

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



“SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACION EN SISTEMAS DE RIEGO DE PLANTINES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE SUS CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR LA MEJOR TECNOLOGÍA PARA EL SISTEMA DE RIEGO DE PLANTINES EN VIVEROS GÉNESIS – VALDIVIA TRUJILLO”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

- LUIS HELBERT OTOYA MEDINA
- LUIS ENRIQUE SALCEDO ESCOBEDO

ASESOR: LUIS ALBERTO VARGAS DÍAZ

TRUJILLO – PERÚ
2015

ACREDITACIONES

TÍTULO: “SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACION EN SISTEMAS DE RIEGO DE PLANTINES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE SUS CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR LA MEJOR TECNOLOGÍA PARA EL SISTEMA DE RIEGO DE PLANTINES EN VIVEROS GÉNESIS – VALDIVIA TRUJILLO”

AUTOR (ES):

- LUIS HELBERT OTOYA MEDINA
- LUIS ENRIQUE SALCEDO ESCOBEDO

APROBADO POR:

Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez
PRESIDENTE
N° CIP 80252

Ing. Lenin Humberto Llanos Leon
SECRETARIO
N° CIP 139213

Ing. Guillermo D. Evangelista Adrianzen
VOCAL
N° CIP 187682

Ing. Luis Alberto Vargas Díaz
ASESOR
N° CIP 104175

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad a lo estipulado por el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, presento a vuestra consideración mi tesis titulada:

“SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACION EN SISTEMAS DE RIEGO DE PLANTINES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE SUS CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR LA MEJOR TECNOLOGÍA PARA EL SISTEMA DE RIEGO DE PLANTINES EN VIVEROS GÉNESIS – VALDIVIA TRUJILLO”

Con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero Electrónico y esperando constituya una herramienta útil de consulta para quienes se interesen en este tipo de estudio.

Mi proyecto de investigación se ha desarrollado de acuerdo a las necesidades de nuestros usuarios, realizado un análisis previo de la problemática existente y aplicando mis conocimientos, esfuerzos e investigación.

Espero haber dado cumplimiento y satisfacción a las expectativas y que este trabajo de investigación sirva de guía o referencia para el desarrollo de futuras investigaciones.

Trujillo, julio de 2016

Br. Luis Helbert Otoy Medina

Br. Luis Enrique Salcedo Escobedo

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mi familia, a mis padres Luis y Gladis, quienes me ayudaron a culminar todas las metas trazadas. Gracias madre Gladis, porque tú eres el motor de mi vida y el motivo de mis logros, a mi segunda mama Flor, quien me enseñó la base fundamental de la vida, mi niñez y quien me enseñó que la humildad y el amor están sobre todas las cosas. A mi papa José, tíos y tías, primos y primas, que siempre estuvieron ahí para mí, a mi hijita Sofía quien me dio la dicha de ser padre y de llenarme de emoción al verla sonreír, decirles gracias y este trabajo es para ustedes.

Luis Helbert Otoy Medina

Este trabajo va dedicado a mi padres Margot Escobedo y a Enrique Salcedo ya que sin ellos nada de esto pudo ser posible.

Luis Enrique Salcedo Escobedo

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, porque es mi guía y mi fortaleza y por las bendiciones que siempre trae a mi vida. Agradecer a mis padres, especialmente a mi madre porque mis logros se los debo a ellos, a mis grandes maestros, en especial al Ing. Luis Vargas Díaz, por su apoyo incondicional durante el desarrollo del presente trabajo. agradecer a mis amigos que durante la carrera nos brindamos apoyo mutuo con la finalidad de cumplir un solo objetivo que es titularnos y ser un profesional de éxito.

Luis Helbert Otoy Medina

Doy gracias a mis padres quienes por ellos soy lo que soy, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, al Ing. Luis Vargas quien nos apoyó en todo momento, agradecer también a mi querido amigo Luis Otoy por su dedicación durante el desarrollo de este trabajo.

Luis Enrique Salcedo Escobedo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación establece una comparativa entre las diferentes tecnologías de automatización aplicables a los sistemas de riego en viveros, de modo que se pueda establecer un criterio para la selección de la mejor tecnología. En este trabajo se está tomando como modelo los viveros Génesis en Valdivia – Trujillo.

En el primer capítulo se hace la introducción al presente trabajo presentando la realidad problemática que motiva el desarrollo del presente trabajo, la hipótesis y los objetivos.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico en donde se evalúan trabajos de investigación relacionados con el presente trabajo y además se presentan las teorías sobre las cuales fundamentamos el mismo.

En el tercer capítulo llamado Material y Método, describimos los pasos que hemos seguido para realizar el presente trabajo. En primer lugar hemos analizado el proceso de riego en viveros Génesis – Valdivia – Trujillo para determinar los requerimientos que debe cubrir el sistema de automatización. Luego hemos hecho una búsqueda de las tecnologías de automatización existentes y hemos analizados sus principales características. Finalmente hemos evaluado esas características respecto a los requerimientos de la automatización de los sistemas de riego en viveros génesis.

En el cuarto capítulo presentamos nuestras conclusiones en la cual determinamos que según el criterio de la estructura de la tecnología de automatización, la tecnología con mejor desempeño es el PLC debido principalmente a que satisface de mejor manera los requerimientos de control de variables continuas y discretas, y según el criterio de la estrategia de control la tecnología que presenta el mejor desempeño es un control PID y un control difuso debido principalmente a que satisface de mejor manera los requerimientos de estabilidad y tiempo de respuesta.

ABSTRACT

This research establishes a comparison between the different automation technologies applicable to irrigation systems in nurseries, so that it can establish criteria for the selection of the best technology. This paper is modeled on Genesis nurseries in Valdivia - Trujillo.

In the first chapter the introduction to this work by presenting the problematic reality that motivates the development of this work, the hypothesis and objectives done.

In the second chapter the theoretical framework where research related to this work are evaluated and also the theories on which it based the present is presented.

In the third chapter caller Material and Method, we describe the steps we followed to perform this work. First we have analyzed the process of irrigation in nurseries Genesis - Valdivia - Trujillo to determine the requirements that must cover the automation system. Then we made a search of existing automation technologies and have analyzed its main features. Finally we have evaluated these characteristics with respect to the requirements of the automation of irrigation systems genesis nurseries.

In the fourth chapter we present our conclusions in which we determine that the discretion of the structure of automation technology, technology with better performance is the PLC mainly because it satisfies better control requirements of continuous and discrete variables, and at the discretion of the control strategy technology that presents the best performance is a PID control and fuzzy control due mainly to better meet the requirements of stability and response time.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Delimitación del problema	13
1.3. Características y análisis del problema.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	15
1.5. Formulación de la Hipótesis	15
1.6. Objetivos del estudio	15
A. Objetivo general.	15
B. Objetivo específicos.	15
1.7. Justificación del Estudio.....	16
1.7.1. Importancia de la investigación	16
1.7.2. Viabilidad de la investigación	16
1.8. Limitaciones del estudio.....	16
2. MARCO TEORICO.....	18
2.1. Antecedentes de la Investigación	18
2.2. Fundamentación teórica de la investigación.....	20
2.2.1. Agricultura.....	20
2.2.2. Sistemas riego.....	22
2.2.3. Viveros	24
2.2.4. Automatización.....	25
2.3. Definición de términos básicos.....	26
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	30
3.1. Material.....	30
3.1.1. Población	30
3.1.2. Muestra	30
3.1.3. Unidad de Análisis	30
3.2. Método.....	30
3.2.1. Nivel de Investigación	30
3.2.2. Diseño de Investigación.....	30
3.2.2.1. Análisis de los requerimientos en automatización del sistema de riego en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo.....	30
3.2.2.2. Búsqueda de tecnologías de automatización para el sistema de riego.	35
3.2.2.3. Análisis de las tecnologías de automatización.	36

1)	Por su estructura.	36
2)	Por la estrategia de control	46
3.2.3.	Variables de estudio y operacionalización	64
3.2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	65
3.2.5.	Técnicas de Procesamiento de datos	65
3.2.6.	Técnicas de análisis de datos	65
4.	RESULTADOS	67
A.	Resumen de las tecnologías de automatización por su estructura	67
B.	Resumen de las tecnologías de automatización por la estrategia.	67
C.	Resultado de la aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estructura a la automatización de los sistemas de riego en viveros.	68
D.	Resultado de la aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estrategia a la automatización de los sistemas de riego en viveros.	69
E.	Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estructura aplicables a la automatización de los sistemas de riego en viveros.....	70
F.	Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estrategia aplicables a la automatización de los sistemas de riego en viveros.....	70
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
6.	CONCLUSIONES	75
7.	RECOMENDACIONES	77
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Especificaciones técnicas del sistema de riego	32
Tabla N° 3.2: Clasificación de las tecnologías de automatización.....	35
Tabla N° 3.3: Especificaciones generales relé inteligente.....	38
Tabla N° 3.4: Fabricantes de PLC.....	43
Tabla N° 3.5: cuadro variable independiente.....	64
Tabla N° 3.6: Cuadro variable dependiente.....	65
Tabla N° 4.1: cuadro resumen de las diferentes tecnologías de automatización.....	67
Tabla N° 4.2: cuadro resumen de las diferentes tecnologías de automatización.....	68
Tabla N° 4.3: Cuadro de aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estructura a la automatización de sistemas de riego en viveros.....	69
Tabla N° 4.4: Cuadro de aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estrategia a la automatización de sistemas de riego en viveros.....	69
Tabla N° 4.5: Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estructura aplicables a la automatización de sistemas de riego en viveros.....	70
Tabla N° 4.6: Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estrategia aplicables a la automatización de sistemas de riego en viveros.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura N° 3.1: Distribución de las naves del Vivero génesis.....	33
Figura N° 3.2: estructura del sistema de riego.....	33
Figura N° 3.3. Conformación exterior Relé inteligente	36
Figura N° 3.4 controlador de lazo cerrado.....	46
Figura N° 3.5. Cambios de temperatura debido a cambios en la carga.....	57
Figura N° 3.6. Control Derivativo.....	58
Figura N° 3.7. resultado de procesos con y sin derivativos.....	59
Figura N° 3.8: Diagrama de bloques	61

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las estadísticas de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) revelan que en los albores del nuevo milenio 2570 millones de personas dependen de la agricultura, la caza, la pesca o la silvicultura. La agricultura impulsa la economía de la mayoría de los países en desarrollo, muy pocos países han experimentado un rápido crecimiento económico y una reducción de pobreza que no hayan estado precedidos o acompañados del crecimiento agrícola.

En nuestro país contamos con una extensa variedad de productos agrícolas que en muchas regiones su producción se ve vinculada con nuestra economía peruana. La libertad es la primera región agrícola y segunda a nivel agropecuario. En el valor bruto de producción agropecuaria a nivel nacional es del 11% siendo este el porcentaje más alto del país según la Gerencia Regional de Agricultura – La Libertad.

Viveros Génesis se ha especializado en la producción de plántulas de hortalizas de exportación como espárrago, alcachofa, pimientos y ajíes de todo tipo, melones, tomates, sandías sin semilla, brócoli, berenjena entre otras. Cuenta con 6 viveros distribuidos a lo largo del territorio peruano habiéndonos convertido en el líder nacional de producción de plántulas para las agroindustrias y numerosos agricultores nacionales que han preferido la calidad y oportunidad de nuestros servicios.

Una plántula (plantín) es el producto de una serie de procesos controlados que se realizan bajo condiciones de total bioseguridad en nuestros viveros. La siembra es mecanizada y los demás procesos están a cargo de ingenieros especialistas en nutrición y manejo fito sanitario. El sustrato que se utiliza en 100% es turba importada y los demás insumos (fertilizantes y pesticidas) son los de mayor calidad y menor inocuidad que tenemos en el mercado nacional. La plántula que se logra tiene las características sobresalientes de precocidad, uniformidad de crecimiento, vigor de raíces y tallos, excelente sanidad y una

aclimatación especial para reducir el estrés propio del trasplante a campo definitivo.

Para el procesos de riego se ha creado un sistema de forma manual el cual según las características que va presentando la planta como por ejm. Color y forma se le agregan distintos tipos de riego que incluyen nutrientes y fertilizantes entre otros, toda esta solución es controlada por su nivel de PH el cual es un control a largo plazo por lo que si el PH no está en el nivel adecuado no se corrige sino hasta el otro periodo de riego por lo que la empresa está evaluando colocar o implementar una automatización para su proceso de riego y con una infinidad de controladores q ahora existen en el mercado es difícil distinguir cual es el más adecuado para cumplir con todas la funciones requeridas para dicho proceso.

1.2. Delimitación del problema

Evaluación de las diferentes tecnologías de automatización para poder determinar cuál de ellas es la mejor para la automatización en los procesos de riego de plantines en viveros Génesis – Valdivia Trujillo.

1.3. Características y análisis del problema

a) Características del problema.

- Control manual de la operación del sistema de riego
- Tiempo de respuesta largo para el control de la acidez y dureza del agua de riego
- Inexistencia de estudios respecto a la selección de las tecnologías de automatización en sistema de riego en viveros.

b) Análisis del problema.

a. Control manual de la operación del sistema de riego

En la actualidad la operación del proceso de riego se hace manualmente, es decir que los operarios de turno se encargan de la apertura y cierre de las válvulas, generando una variedad de dificultades en el momento porque no se hace un control o monitoreo permanente de cómo se lleva a cabo el proceso, sino solamente se prepara una receta determinada, se abre la válvula y se espera hasta que todo el líquido sea vertido en las plantas sin verificar si le llega lo suficiente o si los niveles de nutrientes son los adecuados .

b. Tiempo de respuesta largo para el control de la acidez y dureza del agua de riego

En el proceso de riego se maneja la variable del nivel de PH para determinar si el líquido vertido es el correcto para beneficiar al crecimiento de la planta o no. Por lo cual en este caso se genera un tiempo de respuesta relativamente largo ya que en el proceso de riego recién se hace el estudio de PH para determinar la acidez y dureza del agua, siendo el caso de que este no sea el indicado no se corrige en el acto sino hasta después de terminar dicho proceso y empezar otro más tarde, ósea es corregido hasta el otro proceso de riego

c. Inexistencia de estudios respecto a la selección de las tecnologías de automatización en sistema de riego en viveros

Realizamos una pesquisa de trabajos relacionados al nuestro, llegando a revisar una serie de trabajos, ya sea paper's, tesis, o artículos de revista, encontrando trabajos relacionados con

sistemas de riego pero ninguno en concreto hacía referencia a la comparación entre diferentes tecnologías con el fin de obtener o demostrar cual es la mejor opción según lo que estemos necesitando.

1.4. Formulación del Problema

¿Cuál es la mejor tecnología para la automatización del proceso de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo?

1.5. Formulación de la Hipótesis

Mediante el análisis de las características de las diferentes tecnologías de automatización aplicables para el sistema de riego en viveros se puede determinar cuál de ellas es la mejor tecnología.

1.6. Objetivos del estudio

A. Objetivo general.

Analizar las diferentes tecnologías de automatización y seleccionar la mejor de ellas para el sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

B. Objetivo específicos.

- Analizar los requisitos de la operación de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo y determinar las variables que deben ser automatizadas
- Evaluar las diferentes tecnologías de automatización para determinar sus características, ventajas y desventajas.
- Comparar las características de las tecnologías de automatización para determinar cuál de ellas es la mejor en la automatización del sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

1.7. Justificación del Estudio

1.7.1. Importancia de la investigación

- La investigación desarrollada contribuirá con una evaluación preliminar de los diferentes tipos de controladores de riego existentes en el mercado permitiendo exponer sus características para evaluarlas y determinando cual sería una mejor opción para el trabajo requerido.
- Se podrán beneficiar diferentes agroindustrias que estén planificando implementar estos tipos de sistemas pero no contengan la información necesaria para hacerlo.

1.7.2. Viabilidad de la investigación

Para el desarrollo de la tesis contamos con acceso a la información necesaria y el conocimiento adecuado para realizar este estudio de tecnologías y definir cuál sería la mejor opción. El costo y esfuerzo de realizar esta investigación permitirá obtener una información que podrá ser útil a la hora de diseñar sistemas de automatización en sistemas de riego para viveros, de modo que economice tiempo y dinero en beneficio de la competitividad de la empresa.

1.8. Limitaciones del estudio

Nuestro estudio realizado está relacionado con la producción de plantines y su calidad, por lo que nosotros nos centraremos solo en determinar la mejor tecnología de automatización del sistema de riego para dicho proceso mas no nos veremos involucrados con el resultado del producto final.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Título: “Automatización de un Sistema de Riego Agrícola Por Técnica de Goteo y Aspersión”

Autor: Daniel Gutiérrez, Paul Muñoz, Arturo Suarez

Institución: Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma – Perú

Año de publicación: Octubre de 2006.

De este paper se puede rescatar que el riego por goteo, controlado electrónicamente permite mejorar notablemente el mantenimiento de jardines, plantas y cultivos. Se logra el beneficio de ahorro de poco más del 70% de agua de riego, que equivalen aproximadamente a 40 litros diarios de agua en un jardín promedio.

Título: “Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo”

Autores: Joaquín Gutiérrez Jagüey

Miguel Ángel Porta Gándara

Eduardo Romero Vivas

José Francisco Villa Medina

Institución: PROYECTO SAGARPA-CONACYT126183

Año de publicación: Agosto del 2012.

De este proyecto podemos obtener que el riego automático está diseñado para monitorear de forma continua parámetros del cultivo como son temperatura y humedad, por lo que se determina cuando es el mejor momento de regar.

Título: “AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE FLORES TIPO EXPORTACIÓN”

Autores: RODOLFO AGUDELO DUEÑAS

DAYANNA CASTELLANOS GIOVANINI

MAURICIO MEDINA CRUZ

Institución: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA FACULTAD DE INGENIERIA - DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

Año de publicación: Marzo del 2013.

Una de las ventajas del sistema de automatización es que cuenta con una base de datos de usuarios que le proporciona seguridad al sistema, ya que se cuentan con diferentes perfiles de usuarios limitando mal usos o saboteos que coloquen en riesgo al invernadero. Además contiene una base de datos en donde se almacenan los horarios programados de riego, los cuales pueden ser consultados y/o modificados por el administrador del riego en cualquier momento.

Título: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y CONTROLADO DE FORMA INALÁMBRICA PARA UNA FINCA UBICADA EN EL SECTOR POPULAR DE BALERIO ESTACIO”

Autores: JUAN CARLOS VÁSCONEZ CUZCO

FELIPE DE JESÚS CHAMBA TENEMAZA

Institución: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE GUAYAQUIL - ECUADOR

Año de publicación: Mayo de 2013.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de este sistema de riego se puede comprobar que éste funciona en tiempo real ya que el intervalo en el envío y recepción de los mensajes está en función del tiempo esperado que es aproximadamente 45 segundos.

Título: “DISEÑO HIDRÁULICO Y AGRONÓMICO PARA UN SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO DEL SECTOR LA ARENITA, DISTRITO PAIJÁN -CHICAMA”

Autores: Br. CARLOS ENRIQUE DIAZ NASSI

Br. EDWIN RAUL PRETEL SANCHEZ

Institución: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO – FACULTAD INGENIERIA- ECUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL - TRUJILLO

Año de publicación: DICIEMBRE de 2014.

El agua para el sistema de riego será dotada por un pozo a tajo abierto, cuya oferta hídrica proviene del subsuelo..

Basados en todos estos estudios realizados que citamos como antecedentes previos a nuestra investigación podemos concluir que un sistema de automatización de riego puede beneficiar a la producción de una manera positiva teniendo un control de una variedad de variables que pueden afectar al producto final como la humedad, temperatura, nivel de PH, etc.

También podemos ver que no hay un trabajo de investigación que compare las tecnologías de automatización de sistemas de riego para seleccionar la que presente el mejor comportamiento.

2.2. Fundamentación teórica de la investigación

2.2.1. Agricultura

Es un conjunto de actividades y conocimientos desarrollados por el hombre, destinados a trabajar y cultivar la tierra, donde se engloban diferentes trabajos

de tratamiento del suelo y los cultivos de vegetales. Comprende todo un conjunto de acciones humanas cuya única finalidad es obtener productos vegetales para la alimentación del ser humano y animales.

2.2.1.1. Tipos de tecnologías agrícolas

La tecnología agrícola es el resultado de un largo proceso de análisis acerca de la manipulación y el aprovechamiento de la naturaleza. El hombre desarrollo un sinfín de procedimientos para adaptarse y optimizar la obtención de recursos del medio ambiente. Por lo cual distintos productos y diferentes zonas ecológicas necesitaron de diversos tipos de tecnología prehispánica para mejorar su productividad. Por lo cual mencionaremos algunas de las más importantes en la actualidad.

- Tecnología de riego por goteo
- Crecimiento y cultivo orgánico
- Tratamiento de aguas residuales y reciclaje para la irrigación
- Riego en zona árida
- Manejo integrado de plagas
- Sistemas de riego, fertiriego y mantenimiento.

2.2.1.2. Tipos de cultivos

Existen una variedad cultivos que son determinados según la cantidad de agua aportada al cultivo tales como:

- ❖ **Cultivos de secano:** en este caso el ser humano no aporta agua al mismo, por el contrario esta crece y se desarrolla utilizando exclusivamente el agua proveniente de la lluvia, agua subterránea, etc. Los vegetales recurren a la humedad existente en el suelo.
- ❖ **Cultivos de regadío:** estos casos consisten en el aporte de abundante agua por parte del ser humano a las plantas para

ayudarlas en su crecimiento y desarrollo. Se utilizan diversos métodos para garantizar la contribución de la misma, generalmente de forma artificial, para distintos tipos de cultivos. los métodos más usados son: por arroyamiento, por inundación, por aspersión, por goteo o también llamado riego localizado, por drenaje, etc.

- ❖ **Cultivos de subsistencia:** este tipo de cultivos se basa en el sembrado de una parcela de tierra lo suficientemente grande como para abastecer a una sola familia, se puede denominar autoabastecimiento.
- ❖ **Cultivos industriales:** se trata de especies de cultivos anuales o de estación que se producen de forma intensiva y extensiva, es decir en grandes cantidades de tierra con el fin de producir materia prima que luego se transformaran en elementos consumidos por la sociedad general.
- ❖ **Cultivos intensivos:** se entiende por cultivos intensivos a la siembra y cultivo de diferentes tipos de vegetales en un sector de tierra no muy grande pero donde se realiza una producción a gran escala.
- ❖ **Cultivos extensivos:** también llamada explotación agropecuaria extensiva se utiliza en grandes parcelas de tierra y no degrada tanto el suelo ya que se utiliza la menor cantidad de agroquímicos y riegos que debilitan los nutrientes de la misma. Se intenta utilizar los elementos climáticos naturales del ambiente en donde se encuentra el cultivo en cuestión.

2.2.2. Sistemas riego

Los sistemas de riego ofrecen una serie de ventajas que posibilitan racionalizar el agua disponible. Cualquier sistema de riego debe someterse a un estudio previo para determinar si es el más idóneo, tomando en consideración desde el tipo de vegetación, hasta la forma de distribuir el agua

para obtener el mejor rendimiento. Los instrumentos de control de riego: programadores, higrómetros, detectores de lluvia, etc, deben distribuirse en función de la orografía, las capacidades hídricas del suelo, las plantaciones, etc.

Existen muchos y variados sistemas de riego, los cuales se encuentran en permanente revisión, ya que se trata de una tecnología joven que se ha ido desarrollando al mismo tiempo que ha avanzado la sociedad del bienestar. Las zonas verdes han pasado de ser un lujo a una necesidad y el riego es la operación más importante para mantenerlas.

2.2.2.1. Tipos de sistemas de riego

A continuación presentare cuales son los tipos de riego más importantes y más usados en la actualidad.

- a) Riego por Surcos.-** Es un tipo de riego en el que el agua circula por canales y estructuras previamente diseñadas para efectuar el riego de determinadas zonas. En este tipo de riego, las hojas de las plantas o vegetales no entran en contacto directo con el agua.
- b) Riego por Goteo.-** Este tipo de riego arroja el agua con muy baja presión hasta las raíces y hasta distribuir el goteo. Se hace con ayuda de tubos pequeños, dispuestos en el suelo o enterrados. Se riega con mucha precisión pero, fundamentalmente, se hace porque este tipo de riego ayuda a ahorrar mucha cantidad de agua. Además, se limitan las pérdidas por evaporación, dispersión o infiltración. En la actualidad, la gota a gota se utiliza mucho para regar frutas, verduras, cereales, flores o viveros pequeños. Por supuesto, podríamos utilizarlo en nuestros invernaderos pequeños o también en invernaderos caseros.
- c) Riego por aspersion.-** El riego por aspersion es una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada.

2.2.3. Viveros

Un vivero es un conjunto de instalaciones agrónomas en el cual se cultivan una variedad de plantas hasta que alcanzan el estado adecuado para su distribución y venta.

2.2.3.1. Tipos de viveros

a) Según el lugar donde se cultivan las plantas.

- **Viveros al exterior.-** Las plantas estarán al aire libre (van a ser plantas adaptadas a ese medio y clima).
- **Viveros al interior.-** las plantas estarán en invernaderos o túneles (luego necesitarán un periodo de endurecimiento).

b) Según el objetivo que persiguen.

- **Viveros comerciales.-** cuya producción es destinada a la venta.
- **Viveros no comerciales o privados.-** llevados por establecimientos públicos o privados (Consejerías, Diputación o particulares), donde se obtienen plantas para sus propias plantaciones.

c) Según la edad de las plantas que se producen.

- **Viveros de multiplicación.-** producen plantas jóvenes por semillero, estaquillado, injerto.
- **Viveros de cría.-** en los que el cultivo continúa hasta que las plantas tienen un tamaño suficientemente para ser utilizado en plantaciones. Estos viveros se abastecen normalmente de plantas de los anteriores.

d) Según su movilidad.

- **Permanentes.-** es aquel en cual construyes los bancales con ladrillo rafón y concreto. Este tipo de viveros suele estar acompañados de edificios y oficinas administrativas de concreto debido a que el vivero estará funcionando por un tiempo indefinido y suelen construirse con mayor frecuencia en áreas urbanas.
- **Temporales.-** se construyen con cabuya o pita y estacas de madera y funcionan por tiempos definidos. Generalmente construyes estos viveros en áreas cercanas al lugar donde vas a

establecer la plantación y lo haces con el objetivo de ahorrar el transporte de las plantas debido a que es un lugar muy distante o poco accesible.

e) Según su finalidad pueden ser:

- Hortícolas
- Forestales
- Ornamentales

2.2.4. Automatización

El término automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima, incluso sin intervención, del ser humano. Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas: mediación, evaluación y control.

Esta tecnología incluye:

- Herramientas automáticas para procesar partes
- Máquinas de montaje automático
- Robots industriales
- Manejo automático de material y sistemas de almacenamiento
- Sistemas de inspección automática para control de calidad
- Control de reaprovechamiento y control de proceso por computadora
- Sistemas por computadora para planear colecta de datos y toma de decisiones para apoyar las actividades manufactureras

Las causas de la automatización son:

- Liberación de los recursos humanos para que realicen tareas que requieran mayores conocimientos
- Eliminación de trabajos desagradables – peligrosos

2.2.4.1. Clases de automatización

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable y automatización flexible.

- **Automatización fija.-** se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, por tanto, se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto con rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Un posible inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.
- **Automatización programable.-** se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; esta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).
- **Automatización flexible.-** es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

2.3. Definición de términos básicos

Riego tecnificado.

- **Por aspersión:** consiste en aplicar agua a los terrenos agrícolas en forma de lluvia, como medio de obtención de elevadas cosechas y con el objeto de disminuir la masa de agua empleada para el riego.

- **Por goteo:** se aplica el agua de una manera superficial a un cultivo, gota a gota, se conduce el agua por medio de tuberías usualmente flexibles hasta los dispositivos emisores que se conocen como goteo.

Cantidad de agua que necesita la planta

- Límite mínimo: coeficiente de marchites
- Límite máximo: capacidad de campo (es la máxima cantidad que el suelo puede retener agua)

Se debe buscar un término medio entre el coeficiente de marchites y capacidad de campo. Se debe descontar el volumen de las lluvias a fin de lograr el desarrollo de los cultivos hasta la maduración de las plantas.

Cultivo

Es dar el tratamiento adecuado a una planta con el fin de hacerlas producir, induciendo aquella parte de la planta que es de nuestro interés. En términos genéricos puede decirse que una planta silvestre es aquella que se desarrolla de acuerdo a los principios naturales y la planta cultivada es aquella donde interviene la mano del hombre, el cultivo también implica el tratamiento del suelo.

Cultivo transitorio

Son aquellos cultivos que son cuidados y tratados por un periodo de tiempo en un terreno para luego ser levantado y trasladado para sembrarlo nuevamente en otro terreno. Un ejemplo claro donde se realiza estos cultivos son los viveros.

Secano

Son las tierras de cultivo que no tienen un riego artificial y su única fuente de abastecimientos de agua es la lluvia, constituyen la mayor superficie de los cultivos en el Mundo y en el Perú.

Capacidad de campo

Es el porcentaje de humedad en el suelo después de haber sido regado (24 a 48 horas después de un riego). A medida que el suelo se va humedeciendo el agua va ocupando sus poros hasta llegar a la saturación o capacidad de campo, cuyos valores dependen de la textura del suelo.

Viveros Hortícolas

Rama de la agricultura que se orienta hacia el cultivo intensivo de las plantas utilizadas directamente por el hombre, o usadas con miras medicinales u ornamentales.

Viveros Ornamentales

Una planta ornamental es aquella que se cultiva y se comercializa con propósitos decorativos por sus características estéticas, como las flores, hojas, perfume, la peculiaridad de su follaje, frutos o tallos.

Viveros forestales

Sitios destinados a la producción de plantas forestales, en donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasladadas al terreno definitivo de plantación.

CAPITULO III

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

- . Sistema de automatización del sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

3.1.2. Muestra

- . Sistema de automatización del sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

3.1.3. Unidad de Análisis

- Características de los sistemas de automatización aplicables a sistemas de riego en viveros

3.2. Método

3.2.1. Nivel de Investigación

3.2.2. Diseño de Investigación

3.2.2.1. Análisis de los requerimientos en automatización del sistema de riego en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

Actualmente el sistema de riego esta agrupado en diferentes tipos de riego localizado como es el riego por goteo propiamente dicho, el empleo de cintas de riego y el riego por exudación.

Todos estos sistemas aplican el agua en pequeñas dosis directamente a la zona radicular de la planta, a intervalos regulares y en cantidades precisas para

mantener el suelo con una humedad apropiada (capacidad de campo) y pueda ser aprovechada ventajosa mente por la planta.

La diferencia entre estos sistemas utilizados en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo consiste en el tipo de dispositivo que se emplean para distribuir el agua en el campo, su vida útil y su costo. Así tenemos en el riego por goteo el emisor del agua es un gotero, que distribuye el agua mediante goteo permanente. Las formas, tamaños y clases son variados, dependiendo del fabricante y del tipo de planta a regar.

El riego mediante cintas de riego (tuberías perforadas), consiste de un tubo de doble conducción de agua. El conducto primario tiene un pequeño orificio por donde pasa el agua al conducto secundario el que también posee orificios que son encargados de descargar el agua hacia el suelo.

a) Estructura actual del sistema de riego por goteo.

- ✓ Unidad de presión: es el elemento encargado de generar presión del agua que requiere el sistema. Esta presión se consigue mediante bombeo (motor y agua)
- ✓ Cabezal de riego : es uno de los componente vitales para el funcionamiento del sistema y consta de lo siguiente:
 - Filtros.- encargados de retener las partículas contenidas en el agua con la finalidad de evitar la obstrucción de los emisores de agua, debido a que estos poseen pequeños orificios.
 - Medidores de caudal.- permiten registrar la cantidad de agua al campo.
 - Válvula check.- tiene por objetivo evitar el reflujó de los fertilizantes diluidos en el agua y que puedan contaminar la fuente de agua.
 - Válvula de aire.- encargada de extraer el aire de las tuberías y evitar distorsiones del flujo de agua.

- Equipo de fertilización.- son las unidades que aplican los fertilizantes solubles simultáneamente con el riego.
- Equipo de control.- actualmente el control del sistema se realiza de forma manual.
- ✓ Tuberías de conducción: son las tuberías que transportan el agua hacia los laterales.
- ✓ Laterales de riego: son las tuberías donde van insertados los goteros, o también las tuberías perforadas o tuberías de exudación. El material de estos laterales es de polietileno de baja densidad y flexible en diámetros de 12, 16 y 20 mm., siendo los más utilizados los primeros dos.
- ✓ Los emisores: son los dispositivos que suministran el agua al suelo los cuales pueden ser goteros, cintas de riego, mangueras de exudación.

b) Determinación de los requerimientos.

Características – variables	Requerimientos
Piscina reservorio	Perímetro: 25m x 20 m, Alto: 3m
Bomba de agua	18 lt/seg.
3 Tanques	1000L
Troncal de agua	110mm (diámetro)
2° sección troncal	90-75 mm (diámetro)
Tuberías en naves	63mm (diámetro)
Módulos para almácigos	16 x 45 m

Tabla N° 3.1: Especificaciones técnicas del sistema de riego

- El vivero cuenta con 13 módulos, un módulo cuenta con 5 naves, una nave cuenta con 5 camas, una cama cuenta con 600 bandejas, una bandeja cuenta con 100 plantas. Hay tres tipos de bandejas (71, 100, 128). Una cama rinde 6 hectáreas de sembrío, 6 hectáreas 15 000 kilos de alcachofa.

Diagrama del vivero

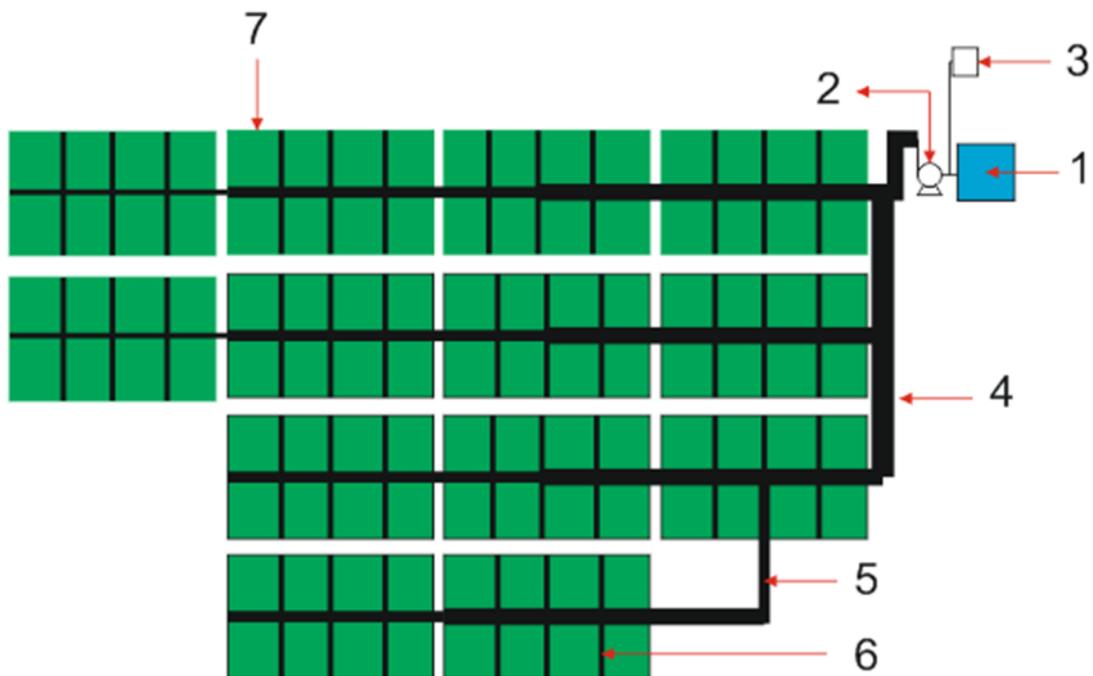


Figura N° 3.1: Distribución de las naves del Vivero Génesis

Fuente: elaboración propia

- Todo el proceso de semilla a plantin es de 60 días para espárragos, 30 días para alcachofa y 40 días piquillo.
- Se utiliza 3 operarios para el procesos de riego, existen válvulas neumáticas en cada nave para el control del riego que son operadas manualmente.

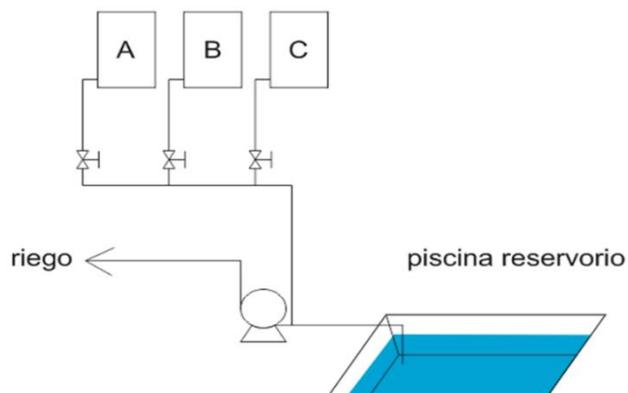


Figura N° 3.2: Estructura del sistema de riego

Fuente elaboración propia.

- Para cada riego el agrónomo decide qué tipo de mezcla usara en el riego dependiendo del estado de la planta, ya sea por edad, estado de las hojas, o pH del anterior riego ya que el pH se mide en la salida del aspersor.

Observar que las tres mezclas cuentan con válvulas manuales y que los nutrientes se encuentran disueltos en 1000 litros de agua, cuya salida está en la entrada de la bomba (única bomba en todo el riego) para ser subsanado y mesclado por la bomba.

El riego tarda una hora en consumir los cien litros, para luego darle 10min de bombeo para limpiar el agua con nutrientes de las troncales.

El sueldo de un obrero es el básico, y están sujetos a la ley agraria, significa que está incluido todo en el básico (CTS, AFP, seguro).

c) **Conclusión del análisis de los requerimientos**

A continuación presentamos un resumen de los requerimientos del sistema para el control de riego:

- ❖ El número de variables que se debe controlar independientemente por nave son:
 - **Control del riego:** en bucle abierto se puede controlar por tiempo o caudal de agua. En bucle cerrado se puede controlar la humedad del suelo, evapotranspiración, ración, micromorfometría, etc.
 - **Control de la inyección de fertilizantes:** se puede controlar el pH de la solución nutritiva, la conductividad eléctrica (CE) y la inyección de micro elementos.

Hay otras variables que conviene controlar y que informan sobre el estado del sistema y la calidad del agua de riego. Por ejemplo, el nivel de los depósitos, la presión del agua en las tuberías, la pérdida de carga de los filtros, etc.

- ❖ Considerando que para nuestro sistema vamos a controlar independientemente por nave el tiempo de riego, el caudal del agua, la humedad, el nivel de PH y la CE, estamos hablando de 5 variables por nave, más las variables generales de todo el sistema como el nivel de los tanques, la presión de agua en las tuberías y la pérdida de carga de los filtros, por lo cual el total de variables a controlar en el caso de viveros génesis es 68.
- ❖ En este caso las variables que vamos a controlar son de tipo continuo.
- ❖ El tiempo de respuesta máximo de control debe ser de no más de 3 min y el tiempo de respuesta mínimo es de 2 s.
- ❖ En cuanto a las condiciones de robustez se requiere que los equipos e instrumentos tengan la capacidad para operar en ambientes con humedad promedio del 17%.

3.2.2.2. Búsqueda de tecnologías de automatización para el sistema de riego.

Por estructura	Por su estrategia de control
Relé inteligente	Control adaptativo
PLC	Control difuso
DCS	Redes neuronales
	On-off
	Control proporcional
	Control integral
	Control derivativo
	Control PID

Tabla N° 3.2: Clasificación de las tecnologías de automatización

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Análisis de las tecnologías de automatización.

1) Por su estructura.

I. Relé inteligente

Al referirse a un dispositivo como este, se debe aludir a un autónoma, que son sistemas gobernados por una programación previa y con esto ejecutan diversas acciones. Están diseñados con 4 características:

- Entradas
- Salidas
- Procesador
- Memoria

Por tanto podemos decir que los relés inteligentes son un tipo de PLC.

Características de funcionamiento.

- **Características físicas**

El relé programable se compone de una serie de entradas de control digital y analógico y de la misma manera de las salidas. Además posee elementos que conforman el chasis del mismo como los siguientes:

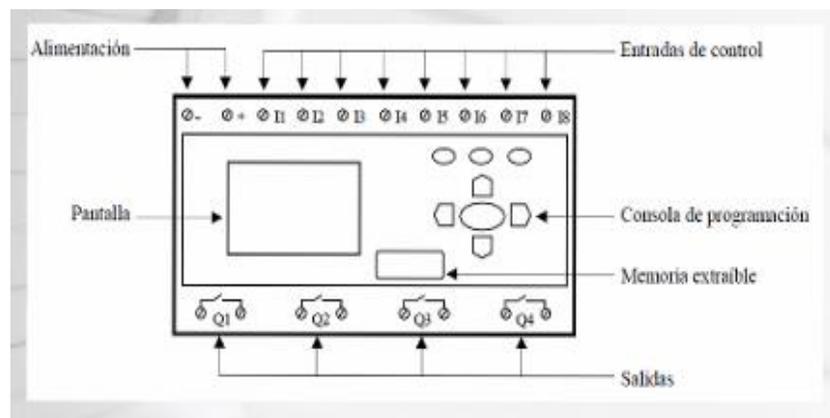


Figura N° 3.3. Conformación exterior Relé inteligente

- **Características lógicas**

Para crear un programa, se requiere primeramente realizar un estudio del tipo de proceso a controlar y luego se procede a diseñarlo. Sin embargo para su implementación se debe poseer conocimiento acerca del tipo de

lenguaje que se está utilizando y el cómo escribir las funciones del relé para conformar el programa del proceso.

Las principales funciones son:

- ✓ Detección de error en la programación
- ✓ Modos de simulación y monitoreo
- ✓ Ventanas de supervisión
- ✓ Descarga y carga de programas
- ✓ Ayuda en línea

- **Características eléctricas**

Este tipo de Relé es una vez que es alimentado se puede acceder al menú principal por medio de la pantalla LCD y así ver el interior y el estado del dispositivo. Pero para su funcionamiento son necesarias ciertas características y los fabricantes brindan parámetros importantes para la manipulación del mismo, como las siguientes:

Unidad de Control	Tensión Nominal de Isolación	300V
	Tensión nominal de alimentación	110/220V AC 50/60Hz 12V/24V CC
	Consumo (típico)	5-6W
	Número de entradas	8 entradas aisladas
	Tensión de alimentación de las entradas	12/24V DC 110V/220V
	Fuente de energía de las entradas	Fuente interna aislada Fuente externa voltaje
	Corriente de energía en las entradas	11mA DC- 5mA AC
	Isolación de las entradas	3kV
	Número de Salidas	4 salidas a relé
	Agrupamiento de Contactos	2 salidas SPST 2 salidas SPST comunes compartidas
	Tensión máxima de operación	250V CC /240V AC
	Menos potencia de operación	1W o 1 VA
	Capacidad de Contactos (carga resistiva)	3ª, 30V CC/250V AC
	Protección contra cortocircuito	Fusible de 6A

Tabla N° 3.3: Especificaciones generales relé inteligente

Ventajas y desventajas

Como todo dispositivo, se tienen factores los cuales son de tipo beneficioso o no. Al hablar de un control para un proceso hay más factores ventajosos y en esencial por el tipo que se trata.

Ventajas

- Disminución del número de componentes.
- El gasto del cableado se reduce.
- El funcionamiento de todos los componentes de sistema puede verificarse previamente con mucha mayor facilidad y acortarse en el tiempo de montaje y de puesta en marcha.

- La búsqueda y la solución de problemas, así como el mantenimiento, son más sencillos y rápidos. }

Desventajas

- La obtención al principio es un poco costosa
- No son versátiles
- Dispositivo limitado para la automatización de procesos grandes

Aplicaciones

Las aplicaciones al momento de utilizar este tipo de dispositivo, se clasifica según el tipo de alimentación, es decir por un medio digital o analógico. Si se hace referencia a un tipo digital se pueden diseñar aplicaciones como un riego automático, o un control de acceso y para aplicaciones analógicas en la regulación climática y regulación lumínica.

Además se puede utilizar en entornos de proceso continuo como por ejemplo:

- Químico y Petroquímico
- Papel y Celulosa
- Minería y Cemento
- Alimentación y Bebidas
- Siderurgia
- Plástico y Caucho
- Automovilístico
- Cerámico
- Textil
- Refrigeración

II. PLC

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico con una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones específicas, consta de un procesador de 4 elementos principales:

- b. Unidad central de procesamiento (CPU)
- c. Memoria

- d. Suministro de energía
- e. Interface de entrada y salida (I/O)

Un controlador lógico programable es una computadora cuyo hardware y software ha sido diseñado, fabricado y adaptado para la optimización del control de procesos industriales.

Un controlador lógico programable es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

Clasificación de los PLC

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

➤ **PLC tipo Nano**

Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

➤ **PLC tipo Compactos**

Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O) , su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- entradas y salidas análogas
- módulos contadores rápidos
- módulos de comunicaciones
- interfaces de operador

- expansiones de i/o

➤ **PLC tipo Modular**

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, estos son:

- Rack
- Fuente de Alimentación
- CPU

Hay muchos tipos más pero estos están dentro de estas 3 grandes clasificaciones.

Características del PLC son:

- Permite controlar procesos en el campo (Planta).
- Contiene funciones pre-programadas como parte de su lenguaje (lista de instrucciones, escalera o “ladder”, lenguaje literal o bloques de función)
- Permite el acceso a la memoria de entradas y salidas (I/O)
- Permite la verificación y diagnóstico de errores
- Puede ser supervisado
- Empaquetado apropiado para ambientes industriales
- Utilizable en una amplia variedad de necesidades de control

Ventajas e Inconvenientes

➤ **Ventajas del PLC**

- ✓ Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
 - No es necesario dibujar el esquema de contactos.
 - No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas.
 - La lista de materiales a emplear queda sensiblemente reducida.
- ✓ Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos (sin costo añadido en otros componentes).
- ✓ Mínimo espacio de ocupación.

- ✓ Menor costo de mano de obra de la instalación.
- ✓ Mantenimiento económico.
- ✓ Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómatas.
- ✓ Menor tiempo de puesta en funcionamiento del proceso, al quedar reducido el tiempo de cableado.
- ✓ Si la máquina queda fuera de servicio, el autómatas sigue siendo útil en otras máquinas o sistemas de producción

➤ **Desventajas del PLC**

- ✓ Adiestramiento de técnicos en programación de dichos dispositivos.
- ✓ La inversión inicial.

Aplicaciones y funciones de un PLC

Los PLC debido a que operan en base a operaciones lógicas son normalmente usados para el control de procesos secuenciales, es decir, procesos compuestos de varias etapas consecutivas, en donde el PLC controla que las etapas se ejecuten sólo cuando se hayan cumplido una serie de condiciones fijadas en el programa.

En general estas funciones básicas pueden ser:

- **Detección:** Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- **Mando:** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- **Dialogo hombre maquina:** Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- **Programación:** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la máquina.
- **Redes de comunicación:** Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos

milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

- **Sistemas de supervisión:** También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.
- **Control de procesos continuos:** Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.
- **Entradas- Salidas distribuidas:** Los módulos de entrada salida no tienen por qué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.
- **Buses de campo:** Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

Fabricantes de PLC

Presentamos una lista de fabricantes de PLC:

ABB	Toshiba
Allen – Bradley	Alfa Laval
Groupe Schneider	Schneider Automation
Mitsuubishi	Telemecanique
Rockwell Automation	Honeywell
Siemens	Festo/Beck electronic

Tabla N° 3.4: Fabricantes de PLC

III. DCS

Sistema de control en que los elementos de control no están ubicados localmente, sino que se distribuyen en todo el sistema con cada componente o sub-sistema controlado por uno o más controladores. Todos los componentes del sistema están conectados a través de redes de comunicación y monitoreo.

Características de un DCS

- **Flexibilidad y Capacidad de expansión:** Capacidad de elegir (etapa inicial) o aumentar (etapas posteriores) el número variables de entrada, salida y del número de controladores debido a una amplia gama de aplicaciones expansibles y clientes específicos.
- **Operaciones de Mantenimiento:** Las configuraciones de control e interfaces de operador deben ser fáciles de mantener y modificar no solo por ingenieros profesionales.
- **Apertura:** las variables y parámetros de control son leídos y escritos desde otras funciones de control.
- **Operatividad:** Funciones avanzadas de control se deben mostrar en las mismas ventanas de operación y debe ser leída por los operadores sin dar ninguna confusión.
- **Portabilidad:** Parte del algoritmo de control no depende del entorno de hardware y debe poder adaptarse a distintas tecnologías informáticas.
- **Rentabilidad:** Las ventajas de los algoritmos de control debe quedar claro. No sólo acerca de la controlabilidad, sino también acerca de las inversiones realizadas, antes y después de la implementación del DCS.
- **Robustez/Redundancia:** La redundancia en sistemas de control apunta a disponer elementos/componentes adicionales que garantizan la operación de las funciones que cumplen dentro del sistema de control frente a fallas del mismo.

Ventajas y Desventajas de los Sistemas Distribuidos

➤ **Ventajas**

- ✓ Procesadores más poderosos y a menos costos.
- ✓ Desarrollo de Estaciones con más capacidades.
- ✓ Las estaciones satisfacen las necesidades de los usuarios.
- ✓ Uso de nuevas interfaces.
- ✓ Avances en la Tecnología de Comunicaciones.
- ✓ Disponibilidad de elementos de Comunicación.
- ✓ Desarrollo de nuevas técnicas.
- ✓ Compartición de Recursos.
- ✓ Dispositivos (Hardware).
- ✓ Programas (Software).
- ✓ Eficiencia y Flexibilidad.
- ✓ Respuesta Rápida.
- ✓ Ejecución Concurrente de procesos (En varias computadoras).
- ✓ Empleo de técnicas de procesamiento distribuido.
- ✓ Disponibilidad y Confiabilidad.
- ✓ Sistema poco propenso a fallas (Si un componente no afecta a la disponibilidad del sistema).
- ✓ Mayores servicios que elevan la funcionalidad (Monitoreo, Telecontrol, Correo Eléctrico, Etc.).
- ✓ Crecimiento Modular.
- ✓ Es inherente al crecimiento.
- ✓ Inclusión rápida de nuevos recursos.
- ✓ Los recursos actuales no afectan.

➤ **Desventajas**

- ✓ Requerimientos de mayores controles de procesamiento.
- ✓ Velocidad de propagación de información (Muy lenta a veces).
- ✓ Servicios de replicación de datos y servicios con posibilidades de fallas.
- ✓ Mayores controles de acceso y proceso (Commit).

- ✓ Administración más compleja.
- ✓ Costos.

2) Por la estrategia de control

Existen varias clasificaciones dentro de los sistemas de control.

- Atendiendo su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos.
- Atendiendo a su estructura (número de entradas y salidas) puede ser control clásico o control moderno).
- Atendiendo su diseño pueden ser por lógica difusa, redes neuronales, control inteligente, control predictivo.

Sistemas de control clásico

✓ Sistemas de control de Lazo Abierto

Se denominan sistemas de control de lazo abierto cuando la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir no se compara la salida con la entrada de referencia. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fija. Así, la precisión del sistema depende de la calibración y del operador cuya función será la del controlador.

✓ Sistemas de control de Lazo Cerrado

Se denomina sistema de control de lazo cerrado cuando frente a presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida del sistema y el valor deseado o “set point”; realizando el control de forma automática.

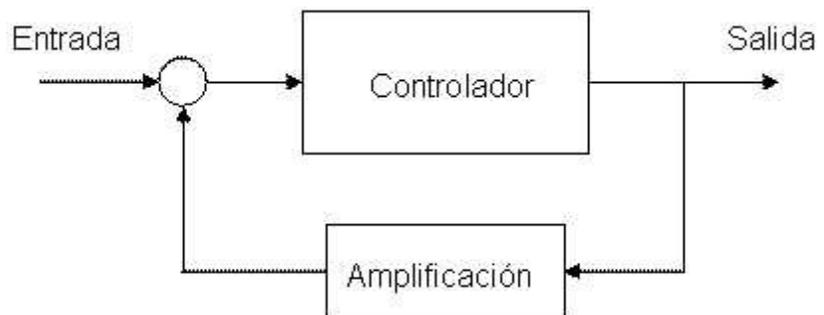


Figura N° 3.4 controlador de lazo cerrado.

I. Control adaptativo.- Es un método en el cual la respuesta de un controlador varía automáticamente basado en los cambios de las condiciones dentro del proceso y puede emplearse en diversas aplicaciones.

Diferencia entre un control adaptativo y uno realimentado

Adaptativo	Realimentado
Es un tipo especial de control lineal	Frecuentemente en control lineal y no lineal
Se realiza en una escala lenta la velocidad con la cual los parámetros del regulador son modificados.	Se realiza en una escala rápida, la velocidad de los cambios de los parámetros.

Técnicas de control adaptativo

- **(MRAC):** Los controladores adaptativos con modelo de referencia, intentan alcanzar para una señal de entrada definida, un comportamiento en bucle cerrado dado por un modelo de referencia
- **(STR):** Los reguladores adaptativos autoajustables, tratan de alcanzar un control óptimo, sujeto a un tipo de controlador y a obtener información del proceso y sus señales.
- **Control adaptativo programable:** Consiste en programar previo a su uso los cambios requeridos en el controlador para adaptarse a las diferentes situaciones en las que tiene que operar. Como consecuencia se necesita: un conocimiento previo del proceso y una cuantificación de cómo deben cambiarse los parámetros del controlador ante cambios en las características del proceso.

Ventajas y desventajas de la técnica (MRAC)

Ventajas	Desventajas
Las ventajas de MRAC están en su rápida adaptación para una entrada definida y en la simplicidad de tratamiento de la estabilidad utilizando la teoría de estabilidad de sistemas no lineal.	Las desventaja es que no se adapta convencionalmente si la señal de entrada al sistema tiene poca riqueza.

Ventajas y desventajas de la técnica (STR)

Ventajas	Desventajas
Se adapta para cualquier caso y en particular para perturbaciones no medibles, teniendo al mismo tiempo una estructura modular, lo que hace posible la programación por bloques, siendo fácil de realizar distintos reguladores.	El diseño se hace de forma que se suponen parámetros conocidos y después estos son sustituidos por sus estimados.

Criterios de un control adaptativo

- Una ley de control con parámetros ajustables.
- Caracterización de la respuesta del sistema en bucle cerrado (Modelo de referencia o las especificaciones para el diseño).
- Procedimiento de diseño.
- Actualización de parámetros basado en las medidas.
- Realización de la ley de control.

Conclusiones del control adaptativo

- El control adaptativo es particularmente útil y aplicable a procesos que tienen parámetros variables.
- Dado que los procesos son variables los controladores fijos no son adecuados.
- Un regulador adaptativo es esencialmente no lineal, y es más complicado que el regulador de ganancia fija, Antes de intentar utilizar el control adaptativo, es muy importante asegurarse que el problema de control no puede resolverse por realimentación de ganancia constante.

II. Control difuso.- Este control utiliza la lógica difusa a través de conceptos de inteligencia artificial capaz de convertir una muestra de la señal real a números difusos, para tratarlos según las reglas de inferencia y las bases de datos determinados en las unidades de decisión, logrando estabilizar el sistema sin la necesidad de fijar un punto de referencia.

Después de casi 30 años de investigación, la Lógica Difusa ha demostrado sus posibilidades de aplicación en Ingeniería Práctica. Las ecuaciones resultan poco prácticas en algunos casos: sistemas no lineales o dinámicamente complejos, o algunos con combinaciones de entrada y salida inusuales. Por el contrario, la proposición difusa usa la pericia de la intuición humana para resolver el problema, resultando ideal para el modelado y el control de los sistemas antes mencionados.

En contraste con los si/no o verdadero/falso de la lógica tradicional, permiten considerar grados en las características consideradas en los problemas de Ingeniería, incluso, aun cuando no se disponga de modelos matemáticos rigurosos.

Son utilizados en para control en:

- Sistemas complejos que son difíciles o imposibles de modelar por métodos convencionales.

- En procesos no lineales.
- Sistemas controlados por Expertos Humanos que se basan en conceptos imprecisos obtenidos de su experiencia.
- Cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras.
- Sistemas que utilizan la observación humana como entrada o como base de las reglas.
- Cuando ciertas partes del sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma fiable (con errores posibles).
- Sistemas que son confusos por naturaleza, como los encontrados en las ciencias sociales y del comportamiento.
- Cuando se quieren representar y operar con conceptos que tengan imprecisión o incertidumbre (como en las Bases de Datos Difusas).
- Cuando existen procesos sin definición clara.

Ventajas y desventajas de la lógica difusa.

Ventajas:

- Robustez frente a cambios en el sistema.
- Tolerancia mayor a las señales ruidosas que otros métodos tradicionales de control.
- Capacidad de manejar información que contiene gran incertidumbre.
- No depende de ecuaciones matemáticas complejas o extensas.
- Sencillez para desarrollar controladores para los distintos comportamientos (sin utilizar complejos modelos matemáticos), gracias al formato de las reglas.
- Posibilidad de utilizar los mismos controladores sobre diferentes plataformas sin realizar muchos cambios, debido a su naturaleza cualitativa.
- Posibilidad de evaluar mayor cantidad de variables, entre otras, variables lingüísticas, no numéricas, simulando el conocimiento humano.

- Relaciona entradas y salidas, sin tener que entender todas las variables, permitiendo que el sistema pueda ser más confiable y estable que uno con un sistema de control convencional.
- Capacidad de simplificar la asignación de soluciones previas a problemas sin resolver.
- Posibilidad de obtener prototipos, rápidamente, ya que no requiere conocer todas las variables acerca del sistema antes de empezar a trabajar, siendo su desarrollo más económico que el de sistemas convencionales, porque son más fáciles de designar.
- Simplifica también la adquisición y representación del conocimiento y unas pocas reglas abarcan gran cantidad de complejidades.

Desventajas:

- No hay actualmente un análisis matemático riguroso que garantice que el uso de un sistema experto difuso, para controlar un sistema, dé como resultado un sistema estable.
- Es difícil llegar a una función de membresía y a una regla confiable sin la participación de un experto humano.
- Dificultad de interpretación de valores difusos.
- Múltiples definiciones de operadores y reglas de inferencia difusas.

III. Redes Neuronales Artificiales.- Están diseñadas para actuar como lo hace el cerebro humano conectando la red entre los elementos de la forma más sencilla para poder ser entrenados y realizar funciones complejas en diversos campos de aplicación.

Características de las redes neuronales:

- Sistemas distribuidos no lineales
- Sistemas resistentes a fallos
- Tiene un sistema de aprendizaje adaptable

- Relaciones no lineales entre datos
- Implementación en VSLI

Ventajas de las redes neuronales

- **Aprendizaje:** Las RNA tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama etapa de aprendizaje. Esta consiste en proporcionar a la RNA datos como entrada a su vez que se le indica cuál es la salida (respuesta) esperada.
- **Auto organización:** Una RNA crea su propia representación de la información en su interior, descargando al usuario de esto.
- **Tolerancia a fallos:** Debido a que una RNA almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir respondiendo de manera aceptable aun si se daña parcialmente.
- **Flexibilidad:** Una RNA puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada (ej. si la información de entrada es la imagen de un objeto, la respuesta correspondiente no sufre cambios si la imagen cambia un poco su brillo o el objeto cambia ligeramente)
- **Tiempo real:** La estructura de una RNA es paralela, por lo cual si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.
- Las redes neuronales pueden sintetizar algoritmos a través de un proceso de aprendizaje.
- Para utilizar la tecnología neuronal no es necesario conocer los detalles matemáticos.
- La solución de problemas no lineales es uno de los fuertes de las redes neuronales.
- Las redes neuronales robustas pueden fallar algunos elementos de la red pero esta sigue funcionando.

Desventajas de las redes neuronales.

- Las redes neuronales se deben de entrenar para cada problema.
- Debido a que las redes se entrenan en lugar de programar estas requieren definir muchos parámetros antes de poder aplicar la metodología.
- Es un argumento erróneo sostener que el tiempo empleado en el desarrollo de modelos basados en una red neuronal sea más corto que el tiempo empleado para desarrollar.
- Las redes neuronales presentan un aspecto complejo para observadores externos que desee realizar camb

Conclusiones.

- podemos deducir que la mayoría de aplicaciones de las RNA consisten en realizar un reconocimiento de patrones: búsqueda, clasificación, reconstrucción, etc.
- Las áreas de aplicación para las cuales se están utilizando o pueden ser utilizadas las redes neuronales son: Reconocimiento de patrones, bases de datos de conocimiento, control de robots, toma de decisiones, filtrado de señales, segmentación, comprensión y fusión de datos, interfaces adaptativas para sistemas hombre/máquina, etc.

IV. Control ON-OFF

El control ON-OFF, también llamado todo-nada o abierto-cerrado, es la forma más simple de control por realimentación, es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posibles posiciones, en el cual la salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía del valor deseado.

Sistemas de control ON-OFF expresado en forma matemática y ecuación:

Donde $e = Y_{sp} - Y$ (error de control) y $u(s)$ es la variable de entrada al proceso a controlar.

Cuando la variable de salida Y es menor al set point Y_{sp} , se le asigna a la variable manipulada el valor máximo, mientras que cuando Y_{sp} es menor a Y se le asigna el valor mínimo. También puede darse el caso contrario.

$$y(t) = M_1 \text{ (On)} \quad e > 0$$

$$y(t) = M_2 \text{ (Off)} \quad e < 0$$

Características del sistema de control ON-OFF:

- Modo de control depende del signo del error.
- Variación cíclica continua de la variable controlada.
- El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo y velocidad de relación lenta.
- Tiene un simple mecanismo de construcción, por eso este tipo de controladores es de amplio uso, y mayormente son utilizados en sistemas de regulación de temperatura.

Ventajas del sistema de control ON-OFF:

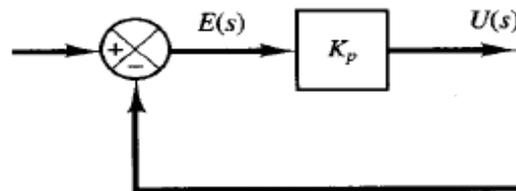
- Es la forma más simple de control.
- Bajo precio de instalación.
- Fácil instalación y mantenimiento.
- Amplia utilización en procesos de poca precisión.

Desventajas del sistema de control ON-OFF:

- Mínima precisión.
- Desgaste del elemento final de control.
- Poca calidad con el producto terminado.
- No recomendable para procesos de alto riesgo.

V. Control proporcional

En el control proporcional la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la magnitud del error, es decir si el elemento de control es una válvula esta recibe una señal que es proporcional a la magnitud de la corrección requerida. Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable.



$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Tiene un rango continuo de posiciones posibles. La posición exacta que toma es proporcional a la señal de error, la salida de bloque controlador es proporcional a su entrada.

Sistema de control PROPORCIONAL expresada en forma matemática:

En este tipo de control se establece una relación proporcional entre “m” y “e”:

$$m(t) = k_p \cdot e(t) \quad ; \quad \text{transformando: } m(s) = K_p \cdot E(s)$$

K_p = Ganancia proporcional (constante ajustable).

Características del sistema de control PROPORCIONAL:

- El controlador proporcional es un amplificador con ganancia ajustable.
- La banda proporcional es la modificación expresada en porcentaje de variación de entrada al controlador, requerida para producir un cambio del 100% en la salida.
- Incrementa el sobretiro y reduce el error de estado estable.

Ventajas del sistema de control PROPORCIONAL:

- Elimina la constante oscilación alrededor del valor de referencia: Con esto proporciona un control de la planta más preciso, y reduce el desgaste y rotura de actuadores mecánicos.
- La instantaneidad de aplicación.
- la facilidad de comprobar los resultados.

Desventajas del sistema de control PROPORCIONAL:

- Si la planta no posee integradores, siempre habrá un offset.
- La falta de inmunidad al ruido.
- la imposibilidad de corregir algunos errores en el régimen permanente.
- El aumento de la ganancia proporcional en forma exagerada puede hacer que polos de la transferencia no modelados que para ganancias bajas no influyen, adquieran importancia y transformen al sistema en inestable.

VI. Control integral

Un gran cambio en la carga de un sistema hará experimentar un gran cambio del punto de referencia, a la variable controlada. Por ejemplo, si es aumentado el flujo de un material mientras atraviesa un intercambiador de calor, la temperatura del material caerá antes con respecto al sistema de control y este pueda ajustar la entrada de vapor a una nueva carga. Como el cambio en el calor de la variable controlada disminuye, la señal de error comienza a ser más pequeña y la posición del elemento de control se va acercando al punto requerido para mantener un valor constante. Sin embargo, el valor constante no será un punto de referencia: tendrá un desfase (Offset).

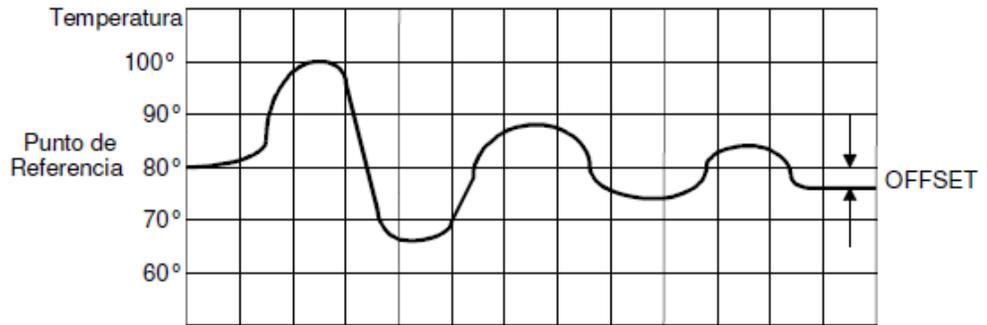


Figura N° 3.5. Cambios de temperatura debido a cambios en la carga

El “offset” es una característica del control proporcional. Considere, por ejemplo, un tanque en el cual el nivel de agua es controlado por un flotador (Figura 4.). El sistema se estabiliza cuando el nivel de agua esté en la posición, la válvula se abra lo suficiente hasta compensar el flujo. Sin embargo, si la válvula de salida es abierta manualmente, el nivel en el tanque se estabilizará en una nueva posición. Este nivel más bajo abrirá la válvula otra vez para la cantidad de flujo necesaria para equilibrar el flujo de entrada con el de salida. La diferencia entre el antiguo nivel (punto de referencia) y el nuevo nivel es el llamado “offset”.

La acción integral es añadida a la acción proporcional para vencer al offset producido por corregir el tamaño del error sin considerar el tiempo; pero el tiempo de duración de la señal de error es tan importante como su magnitud. En efecto, una unidad integral monitorea el error promedio en un período de tiempo. Luego, en el caso de existir un offset, la unidad integral detectará el tiempo del error activando la acción de la unidad proporcional, para corregir el error, o el desfase durante el tiempo necesario.

Ventajas control integral.

- Posee buena intensidad de aplicación.
- Posee buena facilidad de arrojar resultados.

Desventajas control integral.

- falta de inmunidad al ruido.
- Imposibilidad de corregir errores en el régimen permanente.

VII. Control derivativo.

Un controlador PI puede ayudar a eliminar el “offset”, pero puede aumentar el tiempo de respuesta y causar picos. El control integral es usado solo para eliminar los desfases, pero con frecuencia, los cambios en las cargas originarán la caída o subida de la variable controlada sobre límites aceptables antes desajustado. Se requiere un modo de control de respuesta específica para cambios rápidos de la señal de error. Esta acción de control esencialmente puede anticipar un error basado en la velocidad de la respuesta.

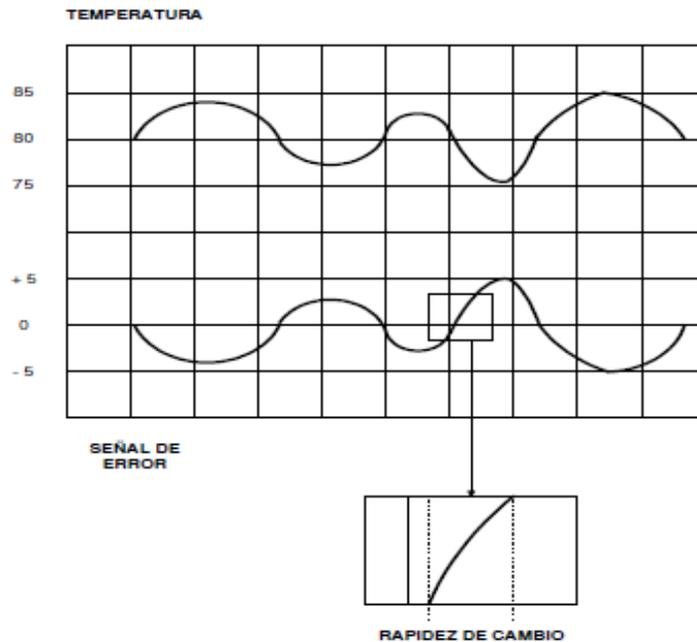


Figura N° 3.6. – Control Derivativo

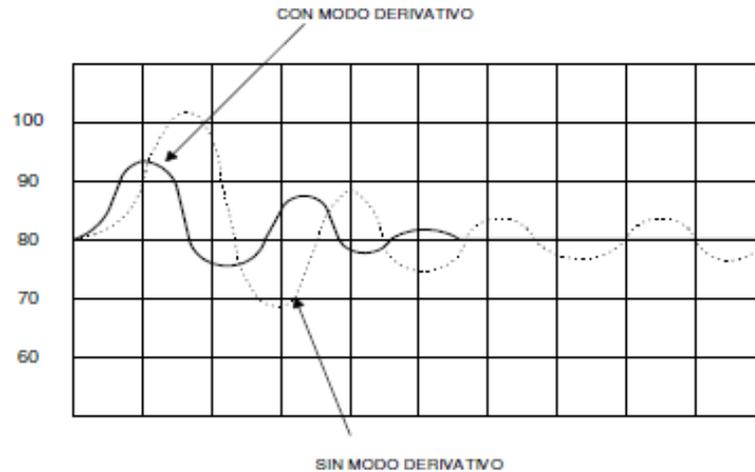


Figura N° 3.7. – resultado de procesos con y sin derivativos.

Este tipo de acción de control es conocido como derivativa. La acción derivativa entrega una señal proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. Debido a esto, cuando la variable controlada está quieta, la señal derivativa es cero. Cuando el valor de la variable controlada está cambiando rápidamente, la señal derivativa es grande.

La señal derivativa cambia la salida del controlador. En este sentido, una señal de control más grande es producida cuando hay un cambio rápido en la variable controlada, y durante el cambio, el elemento final de control recibe una señal de entrada más grande. El resultado es una respuesta más rápida a los cambios de carga.

En términos matemáticos, la acción derivativa está basada en la caída de una curva representando la cantidad de error de sobre tiempo. La operación matemática para determinar esta caída en cualquier instante particular de tiempo es conocida como encontrar la derivada. Esta operación le da a la acción derivativa su nombre. Conocida también como acción de velocidad (rate).

El ajuste de la acción derivativa es llamado la velocidad de ajuste. Si estos están solucionando el problema muy lentamente, el sistema de control no responderá lo suficientemente rápido a los cambios de carga. Si la acción de control es demasiado alta, la respuesta a cambios pequeños en la variable controlada será muy grande y el sistema de control se volverá inestable. La velocidad, por este motivo, debe ser ajustada por cada sistema de control para responder correctamente a los cambios en la carga.

Ventajas de control derivativo.

- Adelanta la acción de control frente a la aparición de una tendencia de error (derivada), eso tiende a estabilizar el sistema puesto que los retardos en controlar lo tienden a inestabilizar.

Desventajas de control derivativo.

- Es prácticamente inaplicable ante la presencia de ruido, este hace que la variable de control tome valores contrapuestos y máximos cuando la pendiente del ruido entra como señal de error.

VIII. Controlador PID

Todos los modos descritos, tanto como el simple controlador On/Off, usan la misma señal de error. Sin embargo, cada uno de ellos usa diferentes caminos:

- El modo de control On/Off usa información sobre la presencia del error.
- El modo proporcional usa información sobre la magnitud del error.
- El modo integral usa información sobre el error promedio en un período de tiempo.
- El modo derivativo usa información sobre la velocidad en el cambio del error.

En todos los casos, el objetivo es mantener a la variable controlada tan cerca al punto de referencia como sea posible.

La acción derivativa es generalmente usada en conjunto con una acción proporcional e integral. Este tipo de controlador resultante es llamado “controlador PID”.

Si se puede obtener el modelo matemático del proceso, entonces es posible aplicar varias técnicas para determinar los parámetros de este cumpliendo con las especificaciones transitorias y de estado estacionario del sistema de control de lazo cerrado. Sin embargo si el proceso es tan complicado no encontrando su modelo matemático, es imposible el método analítico de diseño de un controlador PID.

Se debe recurrir a modelos experimentales para el diseño de controladores PID. Este proceso se conoce como calibración o sintonía del controlador. Zieger y Nichols sugirieron reglas para afinar controladores PID.

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida de un grado de libertad:

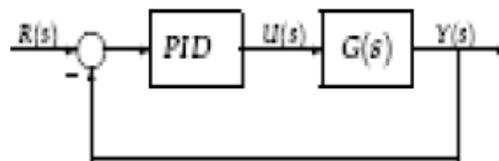


Figura N° 3.8: Diagrama de bloques

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

P: Acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_p \cdot e(t)$, que describe desde su función transferencia queda:

$$C_P(s) = K_p$$

Donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

I: Acción de control integral: da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad C_p(s) = \frac{K}{s}$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

PI: acción de control proporcional-integral, se define mediante

$$u(t) = K_p(t) + \frac{K}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{pi}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos daría una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control sería decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero. Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

PD: acción de control proporcional-derivativa, se define:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios. La función transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + s \cdot K_p \cdot T_d$$

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y su función transferencia resulta:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + s \cdot T_d \right)$$

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

Variable independiente: Selección de la tecnología de automatización en sistemas de riego de plantines.

Indicadores

- . Tipo de sistema de automatización
- . Numero de variables controlables
- . Tiempo de respuesta

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA
Selección de la tecnología de automatización en sistemas de riego de plantines	La selección de la tecnología de automatización es un proceso en el cual se hace una comparativa entre una serie de diferentes tecnologías aplicables al control de un proceso de riego de plantines para determinar cuál de ellas es mejor.	Alcance de la selección	Cantidad de tecnologías a comparar	Cuadro comparativo		N°
			Tipo de tecnología de automatización	Hoja técnica		Tipo
			Aplicabilidad a sistemas de riego	Hoja técnica		Si o No
		Factores cuantitativos de las tecnologías	Cantidad de variables a controlar	Hoja técnica		N°
			Rango de operación de las variables	Hoja técnica		Valores nominales
			Tiempo de respuesta en el control	Hoja técnica		tiempo
		Factores cualitativos de las tecnologías	Eficiencia en el proceso de control	Hoja técnica		Calidad
		costos	Costo de equipamiento	Cotizaciones		Nuevos soles
			Costo de mano de obra	Cotizaciones		Nuevos soles

Tabla N° 3.5 : cuadro variable independiente.

Variable dependiente: la tecnología de automatización en el sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo

Indicadores

- . Eficiencia en el uso de agua del sistema de riego automatizado
- . Tiempo de respuesta del sistema de riego automatizado
- . Nivel de intervención de mano de obra en el sistema de riego

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA
la tecnología de automatización en el sistema de riego de plantines en Viveros Génesis – Valdivia Trujillo	El mejoramiento de la tecnología se viene a dando a día a día con la creación de nuevas tecnologías por lo que por medio de un estudio buscamos el sistema de riego más óptimo para el vivero Génesis – Valdivia Trujillo	Regulación de los valores de las variables	flujo	Cuadro comparativo		N°
			ph	Hoja técnica		
			tiempo	Hoja técnica		
		Eficiencia en la regulación	Error de estado estacionario	Hoja técnica		
			Tiempo de establecimiento	Hoja técnica		
			Desviación respecto al valor final	Hoja técnica		tiempo
			Costo de equipamiento	Cotizaciones		Nuevos soles
Costos	Costo de mano de obra	Cotizaciones		Nuevos soles		

Tabla N° 3.6: Cuadro variable dependiente.

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

- Investigación bibliográfica en libros y páginas web especializadas en tecnologías de automatización.
- Análisis y resumen de las hojas técnicas de equipos y dispositivos

3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos

- Cuadro resumen de las tecnologías de automatización
- Cuadro comparativo de las características de las diferentes tecnologías de automatización.

3.2.6. Técnicas de análisis de datos

- Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de automatización respecto a su aplicabilidad en sistemas de riegos en viveros.
- Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de automatización aplicable a sistemas de riego en viveros, determinando una valoración de mejor desempeño.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

A. Resumen de las tecnologías de automatización por su estructura

Basado en la información recopilada respecto a las diferentes estructuras de las tecnologías de automatización se construye el siguiente cuadro resumen.

Características	Relé inteligente	PLC	DCS	
1	Funciones	Solo un gran número de relés permite un sistema complejo	Permite cualquier grado de complejidad	Permite un grado de complejidad elevado
2	Flexibilidad	No el alambrado debe ser cambiado	Sí, es libre basta con cambiar el programa	
3	Confiabilidad	NO, sujeto a fallas	Si, pues solo emplea semiconductores	Si, dado que los controladores son distribuidos.
4	Adaptabilidad	No, una vez armado no se puede emplear en otra aplicación.	Si, se adapta a todo solo basta cambiar el programa	Si, se adapta a todo solo basta cambiar el programa
5	Expansibilidad	No, es difícil su expansión	Si, se adapta a todo solo cambia el programa	Si, se adapta a todo solo cambia el programa
6	Mantenimiento	Si, requiere mantención periódica	No, solo cambio de partes dañadas	No, solo cambio de partes dañadas
7	Tamaño	Normalmente grande	Reducidos	Grande
8	Diseño	Complejo	Simple	Complejo
9	Consumos	Excesivo y calentamientos	Bajo de 20 a 60 w	Alta

Tabla N° 4.1: cuadro resumen de las diferentes tecnologías de automatización.

Fuente: Elaboración propia

B. Resumen de las tecnologías de automatización por la estrategia.

Basado en la información recopilada respecto a las tecnologías de automatización se construye el siguiente cuadro resumen.

Características	Control PID	Control Difuso	Control Predictivo	
1	Tiempo de respuesta	Corto	Corto	Ni muy pequeño ni muy grande
2	Inmunidad al ruido	No	No	No

3	Complejidad de su implementación y sintonización	Si debido a que debe calibrarse sus parámetros de ajuste.		Si debido
4	Aplicabilidad a sistemas lineales o no lineales	Sistemas lineales y sistemas no lineales	No lineal	No lineal
5	Robustez del control	Robusto	Muy robusto	Robusto
6	Error de estado permanente	No	Nulo	

Tabla N° 4.2: cuadro resumen de las diferentes tecnologías de automatización.

Fuente: Elaboración propia

C. Resultado de la aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estructura a la automatización de los sistemas de riego en viveros.

Basado en los requerimientos que tienen los sistemas de riego en viveros respecto a los sistemas de automatización aplicables a ellos y las características que tienen las tecnologías de automatización según su estructura, construimos la siguiente tabla.

Características	PLC	DCS	Relé inteligente	
1	Tiempo de respuesta en el rango de 3 min a 2 S	aplicable	aplicable	No aplicable
2	Soporte a humedad relativa 95%	Aplicable	aplicable	
3	Control de variables continuas	Si	Si	Si
4	Estabilidad del control y soporte a perturbaciones	Si	Si	No

5	Control sobre x variables discretas y x variables continuas	Si	Si	No
---	---	----	----	----

Tabla N° 4.3: Cuadro de aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estructura a la automatización de sistemas de riego en viveros.

Fuente: Elaboración propia.

D. Resultado de la aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estrategia a la automatización de los sistemas de riego en viveros.

Basado en los requerimientos que tienen los sistemas de riego en viveros respecto a los sistemas de automatización aplicables a ellos y las características que tienen las tecnologías de automatización según su estrategia, construimos la siguiente tabla

Características	PID	Control Difuso	Control predictivo
1 Tiempo de respuesta en el rango de 3 min a 2 s	Si	Si	SI
2 Eliminación de error permanente	Si	Si	No
3 Control de variables continuas	Solo variables continuas	Variables continuas y discretas.	Variables continuas y discretas.
4 Estabilidad del control y soporte a perturbaciones	Si	Si	Si

Tabla N° 4.4: Cuadro de aplicabilidad de las tecnologías de automatización por su estrategia a la automatización de sistemas de riego en viveros.

Fuente: Elaboración propia.

E. Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estructura aplicables a la automatización de los sistemas de riego en viveros.

Tomando en cuenta las tecnologías de automatización según su estructura que son aplicables a los sistemas de riego en viveros, construimos la siguiente tabla para comparar sus características.

Características	PLC	DCS
1 Flexibilidad	Permite cualquier grado de complejidad	Permite altos niveles de complejidad
2 Programabilidad	Tiene varios lenguajes de programación	Disponible varios lenguajes de programación de alto nivel
3 Robustez	Es robusto	Es robusto
4 Confiabilidad	Si	Si
5 Expansibilidad	Si, se adapta a todo solo cambia el programa	Si, se adapta a todo solo cambia el programa

Tabla N° 4.5: Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estructura aplicables a la automatización de sistemas de riego en viveros.

Fuente: Elaboración propia.

F. Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estrategia aplicables a la automatización de los sistemas de riego en viveros.

Tomando en cuenta las tecnologías de automatización según su estrategia que son aplicables a los sistemas de riego en viveros, construimos la siguiente tabla para comparar sus características.

Características	Control PID	Control Difuso	Control Predictivo
1 Tiempo de respuesta	No	No	No
2 Estabilidad	Si	Si	
3 Inmunidad al ruido	No	No	No

Tabla N° 4.6: Cuadro comparativo de las tecnologías de automatización por su estrategia aplicables a la automatización de sistemas de riego en viveros.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al realizar la búsqueda de las tecnologías de automatización que se incluyen en el presente trabajo se encontraron una gran cantidad de tecnologías, algunas de las cuales son formas particulares de automatización basadas en otras tecnologías de aplicación más amplia, así por ejemplo el control experto es una especialización del control difuso, por lo cual se decidió incluir el control difuso en este análisis dando por sentado que el control experto está inmerso en él.

Al analizar algunas otras tecnología como los PLC se sobre entiende que poseen una amplia familia desde los micro y nano PLC hasta los PLC de gama alta. En el presente estudio se menciona PLC sobre entendiéndose que se hará referencia a la tecnología pertinente al tamaño y extensión de la aplicación de automatización de sistemas de riego en viveros.

En las tablas 4.1 y 4.2 se hace un resumen de las diferentes tecnologías de automatización tomándose las características más relevantes a tomar en consideración al momento de evaluar la aplicación como tecnología de automatización de manera general y no específicamente a sistemas de riego, ya que se pretende con estas tablas presentar una comparativa amplia de las tecnologías de automatización, reservándose para otra tabla la evaluación de las características respecto a la aplicación específica respecto a la aplicación en sistemas de riego en viveros.

En las tablas 4.3 y 4.4 se muestra el desempeño de las tecnologías de automatización respecto a los requerimientos específicos de la automatización en sistemas de riego en viveros de modo que se pueda establecer de manera general la aplicabilidad a cada requerimiento.

En las tablas 4.5 y 4.6 se hace una comparativa tomando en cuenta las tecnologías que pueden cumplir los requerimientos de la automatización de sistemas de riego en viveros, es decir que en estas tablas solamente se evalúan aquellas tecnologías que sí cumple

todos los requerimientos, de modo que usando estas tablas podamos tener una visión más clara de cuál de las tecnologías finalmente presenta mejores cualidades. .

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos podemos llegar a las siguientes conclusiones:

Las tecnologías de automatización analizadas según su estructura que se pueden aplicar a la automatización de sistemas de riego en viveros son los PLC y los DCS

Las tecnologías de automatización analizadas según su estrategia que se pueden aplicar a la automatización de sistemas de riego en viveros son el control PID, el control Difuso.

Al comparar las tecnologías de automatización analizadas según su estructura, que cumplen con los requerimientos de la automatización en sistemas de riego en viveros se puede determinar que la que tiene mejor desempeño es PLC debido principalmente a que satisface de mejor manera los requerimientos de control de variables continuas y discretas.

Al comparar las tecnologías de automatización analizadas según su estrategia, que cumplen con los requerimientos de la automatización en sistemas de riego en viveros se puede determinar que la que tiene mejor desempeño es un control PID y un control difuso debido principalmente a que satisface de mejor manera los requerimientos de estabilidad y tiempo de respuesta.

Las presentes conclusiones están basadas en los requerimientos de viveros Génesis Valdivia Trujillo, pero se toma en consideración que los resultados son aplicables a viveros similares.

CAPITULO VII

7. RECOMENDACIONES

El presente estudio no incluye los criterios como el costo y el acceso a la tecnología en el medio local. Se recomienda en un futuro trabajo de investigación cubrir esos criterios faltantes para complementar la información que puede ser de utilidad al momento de seleccionar la apropiada tecnología de automatización.

También se recomienda tomar en cuenta que criterios como la robustez y confiabilidad así como otros factores y características puede ser un tanto distinta de un fabricante a otro por lo cual sería pertinente también agregar como un criterio de evaluación el fabricante.

CAPITULO VIII

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). La importancia de la agricultura en la actualidad. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/a0015s/a0015s04.htm>
- Gutiérrez, D; Muñoz, P; Suarez, A. (2006). Automatización de un Sistema de Riego Agrícola Por Técnica de Goteo y Aspersión. Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma – Perú.
- Gutierrez, J., Porta, M., Romero, E., Villa, J. (2012). Sistema de riego automatizado. Revista Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos elite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo.1 (1) ,3-37.
- La libertad es la primera región agrícola y segunda a nivel agropecuario (20 de mayo del 2013). La Republica. Recuperado de <http://larepublica.pe/20-05-2013/la-libertad-es-la-primera-region-agricola-y-segunda-nivel-agropecuaria>
- Agudelo, R. (2013). Automatización de sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación (trabajo de grado para optar el título de ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá - Colombia.
- Vascones, J., Chamba, F., (2013). Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio. (tesis para la obtención del título de ingeniero electrónico). Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- Enriquez, C., Pretel, E., (2014). Diseño Hidráulico y Agronómico para un Sistema de Riego Tecnificado del Sector La Arena, Distrito Paijan – Chicama. (tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Privada Antenor Orrego.
- Bonifacio Martín del Brio, Alfredo Sanz Molina. “Redes neuronales y sistemas difusos”. 2º Edición. © RA-MA Editorial. 2002.
- Hao Ying. “The simplest fuzzy controllers using different inference methods are different nonlinear proportional-integral controllers with variable gains”. Automática, vol 29 N° 6, pp. 1579-1589. 1993.

- William L. Luyben, Michael L. Luyben. “Essential of process control”. Ed. McGraw-Hill. 1997.
- Control adaptativo y robusto, F.r. rubio y M.j. López, secretariado de publicaciones de la universidad de Sevilla, 1996.
- Fundamentos de los Sistemas de Control del Riego y la Fertilización. Recuperado de http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion3.htm
- Monitoreo de variables de huerto y control total del riego. Redagricola.com. recuperado de <http://www.redagricola.com/reportajes/riego/monitoreo-de-variables-de-huerto-y-control-total-del-riego>
- J. Richalet. “Pratique de la Commande Prédictive”. Hermès. 1993.
- A. Vivas, P. Poignet. “Predictive functional control of a parallel robot”. Control Engineering Practice. Vol. 13. N° 7, pp. 863-874. 2005.
- Morari, M. (1994), Model predictive control: Multivariable control technique of choice in the 1990s?, en D. Clarke, ed., ‘Advances in Model-Based Predictive Control’, Oxford University Press.

