

**SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE RIEGO PRECISO PARA
CULTIVOS DE MAÍZ PORVA DE CLIMA FRÍO EN PAIPA-BOYACÁ.**

NICOLAS CIFUENTES DIAZ

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA.

2024.

**SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE RIEGO PRECISO PARA
CULTIVOS DE MAÍZ PORVA DE CLIMA FRÍO EN PAIPA-BOYACÁ.**

NICOLAS CIFUENTES DIAZ

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero electrónico

Asesor

Ing. Adolfo Ávila Barón, PhD (c).

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA.

2024.

EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Los Análisis, datos e información presentados en el presente proyecto de grado son responsabilidad exclusiva del autor. La Universidad Santo Tomás se exonera de cualquier implicación o responsabilidad derivada de posibles casos de plagio en el contenido.

ACEPTACIÓN

Firma Director

Firma Jurado

Firma Jurado

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de grado a mi madre, quien me ha apoyado en todo momento con sus enseñanzas y sabiduría para seguir adelante con mi formación académica. A mis abuelos quienes me han brindado las herramientas y me han orientado y ayudado en todo momento sin importar la situación. También a mi hermana, quien ha estado conmigo en todo momento apoyándome durante toda mi etapa de aprendizaje académico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a toda mi familia, por tan incondicional apoyo durante toda mi formación académica.

Agradezco al Ingeniero Adolfo Ávila Barón por su paciencia, retroalimentación y consejos, los cuales fueron un apoyo fundamental durante mi proceso de grado quien me colaboró con la revisión y enfoque durante la realización de este documento.

Agradezco a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Electrónica quienes me guiaron durante toda la carrera para adquirir una gran variedad de conocimientos; sus enseñanzas han sido fundamentales para mi formación intelectual.

RESUMEN

Este proyecto aborda la problemática del riego ineficiente en cultivos de maíz porva en Paipa, Boyacá; región caracterizada por su clima frío. La falta de un sistema adecuado genera estrés hídrico en las plantas, afectando negativamente su rendimiento y pudiendo ocasionar pérdidas totales. Para solucionar este problema, se diseña un sistema automatizado de riego por aspersión controlado por sensores de temperatura, humedad, evapotranspiración y precipitación. Estos sensores y una estación meteorológica recopilarán información sobre las condiciones ambientales y del suelo, permitiendo al sistema de control centralizado procesar estos datos y activar el riego de manera precisa y eficiente, según las necesidades específicas del cultivo.

Este sistema se diseñará para una parcela de 30x30 metros en la vereda El Volcán, Paipa. Este diseño del sistema automatizado abarca la optimización del uso del agua, la reducción el estrés hídrico en las plantas, aumento en la productividad del cultivo y disminuir costos asociados al riego manual. Además, contribuirá a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y a la mejora de la seguridad alimentaria en la región.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE RIEGO PRECISO PARA CULTIVOS DE MAÍZ PORVA DE CLIMA FRÍO EN PAIPA-BOYACÁ. | 1 |
| SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE RIEGO PRECISO PARA CULTIVOS DE MAÍZ PORVA DE CLIMA FRÍO EN PAIPA-BOYACÁ. | 2 |
| EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDADES | 3 |
| ACEPTACIÓN | 4 |
| DEDICATORIA | 5 |
| AGRADECIMIENTOS | 6 |
| RESUMEN | 7 |
| TABLA DE CONTENIDO | 8 |
| LISTAS ESPECIALES | 9 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| PROBLEMA | 13 |
| Formulación de preguntas..... | 13 |
| Definición del problema..... | 14 |
| Delimitación del problema..... | 14 |
| JUSTIFICACIÓN | 17 |
| OBJETIVOS | 18 |
| Objetivo general | 18 |
| Objetivos específicos. | 18 |
| MARCO TEÓRICO | 19 |
| ESTADO DEL ARTE | 28 |
| DISEÑO METODOLÓGICO | 30 |
| DESARROLLO DEL PROYECTO | 34 |
| INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA | 54 |
| ANÁLISIS DE DATOS | 55 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES | 59 |
| CONCLUSIONES | 61 |
| TRABAJOS FUTUROS | 62 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |

LISTAS ESPECIALES

Lista de Ilustraciones:

| | |
|------------------------|----|
| <i>Figura 1</i> | 15 |
| <i>Figura 2</i> | 21 |
| <i>Figura 3</i> | 22 |
| <i>Figura 4</i> | 23 |
| <i>Figura 5</i> | 29 |
| <i>Figura 6</i> | 30 |
| <i>Figura 7</i> | 32 |
| <i>Figura 8</i> | 35 |
| <i>Figura 9</i> | 37 |
| <i>Figura 10</i> | 38 |
| <i>Figura 11</i> | 39 |
| <i>Figura 12</i> | 40 |
| <i>Figura 13</i> | 41 |
| <i>Figura 14</i> | 42 |
| <i>Figura 15</i> | 43 |
| <i>Figura 16</i> | 44 |
| <i>Figura 17</i> | 44 |
| <i>Figura 18</i> | 45 |
| <i>Figura 19</i> | 45 |
| <i>Figura 20</i> | 46 |
| <i>Figura 21</i> | 46 |
| <i>Figura 22</i> | 47 |
| <i>Figura 23</i> | 47 |
| <i>Figura 24</i> | 48 |
| <i>Figura 25</i> | 48 |
| <i>Figura 26</i> | 49 |
| <i>Figura 27</i> | 49 |
| <i>Figura 28</i> | 50 |
| <i>Figura 29</i> | 51 |

| | |
|------------------------|----|
| <i>Figura 30</i> | 52 |
| <i>Figura 31</i> | 55 |
| <i>Figura 32</i> | 56 |
| <i>Figura 33</i> | 57 |
| <i>Figura 34</i> | 57 |
| <i>Figura 35</i> | 58 |

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta desafíos significativos en términos de optimización de recursos y maximización de la producción. En el caso específico del cultivo de maíz porva en clima frío, como el que se da en la región de Paipa, Boyacá, uno de los retos más importantes es el manejo eficiente del agua de riego. La falta de un sistema de riego adecuado puede resultar en problemas graves como el estrés hídrico, que puede reducir drásticamente la producción o incluso llevar a la pérdida total de la cosecha.

Este proyecto de grado surge como respuesta a esta problemática, proponiendo el diseño de un sistema de control automatizado de riego preciso. Este sistema busca mejorar la forma en que se maneja el riego en los cultivos de maíz porva, pasando de métodos manuales y poco precisos a un enfoque tecnológico y altamente controlado.

La importancia de este proyecto radica en varios aspectos. En primer lugar, aborda directamente el problema del estrés hídrico, una de las principales causas de pérdidas en el cultivo de maíz. Al mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo, se previenen condiciones adversas y se asegura un cultivo saludable y productivo. Además, la automatización del riego no solo ahorra tiempo y mano de obra, sino que también aumenta significativamente la eficiencia en el uso del agua, un recurso cada vez más valioso y escaso.

El diseño integra tecnologías avanzadas como sensores de temperatura, humedad y una estación meteorológica, junto con un software centralizado que procesa los datos y controla el riego de forma automática. Esta integración de hardware y software permite una precisión sin precedentes en el manejo del riego, adaptándose a las necesidades específicas del cultivo en cada etapa de su crecimiento.

El diseño de este sistema para una parcela de 30x30 metros en la vereda El Volcán de Paipa servirá como prueba de concepto, demostrando la viabilidad y eficacia de esta solución tecnológica en condiciones reales de cultivo. Los resultados de este proyecto no solo beneficiarán a los agricultores locales, sino que también podrían sentar las bases para la implementación de sistemas similares en otras regiones con condiciones climáticas similares. Este proyecto se enmarca en una tendencia global hacia la agricultura de precisión, donde la tecnología juega un papel crucial en la optimización de los procesos agrícolas.

Al combinar conocimientos de ingeniería electrónica, agronomía y ciencias ambientales, este trabajo interdisciplinario busca contribuir significativamente al campo de la agricultura sostenible y eficiente.

Para la divulgación del proyecto será presentado ante la comunidad académica de la Universidad Santo Tomás como sustentación de proyecto de grado, además para dar mayor difusión de este trabajo, también se buscará la opción de presentar este diseño a conferencias o eventos tecnológicos enfocados en el agro para mostrar la rentabilidad del proyecto. Finalmente se hará uso de material audiovisual el cual muestre el funcionamiento del sistema y los beneficios que trae en los cultivos de maíz.

PROBLEMA

La siembra del cultivo de maíz de clima frío porva tiene un problema el cual caracteriza este producto cuando existe un sistema de riego adecuado que pueda hidratar constantemente la planta de maíz. La falta de humedad y riego durante las etapas de desarrollo y crecimiento del maíz puede llegar a ocasionar la reducción drástica en la producción del cultivo hasta la pérdida total de la cosecha. La no correcta cantidad de agua en el cultivo de maíz puede también traer consecuencias como pudrición en la Raíz o el tallo de la hoja para finalmente dejar inservible la cosecha.

Finalmente, el maíz germina en una altura y temperatura específicas haciéndola una planta delicada, condicionada y expuesta a todo tipo de virus y hongos los cuales pueden ser proliferados por encharcamientos debido a un exceso de riego (anegamiento) o una alta humedad debido a un bajo nivel de riego. (Ruiz, 2018)

Esta problemática se enmarca en la vereda El Volcán, ubicada en Paipa-Boyacá, una región de clima frío que presenta condiciones climáticas variables que influyen en el rendimiento del cultivo de maíz Porva. Los agricultores de esta región como en muchas zonas rurales de Colombia todavía dependen de métodos tradicionales para el riego y manejo de cultivos; siendo afectados por la falta de un sistema de riego preciso que asegure un suministro adecuado de agua para el maíz en cada etapa de su desarrollo. Esto no solo impacta negativamente la productividad de sus cosechas, sino que también compromete su sustento económico. En un contexto donde el maíz es un cultivo clave, la implementación de un sistema automatizado de riego puede beneficiar considerablemente a los productores locales, ayudando a estabilizar la producción, evitar pérdidas por estrés hídrico o anegamientos, y promover la sostenibilidad en el uso del agua.

Formulación de preguntas

- ¿Qué estrategias pueden ser utilizadas para garantizar un riego adecuado y prevenir las consecuencias negativas de la pudrición de la raíz y el riego inadecuado en el cultivo del maíz?
- ¿Cómo realizar un riego por divisiones en el cultivo de maíz, teniendo en cuenta la etapa de germinación que tiene cada sección de la siembra?

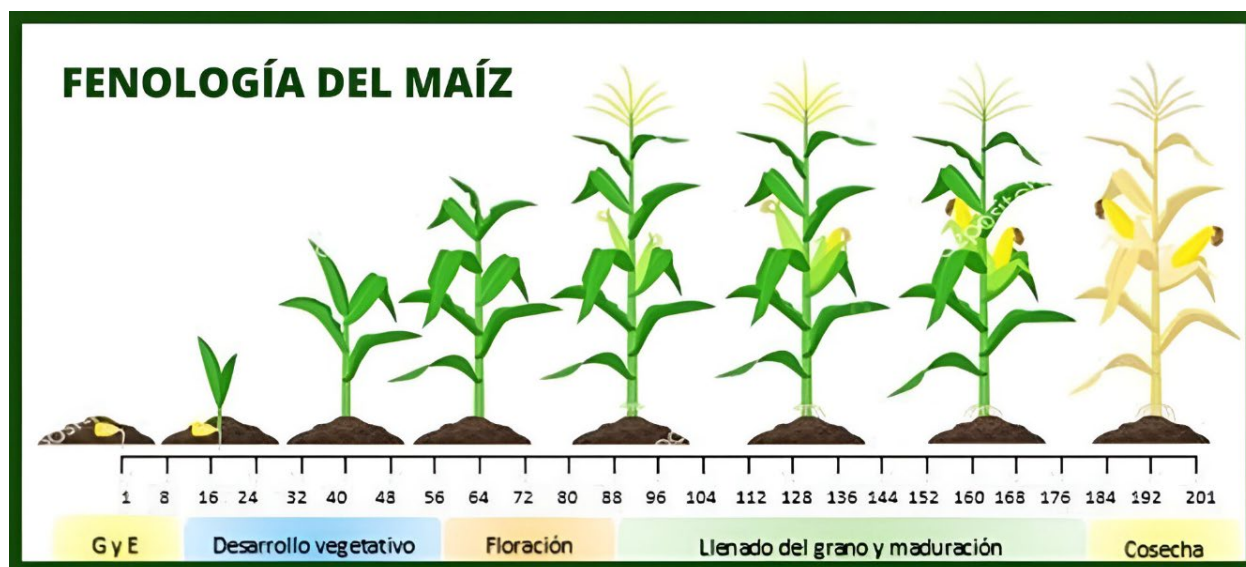
- ¿Qué porcentaje de ahorro de agua se puede tener teniendo un Control eficiente y preciso del riego en el cultivo de maíz?

Definición del problema

Año tras año se mejoran las técnicas para sembrar todo tipo de Plantas, Frutas y Verduras; la siembra del maíz se ha hecho por mucho tiempo con riego por aspersión, pero realizado de forma manual en el que se deja la aspersión por un tiempo no exacto y se retira si se ve humedad en la tierra que se está sembrando. Esto junto con lluvias intensas pueden llegar a provocar un anegamiento y/o encharcamiento debido a que no se lleva un control respecto a la cantidad de agua que se está repartiendo. El estrés hídrico ha sido y sigue siendo uno de los principales problemas en las temporadas de Sequía para los cultivos de Maíz; el estrés hídrico se produce cuando no se le da la suficiente cantidad de agua al cultivo haciendo que el tiempo de cosecha sea mayor y la cantidad producida final disminuya en porcentajes del 30-50% dependiendo de las condiciones meteorológicas en las que se encuentre el cultivo. (agriscience, 2022). La problemática surge en un entorno agrícola caracterizado por condiciones climáticas variables en la región de Paipa-Boyacá, donde el cultivo de maíz Porva se enfrenta a desafíos tanto en temporadas de lluvias como de sequía. El uso de técnicas tradicionales de riego por aspersión, ejecutadas de forma manual y sin un control preciso, resulta en una distribución ineficiente del agua. En períodos de intensas lluvias, esto provoca encharcamientos y daños en las plantas, mientras que, en épocas de sequía, la falta de un riego adecuado genera estrés hídrico, afectando negativamente el rendimiento del cultivo. Esta situación, agravada por la falta de un sistema automatizado que regule la cantidad de agua, resalta la necesidad de implementar un sistema de riego preciso que permita una gestión óptima del recurso hídrico y, en consecuencia, un mejor desempeño agrícola.

Delimitación del problema

El proyecto de riego automatizado se diseñará para una parcela de 30 metros de largo por 30 metros de ancho, ubicada en la Vereda El Volcán en Paipa, Boyacá. El sistema tomara datos del cultivo mediante sensores y con ayuda de la estación meteorológica GroWeather de la empresa Davis Instruments tomando medidas de Velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad exterior, intensidad de lluvia, radiación solar y evapotranspiración las cuales serán utilizadas para obtener lecturas en tiempo real del estado del cultivo.

Figura 1.*Fenología del Maíz.*

Fuente: Por Semillas Valle, (VALLE, 2024).

La Fenología del Maíz son las etapas de Desarrollo y crecimiento del maíz que se tienen desde la siembra hasta la cosecha del maíz, estas etapas tienen distintos consumos de agua debido a factores ambientales y distintos procesos fisiológicos del crecimiento del maíz; con ayuda de estas etapas se determinará la necesidad hídrica de riego para el cultivo. Para esto se hará uso de la Evapotranspiración del Cultivo y la Precipitación efectiva haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$N_{hn} = (E_{tc} - P_{eff}) \quad \dots (1)$$

E_{tc} es la evapotranspiración del cultivo dado en mm/día y P_{eff} es la precipitación efectiva dada, finalmente N_{hn} es la necesidad de riego dada en mm. Este cálculo otorgará el rango diario de hidratación que necesita el cultivo teniendo en cuenta la etapa de crecimiento en la que se encuentre el cultivo de maíz. Se debe obtener un dato extra para poder encontrar la precipitación efectiva dada, lo cual se puede considerar como el riego natural que recibirá el cultivo dicho día, siendo por esto un dato de gran importancia. La fórmula para calcular el dato es:

$$P_e = P - R \quad \dots (2)$$

La variable P es la precipitación total que se tenga sobre el cultivo; R es la escorrentía superficial lo cual es agua de precipitación la cual no se infiltra en el suelo y queda en la superficie del cultivo. Este proceso es el método del número de curva del Servicio de Conservación de

Recursos Naturales (SCS-CN), es uno de los métodos más comunes para estimar la escorrentía. Así con esto el cálculo quedaría de la siguiente manera:

$$R = P - \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \dots (3)$$

Según (Cauca, 2015) la variable S es la capacidad máxima de retención de suelo la cual posee otra fórmula adicional para esta variable:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \dots (4)$$

Finalmente, CN es un Dato registrado en datos meteorológicos sobre la capacidad de infiltración del suelo y las condiciones de cobertura del terreno. Valores bajos de CN indican que el suelo tiene una alta capacidad de infiltración y que la vegetación o cobertura del terreno facilita la absorción del agua, resultando en menos escurrimiento y valores altos de CN indican lo contrario, es decir, suelos con baja capacidad de infiltración y/o una cobertura del terreno que facilita el escurrimiento. Este dato es obtenido (ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PAIPA I – PSR 3) (wsp, 2019), del estudio realizado por la vicepresidencia de estudios ambientales y sociales en paipa Boyacá en la vereda el volcán.

$$P = \text{Precipitación} \left(\frac{mm}{h} \right) * \text{tiempo de lluvia} \quad \dots (5)$$

$$Pe = \text{Precipitación} \left(\frac{mm}{h} \right) * \text{tiempo de lluvia} - P - \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \dots (6)$$

Con la obtención de estos datos se realizará el cálculo diario de la cantidad de agua que será regada en el Cultivo de maíz teniendo en cuenta la necesidad hídrica de la tierra en la cual está diseñado el sistema de riego.

JUSTIFICACIÓN

El Diseño de un sistema de riego automatizado para un cultivo de maíz es una inversión rentable y sostenible que ofrece múltiples beneficios, incluyendo la optimización del uso del agua, mayor precisión y control del riego, ahorro de tiempo y mano de obra, mayor productividad y calidad del cultivo y reducción de riesgos. Un riego preciso y controlado no solo beneficia la salud de las plantas, sino que también contribuye a reducir la incidencia de estrés hídrico, una de las principales causas de pérdidas en el cultivo de maíz. Las plantas sometidas a estrés hídrico experimentan un retraso en el crecimiento, una menor producción de granos y una mayor susceptibilidad a enfermedades. Un sistema de riego automatizado, al mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo, previene estas condiciones adversas y asegura un cultivo saludable y productivo.

Diseñar un sistema de riego automatizado es una decisión crucial para disminuir los riesgos de pérdida de la cosecha por problemas de Estrés Hídrico o anegamiento. La automatización del riego no solo ahorra tiempo y mano de obra, sino que también aumenta la eficiencia y productividad del trabajo agrícola. Un sistema bien diseñado y programado puede operar las 24 horas del día, 7 días a la semana, garantizando que las plantas reciban el agua que necesitan en el momento adecuado, sin importar la disponibilidad de personal en el campo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un sistema de riego por aspersión automatizada que controle el estrés hídrico de cultivos de maíz Porva ubicados en el municipio de Paipa Boyacá.

Objetivos específicos.

Determinar la instrumentación necesaria para el control del estrés hídrico en el cultivo de maíz.

Analizar los datos de rendimiento del sistema de riego automatizado para evaluar la necesidad de riego y demostrar que el estrés hídrico del cultivo de maíz esta adecuadamente controlado.

Crear una interfaz gráfica en donde se presenten las mediciones y lecturas de sensores/actuadores y puedan ser editadas las configuraciones y parámetros del sistema de Control.

MARCO TEÓRICO

- **Estudios previos.**

Estudios recientes como el proyecto de la Universidad Católica de Colombia en el que se implementó un sistema de riego automatizado y se le realizó un monitoreo de variables mediante sensores de humedad y temperatura (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020), han explorado sistemas de riego automatizado utilizando tecnologías y sistemas IoT para monitoreo remoto. Este tipo de enfoque ha demostrado ser efectivo al reducir el riego excesivo y optimizar el uso de agua, logrando mejoras significativas en el crecimiento y productividad de los cultivos.

- **Contexto histórico.**

Históricamente, los agricultores de la región de Paipa-Boyacá han usado métodos manuales de riego, lo que ha limitado su capacidad para adaptarse a las variaciones climáticas extremas. Actualmente, con el desarrollo de tecnologías de automatización y agricultura de precisión, es posible implementar sistemas avanzados que optimicen el riego y mejoren la producción agrícola en estas áreas.

El cultivo de maíz Porva en la vereda El Volcán, Paipa-Boyacá, se enfrenta a problemas derivados de la falta de un sistema adecuado de riego. La región, se caracteriza por un clima frío y condiciones climáticas variables, lo cual afecta el rendimiento del cultivo.

Las técnicas tradicionales de riego por aspersión, realizadas de forma manual, resultan ineficaces, generando problemas como estrés hídrico en temporadas secas o anegamientos en temporadas de lluvia, lo que reduce considerablemente la productividad del cultivo.

- **Perspectivas o enfoques existentes.**

Las perspectivas actuales sobre la gestión del riego en la agricultura se centran en el uso de tecnologías avanzadas que permiten un monitoreo preciso de las condiciones del suelo y del clima. La agricultura de precisión ha ganado relevancia, integrando sensores de humedad, temperatura y estaciones meteorológicas para optimizar el riego. Este enfoque automatizado ajusta la cantidad de agua suministrada a las necesidades específicas del cultivo en tiempo real, eliminando la dependencia de métodos manuales y mejorando la eficiencia del uso del agua. Esto

es crucial en áreas como Paipa-Boyacá, donde las condiciones climáticas variables exigen un control riguroso del riego para evitar tanto el estrés hídrico como el anegamiento.

- **Evapotranspiración.**

La evapotranspiración es la pérdida de humedad de una planta por evaporación desde el suelo y transpiración desde las hojas de las plantas, es la pérdida de agua del suelo la cual se mide en mm y es altamente usada para conocer la cantidad de agua que un cultivo ha perdido y necesita para mantener una buena humedad en todo momento. La evapotranspiración puede ser calculada haciendo uso de variables como la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura y humedad de un cultivo entre otras características vegetales y de suelos de la zona; al mismo tiempo la evapotranspiración es un dato que es usado en distintas aplicaciones e investigaciones y es por consiguiente encontrado en artículos de investigación empresarial o municipal registrado de forma mensual con sus valores en milímetros. El valor de Evapotranspiración es un dato del valor potencial en milímetros que tendría la zona en la que se está haciendo toma del dato, por si solo es simplemente una estimación, pero el valor de Evapotranspiración es usado para encontrar el valor real de demanda de agua en mm de cualquier cultivo. (Ministerio de Agricultura, 2024).

- **Sistema de Control.**

Es un conjunto de componentes, sensores y actuadores que trabajan de forma conjunta para llevar a cabo una acción dentro de parámetros determinados; el sistema de control realiza acciones precisas de acuerdo con lecturas de información registradas con la finalidad de mantener una variable de salida deseada. Todo sistema de control cuenta con un campo de aplicación específico en Ingeniería, Medicina, Robótica, Mecánica y otros campos, pero todos utilizan alguno de los 2 principales sistemas de control:

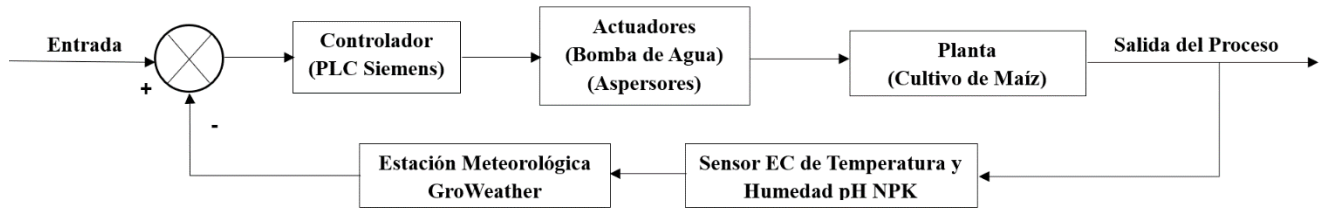
- **Control Lazo Cerrado.**

Un Control en Lazo Cerrado tiene en cuenta una variable de proceso de salida, pero con una retroalimentación del valor que ha salido del sistema; esto con la finalidad de corregir dicho valor en caso de que este fuera de los parámetros deseados o configurados dentro del sistema. Es por esta razón que cada dato de salida se retroalimenta con el dato que debería estar pasando con el controlador para así con esto conseguir un control contante teniendo en cuenta posibles perturbaciones dentro del sistema. El control en lazo cerrado se encuentra presente en una amplia

gama de aplicaciones en las cuales es necesario un sistema con respuesta en tiempo real a perturbaciones y valores fuera de rango que puedan estar afectando cualquier señal de salida (ControlAutomaticoEducación, 2024).

Figura 2

Imagen Control lazo cerrado.



Fuente: *Autor – Lazo Cerrado de Control.*

- **Sistema Automatizado.**

Un Sistema Automatizado es un proceso que funciona conjunto con distintos componentes para realizar una acción o proceso de manera automática. Dicho sistema toma acciones de acuerdo con lectura de datos y programación predefinidas, teniendo en cuenta sensores, actuadores y uso de software para tener control sobre todo el sistema. Los sistemas automatizados se distinguen por su capacidad de autocontrol, operando sin la necesidad constante de intervención humana. Gracias a su habilidad para monitorear el proceso, tomar decisiones y realizar acciones de manera autónoma, estos sistemas se convierten en herramientas indispensables para optimizar diversos procesos.

En comparación con la mano de obra humana, los sistemas automatizados ofrecen una precisión y confiabilidad superiores. Su menor susceptibilidad a errores y su capacidad para trabajar en condiciones hostiles o peligrosas para los humanos los convierten en elementos confiables para tareas complejas y desafiantes destacando la flexibilidad y adaptabilidad que caracteriza a estos sistemas. Cabe destacar la flexibilidad y adaptabilidad que caracteriza a estos sistemas. Diseñados para adaptarse a diferentes condiciones y tareas, los sistemas automatizados demuestran su versatilidad, siendo aplicables en una amplia gama de aplicaciones en Robótica, control, líneas de producción y otros campos industriales. (Aula21, 2024).

- **Estación Meteorológica GroWeather.**

La estación de la empresa Davis Instruments es una solución integral que combina varios sensores para medir una amplia gama de variables meteorológicas. Está diseñada para ser robusta y fiable, adecuada tanto para aplicaciones científicas como comerciales. La Estación Meteorológica GroWeather se compone de varios sensores clave que permiten una medición precisa de las condiciones meteorológicas. Entre ellos se encuentran los sensores de temperatura y humedad, que miden la temperatura del aire y la humedad relativa. El pluviómetro mide la cantidad de precipitación en un periodo de tiempo específico, siendo crucial para el manejo del agua en la agricultura y estudios hidrológicos. El anemómetro registra la velocidad y dirección del viento, datos importantes para la planificación de actividades agrícolas y la evaluación de riesgos de erosión del suelo. Los sensores de radiación solar miden la cantidad de radiación solar recibida en una superficie, utilizados en estudios de eficiencia energética y para optimizar el uso de recursos solares en la agricultura. Además, los sensores de presión barométrica miden la presión atmosférica, datos esenciales para predecir cambios en el clima y estudios meteorológicos. La estación cuenta con una interfaz de datos y comunicaciones que facilita la recolección y análisis de datos en tiempo real o histórico. Las funcionalidades de la Estación Meteorológica GroWeather ofrecen múltiples beneficios. La capacidad de monitoreo en tiempo real permite responder rápidamente a cambios en las condiciones meteorológicas. Además, la estación almacena datos a lo largo del tiempo, permitiendo análisis detallados y la identificación de tendencias climáticas.

Figura 3

Imagen Estación Meteorológica GroWeather.



Fuente: Estación meteorológica ofrecida por la empresa Darrera. Tomado de la página web oficial (Darrera, 2024).

- **Sensores.**

Un sensor es una herramienta usada para la toma de datos de distintas magnitudes como temperatura, humedad, radiación solar entre muchas otras; dicho sensor funciona al convertir una magnitud física en una señal eléctrica la cual es medida mediante un instrumento de medición al cual esté conectado dicho sensor. Los sensores son usados en gran diversidad de aplicaciones debido a la versatilidad y campo de medición de variables que poseen gracias a la respuesta que generan de la información del entorno físico. (Smith, 2023)

- **Sensor Suelo NPK de Alta Precisión.**

Este sensor puede realizar mediciones del Nitrógeno, Potasio y fosforo respecto a la conductividad eléctrica que sea medida. Para realizar estas mediciones, el sensor cuenta de forma integrada con distintos sensores individuales dentro de su estructura para poder realizar las distintas mediciones del suelo sin ningún inconveniente. La instalación del sensor de Suelo NPK Fertilizante Inteligente de Alto debe realizarse a una profundidad recomendada de 20 centímetros. Esta profundidad es óptima para captar los niveles de nutrientes y otras variables en la zona radicular, donde las plantas absorben la mayor parte de los nutrientes. Al instalar el sensor a esta profundidad, se asegura una representación precisa del estado nutricional del suelo, lo cual es esencial para tomar decisiones agronómicas acertadas. La correcta instalación y uso del sensor facilitan un manejo eficiente de los recursos, promoviendo la productividad y la sostenibilidad agrícola.

Figura 4

Imagen Sensor de NPK.



Fuente: Tomado de (MARGOCYCO, 2024)

- **Controlador Lógico Programable (PLC).**

Una PLC es una computadora industrial robusta diseñada para automatizar procesos electromecánicos, como los que se encuentran en líneas de producción o sistemas de control ambiental. Los PLCs se consideran parte de los sistemas de control basados en computadora (SCADA) y se pueden programar para realizar una amplia gama de tareas, desde controlar el movimiento simple de un motor hasta coordinar secuencias complejas de eventos en una máquina o proceso industrial. Todo PLC cuenta con un Controlador principal o CPU el cual se encarga de ejecutar todas las instrucciones de programación además de procesar los datos tanto analógicos como digitales de entrada y salida, además, cuenta con una memoria en la cual guarda el programa de la PLC con los datos e información correspondiente.

- **PLC Siemens.**

Los PLCs Siemens, también conocidos como controladores lógicos programables SIMATIC, son computadoras industriales robustas diseñadas para automatizar procesos electromecánicos en diversos sectores. El uso de una PLC en el sistema de riego automatizado tiene en cuenta la respuesta en tiempo real y la resistencia a todo tipo de líquidos, polvos y elementos que podrían llegar a comprometer la integridad del sistema. Además, la facilidad de uso de herramientas visuales de control, como la interfaz de usuario (HMI), facilita enormemente la supervisión y el control del sistema completo. Fabricados por Siemens AG, una empresa alemana líder en tecnología, según (Siemens, 2024) se distinguen por su confiabilidad, flexibilidad y amplia gama de características. Siemens ofrece una amplia gama de PLCs para satisfacer diversas necesidades y presupuestos. Algunos de los modelos más populares incluyen el S7-1200, el S7-1500 y el S7-300/400; cada uno de estos PLCs cuentan con una aplicación distinta y específica; ya sea para aplicaciones de gran tamaño y complejidad como para usos medianos. (Siemens, 2024).

- **Software.**

La programación de los PLCs Siemens se realiza principalmente en TIA Portal (Portal de automatización totalmente integrada), un programa de lenguaje Ladder. Este programa desarrollado por Siemens como parte de su programa de automatización con PLCs tiene en cuenta todas las herramientas de creación de HMI, Programación en Ladder, Simulación y otros elementos

esenciales para dar soluciones de control a diversas necesidades y aplicaciones industriales. (Siemens, 2024).

- **Módulo de Comunicación CM-1241, RS-422/485.**

Es un componente indispensable para la comunicación entre un controlador lógico programable (PLC) y dispositivos externos que tengan una transmisión de información mediante RS-422 o RS-485. Las funciones principales del módulo de comunicación son la facilidad de comunicación de sensores, actuadores o equipos industriales y los protocolos de comunicación industrial haciendo más fácil la integración con distintos dispositivos. Este módulo de comunicación es configurado mediante TIA Portal. (Siemens, 2024).

- **Riego por Aspersión.**

El riego por aspersión se ha convertido en una técnica de irrigación popular en la agricultura debido a sus numerosas ventajas y su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de terrenos, topografías y cultivos. Este método funciona de manera similar a la lluvia natural, distribuyendo agua en forma de finas gotas sobre el suelo a través de una red de tuberías y aspersores estratégicamente ubicados.

El riego por aspersión se destaca como un método de irrigación eficiente, versátil y beneficioso para la agricultura. Su capacidad para distribuir el agua de manera uniforme, reducir el consumo de agua y proteger el suelo lo convierte en una opción atractiva para una amplia gama de cultivos y condiciones climáticas. (AGROPINOS, 2022).

- **Aspersores.**

Es un dispositivo mecánico que transforma un flujo de líquido presurizado, generalmente agua, en aspersión. Este rocío se utiliza para diversos fines, principalmente para el riego de áreas agrícolas y espacios verdes. La base de funcionamiento de los aspersores es a la presión; al ingresar el agua por la parte inferior se almacena en la cámara de presión en donde siempre mantiene una presión para después salir a través de una boquilla de forma dispersa en forma de rocío de agua.

Los aspersores más usados son los de impacto; estos dispositivos giran en círculos de 360° al producir un chorro de agua pulsante continuo que genera el movimiento circular debido a la presión de salida. Existen distintos tipos de aspersores como tipo rotor o barra los cuales cuentan

con la misma funcionalidad de aspersión por giro, pero estos métodos cuentan con distancias de riego más limitadas que los aspersores de impacto. (AGROARPUS, 2024).

- **Bomba de Agua.**

Una bomba de agua es un dispositivo mecánico que impulsa el agua desde una fuente hacia un punto de destino, generalmente con el objetivo de regar cultivos o áreas verdes. Las bombas de agua para riego funcionan elevando el agua de la fuente, como un pozo, un estanque, río u otra fuente de agua y transportándola a través de tuberías hasta los aspersores, goteadores u otros emisores de riego; la potencia de la bomba medida en caballos de fuerza (hp) o kilovatios (kW), determina la cantidad de agua que puede bombear y la distancia a la que puede transportarla. (JÁVEA, 2024)

- **Tanque de Almacenamiento.**

Un tanque de almacenamiento es un recipiente diseñado para el almacenamiento de líquidos o gases a presión atmosférica o superior. Son utilizados en gran cantidad de aplicaciones como almacenamiento de agua, de combustibles o almacenamiento de productos químicos.

El material utilizado para la construcción varía según el contenido, desde acero resistente para productos químicos corrosivos hasta plástico para agua potable. Su forma y tamaño es adaptable, desde tanques domésticos compactos hasta gigantes industriales con capacidad para albergar enormes cantidades de recursos.

Todo tanque de almacenamiento está sujetos a normas y regulaciones que garantizan la seguridad, integridad y protección de cualquier sistema; dichas normas pueden cambiar dependiendo de la aplicación en la que se está haciendo uso del Tanque. (Canela, 2022).

- **Cultivo de Maíz porva de clima frío.**

El maíz Porva es una variedad de maíz Amarillo Harinoso especialmente adaptada para su siembra en climas fríos, particularmente en zonas de altura entre 1.800 y 3.200 metros sobre el nivel del mar. Según (croper.com, 2024) es una de las variedades de maíz más cultivadas en regiones montañosas de Colombia, Ecuador y Perú, debido a su alta tolerancia a las bajas temperaturas, resistencia a enfermedades y buen rendimiento; las temperaturas en las que se adapta varían desde los 8 °C hasta los 30 °C. (croper.com, 2024).

- **Válvulas.**

Las válvulas son dispositivos mecánicos esenciales en sistemas de tuberías que regulan, dirigen o controlan el flujo de líquidos, gases o mezclas. Su función principal es permitir la apertura, cierre o restricción parcial del paso del fluido, lo que ayuda a ajustar la presión, el caudal y la dirección del flujo según sea necesario. Existen varios tipos de válvulas, cada una diseñada para cumplir funciones específicas; en este caso las válvulas para flujo de agua permiten regular y controlar la presión además de asegurar un manejo eficiente del agua en redes de tuberías. (Borrás, 2020).

ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de riego automático representan un avance significativo en la gestión eficiente del agua en la agricultura y la jardinería. Estos sistemas han evolucionado para abordar la creciente preocupación por la escasez de agua y la necesidad de optimizar su uso en los cultivos.

Se identifica un aumento en la realización de sistemas de riego automatizado para distintos tipos de cultivos en donde son separados por el uso de distintos microcontroladores, enfoques o mediciones para realizar el control del riego sobre el cultivo. En la Universidad Católica de Colombia (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020) se realizó un proyecto en el cual se implementó un sistema de riego automatizado y se le realizó un monitoreo de variables mediante sensores de humedad y temperatura, los cuales comunicaban sus mediciones a través de IoT (Internet de las cosas). El sistema utilizó un Arduino UNO para la lectura y muestra de los datos del cultivo.

El proyecto se implementó en un invernadero perteneciente a la Fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin, una organización sin ánimo de lucro que apoya a mujeres en situación vulnerable mediante la capacitación en agricultura urbana. El sistema de riego automatizado ayuda a mejorar la eficiencia del uso del agua, optimizando las condiciones ambientales para los cultivos urbanos dentro de un invernadero. Este enfoque no solo mejora la productividad de los cultivos, sino que también apoya la sostenibilidad ambiental al reducir el uso innecesario de agua. El impacto social de este proyecto es significativo, ya que mejora la calidad de vida de las mujeres involucradas al permitirles gestionar mejor sus recursos agrícolas. El sistema utiliza la plataforma ThingSpeak para realizar la comunicación a través de Wi-Fi, permitiendo una facilidad de comunicación entre el sistema automatizado de riego y el usuario que está monitoreando el sistema. Además, se concluye como el sistema optimiza el consumo de agua al ser usado cuando existe una necesidad de riego presente en el cultivo.

Igualmente, la Universidad de la Salle con 3 docentes de la universidad (Martín Gomez, Montoya Gómez, & Muñoz Serrano, 2017), realizan un sistema autónomo para pequeños cultivos basado en medición de temperatura y humedad en el optan por un riego a una altura de aproximadamente 2 metros de altura y hacen uso de electroválvulas; además, hacen uso del microcontrolador PIC 18F4550 para la adquisición de datos de los sensores y toma de decisiones respecto al riego del cultivo. Este proyecto, muestra como el sistema de riego automatizado genero

una producción 5,87 veces mayor comparando las cosechas de antes y después de la implementación del sistema además de mejoras en el crecimiento, aspecto y color del maíz en varias etapas de crecimiento del cultivo de maíz. También, concluyen el cómo al tener un sistema automatizado se elimina el riesgo de un sobre riego lo que podría dañar toda la siembra.

Figura 5

Cosecha del proyecto de la Universidad de la Salle.



Fuente: Sacado de, (Martín Gomez, Montoya Gómez, & Muñoz Serrano, 2017)

Fuente de la Imagen: <https://n9.cl/universidadsalle>

DISEÑO METODOLÓGICO

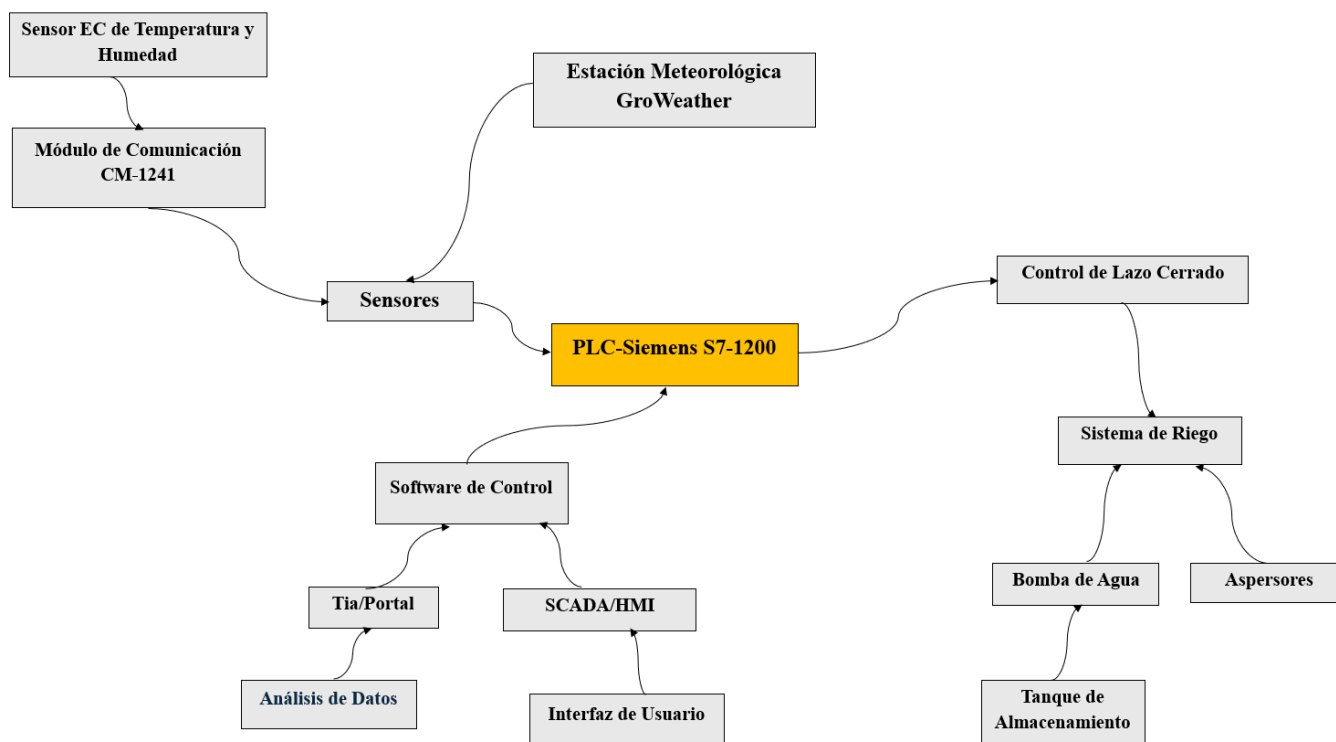
El presente proyecto se enmarca en la investigación aplicada, la cual busca generar conocimiento nuevo y útil para resolver un problema concreto; la optimización del uso del agua en el cultivo de maíz porva en Paipa-Boyacá. A través del diseño e implementación de un sistema de control automatizado de riego preciso, se pretende contribuir a la mejora de la eficiencia del uso del agua y el aumento del rendimiento del cultivo.

- **Metodología de Investigación.**

Fase 1. El proyecto se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, utilizando métodos y técnicas de investigación que permitan analizar el desempeño del sistema de control automatizado de riego.

Figura 6

Diagrama de Bloques del Proceso.



Fuente: Autor – Diagrama de Bloques del Proceso.

La metodología que se utilizará es la experimental, la cual consiste en la manipulación deliberada de una variable independiente (Sistema de Riego) para observar su efecto sobre una variable dependiente (Rendimiento del Cultivo).

El diseño metodológico del proyecto se complementa con un diagrama detallado del sistema de riego automatizado, que ilustra la interconexión de sus componentes principales. Este diagrama incluye el Sensor EC de Temperatura y Humedad y la Estación Meteorológica GroWeather, integrados mediante un Módulo de Comunicación CM-1241, todos controlados centralmente por un PLC-Siemens S7-1200. Además, el sistema utiliza el software de control Tia/Portal para el análisis de datos y HMI para la interfaz de usuario.

Fase 2. En esta fase, el objetivo principal es diseñar y programar el sistema de riego para un cultivo de maíz en un área de 30x30 metros para la vereda el volcán en la ciudad de Paipa-Boyacá utilizando el controlador PLC S7-1200 y el software TIA Portal. Primero, se desarrollará un diseño tridimensional detallado del sistema de riego, que incluirá todos los componentes necesarios como tuberías, bombas, válvulas, sensores y actuadores. Este diseño permitirá visualizar la estructura completa del sistema y facilitará la integración de los diferentes elementos.

Luego, se procederá a la programación del PLC S7-1200 utilizando TIA Portal. Esta programación incluirá la configuración del PLC para comunicarse con el sensor de suelo y la estación meteorológica, los interruptores de encendido/apagado y los actuadores de control del flujo de agua.

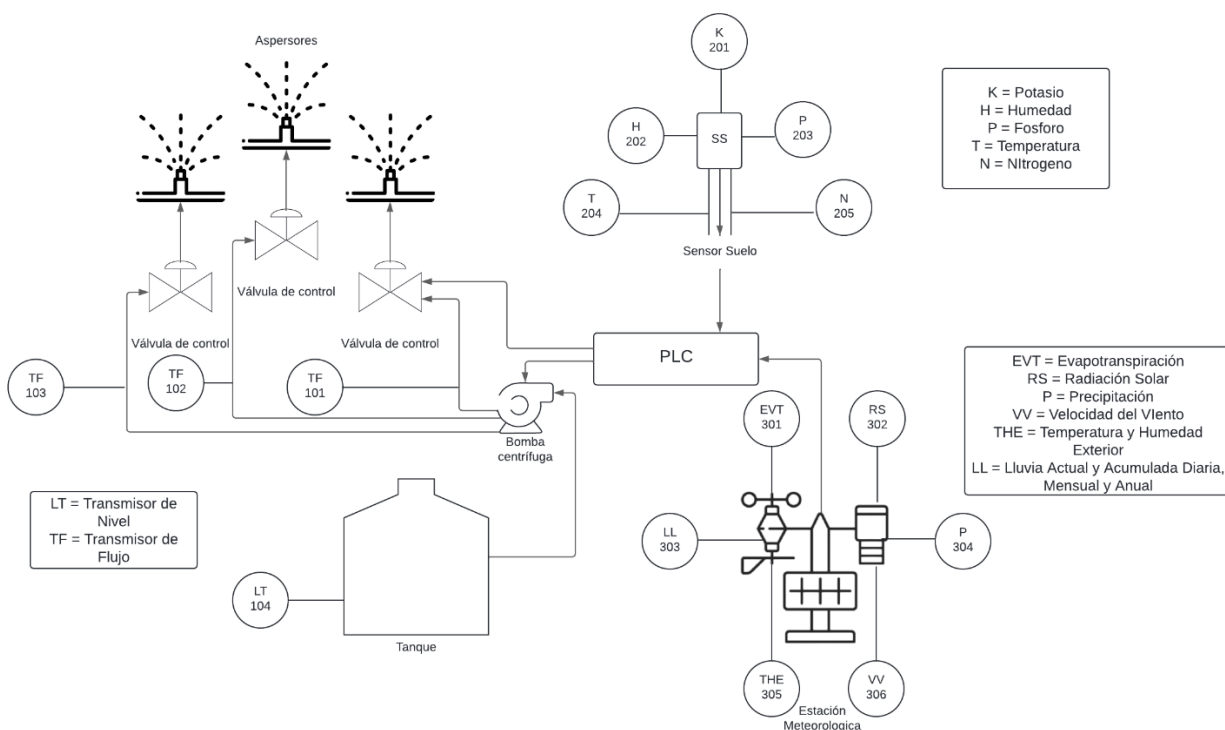
Los algoritmos de control serán utilizados para ajustar el riego en función de las necesidades específicas del cultivo de maíz, basándose en las lecturas de precipitación, evapotranspiración, humedad del suelo y otras variables medidas. De esta manera, el sistema podrá gestionar automáticamente el suministro de agua de manera eficiente y adecuada para el crecimiento óptimo del cultivo.

Fase 3. Mediante un Diagrama P&ID se muestran todas las conexiones del sistema, las variables a medir, los sensores y actuadores que serán utilizados; se hace muestra del sistema y diseño preliminar que se tendrá en cuenta para el sistema de riego automatizado.

En la Figura 7, se muestra la conexión del sistema con el Controlador PLC, el cual estará encargado del control del sistema de riego automatizado que es responsable de ejecutar el programa de control preestablecido. Este controlador toma decisiones basadas en las lecturas de los sensores y las instrucciones del programa, activando o desactivando válvulas, bombas y otros actuadores según sea necesario.

Figura 7

Diagrama P&ID.



Así, el sistema se mantiene en funcionamiento de manera eficiente, reduciendo el desperdicio de agua y optimizando el crecimiento de las plantas. Cabe resaltar que el sensor de suelo es solo uno de los 12 sensores previstos en el diseño que serían necesarios para la medición del suelo; igualmente con los tres de 12 aspersores que son necesarios para el riego efectivo y uniforme del cultivo.

Fase 4. La cuarta fase se centra en el diseño de una interfaz gráfica de usuario (HMI) que permitirá controlar y supervisar el sistema de riego de manera intuitiva. Se diseñará una pantalla HMI que proporcionará una visualización clara de las variables clave medidas por los sensores, tales como la humedad del suelo, radiación solar y el estado de las bombas.

Fase 5. Para la quinta fase, se realizará el diseño del control para que modifique la cantidad de agua aplicada y el tiempo de riego basado en las lecturas de los sensores. La retroalimentación continua de los sensores al PLC permitirá realizar ajustes al sistema, adaptando el riego a las necesidades actuales del cultivo. Esto asegura que el sistema mantenga niveles óptimos de humedad en el suelo y prevenga el estrés hídrico. Para poder encontrar los valores de cantidad de

agua y tiempo de riego, se hará uso de las mediciones de los sensores, los cuales están siendo retroalimentados como señales necesarias para el control de la necesidad hídrica del cultivo.

Los valores de riego que se deben considerar para el cultivo de maíz estarán determinados por una serie de variables esenciales, tales como las mediciones de humedad del suelo, la evapotranspiración, la radiación solar, la precipitación y la temperatura relativa. Estas variables serán monitorizadas continuamente mediante el uso de sensores de suelo especializados y una estación meteorológica, los cuales proporcionarán datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones ambientales y del suelo. Dado que estas variables pueden variar significativamente a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, es crucial realizar una configuración adecuada de los datos obtenidos; esto permitirá mitigar los cambios en la variabilidad ambiental los cuales no pueden ser controlados por completo.

Fase 6. En la Sexta Fase se tiene en cuenta el Diagrama GEMMA, en el cual se evaluarán cuáles son los aspectos que permiten o bloquean el funcionamiento de todo el proceso. Se tiene en cuenta el diseño del diagrama respecto al GRAFCET el cual describe el funcionamiento del sistema; teniendo en cuenta el proceso en parada, en defecto y en funcionamiento.

Fase 7. En la última fase, se concluirá con un análisis respecto a la efectividad del sistema automatizado de riego para la solución del estrés hídrico en cultivos de maíz. Este análisis evaluará si el sistema tiene la capacidad de mantener niveles adecuados de humedad en el suelo, reducir el estrés hídrico y mejorar el rendimiento del cultivo. Además, se analizarán las posibles mejoras o ajustes que podrían optimizar aún más su desempeño en diferentes condiciones ambientales.

DESARROLLO DEL PROYECTO.

Para el diseño del sistema automatizado de riego, se hace necesario el uso de un microcontrolador capaz de manejar órdenes en tiempo real y realizar los cambios necesarios en el sistema de control para mantener un equilibrio en el proceso de principio a fin. Por esta razón, se utiliza el PLC SIEMENS-1200, el cual tiene la capacidad de cumplir con la tarea del riego en tiempo real. Este PLC tendrá en su rack de conexión el módulo externo de comunicación CM-1241, RS-422/485, que estará encargado de recibir y procesar todos los datos enviados por la estación meteorológica. Esta estación medirá variables como temperatura y humedad exterior, radiación solar, evapotranspiración, entre otras.

Además, el sistema contará con sensores de suelo que monitorearán constantemente la humedad y la temperatura del terreno, proporcionando datos cruciales para el ajuste del riego. Estos sensores estarán conectados al PLC a través de módulos de entrada analógica, permitiendo una lectura precisa y continua de las condiciones del suelo. El PLC, mediante su software de programación TIA Portal, ejecutará algoritmos avanzados para el control óptimo del riego, ajustando automáticamente la cantidad de agua suministrada a los cultivos en función de las necesidades específicas del maíz y las condiciones ambientales.

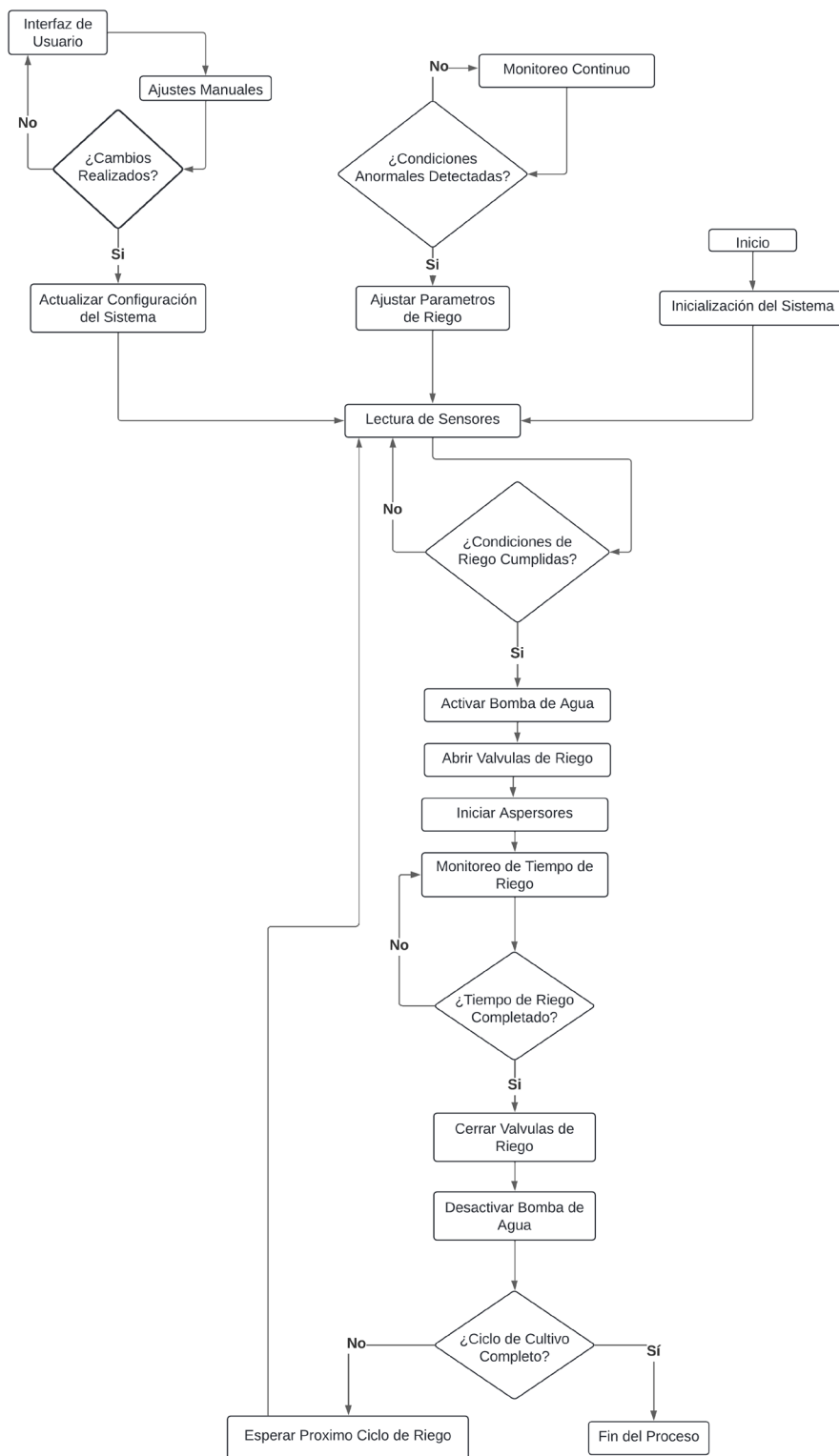
El sistema también integrará un panel de control HMI (Interfaz Humano Maquina) que permitirá supervisar los parámetros del riego cuando sea necesario. Esta interfaz facilitará la visualización de datos en tiempo real y el historial de las variables monitoreadas, permitiendo una gestión más eficiente y proactiva del riego. Teniendo en cuenta que el proceso se realiza en distintas etapas en donde cada una cuenta con una función o tarea específica; se tendrán en cuenta 5 etapas para el desarrollo del proyecto.

ETAPA 1 – Se elabora un diagrama de flujo que abarca todo el sistema, detallando cada proceso, incluyendo la toma de decisiones y la ejecución del riego. Además, se identifican puntos críticos como la lectura de sensores en el cual se abarca una gran parte del proceso.

El diseño del sistema automatizado de riego comienza con la captura de datos meteorológicos y del suelo mediante sensores específicos. La estación meteorológica recoge información sobre temperatura, humedad, radiación solar y evapotranspiración, mientras que los sensores de suelo miden la humedad y temperatura del terreno.

Figura 8

Diagrama de Flujo.



Fuente: Autor – Diagrama de Flujo del Proceso.

Estos datos son transmitidos al PLC SIEMENS-1200 a través de los módulos de comunicación CM-1241, RS-422/485. El PLC, procesa los datos y compara las lecturas actuales con los valores óptimos preestablecidos para el cultivo de maíz, tomando decisiones sobre cuándo y cuánto regar. Una vez tomadas las decisiones, el PLC activa las válvulas de riego para suministrar la cantidad de agua necesaria al campo de maíz, ajustando el riego en función de los datos en tiempo real.

Los operadores pueden supervisar y ajustar manualmente el sistema a través del panel de control HMI, que muestra en tiempo real las lecturas de los sensores, las decisiones del PLC y el estado de las válvulas de riego. Todos los datos y acciones del sistema son registrados para su análisis posterior, permitiendo la evaluación y optimización continua del sistema de riego.

ETAPA 2 – Se realiza el diseño del sistema de riego con ayuda de la herramienta de simulación (SketchUp, 2024). Esta herramienta versátil de simulación permite observar el modelo tridimensional del sistema, lo que facilita la visualización y comprensión de la disposición de los componentes del sistema de riego, como tuberías, aspersores y bombas.

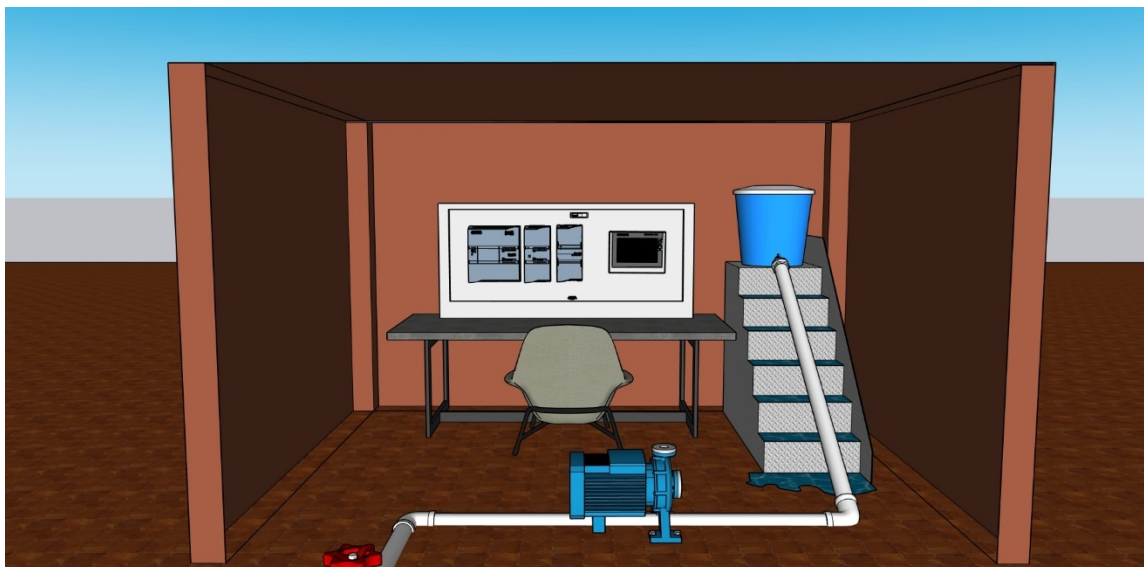
Además, SketchUp permite realizar ajustes precisos en el diseño para adaptarlo a las características topográficas del terreno y a las necesidades específicas del cultivo. Otra ventaja significativa de utilizar SketchUp es la variedad de elementos visuales que pueden ser usados para mostrar el sistema de riego automatizado, mostrando desde PLCs (Controladores Lógicos Programables) hasta plantas de maíz que simula una etapa de crecimiento del maíz.

Esta capacidad de incluir componentes eléctricos y electrónicos, como sensores, válvulas de control y estaciones meteorológicas, permite una representación completa del sistema, abarcando tanto la infraestructura física como los elementos de control y monitoreo. Esta capacidad de visualización es esencial para garantizar que el sistema de riego automatizado funcione de manera eficiente y efectiva, adaptándose a las necesidades específicas del cultivo y del entorno.

Con el uso de SketchUp, se pueden prever posibles áreas de mejora en el sistema antes de su implementación, lo que reduce costos y aumenta la precisión del diseño final, asegurando una solución más sostenible y adaptada a las necesidades del sistema. Esta simulación permiten evaluar la eficiencia del diseño, identificando posibles problemas, como zonas con falta o exceso de riego, y ajustando el diseño antes de la instalación física.

Figura 9

Diseño 3D en la Plataforma SketchUp.



Fuente: Autor – *Cuarto de Máquinas.*

Descripción del Sistema de Control y Monitoreo.

Se hace uso de un PLC S7-1200, un controlador lógico programable el cual se encarga del sistema de automatización. Este PLC tiene como función procesar las señales de los sensores para controlar la bomba de agua y otros elementos del sistema de riego. Junto al PLC, se encuentra una interfaz HMI (Interfaz Humano Maquina), que permite a los operadores interactuar con el sistema de manera visual. Esta pantalla táctil muestra datos en tiempo real del comportamiento del sistema, además de permitir ajustes y configuraciones del sistema.

Tanque de Almacenamiento de Agua.

Es utilizado un tanque de almacenamiento de agua, para asegurar un suministro constante de agua al sistema de riego. El tanque está colocado en una estructura elevada con escalones, lo que permite que el agua fluya por gravedad, reduciendo la carga de trabajo de la bomba de agua y asegurando una presión constante en el sistema de tuberías.

Bomba de Agua.

En la parte inferior del cuarto, se encuentra la bomba de agua; esta bomba se encarga de mover el agua desde el tanque de almacenamiento a través del sistema de tuberías hasta las áreas de riego. La bomba está conectada al sistema mediante tuberías de PVC, que son resistentes y duraderas, adecuadas para transportar agua.

Sistema de Tuberías de PVC.

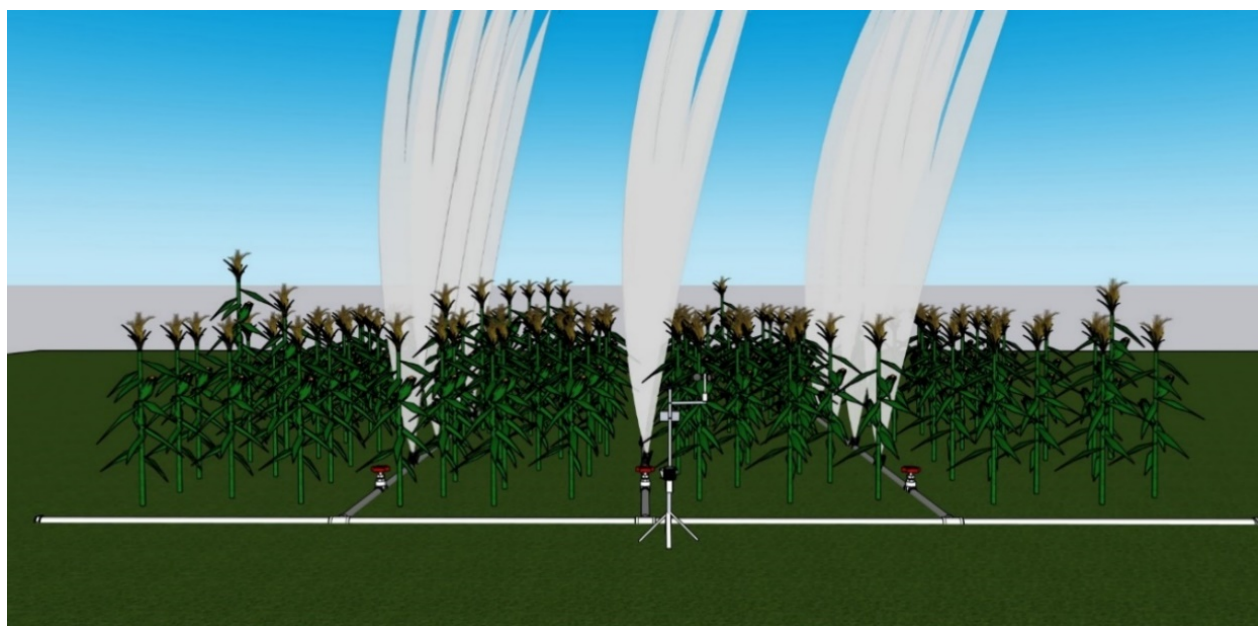
El agua se distribuye desde el tanque y la bomba a través de un sistema de tuberías de PVC. Las tuberías están diseñadas para manejar tanto la presión del agua como las condiciones ambientales, garantizando un flujo constante y eficiente del agua hacia los cultivos.

Diseño del Cuarto de Máquinas.

Todo el sistema está alojado dentro de un cuarto pequeño de máquinas, que sirve para proteger los equipos y proporcionar un espacio organizado para el control y monitoreo del sistema. Este cuarto asegura que todos los componentes estén protegidos de diversos factores externos. Además, facilita el acceso para el mantenimiento y las reparaciones, asegurando que el sistema de riego funcione de manera óptima en todo momento.

Figura 10

Diseño 3D en la Plataforma SketchUp.



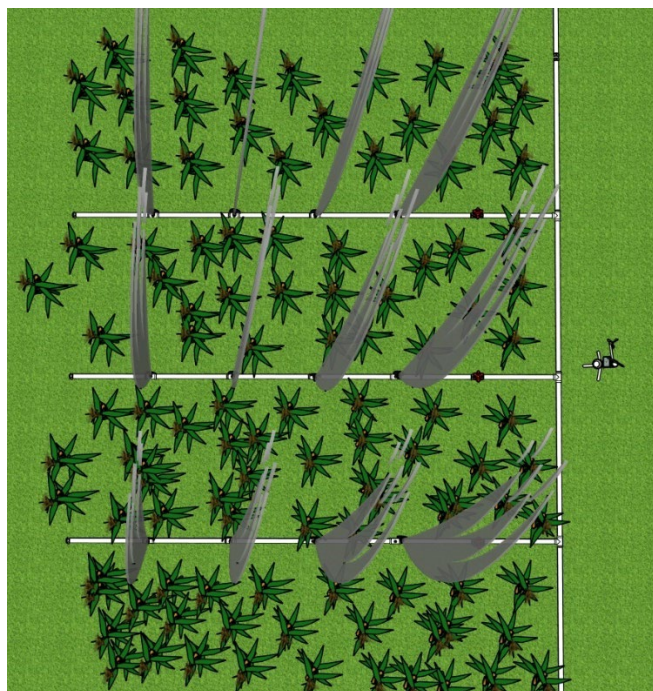
Fuente: *Autor – Cultivo – Sistema de Riego (Vista Frontal).*

En el diseño del sistema de riego se tienen en cuenta tres válvulas de paso o cierre del flujo de agua, las cuales están estratégicamente ubicadas para controlar el suministro de agua a los aspersores. Estas válvulas son esenciales para manejar el flujo de agua de manera eficiente, permitiendo regular la cantidad de agua distribuida en cada una de las franjas del cultivo de maíz.

Se hace uso de una Estación Meteorológica la cual tiene como función proporcionar datos sobre las condiciones climáticas locales, incluyendo temperatura, humedad y velocidad del viento. La información recopilada por la estación meteorológica es vital para ajustar el sistema de riego, asegurando que el cultivo reciba la cantidad de agua adecuada según las condiciones ambientales actuales.

Figura 11

Diseño 3D en la Plataforma SketchUp.



Fuente: *Autor – Cultivo – Sistema de Riego (Vista Superior).*

Los aspersores, como se muestra en las imágenes, parecen proyectar agua hacia arriba; sin embargo, están diseñados para realizar un movimiento de giro de 360 grados; este diseño permite una cobertura completa del área de cultivo, asegurando que todas las plantas reciban una cantidad uniforme de agua. Además, se puede observar en la Ilustración 10 cómo los aspersores están estratégicamente distribuidos a lo largo del campo con la finalidad de maximizar la eficiencia del riego, cubriendo la mayor superficie posible con el menor número de aspersores.

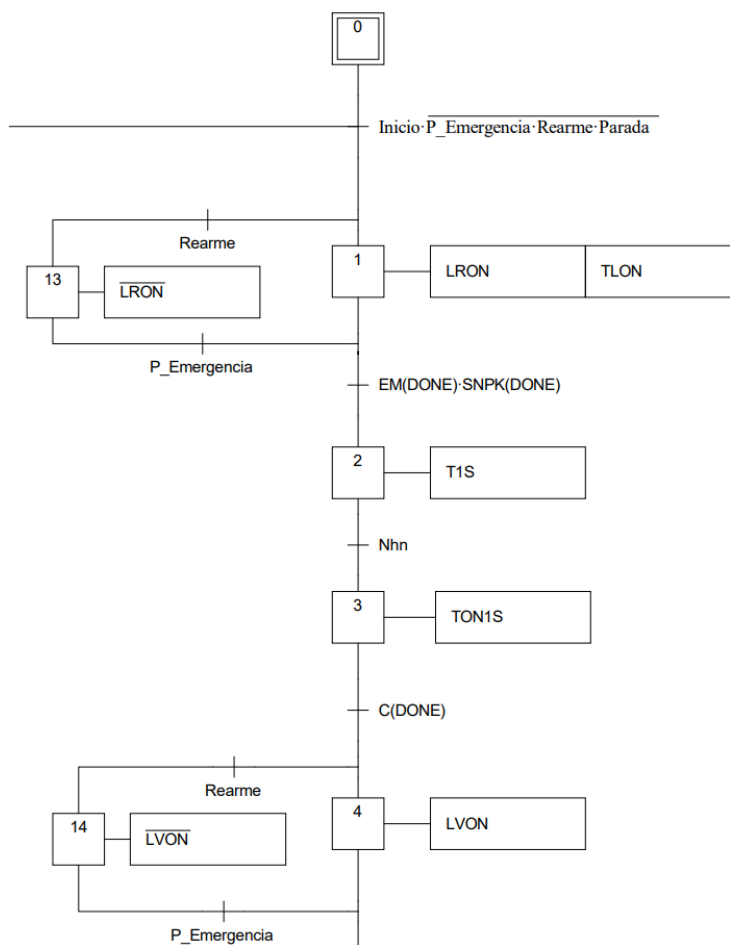
ETAPA 3 - Teniendo en cuenta el diagrama de flujo detallado del proceso y el modelo en SketchUp, se procede a desarrollar el GRAFCET del sistema de riego automatizado. Este diagrama representa de manera gráfica y secuencial todas las etapas del proceso, incluyendo las condiciones de entrada y salida, los actuadores involucrados, y los temporizadores necesarios para la correcta

operación del sistema. Cada paso indica un estado específico del sistema, con transiciones que dependen de ciertas condiciones predefinidas, asegurando así una operación eficiente y controlada.

El GRAFCET también incluye condiciones de seguridad y mantenimiento, como paradas de emergencia, parada y rearme. Estos elementos son cruciales para garantizar la seguridad del sistema y prevenir daños tanto a los equipos como al cultivo. En el diagrama se ha detallado meticulosamente cada estado y transición del proceso, abarcando desde el inicio hasta el final del ciclo de riego. El proceso comienza con la activación de la entrada (Inicio), la cual que da paso a la activación de un LED rojo. Dentro de la Etapa 1 y las etapas de Activación o desactivación de Leds, Válvulas o algún actuador que tenga una activación en el proceso se incluyeron las etapas de Parada de Emergencia y rearme.

Figura 12

GRAFCET.

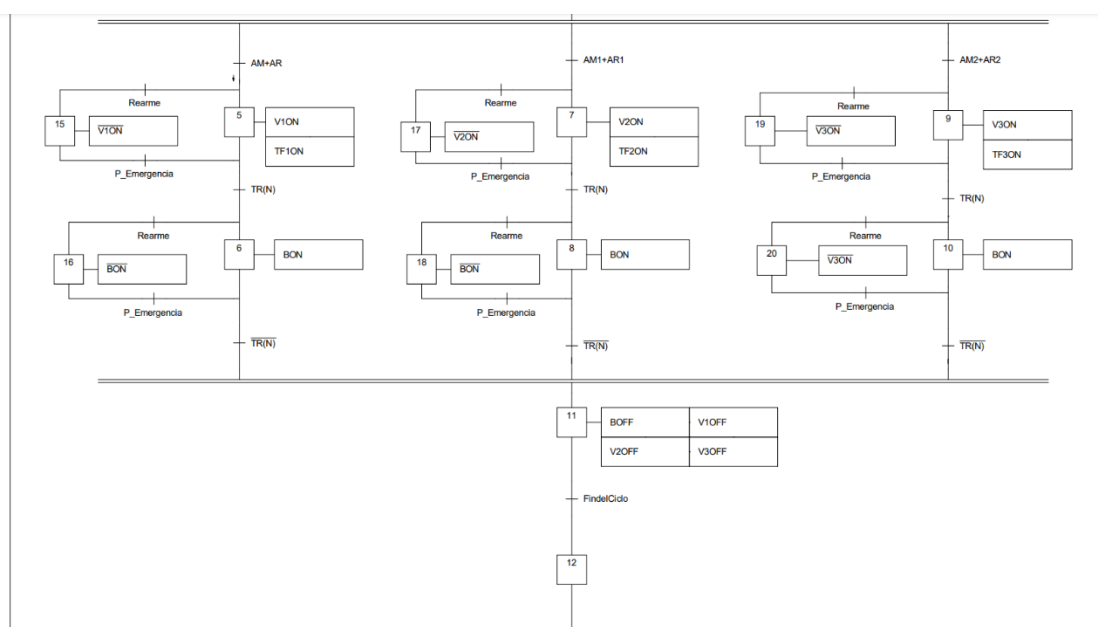


Fuente: Autor – Diagrama GRAFCET del funcionamiento completo del sistema.

El proceso comienza con el interruptor de inicio, el cual requiere que el paro de emergencia, el rearme y la parada estén desactivados para iniciar el proceso. Estas configuraciones de seguridad están implementadas en cada etapa donde se activa un actuador del proceso. La transición EM(DONE) y SNPK(DONE) corresponde a la lectura y almacenamiento de datos de la estación meteorológica, junto con el sensor que mide humedad y temperatura. Estos dispositivos recopilan y guardan los datos en el sistema de TIA Portal. A continuación, se calcula la Necesidad de Riego (Nhn), expresada en milímetros (mm). Finalmente, se realiza la transición de control que activa el indicador LED verde, señalizando el inicio del riego del cultivo.

Figura 13

GRAF CET



Fuente: Autor – Diagrama GRAFCET del funcionamiento completo del sistema.

Después de determinar la cantidad de agua necesaria para el riego del cultivo, el sistema entra en una fase de transición donde el proceso puede continuar si la válvula de riego es activada, ya sea de forma remota o manual. Esta configuración permite una flexibilidad crucial, posibilitando la implementación de riegos por secciones o franjas. Esto es particularmente útil para gestionar y controlar el riego en las diferentes líneas del cultivo de maíz, asegurando una distribución eficiente y precisa del agua. Además, se da activación a los transmisores de flujo en cada una de las válvulas.

Una vez seleccionada la modalidad de activación de la válvula, se procede con la activación del temporizador TR(N), que define el tiempo durante el cual se realizará el riego. El valor de N se calcula utilizando el software TIA Portal, basándose en la relación entre la necesidad de riego (determinada previamente) y el área específica que se debe regar. Este cálculo asegura que cada sección del cultivo reciba la cantidad óptima de agua, evitando tanto el déficit como el exceso de riego, lo que podría dañar las plantas o desperdiciar recursos. Al finalizar el tiempo de riego establecido, el sistema procede a apagar los actuadores involucrados en el proceso, como las bombas y válvulas, para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema. Además, se activa el interruptor de Tiempo de Ciclo, que reinicia el sistema y lo prepara para reiniciar el proceso de riego en el próximo ciclo programado o cuando se detecte nuevamente la necesidad de riego. Este ciclo cerrado permite un manejo automatizado y continuo del sistema de riego, asegurando que el cultivo reciba el agua necesaria de manera regular y consistente.

ETAPA 4 - Para gestionar el sistema de riego automatizado, se ha implementado un Tablero de Control que permite dar órdenes precisas como el inicio, fin y paradas de emergencia del proceso.

Figura 14

Panel de Control del Sistema



Fuente: Autor – El Panel de Control tiene en cuenta las activaciones y desactivaciones más importantes del sistema, además del inicio y cierre del proceso.

Se ha utilizado el software Factory IO para visualizar este Panel de Control, donde se encuentran los interruptores e indicadores necesarios para operar y supervisar el sistema de manera efectiva. Este panel proporciona una interfaz intuitiva que facilita el monitoreo en tiempo real y el ajuste de los parámetros operativos del sistema, asegurando un control preciso y seguro del riego en el cultivo de maíz.

ETAPA 5 – Siguiendo la estructura y lógica puesta en el GRAFCET, la programación en TIA Portal se realiza de manera meticulosa para asegurar la correcta implementación del sistema de riego automatizado. Este proceso incluye varios pasos cruciales. La configuración de actuadores abarca las válvulas, la bomba y otros dispositivos indicadores, configurados en TIA Portal para responder a las señales del PLC.

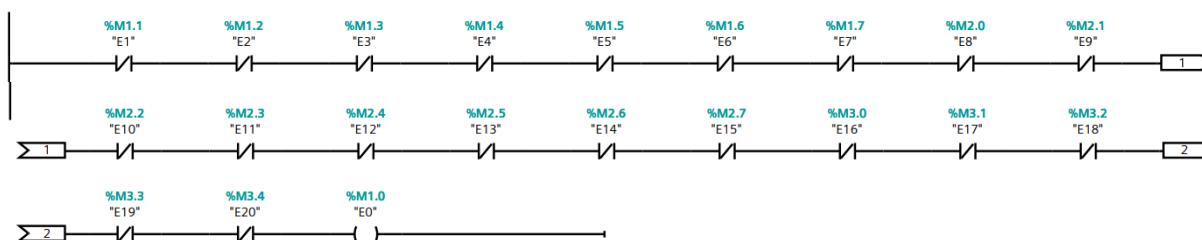
La configuración incluye la definición de sus parámetros de operación y la integración con el sistema de control general. Se consideran diversas variables y parámetros operativos, como la evapotranspiración, la humedad y otros factores ambientales.

Estas variables se monitorean en tiempo real y se utilizan para ajustar dinámicamente el funcionamiento del sistema. Finalmente, se implementan configuraciones de seguridad para prevenir fallos y garantizar la integridad del sistema, teniendo en cuenta la definición de procedimientos de emergencia.

A través de estos pasos, la programación en TIA Portal no solo replica la lógica y estructura del GRAFCET, sino que también optimiza el funcionamiento del sistema de riego automatizado, asegurando que todos los componentes trabajen de manera eficiente.

Figura 15

Programación en Tia Portal

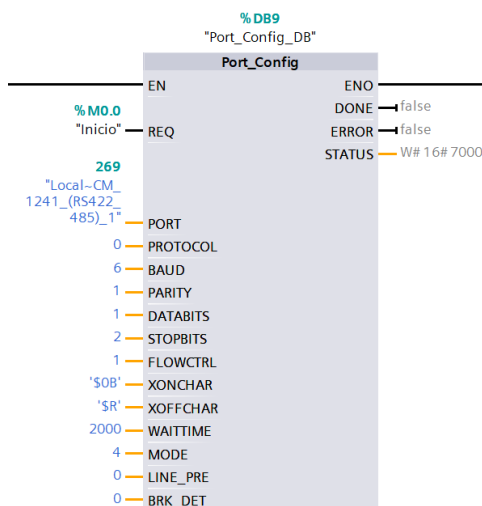


Fuente: Autor – Definición de las Etapas.

Como primer paso se configuraron las etapas del proceso como memorias dentro del programa Tia portal; se definen todas las etapas teniendo en cuenta las de proceso, emergencia y rearme que serán utilizadas más adelante.

Figura 16

Programación en Tia Portal

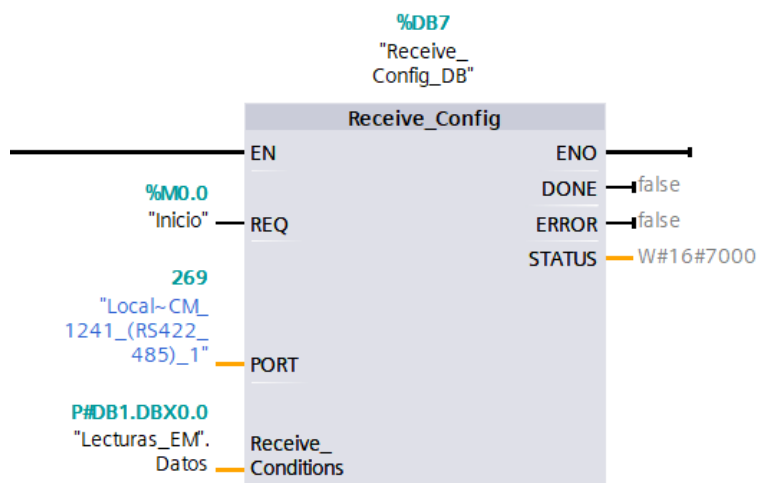


Fuente: Autor – Comunicación RS422_485.

Para la comunicación de los datos de medición, se utilizaron 2 módulos de comunicación CM_1241, los cuales facilitan el guardado de datos y comunicación entre sensores y la PLC. Se utiliza el Port_Config para darle los atributos a los 2 módulos de comunicación.

Figura 17

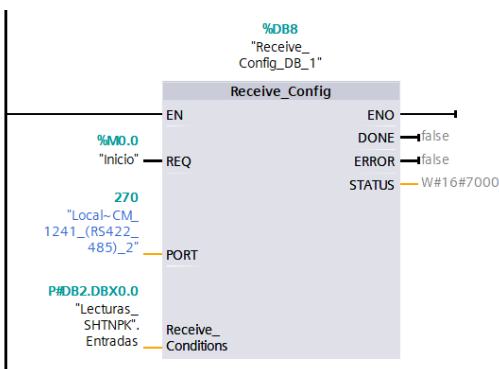
Programación en Tia Portal



Fuente: Autor – Comunicación RS422-485.

Figura 18

Programación en Tia Portal

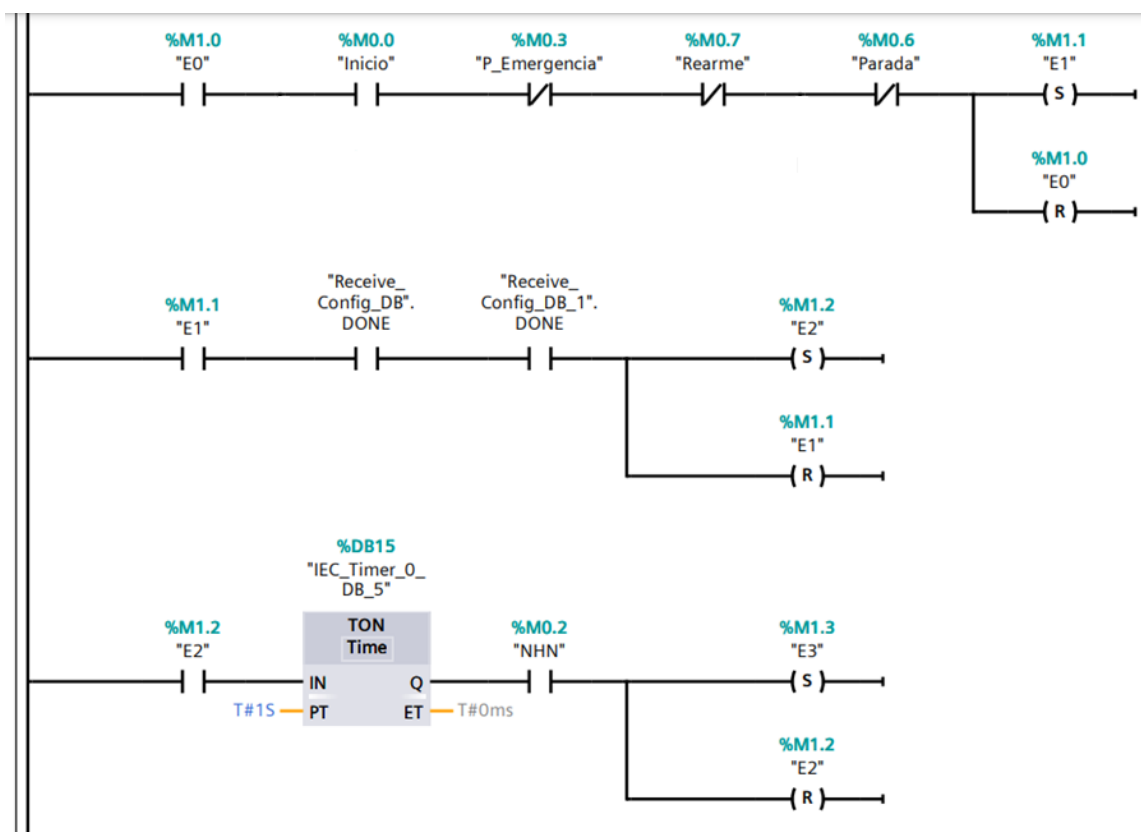


Fuente: Autor – Comunicación RS422-485.

Para recibir los datos de los Sensores se utilizan dos bloques de recepción de los datos y se usan dos bloques de datos para el almacenamiento de todas las variables. Estos bloques hacen parte de la comunicación punto a punto dispuesta por Siemens en el programa Tia Portal.

Figura 19

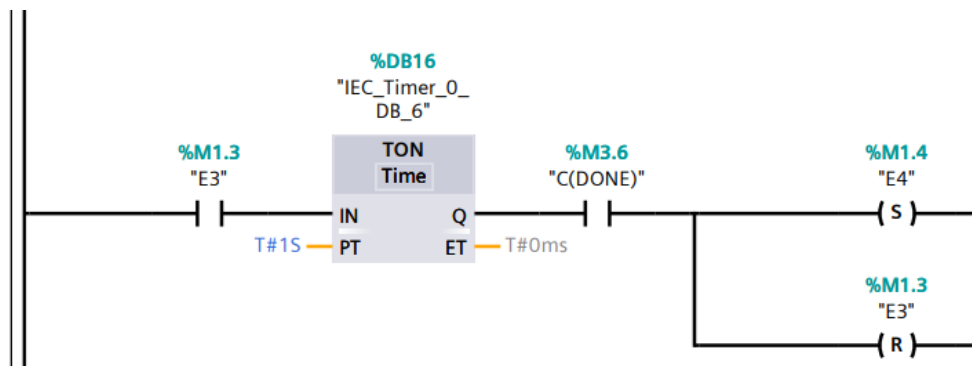
Programación en Tia Portal



Fuente: Autor – Inicio del Proceso.

Figura 20

Programación en Tia Portal

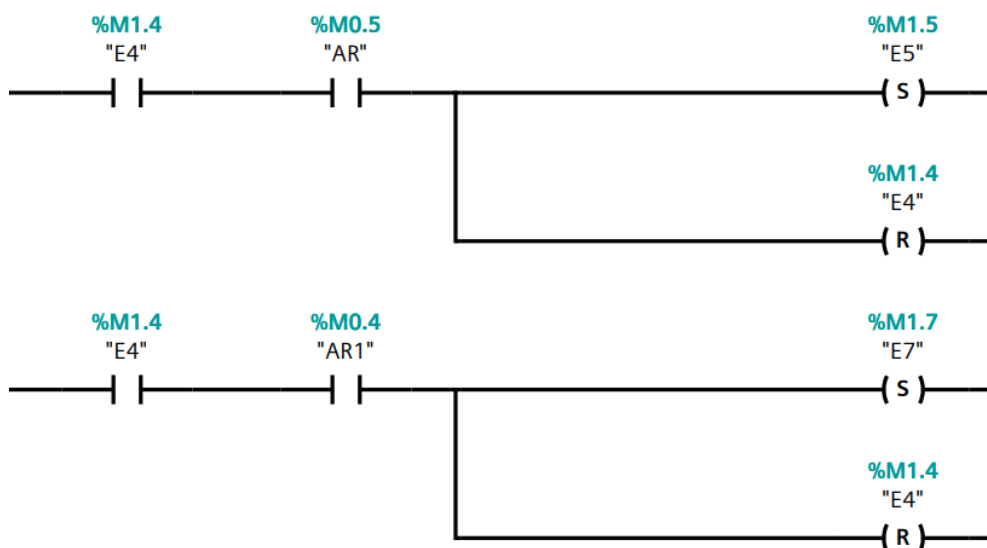


Fuente: Autor – Inicio del Proceso.

Al comienzo del proceso, tal como se ilustra en la Figura 19, se activa el sistema mediante el botón de Inicio, acompañado por las instrucciones de Parada, Rearme y Parada de Emergencia, que aseguran la configuración de seguridad del sistema. Posteriormente, en la Etapa 1, se verifica que la recepción de datos esté en un estado alto (1). Para avanzar en el proceso, se emplean dos interruptores: el primero, NHN, confirma que se ha calculado la Necesidad de Riego, mientras que el segundo, C(DONE), como se muestra en la Ilustración 19, verifica que se ha realizado el cálculo del tiempo de riego y la cantidad precisa de agua que se aplicará al cultivo.

Figura 21

Programación en Tia Portal

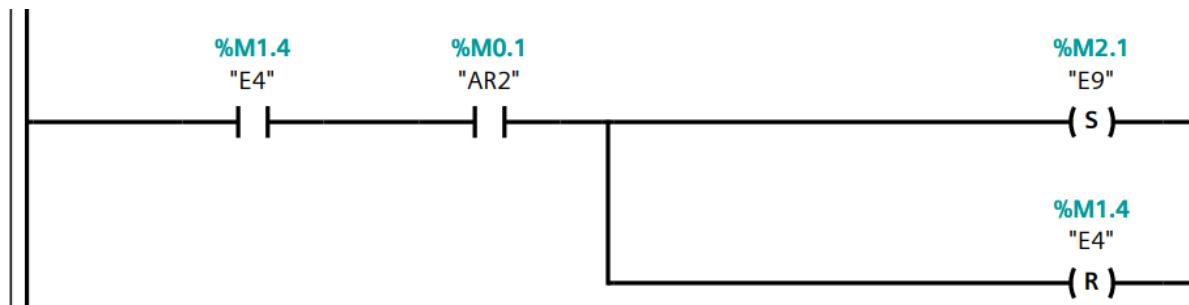


Fuente: Autor – Activación de Válvulas.

En el proceso, las válvulas pueden ser activadas de manera manual o remota. En este caso, como se muestra en las Ilustraciones 21 y 22, se activa únicamente una de las tres válvulas remotas para el riego del cultivo, dependiendo de la necesidad hídrica del mismo.

Figura 22

Programación en Tia Portal

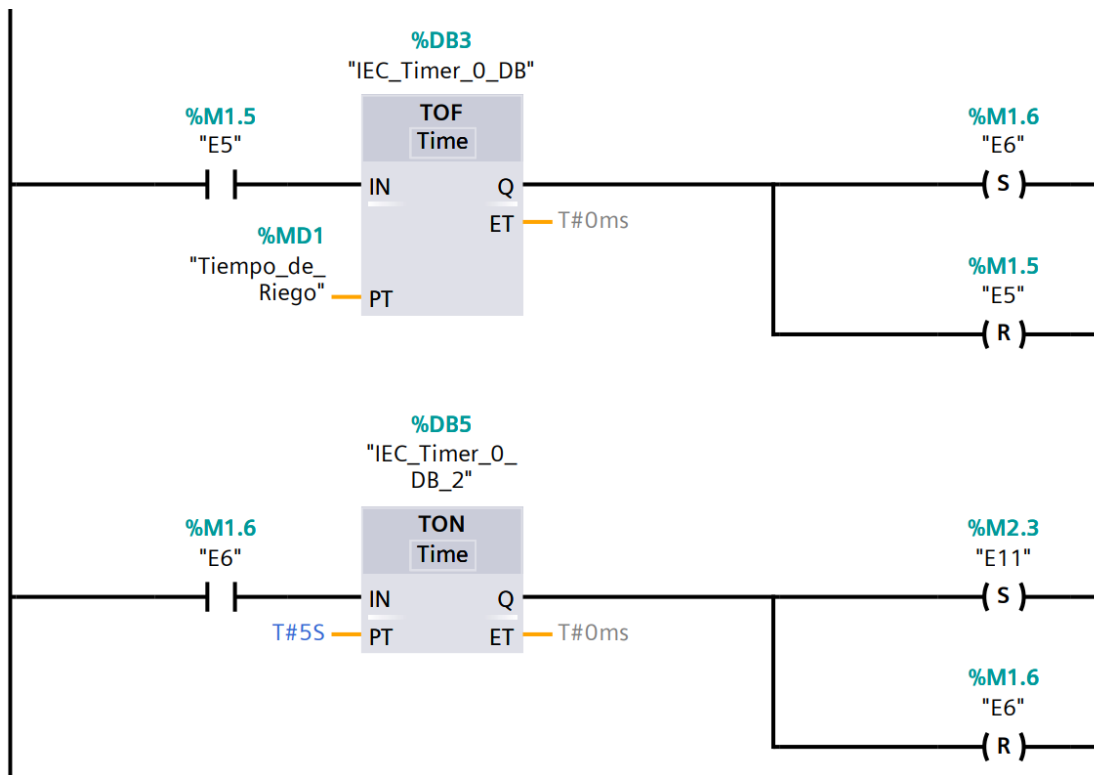


Fuente: Autor – Activación de Válvulas.

Ahora, con las válvulas deseadas abiertas, el proceso continuo con el tiempo en el que estas válvulas estarán activadas.

Figura 23

Programación en Tia Portal

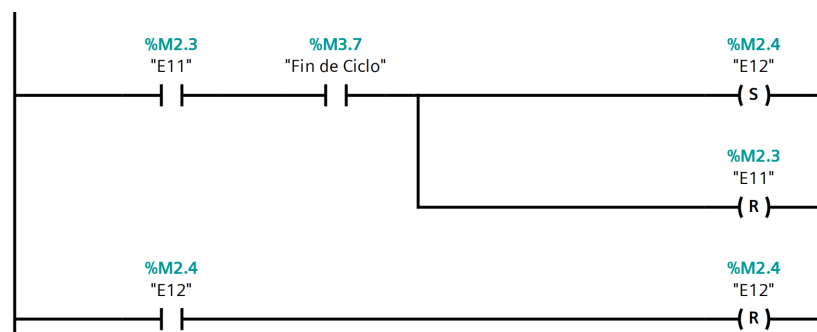


Fuente: Autor – Tiempo de Riego.

Para controlar el tiempo de riego, se consideran el área de riego y la necesidad hídrica del sistema según las mediciones obtenidas. Por esta razón, se utiliza un temporizador con retardo a la desconexión, que determina cuánto tiempo estarán activados la bomba y el sistema antes de que finalice el ciclo completo del proceso.

Figura 24

Programación en Tia Portal

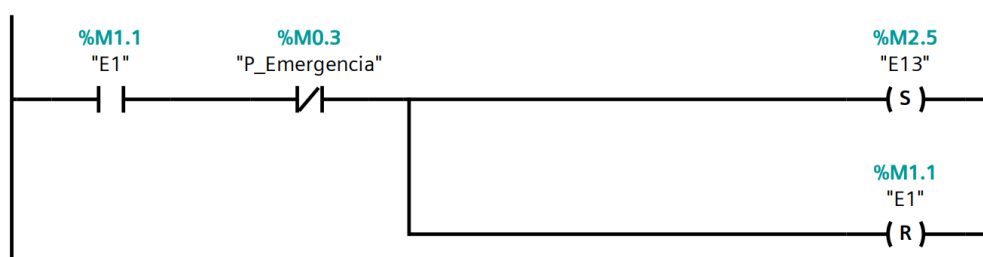


Fuente: Autor – Fin del Proceso.

Al finalizar el proceso y después de cumplirse el tiempo de riego, las válvulas y la bomba se desactivarán. Se utilizará un interruptor de Fin de Ciclo como confirmación de que el proceso ha concluido, permitiendo reiniciar el ciclo o darlo por terminado según se requiera.

Figura 25

Programación en Tia Portal

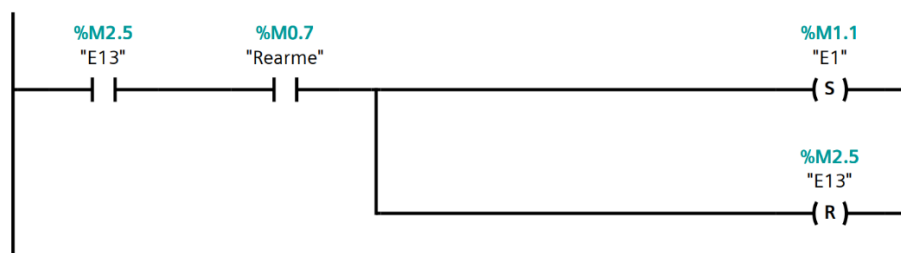


Fuente: Autor – Paradas de Emergencia.

Las paradas de emergencia se implementaron en las etapas del proceso que requerían una finalización inmediata en caso de una emergencia. Esta estructura se aplicó específicamente a las etapas E4, E5, E6, E7, E8, E9 y E10. Además de asegurar una respuesta rápida y efectiva ante situaciones críticas, estas paradas de emergencia permiten proteger tanto el equipo como el cultivo, ya que estas etapas de emergencia son cruciales para la seguridad y eficiencia del sistema de riego automatizado.

Figura 26

Programación en Tia Portal



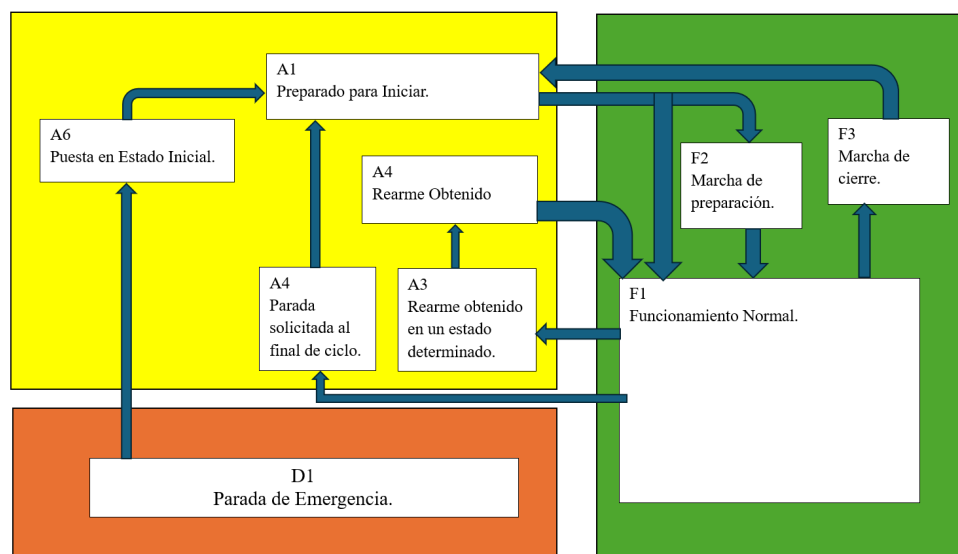
Fuente: Autor – Interruptor para el Rearme del Proceso.

El Rearme se diseñó para permitir el reinicio del proceso en una etapa específica donde se haya activado una parada del sistema. A diferencia de la Parada de Emergencia que detiene todo el sistema el Rearme solo interrumpe el proceso en la etapa actual, facilitando la resolución de problemas y la reanudación del proceso desde ese punto sin necesidad de reiniciar todo el sistema.

ETAPA 6 – Se realiza la guía GEMMA la cual representa los distintos modos de operación y transición en un sistema automatizado. La Figura 27 ilustra un diagrama de estos modos y sus interacciones. Son mostrados todos los estados de producción, parada y emergencia que actúan sobre el sistema y cambian el estado o punto de funcionamiento de todo el proceso. Además, muestra las condiciones necesarias para pasar de un estado a otro dentro del sistema.

Figura 27

Guía GEMMA.

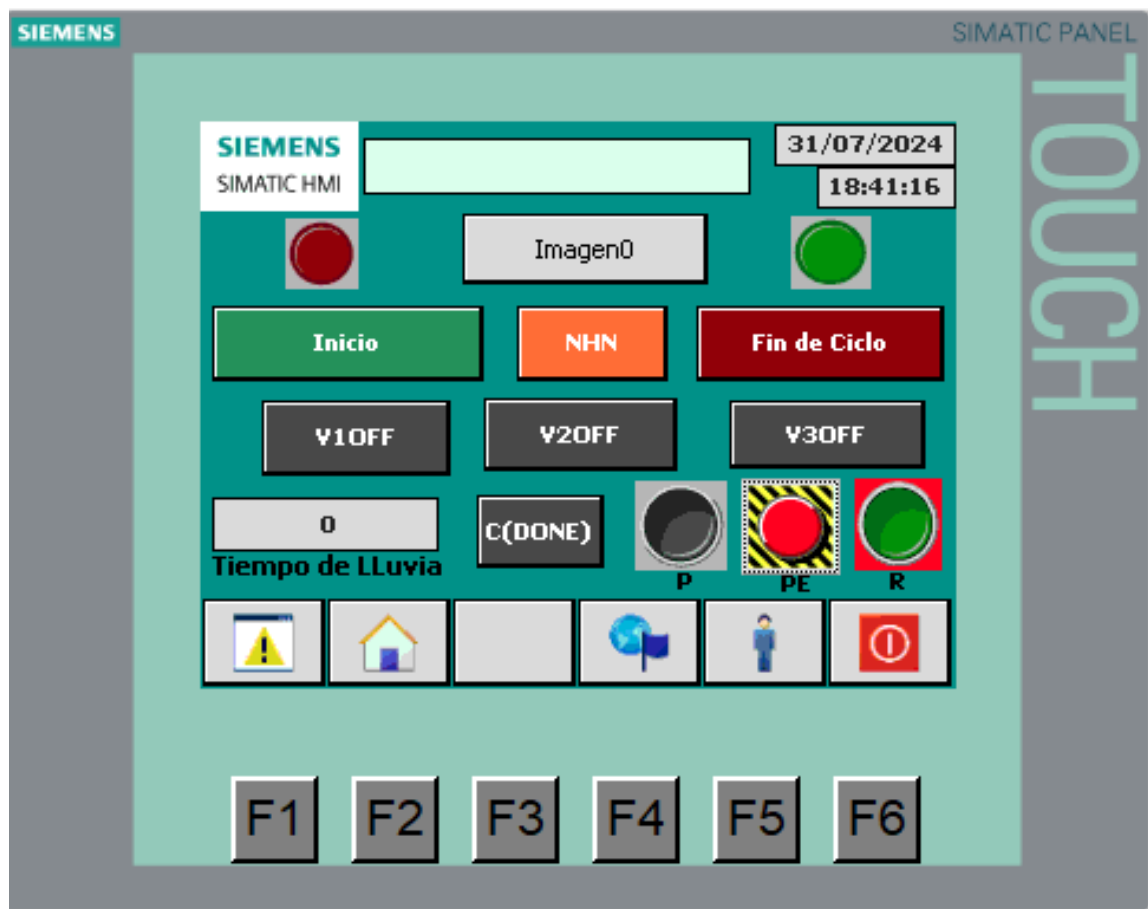


Fuente: Autor – Guía de estudios de los modos de marchas y paradas.

En el diagrama, se destacan varios modos clave. A1 (Preparado para Iniciar) es el estado donde el sistema está listo para comenzar la operación. Desde aquí, el sistema puede avanzar hacia F2 (Marcha de preparación) y a F1 (Funcionamiento Normal), que es el modo operativo principal. Después puede pasar a A4 (Rearme obtenido) si se necesita ser preparado de nuevo. El sistema puede entrar en D1 (Parada de Emergencia) si ocurre una situación crítica, lo que interrumpe la operación. Cada transición refleja los distintos estados operativos y de seguridad, asegurando que el sistema automatizado funcione de manera eficiente y segura.

ETAPA 7 - Se diseñó el HMI para supervisar y ajustar las variables más importantes del sistema. El operador tiene acceso a tres ventanas principales: una de ellas incluye los elementos más críticos, como interruptores, parada de emergencia, y activaciones de las válvulas, entre otros. Este diseño facilita el control y monitoreo del sistema, asegurando una operación eficiente y segura.

Figura 28
Interfaz HMI.

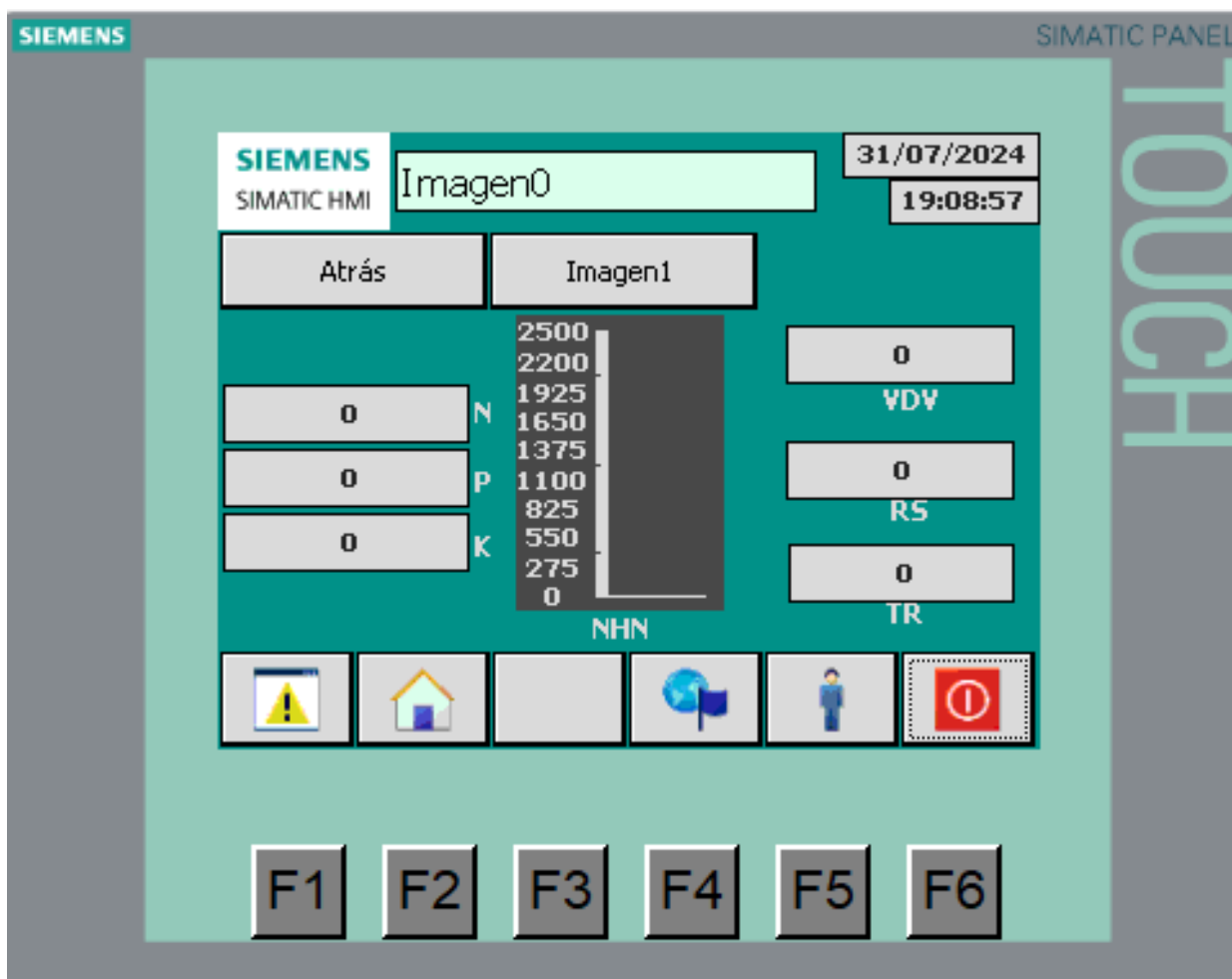


Fuente: Autor – Imagen Raíz – Interfaz Humano-Maquina.

Para la Imagen Raíz del HMI, se configuraron los interruptores que inciden sobre el proceso; teniendo en cuenta "Inicio" en verde, "NHN" en naranja, y "Fin de Ciclo" en rojo. Estos son utilizados para iniciar y finalizar el proceso industrial, así como NHN es una confirmación de que se ha realizado el cálculo de la necesidad de riego. Además, hay tres interruptores etiquetados como "V1OFF", "V2OFF" y "V3OFF", los cuales controlan el encendido y apagado de las válvulas en el sistema. Se incluye un campo denominado "Tiempo de Lluvia" en el cual se ingresará cuanto tiempo ha llovido sobre el cultivo, así como el interruptor "C(DONE)" el cual confirma el valor del tiempo de riego. La interfaz también cuenta con tres interruptores de parada, parada de emergencia y rearme además de dos indicadores rojo y verde en la parte superior los cuales indican el sistema en espera para iniciar el riego y el inicio del riego.

Figura 29

Interfaz HMI



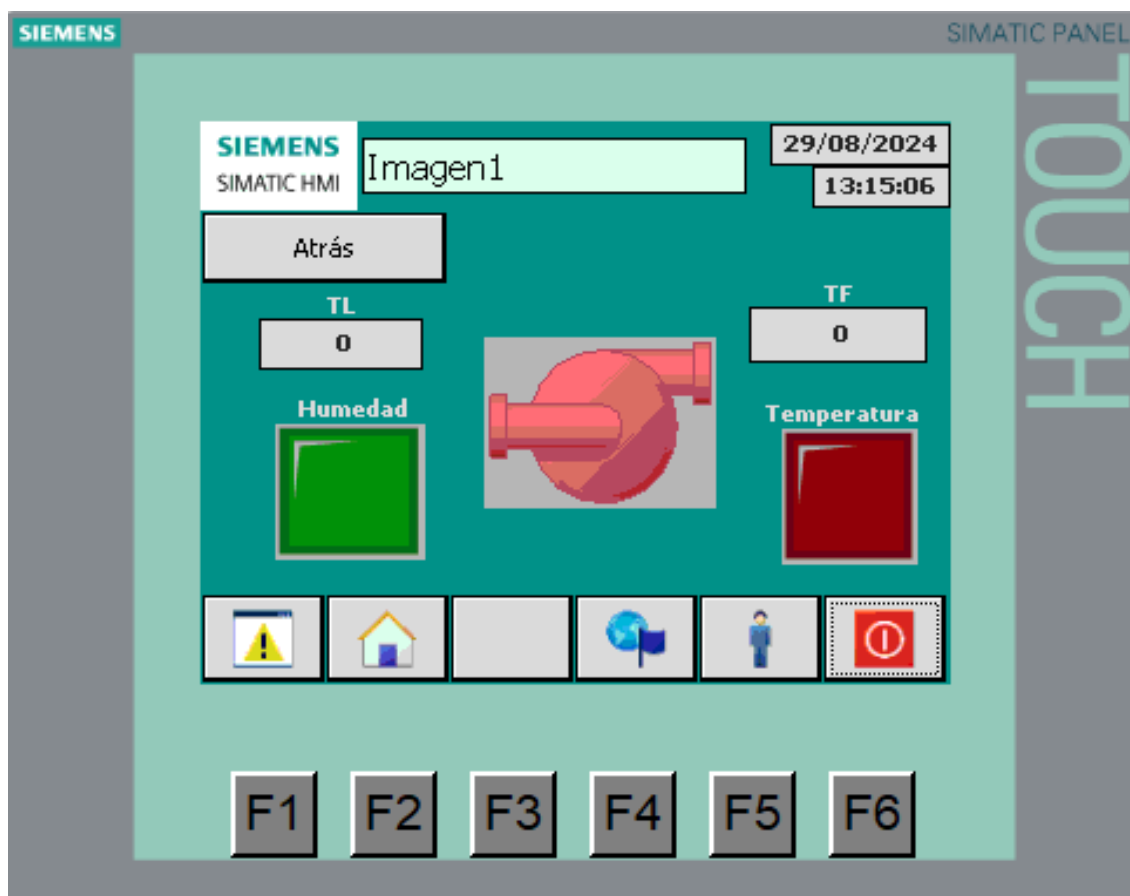
Fuente: Autor – Imagen 0 – Interfaz Humano-Maquina.

Para la Imagen 0 se visualizan algunas de las variables medidas por los sensores y se muestra el Tiempo de Riego, la Radiación Solar y la velocidad del viento. Estas variables son mostradas como una herramienta de toma de decisiones visual, ya que la velocidad del viento y la radiación solar influyen en el estado del cultivo, pero se juzgan de una manera visual en la que la velocidad del viento puede cambiar la dirección del riego si es muy alta o la radiación solar puede que afecte al cultivo si es muy alta.

Finalmente, se muestra la necesidad de riego del cultivo (NHN) con un rango máximo de 2500 L. Esta variable, tiene como salida el valor en L de agua que será regada en el cultivo en un tiempo el cual será determinado a través de ecuaciones que realiza la Placa lógico programable de forma interna.

Figura 30

Interfaz HMI



Fuente: Autor – Imagen 1 – Interfaz Humano-Maquina.

En la Imagen 1 se consideran las lecturas de humedad y temperatura, destacando cuando estos valores son muy bajos o altos. Esto permite tener un indicador que muestre cuándo las mediciones de temperatura y humedad están fuera de los rangos adecuados.

Si la humedad es muy alta, significa que el cultivo ya tiene suficiente agua y no requiere riego; por el contrario, si la humedad es muy baja, es necesario realizar el riego. Además, se visualiza un cambio en el estado de la bomba cuando se enciende o apaga durante el proceso y son mostrados los valores de flujo de las válvulas y el nivel del tanque que se tenga; estos datos son mostrados a través de un transmisor de nivel y un transmisor de flujo.

INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA

Para el control del estrés hídrico en el cultivo de maíz, se ha diseñado un sistema de riego automatizado que utiliza una variedad de equipos y tecnología avanzada para asegurar un suministro óptimo de agua. El núcleo de este sistema es un PLC Siemens S7-1200, que actúa como el controlador principal del sistema automatizado. Este PLC es responsable de recibir, procesar y actuar en función de los datos recolectados de varios sensores y dispositivos, garantizando que el riego se ajuste a las necesidades específicas del cultivo en tiempo real.

La comunicación entre el PLC y los sensores se facilita a través de 2 módulos de comunicación CM-1241, que operan con protocolos RS-422/485. Estos módulos son esenciales para la transmisión de datos entre el PLC y la estación meteorológica, así como otros equipos que requieren intercambio de información. La estación meteorológica GroWeather es otro componente crucial del sistema, ya que mide una variedad de variables ambientales como la temperatura, humedad exterior, radiación solar y evapotranspiración. Estos datos son fundamentales para ajustar el riego en función de las condiciones climáticas, evitando el exceso o la falta de agua en el cultivo.

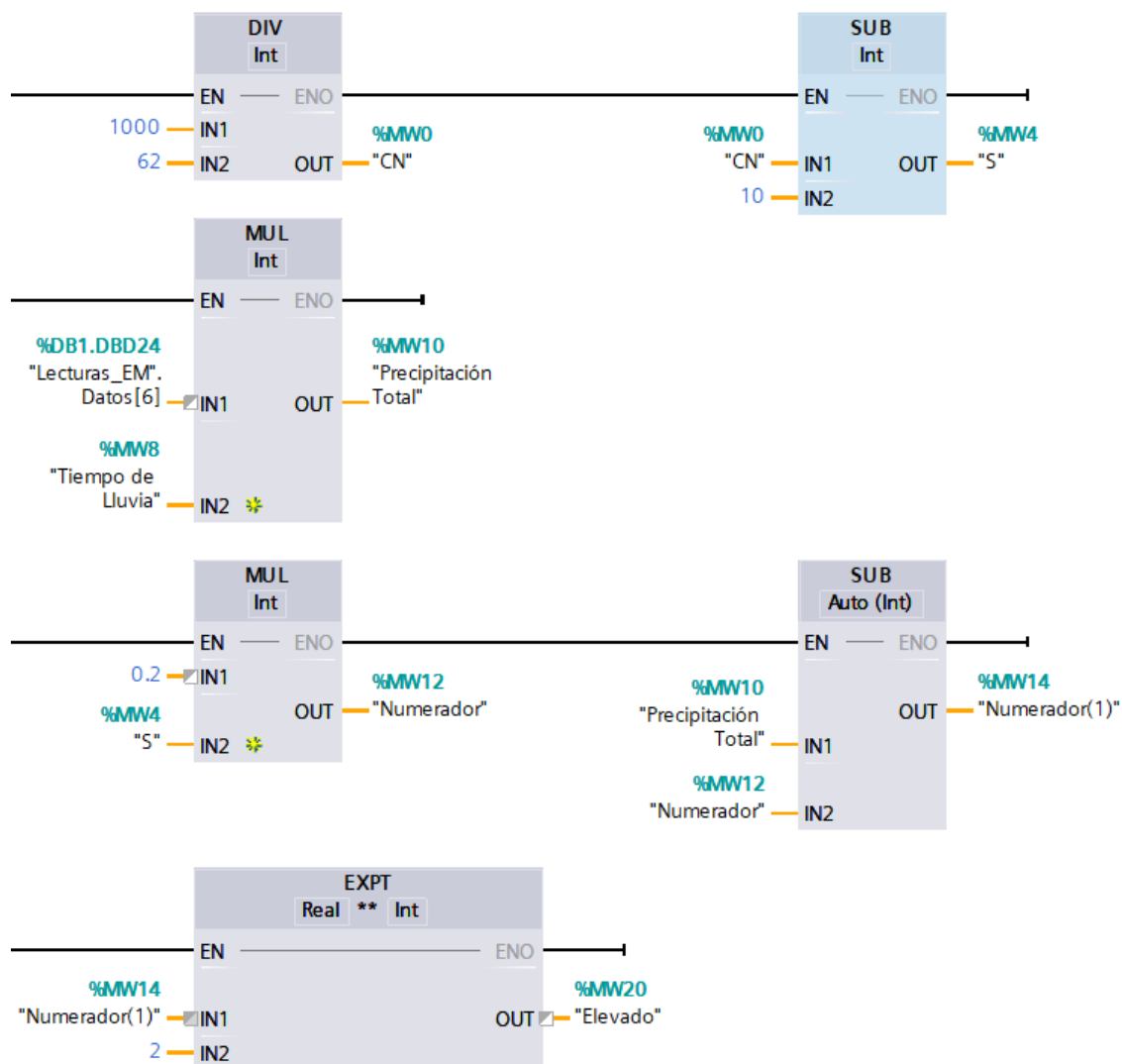
Para monitorizar las condiciones del suelo, se utilizan sensores de suelo que miden continuamente la humedad y la temperatura del terreno. Estos sensores están conectados al PLC a través de módulos de entrada analógica, permitiendo una integración fluida de los datos del suelo en el sistema de control. El panel de control HMI (Interfaz Humano-Máquina) proporciona una interfaz visual para la supervisión y gestión del sistema de riego. A través de este panel, los operadores pueden visualizar los datos en tiempo real, ajustar configuraciones y monitorizar el estado general del sistema. El sistema de riego en sí está compuesto por varias partes críticas: válvulas de control, que regulan el flujo de agua; una bomba de agua, que distribuye el agua desde el tanque de almacenamiento hacia los aspersores; y aspersores, que se encargan de distribuir el agua uniformemente sobre el cultivo. El agua es almacenada en un tanque de almacenamiento, que asegura un suministro constante y disponible para el sistema de riego. Finalmente, un sistema de tuberías de PVC distribuye el agua desde el tanque y la bomba hasta los aspersores, garantizando que cada sección del cultivo reciba la cantidad adecuada de agua. Esta combinación de instrumentación permite una gestión precisa del riego, ajustando la cantidad de agua suministrada en función de los datos ambientales y del suelo para evitar el estrés hídrico en el cultivo de maíz. Finalmente, son utilizados 3 indicadores de flujo para cada una de las válvulas de control y un indicador de nivel el cual muestra el nivel del tanque de almacenamiento de agua.

ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos del sistema de riego, se han considerado una serie de cálculos fundamentales que permiten un control preciso y eficiente del riego.

Figura 31

Cálculo de la necesidad de riego del cultivo



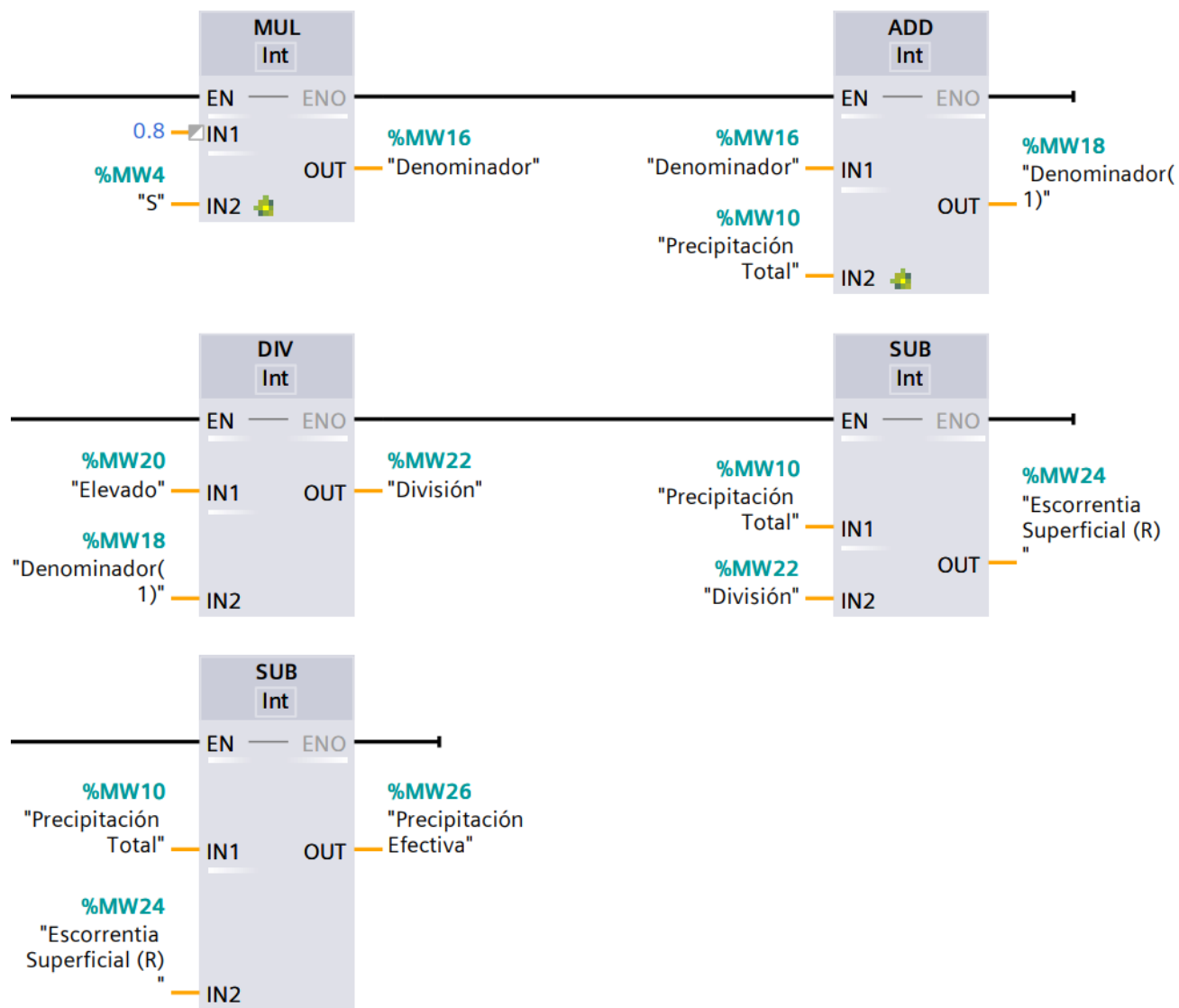
Fuente: Autor – Operaciones básicas para encontrar la necesidad de riego del cultivo.

Entre los datos analizados se incluyen la precipitación total y la escorrentía superficial, así como otras variables críticas que se han calculado utilizando el controlador PLC. El primer valor que fue calculado fue la necesidad de riego, en el cual fueron utilizadas distintas variables y operaciones para encontrar dicho valor:

Como primer valor se obtiene “S”, el cual es la capacidad máxima de retención de suelo; esta variable se calcula con “CN”, el cual es la capacidad de infiltración del suelo. Seguido de esto, se obtiene el dato de precipitación o lluvia total sobre el cultivo para ser usado en el cálculo de la Escorrentía superficial.

Figura 32

Cálculo de la necesidad de riego del cultivo

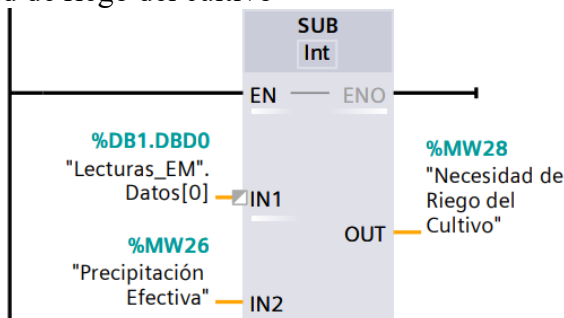


Fuente: Autor – Valor de la escorrentía Superficial y la Precipitación efectiva.

La Escorrentía superficial, la cual es agua que no se infiltra al suelo del cultivo y queda encharcada, es usada para encontrar el valor de la precipitación efectiva la cual es el valor de agua que está disponible para uso del cultivo.

Figura 33

Cálculo de la necesidad de riego del cultivo

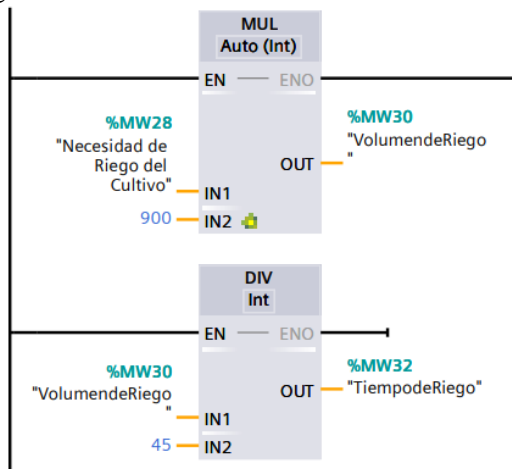


Fuente: Autor – Cálculo Necesidad de Riego.

Finalmente, se determina el valor de la necesidad de riego del cultivo, expresado en milímetros (mm). Este valor se calcula considerando las unidades de las variables involucradas y la cantidad de agua que se debe aplicar para satisfacer las necesidades del cultivo. Para encontrar este valor final fue utilizada la variable medida de Evapotranspiración del cultivo y el valor de precipitación ya mencionado.

Figura 34

Cálculo de tiempo de riego del cultivo



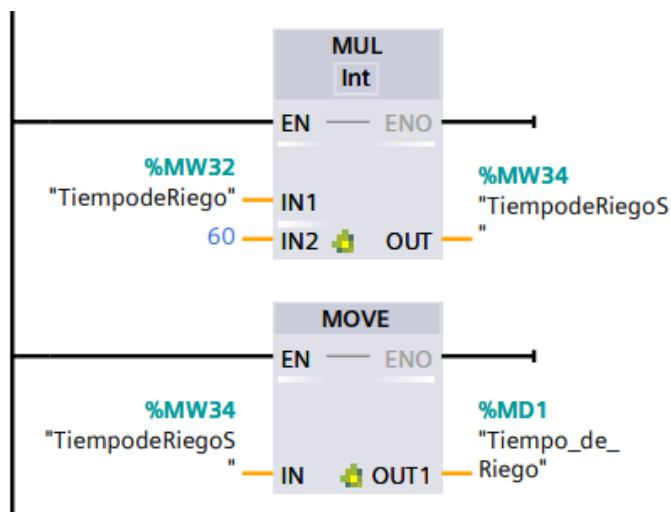
Fuente: Autor – Se encuentra el tiempo necesario que el sistema debe estar encendido.

Teniendo en cuenta el valor de agua en mm que necesita el cultivo se proceden a calcular 2 valores importantes para el proceso. Primero, el volumen de riego en Litros que serán regados en el cultivo. Segundo, el tiempo en el que el sistema de riego estará prendido regando el cultivo. Para calcular el valor del volumen de riego, se realiza una multiplicación simple; en la que se tiene en cuenta el área en m^2 a regar y el valor en mm de agua que necesita el cultivo. Este cálculo dará como resultado la cantidad de agua que necesita el agua en un momento específico. Para el segundo

calculo, se tiene en cuenta el anterior volumen de riego calculado y la cantidad de L/min que riegan los aspersores. Esta división dará como resultado el tiempo de riego en minutos del proceso.

Figura 35

Tiempo de riego del cultivo.



Fuente: Autor – Se encuentra el valor en segundos del tiempo de riego del cultivo.

Después de calcular el tiempo de Riego, se tiene en cuenta que este dato está en Minutos por lo que para mayor precisión se hace la conversión en segundos multiplicando el valor por 60. Finalmente, se utiliza un Bloque MOVE para pasar este dato de una Memoria Global a un Dato con formato de Tiempo que pueda ser ingresado en el temporizador de riego, el cual va a encender el sistema de riego dependiendo del valor final calculado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

El diseño del sistema de riego automatizado ha demostrado que, gracias a la integración de sensores de humedad del suelo y una estación meteorológica avanzada, el sistema ajusta la cantidad de agua suministrada en función de las necesidades reales del cultivo. Esto ha permitido mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo, eliminando el riesgo de estrés hídrico y asegurando un riego preciso y adecuado.

Además, una de las características más destacadas del sistema es su capacidad para adaptarse a diversas condiciones climáticas y al ajustar automáticamente los patrones de riego según los datos meteorológicos actuales, el sistema optimiza el uso del agua dependiendo de las necesidades del cultivo.

Hacer uso de un Microcontrolador como la PLC S7-1200 facilita el diseño de un sistema robusto, el cual tiene la capacidad de responder en tiempo real a las entradas y salidas del sistema. Además, esta rápida capacidad de monitoreo asegura que el sistema pueda ajustar el riego de manera eficiente y pueda controlar los actuadores del proceso para tener un ajuste preciso y oportuno en las condiciones del cultivo.

Tener en cuenta un Diseño tridimensional del sistema, ha facilitado la representación de la instrumentación del sistema, que elementos de medición son utilizados en el proceso y como será realizada la comunicación del sistema. Este diseño proporciona una visión más detallada de la disposición y funcionamiento de cada componente, permitiendo una mejor planificación del proyecto.

Respecto al presupuesto, se tiene en cuenta la etapa de diseño en la cual se prioriza el software; aquellos programas necesarios para la realización del código, los diseños y el procesamiento de los datos para que la programación realizada funcione. Dentro del presupuesto se encuentran todos los programas que son necesarios para Procesamiento y visualización del sistema en tiempo real.

En el presupuesto también se tiene en cuenta el valor del diseño que posee el proyecto incluye no solo la creación del modelo tridimensional del sistema, sino también el tiempo y los recursos invertidos en optimizar su funcionalidad y adaptabilidad a las necesidades del proyecto.

Figura 36

Presupuesto enfocado en el software

| Elemento. | Cantidad. | Precio. |
|--|------------------|-------------------------|
| Licencia Programa SketchUp | 1 | \$ 100.000 COP |
| Licencia SIEMENS Tia Portal | 1 | \$ 1.650.000 COP |
| OFT2 Omegon Fluid Technology Grafcet. | 1 | \$ 160.000 COP |
| Licencia Factory I/O | 1 | \$ 120.400 COP |
| Computador | 1 | \$ 2.000.000COP |
| Microsoft 365 | 1 | \$ 50.000 COP |
| Diseño | --- | \$ 2.470.000 COP |
| | Total | \$ 4.564.400 COP |

Fuente: Autor – Presupuesto del proyecto haciendo énfasis en el diseño y software del sistema.

Como se observa en el presupuesto, se tiene un gasto de \$ 4.564.400 en el diseño del sistema, teniendo en cuenta en gran parte las licencias de uso de los programas utilizados.

Discusión.

Aunque la implementación inicial del sistema automatizado representa una inversión significativa, los beneficios a largo plazo son considerables. El ahorro en agua, y mano de obra, junto con el potencial aumento en la productividad del cultivo, justifican la inversión. El sistema asegura un riego constante y preciso, contribuyendo a un crecimiento más uniforme y saludable del maíz lo que puede conllevar a ganancias futuras importantes.

CONCLUSIONES.

Se ha logrado cumplir con el objetivo de diseñar un sistema de riego automatizado que controla completamente el estrés hídrico en el cultivo de maíz, independientemente de las condiciones climáticas. El sistema ha demostrado ser muy eficaz, especialmente en situaciones de baja humedad, asegurando un control total sobre el estrés hídrico en el cultivo.

La instrumentación propuesta para este sistema ha sido clave para su éxito y precisión. Desde el diseño inicial, se integraron equipos avanzados como el PLC, módulos de comunicación, una estación meteorológica y sensores de suelo, estableciendo una estructura sólida para gestionar el riego de manera eficiente.

El sistema está diseñado con mecanismos de monitoreo continuo, que permiten ajustar el riego en función de datos en tiempo real sobre variables ambientales como la precipitación, la humedad, la evapotranspiración. Además, se utilizaron datos calculados en el Controlador Lógico Programable (PLC) para manejar el sistema de riego de forma automatizada. Esto proporciona una capa adicional de seguridad, ya que el sistema puede responder a cualquier error en el proceso y mantener el equilibrio hídrico del cultivo.

También se consideró la importancia de la interfaz de usuario (HMI), que desempeña un papel fundamental en la supervisión y ajuste del sistema en tiempo real. La interfaz visual permite monitorear las variables con indicadores claros del estado del sistema, y ofrece controles para iniciar, detener y reanudar el riego. Esta capacidad de intervención manual proporciona flexibilidad y un control adicional al sistema.

La implementación de este sistema de agricultura de precisión en Paipa-Boyacá tiene el potencial de transformar significativamente la producción de maíz en la región, conocida por su producción agrícola, enfrenta desafíos como la variabilidad climática, la gestión eficiente de recursos hídricos y la optimización de nutrientes del suelo.

TRABAJOS FUTUROS.

Como trabajos futuros se aconseja la implementación de un sistema de control más robusto; el montaje de un sistema de control PI puede mejorar y prevenir futuras perturbaciones que puedan afectar la estabilidad del sistema, haciendo que el sistema tenga una mayor robustez y mejor respuesta a problemas o errores.

También, se podrían implementar herramientas de IoT con las cuales se simplificaría el monitoreo y control de variables del cultivo desde un dispositivo móvil desde cualquier lugar; facilitando así la capacidad de realizar ajustes sobre el sistema de riego de manera instantánea. Además, se podría realizar un sistema SCADA para poder observar y Controlar todo el sistema en una misma pantalla, facilitando el manejo y supervisión de todo el sistema.

Se tendrá en cuenta un presupuesto con énfasis en el montaje físico como un trabajo futuro; considerando los sensores, actuadores y materiales necesarios para realizar el sistema.

Figura 37

Presupuesto enfocado en el Hardware

| Elemento. | Cantidad. | Precio. |
|--|------------------|-------------------------|
| Sensor NPK | 9 | \$ 1.800.000 COP |
| Estación Meteorológica GroWeather | 1 | \$ 970 € |
| PLC SIEMENS | 1 | \$ 1.200.000 COP |
| Módulo de Comunicación CM- 1241, RS-422/485. | 1 | \$ 419.721 COP |
| Aspersores. | 9 | \$ 135.000 COP |
| Bayonetas. | 9 | \$ 235.000 COP |
| Bomba de Agua. | 1 | \$ 242.000 COP |
| Tanque de Almacenamiento. | 1 (1.000 Litros) | \$ 483.900 COP |
| Semilla de maíz porva. | 2 Kg | \$ 70.000 COP |
| Tubería PVC (3/4). | 92 Metros | \$ 322.000 COP |
| | Total | \$ 9.182.616 COP |

Fuente: Autor - Presupuesto del proyecto haciendo énfasis en el diseño y software del sistema.

Este presupuesto detalla los componentes clave para implementar un sistema de agricultura de precisión en un cultivo de maíz. Los componentes, como los sensores NPK y la estación meteorológica GroWeather, permitirá un monitoreo preciso de las condiciones del suelo y el clima. Estos datos, procesados por el PLC SIEMENS y transmitidos a través del módulo de comunicación, formarán la base para tomar decisiones informadas sobre el riego y la nutrición del cultivo.

La inclusión de un sistema de riego automatizado asegurará un suministro de agua eficiente y oportuno. Este enfoque integral, que también considera la calidad de la semilla y la infraestructura necesaria como la tubería PVC, representa una inversión significativa de \$9.182.616 COP. Aunque el costo inicial puede parecer elevado, este presupuesto sienta las bases para un cultivo de maíz más productivo y sostenible, con potencial para mejorar los rendimientos y reducir el uso de recursos a largo plazo.

También respecto a la siembra continua de maíz en el mismo lugar puede llegar a generar problemas como agotamiento de nutrientes y acumulación de plagas. Para combatir esto sería interesante poder adaptar el sistema para que sea funcional en otro tipo de cultivos y que con esto puedan mejorar la fertilidad del suelo sin afectar ni cambiar el sistema automatizado.

Finalmente, se plantea la implementación de un sistema de visión artificial para mejorar aún más la precisión y eficiencia del riego automatizado; este sistema podría permitir monitorear el estado de las plantas y las condiciones del suelo, utilizando cámaras y algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes. A través de la detección de signos de estrés hídrico, enfermedades y plagas, se podrá ajustar el riego de manera dinámica y localizada, optimizando el uso del agua y mejorando la salud general del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agriscience, C. (17 de 11 de 2022). *CORTEVA agriscience*. Obtenido de Efectos de una Sequia temprana en el cultivo de maíz.: <https://onx.la/64db9>
- AGROARPUS. (2024). *Aspersores de riego*. Obtenido de AGROARPUS: <https://acrocarpus.com/aspersores-de-riego/>
- AGROPINOS. (24 de 03 de 2022). *SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN: TODO LO QUE DEBE SABER*. Obtenido de AGROPINOS: <https://www.agropinos.com/blog/sistema-de-riego-por-aspersion>
- Aula21. (2024). *Automatización Industrial: Qué es y cómo Funciona*. Obtenido de Centro de Formación Técnica para la Industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/#:~:text=Un%20sistema%20automatizado%20utiliza%20elementos,que%20ofrecen%20sus%20productos%20especializados>.
- Borrás, C. (22 de 05 de 2020). *¿Qué es una válvula y para qué sirve?* Obtenido de Caloryfrio.com: <https://www.caloryfrio.com/sanitarios/tuberias-accesorios/que-es-una-valvula-y-para-que-sirve.html>
- Canela, E. (31 de 08 de 2022). *Haladjian*. Obtenido de Tanques de Almacenamiento: Tipos, Materiales y Usos: <https://www.haladjian-industrial.es/tanques-de-almacenamiento-tipos-materiales-y-usos>
- Cauca, C. A. (08 de 01 de 2015). *GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA*. Obtenido de Precipitación Efectiva: <https://n9.cl/corporacionautonomaregional>
- ControlAutomaticoEducación. (2024). *Control Realimentado*. Obtenido de Lazo Abierto y Cerrado: <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>
- Cortes Cadavid, V., & Vargas Garcia, M. F. (2020). *Contenido*. Obtenido de Repositorio Universidad Católica: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>
- croper.com. (2024). *croper.com*. Obtenido de Semilla de Maíz Amarillo Harinoso Porva (Clima Frio) X 1Kg: <https://croper.com/products/11204-maiz-amarillo-harinoso-porva-clima-frio>
- Darrera. (2024). *ISS de Vantage Pro2 GroWeather Inalambrica*. Obtenido de Darrera: <https://www.darrera.com/es/producto/6820-iss-vantage-pro2-groweather-inalambrica/>
- JÁVEA, E. (2024). *Que es una bomba de agua, sus diferentes tipos y funcionamiento de una electrobomba*. Obtenido de ELECTROBOMBAS JÁVEA TECNOLOGIAS DEL AGUA:

<https://electrobombasjavea.com/blog/que-es-una-bomba-de-agua-y-como-funciona-una-electrobomba>

MARGOCYCO. (2024). *Mercado Libre*. Obtenido de Soil Npk Sensor Fertilizante Inteligente De Alto: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-947069083-soil-npk-sensor-fertilizante-inteligente-de-alto-_JM#position%3D3%26search_layout%3Dstack%26type%3Ditem%26tracking_id%3D74ba6504-6eb9-4c5f-87be-a3702815e9f0

Martín Gomez, P. F., Montoya Gómez, J. O., & Muñoz Serrano, G. E. (2017). *SISTEMA DE RIEGO AUTÓNOMO PARA PEQUEÑOS CULTIVOS BASADO EN MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD*. Obtenido de REVISTA POLITECNICA: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1141/1476>

Ministerio de Agricultura, P. y. (2024). *Sistema de Información Agroclimática*. Obtenido de Evapotranspiración: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Evapotranspiraci%C3%B3n_tcm30-82951.pdf

Ruiz, M. A. (02 de Agosto de 2018). *unisem*. Obtenido de Daños al cultivo de maíz por exceso o falta de agua: <https://semillastodoterreno.com/2018/08/danos-al-cultivo-de-maiz-por-exceso-o-falta-de-agua>

Siemens. (2 de Febrero de 2024). *Siemens*. Obtenido de PLC programming with SIMATICSTEP7(TIA Portal): <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html>

SketchUp. (2024). *SketchUp*. Obtenido de https://www.sketchup.com/es?srsltid=AfmBOoo6qaDPGCID1YLHZ_JjvW9isQTWup3jmLyyJ7SNpugSICmtoNyt

Smith, G. M. (14 de 03 de 2023). *¿Que es un Sensor y que hace?* Obtenido de DEWEsoft: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>

VALLE, S. (2024). *Fenología y Fisiología en Cultivos de Maiz*. Obtenido de Semillas Valle S.A Sembramos Futuro!: <https://semillasvalle.com/site/blog/fenologia-y-fisiologia-en-cultivos-de-maiz/>

wsp, V. (02 de 02 de 2019). ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. BOGOTÁ D.C., Paipa, Boyacá. Obtenido de <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2021/09/Cap.5.1-Medio-Abiotico-PSR3.pdf>