



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes para mejorar la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca KAMANA ORGANIC utilizando IOT en la empresa CORPORACIÓN CARRERA & CARRERA GROUPCARRERA CIA. LTDA.

Carrera Sánchez, Byron Alejandro.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.

Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly.

13 de febrero de 2023.

Latacunga.

13/2/23, 14:18

Tesis empresa

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO
Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO
BYRON ALEJANDRO CARRERA SANCHEZ

NOMBRE DEL ARCHIVO
BYRON ALEJANDRO CARRERA SANCHEZ - TESIS UTE

SE HA CREADO EL INFORME
13 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	8	1 %
Fragmentos citados o entrecorridos	2	0,3 %
Coincidencias de la Web		
espe.edu.ec	7	1 %
ultima.com	2	0,2 %
vlex.ec	1	0,1 %



.....
Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño e Implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes para mejorar la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca KAMANA ORGANIC utilizando IOT en la empresa CORPORACIÓN CARRERA & CARRERA GROUPCARRERA CIA. LTDA." fue realizado por el señor Carrera Sánchez, Byron Alejandro; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 de febrero del 2023

Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

Responsabilidad de Autoría

Yo, Carrera Sánchez, Byron Alejandro, con cédula/cédulas de ciudadanía n°1850024223, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes para mejorar la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca KAMANA ORGANIC utilizando IOT en la empresa CORPORACIÓN CARRERA & CARRERA GROUPCARRERA CIA. LTDA." es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 13 de febrero del 2023

Carrera Sánchez, Byron Alejandro

C.C.: 1850024223



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

Autorización de Publicación

Yo, **Carrera Sánchez, Byron Alejandro**, con cédula/cédulas de ciudadanía n°1850024223, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes para mejorar la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca KAMANA ORGANIC utilizando IOT en la empresa CORPORACIÓN CARRERA & CARRERA GROUPCARRERA CIA. LTDA."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 13 de febrero del 2023

Carrera Sánchez, Byron Alejandro

C.C.: 1850024223

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado a mi madre María del Carmen a mi padre Juan quienes han luchado toda su vida con el único objetivo de ver a su hijos realizados, ha sido una lucha por brindarme su apoyo económico y más importante que eso su amor, compañía y protección, todo ello incondicionalmente, a mi hermano Sebastián, quien ha sido mi compañero de aventuras y quien ha estado en una de las más importantes de mi vida como ha sido la culminación de esta carrera, dándome su apoyo y admiración, motivándome así a ser cada vez mejor con la certeza que juntos podremos ser grandes personas. Cada uno de ellos son con quienes quiero compartir mis logros grandes y pequeños, además de hacer todo lo posible por jamás faltar a ninguno de los suyos.

A mis amigos y compañeros que tuve la oportunidad de conocer y compartir con ellos esta hermosa etapa de mi vida, quienes han sido elemento fundamental en mi desarrollo tanto personal, así como académico.

Carrera Sánchez, Byron Alejandro

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y permitirme cumplir con objetivo.

Quiero agradecer a mis padres y hermano por el apoyo y la confianza depositada en mi persona, por ser el pilar fundamental de mi vida y darme todo su apoyo.

A CORPORACIÓN CARRERA & CARRERA GROUPECARRERA CIA. LTDA., junto con su marca KAMANA ORGANIC, por brindarme la oportunidad de desarrollar mis habilidades y conocimientos en el campo de la ingeniería y ser una guía educativa y moral.

Carrera Sánchez, Byron Alejandro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas.....	15
Resumen.....	16
Abstract	17
Capítulo I: Fundamentación Teórica	18
Antecedentes.....	18
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General</i>	21
<i>Objetivos Específicos</i>	21
Hipótesis	22
Variables de la Investigación.....	22
<i>Variables Independientes</i>	22
<i>Variables Dependientes</i>	22
Marco teórico.....	22
<i>Sistemas de Dosificación de Líquidos</i>	22

<i>Fluideco</i>	23
Riego por Goteo	24
Sistemas de Dosificación	25
HMI (Interfaz Humano Máquina)	26
<i>Protocolos de Comunicación IoT</i>	27
<i>MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)</i>	27
<i>CoAP (Constrained Application Protocol)</i>	27
Controlador Lógico Programable (PLC)	27
IIoT.....	28
Pirámide de Automatización.....	29
<i>Nivel de Proceso (Red de Campo)</i>	30
<i>Nivel de Control (Red de Control)</i>	30
<i>Nivel de Supervisión (SCADA, HMI)</i>	30
Sensores y Actuadores.....	30
<i>Interruptor de Flotador</i>	30
<i>Bombas de Engranajes</i>	31
Protocolos de Comunicación	31
<i>Protocolo RS-485</i>	31
<i>Conexión con RJ-45</i>	33
Capítulo II: Diseño del sistema	35
Matriz QFD	35
Diseño Mecánico	35
<i>Diseño de la Estructura</i>	35
Material utilizado para la estructura.....	36
<i>Cálculos</i>	38
Cálculo de Cargas que Soporta la Viga.	38
Viga Estáticamente Indeterminada.	39

Momento Máximo (M_{max})	40
Deflexión (Y_{max}).....	40
Deflexión Máxima Recomendada (Y_{maxR}).....	40
Esfuerzo máximo (.....)	41
Factor de diseño (N).....	41
<i>Simulaciones de la estructura</i>	42
<i>Diseño e impresión de piezas</i>	44
Diseño Electrónico y Control.....	45
<i>Selección de Bombas</i>	45
<i>Selección de Sensores de Nivel</i>	47
<i>Selección de microcontrolador</i>	48
<i>Diseño del Tablero de control</i>	49
<i>Diseño del programa</i>	50
Diseño del HMI.....	52
Capítulo III: Construcción del sistema	55
Parte mecánica	55
<i>Cimentación de las bases</i>	55
<i>Ensamblaje de la estructura</i>	56
<i>Montaje de la estructura</i>	56
Parte eléctrica y control.....	57
<i>Implementación del tablero</i>	57
Comprobación de conexiones.....	58
<i>IoT</i>	58
<i>Implementación del programa al PLC</i>	65
<i>Implementación de sensores</i>	67
<i>Conexión de bombas y motores</i>	68

Implementación del HMI.....	71
Costo de implementación del sistema de dosificación y mezclado	72
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados	74
Pruebas mecánicas	75
Prueba de bombas	76
<i>Prueba de bombas de engranaje</i>	<i>76</i>
<i>Prueba de bombas vibratorias.....</i>	<i>80</i>
Pruebas del sistema de control.....	85
<i>Pruebas del HMI.....</i>	<i>85</i>
<i>Pruebas IoT</i>	<i>88</i>
Descripción de la situación previa.....	90
Implementación del sistema de dosificación y mezclado de recetas de fertirriego ..	92
<i>Validación de la hipótesis del sistema</i>	<i>97</i>
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	101
Conclusiones.....	101
Recomendaciones.....	104
Bibliografía	106
Anexos.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistema de dosificación de líquidos</i>	23
Figura 2 <i>Maquinaria Fluideco</i>	24
Figura 3 <i>Riego por goteo</i>	25
Figura 4 <i>Ejemplo de funcionamiento de un robot en CSC</i>	25
Figura 5 <i>Industria 4.0</i>	28
Figura 6 <i>Pirámide de la automatización</i>	29
Figura 7 <i>Interruptor flotador</i>	30
Figura 8 <i>Bomba de engranajes</i>	31
Figura 9 <i>Topología RS485 y RS422</i>	32
Figura 10 <i>Esquema de RJ-45 pin de salida</i>	33
Figura 11 <i>Esquema de color RJ-45 de cable directo</i>	34
Figura 12 <i>Diseño CAD del Prototipo</i>	36
Figura 13 <i>Perfil de tubo cuadrado galvanizado</i>	37
Figura 14 <i>Zona de las repisas</i>	38
Figura 15 <i>Modelo viga estáticamente indeterminada</i>	39
Figura 16 <i>Factor de diseño, límite de fluencia</i>	42
Figura 17 <i>Simulación de la deformación máxima en la repisa</i>	43
Figura 18 <i>Simulación de esfuerzo máxima en la repisa</i>	43
Figura 19 <i>Simulación de momentos</i>	44
Figura 20 <i>Diseño de soporte para bombas vibratorias</i>	44
Figura 21 <i>Diseño de la tapa</i>	45
Figura 22 <i>Diseño del soporte del sensor</i>	45
Figura 23 <i>Diagrama de conexión de fuerza</i>	49
Figura 24 <i>Diagrama de conexión de control</i>	49
Figura 25 <i>Diagrama GRAFCET</i>	50
Figura 26 <i>Diagrama general de proceso del usuario</i>	53

Figura 27 Pantallas diseñadas	54
Figura 28 Columnas con placa soldada.....	55
Figura 29 Columnas fundidas.....	56
Figura 30 Construcción de la estructura.....	56
Figura 31 Montaje de la estructura	57
Figura 32 Tablero de control	57
Figura 33 Comprobación de Conexiones	58
Figura 34 XINJE CLOUD	59
Figura 35 Software de configuración y programación.....	59
Figura 36 Software de configuración y programación.....	60
Figura 37 Software de configuración y programación 2.....	61
Figura 38 XINJE CLOUD 2.....	62
Figura 39 XINJE CLOUD	62
Figura 40 Conexión con el PLC.....	63
Figura 41 Información remota del WBOX.....	64
Figura 42 Imágenes de dashboard IoT.....	65
Figura 43 Configuración del PLC	66
Figura 44 Programación del PLC	66
Figura 45 Descarga del programa.....	67
Figura 46 Diseño del soporte de sensor.....	67
Figura 47 Montaje de sensores	68
Figura 48 Bomba de corriente alterna	68
Figura 49 Arrancador de motor	69
Figura 50 Fijación de bombas	69
Figura 51 Montaje del sistema de dosificación	70
Figura 52 Montaje de mangueras y motor.....	70
Figura 53 Montaje de HMI.....	71

Figura 54 <i>Conexión al PLC</i>	71
Figura 55 <i>TouchWin Edit Tool</i>	72
Figura 56 <i>Prototipo CAD Final</i>	74
Figura 57 <i>Prototipo Final</i>	75
Figura 58 <i>Prueba de bomba de engranaje</i>	76
Figura 59 <i>Medición del volumen</i>	77
Figura 60 <i>Análisis gráfico del funcionamiento de la bomba</i>	80
Figura 61 <i>Prueba de bomba vibratoria</i>	81
Figura 62 <i>Medición del volumen de la bomba vibratoria</i>	82
Figura 63 <i>Análisis gráfico del funcionamiento de la bomba vibratoria</i>	84
Figura 64 <i>Prueba del HMI</i>	85
Figura 65 <i>Prueba del HMI</i>	87
Figura 66 <i>Contraseñas para editar recetas</i>	88
Figura 67 <i>Pantalla de inicio IoT</i>	88
Figura 68 <i>Bodega actual de fertilizantes</i>	90
Figura 69 <i>Dosificación de fertilizantes previo a la implementación del sistema</i>	91
Figura 70 <i>Método de aplicación previo a la implementación del sistema</i>	91
Figura 71 <i>Comparación de procesos</i>	92
Figura 72 <i>Puesta en marcha del sistema</i>	93
Figura 73 <i>Tabulación de la encuesta</i>	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características del material a implementar.</i>	36
Tabla 2 <i>Selección de bombas de líquidos viscosos</i>	46
Tabla 3 <i>Selección de bombas para líquidos no viscosos</i>	46
Tabla 4 <i>Selección de sensores de nivel</i>	47
Tabla 5 <i>Selección del PLC</i>	48
Tabla 6 <i>Indicadores del GRAFCET</i>	51
Tabla 7 <i>Costo de Implementación.</i>	73
Tabla 8 <i>Prueba de estructura</i>	75
Tabla 9 <i>Pruebas de la bomba de engranajes.</i>	78
Tabla 10 <i>Resumen de pruebas</i>	79
Tabla 11 <i>Pruebas de la bomba vibratoria</i>	82
Tabla 12 <i>Prueba promedio de la bomba vibratoria</i>	84
Tabla 13 <i>Prueba del HMI</i>	86
Tabla 14 <i>Prueba del control IoT</i>	89
Tabla 15 <i>Prueba del sistema completo</i>	93
Tabla 16 <i>Prueba de control IoT</i>	95
Tabla 17 <i>Preguntas para encuesta</i>	96
Tabla 18 <i>Respuestas de encuestados</i>	96
Tabla 19 <i>Resultados de la encuesta</i>	97
Tabla 20 <i>Datos para el t-student</i>	98
Tabla 21 <i>Resultados del t-student.</i>	99

Resumen

El presente proyecto plantea diseñar y construir un prototipo de sistema de dosificación enfocado al fertirriego, para la nutrición de un campo de hortalizas, que cuenta con ocho contenedores de materia prima con capacidad para mil litros de agua cada uno que se despacha en conjunto con la mezcla de fertilizantes. El propósito es agilizar el proceso de fertirriego mediante la automatización a través de dos sencillos parámetros: cantidad de agua y recetas programadas. Para tal efecto se aplica tecnología IoT, tanto para el monitoreo del sistema como para el control del proceso mediante dispositivos móviles o en la web. Cabe indicar que la dosificación es realizada mediante bombas y el despacho a través de electroválvulas; la técnica de riego utilizada es por goteo con cintas hechas precisamente para este trabajo. Además, se cuenta con un cubículo metálico con repisas (isla) que está localizado en un sitio predefinido del campo y que alberga todo el sistema. El programa permite manejar y gestionar recetas gracias a un módulo administrativo, para el cual se emplea HMI como método de comunicación con el usuario tanto para el manejo local como remoto, el cual será implementado en la marca KAMANA ORGANIC ubicado en la parroquia Quinchicoto perteneciente a la provincia de Tungurahua.

Palabras clave: KAMANA ORGANIC, fertilizantes, fertirriego, IOT, HMI, recetas de fertirriego, procesos de cultivo, Tungurahua.

Abstract

This project proposes to design and build a prototype of a dosing system focused on fertigation, for the nutrition of a vegetable field, which has eight containers of raw material with a capacity of one thousand liters of water each, which is dispensed together with the fertilizer mixture. The purpose is to streamline the fertigation process by automating it through two simple parameters: amount of water and programmed recipes. For this purpose, IoT technology is applied, both for monitoring the system and for controlling the process through mobile devices or the web. It should be noted that the dosage is carried out by pumps and the dispatch through solenoid valves; the irrigation technique used is drip irrigation with tapes made precisely for this work. In addition, a metal cubicle with shelves (island) is located in a predefined place in the field and houses the entire system. The program allows to handle and manage recipes thanks to an administrative module, for which HMI is used as a method of communication with the user for both local and remote management, which will be implemented in the brand KAMANA ORGANIC located in the parish Quinchicoto belonging to the province of Tungurahua.

Key words: KAMANA ORGANIC, fertilizers, fertigation, IOT, HMI, fertigation recipes, cultivation processes, Tungurahua.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Antecedentes

Los sistemas de dosificación están enfocados a la industria química y no en la agricultura directamente. A continuación, son expuestos a profundidad las maquinarias efectivas que se requieren para este proceso.

Es importante tomar en cuenta que los plaguicidas son productos bastante riesgosos para la salud de las personas, sobre todo para quienes deben mezclarlos, aplicarlos y los utilizan como una rutina diaria en sus plantaciones; inclusive, algunas personas los consumen como residuos en ciertos alimentos o hasta en el agua. Sea cual fuere la situación, resulta inminente la intoxicación por estos productos.

De acuerdo a datos de González (2019), poco más de 24 millones de agricultores a nivel mundial enfrentan un cuadro de envenenamiento ocasionado por la exposición a los pesticidas. Un ejemplo de ello es Chile, que entre 2006 y 2015 el Centro de Información Toxicológica de la Universidad Católica (CITUC) atendió a casi 23 mil casos de intoxicación de este tipo, poco más de 16 mil están relacionados a plaguicidas domésticos y el restante a agrícolas; además, 74% fue por vía oral y 16% por inhalación. Así mismo, el autor enfatiza que los motivos que conducen a la persona a exponerse a este tipo de productos a nivel industrial son por motivo de trabajo (12%), suicidio (12%) y accidente (7,5%); en cambio, la prevalencia por una exposición accidental a plaguicidas domésticos es de casi 44%.

El estudio de González (2019) también analiza el informe de enero a septiembre de 2018 del departamento de epidemiología del Ministerio de Salud de Chile (MINSAL), en el que se indica que hay 363 personas que tienen una intoxicación aguda por plaguicida (IAP), aunque otra cantidad mayor presenta toxicidad tipo III (poco peligroso) y IV (normalmente no es peligroso). Entre los principales químicos que se evidencian cabe mencionar a piretroides (35%), organofosforados (28,1%) y carbamatos (4.1%). Además, la exposición a los plaguicidas se da por un incorrecto uso laboral o doméstico, así como por consumir

alimentos contaminados o respirar aire con estas partículas, lo que ocasiona que el químico ingrese por la piel, boca, ojos o nariz y se introduzca al torrente sanguíneo. Y aunque eventualmente es expulsado por el sudor, orina y respiración, el peligro radica en la concentración y toxicidad.

En este punto es importante indicar que Corporación Carrera & Carrera desarrolla hoy en día una línea de negocio agroindustrial bajo la marca Kamana Organic, enfocada sobre todo a la implementación de nuevas tecnologías para producir hortalizas. Pero claro, para ello es necesario emplear un sistema de fertirriego automático que permita mejorar significativamente la calidad del suelo y proceso de cultivo, lo que a su vez genera una producción más responsable y sin que el humano tenga que intervenir en el proceso, lo que permite evitar la exposición a los químicos.

Este tipo de propuestas son un gran aporte para la industria, pues hay que reconocer que el país enfrenta un estancamiento tecnológico que le relega a utilizar métodos de riego caducos, nada exactos y poco eficientes (UNIR, 2021). Es por eso que implementar IoT (internet de las cosas) a este tipo de sistemas es fundamental para disminuir la exposición de la persona y eliminar errores potenciales ocasionados por el operario.

Por su puesto que no se trata únicamente de una cuestión tecnológica sino de cuidado con el ambiente y la salud, pues la demanda de productos orgánicos ha aumentado en la última década, lo que a su vez exige contar con granjas sostenibles que no utilicen plaguicidas y herbicidas para el control de la maleza. En consecuencia, se requiere implementar procesos agrícolas tecnificados que aporten a alcanzar mejores niveles de productividad y eficiencia del cultivo que integran maquinarias modernas, sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores y sistemas de información.

En ese sentido, el control de maleza es precisamente uno de los pasos más importantes de toda producción agrícola debido a que de este proceso depende que el cultivo no se deteriore, y para eso son utilizadas herramientas, fertilizantes químicos y

agentes biológicos. Pero lo cuestionable es justamente que varias de estas técnicas son contraproducentes para el ambiente y hasta para la salud de las personas.

Ante este panorama, son diversos los estudios de autores que enfocan sus esfuerzos en torno a la innovación agrícola e implementación de sistemas de precisión mecánica con la finalidad de lograr un control de la maleza que sea efectivo y no genere daños colaterales a las plantas ni al medio biológico. Esto es posible gracias a microorganismos que aportan al ciclo biológico de desarrollo del cultivo.

En ese contexto, Sogamoso et al. (2015) expone varios problemas que afronta el sector agrícola: poca investigación con respecto a la producción primaria, procesamiento, y demandas de las cadenas productivas; falta de asistencia técnica de campo que sea eficiente; la evidente necesidad de adoptar nuevas tecnologías; una genética de simientes y pies de cría no adaptada a las condiciones de suelo o clima; poca productividad; alto costo de producción; carente diversificación de cultivos; falta de formación técnica. En consecuencia, una manera de hacer frente a los retos de la industria agrícola es lograr una innovación tecnológica a lo largo del proceso de cultivo (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

Ahora bien, para aterrizar el tema hacia el ámbito local cabe señalar las peculiaridades del cantón Tisaleo (la cantonización fue el 17 de noviembre de 1987) ubicado en la Provincia de Tungurahua, cerca de la ciudad de Ambato, y cuya cabecera cantonal es la ciudad que lleva el mismo nombre. Cuenta con una parroquia urbana (Tisaleo cabecera cantonal) y una rural (Quinchicoto), y es uno de los nueve cantones de la provincia con una extensión de 59 km² que no representa ni 2% del total del territorio. Su límite al Norte y Oeste es Ambato, al Sur es Mocha y al Este el cantón Cevallos (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tisaleo [GAD Tisaleo], 2014).

El cantón es parte del distrito de planificación 18D06 conjuntamente con los cantones Cevallos, Mocha y Quero, lo que es concebida como una zona agrícola que necesita intervención, apoyo e implementación tecnológica. Vale enfatizar que su economía está

sustentada mayormente en la producción agrícola como zanahorias, papas, rábanos, mellocos y huertos frutales (manzanas, peras y duraznos), que además hace parte del turismo comunitario que se impulsa desde hace pocos años atrás (GAD Tisaleo, 2014).

En la Parroquia Quinchicoto, así como en la mayor parte de la sierra ecuatoriana, la agricultura es una actividad elemental y de gran relevancia en vista de que constituye el cuarto sector económico más importante del país y es una garantía de la seguridad alimentaria de la población; además, es el responsable de cerca del 8% del PIB total anual de Ecuador (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019). Dada la importancia de esta actividad, resulta fundamental presentar especial atención al riego y fertilización del suelo, etapas importantes en la producción de cualquier tipo de cultivo, lo que deja en claro que se requiere incorporar nuevas tecnologías para mejorarlos y alcanzar una producción más eficiente.

En ese sentido, el sistema de riego inteligente para cultivos es una solución enfocada en optimizar el recurso hídrico y asegurar que los nutrientes sean aplicados en cantidades correctas y únicamente aquellos necesarios. Es de esta forma posible evitar que se desperdicien recursos, que exista un desbalance de macro o micronutrientes esenciales, abaratar costos operativos, minimizar riesgos, lograr una producción limpia y extensa y disminuir la intervención de mano de obra.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar e implementar un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes para mejorar la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca Kamana Organic utilizando IOT en la empresa Corporación Carrera & Carrera Groupcarrera Cía. Ltda.

Objetivos Específicos

- Implementar los sistemas mecánico y eléctrico de manera que cumplan con los requerimientos mínimos para un óptimo funcionamiento del sistema.

- Implementar un sistema de control y plataforma IOT que permita la automatización del proceso de dosificación y mezclado de fertilizantes.
- Realizar una interfaz amigable con el operario, sencilla de entender para facilitar la comunicación entre el usuario y el sistema.
- Implementar el sistema de riego y fertilización para un área de 10 camas, lo que equivale a 100 metros cuadrados de cultivo.
- Efectuar pruebas experimentales del funcionamiento del sistema completo para analizar y evaluar su desempeño una vez implementado el prototipo en el campo de cultivo de hortalizas.

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes utilizando IoT mejorará la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca Kamana Organic de la empresa Corporación Carrera & Carrera Groupcarrera Cía. Ltda?

Variables de la Investigación

Variables Independientes

- Prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes.

Variables Dependientes

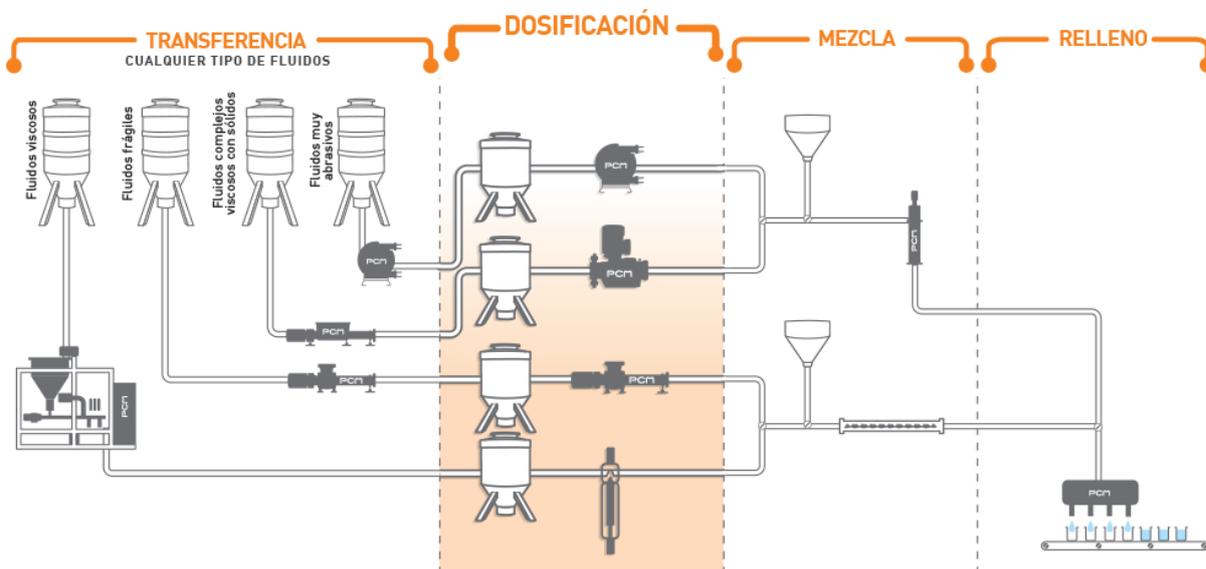
- Optimización del proceso de cultivo de hortalizas.

Marco teórico

Sistemas de Dosificación de Líquidos

Los equipos de este sistema deben cubrir los requisitos de cada elemento medido, ser precisos y estar al margen de procesos operativos correctos. Y es que cada tecnología empleada ha de brindar ventajas con respecto a su precisión, disminución de pérdidas de producto, atención a las texturas, productividad y agilidad para limpiar (PCM, s.f.).

A continuación, la Figura 1 expone un ejemplo de este sistema.

Figura 1*Sistema de dosificación de líquidos*

Nota. Tomado de Sistemas de dosificación de líquidos por PCM, s.f.

Fluideco

Los sistemas de dosificación química son utilizados cuando se requiere colocar químicos dentro de un proceso, sea como aditivo o con la finalidad de conservar los niveles óptimos de pH, oxígeno y conductividad del agua de calderas y refrigeración, lo que permite evitar las incrustaciones.

En ese sentido, vale mencionar a Fluideco (s.f.), una compañía con gran trayectoria en el mercado con respecto a fluidos corrosivos y que cuenta con distintas maquinarias de dosificación química para:

- Tratamiento de calderas
- Al ciclo agua vapor
- A torres de refrigeración
- Dosificación de aditivos químicos al proceso

En la Figura 2 es posible apreciar un ejemplo de esta maquinaria.

Figura 2*Maquinaria Fluideco*

Nota. Tomado de Dosificación química por Fluideco, s.f.

Riego por Goteo

Esta es una técnica bastante eficiente en vista de que el suministro de agua es frecuente y uniforme, lo que da paso a que la zona radicular se mantenga hidratada y con parámetros de baja tensión. El proceso consiste en que el líquido que gotea forma humedecimiento adentro del suelo, conocido como bulbo húmedo, cuyo diámetro alcanza una profundidad de 30 cm y su forma está determinada por las propiedades del suelo como por ejemplo la textura.

El sistema de riego por goteo ayuda a obtener un nivel de eficiencia de entre 90% y 95% en la distribución de agua y fertilizantes, contrario a lo que ocurre en un sistema por gravedad que apenas llega a 55% y 60%. Esta optimización de los recursos es precisamente gracias a que este método trabaja directamente con la zona radicular del cultivo, lo que garantiza que cada planta reciba la cantidad exacta en el momento adecuado

(Intagri, s.f.; Nefatim, s.f.). A continuación, en la Figura 3 puede visualizarse este sistema de riego.

Figura 3

Riego por goteo

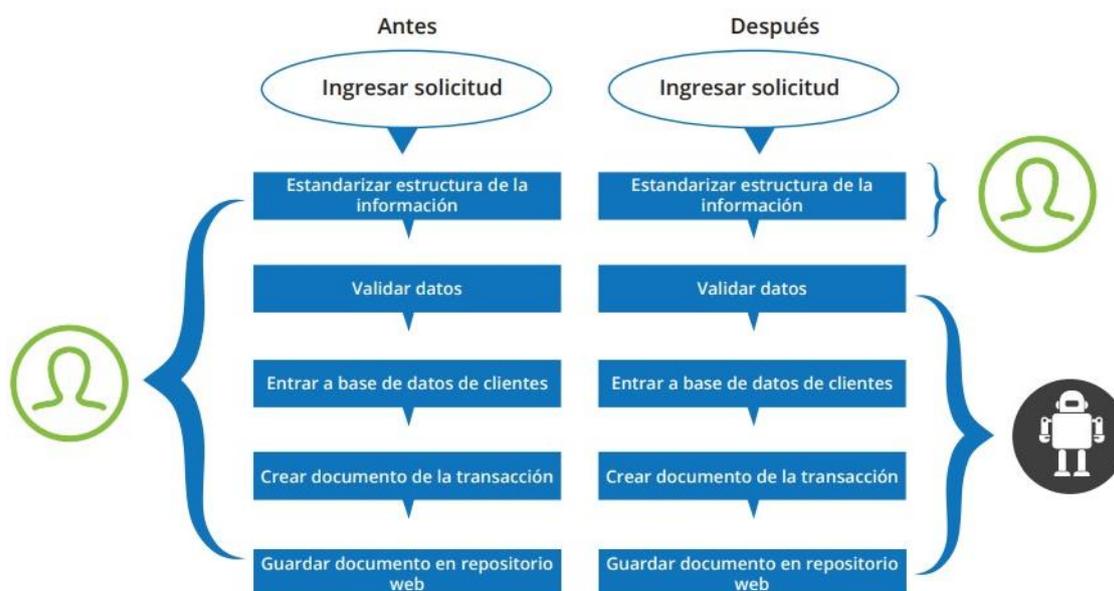


Nota. Tomado de El Riego por Goteo Revoluciona la Agricultura, por Nefatim, 2019.

Sistemas de Dosificación

Figura 4

Ejemplo de funcionamiento de un robot en CSC



Nota. Tomado de La era de la Automatización, por Deloitte, 2016.

Un dosificador es un recurso que facilita agregar un líquido o sólido al suelo, pero en dosis exactas por cada descarga. Este tipo de sistemas son utilizados cuando es requerido colocar químicos, sea como aditivo o para mantener en un nivel correcto el pH, oxígeno y conductividad del agua de las calderas y de refrigeración (Centro Banamexl, 2022). En esencia, consiste en preparar determinadas cantidades en un tiempo exacto, lo que es una ventaja por sobre otros sistemas como bombas dosificadoras o reguladores; además, para su montaje debe considerarse los cálculos previos a gestionar la inyección de productos en función de las variables del circuito principal (Loginews, 2017). En la Figura 4 se observa un diagrama del funcionamiento de un sistema de dosificación.

Como se muestra, un proceso automatizado permite alcanzar un mayor nivel de optimización y disminuir los costos, lo que a su vez es una ventaja que puede aprovecharse para reducir el precio final y tener mayor competitividad en el mercado.

HMI (Interfaz Humano Máquina)

Human Machine Interface, HMI por sus siglas en inglés, es el vínculo gráfico entre máquina y usuario que se da gracias a paneles de control, información o registro. De acuerdo con Salichs (2012), “las señales entrantes pertenecen a tarjetas de entrada/salida en el computador, PLC (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE´s (Variadores de velocidad de motores)” (p. 38). En otras palabras, HMI es el responsable de que pueda visualizarse información a tiempo real, y es un recurso que puede utilizarse en un nivel muy sencillo o profesionalmente en sistemas complejos.

Rodríguez (2013) menciona que el diseño de interfaces está dado por tres reglas básicas expuestas a continuación:

- 1) Dar control al usuario.** El diseño debe ser amigable para que la persona ejecute su trabajo fácilmente y pueda usar teclado, mouse, interrumpir o reanudar la actividad y hacer uso de mensajes y textos descriptivos.
- 2) Reducir la carga de memoria del usuario.** El propósito es que la persona no tenga que memorizar gran cantidad de información, por lo que el sistema debe contar

con funciones como deshacer, rehacer, acciones por defecto, mostrar únicamente datos que sean necesarios para el usuario y de una forma muy visual.

3) Consistencia de tareas e interacciones. Como su nombre lo indica, implica que la ejecución de tareas, interacción, respuesta y estética sean consistentes en todo momento. Además, permite una libre exploración de la interfaz.

Protocolos de Comunicación IoT

El Internet de las cosas (IoT, *Internet of Things* por sus siglas en inglés) consiste en emplear la tecnología para automatizar y generar mayor productividad de los modelos de negocio. La conectividad del servicio está dada por protocolos de comunicación regidos por normás y reglas que permiten que dos entidades intercambien datos. A continuación, en los siguientes apartados son detallados algunos de ellos.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Es un protocolo con diseño publicar/suscribir empleado en un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition); es abierto, simple de usar y muy seguro para sistemas remotos porque incide en el protocolo de transmisión (TCP). Además, tiene mejor respuesta a patrones de comunicación y según el escenario de aplicación (Vermehren y Magalhães de Oliveira, 2015).

CoAP (Constrained Application Protocol)

CoAP fue creado con el fin de ser compatible con HTTP y utilizar la carga mínima posible; la única diferencia con HTTP es que emplea UDP/multicast en lugar de TCP. Entonces, se lo usa cuando otros protocolos son demasiado demandantes en recursos, sobre todo con respecto al ancho de banda. Pero claro, entre sus limitantes se encuentra su desarrollo y el hecho de que el servidor no siempre ejecuta la confirmación de la petición.

Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC (control lógico programable) es un equipo bastante utilizado en negocios que desean potenciar la automatización de los procesos. Consiste en computadores industriales que buscan automatizar mediante la implementación de ingeniería y cuya finalidad es que

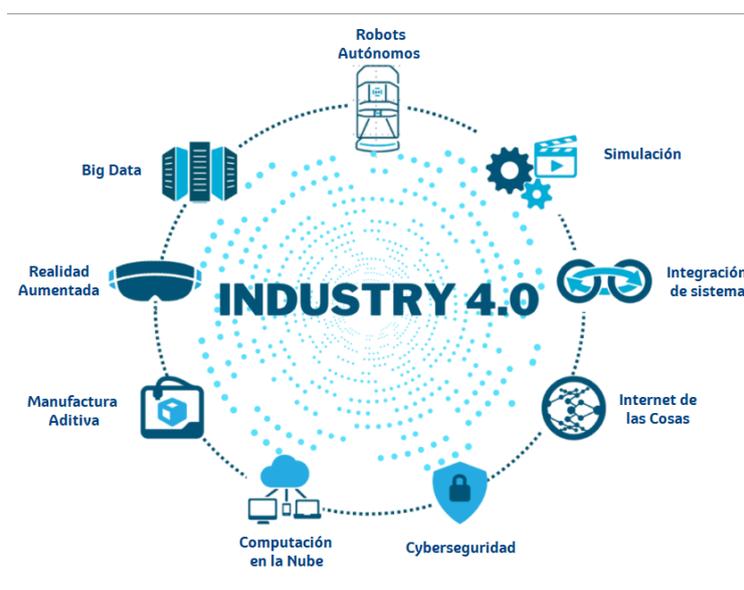
las máquinas sean capaces de ejecutar correctamente los sistemas que las conforman. Es por eso que este controlador constituye hoy en día un recurso esencial para la tecnificación industrial (GSL Industrias, 2021).

IloT

El Internet industrial de las cosas (IIoT) es un recurso esencial en la industria 4.0 debido a que saca el máximo provecho a la inteligencia de las máquinas y al análisis en tiempo real; el fin es utilizar mejor la información que las maquinarias industriales han producido por años. Un elemento esencial dentro de esta tecnología son los dispositivos inteligentes, responsables de este análisis de datos que tan necesario resulta para tomar decisiones comerciales acertadas. En la Figura 5 es posible observar el modelo de Industria 4.0.

Figura 5

Industria 4.0



Nota. Tomado de What is Industry 4.0?, por Meleony, 2022.

La IIoT es aplicada en distintas industrias como transporte, logística, petróleo, energía, entre tantas otras. En cualquiera de los casos, el propósito es optimizar las operaciones y automatizar procesos, lo que paralelamente mejora el rendimiento de los activos y permite una administración más eficiente del mantenimiento. Todo ello impulsa al

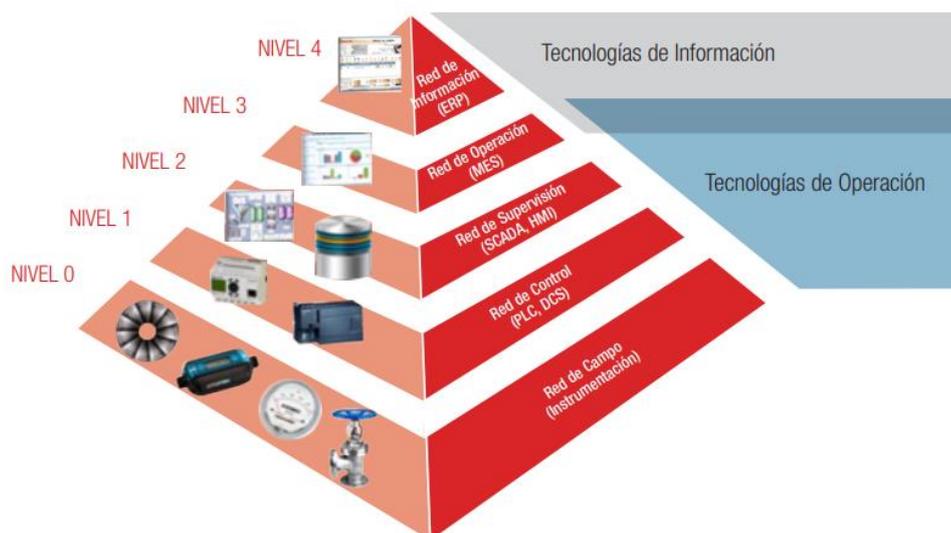
negocio hacia un modelo de servicio de demanda caracterizado por un vínculo más estrecho con el cliente, que es posible alcanzarlo gracias a la transformación digital (TIBCO, s.f.).

Pirámide de Automatización

El éxito de una compañía está determinado en gran medida por la fluidez y continuidad de la información a lo largo de la cadena de valor. Para lograr esta premisa se utiliza la pirámide de automatización (Figura 6), que consiste en integrar todos los computadores y equipos que son parte de los distintos procesos y actividades de tal manera que logren mantenerse intercomunicados y, por ende, lograr una gestión más eficaz, automatizada y mejorar la calidad del producto o servicio (Universidad Veracruzana, 2016).

Figura 6

Pirámide de la automatización



Nota. Tomado de Ciberseguridad en la Pirámide de Automatización Industrial, por Universidad Veracruzana, 2016.

Aunque en la gráfica se presenta una pirámide con cinco niveles no siempre se construye de esta forma, pues depende en realidad de que el proyecto disponga de estas tecnologías. En el caso de los proyectos de desarrollo de prototipos, por lo general solo se trabaja en el área de tecnologías de operación: nivel de proceso, nivel de control y nivel de supervivencia.

Nivel de Proceso (Red de Campo)

Existe un contacto directo con el ambiente con el fin de recopilar información mediante sensores y así ejecutar actividades en equipos y máquinas.

Nivel de Control (Red de Control)

Son agrupados los controladores del sistema (PLCs, DCS, etc.) con la finalidad de usar los datos recabados del nivel anterior y ejecutar arquitecturas de control en los actuadores.

Nivel de Supervisión (SCADA, HMI)

Los equipos se programan para mantener un control de la secuencia de los procesos. Así es posible lograr la administración de datos de niveles inferiores y exponer al sistema mediante arquitecturas gráficas.

Sensores y Actuadores

Interruptor de Flotador

Al existir un cuerpo hueco (flotador), que por su poca densidad y flotabilidad se eleva o cae con el nivel ascendente y descendente del líquido, es posible aprovechar esta fluctuación mediante una palanca mecánica; por ejemplo, a través de un control de boya para un canal de riego se puede obtener un interruptor de flotador mecánico (Doria, s.f.). La Figura 7 expone una muestra visual.

Figura 7

Interruptor flotador



Nota. Tomado de ¿Qué es y cómo funciona un interruptor de flotador?, por Doria, s.f.

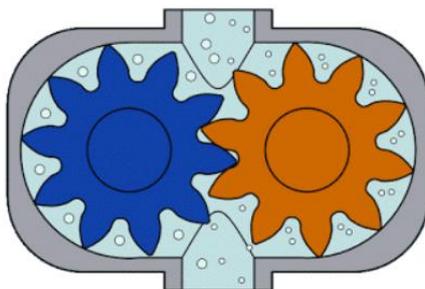
Bombas de Engranajes

Consisten en equipos industriales que son utilizados para bombear fluidos, especialmente los que cuentan con un alto nivel de viscosidad, pues guían los líquidos en los circuitos hidráulicos con un desplazamiento positivo y que es proporcional a la velocidad de giro de los engranes.

Las bombas están constituidas por dos engranajes que giran al interior de la cubierta. Uno de ellos es el impulsor, que se activa como consecuencia de un motor eléctrico, mientras que el segundo es el intermedio, que gira como impulso del primero. Además, este tipo de equipos suele tener un componente de vibración que funciona cuando la bomba se activa (Servicio Hidráulico Industrial [SHI], 2021). A continuación, la Figura 8 expone un ejemplo de esta bomba.

Figura 8

Bomba de engranajes



Nota. Tomado de ¿Qué es una bomba de engranajes y cómo funciona?, por Fluideco, 2020.

Protocolos de Comunicación

Protocolo RS-485

La funcionalidad del protocolo RS-485 (hoy en día denominado EIA/TIA-485) es expandir las capacidades físicas del RS-232. Weis (2021) explica que este protocolo es una interfaz estándar de la capa física de comunicación, un mecanismo para transmitir señales y el primer nivel de interconexión de sistemas abiertos. Por lo general suele utilizarse una conexión de dos o tres hilos, aunque depende de la aplicación a desarrollar, pero siempre ha de tomarse en cuenta que debe haber un hilo de datos, otro de datos invertidos y otro de

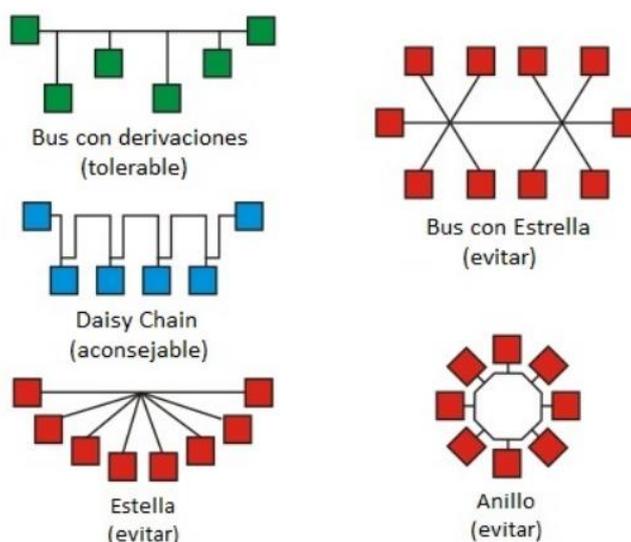
tierra. Además, para que los transmisores y receptores intercambien información se necesita un cable de par trenzado.

Una característica y ventaja de esta forma de comunicación es el multipunto: la línea de comunicación RS-485 tiene la capacidad para funcionar con varios receptores y transceptores conectados de forma simultánea a la línea de comunicación, y los otros transmisores que requieran conectarse están obligados a esperar hasta que la línea se encuentre disponible para transmitir datos (Weis, 2021).

Cabe señalar que los tipos de topología para RS-485 y RS-422 no inciden en el rendimiento, siempre y cuando la velocidad y distancia sean significativamente bajas. No obstante, cuando los efectos de las líneas de transmisión aparecen, existe apenas una topología simple para manejarlos (Novus, s.f.). La Figura 9 detalla las topologías más empleadas para RS485 y RS422.

Figura 9

Topología RS485 y RS422



Nota. Tomado de *Conceptos Fundamentales de RS485 Y RS422*, por Novus, s.f.

La topología de bus se considera tolerable para su implementación, pero NOVUS (2022) explica que al emplearse un bus con derivaciones es recomendable que la longitud de las derivaciones encargadas de conectar los dispositivos a la línea de comunicación sea

lo más corta posible. Además, Weis (2021) expone que al utilizarse este protocolo es fundamental conmutar estados del emisor y receptor para evitar conflicto de datos.

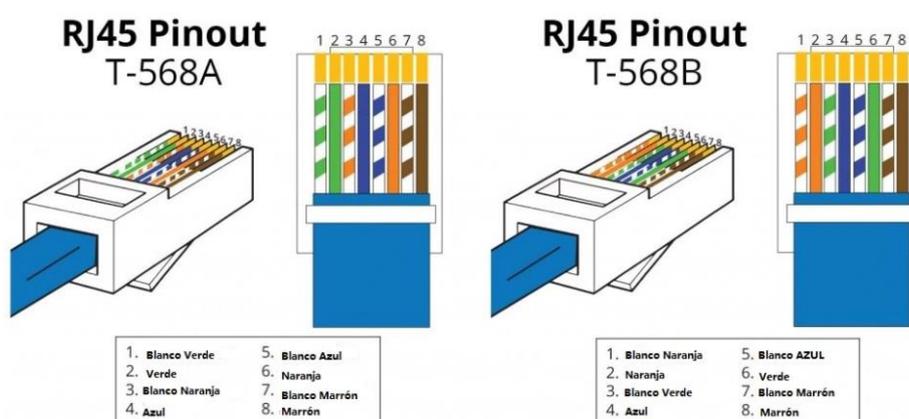
El servidor es capaz de conmutar su controlador RS-485 al modo de transmisión al mismo tiempo que los otros controladores (esclavo) lo hacen en el modo de recepción. Un esclavo responde al maestro mediante una línea de comunicación y debe transmitir un comando en particular para cambiar su controlador al modo de transmisión durante un tiempo determinado.

Conexión con RJ-45

La capa de comunicación tiene un enlace físico conformado por cables, conectores y otros elementos, por lo que se requiere implementar un protocolo para diseñarlos. El hecho de usar un cable directo o cruzado está determinado por la conexión que se necesite; entonces, si el enfoque es normalizar la forma en que los cables son colocados, tiene que emplearse dos tipos: T568A y T568B (Worton, 2021). Cada uno brinda guías para que el cableado finalice en una red de enchufes o en enchufes RJ45 de ocho posiciones tal como lo demuestra la Figura 10 y Figura 11. Es importante mencionar que la selección de protocolo depende si se emplea conexión directa o cruzada en los terminales.

Figura 10

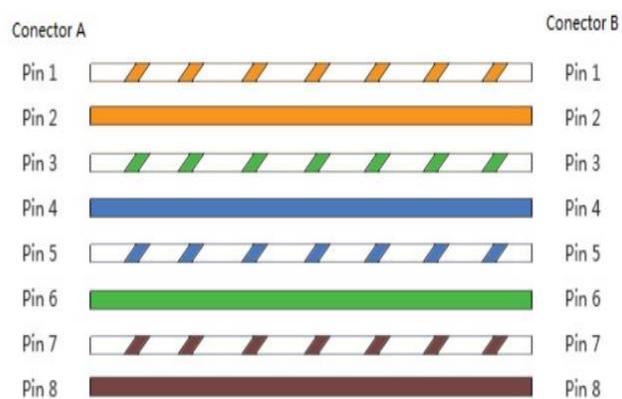
Esquema de RJ-45 pin de salida



Nota. Tomado de T568A y T568B: dos estándares de cable de red RJ45, por Worton, 2021.

Figura 11

Esquema de color RJ-45 de cable directo



Nota. Tomado de T568A y T568B: dos estándares de cable de red RJ45, por Worton, 2021.

Capítulo II

Diseño del sistema

Matriz QFD

Quality Function Deployment, o despliegue de función de calidad, es una matriz que permite evidenciar los requerimientos y expectativas del cliente interno y externo, priorizarlas según su nivel de importancia y disponer de recursos humanos y materiales para satisfacerlas. Tras finalizar el análisis de la matriz QFD (el Anexo 1 muestra la Matriz QFD realizada para este trabajo) es posible definir los parámetros para cumplir con los requerimientos del cliente y priorizarlos de la siguiente manera:

1. HMI.
2. Apropiado diseño del Dashboard
3. Conexión IOT
4. Apropiada programación del PLC
5. Correcta distribución de botones y rotulación apropiada
6. Correcta distribución de componentes
7. Correcto diseño de sistemas para abaratar costos
8. Correcto diseño de la estructura
9. Instalación y sellado de bombas apropiados
10. Graficet para programación

Con base en estos aspectos se aspira satisfacer cada una de las necesidades del cliente.

Diseño Mecánico

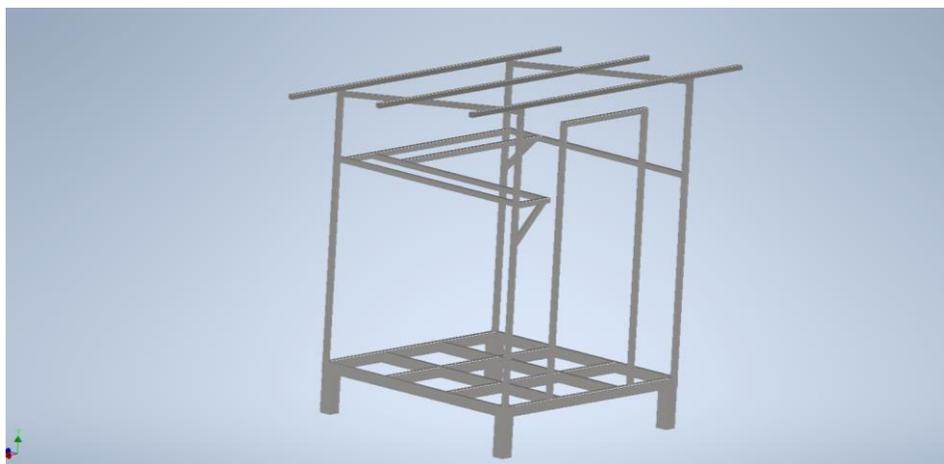
Diseño de la Estructura

Tiene que diseñarse una estructura bastante resistente en vista de que va a ser instalada en un entorno abierto; debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales y además es el pilar de todos los sistemas del prototipo porque resguardará los elementos eléctricos, de control, sensores y actuadores.

Entonces, el primer paso es hacer un diseño CAD del prototipo (Figura 12), que son planos base para su posterior construcción.

Figura 12

Diseño CAD del Prototipo



El diseño fue realizado mediante perfiles estructurales empleados según sus propiedades.

Material utilizado para la estructura. La empresa tiene un tubo cuadrado galvanizado de 40x40x2 mm que es facilitado para implementar la estación. Al no contar con el material completo, es necesario adquirir lo restante para finalizar la estructura. A continuación, la Tabla 1 detalla los criterios de selección de material.

Tabla 1

Características del material a implementar.

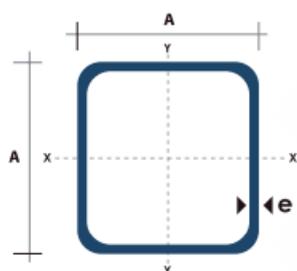
Características	Perfil de acero galvanizado
Esfuerzo máximo	345 Mpa
Pintado de superficies	Fácil
Resistencia a la oxidación	Alto
Deslizante	Liso

Perfil de acero galvanizado	
Características	
Costo	Medio

Se busca que las características sean adecuadas para el área de trabajo, más aún al tomar en cuenta que el material será expuesto a la intemperie. Es por eso que se elige el acero galvanizado, pues es capaz de durar de 100 a 150 años y se asegura así que la estación perdure a lo largo del tiempo. Además, hay que tomar en cuenta que el perfil de tubo cuadrado galvanizado (Figura 13) es fácil de adquirirlo en el mercado, puesto que tiene que haber disponibilidad en caso de que sea necesario comprar más.

Figura 13

Perfil de tubo cuadrado galvanizado



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	4,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

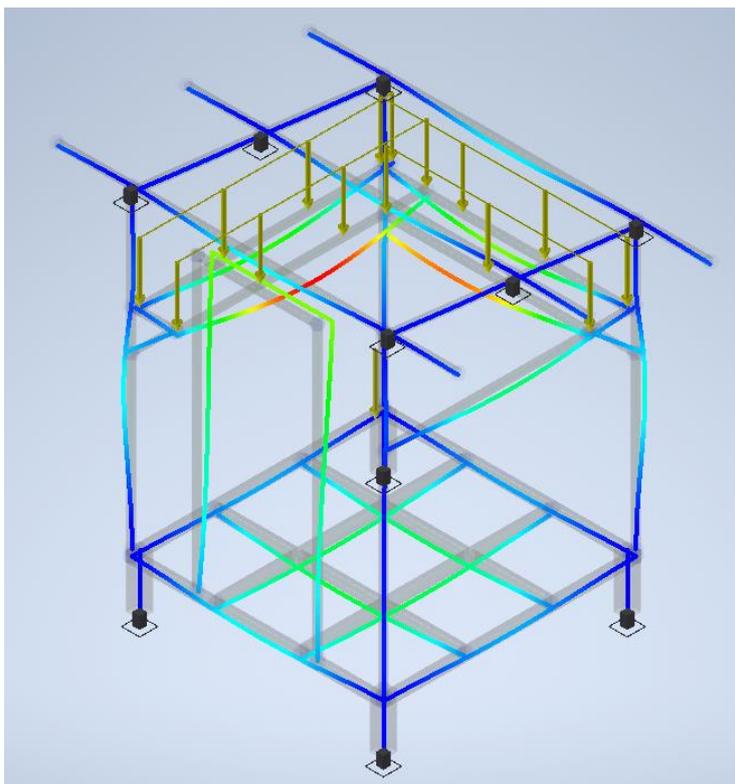
Nota. Tomado de Catálogo de productos de acero, por Dipac, 2022.

Cálculos

Un punto crítico de análisis estructural es la zona de las repisas, que son tratadas como vigas (Figura 14).

Figura 14

Zona de las repisas



Cálculo de Cargas que Soporta la Viga. Este es el producto más pesado. Para calcular la carga total se emplea la Ecuación 1:

$$\text{Densidad del producto} = 375 \frac{\text{gr}}{\text{lt}}$$

(1)

Cada contenedor tiene 20 lt del producto. Entonces, con el dato de la densidad se calcula el peso de cada contenedor según la Ecuación 2:

$$\text{Masa} = 375 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} * 20\text{lt}$$

$$\text{Masa} = 7500\text{gr}$$

$$\text{Masa} = 7.5\text{Kg}$$

(2)

Por otro lado, cada repisa tiene que soportar cuatro contenedores. Entonces, se calcula la masa total mediante la Ecuación 3:

$$\text{Masa total} = 7.5\text{Kg} * 4$$

$$\text{Masa total} = 30\text{Kg}$$

(3)

Una vez determinada la masa, se procede a calcular el peso con base en la Ecuación 4:

$$W = m * g$$

$$\text{Peso} = 30\text{Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

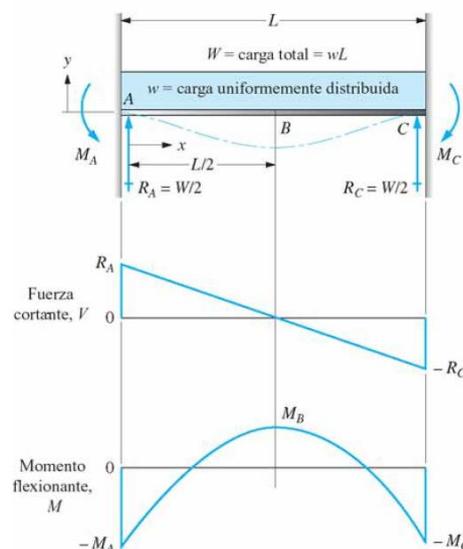
$$\text{Peso} = 294.3\text{N}$$

(4)

Viga Estáticamente Indeterminada. Se considera emplear una viga estáticamente indeterminada y empotrada por ambos lados puesto que es una estructura soldada. La Figura 15 expone este esquema.

Figura 15

Modelo viga estáticamente indeterminada



Nota. Tomado de Resistencia de Materiales, apéndice A25, por Mott, 2009.

Momento Máximo (M_{max}). La Ecuación 5 muestra la formula a aplicar para el momento máximo:

$$M_{max} = \frac{WL}{24} \quad (5)$$

Donde:

W = Carga total

L = Longitud de la viga

Entonces al reemplazar los datos se obtiene lo siguiente:

$$M_{max} = \frac{147.15N * 1.76m}{24}$$

$$M_{max} = 10.791N * m$$

Deflexión (Y_{max}).

La deflexión se la determina de acuerdo con la Ecuación 6:

$$Y_{max} = \frac{-WL^3}{284EI} \quad (6)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de inercia de la sección transversal

Por lo tanto:

$$Y_{max} = \frac{-147.5N * (1.76m)^3}{284 * 2.1 * 10^{11} \frac{N}{m^2} * 6.93 * 10^{-8}m^4}$$

$$Y_{max} = 1.435 * 10^{-4}m$$

$$Y_{max} = 0.144mm$$

Deflexión Máxima Recomendada (Y_{maxR}). El cálculo se lo realiza como lo indica la Ecuación 7:

$$Y_{maxR} = \frac{L}{360}$$
(7)

Donde:

$$Y_{maxR} = \frac{1760mm}{360}$$

$$Y_{maxR} = 4.88mm$$

Al cumplir con $Y_{max} \leq Y_{maxR}$ se demuestra que es un diseño apropiado, pues la deflexión máxima calculada es menor a la deflexión máxima recomendada.

Esfuerzo máximo (σ_{max}). La Ecuación 8 es la empleada para calcular el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S}$$
(8)

Donde:

S = Módulo de sección.

$$\sigma_{max} = \frac{10.791N * m}{3.46 * 10^{-6}m^3}$$

$$\sigma_{max} = 3.119MPa$$

Factor de diseño (N). Para calcular el factor de diseño se considera $\sigma_d = \sigma_{max}$ tal como lo expone la Ecuación 9:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d}$$
(9)

Por otro lado, es importante tomar en cuenta los datos de la Figura 16 en la que se detalla el límite de fluencia mínimo para completar la fórmula.

Figura 16*Factor de diseño, límite de fluencia*

Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm ^A %
AC	Tubo para usos generales	--	290	≥ 35
A	Tubos estructurales sección circular	230	310	25 ^B
B		290	400	23 ^C
C		315	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C
A	Tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25 ^B
B		315	400	23 ^C
C		345	425	21^B
D		250	400	23 ^C
^T ASTM A500/A500M Table 2 Tensile requirements. ^A El mínimo valor de elongación especificado aplica únicamente a los ensayos realizados antes del envío del tubo. ^B Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores menores del especificado, el valor mínimo de elongación en 50 mm debe ser calculado por la ecuación % = 2,2 e + 17,5 redondeado al espesor más cercano. ^C Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 4,57 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm debe ser calculado por la fórmula = 2,4 e + 12 redondeado al espesor más cercano. ^D Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm, puede ser por acuerdo con el fabricante.				

Nota. Tomado de NTE INEN 2415 Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos, por Servicio Nacional de Normalización (INEN), 2016.

Por lo tanto:

$$N = \frac{345MPa}{3.119MPa}$$

$$N = 110.61$$

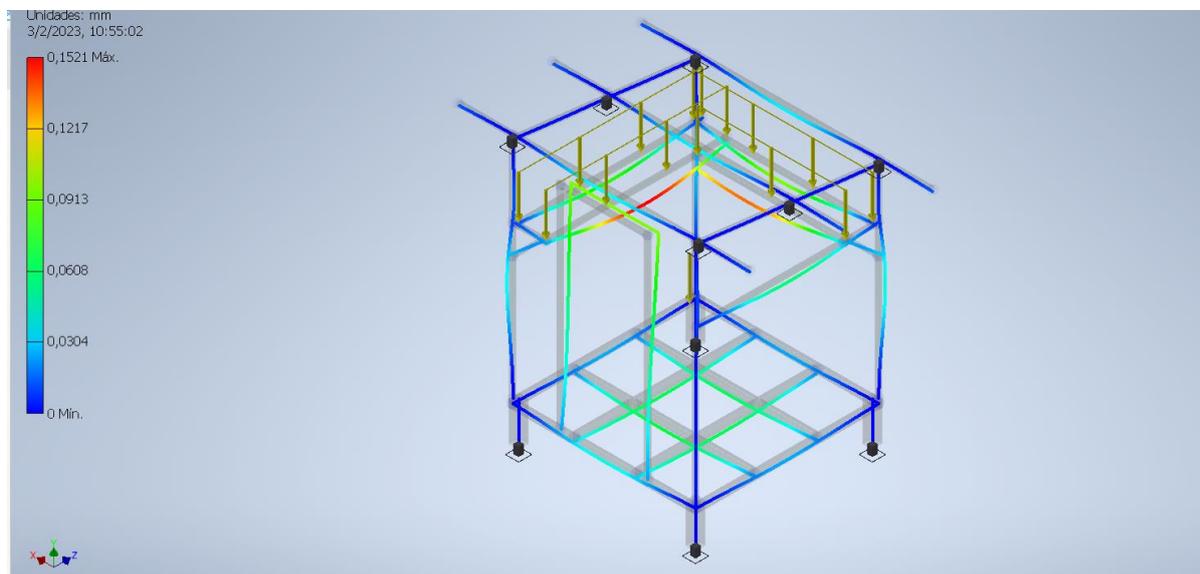
Frente a lo expuesto, se recomienda un factor de diseño $N = 2$ al ser mayor que el factor de diseño recomendado y, por ende, es seguro.

Simulaciones de la estructura

A continuación, la Figura 17 detalla la deformación máxima de la repisa, zona que es importante para el análisis al ser la más vulnerable debido al peso que debe soportar.

Figura 17

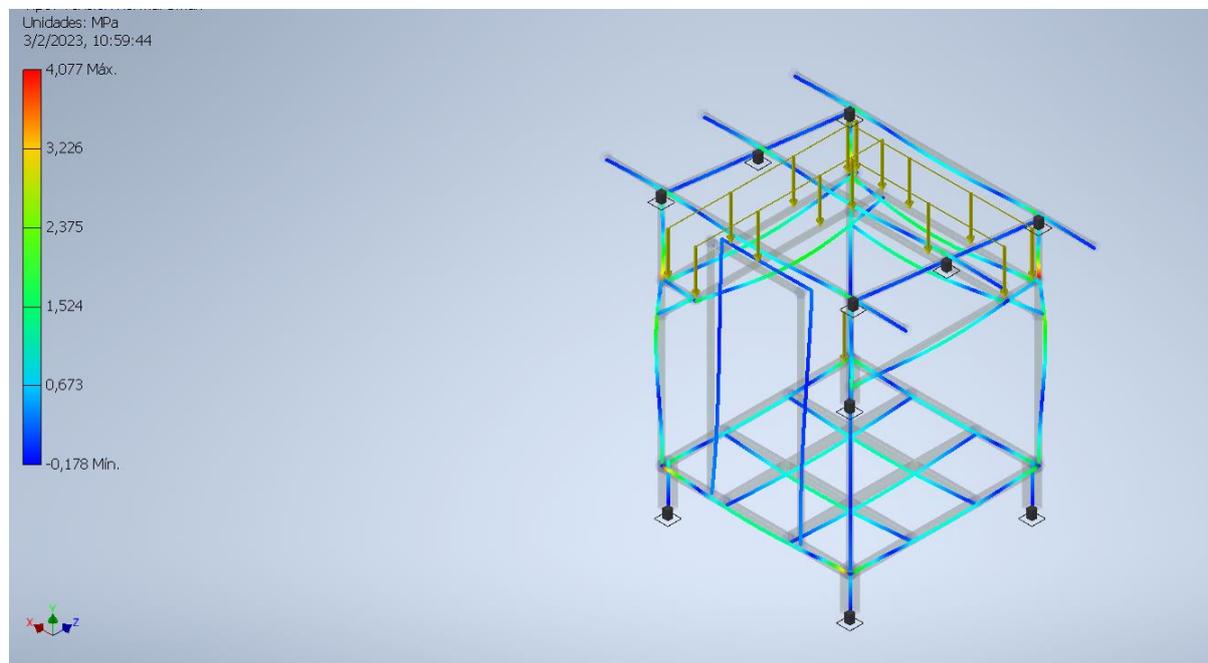
Simulación de la deformación máxima en la repisa



Así mismo, la Figura 18 muestra la simulación de esfuerzo máxima en la repisa.

Figura 18

Simulación de esfuerzo máxima en la repisa



Como fue ya mencionado previamente, el análisis de las repisas es efectuado como si fueran vigas; por lo tanto, son diseñadas a partir del cálculo de la deflexión máxima que tienen en su punto más crítico. En la simulación se evidencia un valor de 0.1521 mm, que es

bastante cercano a 0.144 mm, lo que corrobora que el diseño y estructura son adecuados para manejar pesos de esta magnitud y sin fallas a futuro (ver Figura 19).

Figura 19

Simulación de momentos

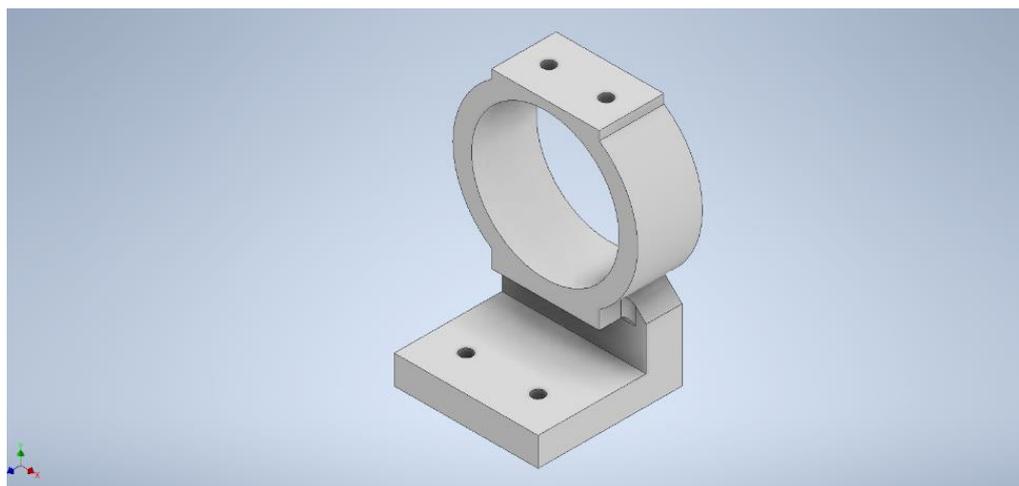


Diseño e impresión de piezas

Para el montaje de las bombas es diseñado un soporte que sostiene las cuatro bombas vibratorias y que puede ser atornillado (ver Figura 20).

Figura 20

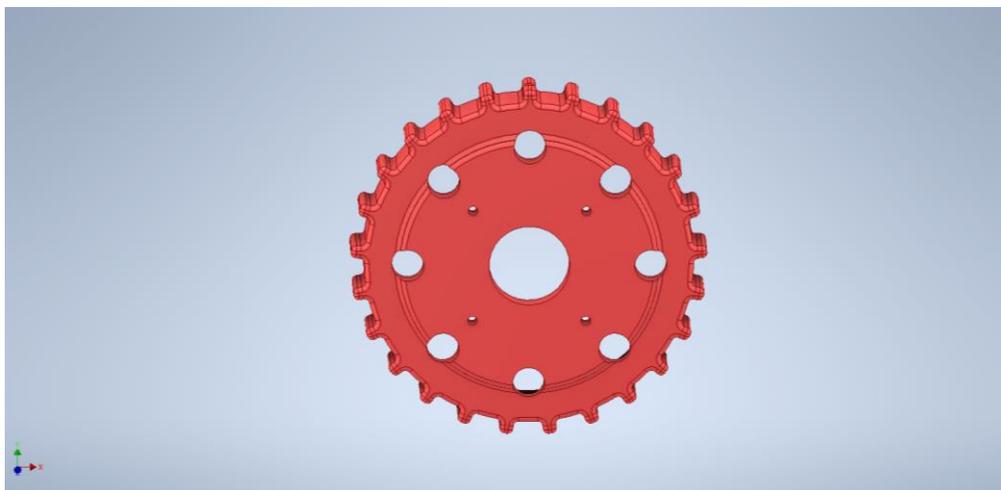
Diseño de soporte para bombas vibratorias



Con la finalidad de conectar las mangueras desde las bombas hacia el tanque de mil litros, se diseña el reemplazo de su tapa (Figura 21) y el motor del mixer. La construcción es realizada en impresión 3D.

Figura 21

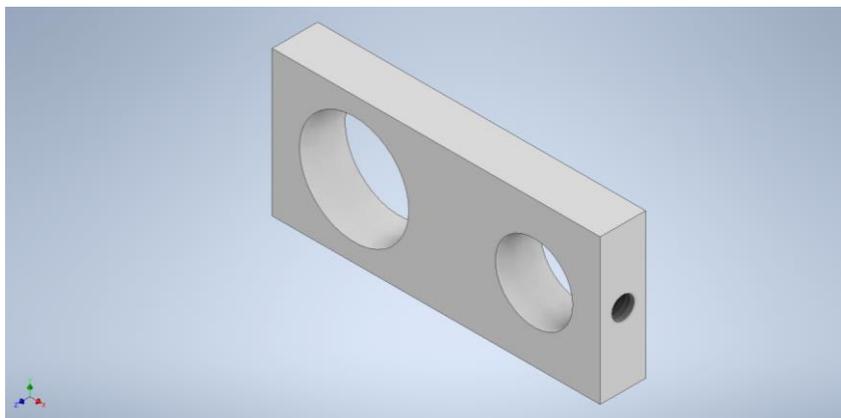
Diseño de la tapa



Se diseña el soporte del sensor (Figura 22), pues al ser una boya que alerta sobre un nivel bajo, debe estar en una posición adecuada para que el sensor se active y el usuario sepa que deben recargarse los contenedores.

Figura 22

Diseño del soporte del sensor



Diseño Electrónico y Control

Al ser un proceso automatizado es necesario definir los sensores, actuadores y controladores apropiados para que el sistema funcione adecuadamente.

Selección de Bombas

La bomba debe ser capaz de bombear elementos viscosos y evitar la corrosión. Además, puede ser de corriente continua o alterna, pues el tablero cuenta con ambas

opciones y da un flujo relativamente constante de sentido positivo para controlar el tiempo. Entonces, en vista de que las bombas son las encargadas de dosificar el fertilizante, tienen que cumplir necesariamente con ciertas características y tomar en cuenta las propiedades de los químicos de la Tabla 2.

Tabla 2

Selección de bombas de líquidos viscosos

Características	Peso	Engranajes internos	Engranajes externos
Potencia	20%	120 W	96 W
Facilidad de control	10%	Alto	Alto
Robustez	10%	Alta	Alta
Resistencia a la corrosión	35%	si	si
Costo	5%	Alto	Bajo
Flujo constante	20%	si	si
Total	100%	95%	100%

Se opta por una bomba de engranajes externos debido a que es la mejor opción para el proceso de dosificación tanto por su capacidad de bombeo como por su fácil controlabilidad. Hay que tomar en cuenta que debido a la composición de ciertos químicos agrícolas se requiere de una bomba de gran capacidad para expulsarlos sin problemas.

Se considera utilizar otro tipo de bomba para los elementos menos demandantes como químicos emulsionantes o poco viscosos. Lógicamente, deben ser resistentes a la corrosión con un flujo constante; pueden ser de corriente continua o alterna puesto que se cuenta con los dos tipos de alimentación en el tablero de control 110 o 220 voltios en la línea principal y una fuente de 24 voltios. (Tabla 3).

Tabla 3

Selección de bombas para líquidos no viscosos

Características	Peso	Bomba vibratoria	Bomba centrífuga
			DC
Potencia	20%	Media	Media
Facilidad de control	10%	Alto	Alto
Robustez	10%	Alta	Media
Resistencia a la corrosión	35%	si	si
Costo	5%	Bajo	Bajo
Flujo constante	20%	Si	No
Total	100%	90%	75%

Se decide trabajar con una bomba vibratoria por ser resistente a la corrosión, y al ser de corriente alterna de 18W es más económica que la bomba de engranajes. Así mismo, tiene un flujo constante y robusto que facilita su implementación dentro de la estación de dosificación y mezcla.

Selección de Sensores de Nivel

La dosificación de los químicos es efectuada mediante cálculo de flujo. Los sensores son utilizados para alarmar cuando haya un nivel bajo de producto y de esta manera rellenar el sistema para evitar problemas en su funcionamiento. Para tomar la decisión correcta se analiza la información de la Tabla 4.

Tabla 4

Selección de sensores de nivel

Características	Peso	Sensor	
		Tipo boya	Analógico
Facilidad de implementación	25%	Alta	Media
Costo beneficio	25%	Alto	Bajo
Robustez	25%	media	Alta
Señal de retorno	15%	Digital	Analógica
Durabilidad	10%	media	Alta

Características	Peso	Sensor	
		Tipo boya	Analógico
Total	100%	95%	60%

Debido a su fácil implementación y acondicionamiento, se opta por un sensor tipo boya que funciona como un contacto que alerta cuando el químico está en un nivel bajo. Además, es resistente y e ideal para este tipo de trabajo.

Selección de microcontrolador

Debido a que deben controlarse actuadores relativamente grandes, se opta por utilizar un PLC para automatizar el proceso y con la opción de realizar la conectividad IoT. Para seleccionar el microcontrolador son tomados en cuenta los datos de la Tabla 5.

Tabla 5

Selección del PLC

Parámetros	Peso	PLC Xinje XD	PLC siemens S7
		series	series
Tamaño	10%	mediano	mediano
Conectividad IOT	25%	si	Si
Costo	15%	Bajo	Alto
Ampliación	15%	Si	Si
Complejidad para implementación	10%	Media	Media
Salidas rápidas	10%	2	4
Plataforma IOT	15%	si	si
Entradas/Salidas analógicas	5%	Con ampliación	Con ampliación
Total	100%	95%	85%

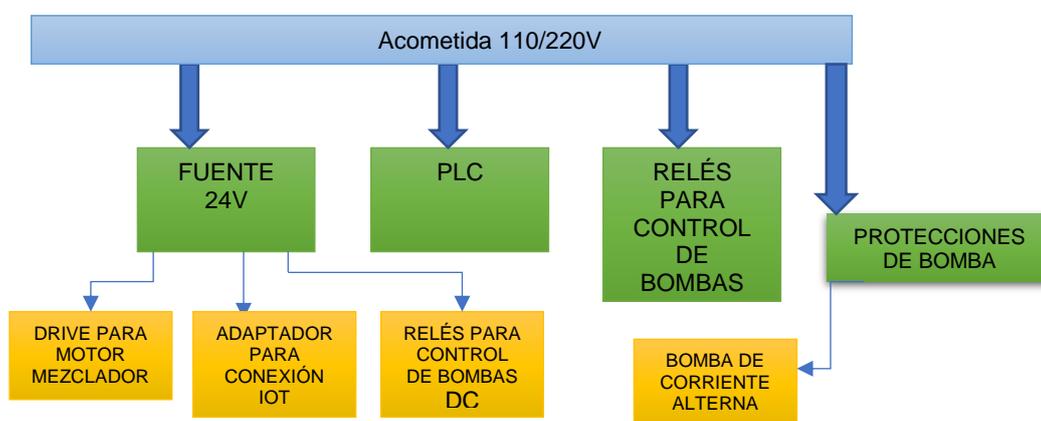
Siemens y Xinje cumplen con todas las características necesarias que requiere el prototipo, por lo que el criterio que definió la decisión final de utilizar Xinje es que su costo es más económico.

Diseño del Tablero de control

Una vez seleccionados los componentes, se procede a trazar la distribución de alimentación del sistema. El tablero cuenta con alimentación AC y DC: se lo conecta mediante 110V AC o 24V DC como lo muestra la Figura 23.

Figura 23

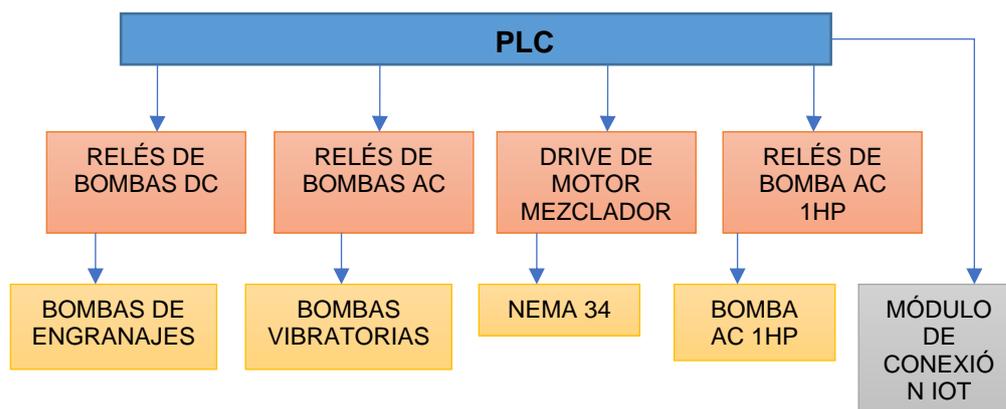
Diagrama de conexión de fuerza



Para el diseño de la conexión de control es tomado en cuenta que se ha seleccionado un PLC. Mediante relés se controla las bombas, y los sensores tipo contacto proporcionan una señal de alerta de bajo nivel de químico que ingresa al PLC para alertar al usuario, como lo indica la Figura 24.

Figura 24

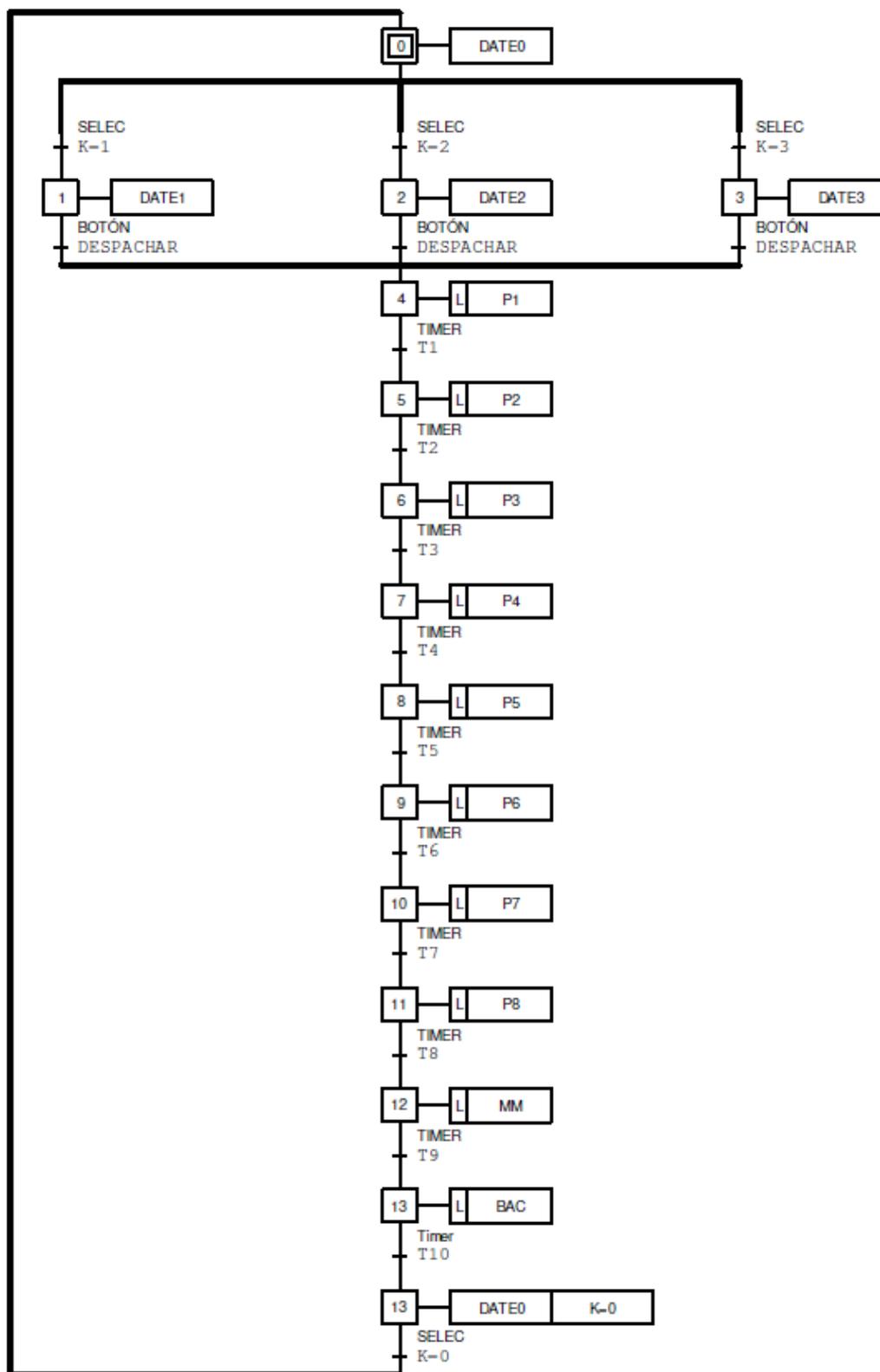
Diagrama de conexión de control



Diseño del programa

Figura 25

Diagrama GRAFCET



Para diseñar el programa a implementar en el PLC, se utiliza la herramienta GRAFCET (Figura 25) que permite determinar la secuencia del proceso. Una vez que el diagrama es diseñado, el siguiente paso es transformarlo a lenguaje de escalera que es empleado en el PLC para el control del proceso. Se establecen así variables temporales que sirven para detectar sensores, actuadores o timers utilizados para programar.

Se consideran tres recetas químicas preprogramadas. En la etapa inicial, DATE0, son tomados en cuenta el tiempo de funcionamiento de cada bomba en 0; con el selector se elige la receta uno, dos o tres que asigna un número que permite cargar los datos de cada receta química. Una vez cargados los tiempos de funcionamiento de las bombas, se presiona un botón para activar el proceso; luego, al dosificarse la mezcla empieza el funcionamiento de un agitador para homogeneizarla. A continuación, la Tabla 5 detalla los indicadores.

Tabla 6

Indicadores del GRAFCET

Identificador	Descripción	Identificador	Descripción
	Datos iniciales, todos los		Tiempo de
DATE0	tiempos de funcionamiento en	T5	funcionamiento de
	cero.		bomba cinco.
	Datos de funcionamiento de la		Tiempo de
DATE1	receta química uno.	T6	funcionamiento de
			bomba seis.
			Tiempo de
DATE2		T7	funcionamiento de
			bomba siete.
	Datos de funcionamiento de la		Tiempo de
DATE3	receta química tres.	T8	funcionamiento de
			bomba ocho.
K=0	Selector en etapa inicial.	P1	Bomba uno.

Identificador	Descripción	Identificador	Descripción
K=1	Selector en la opción de receta química uno.	P2	Bomba dos.
K=2	Selector en la opción de la receta química dos.	P3	Bomba tres.
K=3	Selector en la opción de receta química tres.	P4	Bomba cuatro.
DESPACHAR	Botón que dará la orden de dosificar y despachar la mezcla.	P5	Bomba cinco.
T1	Tiempo de funcionamiento de bomba uno.	P6	Bomba seis.
T2	Tiempo de funcionamiento de bomba dos.	P7	Bomba siete.
T3	Tiempo de funcionamiento de bomba tres.	P8	Bomba ocho.
T4	Tiempo de funcionamiento de bomba cuatro.	MM	Motor de mezclado.

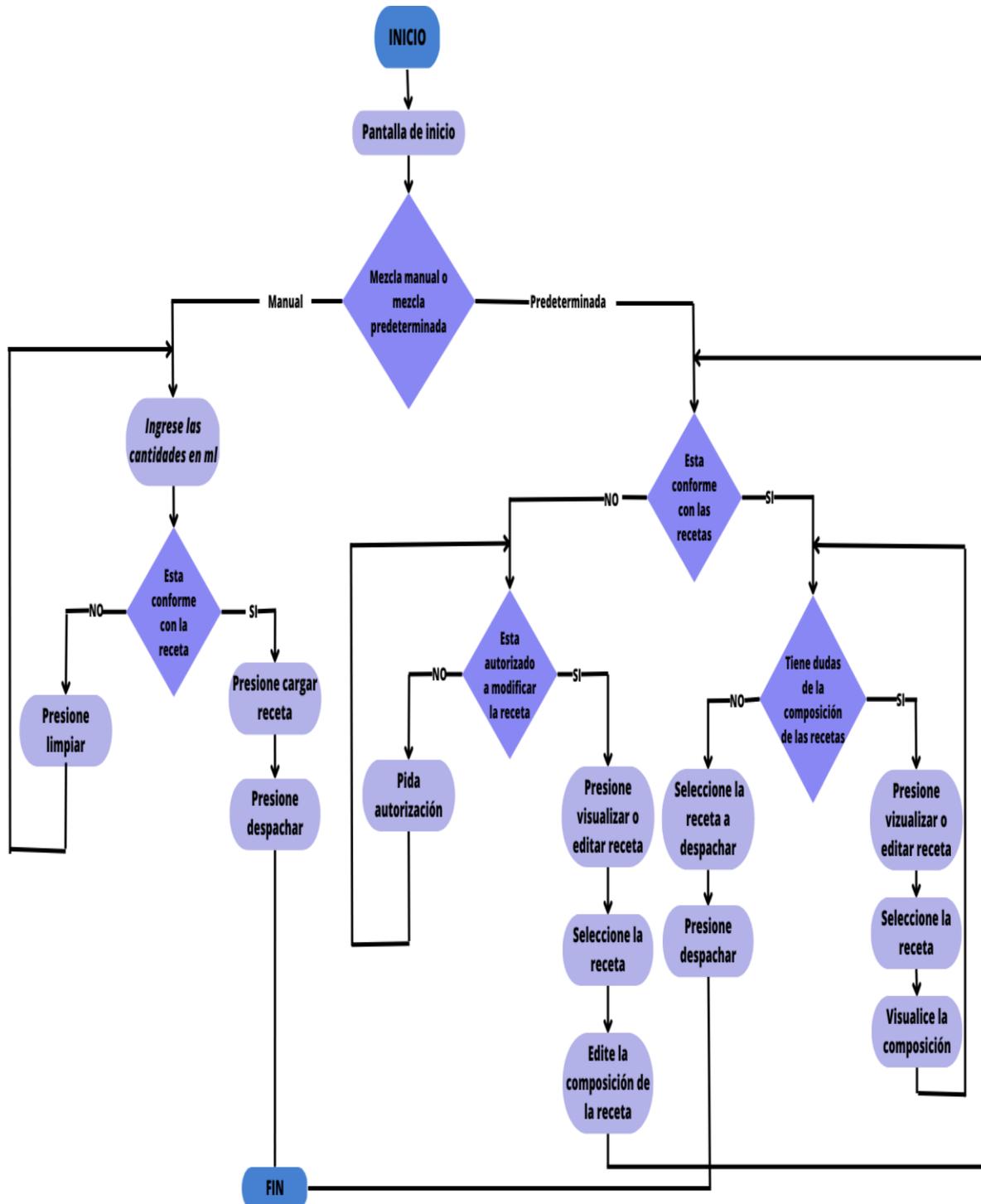
La tabla detallada los indicadores del diagrama GRAFCET que posteriormente son traducidos a un diagrama de escalera para ser implementado en el PLC.

Diseño del HMI

El sistema tiene un HMI marca Xinje -la misma marca del PLC- que se lo usa para controlarlo (el apartado IoT es un control remoto del sistema; el HMI es para uno local). El diagrama de flujo de la Figura 26 muestra el manejo del HMI.

Figura 26

Diagrama general de proceso del usuario

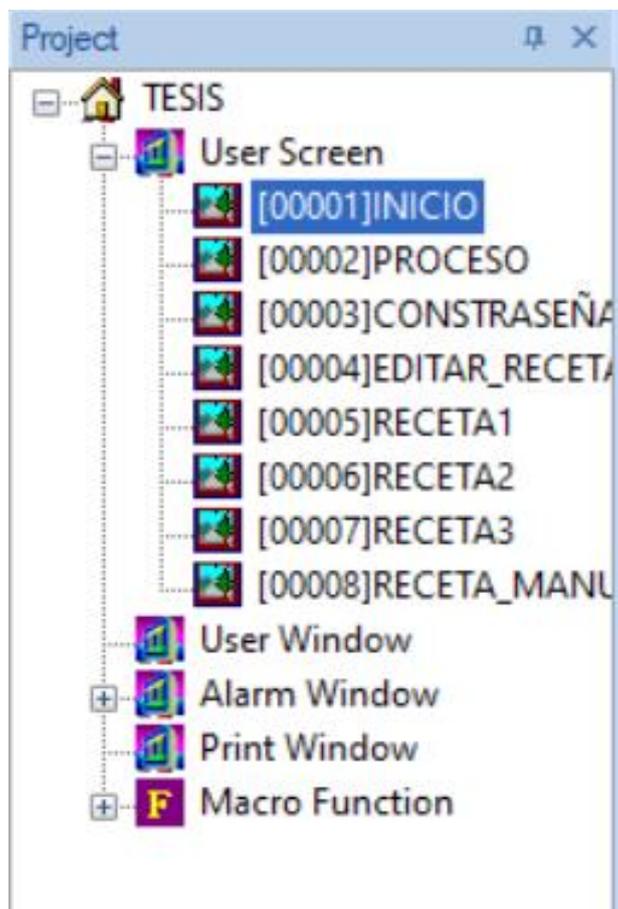


Se desarrolla una presentación amigable con el usuario y también con un nivel de seguridad adecuado en cuanto a modificaciones de parámetros; únicamente el

administrador puede cambiar estos datos. La Figura 27 indica las imágenes que son implementadas en el HMI para controlar el funcionamiento del proceso.

Figura 27

Pantallas diseñadas



El inicio es la caratula y presentación. Luego, en el proceso se encuentra el funcionamiento: se selecciona la receta, tiempo de funcionamiento de la bomba de riego y se elige la receta manual. En la imagen de contraseña está una verificación que permite acceder a la modificación de las recetas de fertirriego, cuyos parámetros pueden cambiarse en la RECETA1, RECETA2 y RECETA3.

Capítulo III

Construcción del sistema

Parte mecánica

Para el prototipo se diseñó una estructura que cumple con todos los requerimientos, pues debe ser lo suficientemente resistente para tolerar los cambios ambientales y albergar a todo el sistema sin que se produzca daño alguno.

Cimentación de las bases

Se fundieron cuatro columnas. En la parte superior fue soldada una placa de acero (Figura 28) que funciona como soporte para soldar las cuatro patas de la estructura.

Figura 28

Columnas con placa soldada



Una vez soldadas las placas, se procedió a fundir las columnas que soportan toda la estructura como lo muestra la Figura 29.

Figura 29

Columnas fundidas



Ensamblaje de la estructura

De acuerdo al diseño planteado y los materiales seleccionados, se procedió a construir la estructura como se muestra en la Figura 30.

Figura 30

Construcción de la estructura



Montaje de la estructura

Una vez que la estructura fue construida, el siguiente paso consistió en realizar el montaje en las bases previamente implementadas, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Montaje de la estructura



Parte eléctrica y control

Se procedió a la implementación tras haber realizado los diagramas y seleccionado los componentes. Fue tomado en cuenta un tablero de 40x40x20 mm en el que se instalaron todos los elementos de fuerza y control.

Implementación del tablero

El tablero fue implementado de acuerdo a los diagramas establecidos. El proceso consistió también en instalar canaletas y el riel din que soportan los cables y los componentes (ver Figura 32).

Figura 32

Tablero de control

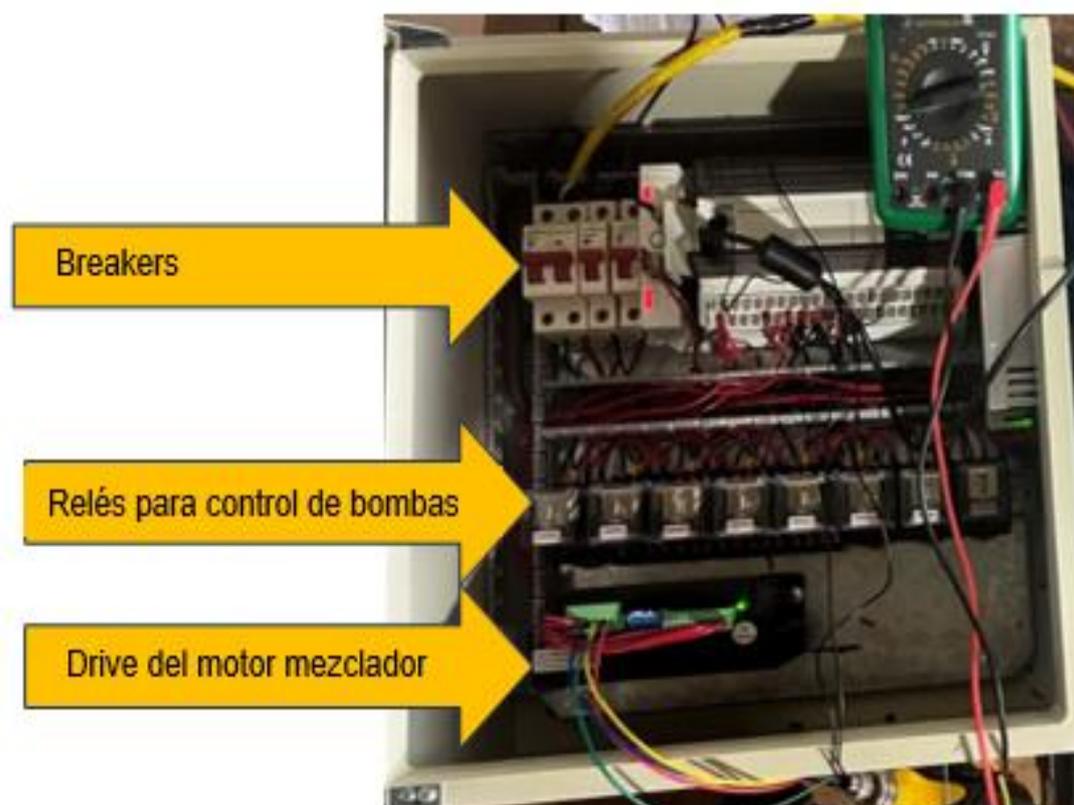


Comprobación de conexiones.

Una vez culminada la implementación del tablero fue necesario comprobar las conexiones mediante un multímetro, como lo muestra la Figura 33. Luego, se procedió a energizarlo para comprobar que no exista problema alguno.

Figura 33

Comprobación de Conexiones



IoT

La implementación del IoT fue ejecutado mediante un módulo de expansión de la misma marca del PLC (Xinje). De esta manera pudo conectarse XINJE CLOUD con la finalidad de realizar el HMI y establecer la conexión (Ver Figura 34).

Figura 34*XINJE CLOUD*

Nota. Hay un usuario y contraseña para tener acceso a la plataforma.

Previo a la implementación del PLC y del módulo de ampliación IoT, fue necesario realizar la configuración para ponerlos en funcionamiento. En primer lugar, se utilizó el software de la marca y el PLC adecuado como lo expone la Figura 35.

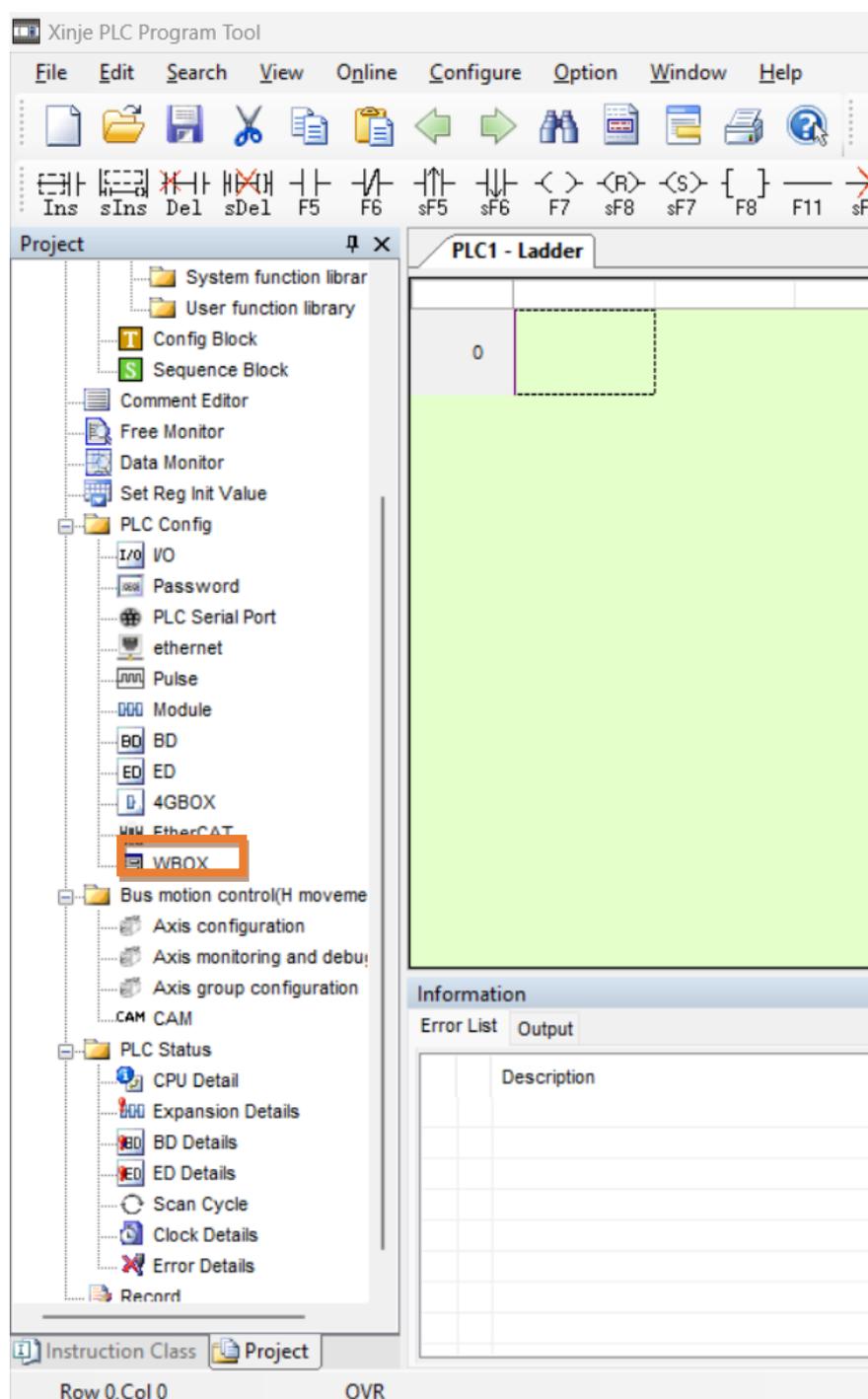
Figura 35*Software de configuración y programación*

Nota. El software es XD PRO que es compatible con el PLC y el módulo de la serie XD3.

El siguiente paso fue configurar el módulo IoT que es conectado a la red y permite controlar el PLC de manera remota y, por ende, el sistema de dosificación. Primero se seleccionó la opción WBOX en la parte izquierda como lo muestra la Figura 36.

Figura 36

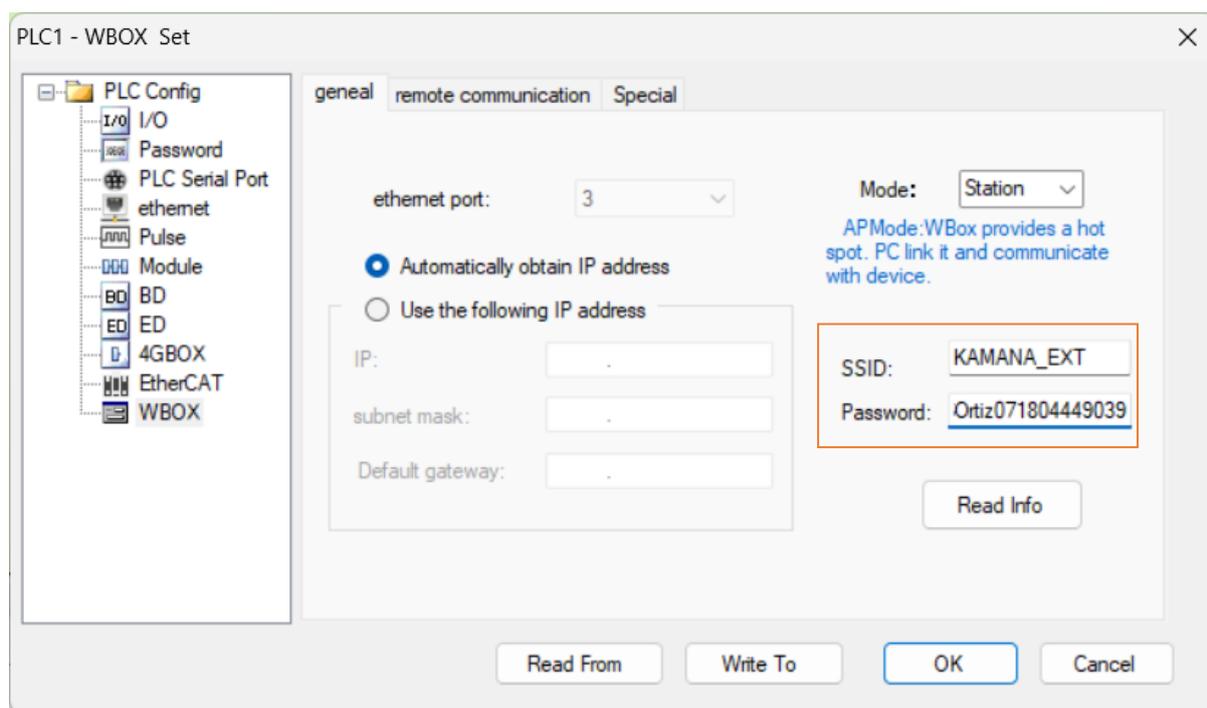
Software de configuración y programación



En esta ventana se ingresaron las credenciales de la red a la que se conectó el dispositivo. Vale mencionar que debe haber conexión estable para lograr una conectividad adecuada y evitar problemas en el control del PLC durante todo el proceso (Figura 37).

Figura 37

Software de configuración y programación 2

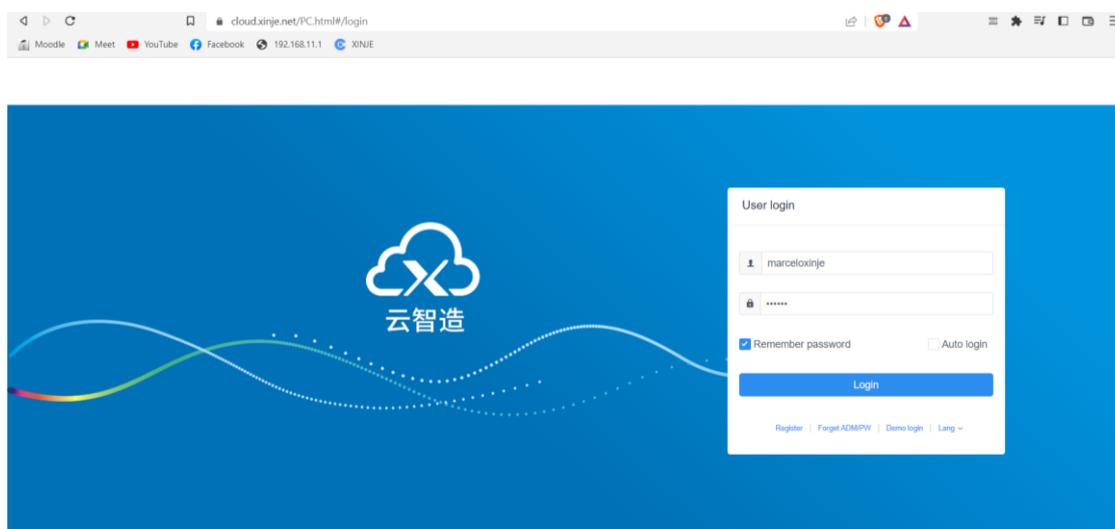


Una vez culminado esta fase, el siguiente paso consistió en configurar la plataforma XINJE CLOUD para establecer la conexión con el PLC. Su uso puede estar enfocado a detectar fallo del equipo, diagnóstico remoto, monitorización en tiempo real, mantenimiento de fiabilidad postventa de equipos y mantenimiento postventa de compresores de aire; así mismo, garantizar la autenticidad de los datos de los equipos de prueba y detección, prueba de la batería de litio, construcción de ciudades inteligentes, tratamiento de aguas residuales, reciclaje de residuos y almacenamiento en frío, agricultura inteligente, hogar inteligente, vehículos recreativos inteligentes y otras industrias.

Se ingresaron las credenciales proporcionadas por el proveedor como lo muestra la Figura 38.

Figura 38

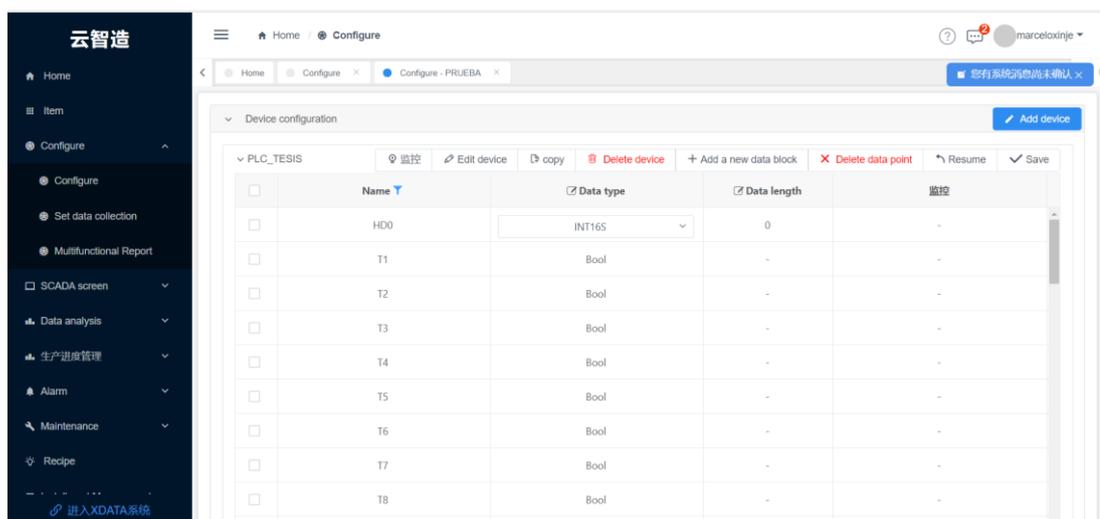
XINJE CLOUD 2



En la plataforma se procedió a configurar el PLC. El proceso implicó crear un nuevo dispositivo, seleccionar las variables y sus respectivas direcciones a monitorizar como lo muestra la Figura 39.

Figura 39

XINJE CLOUD



Una vez creados los dispositivos y las variables, se procedió a ejecutar la conexión con el dispositivo. Para ello fueron ingresadas las credenciales solicitadas como muestra la

Figura 40. Algunos datos se obtuvieron del software de configuración expuesto en el siguiente apartado.

Figura 40

Conexión con el PLC

html#/configure/configure_item_query?itemId=I5c9ed368f2231672&itemName=PRUEBA

1  XINJE

* Device name:

* Communication device:

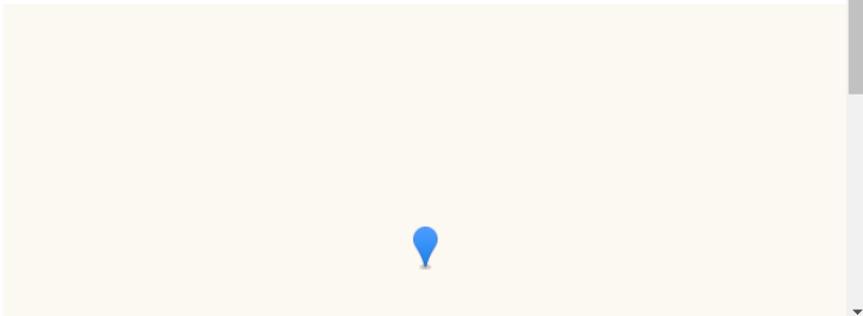
* Device type:

BoxID:

Boxname/passw

GPS: Automatic positioning Manually positioning

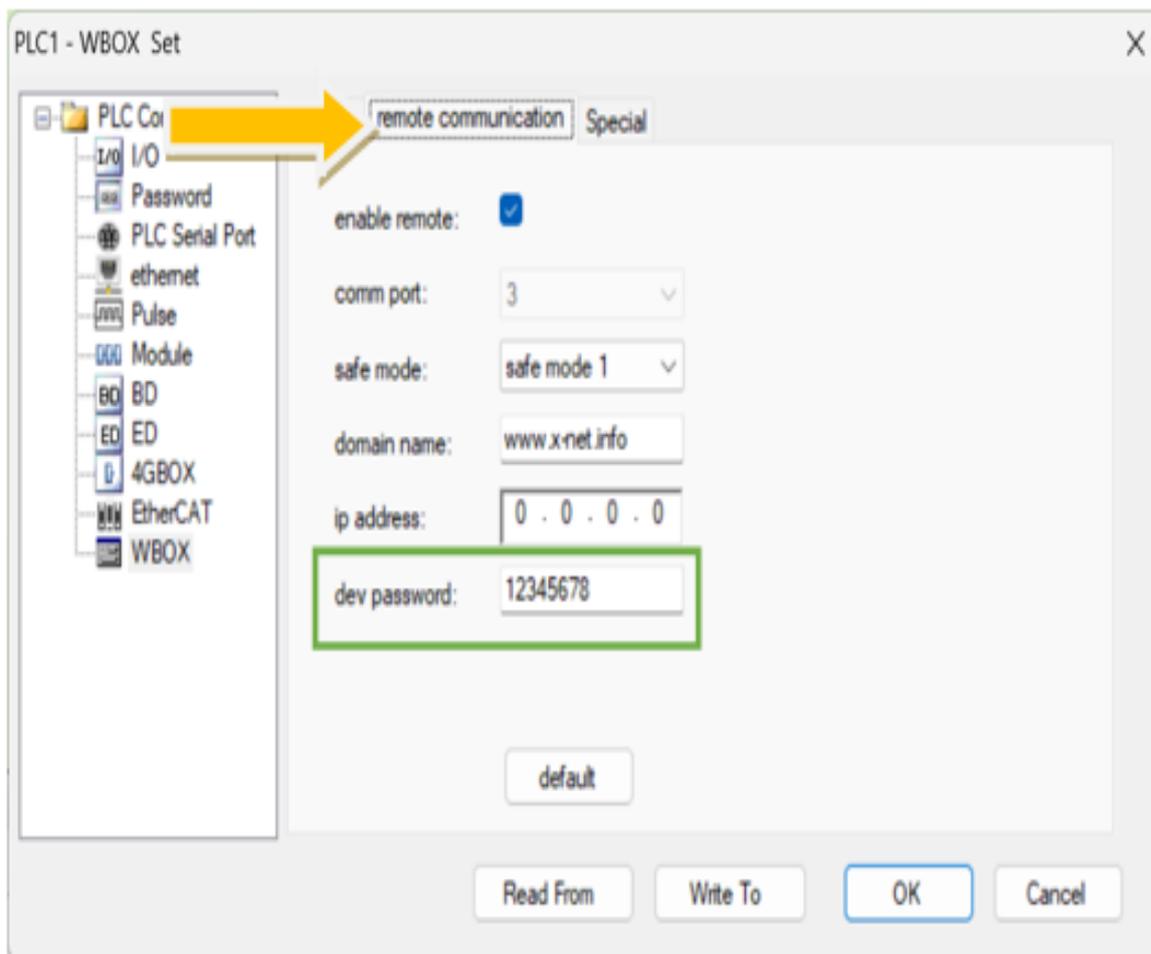
Latitude and longitude:



Los datos requeridos son el tipo de módulo de conexión IoT, PLC, credenciales específicas del módulo WBOX y la ubicación del PLC para sincronizar con la hora local; algo necesario para generar notificaciones y/o reportes (Figura 41).

Figura 41

Información remota del WBOX



El apartado de BoxID está ubicado en la parte posterior del módulo WBOX, que es el identificativo del dispositivo. Por otro lado, el Boxname es la contraseña del módulo que se encuentra en la opción *remote communication* en el apartado dev password. Una vez la conexión fue establecida, se procedió al diseño del dashboard en Xinje Cloud mediante las variables declaradas previamente en la plataforma.

Se consideró una interface para PC y dispositivos móviles para la conexión IoT con el fin de controlar el proceso. De esta manera es posible realizar el riego desde cualquier lugar, siempre y cuando se cuente con conexión a internet para enviar la información al servidor de la marca que controla el proceso. La Figura 42 detalla las imágenes del dashboard IoT.

Figura 42

Imágenes de dashboard IoT



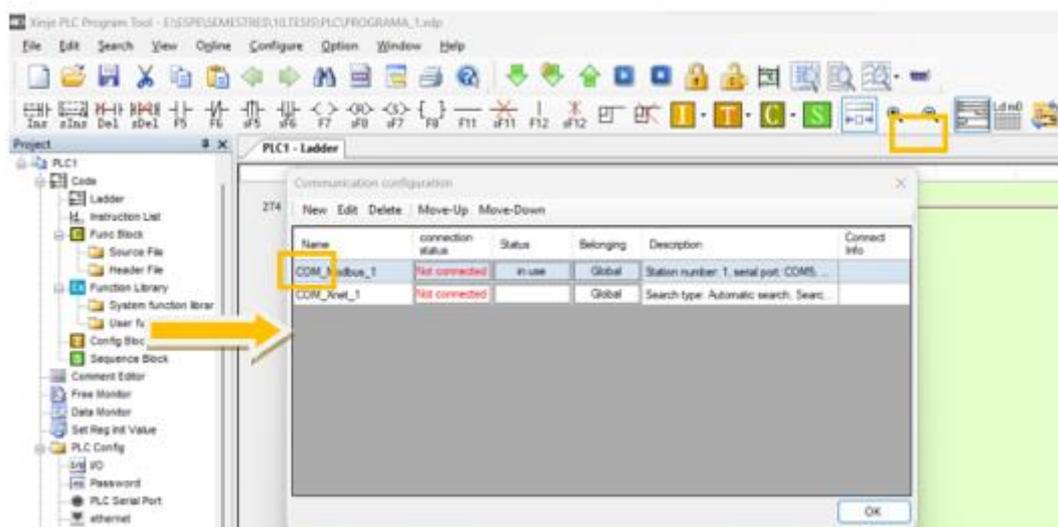
En el Anexo 1 es posible visualizar el dashboard con todos los elementos e imágenes programadas para el manejo del sistema.

Implementación del programa al PLC

El siguiente paso consistió en seleccionar el método de comunicación para la carga del programa. Primero, se eligió el icono del puerto serie como lo muestra la Figura 43.

Figura 43

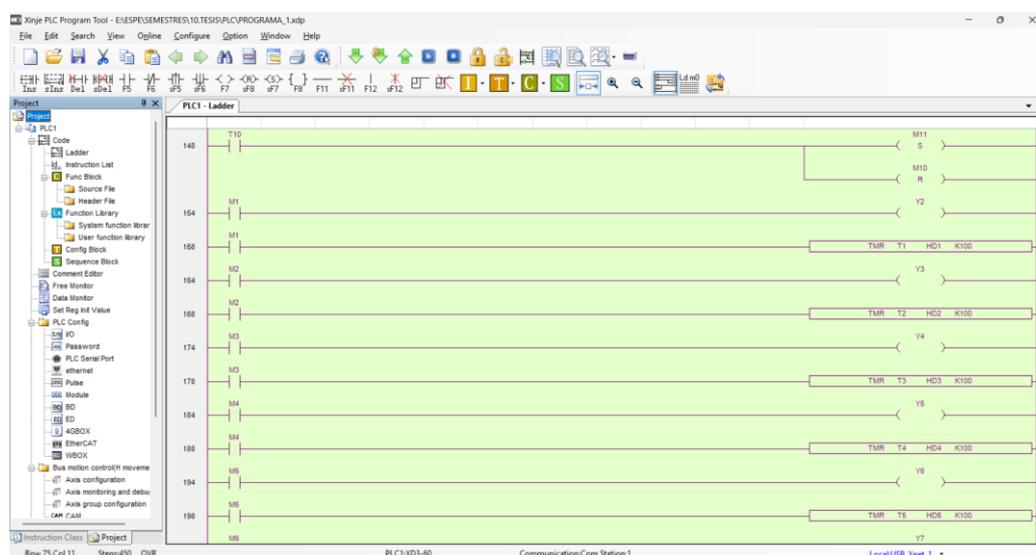
Configuración del PLC



Una vez ejecutado este paso, se presionó la opción New que despliega un menú; ahí se seleccionó la comunicación de tipo serial y el puerto utilizado. Cabe indicar que todo el proceso fue realizado con el PLC conectado. Al finalizar con la conexión del PLC se procedió a programar entradas, salidas y sensores conforme al diseño del GRAFCET, lo que implicó transformar a lenguaje de escalera como lo expone la Figura 44.

Figura 44

Programación del PLC

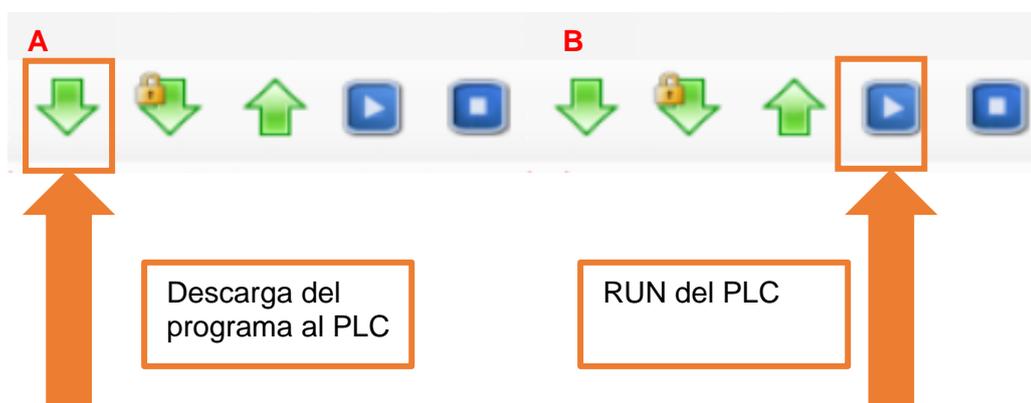


Nota. El programa que gobierna todo el proceso se lo puede observar en el Anexo 3.

Una vez completada esta fase, se descargó el programa al PLC para comprobar su funcionamiento, para lo cual se presiona la flecha verde hacia abajo (Figura 45). Al descargarse el software, se da clic al botón azul para poner el PLC en modo run (cuando se descarga siempre se queda en stop).

Figura 45

Descarga del programa



Implementación de sensores

Para implementar los sensores se realizó la impresión 3D del soporte. En este proceso fue utilizado un eje de 8 mm de diámetro para montar el soporte y el sensor y así formar una sonda que llega al fondo del contenedor de 20 litros para reportar un nivel bajo del químico (Figura 46).

Figura 46

Diseño del soporte de sensor



Al realizar el ensamblaje de las ocho sondas, el siguiente paso fue introducir en el contenedor y realizar el montaje como lo indica la Figura 47.

Figura 47

Montaje de sensores



Conexión de bombas y motores

El motor se lo utilizó para un mixer encargado de homogeneizar la mezcla, mientras que la bomba de corriente alterna de 1HP es la encargada de realizar el riego de la mezcla (Figura 48).

Figura 48

Bomba de corriente alterna



La bomba seleccionada fue de 220 voltios y 6 amperios. Para su alimentación se consideró un arrancador que permite ahorrar espacio y conexiones, y únicamente fue deshabilitado el pulsador. Se cableó a la etapa de control gobernada por el PLC mediante un relé como lo muestra la Figura 49.

Figura 49

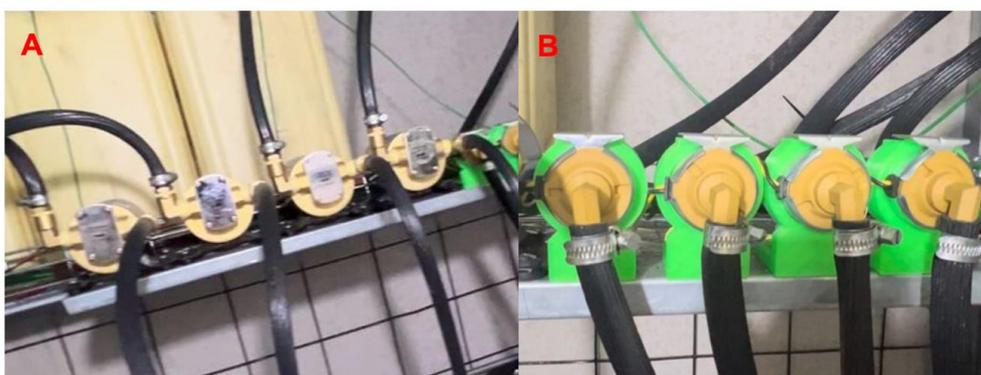
Arrancador de motor



Al seleccionar dos tipos de bombas para la dosificación, tanto para productos viscosos como aquellos más líquidos, la manera de fijarlas fue diferente. Debido a que hay un soporte, las bombas de engranajes se las pudo atornillar, mientras que las bombas vibratorias necesitaron de un soporte (ver Figura 50).

Figura 50

Fijación de bombas



Nota. A: bombas de engranaje. B: bombas vibratorias.

Posteriormente se montó el sistema de dosificación en la estación tanto bombas, mangueras, sensores y contenedores de químicos, tal como lo muestra la Figura 51.

Figura 51

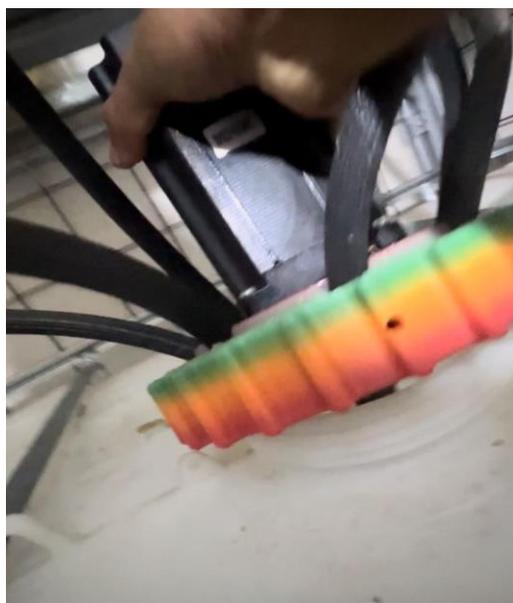
Montaje del sistema de dosificación



A continuación, la Figura 52 muestra el montaje de las mangueras y del motor mezclador. Para este paso se requirió imprimir en 3D con la finalidad de realizar el ensamblaje de una manera más ordenada.

Figura 52

Montaje de mangueras y motor



Implementación del HMI

Se considero un mando local, por lo que requirió implementarse un HMI que está montado en el tablero (Figura 53). El control del sistema también cuenta con funciones específicas locales como edición de recetas y prueba de cada uno de los dispositivos involucrados en el proceso.

Figura 53

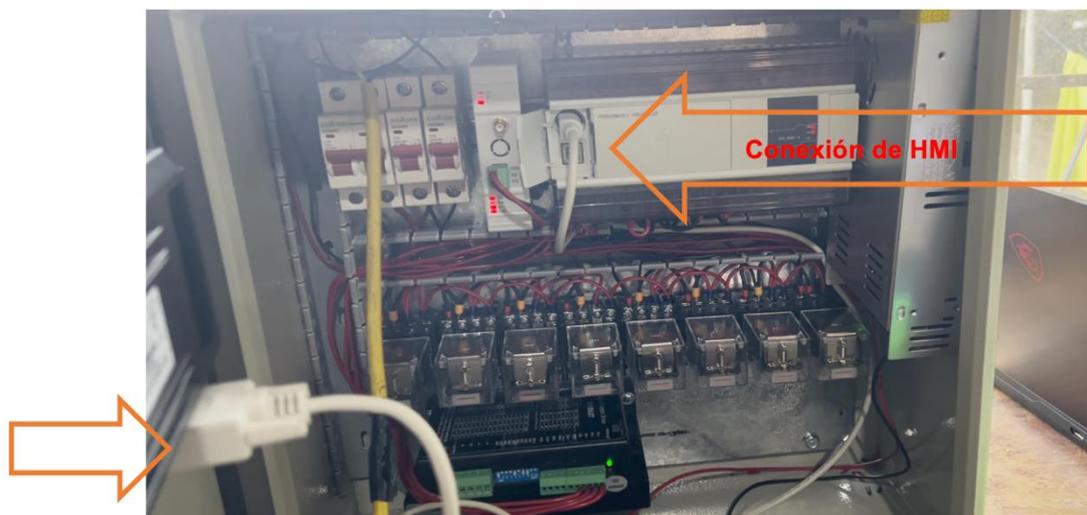
Montaje de HMI



Una vez montado el HMI, se procedió a conectar el PLC mediante el puerto serial, como lo muestra la Figura 54.

Figura 54

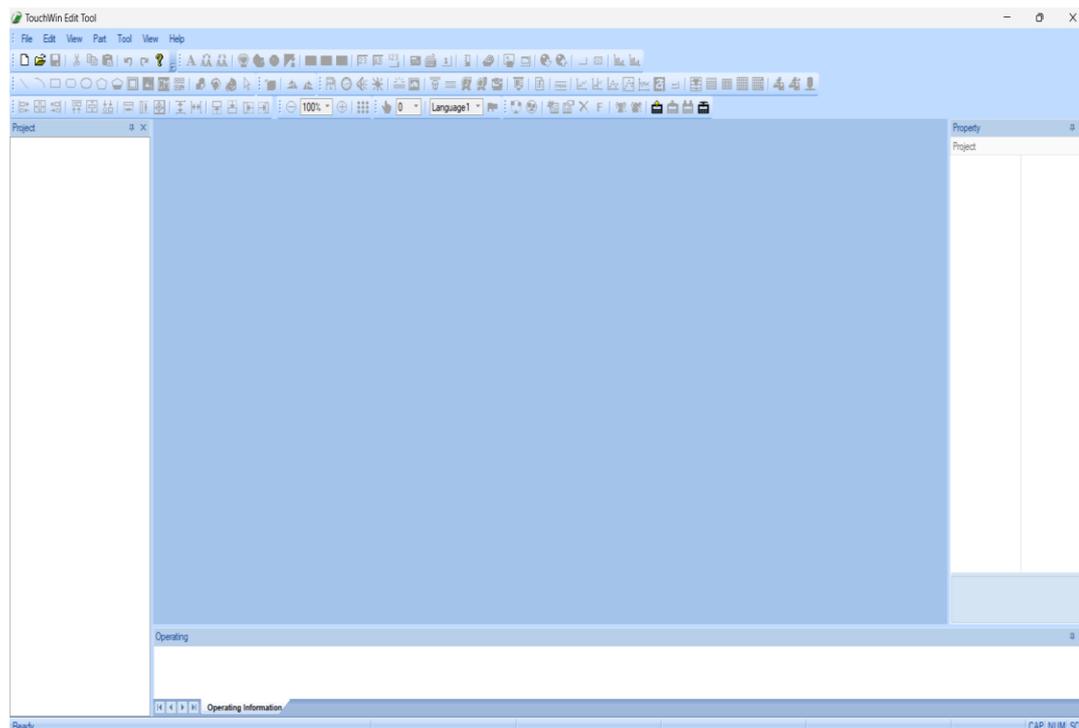
Conexión al PLC



Para la carga y diseño de las imágenes se utilizó TouchWin Edit Tool que se lo puede visualizar en la Figura 55.

Figura 55

TouchWin Edit Tool



De acuerdo al diseño del HMI, se tomó en cuenta que debe controlarse el proceso, es decir seleccionar las recetas, comandarlas y editarlas siempre y cuando cuente el usuario con la contraseña de administrador; una persona con acceso convencional no está facultada para hacer este proceso. Así mismo, fue desarrollada una alerta de nivel bajo que se implementó mediante sensores de nivel tipo boyas previamente instalados en los contenedores. El Anexo 3 muestra las imágenes correspondientes.

Costo de implementación del sistema de dosificación y mezclado

La tabla 7 muestra el valor de implementación de la estación la cual invirtió la marca para automatizar el proceso de fertirriego, como se detalla el valor más alto fue en la parte eléctrica y de control, puesto que los equipos como el PLC o el módulo de conexión IoT tienen costos altos al ser equipos especializados.

Tabla 7*Costo de Implementación.*

	Descripción	Valor
1	Materiales para el apartado mecánico	893,54
2	Compra de sensores y actuadores	955,87
3	Elementos eléctricos y de control	1555,26
4	Mano de obra e ingeniería	296
	TOTAL	3700,67\$

Capítulo IV

Pruebas y análisis de resultados

Para evaluar la funcionalidad del prototipo, fue necesario realizar la división de sistemas y componentes, el apartado mecánico y las repisas que soportan los contenedores. El siguiente sistema a comprobar fue el de dosificación, que consistió en corroborar el funcionamiento de todas las bombas y el caudal, tomando en cuenta que la dosificación se realiza mediante tiempos y cálculo de caudal (al ser cantidades grandes, la precisión no es necesariamente esencial).

Por otro lado, las pruebas electrónicas y de control fueron ejecutadas con todos los elementos de control, módulos, PLC, relés, breakers y contactores. En cambio, las pruebas de comunicación IoT se realizaron al observar el funcionamiento de las salidas del PLC gobernadas mediante el dashboard en Xinje Cloud.

Una vez finalizada la implementación del sistema de dosificación y mezclado de recetas para fertirriego la Figura 56 indica como se encuentra totalmente montada en el campo de implementación el cual se encuentra en la parroquia Quinchicoto, cantón Tisaleo perteneciente la provincia Tungurahua.

Figura 56

Sistema Final.



Pruebas mecánicas

Debido a que las repisas y estructura fueron previamente diseñadas con base en cálculos de diseño, se consideró que no presentarán fallo alguno. Por ende, se implementaron los contenedores para identificar cómo se comporta la estructura (Figura 57).

Figura 57

Prototipo Final



La Tabla 8 muestra la manera en que se comprobó la estructura al agregar cada vez más peso. Progresivamente se añadieron nuevos contenedores hasta finalizar con ocho.

Tabla 8

Prueba de estructura

N° Prueba	Número de contenedores subidos	Peso soportado (Kg)	Soporta (Si/No)
1	1	19.94	Si
2	2	39.88	Si
3	3	59.82	Si
4	4	79.76	Si
5	5	99.7	Si
6	6	119.64	Si
7	7	139.58	Si
8	8	159.52	Si

Al aplicar peso de manera progresiva se pudo evidenciar que las repisas tienen un soporte adecuado i hasta la fecha se mantienen implementadas sin ningún problema.

Prueba de bombas

Estas pruebas fueron ejecutadas en función de las bombas seleccionadas: cuatro de engranajes para los químicos de fertirriego densos y cuatro vibratorias para los emulsionantes y líquidos menos densos.

Prueba de bombas de engranaje

Estuvo previsto el uso de una bomba de engranaje para los químicos de fertirriego más densos. Se desarrollaron varias pruebas con diferentes tiempos tanto para comprobar la funcionalidad de la bomba como para identificar el caudal. A raíz de ello fue posible calcular una constante, que convirtió el tiempo de funcionamiento de bombas en volumen.

La Figura 58 muestra cómo mediante un relé y una placa de Arduino se realizaron las pruebas de funcionamiento. De esta manera se asignaron varios tiempos iguales y diferentes para comprobar el volumen dosificado, determinar si puede ser constante y su variación.

Figura 58

Prueba de bomba de engranaje



Se ejecutaron 10 pruebas con diferentes tiempos para comprobar el volumen que ofrece la bomba de engranajes. La Figura 59 expone la manera en que las pruebas fueron llevadas a cabo; el proceso implicó utilizar un programa de pruebas en Arduino y medir el resultado mediante un contenedor numerado con el volumen, una vez finalizadas la pruebas mediante la placa Arduino y calculado la razón de transformación se implementó en el programa del PLC.

Figura 59

Medición del volumen



La Tabla 9 muestra la primera prueba realizada con dos segundos de funcionamiento de la bomba.

Tabla 9*Pruebas de la bomba de engranajes.*

Número de prueba	Número de dosificación	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Volumen dosificado (ml)
1	1	2	250
	2	2	265
	3	2	235
	4	2	240
	5	2	250
	6	2	250
	7	2	245
	8	2	260
	9	2	250
	10	2	250
2	1	5	620
	2	5	625
	3	5	625
	4	5	630
	5	5	625
	6	5	615
	7	5	625
	8	5	635
	9	5	625
	10	5	620
3	1	8	1005
	2	8	1000
	3	8	995
	4	8	1010
	5	8	1000
	6	8	1000
	7	8	990
	8	8	1000
	9	8	1005
	10	8	1000
4	1	10	1250
	2	10	1245
	3	10	1250

Número de prueba	Número de dosificación	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Volumen dosificado (ml)
	4	10	1250
	5	10	1255
	6	10	1250
	7	10	1245
	8	10	1250
	9	10	1250
	10	10	1260

Gracias a estas pruebas fue factible comprobar que sí es posible dosificar mediante un tiempo de funcionamiento de bombas de engranajes. Además, pudo calcularse el factor de conversión de tiempo a volumen que fue programado en el PLC para obtener valores adecuados de producto; para ello se calculó el promedio de una de las pruebas con tiempos distintos.

La Tabla 10 muestra los valores promedios correspondientes a cada uno de los tiempos de prueba y los resultados de volumen obtenidos.

Tabla 10

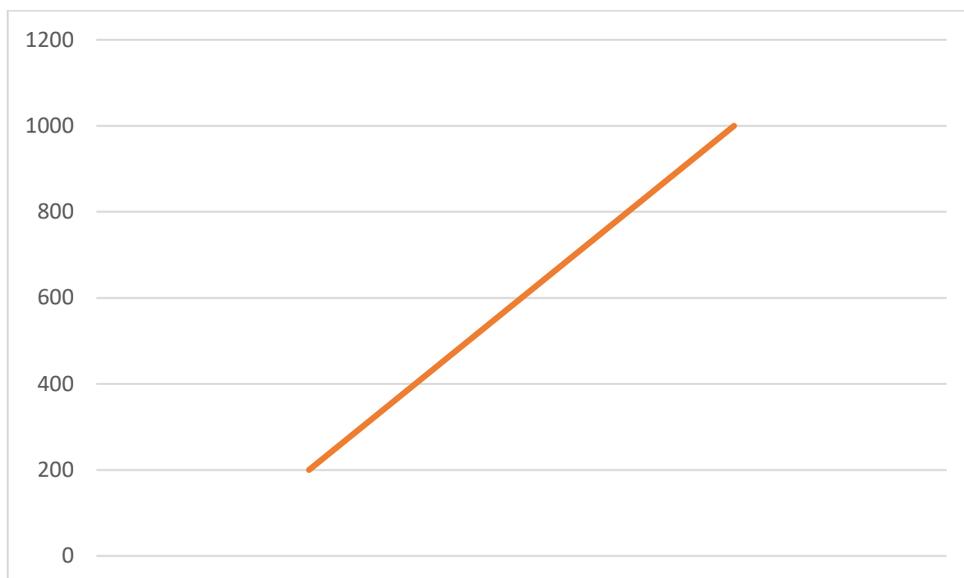
Resumen de pruebas

Número de prueba	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Promedio de volumen dosificado (ml)
1	2	249.5
2	5	624.5
3	8	1000.5
4	10	1250,5

La Figura 60 indica la recta linealizada utilizada para calcular previamente la pendiente de la recta la cual se implementó en el PLC para convertir tiempo de funcionamiento en mililitros dosificados.

Figura 60

Análisis gráfico del funcionamiento de la bomba



Al haber una variación mínima de volúmenes en cantidades relativamente grandes, se linealizó la recta para obtener una pendiente sin decimales como lo muestra la Ecuación 10:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{1250 - 250}{10 - 2}$$

$$m = 125$$

(10)

Al establecer un límite de 10 segundos, se llega hasta 1250 mililitros máximo de químicos para poder dosificar.

Prueba de bombas vibratorias

La bomba vibratoria fue utilizada para los químicos de fertirriego menos densos y emulsionantes, por lo que se desarrollaron varias pruebas con diferentes tiempos para comprobar la funcionalidad e identificar un caudal de las bombas y químicos. A partir de ello pudo calcularse una constante que convirtió el tiempo de funcionamiento de bombas en volumen.

La Figura 61 muestra cómo mediante un relé y una placa de Arduino se realizaron las pruebas de funcionamiento. Vale mencionar que fueron asignados varios tiempos iguales y diferentes para comprobar el volumen dosificado, determinar si puede ser constante y su variación, una vez finalizadas la pruebas mediante la placa Arduino y calculado la razón de transformación se implementó en el programa del PLC.

Figura 61

Prueba de bomba vibratoria



Fueron aplicadas 10 pruebas con diferentes tiempos para comprobar el volumen. (Figura 62). El proceso implicó utilizar un programa de pruebas en Arduino y medir el resultado mediante un contenedor numerado.

Figura 62*Medición del volumen de la bomba vibratoria*

La Tabla 11 muestra la prueba realizada con dos segundos de funcionamiento de la bomba.

Tabla 11*Pruebas de la bomba vibratoria*

Número de prueba	Número de dosificación	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Volumen dosificado (ml)
1	1	2	195
	2	2	200
	3	2	200
	4	2	200
	5	2	105
	6	2	200
	7	2	200
	8	2	200
	9	2	210
	10	2	200
2	1	5	500
	2	5	500
	3	5	500
	4	5	505
	5	5	495
	6	5	500

Número de prueba	Número de dosificación	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Volumen dosificado (ml)
	7	5	500
	8	5	505
	9	5	500
	10	5	620
3	1	8	800
	2	8	800
	3	8	805
	4	8	800
	5	8	795
	6	8	800
	7	8	800
	8	8	805
	9	8	800
	10	8	800
4	1	10	1005
	2	10	1000
	3	10	1000
	4	10	995
	5	10	1000
	6	10	1000
	7	10	1010
	8	10	1000
	9	10	1000
	10	10	995

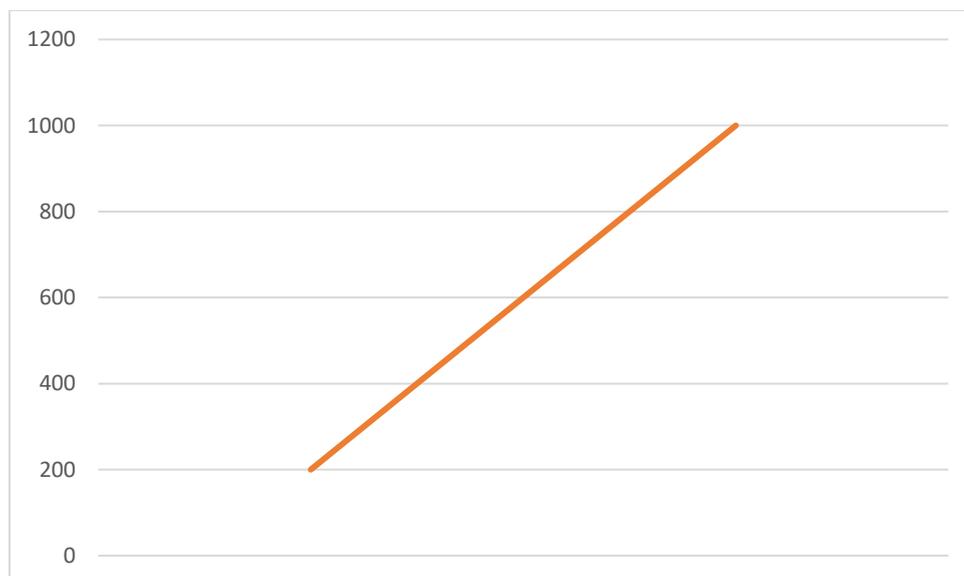
Mediante estas pruebas fue factible comprobar que sí es posible dosificar mediante tiempo de funcionamiento de bombas de engranajes. Además, pudo calcularse el factor de conversión de tiempo a volumen, que fue programado en el PLC, para obtener valores adecuados de producto. Para ello tuvo que calcularse el promedio de una de las pruebas con tiempos distintos.

La Tabla 12 muestra los valores promedios correspondientes a cada uno de los tiempos y los resultados de volumen obtenidos.

Tabla 7*Prueba promedio de la bomba vibratoria*

Número de prueba	Tiempo de funcionamiento (segundos)	Promedio de volumen dosificado (ml)
1	2	201
2	5	500,5
3	8	800.5
4	10	1000,5

La Figura 63 expone el análisis gráfico del promedio de cada uno de los volúmenes dosificados y los tiempos de funcionamiento de la bomba.

Figura 63*Análisis gráfico del funcionamiento de la bomba vibratoria*

Al haber una variación mínima de volúmenes en cantidades relativamente grandes, se propuso linealizar la recta para obtener una pendiente sin decimales como lo muestra la Ecuación 11:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{1000 - 200}{10 - 2}$$

$$m = 100$$

(11)

Al establecer un límite de 10 segundos, se alcanzó 1000 mililitros máximo de químicos para poder dosificar.

Pruebas del sistema de control

Pruebas del HMI

El HMI realizó un control local, y fue necesario aplicar pruebas para verificar su funcionamiento (el programa tiene que estar cargado en el PLC). La Figura 64 demuestra este proceso.

Figura 64

Prueba del HMI



El lado A expone cómo se realizaron las pruebas con el tablero energizado, pero sin conectar los elementos (bombas y motores). En cambio, el lado B evidencia la manipulación del HMI.

La Tabla 13 muestra los datos recolectados al utilizar el HMI para controlar el sistema. Se observó el funcionamiento de cada uno de los relés, así como las funcionalidades del sistema: recetas de fertirriego predeterminadas y la receta manual.

Tabla 8

Prueba del HMI

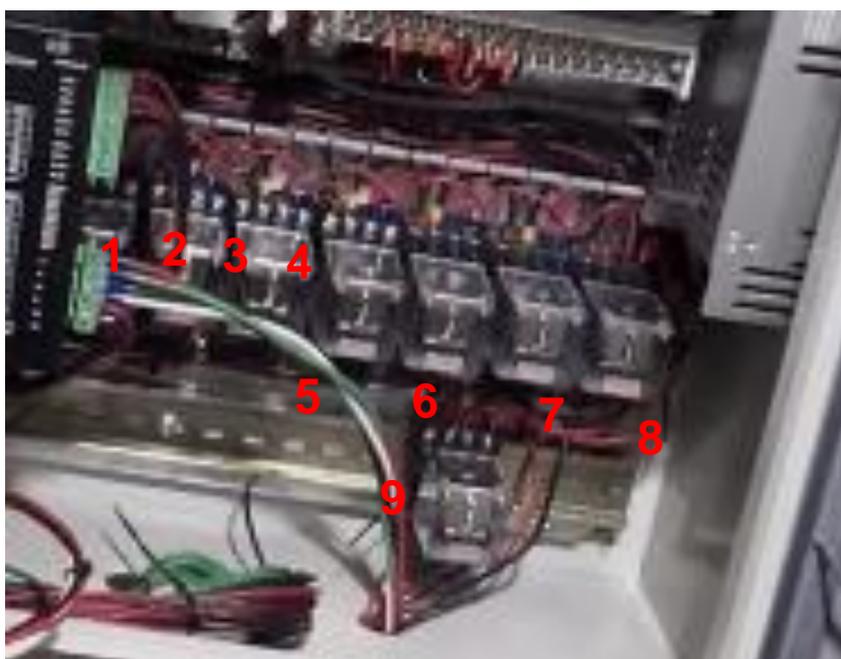
Prueba	Número de relé	Elemento	Recetas de fertirriego			Receta Manual
			(¿Activa?, Si/No)			(¿Activa?,
			Receta 1	Receta 2	Receta 3	Si/No)
1	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si
2	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si

Prueba	Número de relé	Elemento	Recetas de fertirriego			Receta Manual
			(¿Activa?, Si/No)			(¿Activa?,
			Receta 1	Receta 2	Receta 3	Si/No)
3	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si

La Figura 65 muestra la numeración de cada uno de los relés instalados en el tablero para el control de bombas y motores.

Figura 65

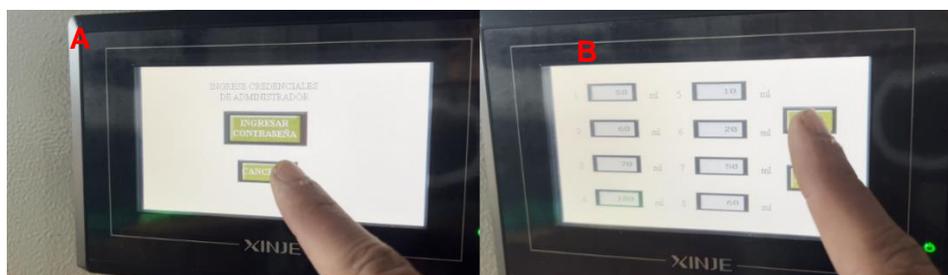
Prueba del HMI



Por otra parte, en la Figura 66 se pueden ver las contraseñas para editar las recetas.

Figura 66

Contraseñas para editar recetas



El lado A ejemplifica la edición de recetas de fertirriego mediante el HMI, como funcionalidad exclusivamente local y al que se tiene acceso tras ingresar la contraseña. Por su parte, el lado B muestra cómo se cambian los valores de dosificación.

Pruebas IoT

Para las pruebas de funcionamiento IoT se consideró la metodología utilizada en las pruebas del HMI, puesto que al ser una interface con el usuario cuenta con las mismas funcionalidades; a excepción de edición de recetas, que es únicamente local y que requiere permisos de administrador.

La Figura 67 presenta la pantalla inicial del Dashboard que da paso a acceder a todas las funcionalidades IoT (todas las imágenes implementadas se las puede observar en el Anexo 6).

Figura 67

Pantalla de inicio IoT



La Tabla 14 indica los datos obtenidos al realizar las pruebas del control IoT tanto en el despacho de las recetas de fertirriego como en la receta manual.

Tabla 9

Prueba del control IoT

Prueba	Número de relé	Elemento	Recetas de fertirriego			Receta Manual
			(¿Activa?, Si/No)			(¿Activa?,
			Receta 1	Receta 2	Receta 3	Si/No)
1	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si
2	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si
3	1	Bomba 1	Si	Si	Si	Si

Prueba	Número de relé	Elemento	Recetas de fertirriego			Receta Manual
			(¿Activa?, Si/No)			(¿Activa?,
			Receta 1	Receta 2	Receta 3	Si/No)
	2	Bomba 2	Si	Si	Si	Si
	3	Bomba 3	Si	Si	Si	Si
	4	Bomba 4	Si	Si	Si	Si
	5	Bomba 5	Si	Si	Si	Si
	6	Bomba 6	Si	Si	Si	Si
	7	Bomba 7	Si	Si	Si	Si
	8	Bomba 8	Si	Si	Si	Si
	9	Bomba 1 HP	Si	Si	Si	Si

Descripción de la situación previa

Para realizar las pruebas del sistema completo, primero se evaluó la metodología de riego utilizada previo a la implementación del sistema.

La Figura 68 expone la bodega de químicos en la que una persona debía medir y dosificar manualmente las recetas de fertirriego mediante contenedores numerados para su posterior aplicación.

Figura 68

Bodega actual de fertilizantes



Fueron considerados los parámetros de tiempos de dosificación y de aplicación con mano de obra humana; así se compararon los tiempos que le tomaron al sistema dosificar y despachar esa cantidad de receta de fertirriego.

La dosificación se realizaba manual; una tarea ardua y demorada que implicaba medir el fertilizante deseado de bote en bote como lo evidencia la Figura 69.

Figura 69

Dosificación de fertilizantes previo a la implementación del sistema



A continuación, la Figura 70 indica el método de aplicación tradicional que sin duda lleva una mayor cantidad de tiempo y esfuerzo.

Figura 70

Método de aplicación previo a la implementación del sistema



La figura 71 detalla los procesos que se debían realizar previo a la implementación del sistema de dosificación y mezclado.

Figura 71

Comparación de procesos



Nota. El color naranja representa las actividades realizadas por administradores o encargados. El color azul muestra las actividades automatizadas en el fertirriego.

Implementación del sistema de dosificación y mezclado de recetas de fertirriego

La implementación se la realizó en la parroquia Quinchicoto del cantón Tisaleo en la provincia de Tungurahua. La Figura 72 presenta la puesta en marcha del sistema.

Figura 72*Puesta en marcha del sistema*

La Tabla 15 presenta las pruebas de tiempos del prototipo y del método convencional al dosificar tres recetas para una cantidad de agua de 500 litros.

Tabla 10*Prueba del sistema completo*

Prueba	Elemento	Tiempo de aplicación de receta de fertirriego de manera manual (minutos)			Tiempo de aplicación de receta de fertirriego con el sistema (minutos)		
		Receta	Receta	Receta	Receta	Receta	Receta
		1	2	3	1	2	3
1	Dosificación	900	1020	720	60	72	54
	Mezclado	300	240	480	10	10	10
	Transporte	300	300	300	12	15	12
	Aplicación	1980	2100	2520	240	240	240
	Tiempo total de fertirriego	3480	3660	4020	321,6	336,6	315,6
2	Dosificación	780	600	660	60	90	78
	Mezclado	420	300	360	10	10	10
	Transporte	300	300	300	18	12	15
	Aplicación	1920	2280	2040	240	240	240

Prueba	Elemento	Tiempo de aplicación de receta de fertirriego de manera manual (minutos)			Tiempo de aplicación de receta de fertirriego con el sistema (minutos)		
		Receta	Receta	Receta	Receta	Receta	Receta
		1	2	3	1	2	3
	Tiempo total de fertirriego	3420	3480	3360	327,6	351,6	342,6
3	Dosificación	720	1200	960	84	75	90
	Mezclado	360	240	300	10	10	10
	Transporte	300	300	300	18	21	12
	Aplicación	1680	1980	2220	240	240	240
	Tiempo total de fertirriego	3060	3720	3780	351,6	345,6	411,6
4	Dosificación	840	780	1020	66	75	87
	Mezclado	420	240	360	10	10	10
	Transporte	300	300	300	12	18	12
	Aplicación	2160	1920	1800	240	240	240
	Tiempo total de fertirriego	3720	3240	3480	327,6	342,6	348,6
5	Dosificación	660	900	780	69	60	72
	Mezclado	300	240	180	10	10	10
	Transporte	300	300	300	12	12	15
	Aplicación	1740	1980	1800	240	240	240
	Tiempo total de fertirriego	3000	3420	3060	330,6	321,6	336,6

La Tabla 16 presenta los datos del sistema de dosificación y riego de cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 16*Prueba de control IoT*

Prueba	Receta de fertirriego	Dosificación	Mezclado	Transporte	Aplicación
1	1	+	+	+	+
	2	+	+	+	+
	3	+	+	+	+
2	1	+	+	+	+
	2	+	+	+	+
	3	+	+	+	+
3	1	+	+	+	+
	2	+	+	+	+
	3	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+
5	1	+	+	+	+
	2	+	+	+	+
	3	+	+	+	+
Pruebas positivas		15	15	15	15
Pruebas negativas		0	0	0	0
Porcentaje (%)		100	100	100	100

Nota. Cada símbolo positivo significa una prueba en la que el tiempo de fertirriego del prototipo fue inferior al tiempo del fertirriego con el método tradicional.

Tras la implementación se realizó una encuesta de opiniones a 7 personas que trabajan en la marca KAMANA OIRGANIC uno de ellos el dueño de la misma, las preguntas realizadas se muestran en la tabla 17.

Tabla 17*Preguntas para encuesta.*

Número de pregunta	Pregunta
1	¿Piensa usted que fue viable la implementación del sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes en la marca?
2	¿Piensa usted que la operación del sistema es sencilla e intuitiva?
3	¿Piensa usted que el sistema es escalable conforme pase el tiempo y las necesidades la marca cambien?
4	¿Cree que la tecnología IoT es útil e innovadora?
5	¿Estaría de acuerdo en seguir invirtiendo en automatización para mejorar los procesos de cultivo?

La tabla 18 muestra las respuestas de cada uno de los encuestados siendo una sola persona quien indico cuan complejo se le hace el sistema.

Tabla 18*Respuestas de encuestados.*

	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
Encuestado 1	Si	No	Si	Si	Si
Encuestado 2	Si	Si	Si	Si	Si
Encuestado 3	Si	Si	Si	Si	Si
Encuestado 4	Si	Si	Si	Si	Si
Encuestado 5	Si	Si	Si	Si	Si
Encuestado 6	Si	Si	Si	Si	Si
Encuestado 7	Si	Si	Si	Si	Si

La tabla 19 indica los resultados de la encuesta en cada pregunta indica quién contestó que sí y quien que no.

Tabla 19

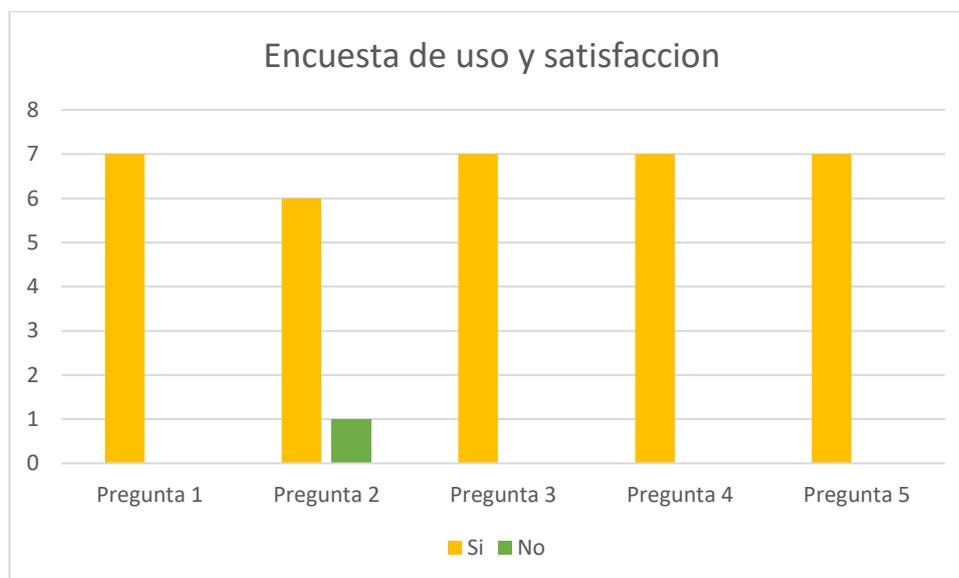
Resultados de la encuesta.

	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
Si	7	6	7	7	7
No	0	1	0	0	0

Se han tabulado las respuestas de los siete encuestados según la figura 73 demostrando de esta manera las opiniones positivas por parte de los empleados de la marca KAMANA ORGANIC.

Figura 73

Tabulación de la encuesta.



Validación de la hipótesis del sistema

Se procede a calcular los parámetros del análisis t-student, una vez realizadas las pruebas y recolectados los valores medidos con el sistema de dosificación y mezclado.

- Hipótesis nula

Ho= El diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes utilizando IoT no mejorará la eficiencia dentro de los procesos de

cultivo de la marca Kamana Organic de la empresa Corporación Carrera & Carrera Groupcarrera Cía. Ltda.

- Hipótesis alternativa

Hi= El diseño e implementación de un prototipo de sistema de dosificación y mezclado de fertilizantes utilizando IoT mejorará la eficiencia dentro de los procesos de cultivo de la marca Kamana Organic de la empresa Corporación Carrera & Carrera Groupcarrera Cía. Ltda.

Margen de error considerada= 5%

Margen de error tabla= 0.05

Grados de libertad = 14

A continuación, la Tabla 20 expone los resultados.

Tabla 20

Datos para el t-student.

Número de pruebas	Tiempo de fertirriego manual(s)	Tiempo de fertirriego con el sistema(s)
1	3420	327,6
2	3480	351,6
3	3360	342,6
4	3060	351,6
5	3720	345,6
6	3780	411,6
7	3720	327,6
8	3240	342,6
9	3480	348,6
10	3720	327,6

Número de pruebas	Tiempo de fertirriego manual(s)	Tiempo de fertirriego con el sistema(s)
11	3240	342,6
12	3480	348,6
13	3000	330,6
14	3420	321,6
15	3060	336,6

La tabla 21 los resultados tras haber aplicado el análisis t-student para su análisis y poder aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Tabla 21

Resultados del t-student.

	<i>Tiempo de fertirriego manual(s)</i>	<i>Tiempo de fertirriego con el sistema(s)</i>
Media	3412	343,8
Varianza	65245,71429	448,4571429
Observaciones	15	15
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	46,36239635	
P(T<=t) una cola	4,99078E-17	
t Critico una cola	1,761310136	
P(T<=t) dos colas	9,98155E-17	
t Critico dos colas	2,144786688	

$$\text{Estadístico } t = 46,36239635$$

$$t \text{ crítico una cola} = 1,761310136$$

$$t \text{ crítico una cola} > \text{Estadístico } t = H_0 \text{ es válida}$$

$$t \text{ crítico una cola} \leq \text{Estadístico } t = H_1 \text{ es válida}$$

$$1,761310136 < 46,36239635 = H_1 \text{ es válida}$$

Posterior al análisis de los datos de las pruebas realizadas correspondientes a los tiempos total de las cinco pruebas cada una de tres recetas, se acepta la hipótesis alternativa (H_1), por lo tanto, este proyecto mejora la eficiencia dentro del proceso de cultivo, además de eliminar parcialmente la mano de obra humana dentro del proceso de fertirriego.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La aplicación de automatización dentro de la industria agrícola ayuda a mejorar los procesos de producción, así como abaratar sus costos, al bajar los costos de producción se pueden generar productos de mayor calidad a menores precios y más accesibles, por otro lado, evitar la intervención de mano en un proceso ayudara a reducir significativamente los tiempos de los mismos.

Se obtuvieron los datos tanto de catálogos, así como de la norma INEN para obtener propiedades mecánicas, así como geométricas de los materiales existentes para la implementación de la estructura y de esta manera poder obtener la comprobación de los diseños.

En la estructura del sistema se emplearon los materiales con los que la empresa ya contaba, pero previo a un análisis se llegó a la conclusión de que el material es adecuado y seguro para la aplicación mediante deflexión máxima y factor de seguridad.

La impresión 3D es una excelente opción para la fabricación de piezas necesarias para el montaje del sistema, se realizaron los diseños conforme a la necesidad y se procedió a su fabricación.

Las bombas de engranajes seleccionadas funcionaron de manera correcta con los elementos más viscosos por su parte las bombas vibratorias funcionaron de manera correcta con los elementos más líquidos con la diferencia que su flujo es más contante tras cada dosificación.

Los sensores tipo boyas son óptimos para indicar cuando el nivel de unos de los contenedores se encuentra bajo, de esta manera se precautelo la integridad de las bombas evitando que se produzcan recetas de fertirriego imprecisas o con falta de uno de sus componentes.

El PLC seleccionado fue de la marca Xinje el cual resulto adecuado para el trabajo tanto en entradas y salidas suficientes para el control de bombas motores, para la recepción de señales como los sensores de nivel.

La comunicación con el servidor IoT se la realizo mediante el módulo Wbox-4ED de la marca Xinje el cual se conectó al PLC mediante comunicación serial RS232, la misma marca proporciono la plataforma en la web para la implementación del Dashboard para el control del sistema.

La plataforma Xinje Cloud se encuentra en desarrollo por lo cual algunas funcionalidades no funcionan como debería, a pesar de aquello se desarrolló el Dashboard sin ningún problema con la mayoría de las funcionalidades que cuenta el HMI.

Se llegó a la conclusión que la interface grafica se considera que el un HMI puesto que cuenta con control del sistema, gestión de usuarios, estado del sistema y gestión de alarmas parámetros que compone un HMI.

Elementos como el drive para el motor nema 34 así como el arrancador para la bomba de corriente alterna facilitaron el proceso tanto de implementación, así como de control de estos dispositivos.

El HMI se seleccionó de la misma marca Xinje el cual se realizó su conexión sin problemas con un óptimo control del sistema, tanto para selección de recetas, recetas de fertirriego manuales, indicadores de estado además de edición de recetas funcionalidad con la que no cuenta el Dashboard de IoT.

La estructura fue montada sin ningún problema, una vez montados todos los elementos soporte tanto tanques como motores bombas y componentes de control.

El control mediante IoT tiene un tiempo de muestreo de un segundo y al tener una conexión estable de internet tanto para el módulo, así como para el dispositivo ya sea móvil o PC.

Una vez se implementó el sistema los tiempos de fertirriego fueron mucho menores que al utilizar el método tradicional con el cual contaba la empresa lo que mejoro la

eficiencia del proceso de cultivo puesto que el fertirriego es un proceso recurrente para la producción de cualquier productor agrícola.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un diseño estructural previo para adquirir el material, de esta manera se podrían abaratar costos y evitar el sobredimensionamiento, una vez que se cuente con el material específico revisar disponibilidad y realizar la compra.

Al momento de adquirir los elementos se recomienda hacer listas de todo lo necesario además de poner atención en los elementos adecuados puesto que al momento de hacer varias compras o recompras se pierde tiempo.

Se recomienda familiarizarse con la herramienta grafcet de esta manera se podrá transformar cualquier secuencia necesaria dentro del proceso en lenguaje de escaleta para poder implementar el programa dentro del PLC.

Se debe llevar un orden de las variables utilizadas al momento de programar el PLC puesto que si se requiere realizar algún cambio se lo podrá realizar de manera más sencilla y rápida al saber que función realizan cada una de las variables ya sean entradas salidas memorias timers entre otras.

Se recomienda seleccionar un tablero de control un tanto más grande de lo previsto puesto que al momento de pensar en ampliaciones mejores o modificación en la estación, la falta de espacio en el tablero de control será una limitante para ellos ya que si sucede eso deberá ser removido y reemplazado por completo.

Se recomienda mantener el idioma de la plataforma Xinje Cloud en chino, puesto que al momento de traducirlo al inglés existen errores al momento de guardar variables o en el apartado de modificación visuales al Dashboard.

Tomando en cuenta que la plataforma Xinje Cloud se la trabajo en el idioma chino, se recomienda familiarizarse muy bien con la misma antes de iniciar con el proyecto más aún si el usuario no se encuentra familiarizado con el idioma.

Se recomienda no utilizar las bombas de engranajes en los elementos de fertirriego más líquidos puesto que al finalizar el bombeo el elemento aún continúa circulando a través de las mangueras, cosa que con los elementos de fertirriego más densos no sucede, de

igual manera las bombas vibratorias no cuentan con la potencia necesaria para lograr bombear los elementos más densos.

Se recomienda que la edición de las recetas de fertirriego sea realizada por un ingeniero agrónomo o afines ya que podrá determinar los valores adecuados de cada elemento de fertirriego según las necesidades tanto del terreno, así como del cultivo.

Bibliografía

Becolve Digital. (1 de agosto de 2017). *Interfaz Hombre-Máquina (HMI)*. Becolve Digital.

[https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:%7E:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20\(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n.](https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:%7E:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n.)

Centro Banamex. (25 de septiembre de 2022). *¿Qué es un equipo dosificador?*.

<https://www.centrobanamex.com.mx/que-es-un-equipo-dosificador>

Cortés, V. y Vargas, M. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la Fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25546/1/Tesis%20Fabian%20Vargas-%20Valeria%20Cortes.pdf>

Deloitte. (2016). *La era de la Automatización*.

https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/strategy/pov_robotics.pdf

Dipac. (2022). *Catálogo de productos de acero*. <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>

Doria, S. (s.f.). *¿Qué es y cómo funciona un interruptor de flotador?* Blog Wika. Recuperado el 2 de diciembre de 2022 de

https://www.bloginstrumentacion.com/productos/caudal/qu-cmo-funciona-interruptor-flotador/?doing_wp_cron=1674074789.4570770263671875000000

EMIS. (s.f.). *Corporación Carrera & Carrera Groupcarrera Cia.Ltda Perfil de Compañía - Ecuador*. https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Corporacion_Carrera___Carrera_Groupcarrera_CiaLtda_es_8173600.html

Fluideco. (14 de febrero de 2020). *¿Qué es una bomba de engranajes y cómo funciona?*.

<https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-engranajes-y-como-funciona/>

Fluideco. (s.f.). *Dosificación química*. Recuperado 12 de diciembre de 2022 de

<https://fluideco.com/sistemas/dosificacion-quimica/>

Fundación Aequae. (18 de marzo de 2022). *Tipos de sistemas de riego: características*.

<https://www.fundacionaqua.org/wiki/tipos-de-riego/>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Tisaleo. (2014). *Plan de Desarrollo y*

Ordenamiento Territorial. GAD Tisaleo. [http://app.sni.gob.ec/sni-](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1860001100001_DOCUMENTO%20FINAL%20PDOT%20TISALEO_14-03-2015_17-36-53.pdf)

[link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1860001100001_DOCUMENTO%20FINAL%20PDOT%20TISALEO_14-03-2015_17-36-53.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1860001100001_DOCUMENTO%20FINAL%20PDOT%20TISALEO_14-03-2015_17-36-53.pdf)

González, P. (2019). *Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana. Exposición e impactos*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf

Gracia, M. (8 de enero de 2019). *IoT - Internet of Things*. Deloitte Spain.

<https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>

GSL Industrias. (1 de junio de 2021). *¿Qué es un PLC y cómo funciona?*.

[https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona#:~:text=El%20PLC%20\(Control%20L%C3%B3gico%20Programable,de%20distintas%20formas%20y%20maneras](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona#:~:text=El%20PLC%20(Control%20L%C3%B3gico%20Programable,de%20distintas%20formas%20y%20maneras)

iAgua. (6 de octubre de 2020). *¿Cuántos tipos de riego hay?*

<https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-riego-hay>

Intagri. (s.f.). *Eficiencia en el uso del agua*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>

IONOS Digital Guide. (14 de septiembre de 2020). *¿Qué es una interfaz gráfica de usuario*

(GUI)? <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/que-es-una-gui/>

Loginews. (17 de marzo de 2017). *Sistema de dosificación, qué son*. *Loginews*.

<https://noticiaslogisticaytransporte.com/general/13/03/2017/sistema-de-dosificacion-que-son/98737.html>

Meleony, S. (18 de julio de 2022). *What is Industry 4.0?* Calsoft Systems.

<https://www.calsoft.com/what-is-industry-4-0/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Política y Plan Nacional Agropecuario 2020-2030*. (Ecuador).

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (23 de febrero de 2019). *Inicio*. (Ecuador).

<https://www.agricultura.gob.ec/e>

Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. (5ta Ed.). Pearson.

Netafim. (s.f.). *El Riego por Goteo Revoluciona la Agricultura*. Recuperado el 2 de octubre de 2022 de <https://www.netafim.com/es-pe/drip-irrigation/>

Novus. (s.f.). *Conceptos fundamentales de RS485 y S422*.

<https://www.novusautomation.com/downloads/Archivos/conceptos%20fundamentales%20de%20rs485%20y%20rs422%20-%20espa%C3%B1ol.pdf>

PCM. (s.f.). *Sistemas de dosificación de líquidos*.

<https://www.pcm.eu/es/alimentos/aplicaciones/sistemas-de-dosificacion-de-alimentos>

Salichs, E. (2012). *Desarrollo de un sistema HMI para un almacén automatizado* [Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid]. [https://e-](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16073/Proyecto_ESTHER_SALICHES.pdf)

[archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16073/Proyecto_ESTHER_SALICHES.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16073/Proyecto_ESTHER_SALICHES.pdf)

Servicio Hidráulico Industrial [SHI]. (29 de octubre de 2021). *Bombas de engranajes*.

<https://www.bombas-hidraulicas.com.mx/bombas-de-engranajes/>

Servicio Nacional de Normalización [INEN]. (2016). *NTE INEN 2415 Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos*.

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2415-2.pdf

Sogamoso, D., Aponte, J. y Solaque, L. (22 de octubre de 2015). *Integración de la mecatrónica al desarrollo de la agricultura de precisión aplicada al control mecánico de maleza*. Memorias del IV Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización – CIIMA 2015.

<https://revistas.eia.edu.co/index.php/mem/article/view/842/760>

TIBCO. (s.f.). *¿Qué es el internet industrial de las cosas (IIoT)?* TIBCO Software.

<https://www.tibco.com/es/reference-center/what-is-industrial-internet-of-things-iiot>

UNIR. (14 de octubre de 2021). *¿Qué es la Industria 4.0 y cuáles son sus características?*.

[https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-](https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-0/#:%7E:text=En%20Ecuador%2C%20la%20Industria%204.0,de%20la%20sociedad%20y%20el)

[0/#:%7E:text=En%20Ecuador%2C%20la%20Industria%204.0,de%20la%20sociedad%20y%20el](https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-0/#:%7E:text=En%20Ecuador%2C%20la%20Industria%204.0,de%20la%20sociedad%20y%20el)

Universidad Veracruzana. (19 de junio de 2016). *Ciberseguridad en la Pirámide de*

Automatización Industrial. https://www.uv.mx/infosegura/general/noti_ciberseguridad-41/

Vermehren, V. y Magalhães de Oliveira, H. (2015). *Close Expressions for Meyer Wavelet and Scale Function*. XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT2015).

<http://doi.org/10.14209/sbrt.2015.2>

Weis, O. (20 de octubre de 2021). *Guía de la comunicación RS485*. Electronic Team Inc.

<https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>

Worton. (15 de julio de 2021). *T568A y T568B: dos estándares de cable de red RJ45*. FS

Community. <https://community.fs.com/es/blog/t568a-vs-t568b-difference-between-straight-through-and-crossover-cable.html>

Anexos