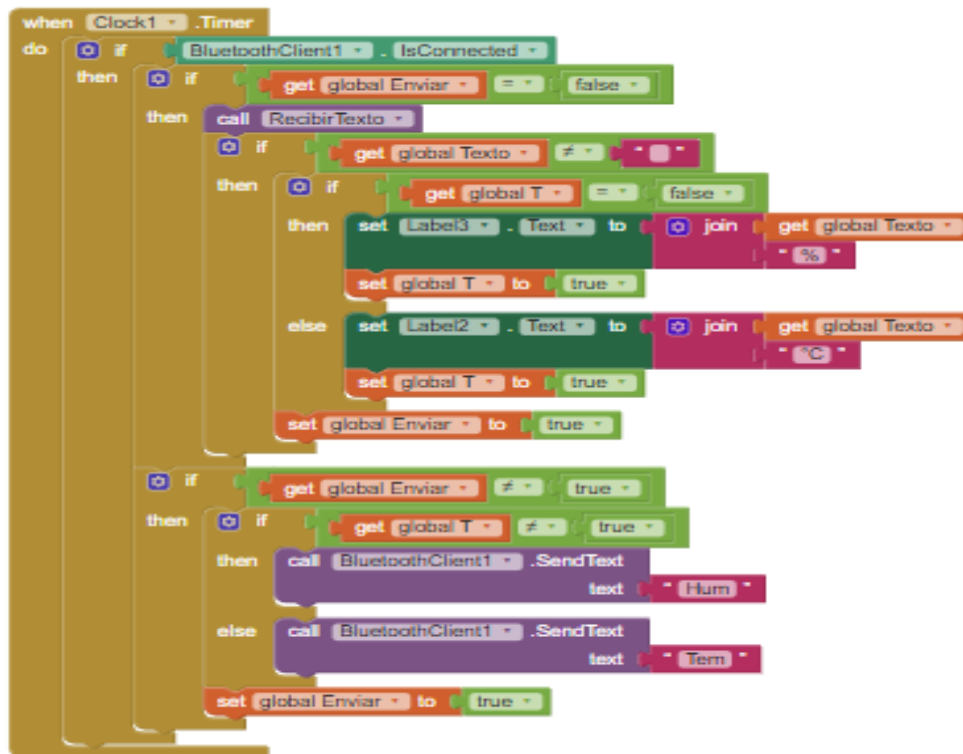


Figura 46 Aplicativo App inventor (Parte 5)

Fuente: Autores

La parte más complicada era entender la lectura de los datos. Para esto se utilizó la variable Enviar para saber cuándo debo enviar la orden de lectura de la temperatura o la humedad y cuando debo esperar a recibir la lectura de dichos datos enviada por la placa Arduino. Por otra parte, la variable T la utilizo para alternar la lectura de la temperatura y de la humedad.

Recepción del texto enviado por Arduino

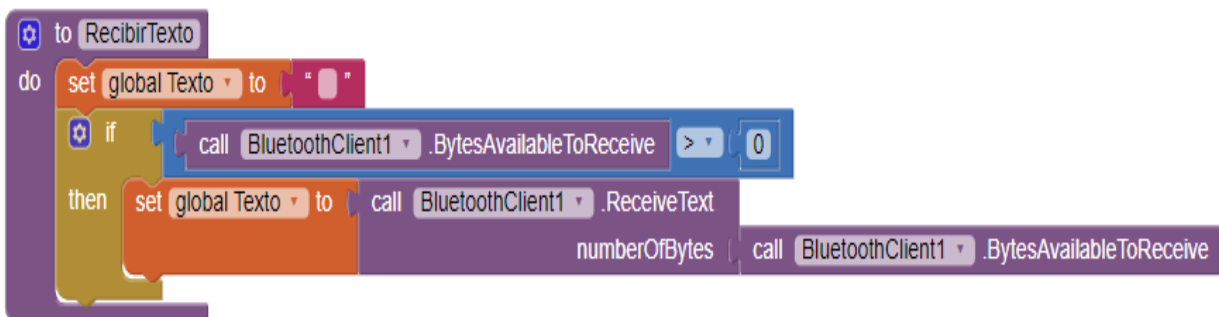


Figura 47 Aplicativo App inventor (Parte 6)

Fuente: Autores

Desconexión del módulo bluetooth

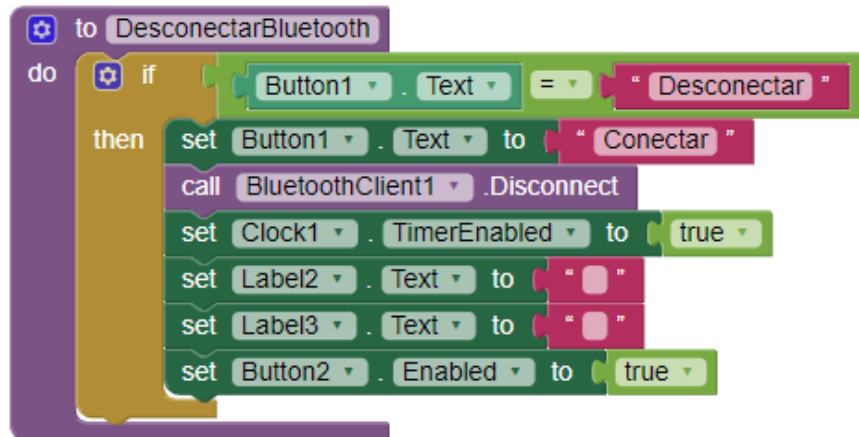


Figura 48 Aplicativo App inventor (Parte 7)

Fuente: Autores

También se realizó conexión entre la app, Arduino y una base de datos la cual es FirebaseDB con esto los datos que recibimos de humedad y temperatura también se registraban en la base de datos para esto se hace la siguiente configuración:

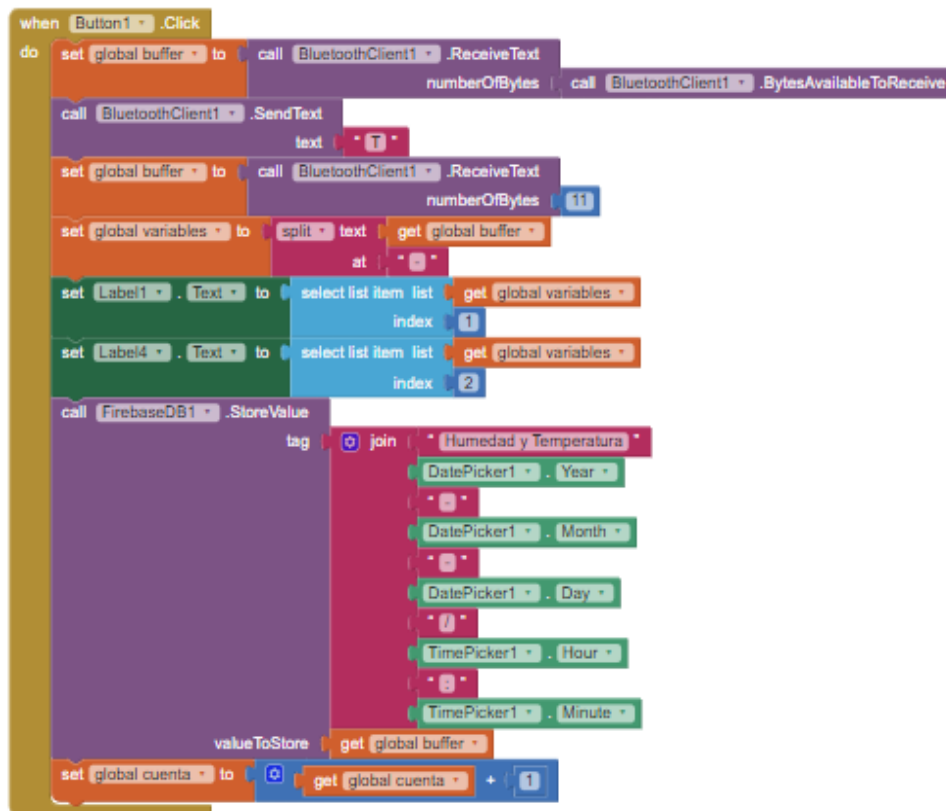


Figura 49 Aplicativo App inventor (Parte 8)

Fuente: Autores

Con esto podemos observar lo siguiente

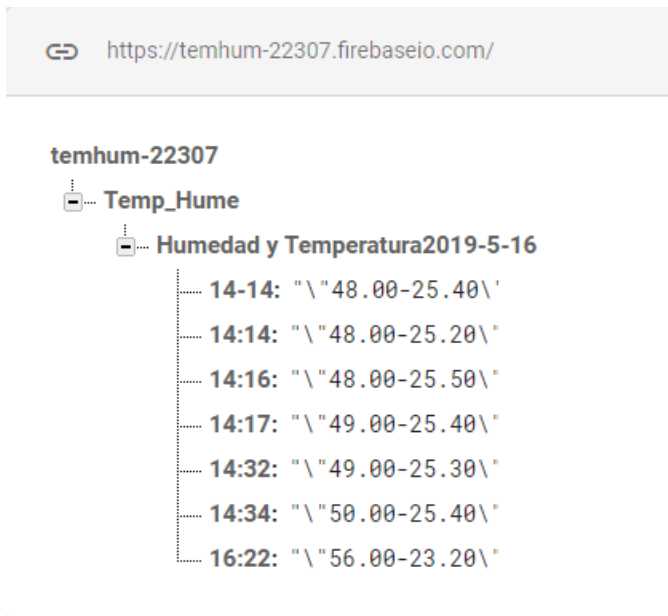


Figura 50 Resultados en Tiempo real en Firebase

Fuente: Autores

La imagen anterior muestra cómo se guardan los datos en Firebase podemos observar que quedan con la fecha y la hora que se va almacenando.

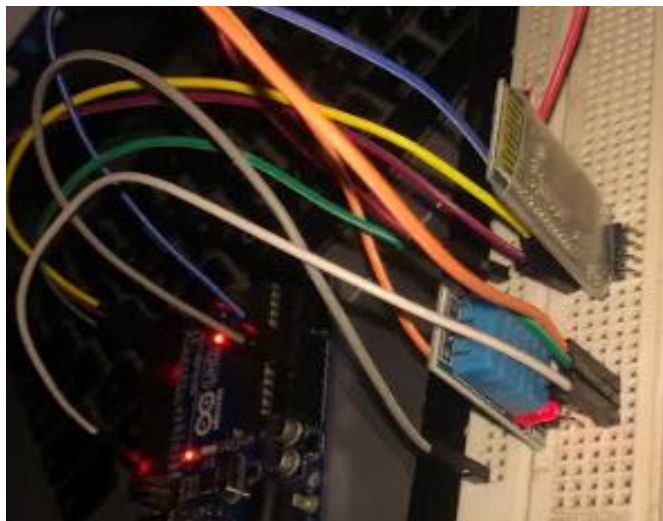


Figura 51 Montaje Arduino, Modulo Bluetooth y DTH11

Fuente: Autores

En la imagen anterior se observa cómo se hizo el montaje de entre el Arduino, el módulo bluetooth y el Sensor de humedad y temperatura.

Al ingresar a la app no muestra una primera pantalla la cual es la presentación y un botón para ingresar a ver los datos de humedad y temperatura.

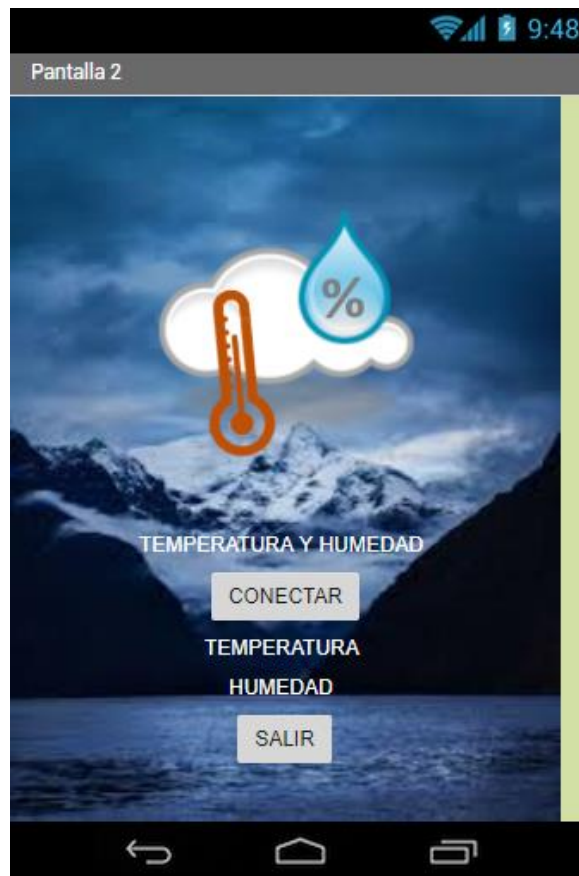


Figura 52 App

Fuente: Autores

En esta pantalla podremos conectar nuestra app con el bluetooth y hay nos saldrán los datos de humedad y temperatura que nos arroja el sensor.

Después de ver el diseño de la aplicación se mostrará el diagrama de bloques que se realizó para cada una de las pantallas

9. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de la aplicación de riego por goteo resalta una serie de ventajas, entre las que destacan las descritas a continuación.

La eficiente utilización del agua, con menores volúmenes por hectárea y por producto obtenido; el mejor acceso y tránsito entre el área de producción al evitar el encharcamiento, la utilización del agua como vehículo para la aplicación de nutrientes y productos fertilizante.

El uso de sistemas de riego por goteo para quimigación y fertirrigación son la respuesta a muchos de los problemas que enfrentan los agricultores modernos, especialmente cuando manejan grandes extensiones de terreno. Esos sistemas no solo sirven para ahorrar dinero al gastar menos fertilizantes, productos químicos y agua, sino que también reducen la necesidad de mano de obra para dichas labores.

Al aumentar la calidad y la producción, reduciendo los gastos en fertilizantes, agua, productos químicos y mano de obra, el agricultor obtendrá mejores ganancias que inicialmente pueden servir para amortizar los gastos de la compra del equipo. Normalmente un sistema de riego se paga en alrededor de dos años, quedando al agricultor entre diez y doce años de solo ganancia pues la vida útil de un sistema bien cuidado es de entre diez y quince años. Viéndolo a largo plazo, la inversión vale la pena.

Al usar un sistema de riego y fertilización por goteo el agricultor también contribuye al medio ambiente pues evita que los químicos y fertilizantes que usa se laven con el exceso de agua y terminan en ríos y quebradas además de que tampoco se lixivian con el agua a las fuentes subterráneas.

Los P&ID son herramientas útiles que entregan información sobre los componentes en los diagramas de instrumentación y tuberías de la planta, esto facilita la ejecución de proyectos de ingeniería, ayuda a reconocer y elaborar las estrategias de control.

Mediante la investigación realizada sobre los sistemas de fertirriego se lograron identificar los materiales y componentes necesarios para una óptima realización y puesta en marcha de un sistema de fertirriego.

De acuerdo a los objetivos específicos se puede observar en el documento que el diseño de la topología de red, suple la necesidad de agilizar las operaciones del sistema ya que este permite el control de una red de medición de temperatura y nivel de los tanques, pudiendo comunicar los resultados al PLC, teniendo una interfaz de HMI para mostrar el proceso que gobierna, mejorando los registros de control de calidad, mediante la visualización del proceso en tiempo real y el uso de herramientas para reportar datos.

Conforme fuimos realizando la investigación íbamos adquiriendo conocimientos necesarios sobre los tipos de sensores de bajo costo que se requerirían para la obtención de los datos relevantes para el proceso de fertirrigación, en donde se llevó a cabo un análisis de las distintas posibilidades encontradas para así lograr disminuir el riesgo de alguna falla en su funcionamiento, lo conlleva a aumentar la probabilidad de éxito en la instalación y puesta en marcha del sistema.

Para analizar la viabilidad, tanto económica como financiera, del proyecto de inversión. Se determinó el valor actual Neto a 5 años, el periodo de recuperación de la inversión inicial de esta forma, se ofrece, al agricultor tomar la decisión de decidirse o no a la realización del proyecto, mostrando así los distintos resultados obtenidos del estudio de viabilidad, para que una vez que proceda al análisis, tome la decisión que considere más conveniente para sus intereses.

Para la identificación y selección de la tecnología IoT se realizó una investigación de los sistemas de bajo consumo considerado la mejor opción y tomando 2 factores importantes para el funcionamiento como lo es Energía y conectividad se llega a la conclusión que LoRaWan brinda una Red de área privada de gran cobertura, asimismo una seguridad en los datos suministrados por los dispositivos.

10. RECOMENDACIONES

Si al sistema de riego no se le realiza el mantenimiento adecuado, puede presentar problemas de obstrucción, cristalización de las líneas y daño en los goteros. Se recomienda hacerle una limpieza periódica de los filtros y líneas evitando así el taponamiento gradual y la reducción de flujo de los emisores.

El programa de fertirrigación debe ser fraccionado y realizado en intervalos de tiempo determinados asegurando a las plantas las dosis adecuada de fertilizantes.

Otro de los problemas que se presenta en el fertirriego es que las descargas de los goteros no es la misma, por lo que la dosis varía para cada árbol, para esto se debe realizar un estudio concienzudo sobre cómo distribuir las dosis de acuerdo a la forma de las gotas.

Se debe dar continuidad a la investigación en aspectos como floración, cuajamiento y producción de los lotes.

El sistema tiene un costo de diseño, equipo e instalación que puede considerarse alto, y puede ser mayor que el presupuesto considerado por el agricultor, por lo que a veces es necesario hacer el diseño completo, pero implementar el sistema por partes según el presupuesto disponible.

11. BIBLIOGRAFÍA

Avendaño, V. M. (2004). Estudio de Factibilidad de la Introducción de un Sistema de Riego Gravedad-Aspersión en el Caserío Corral de Piedra, Concepción Tutuapa, San Marcos. San Marcos: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Andreu, J. (Ed). 1993. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Cinme Barcelona, España. 391 p

Barrios, N. R. (1999). Evaluación de Tres Métodos de Riego por Superficie Durante la Etapa de Elongación de la Caña de Azúcar (*Saccharum sp.*) Bajo Condiciones de Tiquizate, Escuintla. Tiquizate: Universidad de San Carlos de Guatemala.

CADAHIA LOPEZ C. (coord.). 1998. Fertirrigación Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

MADRID VICENTE R. (ed. científico). 1991. El agua y los fertilizantes Fertirrigación localizada. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Región de Murcia. Serie Congresos nº 3.

RODRIGO LÓPEZ J., HERNÁNDEZ ABREU J.M., PÉREZ REGALADO A. 1992. Riego localizado. Ed. M.A.P.A. - Mundi-Prensa.

DANE(Departamento Administrativo Nacional de Estadística) Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, La cebolla de rama o cebolla junca (*Allium fistulosum*), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana, Mayo 2015. Num 35.

Hirzel, C., J. s/f. Principios Básicos de Fertirrigación. Boletín INIA, N° 190. INIA Quilamapu. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Chile

Navarro G., M. 2015. Elaboración de programas de fertirrigación. Conferencia del diplomado internacional en Fertirriego. Intagri- UAI.

Hernández, Fernández Baptista. “Metodología de la Investigación”. McGraw Hill 1994. Colombia

Taylor, S.J. y R. Bogdan. Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Barcelona: Paidós. 1987

Shimanuki, Y. (1999, octubre). OLE para control de procesos (OPC) para nuevos sistemas de automatización industrial. En las actas de la conferencia IEEE SMC'99. 1999 Conferencia Internacional IEEE sobre Sistemas, Hombre y Cibernética (Cat. No. 99CH37028) (Vol. 6, pp. 1048-1050). IEEE

Chávez, L. T. (1999). Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 237-245.

Talens, J. A. M. (2009). *Riego localizado y fertirrigación*. Mundi-Prensa Libros.

Holzapfel, E. A., Lopez, C., Joublan, J. P., & Matta, R. (2001). Efecto del agua y fertirrigación en el desarrollo y producción de naranjos cv. thompson navel. *Agricultura Técnica*, 61(1), 51-60.

Silva, N. D., Nascimento, S., Francismar de Medeiros, J., & Navarro Vásquez, M. (2005). Calidad post-cosecha de frutos de melón producidos sobre diferentes niveles de salinidad del suelo y manejos de la fertirrigación en invernadero. *Ingeniería del agua*, 2005, vol. 12, núm. 2.

Calderón, M. F. (1991). La Agrónica: informática, electrónica, telecomunicaciones al servicio de los recursos naturales. *Ingeniería e Investigación*, (23), 3-6.

Florez Calderón, M. La agrónica: informática, electrónica, telecomunicaciones al servicio de los recursos naturales. *Ingeniería e Investigación*; núm. 23 (1991); 3-6 *Ingeniería e Investigación*; núm. 23 (1991); 3-6 2248-8723 0120-5609.

Del Basto, E. B. R., & Preciado, M. P. (2013). Los instrumentos de la política nacional de ciencia, tecnología e innovación en el sistema regional de ciencia, tecnología e innovación-srcti de Boyacá. *Criterio Libre*, 11(19), 67-91.

Suárez, E., & Baquero, M. (2013). Análisis de los proyectos del sector agropecuario financiados por Colciencias durante el año 2010. *Revista MVZ Córdoba*, 3569-3576.

Ruiz, C. F. (2016). Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación de Boyacá.

Cardozo, D. M. C., & Otero, M. E. P. (2012). Un Camino al Desarrollo Territorial: la especialización en la producción de Cebolla de Rama “*Allium Fistulosum*” en el municipio de Aquitania-Boyacá. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 8(14), 69-81.

Bello Guarín, F. D. Establecimiento de huertas bajo sistema protegido en la vereda Toquilla, municipio de Aquitania.

Padilla Torres, E. S. (2016). Estudio de Prefactibilidad para la Aplicación de un Mecanismo Sostenible, Sello Verde, para el Monocultivo de Cebolla Larga, en la Laguna de Tota, Municipio de Aquitania, Boyacá.

Wixted, AJ, Kinnaird, P., Larijani, H., Tait, A., Ahmadinia, A., y Strachan, N. (2016, octubre). Evaluación de LoRa y LoRaWAN para redes inalámbricas de sensores. En *2016 IEEE SENSORS* (pp. 1-3). IEEE

Neumann, P., Montavont, J. y Noël, T. (2016, octubre). Despliegue en interiores de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN): un estudio de caso LoRaWAN. En *2016, 12a Conferencia Internacional IEEE sobre Computación, Redes y Comunicaciones Inalámbricas y Móviles (WiMob)* (pp. 1-8). IEEE

de Carvalho Silva, J., Rodrigues, JJ, Alberti, AM, Solic, P. y Aquino, AL (2017, julio). LoRaWAN: un protocolo WAN de baja potencia para Internet de las cosas: una revisión y oportunidades. En *2017, segunda conferencia internacional multidisciplinaria sobre informática y ciencias de la energía (SpliTech)* (págs. 1-6). IEEE

Aakvaag, N., & Frey, J. E. (2006). Redes de sensores inalámbricos. *Revista ABB*, 2, 39-42.

Beltrán, F., & Franco, C. (2007). Wireless sensor networks. *Bit*, (165), 61-64.

Cambra, C., Sendra, S., Jiménez, J. M., & Lloret, J. (2017, October). Red de sensores inalámbricos de bajo consumo energético en agricultura hidropónica. In *XIII Jornadas de Ingeniería Telemática-JITEL2017*.

Gómez, M. I., Castro, H. E., Gómez, C. J., & Gutiérrez, O. F. (2007). Optimización de la producción y calidad en cebolla cabezona (*Allium cepa*) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn), Valle Alto del Río Chicamocha, Boyacá. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 339-348.

Åström, KJ y Hägglund, T. (2009). *Control PID avanzado*. Pearson, Madrid.

Åström, KJ y Hägglund, T. (1995). *Controladores PID: teoría, diseño y ajuste* (Vol. 2). Research Triangle Park, Carolina del Norte: Instrument society of America.

Andaluz, VH, Quevedo, WX, Chicaiza, FA, Gálvez, C., Corrales, G., Sánchez, JS, ... & Ávila, G. (2016, diciembre). Entorno de proceso industrial inmersivo a partir de un diagrama P&ID. En *Simposio internacional sobre computación visual* (pp. 701-712). Springer, Cham.

Carballo Sierra, J., & Romero Lara, D. (2011). Tutorial norma ISA S5. 1 y diagramas P&ID.

DE PASANTÍA, I. N. F. O. R. M. E. (2008). *EVALUACIÓN DE SMARTPLANT® P&ID Y AUTOCAD® P&ID Y ELABORACIÓN DE UN DTI DE AGUA DE ENFRIAMIENTO* (Doctoral dissertation, Universidad Simón Bolívar).

Tognetti, ES Simbologia e Terminologia de Instrumentagéo da Norma ISA 5.1.

del Carmen Álvarez-Castañón, L. (2014). Gestión tecnológica de agua en empresas curtidoras: sistema de monitoreo de variables ambientales. *Revista Electrónica Gestión de las Personas y Tecnología*, 7(20), 28-40.

Suárez Barón, J. C., & Suarez Baron, M. J. (2014). Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE. In *XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (43JAIIO)-VI Congreso Argentino de AgroInformática (CAI)*(Buenos Aires, 2014).

Barón, J. C. (2013). Aplicación de tecnología Zigbee para el monitoreo de variables ambientales en invernaderos. *Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Duitama, Colombia*.

Quiñones-Cuenca, M., González-Jaramillo, V., Torres, R., & Jumbo, M. (2017). Sistema de Monitoreo de Variables Medioambientales usando una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas de Internet de las Cosas. *Enfoque UTE*, 8, 329-343.

Sapag, R., & SAPAG, N. S. (1989). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw-Hill.

Gido, J., Clements, J. P., & Baker, R. (2003). *Administración exitosa de proyectos*.

Murcia, M., & Darío, J. (2009). *Proyectos: Formulación y criterios de evaluación* (No. 65.012. 2). Alfaomega Grupo Editor,.

Miranda, J. J. M. (2002). *Gestión de proyectos*. MM.

Drudis, A. (2002). *Gestión de proyectos: Cómo planificarlos, organizarlos y dirigirlos*. Gestión 2000.

12. INFOGRAFÍA

AGUDELO Dueñas Rodolfo, CASTELLANOS Giovanini Dayanna, MEDINA Cruz Mauricio “Automatizacion de Sistemas de Riego para el cultivo de Flores Tipo Exportacion”
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis90.pdf>

AGUILAR, J. (2008). Fertilización y riego. Recuperado el día 23 de octubre de 2011, <http://www.concitver.com/cursos%20modulares/fertilizaci%C3%B3n%20y%20riego.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de desastre, CULTIVOS DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE MANTIENEN BAJA DISPONIBILIDAD HÍDRICA, Bogotá, 29/09/2009 http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/old_noticias/532.aspx

PRINCIPIOS DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS.: EBSCOhost. (n.d.). Retrieved October 2, 2019, from <https://web-a-ebsohost-com.crai-stadigital.usantotomas.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=112b45c3-d121-42f6-8742-fa99247c908d%40sdc-v-sessmgr02>

SENSÓRICA. (n.d.). Retrieved October 6, 2019, from <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensorica.htm>

Tabla de anexos

Tabla de Anexos	
1	HMI
2	Estructura desglosada
3	Listado de instrumentos y equipos
4	Matriz de comunicaciones
5	Matriz de riesgos
6	Matriz RACI
7	Modelo financiero
8	Presupuesto del proyecto
9	Tabla de adquisiciones
10	Cronograma
11	P&ID
12	Distribución de planta
13	PLC análogo
14	PLC digital
15	InBeeBox (2)
16	NodeRed
17	Wise-3610

Tabla 5 Tabla de Anexos

Fuente: Autores