

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un sistema automatizado de riego por
aspersión con generación fotovoltaica para optimizar
el consumo del recurso hídrico en un terreno de
cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba-
2022**

Ronald Ventura Palomino
Franklin Alexander Lima Esperilla

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Joel Contreras Núñez
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 11 de enero de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Ronald Ventura Palomino y Franklin Alexander Lima Esperilla, de la E.A.P. de Ingeniería Eléctrica; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas:) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

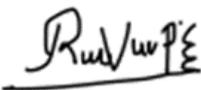
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Ronald Ventura Palomino**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **43931363**, de la E.A.P. de **Ingeniería Eléctrica** de la Facultad de **Ingeniería** la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

03 de enero de 2024.



Ronald Ventura Palomino

DNI. No. 43931363

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Franklin Alexander Lima Esperilla**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **44051716**, de la E.A.P. de **Ingeniería Eléctrica** de la Facultad de **Ingeniería** la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: **“Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.”**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

03 de enero de 2024.



Franklin Alexander Lima Esperilla

DNI. No. 44051716

INFORME DE TESIS

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

8%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	2%
2	repositorio.continental.edu.pe Internet Source	1%
3	fdocuments.ec Internet Source	1%
4	Submitted to Universidad Continental Student Paper	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	1%
6	www.coursehero.com Internet Source	<1%
7	repositorio.unap.edu.pe Internet Source	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	<1%
9	repositorio.uladech.edu.pe Internet Source	<1%

10	www.imn.ac.cr Internet Source	<1 %
11	grupochamartin.com Internet Source	<1 %
12	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
13	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
14	www.uv.mx Internet Source	<1 %
15	www.evans.com.co Internet Source	<1 %
16	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Student Paper	<1 %
17	core.ac.uk Internet Source	<1 %
18	repositorio.unp.edu.pe Internet Source	<1 %
19	es.wikipedia.org Internet Source	<1 %
20	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Student Paper	<1 %

21	repositorio.ual.es:8080 Internet Source	<1 %
22	es.slideshare.net Internet Source	<1 %
23	www.repositorio.upla.edu.pe Internet Source	<1 %
24	repositorio.una.edu.ni Internet Source	<1 %
25	qdoc.tips Internet Source	<1 %
26	repositorio.uncp.edu.pe Internet Source	<1 %
27	repositorio.umsa.bo Internet Source	<1 %
28	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet Source	<1 %
29	fliphtml5.com Internet Source	<1 %
30	1library.co Internet Source	<1 %
31	Submitted to Oak Lawn Community High School Student Paper	<1 %
32	distancia.udh.edu.pe	

Internet Source

<1 %

33

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Student Paper

<1 %

34

Submitted to Universidad Europea de Madrid

Student Paper

<1 %

35

www.dspace.uce.edu.ec

Internet Source

<1 %

36

aulavirtual.cobaep.edu.mx:8084

Internet Source

<1 %

37

repositorio.lamolina.edu.pe

Internet Source

<1 %

38

biblioteca.inia.cl

Internet Source

<1 %

39

docplayer.es

Internet Source

<1 %

40

repositorio.unac.edu.pe

Internet Source

<1 %

41

repositorio.utp.edu.pe

Internet Source

<1 %

42

www.repositorio.unu.edu.pe

Internet Source

<1 %

43

repositorio.udl.edu.pe

Internet Source

<1 %

44

repositorio.utc.edu.ec

Internet Source

<1 %

45

repositorio.ufpso.edu.co

Internet Source

<1 %

46

repositorio.uss.edu.pe

Internet Source

<1 %

47

Submitted to Universidad Manuela Beltrán

Student Paper

<1 %

48

doku.pub

Internet Source

<1 %

49

repositorio.upla.edu.pe

Internet Source

<1 %

50

Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Student Paper

<1 %

51

alicia.concytec.gob.pe

Internet Source

<1 %

52

Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion

Student Paper

<1 %

53

Submitted to antonionarino

Student Paper

<1 %

54	pdfcookie.com Internet Source	<1 %
55	repositorio.uan.edu.co Internet Source	<1 %
56	Submitted to Corporación Instituto Profesional ESUCOMEX Student Paper	<1 %
57	pesquisa.bvsalud.org Internet Source	<1 %
58	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "DAAC del Fundo La Recría-IGA0013918", R.D.G. N° 371-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 Publication	<1 %
59	www.generatuluz.com Internet Source	<1 %
60	OSCAR YANGALI INGENIERIA E.I.R.LTDA.. "DIA del Proyecto Línea de Transmisión 60 kV S.E. Potrero - S.E. Aguas Calientes 4.97 km-IGA0002139", R.D. N° 130-2014-MEM/DGAAE, 2020 Publication	<1 %
61	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Student Paper	<1 %
62	repositorio.espe.edu.ec	

Internet Source

<1 %

63

dspace.espoch.edu.ec

Internet Source

<1 %

64

dspace.unl.edu.ec

Internet Source

<1 %

65

kipdf.com

Internet Source

<1 %

66

listas.20minutos.es

Internet Source

<1 %

67

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Student Paper

<1 %

68

Submitted to Universidad Carlos III de Madrid

Student Paper

<1 %

69

Submitted to Universidad Técnica Nacional de
Costa Rica

Student Paper

<1 %

70

Submitted to Universidad del Istmo de
Panamá

Student Paper

<1 %

71

Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y
de Estudios Superiores de Monterrey

Student Paper

<1 %

72

Submitted to Universidad Nacional del Centro
del Peru

<1 %

73 invirtiendo.net <1 %
Internet Source

74 repositorio.unsaac.edu.pe <1 %
Internet Source

75 www.induambiente.com <1 %
Internet Source

76 zu.fourcornersdailypost.com <1 %
Internet Source

77 Submitted to Infile <1 %
Student Paper

78 prezi.com <1 %
Internet Source

79 www.clubensayos.com <1 %
Internet Source

80 www.tradeknowledgenetwork.net <1 %
Internet Source

81 Submitted to Centro Europeo de Postgrado -
CEUPE <1 %
Student Paper

82 Mario Arturo Rincón Villalba, Wilson Ernesto
Vargas Vargas, Carlos Javier González
Vergara. "Topografía", Ecoe Ediciones S. A. S.,
2023 <1 %
Publication

83	Submitted to Submitted on 1685735528442 Student Paper	<1 %
84	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Student Paper	<1 %
85	docs.google.com Internet Source	<1 %
86	repositorio.unprg.edu.pe Internet Source	<1 %
87	tesis.pucp.edu.pe Internet Source	<1 %
88	idoc.pub Internet Source	<1 %
89	repositorio.upagu.edu.pe Internet Source	<1 %
90	www.energuia.com Internet Source	<1 %
91	www.scielo.org.mx Internet Source	<1 %
92	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Student Paper	<1 %
93	KLOHN CRIPPEN BERGER S.A.. "MEIA del Proyecto Minero Antamina por Incremento de Reservas y Optimización del Plan de Minado.-	<1 %

IGA0013037", R.D. N° 054-2011-MEM-AAM ,
2021

Publication

94	bibdigital.epn.edu.ec Internet Source	<1 %
95	bibliotecas.unsa.edu.pe Internet Source	<1 %
96	ebano.csic.es Internet Source	<1 %
97	fing.uncu.edu.ar Internet Source	<1 %
98	myslide.es Internet Source	<1 %
99	pt.slideshare.net Internet Source	<1 %
100	renewables-online.de Internet Source	<1 %
101	vbook.pub Internet Source	<1 %
102	www.evans.com.mx Internet Source	<1 %
103	www.portalfruticola.com Internet Source	<1 %
104	www.sei.org Internet Source	<1 %

105	A Castellanos-Vera, E Rivera. "Hunting patterns and success of an osprey (<i>Pandion haliaetus</i>) population at Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico", <i>Ciencias Marinas</i> , 2007 Publication	<1 %
106	de.slideshare.net Internet Source	<1 %
107	dokumen.pub Internet Source	<1 %
108	energie-cites.org Internet Source	<1 %
109	guide.directindustry.com Internet Source	<1 %
110	investigacion.unirioja.es Internet Source	<1 %
111	issuu.com Internet Source	<1 %
112	meeting.aacc.org Internet Source	<1 %
113	mundoinformatico321.blogspot.com Internet Source	<1 %
114	paleodiversitas.org Internet Source	<1 %

115	pdffox.com Internet Source	<1 %
116	portal.anla.gov.co Internet Source	<1 %
117	quimixmasterbig.blogspot.com Internet Source	<1 %
118	repositorio.espam.edu.ec Internet Source	<1 %
119	repositorio.ug.edu.ec Internet Source	<1 %
120	repositorio.ulasamericas.edu.pe Internet Source	<1 %
121	repositorio.umb.edu.pe:8080 Internet Source	<1 %
122	repositorio.unc.edu.pe Internet Source	<1 %
123	repositorio.unfv.edu.pe Internet Source	<1 %
124	repositorio.unicordoba.edu.co Internet Source	<1 %
125	repositorio.utelesup.edu.pe Internet Source	<1 %
126	repository.unad.edu.co Internet Source	<1 %

127	repository.unipiloto.edu.co Internet Source	<1 %
128	sites.google.com Internet Source	<1 %
129	tesis.ipn.mx Internet Source	<1 %
130	Submitted to uniminuto Student Paper	<1 %
131	www.aragon.es Internet Source	<1 %
132	www.escet.urjc.es Internet Source	<1 %
133	www.noticias-oax.com.mx Internet Source	<1 %
134	www.prnewswire.com Internet Source	<1 %
135	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
136	www.sap.org.ar Internet Source	<1 %
137	www.scribd.com Internet Source	<1 %
138	www.sembrar100.com Internet Source	<1 %

139 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 19 (2003)", Brill, 2007 <1 %
Publication

140 CONSULTORIA INTERNACIONAL EN INGENIERIA Y GESTION PARA EL DESARROLLO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA-CINYDE. "PMA de Reúso de Agua Residual de la Unidad Productiva (Operativa) de la Central Térmica Ventanilla, para su Adecuación a la Cuarta Disposición Complementaria Transitoria del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante D.S. N° 001-2010-AG-IGA0001559", R.D. N° 285-2014-MEM/DGAAE , 2020 <1 %
Publication

141 Christian Xavier Briceño León. "Contributions to the design of pumping stations in water distribution networks considering technical, economic and environmental aspects.", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 <1 %
Publication

142 bdigital.zamorano.edu <1 %
Internet Source

143 d.documentop.com <1 %
Internet Source

144 dspace.unitru.edu.pe
Internet Source

<1 %

145 elartesanoaldia.org
Internet Source

<1 %

146 energiasolarfotovoltaica.org
Internet Source

<1 %

147 es.hfjnge.com
Internet Source

<1 %

148 es.hhfertilizers.com
Internet Source

<1 %

149 fr.scribd.com
Internet Source

<1 %

150 kalaharijournals.com
Internet Source

<1 %

151 miriadax.net
Internet Source

<1 %

152 oa.upm.es
Internet Source

<1 %

153 redd.unfccc.int
Internet Source

<1 %

154 repositorio.unapiquitos.edu.pe
Internet Source

<1 %

155 repositorio.undac.edu.pe
Internet Source

<1 %

156	repositorio.upao.edu.pe Internet Source	<1 %
157	slideplayer.es Internet Source	<1 %
158	uvadoc.uva.es Internet Source	<1 %
159	www.iproga.org.pe Internet Source	<1 %
160	www.jove.com Internet Source	<1 %
161	"Recent Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Publication	<1 %
162	Anthony J. Smith. "Rainfall and irrigation controls on groundwater rise and salinity risk in the Ord River Irrigation Area, northern Australia", Hydrogeology Journal, 2008 Publication	<1 %
163	livrosdeamor.com.br Internet Source	<1 %
164	"Intelligent Technologies: Design and Applications for Society", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Publication	<1 %

165 futur.upc.edu
Internet Source

<1 %

166 repositorio.unj.edu.pe
Internet Source

<1 %

167 vbn.aau.dk
Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

AGRADECIMIENTO

Infinitamente, a nuestro asesor, quien nos guio paso a paso en la elaboración de nuestra tesis.

A nuestras familias que estuvieron todo el tiempo a nuestro lado, apoyándonos incondicionalmente.

También, a mis compañeros de estudio por compartir opiniones y apoyo en muchas informaciones necesarias que permitieron el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIA

A todos nuestros excompañeros y docentes con quienes compartimos experiencias y conocimientos.

Para nuestras familias que son nuestro motivo de seguir luchando cada día y avanzar en el mundo profesional.

RESUMEN

La presente investigación utiliza la automatización y la tecnología fotovoltaica, con el objetivo de diseñar un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el centro poblado mayor (C. P. M.) de Mayobamba.

A partir de datos meteorológicos de fuentes confiables como el Senamhi y Meteonorm, se realizan los cálculos hidráulicos, dimensionamiento del sistema eléctrico y de control. En la parte hidráulica se seleccionan los componentes necesarios y se hace el diseño de los reservorios, en la parte del sistema eléctrico se realiza el diseño fotovoltaico y selección de todos los demás accesorios; ya en la parte de control se consideran todos los dispositivos que comandan y manejan los tiempos adecuados de riego con base en un análisis de velocidades de viento y temperaturas tomadas en campo.

El tipo de investigación es tecnológica, la metodología usada es la I+P+D3 (Investigación + Planificación + Definición del producto, diseño y desarrollo) que se acomoda con el proceso de diseño y el desarrollo de este proyecto; para facilitar el diseño y simulación se empleó varios *softwares*, como son AutoCAD, CROPWAT, S7-PLCSIM V17 y TIA Portal.

El resultado de la investigación fue el diseño de un sistema de riego por aspersión constituido básicamente por 3 subsistemas: hidráulico, eléctrico y control, que funciona de acuerdo con los requerimientos; los resultados de la simulación fueron favorables y demuestran que el horario óptimo para realizar los riegos va desde las 05:00 p. m. hasta las 02:00 a. m., la electrobomba realiza su trabajo en el horario de mayor radiación solar para llenar el tanque superior y los aspersores trabajan eficientemente en las horas de riego.

Palabras claves: aspersor, automatización, electroválvula, PLC, recurso hídrico

ABSTRACT

This research uses automation and photovoltaic technology, with the objective of designing an automated sprinkler irrigation system with photovoltaic generation to optimize the consumption of water resources in a field of Aguaymanto in the CPM of Mayobamba.

Based on meteorological data from reliable sources such as Senamhi and Meteonorm, hydraulic calculations, sizing of the electrical and control system are made. In the hydraulic part, the necessary components are selected, and the design of the reservoirs is made; in the electrical system, the photovoltaic design and selection of all the other accessories are made; and in the control part, all the devices that command and manage the adequate irrigation times are considered based on an analysis of wind speeds and temperatures taken in the field.

The type of research is technological, the methodology used is the I+P+D3 (Research + Planning + Product definition, design and development) that fits with the design process and the development of our project; to facilitate the design and simulation several softwares were used, such as AutoCAD, CROPWAT, S7-PLCSIM V17 and TIA Portal.

The result of the research was the design of a sprinkler irrigation system basically consisting of 3 subsystems: hydraulic, electrical and control that works according to the requirements; the results of the simulation were favorable and show that the optimal time for irrigation is from 05:00 p. m. to 02:00 a. m., the electric pump works during the hours of highest solar radiation to fill the upper tank and the sprinklers work efficiently during the irrigation hours.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords: automation, PLC, solenoid valve, sprinkler, water resources

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de Contenidos	vi
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Introducción	xiv
Capítulo I	15
Planteamiento del Estudio	15
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.....	15
1.1.1. Planteamiento de Problema.....	15
1.1.2. Formulación de Problemas.....	16
1.1.2.1. Problema General.....	16
1.1.2.2. Problemas Específicos.....	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.3.1. Implicación Práctica.....	17
1.3.2. Relevancia Social.....	17
1.3.3. Metodológica.....	18
Capítulo II	19
Marco Teórico	19
2.1. Antecedentes del Problema	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	21
2.1.3. Antecedentes Regionales.....	23
2.2. Bases Teóricas.....	25
2.2.1. Sistema de Riego Automatizado.....	25
2.2.1.1. Definición.....	25
2.2.1.2. Reseña Histórica.....	25

2.2.1.3. Beneficios.....	26
2.2.2. Sistema Hidráulico de un Sistema de Riego Automatizado.....	26
2.2.2.1. Definición de Sistema Hidráulico	26
2.2.2.2. Consumo del Recurso Hídrico.....	27
2.2.2.3. Agua de Riego	27
2.2.2.4. Base Legal.....	28
2.2.2.5. Tipos de Sistemas de Riego.....	29
2.2.2.6. Riego por Aspersión	29
2.2.2.7. La Evapotranspiración (ET).....	38
2.2.3. Sistema Eléctrico de un Sistema de Riego Automatizado	39
2.2.3.1. Definición de Sistema Eléctrico.....	39
2.2.3.2. Principales Componentes del Sistema Eléctrico.....	40
2.2.3.3. Sistema Fotovoltaico	47
2.2.3.4. Puesta a Tierra	58
2.2.4. Sistema de Control de un Sistema de Riego Automatizado.....	59
2.2.4.1. Componentes electrónicos.....	59
2.2.4.2. Softwares de Diseño y Simulación.....	61
2.2.5. El aguaymanto	64
2.3. Definición de Términos Básicos	65
2.3.1. Automatizado	65
2.3.2. Caudal.....	65
2.3.3. Centrífuga	65
2.3.4. Fajas	65
2.3.5. Mecanizadas.....	65
2.3.6. Nivel Freático	65
2.3.7. Percolación.....	66
2.3.8. Presurizado.....	66
2.3.9. Radicular.....	66
2.3.10. Tablares.....	66
2.3.11. Fitting.....	66
Capítulo III.....	67
Metodología.....	67
3.1. Metodología Aplicada para el Desarrollo de la Solución.....	67
3.1.1. Etapas de la Metodología.....	67
3.1.1.1. Investigación.....	67
3.1.1.2. Planificación y Clarificación	67
3.1.1.3. Definición del Producto	68

3.1.1.4. Diseño.....	68
3.1.1.4. Desarrollo.....	68
3.2. Aplicación de la Metodología I+P+D3	68
3.2.1. Investigación	68
3.2.1.1. Datos de Campo.....	69
3.2.1.2. Coordenadas	69
3.2.2. Planificación y Clarificación.....	69
3.2.3. Definición del Producto.....	70
3.2.4. Diseño.....	72
3.2.4.1. Cálculos Hidráulicos.....	72
3.2.4.2. Cálculo Eléctrico para Riego por Aspersión	72
3.2.4.3. Cálculos del Sistema de Control	73
3.2.4.4. Diagramas y Planos	74
3.2.4.5. Creación del Prototipo y Simulación en Software	74
3.2.5. Desarrollo.....	74
Capítulo IV.....	75
Análisis y Diseño de la Solución.....	75
4.1. Identificación de Requerimientos.....	75
4.1.1. Requerimientos Funcionales	78
4.1.2. Requerimientos no Funcionales.....	80
4.2. Análisis de la Solución.....	80
4.2.1. Sistema Hidráulico.....	81
4.2.2. Sistema Eléctrico	82
4.2.2.1. Tablero.....	82
4.2.2.2. Electrobomba tipo Bala.....	82
4.2.2.3. Electroválvulas.....	82
4.2.2.4. Relés	83
4.2.2.5. Electronivel	83
4.2.2.6. Sistema de Generación Fotovoltaica	83
4.2.3. Sistema de Control.....	83
4.2.3.1. Los Sensores de Humedad 24 V DC.....	83
4.2.3.2. Determinación de la Velocidad del Viento Adecuado para Riego.....	84
4.2.3.3. Determinación de la Temperatura Óptima para el Riego.....	84
4.3. Diseño.....	84
4.3.1. Diseño del Sistema Hidráulico	87
4.3.1.1. Datos para Diseño Hidráulico.....	87
4.3.1.2. Evapotranspiración de Referencia.....	88

4.3.1.3.Cálculo del Requerimiento Hídrico.....	90
4.3.1.4.Elección de Aspersor.....	91
4.3.1.5.Tiempo y Frecuencia de Riego del Cultivo de Referencia.....	95
4.3.1.6.Determinación de la Presión Hidráulica Entregada.....	96
4.3.1.7.Determinación de la Electrobomba.....	98
4.3.1.8.Elección de Tuberías, Mangueras y Fitting.....	102
4.3.2. Diseño Eléctrico.....	104
4.3.2.1.Sistema Eléctrico.....	105
4.3.3. Diseño de control.....	128
4.3.3.1.Análisis de parámetros.....	129
4.3.3.2.Dispositivos de Control.....	135
Capítulo V	137
Construcción.....	137
5.1. Construcción.....	137
5.1.1. Prototipo Virtual.....	137
5.1.1.1.Programa TIA PORTAL.....	137
5.1.2. Ensamble Virtual en el Programa SketchUp.....	140
5.2. Pruebas y Resultados.....	141
5.2.1. Pruebas.....	141
5.2.1.1.Pruebas Mediante Simulación en PLCSIM V17.....	141
5.2.2. Resultados.....	146
Conclusiones.....	148
Trabajos futuros.....	150
Lista de referencias.....	151
Anexos.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores que determinan la eficiencia del riego	31
Tabla 2. Capacidad de corriente en cables de Cu.....	41
Tabla 3. Factores para determinar el rendimiento	54
Tabla 4. Coordenadas del terreno intervenido	69
Tabla 5. Características topográficas del terreno	87
Tabla 6. Promedio de datos meteorológicos por mes durante el año 2022	87
Tabla 7. Datos topográficos del terreno	97
Tabla 8. Datos técnicos de electrobomba de referencia.....	99
Tabla 9. Promedio de temperaturas	114
Tabla 10. Cargas para demanda energética	117
Tabla 11. Datos para determinación de paneles.....	118
Tabla 12. Datos del panel fotovoltaico	119
Tabla 13. Influencia de la temperatura en celda.....	120
Tabla 14. Potencia corregida del generador fotovoltaica	121
Tabla 15. Cuadro resumen de la determinación de baterías	122
Tabla 16. Elección del regulador.....	124
Tabla 17. Elección del inversor.....	125
Tabla 18. Elección de conductores eléctricos	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Riego tecnificado por aspersión.....	30
Figura 2. Componentes hidráulicos de un sistema de riego por aspersión.....	32
Figura 3. Reservorio	32
Figura 4. Posturas de riego por aspersión.....	33
Figura 5. Tuberías HDPE y sus accesorios fittings	34
Figura 6. Tuberías PVC y sus accesorios fittings.....	34
Figura 7. Partes de un aspersor	35
Figura 8. Manómetro	35
Figura 9. Evapotranspiración.....	38
Figura 10. Factores del suelo	39
Figura 11. Fórmulas de la ley de Ohm.....	40
Figura 12. Bomba hidráulica	41
Figura 13. Bomba sumergible tipo bala.....	42
Figura 14. Partes de un tablero eléctrico de distribución	43
Figura 15. Partes de un interruptor termomagnético	44
Figura 16. Partes de un guardamotor.....	44
Figura 17. Contactor trifásico de 220 V.....	45
Figura 18. Interruptor flotador.....	46
Figura 19. Electroválvula.....	46
Figura 20. Relé de potencia.....	47
Figura 21. Generación fotovoltaica para riego por aspersión	48
Figura 22. Componentes de un sistema fotovoltaico.....	49
Figura 23. Horas solar pico.....	50
Figura 24. Coordenadas solares	51
Figura 25. Conexión interna de un panel módulo FV.....	53
Figura 26. Conexión en serie de paneles.....	56
Figura 27. Conexión en paralelo de paneles.....	57
Figura 28. Conexión mixta de paneles.....	57
Figura 29. Instalación de electrodo de PAT en configuración vertical.....	59
Figura 30. Sensor de agua de 5 V.....	60
Figura 31. PLC Simatic S7-1200	60
Figura 32. Arrancador suave.....	61

Figura 33. AutoCAD 2020	62
Figura 34. Vista del entorno de S7-PLCSIM V17	62
Figura 35. Vista de entorno de SketchUp.....	63
Figura 36. Entorno de trabajo del PVsyst versión 7.3	63
Figura 37. Valor nutricional del aguaymanto	64
Figura 38. Respuesta de la pregunta 1	76
Figura 39. Respuesta de la pregunta 2	76
Figura 40. Respuesta de la pregunta 6	77
Figura 41. Respuesta de la pregunta 8	77
Figura 42. Respuesta de la pregunta 9	78
Figura 43. Diseño hidráulico.....	85
Figura 44. Diseño de control.....	86
Figura 45. Cálculo de evapotranspiración con software CROPWAT	89
Figura 46. Coeficientes de cultivo.....	90
Figura 47. Aspersores	92
Figura 48. Vista panorámica del terreno	94
Figura 49. Disposición de aspersores en AutoCAD	94
Figura 50. Datos de campo.....	96
Figura 51. Cálculo de la presión en tuberías.....	98
Figura 52. Curva de carga dinámica y eficiencia de la electrobomba de referencia	99
Figura 53. Datos técnicos de tuberías HDPE.....	103
Figura 54. Diseño de reservorio 1	104
Figura 55. Diseño de reservorio 2	104
Figura 56. Diseño de tablero.....	105
Figura 57. Llave termomagnética.....	106
Figura 58. Contactor.....	107
Figura 59. Guardamotor	107
Figura 60. Arrancador suave.....	108
Figura 61. Electroválvula	109
Figura 62. Relé seleccionado y especificaciones	109
Figura 63. Datos meteorológicos según PVsyst.....	111
Figura 64. Energía solar incidente diaria promedio anual del Perú.....	112
Figura 65. Carta solar obtenida en el software Meteonorm.....	115
Figura 66. Ángulo de inclinación óptima.....	115
Figura 67. Ángulo de inclinación y giro óptimo en el software PVsyst	116
Figura 68. Curva de profundidad de descarga de la batería	123
Figura 69. Especificaciones técnicas de la batería	123

Figura 70. Seguimiento del punto de potencia máxima del cargador.....	124
Figura 71. Especificaciones técnicas del cargador.....	125
Figura 72. Especificaciones técnicas del invensor.....	126
Figura 73. Detalle de puesto a tierra.....	127
Figura 74. Cables fotovoltaicos.....	128
Figura 75. Mediciones con el anemómetro.....	130
Figura 76. Primer día de medición con anemómetro.....	130
Figura 77. Segundo día de medición con anemómetro.....	131
Figura 78. Tercer día de medición con anemómetro.....	131
Figura 79. Cuarto día de medición con anemómetro.....	132
Figura 80. Quinto día de medición con anemómetro.....	132
Figura 81. Sexto día de medición con anemómetro.....	133
Figura 82. Séptimo día de medición con anemómetro.....	133
Figura 83. Octavo día de medición con anemómetro.....	134
Figura 84. Sensor de presencia de agua.....	136
Figura 85. Plc Simatic S7-1200.....	136
Figura 86. Bloques de programa, segmentos 1 y 2.....	138
Figura 87. Bloques de programa, segmentos 3, 4 y 5.....	139
Figura 88. Bloques de programa, segmentos 6 y 7.....	140
Figura 89. Sistema de riego en 3D.....	141
Figura 90. Simulación caso 1.....	142
Figura 91. Simulación caso 2.....	142
Figura 92. Simulación caso 3.....	143
Figura 93. Simulación caso 4.....	143
Figura 94. Simulación caso 5.....	143
Figura 95. Simulación caso 6.....	144
Figura 96. Simulación caso 7.....	144
Figura 97. Simulación caso 8.....	145
Figura 98. Simulación caso 9.....	145
Figura 99. Simulación caso 10.....	146
Figura 100. Simulación caso 11.....	146

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el recurso hídrico supone el mayor problema para diversos países con un importante sector agrícola, como es el caso de Perú. La falta de agua para abastecer los riegos de los cultivos que cubren los mercados que cada vez son más integrados y competitivos por los procesos de globalización, el 70 % del agua que se extrae en el mundo se utiliza en el agro y la necesidad alimentaria que cada vez va en aumento debido al crecimiento poblacional, obligan a desarrollar sistemas que optimicen la utilización de este recurso [1].

El centro poblado mayor de Mayobamba, región de Huánuco, se caracteriza por ser uno de los sectores agrícolas de mayor producción de la región. El sistema de riego actual con la que cuentan es del tipo inundación y se aprecia claramente un desperdicio de agua que genera desabastecimiento del recurso ocasionando que muchos agricultores se queden sin realizar sus sembríos en épocas de estiaje.

Para resolver el problema planteado, se propone un diseño que garantiza el abastecimiento del recurso hídrico de manera que satisface las necesidades de los productores por más de 25 años y que, además, lo realicen de una manera automatizada empleando tecnologías contemporáneas que forman parte de la industria 4.0.

El principal objetivo del proyecto es diseñar un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto, los datos topográficos de la zona sirvieron como base para los demás estudios, con ello se obtuvieron los datos climatológicos brindados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), que sirvieron para realizar los cálculos hidráulicos, eléctricos y de control.

El desarrollo de esta investigación fue encaminado con base en los siguientes capítulos: capítulo I, planteamiento del estudio; capítulo II, marco teórico; capítulo III, metodología; capítulo IV, análisis y diseño de la solución; capítulo V, construcción; conclusiones y trabajos futuros.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1. Planteamiento de Problema

En el contexto actual de la agricultura sostenible y la conservación de recursos naturales, el manejo eficiente del agua en la producción agrícola es esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la sustentabilidad ambiental. Han aparecido obstáculos a nivel mundial que se añaden al objetivo de asegurar la alimentación global. Estos surgen a raíz del constante aumento de la temperatura del planeta, el declive de los recursos naturales tales como el agua y el suelo, la disminución de la diversidad biológica y el aumento de enfermedades que impactan vastas zonas geográficas [2].

El Ministerio de Agricultura y Riego (Midagri) en el IV Censo (Censo Nacional Agropecuario) indica que la disparidad en la infraestructura de riego en el Perú demuestra que el 36 % de la extensión de tierras de cultivo cuenta con riego, en tanto que el 64 % restante depende de la lluvia (secano). En cuanto a la superficie de cultivo, el 43.5 % se beneficia de sistemas de riego, de los cuales el 87 % se encuentra en la costa, mientras que solo el 30 % está en la sierra. La modalidad de riego predominante en las tierras de cultivo con riego es la de gravedad, abarcando el 88 %, y únicamente un 4.3 % se utiliza para riego tecnificado [3].

El centro poblado mayor de Mayobamba, ubicado en el distrito de Chinchao, región Huánuco, con coordenadas: 380283 m este, 8920878 m sur y una altitud de 2475 m s. n. m.; ceja de selva, dedicado principalmente a la agricultura, cuenta con dos tipos de microclimas que hace que se diferencie la parte alta con la parte baja, haciendo

posible la producción de diversos productos agrícolas a lo largo de todo el año, entre ellos el aguaymanto; con la diferencia que en épocas de verano, debido a la escases del recurso hídrico, la parte baja por ser de terrenos secos y un poco pedregosos, dificulta la realización de los cultivos. En la actualidad, los terrenos de cultivo de la zona no cuentan con riego tecnificado para el mayor aprovechamiento del recurso hídrico; en tanto, están a la espera de las lluvias en el caso de la agricultura de secano, y en el caso de un sistema de riego por inundación se tiene que no abastece a los terrenos en su totalidad. El cultivo de aguaymanto (*Physalis peruviana*) en el CPM Mayobamba representa una actividad agrícola significativa y de valor económico en la región. Sin embargo, la falta de un sistema de riego eficiente y sostenible podría estar limitando el rendimiento de los cultivos y contribuyendo al uso inadecuado del recurso hídrico, es por ello el interés de diseñar un sistema de riego automatizado, utilizando métodos tecnológicos para optimizar el recurso hídrico; constituido por subsistemas eléctricos, hidráulicos y de control, para ello se realiza un estudio que incluye los cálculos, mediciones, simulaciones, entre otros.

1.1.2. Formulación de Problemas

1.1.2.1. Problema General

¿Cuál sería el diseño más adecuado de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las características del subsistema hidráulico del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022?
- ¿Cuáles son las características del subsistema eléctrico del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022?
- ¿Cuáles son los componentes del subsistema de control del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para

optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el subsistema hidráulico del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022.
- Diseñar el subsistema eléctrico del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022.
- Diseñar el subsistema de control del sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba – 2022.

1.3. Justificación

1.3.1. Implicación Práctica

El resultado de la presente investigación permitirá el accionamiento de un sistema de riego automatizado que ayudará con el manejo correcto del recurso hídrico y un mejor control del riego en un tiempo adecuado y con las cantidades necesarias, resolviendo de esa manera la escasez de agua en épocas de verano, volviendo al terreno productivo con disponibilidad durante todo el año, generando un desarrollo para la agricultura local.

1.3.2. Relevancia Social

Los resultados de la presente investigación beneficiarán a los agricultores de CPM de Mayobamba porque podrán disminuir los costos de sus procesos productivos, a partir de la optimización del recurso hídrico, promoviendo una cultura de uso responsable del agua y el uso de menos horas hombres en el riego de las plantas, con

esto se generará una mayor rentabilidad, así mismo, se verán beneficiadas las familias de agricultores porque dispondrán de mayores recursos económicos producto de la agricultura.

1.3.3. Metodológica

La presente investigación se basa en la necesidad de aplicar un enfoque innovador que combine las tecnologías de automatización y energías renovables para el manejo del riego en el cultivo de aguaymanto, permitiendo optimizar el consumo del recurso hídrico y mejorar la eficiencia agrícola en la comunidad de Mayobamba.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

La tesis «Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación en una granja vertical» [4]. Tiene como objetivo el diseño e implementación controlada de un sistema de irrigación y la iluminación de manera artificial, en una granja de disposición vertical, ubicada en las infraestructuras de la universidad San Buena Ventura. La metodología implementada en esta investigación es de tipo experimental, realizándose investigaciones sobre la planta y sus etapas evolutivas, así como, el desarrollo del *software*, *hardware* y la planta física utilizada. Los resultados que obtuvieron fueron los datos deseados, pues se esperaba este comportamiento tanto en la temperatura, la humedad y la luz, este último con la intensidad brindada siguió el patrón deseado. Concluyéndose exitosamente la implementación del sistema de iluminación y del control del riego con la sincronización de los controladores e higrómetros instalados en el terreno, haciendo que el terreno tenga un humedecimiento adecuado, de acuerdo con lo requerido para este tipo de planta (cilantro).

La tesis «Sistema de riego automatizado basado en IoT utilizando variables ambientales para cultivos de berenjenas en la finca La Esperanza del municipio de Chinú – Córdoba, 2020» [5]. Tiene como objetivo la implementación y la realización del diseño automático de un sistema de irrigación usando IoT («Internet of Things» o traducido al castellano «internet de las cosas») y monitoreando diferentes datos del medio ambiente para desarrollar excelentes cultivos de berenjena. La metodología es de modelo experimental aplicativo, ya que los datos son adquiridos de forma práctica

y teórica, referenciando citas bibliográficas en libros, etc. Los resultados obtenidos fueron la creación de unos dispositivos capaces de conservar la operatividad del riego, mejorando el control, los registros con la ayuda de los sensores. Asimismo, concluye, que se alcanzó con éxito el diseño de un sistema de irrigación con la capacidad de monitorear la humedad de los terrenos agrícolas. Recomienda realizar el mantenimiento del sistema como las conexiones, los sensores y evitar que se deteriore rápidamente, para las diferentes programaciones y las actualizaciones se debe realizar por personal profesional.

La tesis «Diseño de una instalación de bombeo para el riego de una finca» [6]. Tiene como objetivo trasladar el recurso hídrico desde el subsuelo, los cuales están constituidos de un par de pozos, que alimentan a un tanque primario, que está ubicado en la parte más elevada del lugar, de este reservorio se reparte de manera gravitatoria a todos los sectores del terreno mediante tuberías, para regar por goteo todo el cultivo y obtener buenos productos de exportación para generar ganancias. La metodología de la investigación fue del tipo experimental, donde se tuvo que realizar diversos cálculos hidráulicos, eléctricos, electrónicos, como también análisis de equipos de bombeo y sus dimensionamientos; así como, estudios climatológicos. Obteniéndose como resultados el bombeo de agua de la mejor forma y así aprovechar al máximo sin afectar al ecosistema, también poniendo en funcionamiento automáticamente desde su inicio con la tecnología ya mencionada, pese a su costo de implementación, pero que a la larga se volvería rentable.

La tesis «Diseño de sistema de bombeo a base de energía solar para suministro de agua» [7]. Tiene como objetivo el diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar, utilizando teorías, realizando prototipos y analizando las diferencias respecto a un sistema de bombeo a gasolina. La metodología de investigación empleada fue el analítico – experimental, utilizando técnicas matemáticas y prototipos. Los resultados obtenidos demuestran que las fuentes renovables son más económicas que las fuentes de energía fósiles y no contaminan el medio ambiente, su eficiencia es similar si están bien dimensionados, recomendándose diseñar un sistema de bombeo de corriente alterna, utilizando inversor de corriente con paneles solares, también se puede realizar un análisis de un sistema de bombeo de corriente directa comparándolo con una red eléctrica, para ver diferencias económicas.

La tesis «Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IoT en los cultivos urbanos de la

fundación mujeres empresarias Marie Poussepin» [8]. Tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de riego automático y con variables ambientales monitoreados mediante IoT. Mediante el método de estudio experimental, ya que se analizan los efectos de las variables ambientales sobre los cultivos y realizar un procedimiento para su control, obteniendo como resultados la implementación de todos los componentes necesarios y que el principal problema es la temperatura de desarrollo de las plantas, siendo necesario hermetizar el área y que el riego, al ser por goteo, es lento para humedecer la tierra y en tanto los sensores demoran en reaccionar. Concluyendo que la implementación tiene el propósito fundamental de automatizar el riego, mejorar la calidad del cultivo, evitar la propagación de plagas y evitar la exposición a condiciones climáticas extremas, ayudando de esa manera a facilitar el riego a las mujeres que conviven ahí al ser de avanzada edad. Recomienda que si se quiere replicar este modelo se debe tener en cuenta las diferentes condiciones, ya que varían de un punto a otro, si se desea un control más exacto de todas las variables ambientales que es fundamental para el desarrollo de los productos, se pueden implementar más componentes para un mejor monitoreo, como por ejemplo monitorear el control de la luz, PH del suelo o la concentración de CO₂.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

La tesis «Planificación y diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de arándano (*Vaccinium Myrtillus*) en el fundo Lefkada de 116.64 hectáreas (ha) del sector de riego Olmos, utilizando *software* de diseño» [9]. Propone como objetivo diseñar y planificar un sistema de irrigación del tipo goteo para la producción de cultivos de arándanos, en una extensión de 116.64 hectáreas. Con una metodología cuantitativa, analítica y no experimental. Los resultados obtenidos fueron que se planificó el proyecto con 2 equipos de riego de 58.72 ha cada una, el diseño incluye un sistema automático y de fertilización, que logra determinar la cantidad adecuada del recurso hídrico para el terreno de cultivo en un lapso determinado. También se implementó un manual para operar y su respectivo mantenimiento. El costo del proyecto es de USD 998,148.18 dólares, en conclusión, se cubrieron todas las exigencias conforme a las necesidades que presenta el terreno de cultivo. Se recomienda conocer los manejos de cultivo de arándano y el tiempo necesario de riego; al usar el *software* hacer una correcta creación de la base de datos y a los equipos a utilizar siempre darles un factor de seguridad.

La tesis «Diseño para la implementación de un sistema de riego tecnificado en el campamento Villa Cuajone, Southern Perú Copper Corporación, Moquegua,

Perú» [10]. Propone como objetivo impulsar un diseño para llevar a cabo un proyecto de irrigación con el método de aspersión en las áreas verdes de un campamento. El tipo de metodología que aplica en el presente proyecto es experimental, realizando un diseño agrónomo con equipos especializados y automatizados, determinando las necesidades de agua en el césped. Como resultado se instaló el proyecto de riego automático con el método de aspersión en un área de 2.7 hectáreas que beneficiará a 60 hogares, para ejecutar el diseño se utilizó un sistema informático llamado Cropwat 8, como la información del clima del lugar. Recomendando para la operación comprobar el funcionamiento de las válvulas, colocar las válvulas en las partes más altas de las redes principales y de manera vertical, y para el mantenimiento controlar hermeticidad y de ser el caso reemplazar válvulas.

La tesis «Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la hacienda Durand» [11]. Tiene como objetivo realizar el diseño de un proceso automático de irrigación por el método de goteo, con el fin de alcanzar una mayor productividad de maíz en la finca Durand, evaluando la situación actual del riego y el cambio económico que traería la nueva opción; la metodología implementada fue del tipo aplicado haciendo uso de conocimientos en ingeniería en el rubro de la agricultura, buscando una mejora en las cosechas. Después realizar los diversos diseños ingenieriles e implementados estos en campo, los resultados serían que se lograría cultivar 8 ha de maíz regados por el método de goteo, con mucha mayor eficiencia respecto a un sistema convencional por inundación; concluyéndose que para regar 8 hectáreas con cultivos de maíz serían necesarias 2 electrobombas trifásicas de 10 HP cada uno y utilizando como eje principal de la automatización un PLC; recomendándose respetar los niveles de caudal necesarios para cada etapa de la planta, evitando así generar escases o saturación de agua; también, se sugiere que en el futuro se cambie la red eléctrica comercial por un sistema fotovoltaico, y de esa manera reducir gastos económicos.

La tesis «Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupe – La Libertad» [12]. Tiene como objetivo el diseño de un sistema de bombeo solar directo por el método de goteo para 7 hectáreas de sembrío de palto, evaluando la radiación solar, la demanda de agua requerida, el dimensionamiento de bombeo y la evaluación económica, en el distrito de Guadalupe, La Libertad. Los métodos utilizados fueron del tipo cuantitativo con la existencia de hipótesis y sus variables, las cuales son cuantificables, así mismo, el proyecto es del tipo no experimental y aplicado porque se basa en fundamentos de ingeniería, el diseño es

descriptivo porque es rigurosamente distinguido, obteniendo como resultado el dimensionamiento de la electrobomba sumergible con una potencia de 7.5 kW, para las 7 hectáreas se cuenta con una irradiación de entre 4.72 kWh/m²-día, hasta 6.66 kWh/m²-día y que el sistema de bombeo fotovoltaico es rentable. Concluyendo que se usará el criterio de irradiación de febrero, que es 5.90 kWh/m²-día, se usarán 28 paneles de 370 Wp, con una inversión de S/ 58836.44, retornable en 10 años, se recomienda la instalación del proyecto para este terreno y parcelas aledañas, así como, su mantenimiento continuo de todos los módulos de llegarse a implementarse, pues de lo contrario la consecuencia sería la disminución de la eficiencia.

La tesis «Diseño hidráulico de un sistema de riego tecnificado por goteo para productos orgánicos en la localidad de Conache, distrito de Laredo, Trujillo, 2017» [13]. Tiene como objetivo diseñar un sistema hidráulico de irrigación tecnificado de tipo goteo para la producción de paltas, analizando los problemas de riego y agrícolas que afecta al lugar de Conache. La metodología utilizada fue del tipo descriptivo-experimental con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos. Como resultado se efectuó el diseño automático de irrigación de tipo goteo, para cubrir de manera que el recurso hídrico llegue en su totalidad a los cultivos, para una mejor producción de paltas. Asimismo, concluye que la mayor parte de los terrenos, el suelo es propicio para este tipo de riego, ya que es medio arenoso. Recomienda efectuar un estudio económico, del costo que se llevará a cabo y de los beneficios, para determinar si el presente proyecto tiene la factibilidad para poder implementarse.

2.1.3. Antecedentes Regionales

La tesis «Construcción de un prototipo de control automático de riego tecnificado para el cultivo de quinua en el distrito de Acolla, provincia de Jauja, 2019» [14]. Tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de control automático de riego tecnificado para cultivo de quinua. Usando como metodología la investigación tecnológica, aplicando conocimientos prácticos con la finalidad de brindar beneficios a la población de Acolla, obteniendo como resultado el diseño de la placa de control, puente H, la torre de agua, la cúpula del prototipo de control automático y la programación del control automático; en la etapa de construcción se logró la activación del prototipo de control automático de riego tecnificado, y el control por medio de los sensores se dan en condiciones de lluvia, temperatura y humedad; las bombas de agua y los aspersores se activan automáticamente, demostrándose la funcionalidad del proyecto. Concluye que el prototipo es una gran alternativa para el incremento de producción de quinua, además, que incide en la reducción de costos por mano de obra,

resaltando también que los dispositivos utilizados son de última tecnología garantizando su buen funcionamiento, recomienda su construcción lo antes posible para mejorar la producción de quinua, capacitar al operador y tener en cuenta el mantenimiento preventivo anual.

La tesis «Diseño de riego tecnificado en la optimización del recurso hídrico de Sapallanga – Huancayo» [15]. Tiene como objetivo el proyecto de un riego tecnificado, determinando el diseño hidráulico y agronómico, con el fin de optimizar el agua. Mediante el método de investigación científica por caracterizarse de ser reflexiva, sistemática y metódica, usando el tipo de investigación aplicada de los conocimientos teóricos y llevarlos al desarrollo, a un nivel de investigación explicativo de causa-efecto, en un diseño de investigación cuasiexperimental, obteniendo como resultado el diseño agronómico e hidráulico para la optimización del agua en un área de 20 hectáreas de terreno, concluyendo que con este método se evita el desperdicio del agua y se tiene una eficiencia del 75 %, donde noviembre es el de mayor demanda del recurso hídrico y el costo de implementación del proyecto sería de S/ 551,426.98 soles. Se recomienda realizar mantenimientos preventivos, tomar en cuenta los detalles topográficos e hidrológicos del lugar de implementación, así como, los cálculos y su uso responsable para evitar desperfectos.

La tesis «Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el fundo «Cantagallo», San Martín – Perú, 2019» [16]. Tiene como objetivo diseñar, automatizar, evaluar técnica y económicamente, para llevar a cabo un sistema automático de irrigación por medio de goteo para la plantación y producción de cacao. Mediante el método descriptivo, haciendo recopilación de información, balance hídrico, diseño agronómico, zonificación de sectores y turnos, simulación hidráulica, diseño hidráulico, metrados y análisis de costos, como también análisis financiero. Obtuvo como resultados un sistema hidráulico de irrigación de «bucle abierto» que consta de un programador y unas redes de válvulas que van enlazadas a cable de señal, que son activadas con una tensión de 24 voltios en corriente continua, en el cual se distribuirá el recurso hídrico en 8 turnos, con la activación de 8 válvulas, con una velocidad de hasta 2 metros por segundo. Asimismo, concluye con la realización del diseño automático de irrigación por goteo y su correcta evaluación en la parte de rentabilidad y técnica. Recomienda que el tendido de los conductores de señal irá dentro de conductos o tuberías para una mejor protección de la humedad y exposición al medio ambiente.

La tesis «Diseño de un sistema de riego automatizado por aspersión para viveros de café utilizando la tecnología Arduino en la empresa Viveros Ortiz, Pasco» [17]. Plantea como principal objetivo diseñar un sistema de irrigación automática de tipo aspersión empleando la plataforma electrónica llamada Arduino, evaluando la operatividad según las variaciones de clima que presenta la zona, también monitoreando la humedad del terreno y analizando si se minimiza el tiempo de trabajo y el agua, demostrándolo mediante un prototipo con los diferentes equipos que conforman el sistema. La metodología es de tipo descriptivo como recolectar información y no experimental que se basa en observación y después analizar. Como resultado quedó demostrado y justificado que el proyecto de irrigación automática ayuda con las mejoras de tiempo de trabajo y la eficiencia del consumo del agua, recomendando que se realice una capacitación al personal sobre el manejo del riego automatizado, así mismo, que la presente investigación sea difundida entre los *viveristas*.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Sistema de Riego Automatizado

2.2.1.1. Definición

«Un sistema de riego automatizado es un conjunto de estructuras (mangueras, tubos, canaletas, etc.) y dispositivos interconectados (sensores, actuadores, pantallas, etc.) que permite regular la cantidad de agua que se distribuye. Su uso es una práctica cada vez más común, tanto en la cotidianidad y en el sector industrial, ya que trae beneficios como tiempo de riego, eficiencia y optimización del recurso hídrico; además, pueden utilizarse para adicionar fertilizantes y otras sustancias que ayuden al crecimiento sano de las plantas» [18, p. 32].

La automatización del riego ofrece varios beneficios, como la conservación del agua al evitar riegos excesivos, la mejora en la salud de las plantas al proporcionar la cantidad adecuada de agua en el momento adecuado, y la eficiencia al reducir la necesidad de intervención humana constante en el proceso de riego.

2.2.1.2. Reseña Histórica

«Hace ocho mil años, los agricultores de Egipto descubrieron que, al construir terraplenes y diques a lo largo del Nilo, podían atrapar las aguas crecientes para cultivar más. Este fue uno de los primeros sistemas de riego que

se inventaron, pero no fue el último. A lo largo del tiempo, ingenieros, agricultores y civilizaciones han diseñado algunos sistemas de riego bastante ingeniosos. Esto se debe a que el riego hace mucho más que ayudar a que los cultivos crezcan. También permite el mantenimiento de paisajes, la revegetación de suelos desérticos reduce el polvo, ayuda a criar ganado y gestiona la eliminación de aguas residuales, la minería y el drenaje» [19, p. 1].

2.2.1.3. Beneficios

Tecnificando los sistemas de riego se tienen beneficios de reducción en el consumo del recurso hídrico, ya que son más eficientes que los sistemas convencionales, así como también, mejora en la planta la absorción de nutrientes, logrando obtener mejores cosechas, reducción del uso de la mano de obra y con ello mayores ganancias [10].

Con un sistema de riego automatizado se consiguen grandes beneficios como la reducción de la cantidad de agua necesaria para abastecer una parcela y la disminución de la mano de obra debido a su autonomía [20].

2.2.2. Sistema Hidráulico de un Sistema de Riego Automatizado

2.2.2.1. Definición de Sistema Hidráulico

Al hablar de sistemas hidráulicos se hace referencia a un método de trabajo que emplea un fluido a presión que puede mover máquinas o componentes mecánicos, estos sistemas están constituidos por un conjunto de elementos que unidos cumplen una finalidad para la cual han sido diseñados. Estos elementos generalmente son un reservorio para agua, tuberías de diversos diámetros y válvulas de control [8].

Esta tesis se ciñe netamente al sistema hidráulico de riego de tipo por aspersión. En la agricultura actual el riego requiere del almacenamiento, la conducción, el reparto y la aplicación del recurso hídrico en los campos agrícolas; en ese sentido, se requiere de profesionales expertos en la materia para que puedan hacer un diseño adecuado, de acuerdo al tipo de terreno y la necesidad, realizando los cálculos, los dimensionamientos y la elección de los diversos componentes necesarios, como son las presas, válvulas, tuberías, aspersores, componentes presurizados, bombas, paneles solares, casetas, medición y control, etc.

2.2.2.2. Consumo del Recurso Hídrico

El consumo del recurso hídrico viene a ser la acción y efecto de gastar o utilizar el agua para satisfacer necesidades primarias o secundarias [15].

En los últimos años, la demanda del agua en el área agrícola, industrial y ambiental se ha intensificado, debido al incremento poblacional que se viene teniendo a nivel mundial; esto ha puesto uno de los más grandes retos que sería la optimización de su utilización, evitando su uso innecesario; Para esto se está buscando nuevos métodos que ayuden, muy aparte de los que ya se tienen [15].

A. El agua

La palabra agua viene del latín *aqua*, su fórmula química es H₂O, tiene tres estados, sólido, gaseoso y líquido, constituye un 71 % del planeta [21].

B. Tipos

- Uso para las personas, «agua potable».
- Uso en la industrialización.
- Uso en la agricultura para la irrigación de los terrenos, parques, jardines y áreas verdes.

2.2.2.3. Agua de Riego

«Es el recurso hídrico imprescindible para el desarrollo de las plantas. El éxito de la agricultura bajo riego depende en gran medida de la calidad del agua, porque puede influir, modificando las características propias del suelo, así como, en el rendimiento de los cultivos, si transporta sales en cantidades excesivas que afecten a la planta.» [22, p. 2].

A. Calidad del agua de riego

«Está determinada por la concentración total de sales (cloruros y sulfatos de sodio, calcio, potasio y magnesio), por la cantidad de sodio, la concentración de boro y de bicarbonatos con relación al calcio y magnesio. Para fines de diagnóstico, debe tenerse en cuenta la concentración total de sales solubles, que se determina por la conductividad eléctrica (ce).» [22, p. 3].

B. Manejo eficiente del agua de riego

El propósito principal del riego consiste en proveer al cultivo con la cantidad necesaria de agua, pero es crucial evitar el despilfarro de este valioso recurso al evitar una aplicación de riego automática. Para lograr esto, es esencial determinar si el suelo está efectivamente seco y si la planta realmente demanda agua. Para ello, se debe desarrollar el hábito de examinar detenidamente el cultivo antes de decidir regar. Se debe observar si el cultivo muestra signos de marchitez o al menos si las hojas presentan una textura más delicada. Asimismo, es necesario verificar si el suelo alrededor de las raíces se encuentra seco. Una vez efectuadas estas observaciones, se puede tomar la decisión de regar en consecuencia o esperar. En alternativa, también es posible emplear dispositivos electrónicos que proporcionen información acerca de las necesidades de agua de la planta [23].

2.2.2.4. Base Legal

A. Según Ley de Recursos Hídricos, Ley N.º 29338

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación [24, p. 3].

«La Autoridad Nacional del Agua (ANA), es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Es responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido en la Ley» [24, p. 6].

B. Distribución del agua de riego

Las asambleas de usuarios tienen el deber de cuidar y preservar la infraestructura de riego, llevar a cabo investigaciones y proyectos de crecimiento, supervisar la distribución y uso del agua, mantener y adquirir equipos y vehículos, brindar apoyo, entrenamiento y asesoría, fomentar la interacción. entre agua, suelo y plantas, administrar la cuenca hidrográfica y recolectar pagos por el concepto de «tarifa de agua», entre diversas responsabilidades adicionales [25].

2.2.2.5. Tipos de Sistemas de Riego

Un sistema de riego abarca las instalaciones técnicas requeridas para administrar la irrigación de tierras cultivables. Dependiendo del tipo de riego, se pueden distinguir diversas categorías: **El riego por superficie o gravedad**, que engloba múltiples variantes y sistemas, entre los cuales se incluyen el riego por surcos, el riego por tablones o canteros, y el riego por fajas. **El riego localizado**, es un enfoque que suministra agua a presión en forma de gotas directamente a la zona radicular de cada planta. Dentro de este método se distinguen cuatro categorías: el riego por goteo, la microaspersión, el riego a chorros y el riego superficial. **En el caso del riego subterráneo**, se emplean dos enfoques posibles: uno implica la humidificación del suelo mediante dispositivos artificiales colocados debajo de la planta, mientras que el otro involucra el control de los niveles freáticos para mantener la humedad del terreno. **El riego por aspersión** constituye un método automatizado que utiliza mecanismos de presurización del agua para llevar a cabo la irrigación. Estos sistemas se dividen en sistemas estacionarios o de desplazamiento continuo [26].

Al ser el riego por aspersión un punto muy importante para este diseño se profundizó en el tema.

2.2.2.6. Riego por Aspersión

El riego mediante aspersión implica la entrega de agua al suelo de manera similar a una lluvia artificial. Este efecto se logra mediante la presión del flujo de agua a través de un sistema de tuberías y su expulsión al exterior mediante los orificios de un aspersor [10].

«Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas, que aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno por regar» [27, p. 1].



*Figura 1. Riego tecnificado por aspersión
Tomada de «Aspersor de riego rotativo» [50]*

A. Ventajas y desventajas del riego por aspersión

Las **ventajas** del riego por aspersión son que permiten regar terrenos con topografía irregulares, reduce la mano de obra en comparación con los métodos de riego convencionales basados en la gravedad, es adecuado para la mayoría de los cultivos, excepto aquellos extremadamente sensibles a gotas de agua de gran tamaño, que podrían resultar dañados, elimina la necesidad de construir canales y acequias, ayuda a mantener las propiedades físicas óptimas del suelo al evitar la necesidad de realizar movimientos de tierra que podrían dañar su estructura. Además, al distribuir el agua de riego de manera similar a la lluvia, se evitan problemas de compactación, formación de costras en el suelo y se pueden aplicar diferentes sustancias en el agua para fertilizar o realizar las fumigaciones [10].

Sus **desventajas** son que su costo de instalación es más elevado en comparación con el sistema de riego por gravedad, el gasto de agua es mayor en comparación con el riego localizado como goteo o la cinta exudante que depositan directamente el agua en el suelo, así mismo, debido a la evotranspiración gran parte del agua se pierde y no llega al suelo, es necesario contar con un suministro de agua constante o, al menos, lo más continuo posible, la eficiencia de la aplicación en la parcela disminuye cuando hay viento con una velocidad superior a 2,5 metros por segundo [10].

El sistema de riego por aspersión utiliza de manera responsable el agua,

lo que resulta en una mayor eficiencia en la irrigación de árboles frutales, reducción de gastos y un rendimiento que oscila entre el 70 % y el 90 % [28].

Tabla 1. Factores que determinan la eficiencia del riego

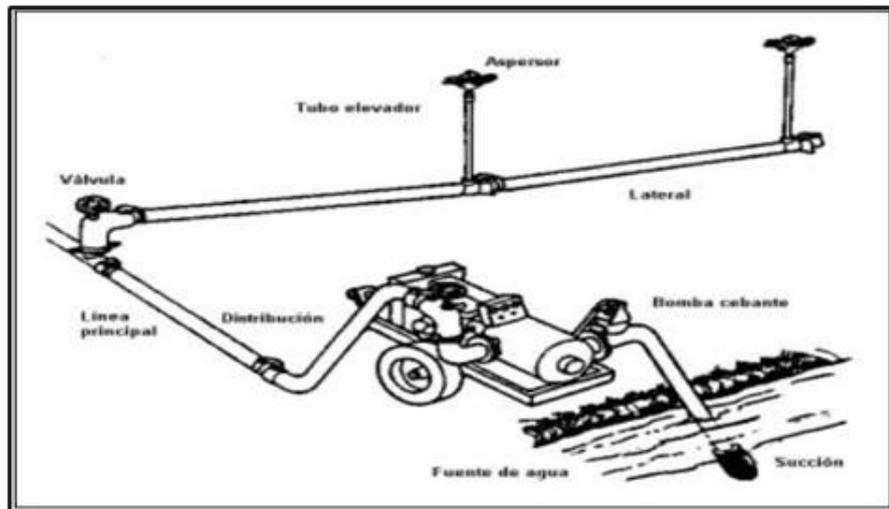
<p style="text-align: center;">FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE AGUA POR LOS CULTIVOS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura 2. Humedad 3. Viento 4. Período de crecimiento del cultivo 5. Latitud 6. Disponibilidad del agua 7. Fertilidad del suelo 8. Estado fitosanitario 	<p style="text-align: center;">FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICIENCIA DEL RIEGO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Suelo 2. Cultivos 3. Métodos de Riego <p style="text-align: center;">FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE EN LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad del Agua 2. Fluctuación de la tabla del agua 3. Características físicas del suelo 4. Sistema de cultivo 5. Pendiente del Suelo
--	---

Nota: tomada del Ministerio de Agricultura [22]

B. Principales componentes hidráulicos de un sistema riego por aspersión

Las partes fundamentales de un sistema de riego por aspersión son cuatro: **Unidad de bombeo**, encargada de elevar mecánicamente el agua desde su fuente de origen y transportarla a través de tuberías hasta el punto de destino; en general, incluye elementos como cámaras de aspiración, una motobomba, canastillo y válvulas de succión, junto con diversos accesorios y *fitting* de descarga, además de la tubería de succión. Dentro de los **accesorios de descarga**, se destacan elementos cruciales para el funcionamiento eficiente del equipo, tales como la válvula de retención vertical, la válvula de descarga y la válvula de compuerta de vaciado. Asimismo, se incorporan elementos de control como los manómetros y un dispositivo especial diseñado para amortiguar los golpes de ariete que puedan surgir durante el proceso. Finalmente, el sistema se completa con la presencia de **tuberías y aspersores** que se encargan de distribuir el agua de manera uniforme sobre la superficie de riego [27].

Estos componentes trabajan de manera conjunta para garantizar un riego por aspersión eficiente en la agricultura y otras aplicaciones relacionadas con el manejo de agua.



*Figura 2. Componentes hidráulicos de un sistema de riego por aspersión
Tomada de «Riego por aspersión» [27]*

a. Reservorio de agua

Un reservorio es una estructura creada para almacenar grandes cantidades de agua, como embalses o represas. Estos reservorios se utilizan para el suministro de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica, el riego agrícola, la recreación y otros fines. Pueden estar elaborados y cavados en tierra, revestidos de geomembrana o de concreto [16].



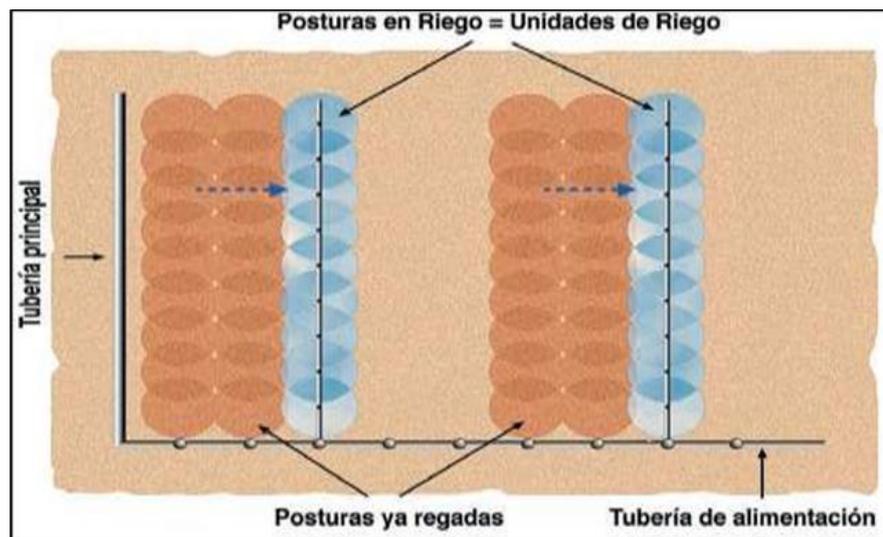
Figura 3. Reservorio

b. Red de distribución de tuberías

La infraestructura de distribución comprende un conjunto de conductos que transportan el agua desde la fuente principal hasta los dispositivos de aspersión, con el propósito de facilitar las tareas de riego y supervisar el sistema eficientemente. Esta infraestructura se compone de la **red principal**, encargada de distribuir el agua a lo largo de la parcela, y **los ramales**

de aspersión, que se ramifican a partir de la red principal para llevar el agua a los aspersores [29].

Conforme a la movilidad de las tuberías, la red de distribución se puede categorizar de la siguiente manera: **Redes estáticas**, en este tipo de redes, los conductos abarcan la totalidad de la superficie destinada al riego. Además, estas redes pueden ser temporales, es decir, los conductos se disponen sobre la superficie del suelo después de la siembra o plantación y generalmente se retiran antes de la recolección. **Redes móviles**, donde todos los conductos de la red de distribución, tanto los que pertenecen a la red principal como los ramales de aspersión, se desplazan a medida que avanza el proceso de riego. **Redes mixtas**, suelen caracterizarse por tener una red principal fija, con conductos enterrados o colocados sobre el suelo, mientras que los ramales de aspersión se trasladan de una posición de riego a otra, lo que proporciona flexibilidad en la distribución del agua [29].



*Figura 4. Posturas de riego por aspersión
Tomada de «Manual de riego para agricultores» [29]*

- **Tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE)**, existen de diversas dimensiones, pueden trabajar enterrados a 20 °C de temperatura ambiente, tienen una duración promedio de 50 años, su coeficiente de seguridad es de 1.25, siendo resistentes a agentes químicos, también son aislantes eléctricos a su vez que son flexibles al estar expuestos al calor y resisten hasta 120 °C estos cuentan con diversos accesorios *fitting* [16].



Figura 5. Tuberías HDPE y sus accesorios fittings

- **Mangueras flexibles de cloruro de polivinilo (PVC)**, este tipo de ductos son resistentes a aceites, combustibles y agentes químicos, son flexibles y sirven para diversas aplicaciones como la agricultura, alimentaria, químicos, construcción y la industria, resisten hasta 50 °C [16].



Figura 6. Tuberías PVC y sus accesorios fittings

c. Aspersores

Estos instrumentos se utilizan para esparcir el agua de manera uniforme sobre la superficie del suelo, imitando a las gotas de la lluvia; existen de diversos tipos de acuerdo con su presión de funcionamiento y mecanismo de giro [30].

Es un equipo hidráulico que trabaja con líquidos, con la ayuda de la fuerza a partir de la presión de este recurso pulveriza o dispara chorros de agua a una cierta distancia, para la irrigación de campos agrícolas, jardines, áreas verdes, etc.



*Figura 7. Partes de un aspersor
Tomada de «Equipo de riego» [51]*

d. Manómetro

Es un instrumento utilizado para medir la presión de un fluido, ya sea líquido o gas, se emplea en diversos campos, como la industria, la ingeniería y la medicina. Los dos tipos principales son el **manómetro de presión absoluta**, este tipo de manómetro mide la presión en relación con el cero absoluto, es decir, la presión cero en el vacío, un ejemplo común de un manómetro de presión absoluta es el barómetro, empleado para medir la presión atmosférica. El **manómetro de presión relativa**, este tipo de manómetro mide la diferencia de presión entre el fluido y la presión atmosférica. El manómetro de presión relativa más usual es el manómetro de tubo en U, que consiste en un tubo en forma de U lleno de un fluido, generalmente, mercurio o agua, y la presión se mide por la diferencia de altura entre las dos columnas de fluido en el tubo. En la figura 8 se muestra un manómetro de *glicerina genebre* [16].



*Figura 8. Manómetro
Tomada de «Manómetros» [52]*

C. Cálculos para determinar la elección de la unidad y necesidades de bombeo

Las bombas de tipo centrífugo son las más comunes en el sistema de riego por aspersión, y se tienen en cuenta ciertas presiones de elevación al seleccionar la unidad de bombeo [27].

Estas son: la altura geométrica de aspiración (Ha) se refiere a la distancia vertical entre el nivel del agua que se aspira y el centro de la bomba. **La altura geométrica de impulsión o elevación (Hi)** es la medida vertical desde el centro de la bomba hasta el punto más alto de la tubería de impulsión. **La altura geométrica total (Ht)** es la suma de Ha y Hi [27].

Para determinar las necesidades de bombeo, es esencial conocer el caudal necesario (Q), la presión requerida y también es importante estimar el diámetro de la tubería para llevar el caudal deseado, evitando velocidades excesivas o problemas de golpe de ariete. Se recomienda seleccionar un diámetro y tipo de tubería que mantenga la velocidad del agua por debajo de 2 m/s [27].

La velocidad que algún caudal elegido logra con una tubería de determinado diámetro está definida por la siguiente relación:

$$v = Q/s = (4 * Q)/(\pi * D^2) \text{ [27]}$$

Donde:

v = velocidad (m/s)

Q = caudal (m/s)

D = diámetro de tubería (m)

Después de establecer el diámetro de tubería para llevar el caudal elegido se requiere:

- En las tuberías, determinar las pérdidas de cargas unitarias dadas en metros. Dada por la siguiente fórmula:

$$J = 10,665 \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,869}} \text{ [27]}$$

Donde:

J = pérdida de carga por metro de tubería

Q = caudal (m^3/s)

D = diámetro interno (m)

C = coeficiente de rugosidad (depende del material)

Posteriormente, se obtiene la pérdida de carga unitaria por metro para todos los tramos de igual diámetro. De la siguiente manera:

- Recabar la longitud de la tubería de cada diámetro utilizado y multiplicarlo por la pérdida de carga unitaria.

$$H_p = L_t * J \quad [27]$$

Donde:

H_p = pérdidas de carga en tuberías

L_t = longitud total por diámetro de tubería

J = pérdidas de cargas por metro

Después se debe calcular la **totalidad de las pérdidas de carga en la tubería (H_{pt})**, para ello se suman las pérdidas resultantes por tramo de diferente diámetro. En este cálculo se incluyen las tuberías de aspiración, de conducción y de distribución. Posteriormente, se estiman las **pérdidas de carga en fittings (H_s)** como:

$$\frac{H_{pt}}{x} = \frac{100\%}{20\%}, \quad X = H_s = 0,2 H_{pt} \quad [27]$$

Por último, la altura de elevación total será:

$$H_t = H_a + H_i + H_{pt} + H_s = H_a + H_i + H_{pt} + 0.2 H_{pt} \quad [27]$$

El resultado que se tiene aquí será la altura mínima dada en metros que la bomba deberá superar para lograr bombear agua hasta el punto deseado con el caudal escogido.

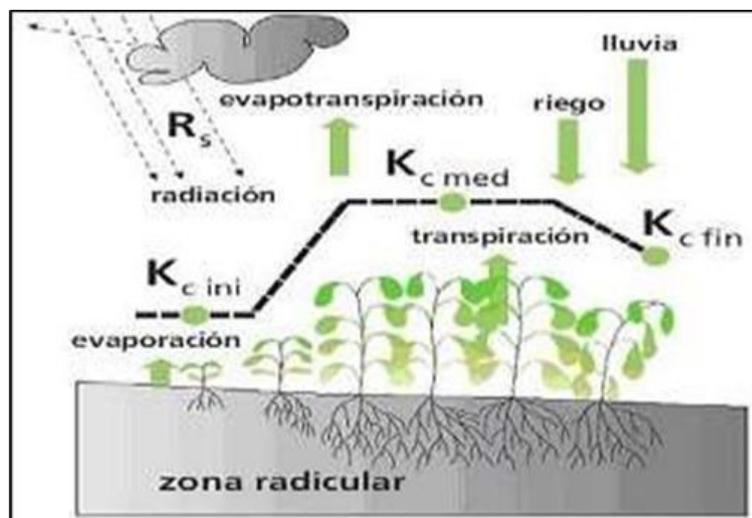
2.2.2.7. La Evapotranspiración (ET)

«Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y, por otra parte, mediante transpiración del cultivo.» [31, p. 22].

«La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.» [31, p. 22].

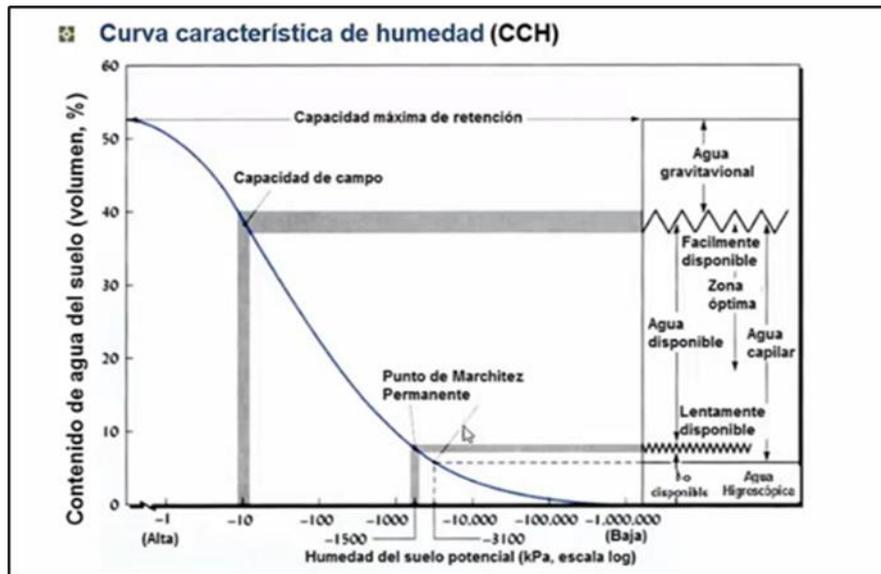
«La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas.» [31, p. 24].

La radiación solar que llega a la superficie del suelo y las plantas es causante de la evapotranspiración.



*Figura 9. Evapotranspiración
Tomada de «Evapotranspiración del cultivo» [31]*

En la figura 10 se muestran los factores del suelo que influyen en el comportamiento de su humedad, vista en una curva característica.



*Figura 10. Factores del suelo
Tomada de «Cualidades físicas del suelo» [53]*

2.2.3. Sistema Eléctrico de un Sistema de Riego Automatizado

2.2.3.1. Definición de Sistema Eléctrico

Un sistema eléctrico es un conjunto de componentes eléctricos interconectados que interactúan entre sí para realizar una función específica, como la generación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica. Los sistemas eléctricos pueden describirse y analizarse mediante principios y leyes fundamentales de la electricidad, como las leyes de Kirchhoff y las leyes de Ohm, para comprender su comportamiento y rendimiento [32].

Además, es una red eléctrica comprendida con enlaces, dispositivos y elementos necesarios para transportar desde la generación hasta los usuarios o consumidores pasando por diversas etapas como generación, transformación, transmisión y distribución.

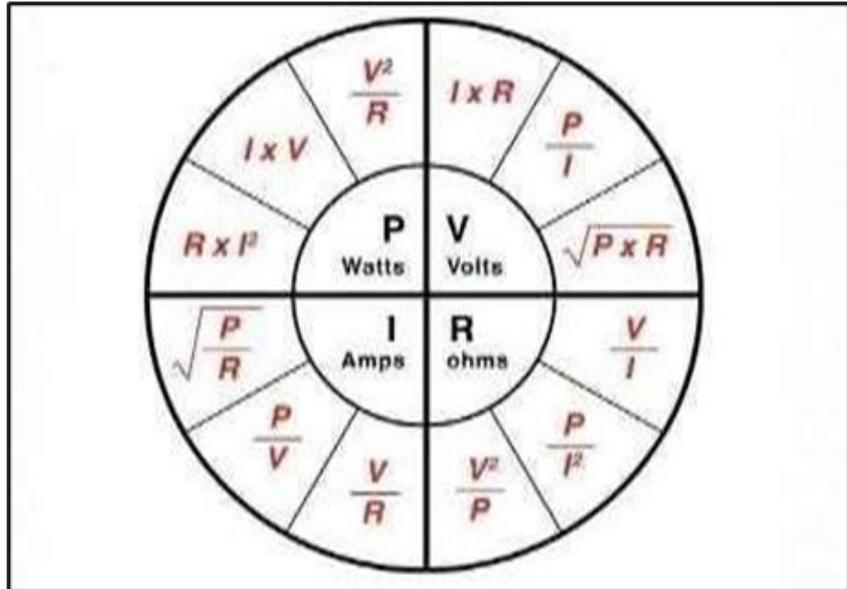


Figura 11. Fórmulas de la ley de Ohm
Tomada de «Calculadora de ley de Ohm» [54]

2.2.3.2. Principales Componentes del Sistema Eléctrico

A continuación, se detallan los principales componentes eléctricos, necesarios para la implementación del diseño.

A. Conductores eléctricos

Son los medios por donde se transportan las cargas eléctricas, que se caracterizan por ofrecer baja resistencia al desplazamiento de electrones, ya que sus átomos tienen electrones impares en su capa de valencia. En el mercado se puede encontrar en hilos múltiples o de un solo hilo (sólidos), en diversas marcas [32].

En la tabla 2 se muestran los amperajes que soportan los cables de Cu de acuerdo con su calibre.

Tabla 2. Capacidad de corriente en cables de Cu

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Nota: tomada de Lumikon [55]

B. Electrobomba

La elección de las electrobombas se realiza de acuerdo con las necesidades o prestaciones que este tiene que satisfacer, pues existen de diversos tipos, como periféricas, centrifugas y multietapas [16].

Son máquinas accionadas mediante un motor que funciona a corriente eléctrica. La energía mecánica del motor produce el accionamiento de la bomba, encargada de succionar el agua hacia los ductos a una determinada presión y caudal; existen desde potentes y complejas bombas centrifugas usadas en la industria y bombas de uso domiciliario de pequeños caudales; monofásicos y trifásicos.

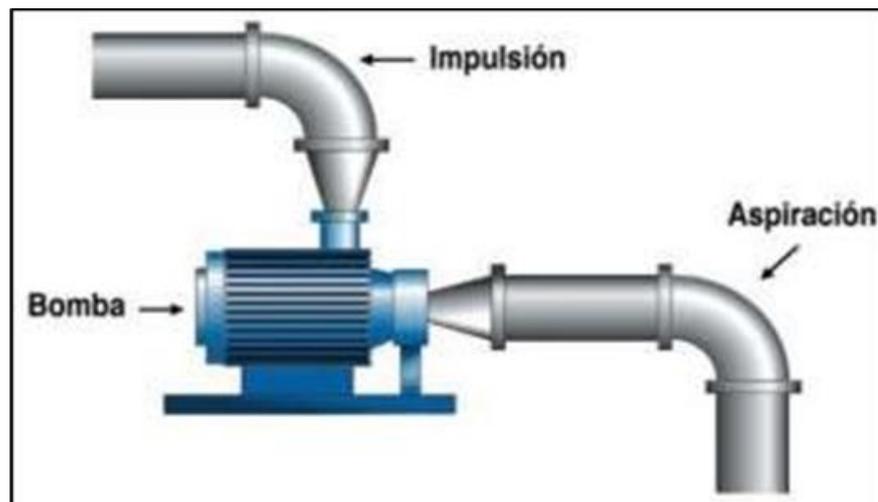


Figura 12. Bomba hidráulica
Tomada de «Manual de riego para agricultores» [29]

C. Electrobomba sumergible

Las bombas sumergibles trabajan sumergidas en pozas que en su mayoría deben ser sedimentadas o protegidas para evitar que se filtre desperdicios al equipo y sufra desperfectos, a su vez, deben ir suspendidas evitando que se aproxime al suelo y succione residuos. Son capaces de bombear mayor caudal con menor potencia, esto es un ahorro de energía eléctrica, además, son ideales para grandes alturas [33].

Las bombas sumergibles son dispositivos equipados con un motor eléctrico de tipo centrífugo que funciona tanto en corriente continua como alterna, diseñados para sumergirse completamente en el líquido que van a bombear, y están sellados herméticamente con un nivel de protección IP68.



*Figura 13. Bomba sumergible tipo bala
Tomada de «Sistemas de presión» [56, p. 13]*

a. Diferencias respecto a una bomba de superficie

- Se puede sumergir, al estar sumergidos no sufren congelamiento del agua en su interior.
- No están expuestos a las inundaciones y las tormentas eléctricas.
- Consumen menor energía y son menos ruidosas.

- Son más eficientes ya que aprovechan la presión del agua y están libre de cebado.

D. Tableros eléctricos

Es un equipo metálico en forma de caja o gabinete que contiene un conjunto de dispositivos eléctricos, que trabajan con funciones diferentes como maniobra, control, medición y protección de todo el sistema eléctrico. Estos tableros se clasifican según las normas específicas. Existen tableros eléctricos que albergan en su interior, dispositivos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones.



*Figura 14. Partes de un tablero eléctrico de distribución
Tomada de «Tablero de distribución, instalaciones eléctricas domiciliarias» [57,
p. 1]*

E. Interruptor magnetotérmico

Conocido también como *breaker*, su operación es de manera manual, está diseñado para proteger ante una sobrecarga al circuito eléctrico destinado [34].

Se constituye por una parte magnética (relé encargado de disparar) y otra térmica (láminas que se contraen o dilatan dependiendo del calor / corriente que fluye), es el componente de protección más importante en las instalaciones eléctricas de baja tensión, cortan el flujo eléctrico automáticamente cuando superan su valor nominal, ante sobrecargas o cortocircuito.

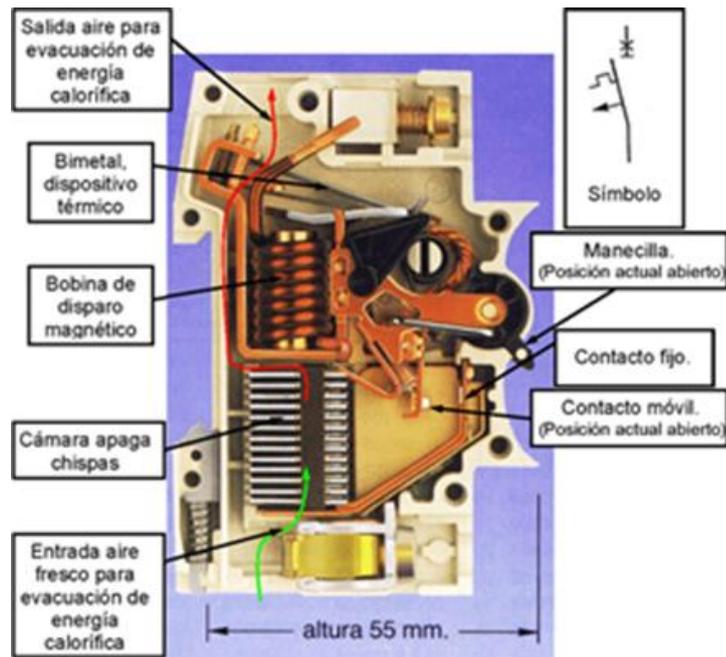


Figura 15. Partes de un interruptor termomagnético
Tomada de «Qué es el interruptor termomagnético» [58]

F. Guardamotor

La función principal de este dispositivo es la protección de motores eléctricos mediante un interruptor termomagnético especialmente diseñado. Su diseño único proporciona al dispositivo una curva de activación que mejora su eficiencia al hacer frente a las sobrecargas durante el arranque de motores. Aunque el disparo magnético funciona de manera similar a otros interruptores automáticos, el disparo térmico se produce con un tiempo e intensidad superiores. Esta característica se refleja en su curva D (protección de cables alimentando receptores con fuertes puntas de arranque) o K (disparo con corrientes entre 10 in a 14 in).

Su elección está limitada por la corriente nominal y las especificaciones del motor utilizado [11].

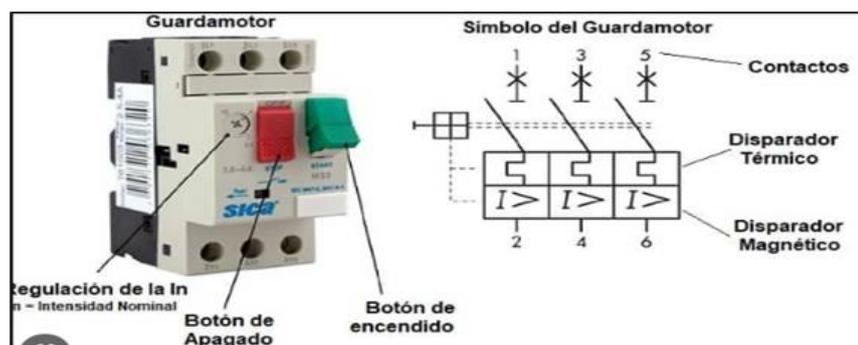


Figura 16. Partes de un guardamotor
Tomada de «Guardamotor» [59]

G. Contactor

Su objetivo es cerrar los contactos, permitiendo de esa manera el flujo de corriente, para ello cuenta con una bobina que al energizarse por un sistema auxiliar se convierte en un electroimán que atrae a esos contactos en mención [34].

Los contactores son capaces de manejar corrientes altas, superando a los relés normales, esto los vuelve útiles para operar equipos rotativos / móviles, su funcionamiento se basa en aplicar un voltaje a su bobina, esto genera un campo magnético que mueve contactos a posición cerrada. Si se desea regresar a su estado de reposo simplemente hay que eliminar el voltaje de la bobina.



*Figura 17. Contactor trifásico de 220 V
Tomada de «Contactor» [60]*

H. Interruptor de flotador de bomba sumergible o electronivel

Estos interruptores de flotador para bombas sumergibles pueden controlar el nivel de agua en las pozas, avisando a la bomba instalada en la poza para que funcione e impulse el agua fuera de la poza cuando esta ya esté llena. Haciendo que se prenda la bomba, a un nivel de agua de un promedio de 53 centímetros y se apague cuando dicho nivel se encuentra a 5 centímetros, si se cambia la posición del cable del flotador en el seguro, se pueden variar las alturas de parada y puesta en marcha. Estas características pueden variar muchas veces dependiendo del diseño del flotador [18].

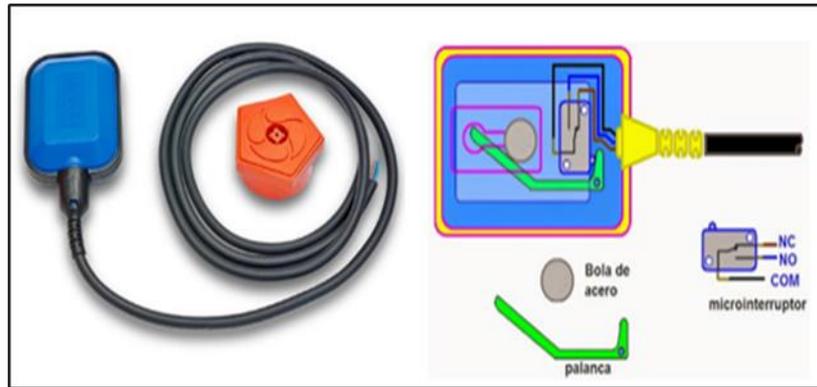


Figura 18. Interruptor flotador
 Tomada de «Flotador controlador de nivel para motobombas» [56, p. 1]

I. Electroválvula hidráulica

Una electroválvula hidráulica es un tipo de válvula que controla el flujo de fluido hidráulico en un sistema mediante el uso de una señal eléctrica. Estas válvulas se utilizan ampliamente en aplicaciones industriales y de automatización donde se requiere un control preciso del flujo, la presión o la dirección del fluido [18].



Figura 19. Electroválvula
 Tomada de «Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la hacienda Durand» [11, p. 31]

J. Relés

Son dispositivos electromecánicos que se utilizan para controlar el pase de corriente eléctrica, suelen utilizarse para controlar circuitos eléctricos de

mayor corriente con la ayuda de circuitos de menor corriente, su función principal es abrir o cerrar un circuito eléctrico en respuesta a un comando eléctrico [5].



*Figura 20. Relé de potencia
Tomada de «Minirelés industriales» [63, p. 3]*

2.2.3.3. Sistema Fotovoltaico

«El sistema fotovoltaico permite la transformación de la energía solar en energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. Crean una diferencia de voltaje mediante la absorción de luz solar, que al conectar una carga produce una corriente eléctrica que provoca realizar un trabajo en ella. La cantidad de corriente que se produce es proporcional al flujo luminoso que recibe el panel fotovoltaico.» [7, p. 45].

Básicamente, existen dos formas de sistemas fotovoltaicos, que son los que están conectados a la red para su alternancia con la misma y los no conectados a la red o autónomos, que incluyen un sistema de baterías como respaldo [12].

La generación de electricidad se da cuando el panel solar constituida de células hechas de semiconductores como el silicio asimilan la luz del sol, sus electrones se liberan y forman una cadena de electrones que fluyen con carga negativa hacia la parte superficial del panel, produciéndose un desequilibrio de cargas respecto a la parte trasera, formándose así un potencial de voltaje, esta corriente es recogida mediante cables y llevado hasta las baterías.



*Figura 21. Generación fotovoltaica para riego por aspersión
Tomada de «Energía solar para el riego agrícola: soluciones y tipos» [64, p. 2]*

A. Elementos de un sistema fotovoltaico autónomo

Los principales componentes de un sistema fotovoltaico autónomo son los módulos solares, el controlador de carga, las baterías, el inversor y los conductores eléctricos [12].

- **Módulo fotovoltaico o panel solar**, encargado de generar electricidad cuando se exponen a la luz solar, Las **estructuras de soporte de los módulos** son fijas o móviles, aseguran los paneles solares al techo; los **Bancos de baterías** almacenan la energía producida por el sistema fotovoltaico. **El controlador de carga** es responsable de gestionar satisfactoriamente la carga de las baterías, evitando sobrecargas y sobredescargas, al mismo tiempo que controla el voltaje y la intensidad. **Convertidor**, transforma la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC). Los convertidores también suelen incluir dispositivos de protección para garantizar el funcionamiento seguro del sistema. **Cables eléctricos**, transportan la electricidad desde la fuente (los paneles solares y el banco de baterías) hasta el punto de consumo [12].



*Figura 22. Componentes de un sistema fotovoltaico
Tomada de «Microgeneración fotovoltaica con el software PVsyst en el centro
poblado San Marcos – Lambayeque» [45, p. 26]*

B. Requerimientos para el diseño fotovoltaico

- **Radiación solar**, constituida por 2 unidades de medida, ellos son:

La irradiancia $G(\text{W}/\text{m}^2)$, es la potencia (W/m^2) que recibe la superficie FV, en un instante determinado. Para condiciones normales (STC) se suele utilizar $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ a una temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, para condiciones de fabricación; sin embargo, para cuestión de dimensionamiento de módulos fotovoltaicos es mejor realizar un estudio exhaustivo de acuerdo con la zona [35].

La irradiación $H (\text{Wh}/\text{m}^2)$, es la energía (j/m^2 o Wh/m^2) que recibe la superficie FV en un periodo de tiempo, los datos de irradiación solar se pueden obtener realizando mediciones con instrumentos como el piranómetro, el pirheliómetro y el pirgeómetro o de no contar con ninguno de estos instrumentos, se puede obtener de otras fuentes, como la NASA, SOLARGIS, ORNEL, Meteonorm y mapas solares de cada país [35].

- **Horas solar pico (HSP)**, se refiere a las horas del día en las que la radiación solar alcanza su máximo nivel, es decir, cuando hay una mayor cantidad de luz solar disponible para la generación de energía solar. Estas horas se conocen como «pico» porque representan el momento de mayor intensidad de radiación solar durante el día, en un hipotético caso de irradiancia solar constantemente de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ [35].

Las horas solares pico pueden variar según la ubicación geográfica y la época del año. En general, se considera que las horas solares pico ocurren alrededor del mediodía solar, cuando el sol está en su punto más alto en el cielo. Durante estas horas, la radiación solar incide directamente sobre los paneles solares, lo que resulta en mayor producción de energía solar [7].

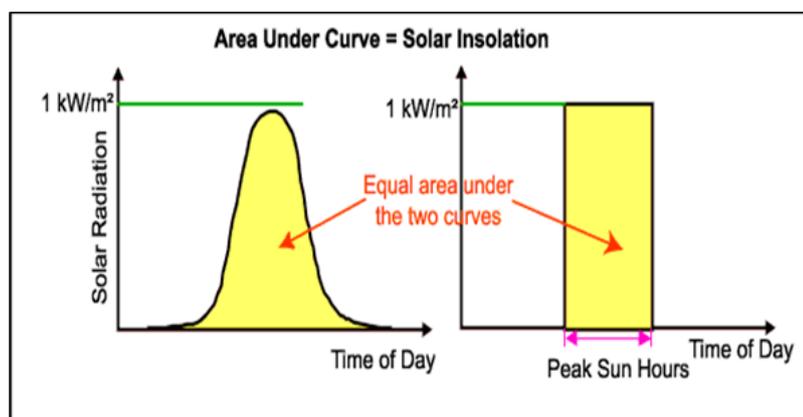


Figura 23. Horas solar pico
Tomada de «Microgeneración fotovoltaica con el software PVsyst en el centro poblado San Marcos – Lambayeque» [45, p. 23]

C. Influencia de la temperatura en los paneles solares

Tiene un impacto significativo en el rendimiento de los paneles solares. A medida que la temperatura aumenta, la eficiencia de los paneles solares tiende a disminuir. Esto se debe a una propiedad física de los semiconductores utilizados en la fabricación de paneles solares, conocida como coeficiente de temperatura negativa [7].

D. Coordenadas solares

En este punto, se hace mención a los datos de elevación solar, acimut solar y ángulo cenital que sirven para dar el giro y ángulo de inclinación óptima (β) al momento de instalar los módulos fotovoltaicos, esto se obtiene a partir de una carta solar que es un instrumento para determinar trayectorias aparentes del sol para una determinada latitud, ya que esto representa la posición del sol, la elevación y el acimut, a cada hora, imaginando un observador mirando hacia el sur, en el caso del hemisferio norte y en el caso del hemisferio sur, mira hacia el norte; esto es importante tener en cuenta para realizar un mejor dimensionamiento y lograr tener una mayor ventana de operación, evitando pérdidas por sombras o suciedad que puede incidir en el generador fotovoltaico [36].

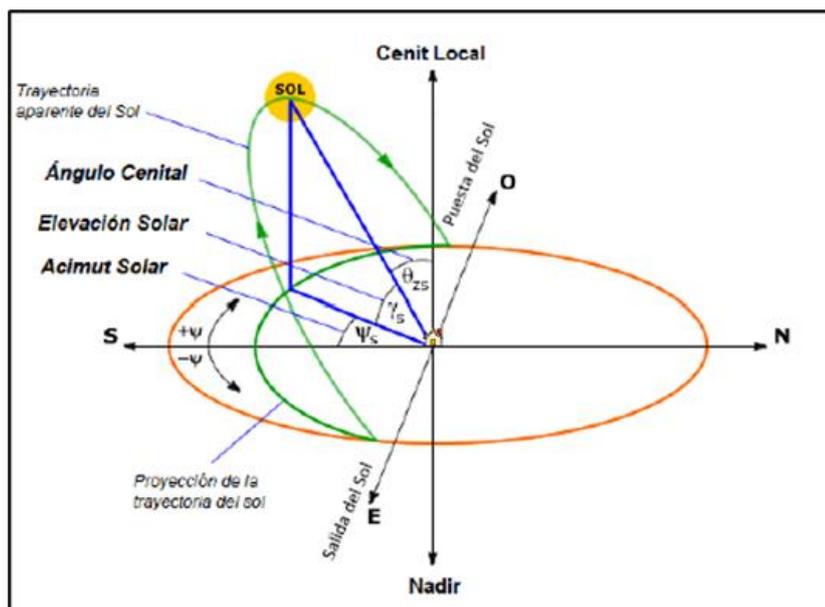


Figura 24. Coordenadas solares
 Tomada de «Diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la red a pequeña escala» [37, p. 5]

E. Términos básicos para diseño fotovoltaico

Existen varios términos básicos que son usados en las fórmulas y en las unidades de medida, que sirvieron para los cálculos [38]:

En paneles fotovoltaicos

AM: masa de aire

IR 1000W/m²: irradiación de diseño

25°: temperatura de la célula

STC :1000 W/m²: irradiancia a temperaturas en condiciones normales

TNOCT: 45 °C: temperatura de operación nominal en °C (en ficha técnica del producto)

NOCT: fuerza solar de 800 W/m², temperatura del ambiente de 20°C, velocidad de viento en 1 m/s

HSP: horas sol pico

Tc: temperatura de celda °C

Tcmax: temperatura de celda máxima

Tcmín: temperatura de celda mínima

G: irradiancia (W/m²)

Ta: temperatura ambiente

TIER: nivel tecnológico

ΔVoc: variación del voltaje de celda en circuito abierto

ΔPmáx: variación de potencia máxima

ΔI_{sc} : variación de la corriente de corto circuito

Coef. $TP_{m\acute{a}x}$: coeficiente de temperatura de la potencia máxima

Coef. TV_{oc} : coeficiente de temperatura de la tensión del circuito abierto

Coef. TI_{sc} : coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito

V_{MPP} : tensión en la potencia máxima

V_{NOM} : tensión nominal

P_{G-FV} : potencia del generador fotovoltaico

$N.^{\circ}ps$: número de paneles en serie

$N.^{\circ}pp$: número de paneles en paralelo

Eficiencia de una celda o panel solar:

$$n = ((P_{max}) / (G \times A)) * 100$$

Potencia total: $PT_{total} = VT_{total} \times IT_{total}$

PT_{total} : potencia total

VT_{total} : tensión total

IT_{total} : intensidad total

Influencia de temperatura en paneles monocristalino

$$\Delta V_{oc} = (T_c - 25) * \text{Coef.}TV_{oc}$$

En baterías

Ah: Amper hora

V_{bat} : tensión de la batería

PD: profundidad de descarga

En regulador / inversor

$I_{m\acute{a}x}$, G = corriente máxima de generación

I_{sc} : corriente en cortocircuito

N_{MP} : cantidad de paneles en paralelo

G : corriente máxima del generador

I_{cont} : intensidad del controlador

F_s : factor de seguridad

f_s : factor de simultaneidad

P_{inv} : potencia del inversor

F. Criterios para elección de paneles fotovoltaicos

La selección de los paneles solares se realiza con base en el tipo de panel, ya sea el policristalino que es más económico, pero con una pequeña diferencia de eficiencia que el monocristalino, así también hay que fijarse en su ficha técnica, visualizando la lista de TIER (nivel) de crédito en el mercado de los fabricantes de paneles, según la clasificación realizada por el *Bloomberg New Energy Finance Corporation (BNEF)*; identificando la marca en el mercado, visualizando las certificaciones; revisando su tolerancia, que sea positiva de 0~+; que sea eficiente, de entre 13-23 %; que tenga un menor porcentaje de degradación durante un tiempo de vida; revisar nivel de pérdidas por temperatura; y analizar su costo beneficio a largo plazo.

G. Elementos del panel solar y cómo están conectados internamente

En un panel solar cada celda emite aproximadamente 0.5 voltios e internamente están conectadas en serie.

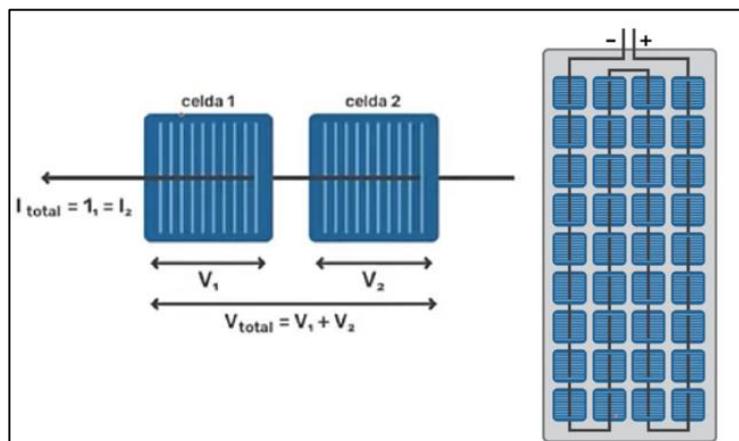


Figura 25. Conexión interna de un panel módulo FV

H. El rendimiento global (R) de una instalación fotovoltaica

Se calcula mediante una combinación de factores establecidos por la comunidad científica y la industria solar, se da con la siguiente fórmula:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \left(1 - k_a \cdot \frac{N}{P_d}\right) [38]$$

Donde:

Tabla 3. Factores para determinar el rendimiento

Kb	Pérdidas durante la acumulación:	Kv	Otras pérdidas no consideradas
0.05	Acumuladores nuevos sin descargas intensas	0.1	Si no se han tenido en cuenta pérdidas en cable
0.1	Acumuladores viejos con descargas intensas	0.05	Si ya se ha realizado un estudio detallado de pérdidas
Kr	Perdidas en el controlador de carga	Pd	Profundidad de descarga máxima admisible
0.1	Controlador de carga eficiente	0.9	Batería descargada al 90 %
0.15	Controlador de carga antiguo poco	0.8	Batería descargada al 80 %
Ka	Auto descarga de la batería	0.7	Batería descargada al 70 %
0.002	baterías de baja auto descarga sin mantenimiento	0.6	Batería descargada al 60 %

0.005	Baterías estacionarias de energía solar	0.5	Batería descargada al 50%
0.012	Baterías de alta autodescarga	0.4	Batería descargada al 40%
Ki	Pérdidas por el rendimiento del inversor	0.3	Batería descargada al 30%
0	No hay inversor en la instalación	N	Número de días de autonomía
0.05	Rendimiento inversor 95 %	3	Vivienda fines de semana
0.1	Rendimiento inversor al 90 %	5	Vivienda habitual
0.15	Rendimiento inversor al 85 %	15	Instalaciones especiales con servicio prioritario
0.2	Rendimiento inversor < 85 %	20	Instalaciones especiales de alta fiabilidad

Nota: tomada de Solís y Perlaza [38, p. 45]

I. Tensión del sistema

Para determinar la tensión del sistema fotovoltaico se tiene considerado los siguientes parámetros con base en la demanda máxima [38].

Para potencias ≤ 800 W, la tensión del sistema será 12 V

Para potencias >800 W Y < 1600 W, la tensión del sistema será 24 V

Para potencias >1600 W Y < 3200 W, la tensión del sistema será 48 V

Para potencias >3200 W, la tensión del sistema será 120 o 300 V.

J. Tipos de conexión de paneles fotovoltaicos

Conexión en serie: En esta configuración, los paneles solares se conectan uno después del otro, positivo con negativo, de modo que el voltaje total se suma. La corriente se mantiene constante en todos los paneles. La conexión en serie es útil cuando se necesita aumentar el voltaje total del sistema fotovoltaico. La corriente total del sistema será igual a la corriente de un solo panel [35].

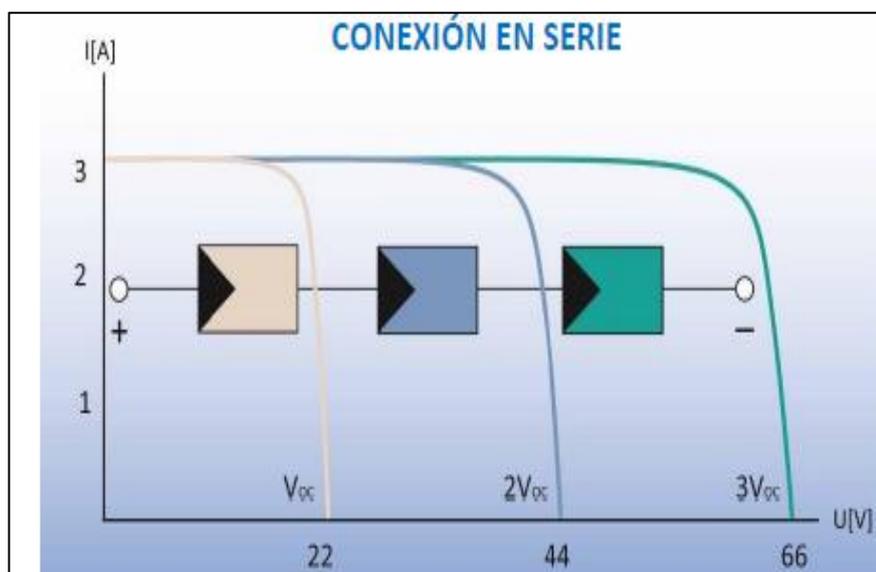


Figura 26. Conexión en serie de paneles

Tomada de «Invernaderos fotovoltaicos: un estudio económico-técnico» [65, p. 15]

Conexión en paralelo: Los paneles solares se conectan en paralelo, positivo con positivo y negativo con negativo. El voltaje se mantiene constante en todos los paneles, mientras que la corriente total se suma. La conexión en paralelo es útil cuando se necesita aumentar la corriente total del sistema. El voltaje total del sistema será igual al voltaje de un solo panel [35].

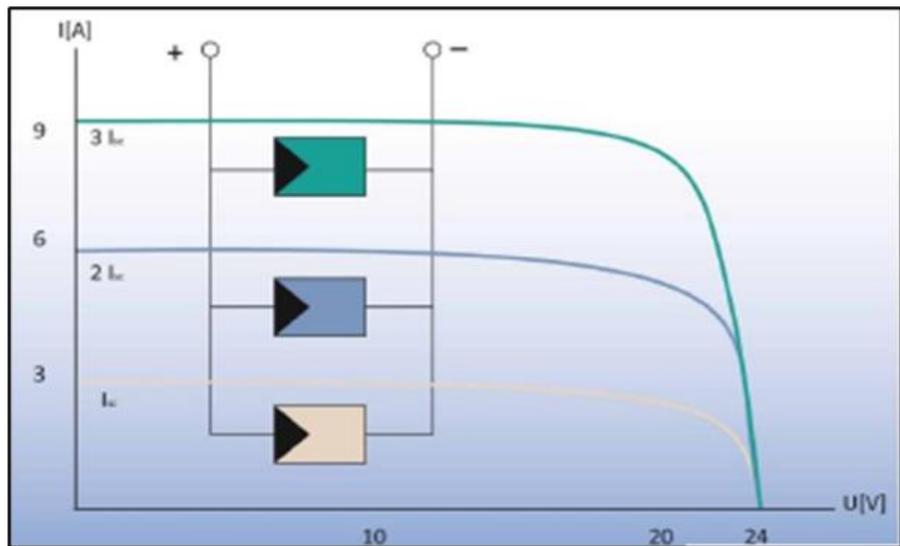


Figura 27. Conexión en paralelo de paneles
 Tomada de «Invernaderos fotovoltaicos: un estudio económico-técnico» [65, p. 16]

Conexión mixta: En esta configuración, se combina la conexión en serie y en paralelo. Los paneles solares se agrupan en subconjuntos que se conectan en serie, y luego estos subconjuntos se conectan en paralelo. Esto permite aumentar tanto el voltaje como la corriente total del sistema. Es una opción flexible para ajustar la configuración según las necesidades específicas del sistema [35].

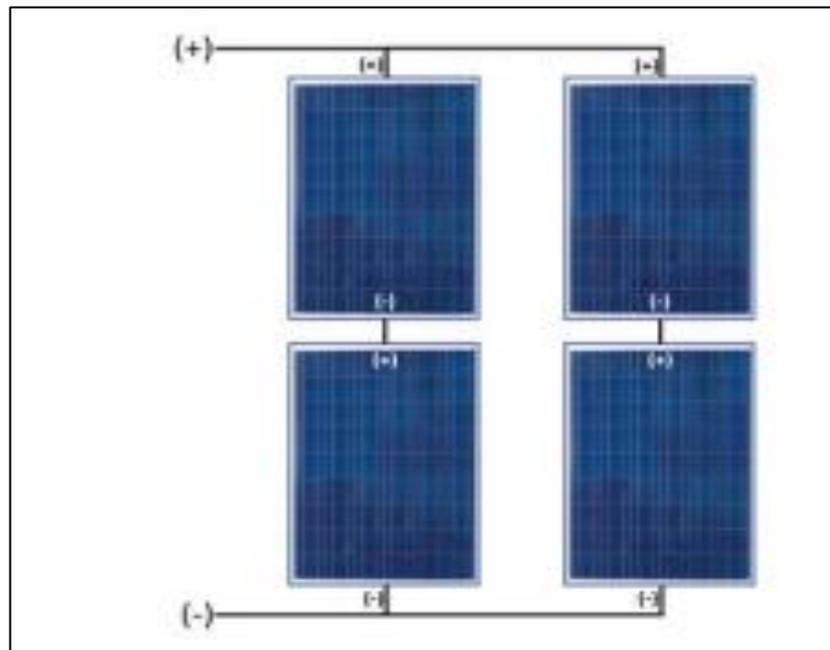


Figura 28. Conexión mixta de paneles

Es importante tener en cuenta que, al realizar cualquier tipo de

conexión, los paneles solares deben tener características eléctricas similares (misma corriente nominal y voltaje de circuito abierto) para un rendimiento óptimo. Además, se deben tomar precauciones para asegurarse de que los cables y los dispositivos de protección (como fusibles o disyuntores) sean adecuados para la corriente y el voltaje del sistema.

2.2.3.4. Puesta a Tierra

La puesta a tierra (PAT) consiste en conectar un sistema eléctrico o electrónico con tierra, creando un camino de baja resistencia para que la corriente fluya en caso de una falla o un evento anormal (enlace equipotencial), evitando diferencias de potencial que puedan dar lugar a descargas eléctricas en caso de una falla o evento anormal, su fin principal es proteger a las personas y equipos de posibles descargas eléctricas y crear un punto de referencia seguro para el sistema; el valor de su resistencia no deberá ser superior a los 25 ohmios, para no permitir que cualquier masa dé una tensión de contacto por encima de lo permitido [39].

Existen varias maneras de tratar una puesta a tierra, desde usar material orgánico hasta químicos disponibles en el mercado, esto dependerá de la resistividad del suelo; ya que lo que se busca es tener un bajo valor óhmico, para garantizar una mejor protección [40].

La resistividad del terreno está relacionada con la humedad, la temperatura y su composición química y esta juega un papel importante en los resultados de los valores óhmicos en las puestas a tierra, si los valores óhmicos están por encima de lo establecido por las normativas, se pueden mejorar apoyados con aditivos químicos [41].



*Figura 29. Instalación de electrodo de PAT en configuración vertical
Tomada de «Diseño de un sistema de puesta a tierra» [41, p. 74]*

2.2.4. Sistema de Control de un Sistema de Riego Automatizado

Constituye todos los componentes y equipos electrónicos necesarios para controlar, monitorear variables y predecir eventos; dentro de un determinado terreno a regar; se puede realizar el control de riego con base en el manejo de cuatro variables asociadas, como la humedad, el viento, el tiempo y la frecuencia de riego; con esto se logra un éxito en un sistema de riego [4].

Entre ellos están:

2.2.4.1. Componentes electrónicos

A. Sensor de agua

Es un elemento electrónico compuesto por unos filamentos conductores en forma de líneas que pueden detectar presencia de agua, sus pines conectores tienen alta resistencia, aproximadamente $1\text{ M}\Omega$, estos sensores cuando tienen contacto con el agua hacen que su circuito interno se cierre, generando una caída de tensión, que luego es transmitida mediante sus pines convirtiéndose en una señal analógica [42].

Básicamente, estos sensores realizan su trabajo si existe suficiente agua, caso contrario, solo son gotas y no se dará el censado.

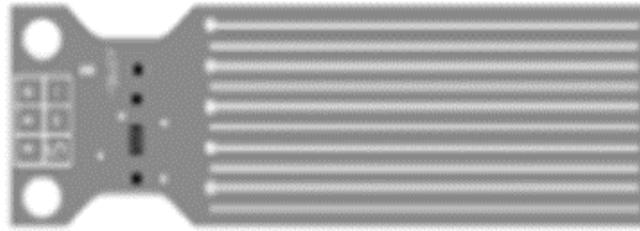


Figura 30. Sensor de agua de 5 V
Tomada de «Arduino. Curso práctico» [42, p. 165]

B. PLC

La NEMA (Asociación nacional de fabricantes eléctricos) de los Estados Unidos lo describe como un controlador lógico programable (*programmable logic controller*), este es un equipo electrónico digital con memoria para almacenamiento de datos e instrucciones y a la vez que son programables [14].

Existen de diversas marcas y modelos, en esta ocasión se toma como base lo siguiente:

PLC S7-1200: Es un controlador programable para realizar automatización de diferentes procesos productivos, es compacto, flexible, escalable y con un *software* de fácil manejo.



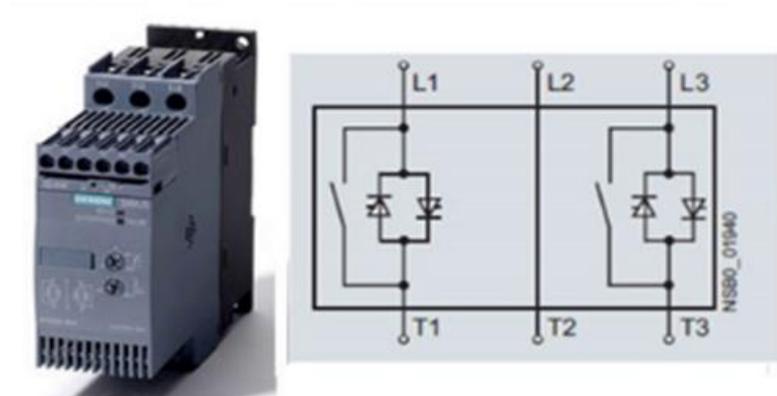
Figura 31. PLC Simatic S7-1200
Tomada de Siemens [44, p. 1]

C. Arrancador suave

Son dispositivos diseñados para controlar el arranque de motores eléctricos trifásicos o monofásicos de manera suave y gradual. Estos dispositivos ayudan a reducir el estrés y el impacto en el motor durante el

arranque, lo que puede aumentar la vida útil del motor y mejorar su eficiencia [11].

En los motores monofásicos, el arranque puede ser más difícil debido a la falta de un campo magnético rotatorio que facilite el proceso. Los arrancadores suaves proporcionan una solución para este problema. Utilizan electrónica de potencia mediante tiristores conectados en antiparalelo y circuitos de control para aplicar voltaje y corriente de manera progresiva al motor, permitiendo un arranque suave.



*Figura 32. Arrancador suave
Tomada de Siemens [44]*

2.2.4.2. Softwares de Diseño y Simulación

A. Autodesk AutoCAD 2020

AutoCAD es el *software* de dibujo más destacado en todo el planeta, tanto en ingeniería, arquitectura, mecánica e instalaciones; sus herramientas son de fácil manejo y permite diseñar un automóvil, edificios instalaciones eléctricas, albañilería, sanitarios, etc. [43].

Es una versión del popular *software* de diseño de dibujos asistido por computadora (CAD) utilizado para crear dibujos técnicos de ingeniería en 2D y modelos en 3D.



*Figura 33. AutoCAD 2020
Tomada de «Autodesk AutoCAD» [66, p. 1]*

B. S7-PLCSIM V17

Es una versión del *software* de simulación de Siemens llamado PLCSIM, que se utiliza en combinación con el entorno de programación de controladores lógicos programables (PLC) llamado TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*), sin necesidad de usar *hardware* real [44].

Soporte para TIA Portal V17: Esta versión de PLCSIM está diseñada para ser utilizada en conjunto con la versión V17 del TIA Portal, el entorno de programación integral de Siemens. Ambos programas se sincronizan para proporcionar una experiencia de desarrollo y simulación más integrada.



Figura 34. Vista del entorno de S7-PLCSIM V17

C. SketchUp

Es un *software* de modelado 3D utilizado para crear diseños y modelos en entornos arquitectónicos, de ingeniería, diseño de interiores, videojuegos y otros campos relacionados. Aunque se utiliza principalmente en la industria de la arquitectura y la construcción, *SketchUp* es accesible y utilizado por profesionales y entusiastas de diferentes disciplinas. Al utilizar *SketchUp*, los

usuarios pueden crear modelos 3D desde cero o importar archivos existentes en formatos populares como DWG, DXF, 3DS, entre otros. El *software* ofrece herramientas intuitivas para dibujar, extruir, mover, rotar y escalar elementos en el modelo 3D.



Figura 35. Vista de entorno de SketchUp

D. PVsyst

PVsyst es un *software* ampliamente utilizado en la industria fotovoltaica para el diseño, simulación y análisis de sistemas de energía solar fotovoltaica. Proporciona una amplia gama de herramientas y características que permiten a los usuarios evaluar la viabilidad y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos en diferentes ubicaciones y condiciones de irradiación [45].

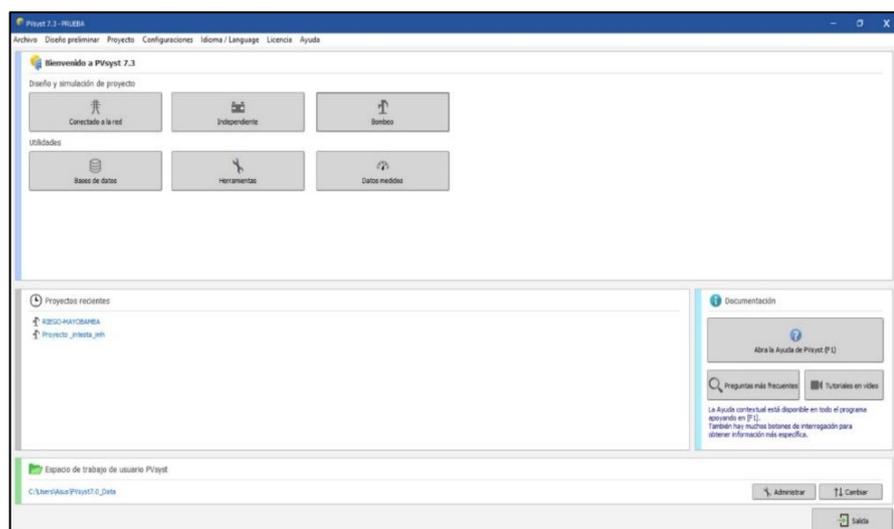


Figura 36. Entorno de trabajo del PVsyst versión 7.3

2.2.5. El aguaymanto

Es una planta nativa de Perú, actualmente, ya se cultiva en diversos puntos del mundo, siendo Colombia el mayor productor, donde se le conoce como *uchuva*. Su nombre científico es *Physalis peruviana* [46].

La planta alcanza una altura promedio de 1.10 m, el sabor de su fruto es agri dulce, se pueden cultivar desde 0-3300 m s. n. m., pero en condiciones óptimas entre 2400 a 2800 m s. n. m. a una temperatura óptima de entre 13°-18°, debe existir una adecuada precipitación de entre 1000 y 2000 mm anuales y una humedad relativa promedio de 70 % y 90 %, requieren de buen suministro de agua para su desarrollo y evitar que sus frutos se partan [47].

Con una precipitación bien distribuida de 1000 a 2000 mm durante un año, se estaría logrando un buen desarrollo de la planta, el fruto de aguaymanto contiene un 80 % de agua, es por lo que necesitan abundante agua hasta su primera cosecha, ya de ahí hay que ir reduciendo gradualmente, para no perjudicar su longevidad [48].

Según la FAO es pariente del tomate y en ese sentido se le puede hacer un comparativo, estimándose que una planta de aguaymanto adulta puede requerir entre uno o dos litros de agua por día durante los meses más calurosos del año [31].

Según experiencia de los investigadores, con estas plantas, la cantidad de agua necesaria para ser regada depende de varios factores, como el tamaño de la planta, la humedad ambiental, tipo de suelo, la temperatura y la época del año. Las plantas se obtienen a partir de semillas realizando almácigos.



Componentes	Cantidad promedio
Humedad	78.90%
Carbohidratos	16 gr.
Cenizas	1.01 gr.
Fibra	4.90 gr.
Grasas totales	0.16 gr.
Proteínas	0.05 gr.
Acido ascórbico	43 mg.
Calcio	8 mg.
Caroteno	1.61 mg.
Fósforo	55.30 mg.
Hierro	1.23 mg.
Niacina	1.79 mg.
Riboflavina	0.03 mg.

Figura 37. Valor nutricional del aguaymanto
Tomada de Lavi [67, p. 22]

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Automatizado

De lo que opera automáticamente, la automatización del trabajo (automatización: del griego antiguo *auto*, 'guiado por uno mismo') es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operarios humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

2.3.2. Caudal

Volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. Un caudal se calcula mediante la siguiente fórmula: $Q = V/t$, siendo Q (caudal), V (volumen) y t (tiempo). Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos.

2.3.3. Centrífuga

La fuerza centrífuga es una fuerza ficticia que aparece cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación, o equivalentemente la fuerza aparente que percibe un observador no inercial que se encuentra en un sistema de referencia rotatorio.

2.3.4. Fajas

El sistema de los cultivos en fajas es una alternativa para detener el proceso erosivo causado por diferentes agentes como el agua y el viento. La siembra en fajas en curvas de nivel es una técnica eficiente de conservación de suelos y agua en laderas y no requiere de mayor inversión o gastos suplementarios.

2.3.5. Mecanizadas

La mecanización agrícola es una de las ramas de estudio de la ingeniería agrícola. Tiene como objetivo diseñar, seleccionar, estudiar, recomendar y operar máquinas y equipos de uso agroindustrial con el fin de acelerar la productividad y eficiencia de las actividades del sector rural.

2.3.6. Nivel Freático

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea, tabla de agua o simplemente freático.

2.3.7. Percolación

Proceso mediante el cual el agua, al atravesar una capa de suelo, disuelve sus componentes solubles y los arrastra hacia las raíces de las plantas o los mantos freáticos.

2.3.8. Presurizado

Dispositivo que sirve para dar presión a las tuberías cuando no se cuenta con un tinaco y la presión de agua es muy baja. Su encendido es automático cada vez que se abre la llave de agua y se apagan cuando la cierran.

2.3.9. Radicular

Según la Botánica, se denomina sistema radicular o sistema radical al grupo de raíces de una misma planta. Según su origen y desarrollo se distinguen dos tipos de sistemas radicales, que están asociados a grupos diferentes de plantas.

2.3.10. Tablares

Grupo de tablas de un huerto o un jardín, con la finalidad de facilitar el acceso de las personas al terreno, como su disponibilidad para el riego.

2.3.11. *Fitting*

Los *fittings* son conexiones que ayudan a unir segmentos de cañerías o tuberías en instalaciones sanitarias, de gas o agua potable.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología Aplicada para el Desarrollo de la Solución

La presente tesis es del tipo de investigación tecnológica, la metodología empleada fue un modelo de diseño de producto, denominado I+P+D3, el cual es una metodología planteada bajo el análisis de comparación y coincidencias de las etapas de diez metodologías; consta de las siguientes cinco fases que son la investigación, planificación y clarificación, definición del producto, diseño y desarrollo [49].

3.1.1. Etapas de la Metodología

3.1.1.1. Investigación

En esta fase se recolecta la mayor cantidad de información de las demandas y necesidades del usuario y el cliente, información necesaria para el proyecto, características, culturales, políticas, económicas, sociales y tecnológicas, del contexto de uso de los usuarios; para esto se consideran dos fases: El número uno busca identificar la necesidad real del usuario. La segunda fase consiste en organizar adecuadamente la información de la fase 1 y con base en eso se muestran todas las soluciones [49].

3.1.1.2. Planificación y Clarificación

Listado de definición de las especificaciones que el producto va a contener, con base en tres fases, primero se define el alcance, analizando la solución óptima que cumplan las metas del proyecto y los del usuario, seguidamente, se determina el entorno de trabajo y se define las secuencias y

participantes del desarrollo. Y por último, se hace el reparto de las actividades de acuerdo con el perfil de cada participante [49].

3.1.1.3. Definición del Producto

Se hace mención documentada de las características de cómo será el producto de manera entendible, se identifican las limitantes del problema, haciéndose necesario medir variables medioambientales, normatividad y mercado. Aquí se genera valor con dos fases para desarrollar esta etapa: La primera consiste en planificar estrategias de lo que se va a desarrollar, y como segundo paso el modelo escrito de lo que será el producto una vez diseñado [49].

3.1.1.4. Diseño

Se reflejan las definiciones de la etapa anterior, el cual incluye requerimientos técnicos, estructura y funcionamientos mediante prototipos, todo esto con base en tres fases: primero, se definen todos los componentes necesarios para su desarrollo, luego, se diseña el detalle de cómo construir el producto mediante planos y especificaciones técnicas y, por último, se crea el prototipo [49].

3.1.1.5. Desarrollo

Creado el prototipo se somete a pruebas, esta etapa consta de 4 fases: la primera fase consiste en hacer pruebas al prototipo, la segunda se verifica que cumpla con las definiciones conceptuales, de calidad, seguridad, sostenibilidad y confiabilidad; en la fase tres se hacen pruebas conjuntas con los usuarios para verificar la aceptación del producto y, por último, en la fase cuatro se pone en marcha la producción bajo escala [49].

3.2. Aplicación de la Metodología I+P+D3

3.2.1. Investigación

Se fue a campo y se recogió información necesaria de acuerdo con las necesidades y la de los pobladores, viéndose la realidad que había de una urgente solución a la escasez de agua en épocas de verano. En campo, se verificó el terreno y sus características, se tomaron los datos necesarios para el diseño, así como, los datos topográficos, parámetros ambientales, del clima y tipos de plantas que se siembran; todo esto en compañía del beneficiario. También se observó que el terreno era semiplano y el agua no ejercería buena presión, por lo que se vio conveniente tener que

considerar una poza de captación de agua y otra de aguas bombeadas metros más arriba, logrando así una mayor altura de almacenamiento y al bajar desde ahí, el agua tomaría presión.

3.2.1.1. Datos de Campo

- Tipo de terreno: semipedregoso, con rasgos arcillosos y un color rojizo, no retiene el agua por buen tiempo.
- Área del terreno a regar: 5000 m²
- Temperatura promedio 20 °C
- Longitud de la sequía a pozo de almacenamiento de aguas captadas: 5 m
- Longitud de pozo de almacenamiento de aguas captadas a pozo de almacenamiento de aguas bombeadas: 50 m
- Longitud de pozo de aguas bombeadas a terreno por regar: 55 m
- Dirección del viento: irregular, cambiante según el pasar de las horas.
- Caudal del agua del canal existente.

3.2.1.2. Coordenadas

En la tabla 4 se aprecian las coordenadas del terreno del proyecto.

Tabla 4. Coordenadas del terreno intervenido

Punto	Coordenadas		
	Este	Norte	Cota
Esquina 1	380379	8920883	2402
Esquina 2	380356	8920940	2410
Esquina 3	380282	8920909	2440
Esquina 4	380306	8920852	2438
Pozo de captación de agua	380285	8920873	2475
Pozo de aguas bombeadas	380227	8920841	2505

Se ordenó la información recogida en campo y de acuerdo con lo evaluado se procedió a dar solución a la necesidad, el cual es la instalación de una estructura de irrigación automática, cabe recalcar que en el terreno se hacen sembríos de ciclo corto y se prepara el terreno con tractor agrícola.

3.2.2. Planificación y Clarificación

El plan estimado fue captar el agua en un reservorio y desde ahí bombearla con un motor que funciona a energía eléctrica a partir de generación fotovoltaica, a una

parte más alta donde estará ubicado otro reservorio denominado reservorio de aguas bombeadas, para luego de ahí liberarla por gravedad mediante unas tuberías; posteriormente, ya en el terreno por regar serían repartidas a varios tubos de menor dimensión que comunican con los aspersores, que a su vez, liberan el agua en forma de lluvia. Para lograr este objetivo se consideró 3 subsistemas:

- a) **Subsistema hidráulico**, se verificó en campo y se determinaron los componentes necesarios que compondrían el sistema hidráulico tanto para la captación, acumulación y reparto de agua de acuerdo con las necesidades de las plantas en el terreno.
- b) **Subsistema eléctrico**, es quizás el eje fundamental del sistema de riego, ya que se encarga de la generación, transporte y la distribución de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los dispositivos de control, mando y los equipos de bombeo hidráulico.
- c) **Subsistema de control**, para poder regar de manera automática y en el momento adecuado y necesario se consideró implementar un sistema de control que cumpla con tres parámetros necesarios que son la temperatura, humedad y viento; que serían las variables registradas por sensores y llevados a un equipo controlador para la toma de decisiones.

La planificación se hizo teniendo en cuenta el entorno cultural, social, moral y económicos para no variar el tipo de vivencia de la zona. Posteriormente, se repartieron las actividades de acuerdo con las habilidades de cada involucrado, tanto en campo, oficina y logística.

3.2.3. Definición del Producto

De acuerdo con los alcances vistos en campo, para poder regar eficientemente el cultivo de aguaymanto, por el método de aspersión y que este se pueda realizar de manera autónoma, controladas por las variables de temperatura, viento y humedad; logrando así un beneficio económico, para ello es necesario la implementación de 3 subsistemas con sus diversos componentes que se describen a continuación.

- a) **Subsistema hidráulico**, se realizó el cálculo del caudal necesario que se requiriese para mantener hidratado constantemente a las plantas de aguaymanto. También se determina que el sistema de riego estaría constituido por los siguientes componentes

hidráulicos: mangueras y tuberías de PVC de diferentes diámetros, que se encargan de la conducción y reparto de agua ya sea aguas bombeadas o las que bajan de la poza superior; los aspersores se encargan de regar en forma de lluvia a las plantas, girando gracias a la presión del agua, estas serían fijadas al terreno mediante estacas de madera; accesorios *fitting*, sirven para unir, desviar, repartir o reducir de un diámetro de tubería a otro en el sistema hidráulico del riego; también se contempló la implementación de dos reservorios revestidos con geomembrana cavadas en el suelo a los que se les denominó reservorio de captación ubicada en la parte inferior y reservorio de aguas bombeadas ubicada en la parte superior, destinadas a acumular agua.

b) Subsistema eléctrico, el cual está constituido por todo el conjunto de dispositivos y equipos eléctricos, como son el tablero eléctrico que es una caja metálica rectangular diseñada para proteger a los diferentes dispositivos del sistema eléctrico y control; la bomba sumergible tipo bala, motor centrífugo que sirve para el bombeo del agua desde la parte baja hasta la parte alta, llave termomagnético, encargado de proteger el circuito eléctrico ante recalentamientos por sobrecargas. El guardamotor es un dispositivo magnetotérmico encargado de proteger al motor ante sobreintensidades transitorias de arranque. Las electroválvulas son dispositivos electromagnéticos que en este caso se encargan de abrir o cerrar el flujo de agua por las tuberías. El contactor que es un dispositivo de cierre o apertura de un circuito de fuerza, capaz de maniobrar altas corrientes sin la intervención directa de la persona para evitar efectos perjudiciales, selector de posición manual automático, bomeras de paso que sirven para unir el cableado exterior con los dispositivos de control, lámparas de señalización, riel tipo DIN para fijar todos los componentes eléctricos, caja botonera para el mando manual rojo y verde, así mismo, se consideró el uso de conductores eléctricos tipo THW, resistentes a la humedad y al sol; los equipos de generación fotovoltaica encargadas de generar la energía eléctrica a través de la luz solar y entregar a la carga para su consumo. Por último, se determinó que sería necesaria la construcción de una caseta para albergar a los componentes eléctricos y que en el techo de esta serían instalados los paneles fotovoltaicos.

c) Subsistema de control, conformado por los sensores de humedad, que se encarga de censar el nivel de agua con la que dispone el terreno y por ende la planta; el sensor de viento, que se encarga de verificar la velocidad y fuerza del viento, y con ello, cuando el aspersor libere el agua, este no sea arrastrado ocasionando que la planta no la aproveche; el sensor de temperatura es el que determina la temperatura

ambiente a la cual la planta puede ser regada sin sufrir daño por agua caliente o muy fría. El PLC, este controlador es quizás el cerebro del sistema de control, ya que se encarga de realizar los comandos, tanto de recibir como de enviar órdenes. Asimismo, con los datos topográficos y ambientales obtenidos en campo se procedió a procesarlos para su posterior diseño.

3.2.4. Diseño

Después del paso anterior donde se determinaron todos los componentes, materiales y piezas a ser utilizados, conforme a la definición del producto y sus subsistemas; se procedió con la etapa de diseño donde, apoyados en las bases teóricas, se realizaron los diferentes cálculos necesarios, tanto como eléctricos, hidráulicos y de control; así como, toda la ingeniería de detalle necesaria incluyendo especificaciones técnicas, diagramas y planos. A continuación, se describen brevemente:

3.2.4.1. Cálculos Hidráulicos

El cálculo hidráulico para riego por aspersión tuvo como objetivo garantizar la distribución uniforme del agua en la zona de riego, mediante el diseño adecuado de la red de tuberías y la selección de los aspersores adecuados, para cumplir con las necesidades de agua de los cultivos de aguaymanto, en ese sentido:

Se determinaron las características del área de riego, definiendo el área donde se está trabajando, la forma de esta área y los obstáculos que pueden interferir con la distribución del agua. Seguidamente, se determinó los caudales necesarios de agua de acuerdo con los requerimientos de la planta. Seleccionando los aspersores adecuados para la aplicación de agua en la zona de riego, considerando factores como la forma y tamaño del área de riego, la presión disponible y la uniformidad de distribución del agua. Se diseñó la red de tuberías que transporta el agua desde la fuente de suministro hasta los aspersores, considerando la distancia, el diámetro y la pérdida de carga de la tubería. Calculando la presión adecuada de operación de los aspersores, garantizando una distribución uniforme del agua en toda el área de riego. Verificando la uniformidad de distribución del agua en el área de riego, mediante pruebas de uniformidad y definiciones necesarias en el diseño.

3.2.4.2. Cálculo Eléctrico para Riego por Aspersión

El objetivo de diseñar un sistema de riego eficiente, seguro y

automático se realizó siguiendo los siguientes pasos:

Se determinó la carga eléctrica total que se requiere para alimentar el sistema de riego automatizado, incluyendo la energía necesaria para alimentar las bombas de agua, los dispositivos de control y otros equipos eléctricos del sistema. Se seleccionó los componentes eléctricos adecuados, como las llaves termomagnéticas, los sensores de nivel de agua y los actuadores eléctricos de las válvulas, etc. Una vez determinada la carga eléctrica total se han seleccionado los componentes eléctricos, se calcularon la corriente y el voltaje requeridos para el sistema, considerando las especificaciones de cada componente. Posteriormente, se diseñó el esquema eléctrico detallado, que incluyó los componentes eléctricos, los puntos de conexión, el guardamotor y los interruptores de protección. También se verificó la seguridad eléctrica, que el sistema cumpla con las normas de seguridad eléctrica, como la instalación adecuada de tierras físicas y la protección contra sobrecargas eléctricas.

3.2.4.3. Cálculos del Sistema de Control

Para un sistema de control automatizado de riego por aspersión, se requirieron previamente de varios cálculos importantes que estuvieron conectados con la parte hidráulica y eléctrica. Algunos de estos cálculos son:

- **Cálculo de la tasa de riego:** La tasa de riego se refiere a la cantidad de agua que se debe aplicar al suelo durante un período de tiempo determinado. Esta tasa se calcula en función de varios factores, como el tipo de suelo, el clima, el tipo de cultivo y la etapa de crecimiento del cultivo.
- **Cálculo del caudal y la presión del agua:** El caudal y la presión del agua son importantes para determinar la cantidad de agua que se debe aplicar en un determinado tiempo y para garantizar que el sistema de riego funcione correctamente. Se deben realizar cálculos para determinar la cantidad de agua disponible y la presión necesaria para satisfacer las necesidades del sistema.
- **Cálculo del tamaño y diseño del sistema de riego:** El tamaño y diseño del sistema de riego deben ser adecuados para el área que se va a observar y para las necesidades del cultivo. Se deben realizar cálculos para determinar

la cantidad de aspersores necesarios, la distancia entre ellos y la ubicación adecuada de las tuberías.

- **Cálculo de la duración del riego:** La duración del riego se refiere al tiempo durante el cual se debe aplicar agua al suelo. Este cálculo depende de varios factores, como el tipo de suelo, requerimiento hídrico de la planta, la tasa de riego, la capacidad de retención de agua del suelo y la evapotranspiración. Con todo esto se determina la programación del autómatas controlador.
- **Cálculo y dimensionamiento de los equipos electrónicos:** Estos estaban sujetos a la parte hidráulica y eléctrica porque dependían fundamentalmente de ambas partes para su dimensionamiento, así como también, se usaron *softwares* para su simulación, selección y mejora.

3.2.4.4. Diagramas y Planos

Con ayuda de los diversos *softwares* de cálculo, diseño y dibujo, tal como el AutoCAD, Solid Works, Excel y Word, se procedió a realizar los diagramas y planos de construcción del prototipo.

3.2.4.5. Creación del Prototipo y Simulación en Software

Una vez teniendo el listado de todos los componentes necesarios, realizado todos los cálculos, los diagramas y planos en mano, se dispuso a recrearlo en los *softwares* para su posterior simulación apoyándose con los *softwares* Cade Simu, PC SIMU y PLC logo.

3.2.5. Desarrollo

Una vez concluido el diseño, en esta fase se procedió con la simulación de los diferentes subsistemas que compone el proyecto, verificando que cumpla con las definiciones conceptuales; lo cual permitió mejorar el diseño.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de Requerimientos

El fin de este sistema de riego es cumplir con las expectativas de los usuarios que puedan usar el diseño, tanto en ahorro de agua, condiciones climáticas y en lo tecnológico. Para ello se realizó una encuesta con los principales productores de la zona, quienes tienen amplia experiencia en el proceso productivo de aguaymanto y otros productos que abundan en la zona de Mayobamba y alrededores que tienen características de ceja de selva; los resultados se muestran a continuación:

Para la pregunta 1: ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?, el resultado fue que el 100 % afirmó que sí existe este recurso, en ese sentido se dispone de agua para poder realizar un sistema de riego, pero que muchas veces su uso inadecuado causa que se desperdicie, ocasionando que los pobladores más alejados que se encuentran en la parte baja sean desabastecidos.

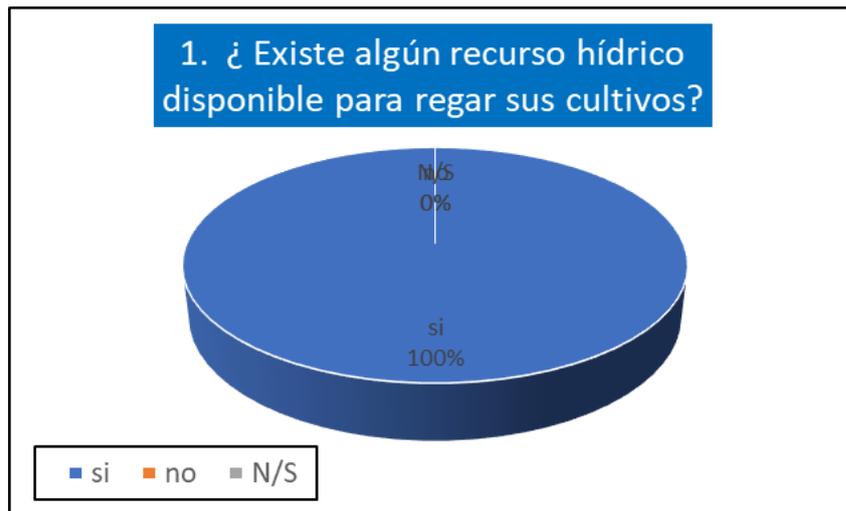


Figura 38. Respuesta de la pregunta 1

En la pregunta 2: En sus cultivos, ¿qué tipo de riego utiliza?, pregunta que fue necesaria para poder saber qué nivel de manejo del agua se contaba en la zona, lo que se pudo apreciar fue de que la gran mayoría (70 %) seguía con el sistema de riego ancestral de inundación, como se sabe, el riego por inundación es un sistema que desperdicia el agua innecesariamente, pero que aquí aun lo siguen usando porque muchas veces hace falta una orientación en lo tecnológico; por el método de aspersión lo hacía un 20 % y otro 10 % regaba por goteo.



Figura 39. Respuesta de la pregunta 2

Como se aprecia, en la pregunta 6 de la encuesta se preguntó, ¿Usted cultiva la planta de aguaymanto?, el resultado fue que el 80 % de los encuestados sí cultivaban la planta del aguaymanto, mientras que un 10 % no lo hacía y otros 10 % no sabe. Deduciendo que la gran mayoría cultiva el aguaymanto y este producto es parte de su fuente de ingreso y, por ende, en las épocas de estiaje necesitan regar para no perder su cosecha o mejorar su producción.

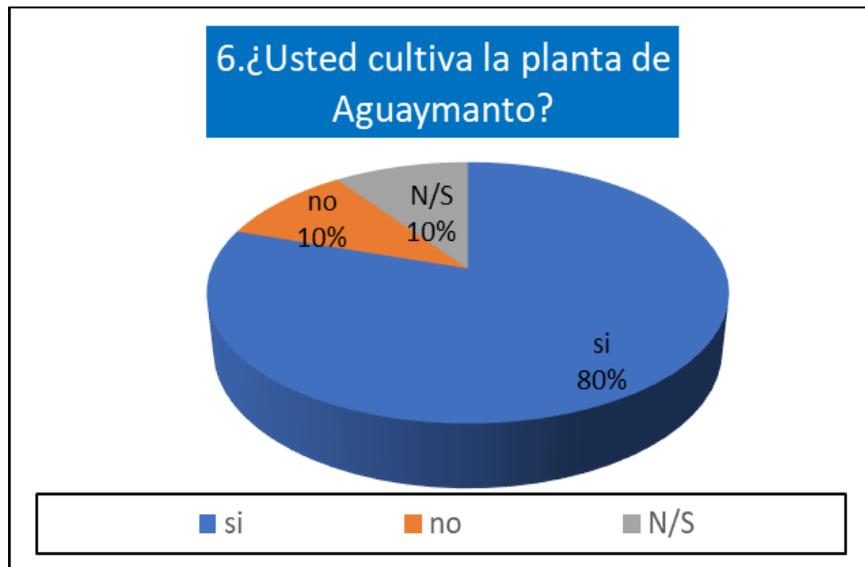


Figura 40. Respuesta de la pregunta 6

En la pregunta 8: ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto? Se pudo estimar de que $\frac{1}{2}$ hectárea era la dimensión de terreno que la mayoría dedicaba al cultivo de aguaymanto, 20 % cultivaba $\frac{1}{4}$ de hectárea y el 10 % lo realizaba en extensiones mayores de una hectárea.

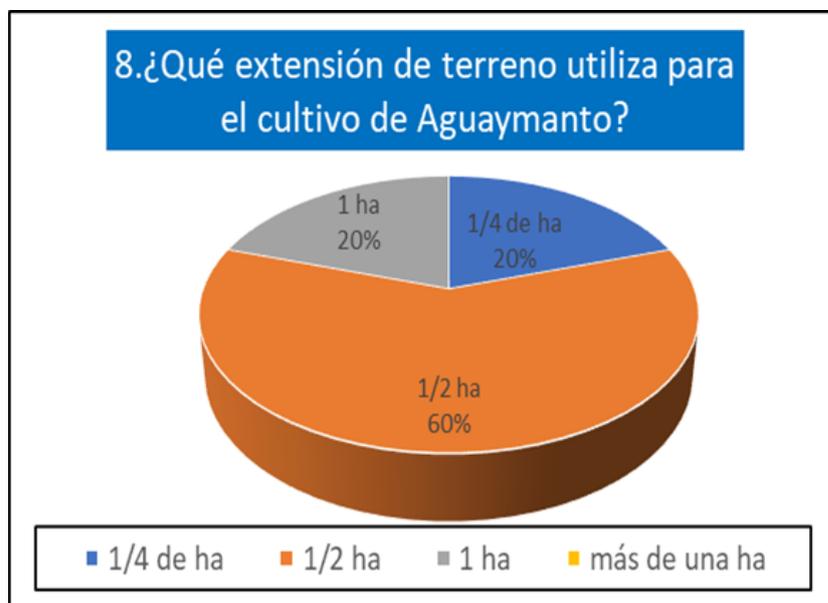


Figura 41. Respuesta de la pregunta 8

Se les pregunto también en la pregunta 9: ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?, a lo que la respuesta fue que a un 90 % le gustaría tener su riego automatizado y 10 % no sabía. Con esta respuesta se dedujo que sería conveniente instalar un sistema de riego, ayudando así a la mejora económica y al mejor aprovechamiento del recurso hídrico disponible.

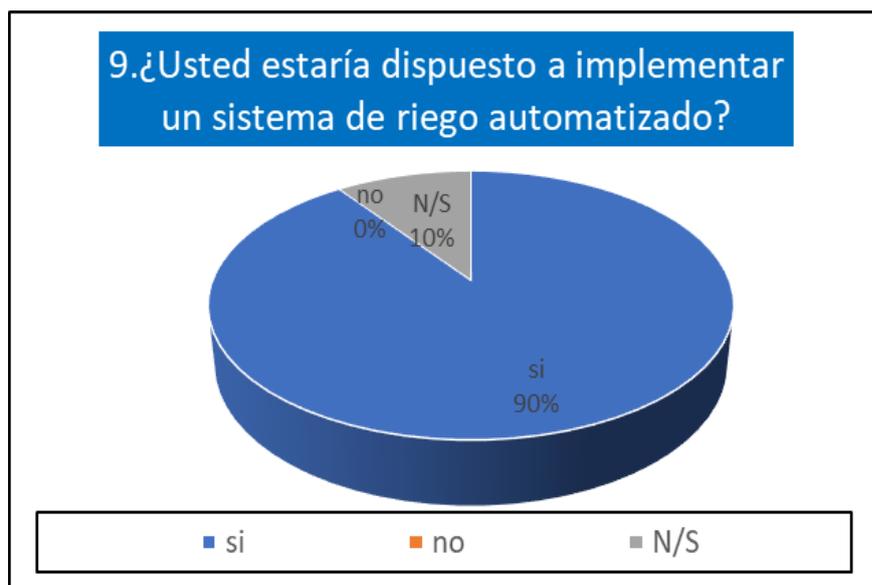


Figura 42. Respuesta de la pregunta 9

Después de ver estas preguntas, se consideró que es conveniente la implementación de un sistema de riego. En cuanto a los dispositivos y equipos considerados, hubo dedicación para buscar las cotizaciones, marcas y modelos más accesibles en el mercado, los *softwares* empleados son los más conocidos y de fácil manejo con los que se realizaron las simulaciones, los cálculos y la elaboración de los planos de todos los componentes de los 3 subsistemas y poder tener un sistema de riego que haga un uso óptimo del recurso hídrico.

4.1.1. Requerimientos Funcionales

En este punto se describen las características del cultivo, dimensiones del terreno, recurso hídrico necesario y todo lo que debe hacer el sistema de riego para poder satisfacer las necesidades de agua en las plantas.

Las plantas a ser regadas son aguaymanto, esta planta tiene las siguientes características, sus flores son acampanadas, de color amarillento, con corolas marrón y morado, sus frutos tienen un gusto acidulado, de color amarillento con forma de globos pequeños de aproximadamente 2 centímetros de diámetro, cubiertos por un cáliz de textura suave y aceitosa; esta planta requiere de agua constantemente, variando desde un litro durante las etapas de crecimiento hasta tres litros por día en etapa de producción para poder desarrollar sus frutos, su plantación se realiza en surcos con separación de 1.5 m entre tales y de 1 m de separación vertical entre plantas, las plantas se obtienen a partir de semillas que son almacigadas en una pequeña parcela con tierra orgánica, estas brotan después de 1 mes y después de 15 días más son trasplantados en unas bolsitas con tierra orgánica cernida por un lapso de 20 días para finalmente ser llevados

al terreno dispuesto y ser plantados, el terreno tiene que estar abonado anticipadamente con guano de granja, desde esta etapa el aguaymanto para su desarrollo y producción tarda un aproximado de 5 a 6 meses, luego, las cosechas son semanales hasta por un año. Durante su ciclo de vida se realiza 4 cultivos que incluyen apolques y reabonadas, la primera se realiza a los 45 días después de su plantación, la segunda a los 75 días, la tercera a los 120 días y el cuarto cultivo después de la segunda o tercera cosecha. A sí mismo, las fumigaciones son quincenales para evitar enfermedades y plagas en la planta.

Para este diseño, se seleccionó un terreno ubicado en el distrito de Chinchao, departamento de Huánuco con una altitud de 2475 m s. n. m., coordenadas 18L 380283 8920878, una temperatura promedio de 17.3 °C y una extensión de media hectárea, el suelo presenta las siguientes características: Un espesor de tierra fértil de 35 cm de color marrón a pardo oscuro, textura franca poco arcillosa, estructura granular, consistencia suelta, pH débilmente ácido, contenido de materia orgánica media, equivalente de humedad es de 40 %, punto de marchitez permanente de 15 %, densidad aparente de 1.29 g/cc (gramos por centímetro cúbico), no presenta problemas de salinidad, las épocas de invierno oscilan entre diciembre y abril, el resto del año las lluvias son escasas, la pendiente del terreno es aproximadamente 15°.

En tanto, el diseño del sistema de riego constituido por los subsistemas eléctricos, hidráulicos y de control que básicamente, mediante variables como son la temperatura, la humedad y el viento, determinan cuándo regar, brindando agua a la planta cada vez que lo requiera; mediante un conjunto de aspersores tipo mariposa, distribuidos equitativamente, fijados a unas estacas de madera móviles, estos aspersores alimentan de agua a presión en forma de lluvias, esta agua que llega a los aspersores es alimentada mediante mangueras de polietileno flexible de calibre proporcional al aspersor y están distribuidas en ramales de 2.5 m por cada aspersor dentro de las alas secundarias, las alas secundarias se conectan con las primarias en ambos casos de tuberías rígidas de polietileno (HDPE) son de mayor diámetro, están enlazados mediante conectores y reducciones; estas también comunican con el reservorio de aguas bombeadas ubicado en la parte más alta del sistema, aquí se almacena el agua bombeada mediante unas tuberías por la acción de una electrobomba sumergible alimentada por generación fotovoltaica a partir del reservorio de captación ubicada 55 metros más abajo, este reservorio es una poza cavada en el terreno y recubierto con geomembrana debidamente pegada, para evitar fugas. La poza de captación recibe el agua mediante unas tuberías desde el desarenador (pozo), cavado en el terreno sin otro material

adicional y hasta este llega el agua directamente de la sequía existente mediante una tubería HDPE, este recurso hídrico es captado a unos 6 km aguas arriba del riachuelo que lleva el nombre de Cashunayo, esto por la existencia de animales silvestres llamados *cashunas* o *nasua nasua* (cuatí de cola anillada).

4.1.2. Requerimientos no Funcionales

- Se realizó un plan de ejecución y conservación de todo el sistema para garantizar el buen funcionamiento y duración del sistema automatizado de riego por aspersión, así como también, se trabajó en el tema de seguridad ante los peligros inminentes que pueden sufrir las personas, animales y propiedades.
- Mantenimiento, para garantizar un buen abastecimiento del recurso hídrico se deberá realizar labores de limpieza programadas de la acequia que abastece con agua, desde la bocatoma hasta los terrenos de riego, así también periódicamente se deberá revisar todos los componentes del sistema para evitar averías.
- Escalabilidad, puede expandirse o reducirse según las necesidades del usuario. Por ejemplo, el sistema puede manejar diferentes áreas de riego o diferentes tipos de plantas.
- Usabilidad, el sistema es fácil de usar y entender, lo que significa que el usuario puede interactuar con el sistema de manera intuitiva y sin problemas.
- El sistema es eficiente en el uso de la energía para minimizar los costos y reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, el sistema apaga automáticamente los componentes cuando no están en uso, a su vez que se utilizan componentes de baja potencia.

4.2. Análisis de la Solución

Con el objetivo de garantizar una mejora en el sistema de riego artesanal, se realizó diversos análisis a distintas propuestas de riego buscando la óptima, valiéndose de experiencias previas de los investigadores y la de los pobladores mediante encuestas. La finalidad es tener un sistema de riego automatizado para poder aprovechar al máximo el recurso hídrico, generando mejor producción agrícola, inclusive en épocas de verano, que se transfiere en ganancias económicas. La escasez de agua en temporadas de verano que son entre abril y diciembre es muy alta, haciendo dificultosos los sembríos en los terrenos de la parte baja del

CPM Mayobamba. Para ello se realizó la evaluación de todas las informaciones recogidas en campo, medios audiovisuales, textuales y redes de internet, así como el análisis económico; llegándose a la conclusión que la solución óptima sería el sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica, este sistema aprovecharía el recurso natural renovable de la energía solar, para generar electricidad y esta energía pueda ser utilizada para bombear agua desde un reservorio inferior y acumularlo en un reservorio de aguas bombeadas ubicado en la parte superior a aproximadamente 50 m de separación con una inclinación de 30°, hasta aquí es bombeado el agua con la finalidad de que al bajar por las tuberías pueda tomar presión para poder mover los aspersores. Esta agua acumulada en el reservorio superior permanece ahí para ser utilizado cuando el sistema de control diga que es momento de regar, la planta requiere agua, además el sistema de riego es bastante amigable en su operación y manejo, además, no es muy costosa su implementación. Si el agua acumulada en los reservorios no es utilizada por largo tiempo, como es el caso de épocas de invierno, serán liberadas por unas tuberías de desahogue. Con la finalidad de lograr el objetivo de diseño fue dimensionado en tres subsistemas, que se describen a continuación.

4.2.1. Sistema Hidráulico

Está considerado por los siguientes componentes hidráulicos:

- a) **Reservorio de agua**, que se encargan de captar y almacenar el agua, consiste en 2 pozas cavadas (reservorio 1 o de captación y el reservorio 2 o de aguas bombeadas) en los puntos destinados, estos reservorios son revestidos con geomembrana para evitar filtración; el reservorio superior de aguas bombeadas es de mayor capacidad de almacenamiento de agua que el del reservorio de captación, a su vez, que cuentan con un diseño de paredes en talud, ingreso y salida de tuberías de comunicación. Para evitar que ingresen terceras personas, están cercadas con postes de madera y alambres de púas, con una separación de 30 cm por carrilada de alambre de púas hasta una altura de 1.5 m.
- b) **Las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE)**, estas tuberías son usadas para la captación del agua que va a llenar el reservorio inferior, también como ducto del bombeo conectando el reservorio inferior con el superior, para los desahogues y para las alas regadoras principales que comunican el reservorio superior con las alas regadoras secundarias y los aspersores en la parcela. Para unir, separar, tapan o derivar estas tuberías cuentan con *fittings* de tipo compresión HDPE.
- c) **Mangueras flexibles de PVC**, estas se encargan de suministrar agua desde las

uniones con las tuberías de las alas regadoras secundarias llevándolos hasta los aspersores, son de menor diámetro que las tuberías de las alas regadoras secundarias, ya que en estas las cantidades de agua se dividen de acuerdo con las capacidades requeridas por los aspersores. Su bajo peso y flexibilidad facilitan su desplazamiento de un punto a otro en el terreno.

d) Aspersores que esparcen el agua a presión, proveniente de las mangueras de las alas regadoras secundarias, aquí el agua es esparcida en forma de lluvia hacia las plantaciones de aguaymanto.

e) Manómetros, se encargan de medir las presiones que tiene el agua al pasar por las tuberías, mangueras y demás accesorios, con este instrumento se puede controlar el tipo de presión que se requiere para un correcto abastecimiento del agua, y así no poder dañar los demás componentes hidráulicos.

4.2.2. Sistema Eléctrico

4.2.2.1. Tablero

Este tablero eléctrico diseñado en material de latón es utilizado para albergar las llaves termomagnéticas encargadas de proteger las instalaciones eléctricas, sobre todo a los cables eléctricos ante recalentamientos, al guardamotor que protege al motor en caso de sobrecargas, en el tablero se realiza la distribución de la energía a los diferentes equipos de fuerza y dispositivos de control y mando, su ubicación será debajo de los paneles solares.

4.2.2.2. Electrobomba tipo Bala

Se usa para bombear el agua desde el reservorio de captación hacia el reservorio superior de aguas bombeadas, a través de unas tuberías de HDPE, son de tipo centrífuga, van sumergidas en el reservorio con una separación de 30 cm del piso para evitar que succione elementos perjudiciales, jamás deben trabajar en seco ya que esto generaría daños irreversibles en los cojinetes y los sellos.

4.2.2.3. Electroválvulas

Realizan el trabajo de cierre y apertura del agua que se traslada por las tuberías de captación y bombeo como antirretorno, evitando el golpe de ariete en el motor, también son usados en las tuberías de alas regadoras primarias y

mangueras de alas regadoras secundarias.

4.2.2.4. Relés

Este dispositivo electromecánico se encarga de controlar el pase de corriente eléctrica a las electroválvulas mediante el accionamiento de sus contactos móviles, que son atraídos por el campo electromagnético al ser energizada la bobina del relé mediante las salidas analógicas del PLC.

4.2.2.5. Electronivel

Llamados también sensores de nivel de agua funcionan a 220 VAC, se encargan de indicar si la poza carece de agua o ya están lo suficientemente llenas, mediante la emisión de una señal eléctrica que es captada por el PLC quien a su vez envía una señal para abrir o cerrar el suministro de agua mediante las electroválvulas, evitando así la succión de agentes dañinos para el motor o impedir que el agua del reservorio se rebalse.

4.2.2.6. Sistema de Generación Fotovoltaica

Este punto consiste en la instalación de un grupo de paneles solares que aprovechando la energía solar lo convirtieron en energía eléctrica, en este caso, en 24 V en DC, estos paneles están formados por células hechas de semiconductores como el silicio. La energía en DC que se genera aquí es regulada por un equipo para ser usado por dispositivos de control y a su vez también son almacenadas en baterías, desde donde es llevado mediante conductores eléctricos a un convertidor de corriente continua a corriente alterna en 220 V 1Ø, esta energía se utiliza para el funcionamiento de todos los equipos en corriente alterna.

4.2.3. Sistema de Control

Contempla todo el sistema de control y programación necesaria para llevar a cabo las diferentes funciones de trabajo de manera automática, aquí están el PLC S7 1200, de 220 VAC que es la parte central o el cerebro del control, donde se realizan las diversas configuraciones y programaciones, a su vez también, se encarga de recibir y enviar señales eléctricas desde los sensores hasta las electroválvulas y otros dispositivos.

4.2.3.1. Los Sensores de Humedad 24 V DC

Tienen como función principal medir el nivel de humedad en el suelo

y enviar esa información al sistema de control del riego, el sistema de control utiliza la información proporcionada por el sensor para determinar si es necesario aplicar agua al suelo, en caso afirmativo, debe aplicar agua, todo eso en tiempo real.

4.2.3.2. Determinación de la Velocidad del Viento Adecuado para Riego

Tiene como función principal determinar la velocidad y dirección del viento de acuerdo con la toma de datos en campo con un anemómetro durante una semana, esta información es analizada y promediada, y sirve para determinar los horarios de menor y mayor viento, y así poder regar adecuadamente sin que el agua sea arrasada por acción del viento.

4.2.3.3. Determinación de la Temperatura Óptima para el Riego

Mediante los datos de las temperaturas obtenidas de Senamhi, se buscaron los horarios estimados de riego, que de acuerdo con la planta deben de oscilar entre 13° - 18 °C, para evitar causar daños a la planta. Estos datos tanto de viento y temperatura traducidos en tiempos adecuados para riego son programables en el PLC.

4.3. Diseño

La elaboración de la estructura automatizada de irrigación por llovizna o aspersión se llevó a cabo en varias fases, haciendo uso de diferentes cálculos eléctricos e hidráulicos, apoyados de diversas herramientas de Microsoft Office, como es el Excel, Word, *software* AutoCAD, CROPWAT, WaterCAD, PVsyst y otros, para el modelamiento, diseño de los planos y otros detalles de ingeniería.

➤ Resumen de diseño

Siguiente página

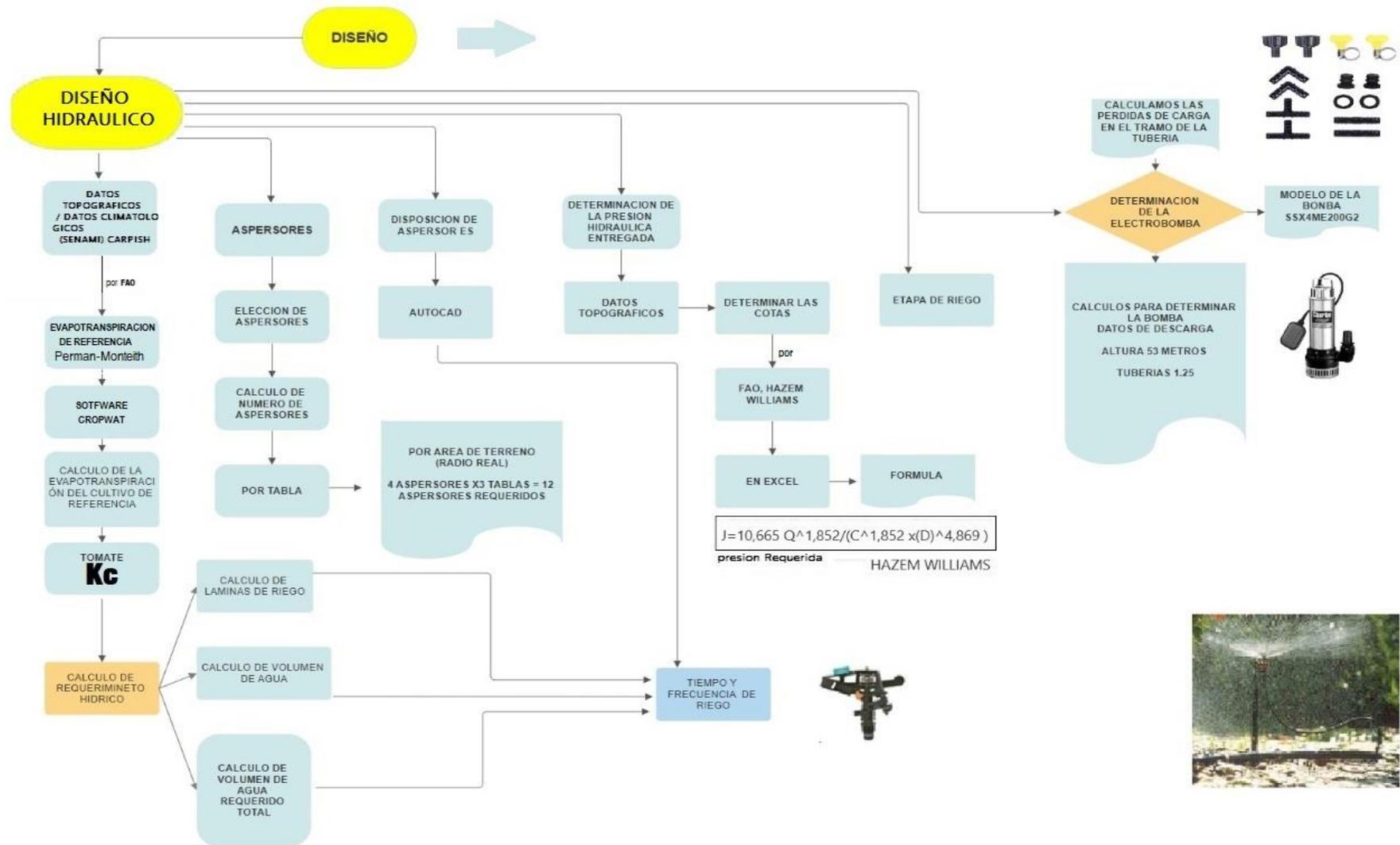


Figura 43. Diseño hidráulico

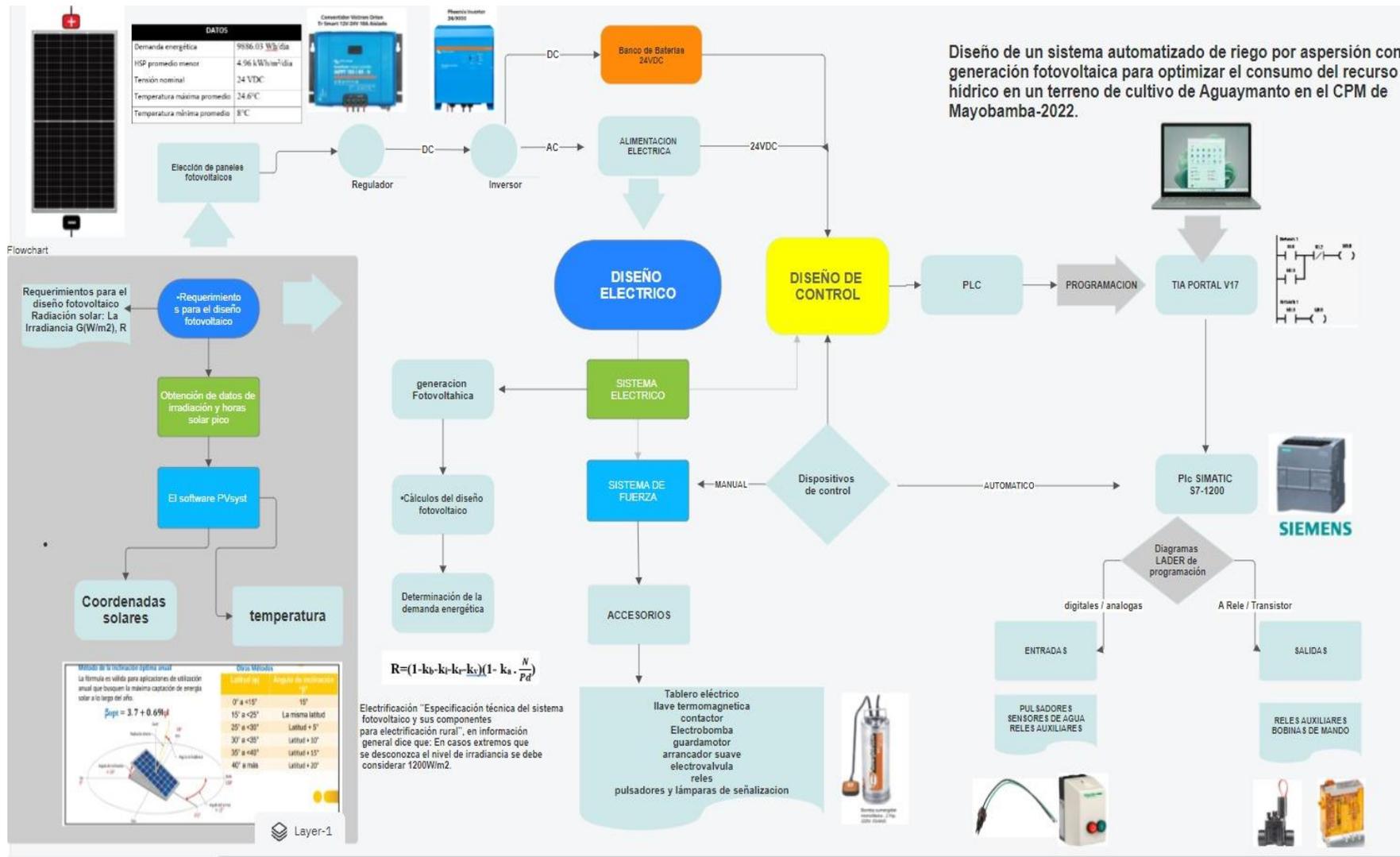


Figura 44. Diseño de control

4.3.1. Diseño del Sistema Hidráulico

Para la realización del diseño se usaron varios datos de campo, así como también fórmulas necesarias recopiladas de diversas fuentes que sirvieron para desarrollar los cálculos y dimensionamientos hidráulicos de los diversos componentes necesarios.

4.3.1.1. Datos para Diseño Hidráulico

Para el diseño topográfico del sistema hidráulico fue necesario obtener los datos y mediciones estadísticas que brindan la información adecuada para realizar el diseño, entre algunas características se evaluaron.

Tabla 5. Características topográficas del terreno

Características topográficas		
Descripción	Cantidad	Unidad
Ancho	62.5	m
Largo	80	m
Superficie	5000	m ²
Altitud	2475	m s. n. m.
Latitud	9°45'37.73"	°S
Longitud	76°05'29.29"	°O

Se hizo posible la obtención de datos del clima en el año 2022 basados en una estación meteorológica del Senamhi, la más cercana «estación Carpish» ubicada a aproximadamente 15 km del terreno, con latitud 9°42'20.04" S, longitud de 76°5'39,3" O, una altitud de 2540 m s. n. m., tipo convencional y su código es el 109020; del cual se tomaron los datos de 1 año, para luego promediarse y de esta manera poder obtener la evapotranspiración que es la base para determinar la factibilidad del trabajo hidrológico.

Tabla 6. Promedio de datos meteorológicos por mes durante el año 2022

Meses del 2022	Temp. mín.	Temp. máx.	Humedad (%)
Enero	10.0	24.6	98
Febrero	10.0	20.4	98
Marzo	10.0	24.6	96
Abril	10.5	23.0	97
Mayo	10.0	22.6	94
Junio	8.0	21.4	84
Julio	8.0	21.8	87
Agosto	8.0	21.8	94

Setiembre	9.8	23.4	85
Octubre	10.6	23.2	92
Noviembre	8.6	23.4	87
Diciembre	10.0	22.4	93

Para el diseño agronómico fue importante el empleo de unos *softwares* que ayuden al cálculo de los parámetros del lugar y tecnificación del riego, con base en los datos ingresados y estipulados durante el año 2022.

4.3.1.2. Evapotranspiración de Referencia

Para determinar la evapotranspiración de referencia se empleó el programa CROPWAT, que como se sabe, es un *software* de diseño agronómico creado por la FAO, que usa como principio el método de Perman-Monteith para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y su manual 56 de la evapotranspiración de las plantas. Es sabido que el clima juega un papel importante en la demanda del agua.

En la figura 45 se muestra que, al ingresar los datos, se obtuvo un promedio de 2.88 mm/día de evapotranspiración, esto significa que en un m² de terreno se evapora 2.88 litros de agua al día, esto es común por este lugar, ya que es zona de ceja de selva alta y estas se caracterizan por ser húmedos al existir abundante vegetación y esto ayuda a retener agua, más no en el terreno del proyecto, ya que aquí la vegetación es escasa.

La latitud y longitud ingresados al programa CROPWAT tienen que estar en grados decimales, para ello se hizo la conversión

Latitud de 9°42'20.04" S = -9.7057

Longitud de 76°5'39,3" O = -76.09

Altitud de 2540 m s. n. m.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	10.0	24.6	98	160	5.2	15.3	2.72
Febrero	10.0	20.4	98	165	5.3	16.5	2.66
Marzo	10.0	20.6	96	220	4.9	16.8	2.69
Abril	10.5	23.0	97	230	5.4	17.8	3.01
Mayo	10.0	22.6	94	240	4.4	16.0	2.88
Junio	8.0	21.4	84	185	4.8	16.3	3.08
Julio	8.0	21.8	87	180	5.0	16.6	3.06
Agosto	8.0	21.8	94	240	5.3	17.4	2.93
Septiembre	9.8	23.4	85	158	5.0	16.9	3.22
Octubre	10.6	23.2	92	270	5.2	16.5	2.96
Noviembre	8.6	23.4	87	280	4.7	14.8	2.92
Diciembre	10.0	22.4	93	239	4.7	14.2	2.47
Promedio	9.5	22.4	92	214	5.0	16.3	2.88

Figura 45. Cálculo de evapotranspiración con software CROPWAT

a) Datos de referencia para especies naturales

La información que se obtuvo es que es un lugar con mucha vegetación, lo que dificulta el cálculo y no existe información que diga cuál es el coeficiente del cultivo (K_c) de aguaymanto, basados en otro cultivo como referencia con base en el manual de la FAO, citando al tomate, cultivo perteneciente a la misma familia de solanáceas del cual, si hay su K_c , en el Manual 56 de la FAO, es entonces que se escogió este cultivo para tomarlo como referencia.

b) Evapotranspiración del cultivo de referencia

Para conocer la evapotranspiración del cultivo de referencia se realizó el cálculo de la evapotranspiración del tomate, utilizando la evapotranspiración de referencia obtenida del lugar y la tabla del manual de la FAO.

Aplicación de la fórmula de la evapotranspiración del cultivo de referencia:

$$ET_c = K_c * ETo$$

Dónde: ET_c es la evapotranspiración del tomate, K_c es el coeficiente de cultivo del tomate, ETo es la evapotranspiración de referencia.

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, K_c , y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{min} = 45\%$, $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_c .

Cultivo	$K_{c, 1}$	$K_{c, 100}$	$K_{c, 10}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Celeri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla – seca		1,05	0,75	0,4
– verde		1,00	1,00	0,3
– semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
b. Hortalizas- Familia de la Solanáceas	0,6	1,15	0,80	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 ¹	0,90	0,7
Tomate		1,15 ¹	0,70–0,90	0,6
c. Hortalizas- Familia de las Cucurbitáceas	0,5	1,00	0,80	
Melón		0,5	0,85	0,3
Pepino – Cosechado Fresco		0,6	1,00 ¹	0,3
– Cosechado a Máquina		0,5	1,00	0,3

Figura 46. Coeficientes de cultivo Tomada de «Evapotranspiración del cultivo» [31]

En este caso, se tiene $K_c = 0,90$ y $ET_o = 2,88 \text{ mm/día}$.

Sustituyendo los valores en la fórmula, se tiene:

$$ET_c = 0,90 * 2,88 \quad ET_c = 2,592 \text{ mm/d}$$

Por lo tanto, la evapotranspiración del tomate sería de aproximadamente 2.592 mm/día , y este dato se toma para el cultivo de aguaymanto, el cual es la demanda de agua de la atmósfera.

4.3.1.3. Cálculo del Requerimiento Hídrico

a) Cálculo de la lámina de riego (LR) del cultivo de referencia

Para el cálculo se usó una eficiencia de 80 % apoyados en bases teóricas de sistemas de riego por aspersión.

$$LR = \frac{ET_c}{\text{eficiencia}} = \frac{2.592}{0.8} = 3.24 \text{ mm} = 3.24 \frac{l}{m^2}$$

Esta sería la demanda de riego diariamente por m^2 .

$$LR = 3.24 \text{ mm} = 0.00324 \text{ m}$$

b) Cálculo del volumen de agua

$$V_a = LR \times \text{área (m}^2)$$

$$V_a = 0.00324 \text{ m} \times 5000 \text{ m}^2$$

$$V_a = 16.2 \text{ m}^3 = 16200 \text{ litros}$$

Es el volumen de agua requerido para poder reponer el agua que se va a la atmósfera por efecto de la evapotranspiración en todo el terreno.

c) Cálculo del volumen total de agua requerido

Se determina el número de plantas de aguaymanto por considerar dentro del terreno de longitudes 80 m x 62.5 m, para esto se distribuyeron de la siguiente manera:

- Separación entre plantas dentro de las filas = 1 m
- Separación entre filas = 1.5 m

$$\frac{62.5}{1.5} \times (80 \times 1) = 3333 \text{ plantas de aguaymanto por todo el terreno.}$$

Considerando lo mencionado en las bases teóricas que el aguaymanto consume un litro de agua diaria por planta, serian 3333 litros de agua adicional, entonces.

16200 litros + 3333 litros = 19 533 litros de agua requerida diariamente para mantener óptima la totalidad de plantas de aguaymanto en el terreno.

4.3.1.4. Elección de Aspersor

Se consideró como base principal una gama disponible en el mercado, y de acuerdo con la necesidad del cultivo y el dimensionamiento del terreno se optó por seleccionar el aspersor adecuado. Para este caso se seleccionó un aspersor modelo **VY3-36**, diseñado para tubería de ¾", r = 15 m (puede variar entre 13-15 m), P = 3 bar, Q = 0.45 lps, material principal plástico, 2 boquillas de 25° una de radio corto y otra de radio nominal, conexión macho o hembra y una altura máxima de chorro de 2.4 m; la altura de chorro considerada es de 1.5 m, mediante la instalación de estacas de madera, con lo cual se estaría logrando superar la altura promedio del aguaymanto adulto que es de 1.10 m y evitando que el agua pueda chocar con ellos. No es recomendable instalar

aspersores muy elevados, ya que cuanto más alto estén, el agua esparcida puede ser arrastrada con mayor facilidad por efecto del viento.



Figura 47. Aspersores
Tomada de «Aspersores agrícolas [68, p. 1]

a) Cálculo del número de aspersores por instalarse

Para calcular el número de aspersores necesarios, se trabajó con base en el aspersor seleccionado, siendo su radio = 15 m; se consideró la división del terreno en tres tablas y que los aspersores trabajan con una eficiencia del 80 % de su diámetro:

- Se calcula el área total del terreno

Área total = largo x ancho

Área total = 80 m x 62.5 m

Área total = 5000 m²

- Se calcula el área de cobertura de cada aspersor

Diámetro real del aspersor = 30 m

Área de cobertura real = $\pi * (\text{radio real})^2$

Área de cobertura real = $\pi * (15 \text{ m})^2$

Área de cobertura real = 706.86 m²

Área de cobertura efectiva (80 % del diámetro real) = $0.8 * 30 \text{ m} = 24 \text{ m}$

Área de cobertura efectiva = $\pi * (\text{radio efectivo})^2$

Área de cobertura efectiva = $\pi * (12 \text{ m})^2 = 452.39 \text{ m}^2$

- Se calcula el número de aspersores por tabla

Área de cada tabla = largo x ancho de cada tabla

Área de cada tabla = $80 \text{ m} * 20.83 \text{ m} = 1666.67 \text{ m}^2$

Número de aspersores por tabla = área de cada tabla / área de cobertura efectiva

Número de aspersores por tabla = $1666.67 \text{ m}^2 / 452.39 \text{ m}^2 = 3.68$ aspersores

Sin embargo, debido a que no se pueden tener fracciones de aspersores, se debe redondear hacia arriba, entonces el número de aspersores requeridos por tabla = 4 aspersores.

- Se calcula el número total de aspersores

Número total de aspersores = número de aspersores por tabla x número de tablas

Número total de aspersores = $4 \text{ aspersores} * 3 \text{ tablas} = 12$ aspersores

Por lo tanto, para cubrir el terreno dividido en tres tablas, se necesitarían aproximadamente 12 aspersores, considerando que cada uno tiene una cobertura efectiva de 24 metros de diámetro (80 % del diámetro real).

b) Análisis para disposición de aspersores en el cultivo

Esto depende de varios análisis topográficos de campo y de las características de la planta, de acuerdo con ello se disponen los aspersores dentro del cultivo. Para esta parte se hizo uso de un anemómetro que dio la velocidad del viento y una cometa hecha de carrizo y bolsas plásticas apoyó en determinar la dirección del viento, en este caso el viento tenía una dirección dominante hacia el noreste, con estos datos obtenidos se consultó con el manual del Ministerio de Agricultura – Comisión Nacional de Riego, corporación de fomento de la producción – Riego por Aspersión – Chile, llegando a la conclusión de que la disposición de aspersores será en forma rectangular, ya que la velocidad del viento no es muy fuerte.

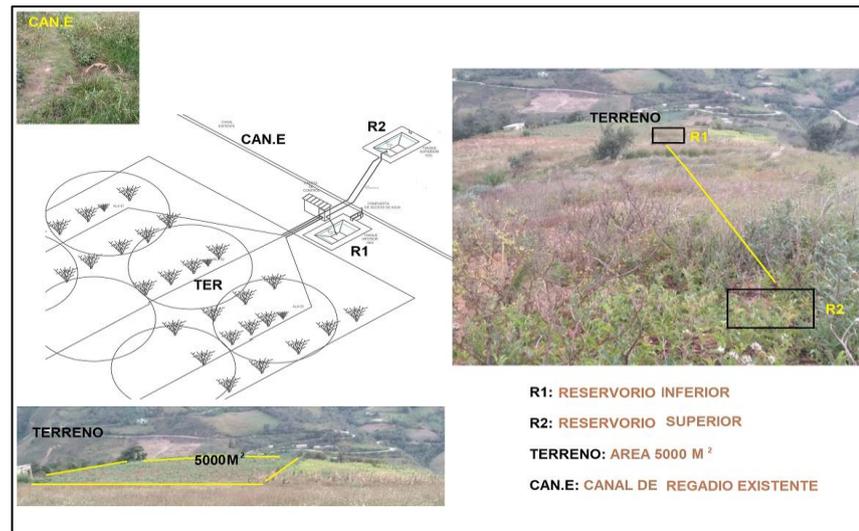


Figura 48. Vista panorámica del terreno

Utilizando el programa AutoCAD, se dividió el terreno en tres partes iguales (3 tablares) y estas partes iguales en cuatro partes imaginarias similares, luego se encajó cada uno de los aspersores en el punto central destinado, se puede apreciar que hay partes que los aspersores sobrepasan la cobertura de terreno, esto se puede mejorar cambiando el ángulo de esparcimiento mediante la regulación de las boquillas, sin dejar de cubrir el regado de la totalidad del terreno.

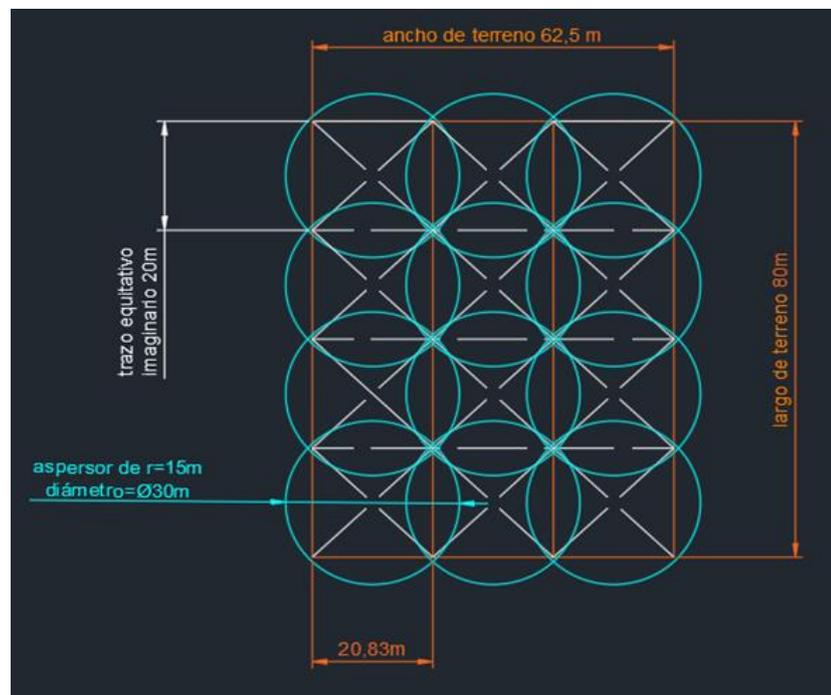


Figura 49. Disposición de aspersores en AutoCAD

4.3.1.5. Tiempo y Frecuencia de Riego del Cultivo de Referencia

a) Cálculo del tiempo de riego

Para calcular el tiempo de riego, considerando el volumen de agua requerido total del terreno, el número de aspersores y su caudal, se van a seguir los siguientes pasos:

- Se calcula el caudal total de los aspersores

Caudal total = caudal de un aspersor x número de aspersores

Caudal total = 0.45 l/s x 12 aspersores = 5.4 l/s

Se calcula el tiempo de riego total:

Tiempo de riego total = volumen de agua requerido total / caudal total

Tiempo de riego total = 19533 litros / 5.4 l/s

- Se convierten litros a segundos

1 litro = 1 segundo = 19533 litros = 19533 segundos

Tiempo de riego total = 19533 segundos / 5.4 l/s

Tiempo de riego total = 3617.22 segundos

- Convertir el tiempo de riego total a minutos

Tiempo de riego en minutos = tiempo de riego total / 60 = 3617.22" / 60

Tiempo de riego en minutos = 60.29 minutos

Entonces, el tiempo de riego total para cada uno de los 12 aspersores sería, aproximadamente, de 60.29 minutos.

b) Frecuencia de riego

Los cálculos realizados son los requerimientos diarios de volumen de agua y en cuánto tiempo se tiene que aplicar al cultivo; por el contrario, si se quiere regar a una frecuencia más prolongada, se puede considerar multiplicarlo por la cantidad de días entre riegos, ejemplo, si es semanal, se multiplica el volumen requerido por 7 días.

Sin embargo, la frecuencia y tiempo de riego está limitado por algunos cálculos adicionales que demuestran su eficiencia, así como, por tres variables, que como ya se sabe son la humedad o agua controlada por un sensor, el viento

y la temperatura con parámetros analizados mediante análisis de datos reales y llevados a programación en el PLC.

4.3.1.6. Determinación de la Presión Hidráulica Entregada

La presión entregada por el sistema es muy importante porque mediante ello se define la confiabilidad y eficiencia del diseño del sistema hidráulico, sobre todo, al momento de entregar la presión necesaria a los aspersores. Estos cálculos ayudaron en el dimensionamiento y elección de tuberías, accesorios *fitting* y demás accesorios requeridos por las alas regadoras.

a) Toma de datos topográficos para cálculo de presión

Se fue al campo para realizar la toma de datos topográficos mediante el sistema de posicionamiento global (GPS), cámaras fotográficas con aplicativos, estacas, banderines y wincha métrica, tal como se muestra en la figura 50, al lado izquierdo, realizando mediciones, a la derecha, toma de datos topográficos y planta de aguaymanto.



Figura 50. Datos de campo

Tabla 7. Datos topográficos del terreno

Datos topográficos					
Punto	Este	Sur	Cota	Diferencia de cotas (m)	Distancia entre puntos (m)
R2	380227	8920841	2505		
				30	50
Centro de control - R1	380285	8920873	2475		
				19	56
Aspersor 01	380336	8920902	2456		
				2	20
Aspersor 02	380348	8920904	2454		
				2	20
Aspersor 03	380360	8920908	2452		
				1	20
Aspersor 04	380374	8920908	2451		
	ΣTotal			54	166

Con los datos topográficos tomados en campo, el manual de la FAO, la fórmula de pérdidas de Hazem Williams y el sistema internacional de unidades (SI) se realizaron los cálculos en Excel para determinar la presión de entrega del sistema y el diámetro de tuberías por emplearse. Se hicieron varias simulaciones con varias dimensiones de tuberías y se observaba que variaban las presiones.

La observación más resaltante fue que, con la diferencia de cotas que se tiene desde el punto del reservorio de aguas bombeadas (R2) hasta los aspersores, no se obtiene una suficiente presión para hacer girar los 4 aspersores que se pretendía hacer trabajar al mismo tiempo. En ese sentido, la mejor elección que se pudo elegir fue trabajar solo con 2 aspersores al mismo tiempo, entonces se requería una presión de 6 bar = 60 mca, y según el cálculo empleando una tubería HDPE de 4" desde el R2 hasta el centro de control R1 y desde ahí con una tubería de 1.5" hasta los aspersores, se lograba una presión de 53.188 mca, con esto, los aspersores estarían trabajando a un 88.6 % de su capacidad, superando lo estimado de 80 % de su eficiencia. Esto se traduce en un radio de 13.35 m y un diámetro de cobertura de 27.7 m.

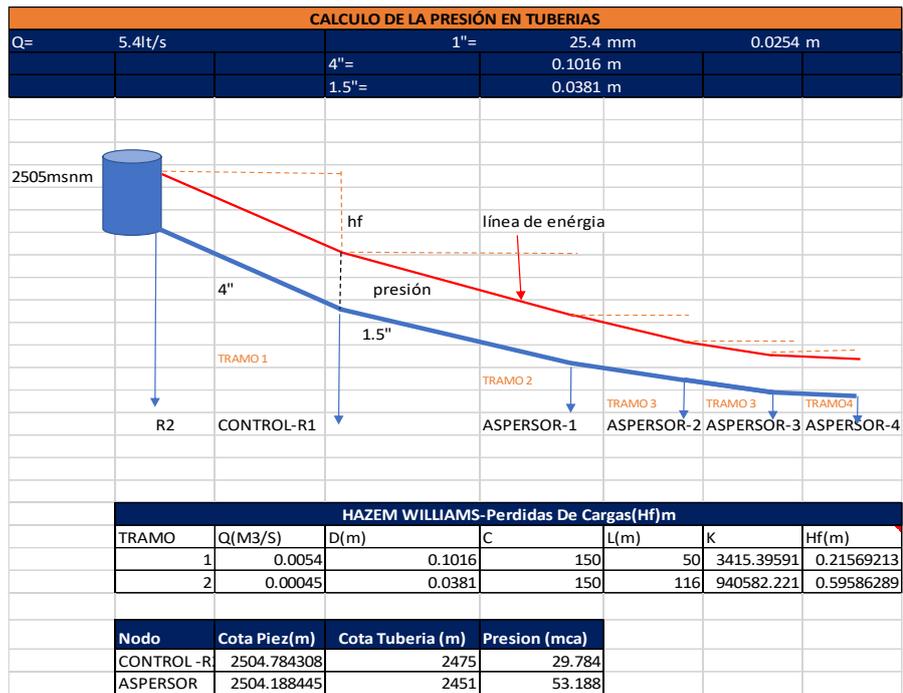


Figura 51. Cálculo de la presión en tuberías

b) Etapas de riego

Después de haber realizado los cálculos hidráulicos, las etapas de riego serían 6, es decir, de 2 en 2 aspersores a la vez, con un tiempo de 60.29 minutos de riego diario por aspersor, o en todo caso, si es interdiario o a más días, este tiempo se multiplica por el número de días entre riegos. Esto también está limitado al análisis meteorológico.

4.3.1.7. Determinación de la Electrobomba

a) Electrobomba de referencia

Para este diseño se consideró como referencia una electrobomba sumergible 1Ø para cisterna 20 GPM, descarga de 1.25", 2 HP, 220 V, modelo SSX4ME200G2-FI, tipo lápiz o bala, excelente presión y flujo para sistemas de riego, el agua se aprovecha al máximo gracias a la succión inferior, que al fluir alrededor del motor lo mantiene a una temperatura ideal haciendo que se alargue su vida útil. La tabla 8 muestra los datos técnicos de la electrobomba de referencia.

Tabla 8. Datos técnicos de electrobomba de referencia

Motor

Tipo de motor: eléctrico
Potencia del motor: 2.00 HP
rpm del motor: 3450 rpm
Voltaje: 220 V
Fases del motor: monofásico
Corriente: 10.6 A
Protección térmica: Sí
Longitud de cable: 6 m

Bomba

Tipo de bomba: sumergible
Flujo óptimo: 75.00 LPM
Altura óptima: 55.00 m
Numero de etapas: 5 etapas
Diámetro de descarga: 1.25”
Tipo de impulsor: cerrado
Material del cuerpo: acero inoxidable
Material del impulsor: acero inoxidable
Material del sello mecánico: acero inoxidable, silicón, cerámica, NBR
Temperatura máxima del agua: 40 °C
Incluye: flotador

Información adicional

Dimensión del empaque: 62.00 x 20.00 x 20.00 cm
Garantía: 1 año
Peso neto: 18.50 kg

Nota: tomada de la ficha técnica EVANS [56, p. 3]

La figura 52 muestra las curvas de altura dinámica total y eficiencia de la electrobomba sumergible modelo SSX4 de EVANS [56].

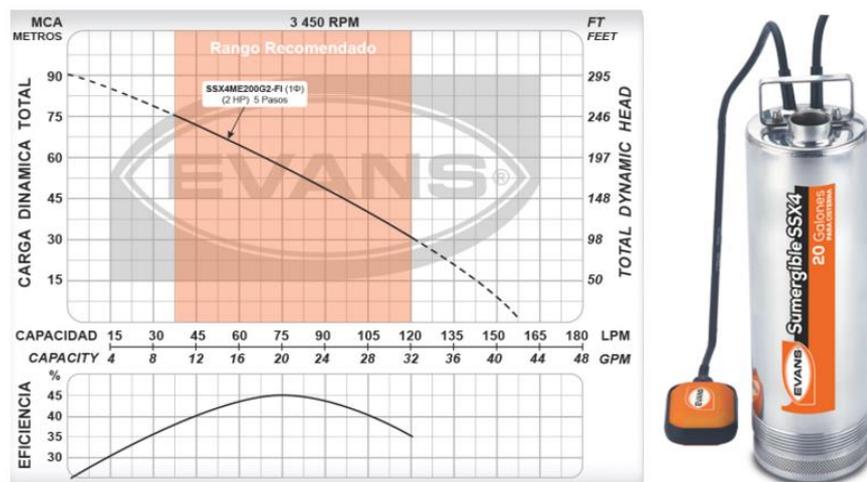


Figura 52. Curva de carga dinámica y eficiencia de la electrobomba de referencia Tomada de EVANS [56, p. 2]

b) Cálculos para determinación de la bomba

Estos cálculos son necesarios para conocer si la bomba que se pretende utilizar es la óptima para el diseño.

Datos de bomba por usar

Caudal de bomba: 75 LPM = 0.00125 m³/s = 19.81 gal/min

Diámetro de tubería de descarga: 1.25" = 0.03175 m

Potencia: 2 HP

Datos de la descarga

Longitud total de tubería: 50 de punto a punto más 3 metros por doblés = 53 m

Diferencia de cotas entre puntos R1 y R2 = 30 m

Tipo de tubería a usar: HDPE

Diámetro de tubería: 1.25"

Coefficiente de rugosidad por Hazem Williams (c): 150

➤ Determinación de la altura manométrica

- ✓ Cálculo de la velocidad con la que fluye el caudal

$$v = Q/s = (4 * Q)/(\pi * D^2)$$

v = velocidad (m/s)

Q = caudal (m³/s)

D = diámetro tubería (m)

$$v = ((4 \times 0.00125 \text{ m}^3/\text{s}) / (3.1416 \times (0.03175 \text{ m})^2)) = 1.58 \text{ m/s}$$

- ✓ Cálculo de la pérdida de carga unitaria en la tubería utilizando el método de Hazem Williams:

$$J = 10,665 Q^{1,852} / (C^{1,852} \times D^{4,869})$$

Donde:

J = pérdida de carga por m de tubería

Q = caudal (m³/s)

D = diámetro interno (m)

C = coeficiente de rugosidad (depende del material)

$$J = 10,665x(0.00125)^{1,852}/(150^{1,852} x [0.03175]^{4,869}) = 0.0825$$

✓ Se calcula las pérdidas de carga en tramo de tuberías

$$H_p = L_t * J$$

Donde:

H_p = pérdidas de carga en tuberías

L_t = longitud total por diámetro de tubería

$$H_p = 53 x 0.0825 = 4.3725$$

✓ Se calcula las pérdidas de cargas en *fitting* (H_s):

Para ello, primero, se determina la **totalidad de las pérdidas de carga en la tubería** (H_{pt}), en este caso solo se tiene un tramo, lo demás se consideró como cero.

$$H_{pt} = 4.3725 + 0$$

$$\frac{H_{pt}}{x} = \frac{100\%}{20\%}, X = H_s = 0,2 H_{pt}$$

$$H_s = 0.2 x 4.3725 = 0.8745$$

$$H_s = 0.8745$$

✓ Por último, se calcula la altura de elevación total o **altura manométrica** (H_t):

La **altura geométrica de aspiración** (H_a) no se considera, por ser bomba sumergible.

La **altura geométrica de impulsión o elevación** (H_i), es igual a 30 m

$$H_t = H_a + H_i + H_{pt} + H_s = H_a + H_i + H_{pt} + 0.2 H_{pt}$$

$$H_t = 0 + 30 + 4.34 + 0.8745$$

$$H_t = 35.2145 \text{ m}$$

Esta sería la altura mínima que la bomba seleccionada debe superar para entregar su caudal nominal, según los cálculos realizados esto se cumple, en ese sentido se procede por considerar dicha bomba.

c) Cálculo del caudal existente

Para determinar el caudal existente se desvió toda el agua de la acequia hacia un tanque de 1000 l de capacidad, que demoró en llenarse 655 segundos, en tanto, el caudal existente sería:

$$1000 \text{ l}/655 \text{ seg} = 1.527 \text{ l/seg}$$

Para conocer en litros por minuto, se multiplica por 60:

$$1.527 \text{ l/seg} * 60 = 91.60 \text{ l/min} = 5.496 \text{ m}^3/\text{h}$$

En galones por minuto:

$$1 \text{ l/min} = 0.264172 \text{ gal/min, entonces:}$$

$$91.60 \text{ l/min} * 0.264172 = 24.199 \text{ gal/min}$$

Esto sirvió para poder conocer con cuánto de caudal existente se contaba en la acequia y si fuese capaz de abastecer el sistema de riego.

4.3.1.8. Elección de Tuberías, Mangueras y *Fitting*

Se tomó como consideración para el proceso de succión, impulsión y descarga del líquido hasta la derivación para aspersores en las alas secundarias tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD) que soportan hasta 120 °C de temperatura; de la derivación para ingreso a los aspersores se consideró el uso de mangueras reforzadas de PVC de alta flexibilidad resistentes hasta 50 °C, para ambos tipos de tuberías se consideró el uso de sus *fitting* de acuerdo con las necesidades.



TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD HDPE

Tubería de PEAD (Polietileno de Alta Densidad PE80) ISO 4427

PE80	SDR	21		17		13.6		11		9		7.4	
	PRESIÓN NOMINAL	PN6		PN8		PN10		PN12.5		PN16		PN20	
DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	Esp. Medio (mm)	Peso Medio (Kg/m)										
20	3/2							2.20	0.12	2.52	0.13	3.25	0.16
25	3/4					2.20	0.15	2.52	0.17	3.25	0.21	3.78	0.24
32	1			2.2	0.19	2.62	0.23	3.25	0.28	3.88	0.33	4.72	0.39
40	1 1/4	2.2	0.25	2.62	0.29	3.25	0.36	3.99	0.43	4.83	0.51	5.88	0.60
50	1 1/2	2.62	0.37	3.25	0.46	3.99	0.55	4.93	0.67	5.98	0.79	7.35	0.94
63	2	3.25	0.58	4.09	0.72	5.04	0.88	6.19	1.06	7.56	1.26	9.13	1.48
75	2 1/2	3.88	0.83	4.83	1.02	5.98	1.24	7.24	1.48	8.92	1.77	10.92	2.10
90	3	4.62	1.19	5.77	1.46	7.14	1.78	8.71	2.13	10.71	2.55	13.02	3.02
110	4	5.67	1.78	7.03	2.18	8.61	2.63	10.60	3.17	13.02	3.80	15.96	4.52
125	5	6.40	2.28	7.87	2.77	9.76	3.38	12.07	4.10	14.80	4.90	18.06	5.81
140	5 1/2	7.14	2.85	8.82	3.48	10.92	4.24	13.44	5.12	16.59	6.16	20.26	7.30
160	6	8.19	3.74	10.08	4.55	12.49	5.54	15.43	6.71	18.90	8.02	23.10	9.52
180	7	9.13	4.69	11.34	5.75	14.07	7.02	17.32	8.48	21.21	10.13	25.93	12.02
200	8	10.18	5.82	12.60	7.10	15.54	8.62	19.21	10.45	23.62	12.54	28.87	14.87
225	9	11.4	7.35	14.17	8.99	17.53	10.95	21.63	13.24	26.56	15.86	32.44	18.80
250	10	12.6	8.99	15.64	11.03	19.42	13.48	23.94	16.28	29.40	19.52	36.01	23.19
280	11	14.17	11.34	17.53	13.85	21.73	16.89	26.77	20.40	32.97	24.50	40.32	29.08
315	12	15.8	14.27	19.74	17.54	24.46	21.39	30.13	25.83	37.06	31.00	45.36	36.81
355	14	17.85	18.11	22.26	22.29	27.51	27.11	33.91	32.77	41.79	39.39	51.03	46.68
400	16	20.16	23.04	24.99	28.20	30.97	34.39	38.22	41.61	47.04	49.96	57.54	59.30

*Figura 53. Datos técnicos de tuberías HDPE
Tomada de «Tuberías HDPE» [69]*

4.3.1.9. Diseño de los Reservorios

Se dimensionaron 2 reservorios con diferentes magnitudes una para captación llamada R1 y otra para aguas bombeadas llamada R2, que se le dimensionó con reserva de agua para 2 días de riego, considerando que el riego se realiza de forma interdiaria.

En la figura 54 se observa el diseño del reservorio de captación (R1) desarrollado en Excel:

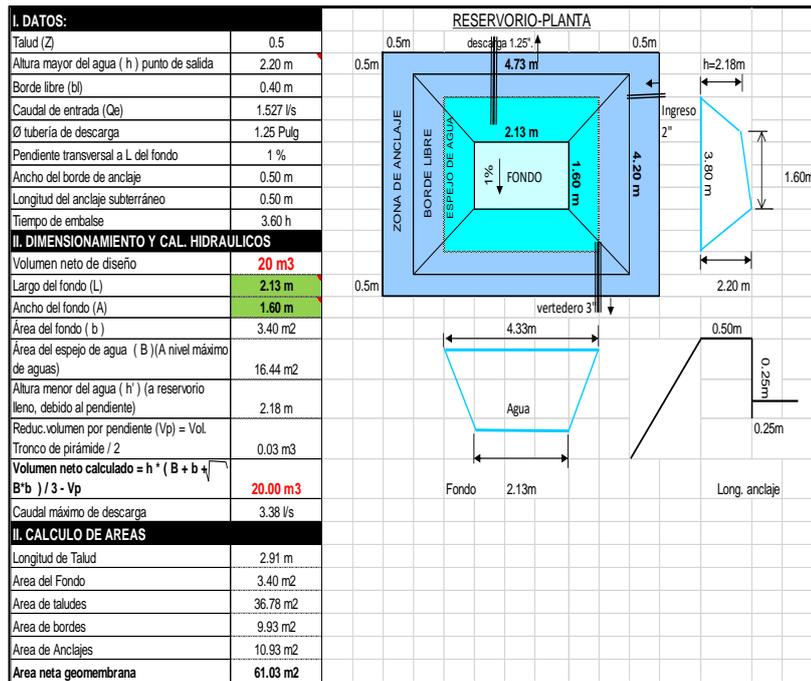


Figura 54. Diseño de reservorio 1

En la figura 55 se observa el diseño del reservorio de aguas bombeadas (R2) desarrollado en Excel:

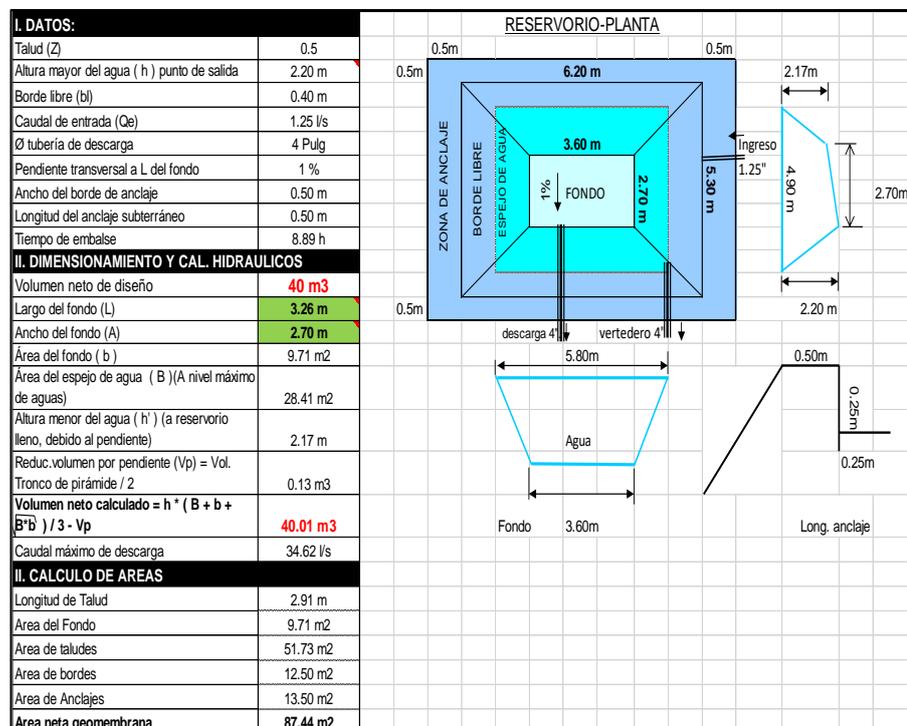


Figura 55. Diseño de reservorio 2

4.3.2. Diseño Eléctrico

El sistema de riego automatizado está constituido por varios componentes

eléctricos tanto para su alimentación energética como para su funcionamiento y operación, en ese sentido fue necesaria la realización previa de varios cálculos detallados de ingeniería para su dimensionamiento y simulación, apoyados en diversos *softwares* como son el Excel, PVsyst, bases de datos climatológicos de Meteonorm, la NASA y fuentes propias.

4.3.2.1. Sistema Eléctrico

Para el diseño del sistema eléctrico, se consideraron los siguientes componentes:

a) Accesorios

- **Tablero eléctrico**

Constituido por una caja metálica adosable que sirve para albergar a los dispositivos de mando y control. En la figura 56 se muestra el diseño del tablero dibujado en AutoCAD, en 3D.

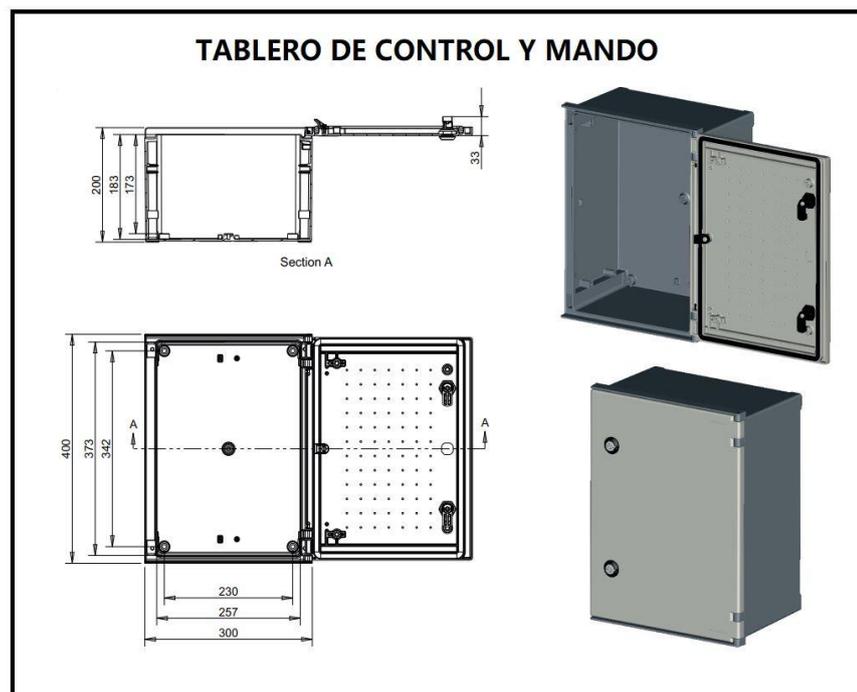


Figura 56. Diseño de tablero

- **Llave termomagnética**
- **Llave termomagnética para circuito de fuerza**

Se determinó con base en la corriente nominal y corriente de arranque o corriente *in rush* del motor elegido que se identificó en su ficha técnica. No haciendo necesarios cálculos previos.

De acuerdo con ello, la corriente nominal del motor es de 10.6 A y su corriente transitoria de excitación es 5 veces de la nominal, esto da 53 A. Con estos datos se buscó una llave termomagnética que se acomoda al requerimiento. La llave elegida es de 16 amperios con una curva de disparo C, su disparo será con corrientes de entre 5 a 10 veces su intensidad nominal. 50/60 Hertz y 220 V.



*Figura 57. Llave termomagnética
Tomada de POPP [70]*

- **Llave termomagnética para circuito de control**

El consumo en el circuito de control es mínimo, y está dado por los siguientes componentes:

PLC = 0.5 A

2 electroválvulas de 0.35 A, a la vez = 0.7 A

2 relés de 0.5 A, a la vez = 1 A

1 sensor de agua = 0.5 A

Haciendo un total de 2.7 A, en tal sentido se considera un termomagnético de 6 A en 24 V DC.

• **Contactador**

El contactor elegido supera la corriente nominal del motor, en este caso es uno de 18 A, 4.1 W, 3 polos; sus contactos son 1NA y un NC1, 220 VAC 50/60 Hertz, modelo 1810 BOB y tiene un AC-3 de 5 a 7 veces de su corriente

de operación.



Figura 58. Contactor
Tomada de «Contactores industriales» [61, p. 156]

- **Guardamotor**

El guardamotor se seleccionó de acuerdo con la corriente nominal del motor, se le dio un factor de servicio del 1.15:

Capacidad del guardamotor = $I_n \times F_s$

Capacidad del guardamotor = $10.6A \times 1.15 = 12.19 A$, a 50/60 Hertz y 220 V.



Figura 59. Guardamotor
Tomada de «Guardamotors» [62, p. 152]

- **Arrancador suave**

El arrancador suave se dimensionó con base en la tensión, frecuencia, corriente nominal y de arranque del motor, eligiendo un arrancador suave de intensidad asignada de empleo (I_e) igual a 12 A y AC-3 de 5 a 7 veces de su

corriente de operación. Modelo LE1D12M7. En su interior tiene espacio para albergar al contactor.

En la figura 60 se aprecia un arrancador suave con caja S/Term. 12 A 220 V 50/60 Hz de la marca Schneider.



*Figura 60. Arrancador suave
Tomada de Schneider [71]*

- **Electroválvula**

Las electroválvulas fueron dimensionadas de acuerdo con el diámetro de tubería que es de 1.1/2" y a la presión con la que fluye el agua, en este caso, la electroválvula elegida soporta una presión máxima de 10 bar, funciona con 24 V DC, potencia de 8.4 W, marca Hunter, modelo PGV-151.

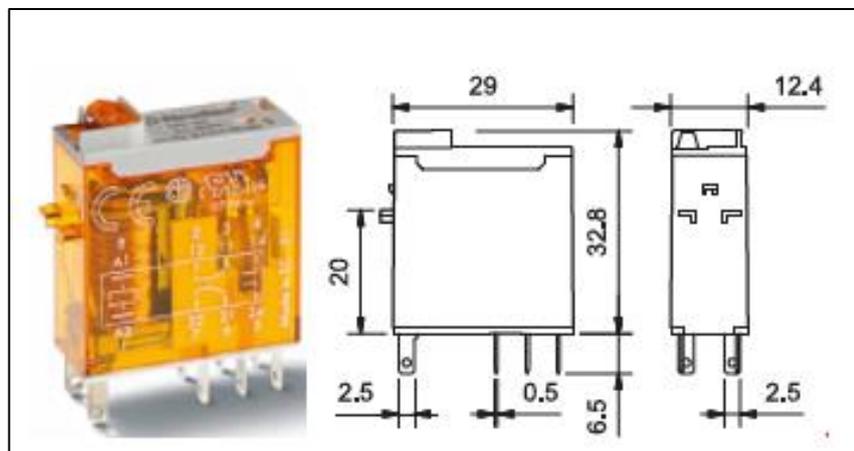
La figura muestra una electroválvula de la marca Hunter, modelo PGV-151.



*Figura 61. Electroválvula
Tomada de Industrias Hunter [72, p. 3]*

- **Relés**

Se consideró la utilización de un relé de potencia industrial de 2 contactos conmutados a 8 A, de la marca Finder, modelo 46.52, se energiza con 24 V DC, sus terminales se pueden enchufar o soldar.



*Figura 62. Relé seleccionado y especificaciones
Tomada de «Minirelés industriales» [63, p. 3]*

b) Generación fotovoltaica

El diseño de generación fotovoltaica es del tipo sistema aislado (*off grid*), los parámetros más importantes tomados en cuenta fue la radiación solar y la temperatura, ya que de estos depende su eficiencia, y son el punto de origen para comenzar el diseño.

- **Requerimientos para el diseño fotovoltaico**

➤ **Radiación solar: La irradiancia G (W/m^2)**, en cuestión de fabricación de paneles se suele utilizar $1000 W/m^2$ a una temperatura ambiente de $25\text{ }^\circ C$ y para diseño se hace un estudio de acuerdo a la zona, utilizando un instrumento de medición de irradiación solar, pero en este caso al no contar con ningún instrumento y por el tiempo en años que esto demora en hacer estas muestras, no fue posible obtenerlo, en ese sentido se tuvo como base a la norma de la Dirección General de Electrificación «Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural», en información general dice que: En casos extremos que se desconozca el nivel de irradiancia se debe considerar $1200 W/m^2$. **La irradiación H (Wh/m^2)** o la energía (J/m^2 o Wh/m^2) que recibe la superficie FV en un periodo de tiempo en la ubicación del terreno, se obtuvo del *software* Meteonorm y mapa solar del Perú.

➤ **Obtención de datos de irradiación y horas solar pico**

Para la obtención de los datos de irradiación, se hizo una comparativa entre 2 fuentes:

El *software* PVsyst se enlaza al Meteonorm que es un *software* científico que suministra datos meteorológicos como irradiación, humedad, precipitación, viento y temperatura de cualquier punto en la tierra, a partir de la ubicación (latitud: -9.71 , longitud: -76.09).

En la siguiente figura se muestra cómo ha sido el comportamiento de la radiación solar en la zona del proyecto entre enero y diciembre de los años 2016 al 2021, con esto se determinan las horas solar pico promedio mensuales. Se tiene una irradiación mínima de $4.96 kWh/m^2/día$, una máxima de $6.20 kWh/m^2/día$ y un promedio de $5.67 kWh/m^2/día$.

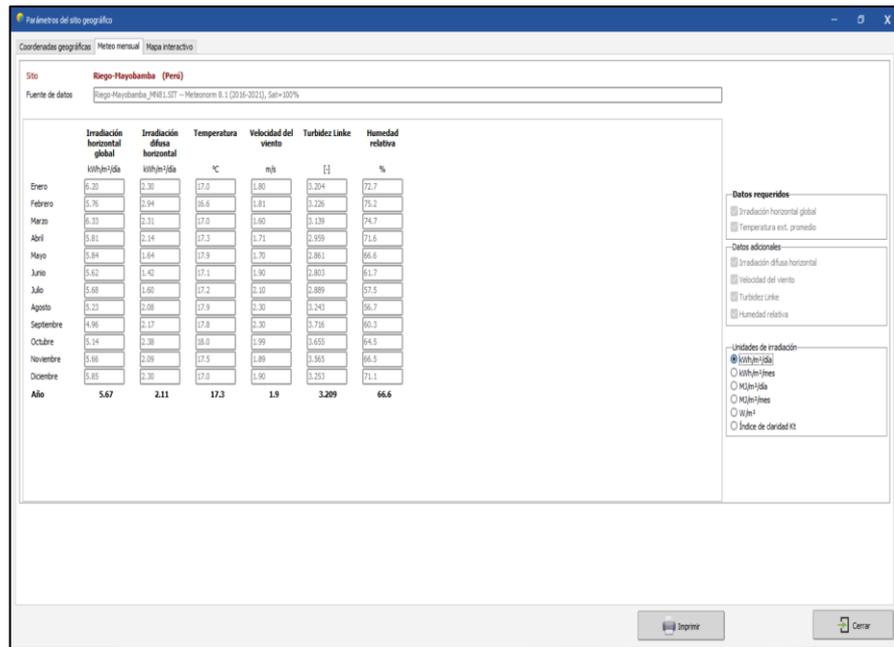


Figura 63. Datos meteorológicos según PVsyst

El Atlas de energía solar del Perú fue elaborado por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y el Senamhi. Aquí se observa una irradiación promedio anual de entre 5.5-6.0 kWh/m²/día.



Figura 64. Energía solar incidente diaria promedio anual del Perú Tomada de Senamhi [73, p. 36]

Después de hacer la comparativa entre ambas partes, se observó que se tienen valores promedio similares de irradiación para la zona del proyecto. Ambos datos son válidos para el tema de diseño, sin embargo, se optó por el dato más actualizado que en este caso sería de Meteonorm.

- **La temperatura:** Para el diseño fue necesario considerar las temperaturas promedio durante un año del lugar donde se desarrolla el proyecto, este dato se obtuvo de la estación más cercana (estación Carpish), y a su vez, se comparó con los datos obtenidos del Meteonorm. Es conveniente trabajar con una temperatura ambiente de mayor promedio, para lograr eficiencia con el sistema fotovoltaico, es por lo que se escogió 24.6 °C como temperatura ambiente.

En la tabla 9 se muestran los promedios de temperatura por mes en el año 2022, de las fuentes, Senamhi vs. Meteonorm.

Tabla 9. Promedio de temperaturas

Meses del 2022	Temperaturas por estación Carpish		Temperaturas por Meteonorm
	Temp. mín.	Temp. máx.	Temperatura promedio
Enero	10.0	24.6	17
Febrero	10.0	20.4	16.6
Marzo	10.0	24.6	17
Abril	10.5	23.0	17.3
Mayo	10.0	22.6	17.9
Junio	8.0	21.4	17.1
Julio	8.0	21.8	17.2
Agosto	8.0	21.8	17.9
Setiembre	9.8	23.4	17.8
Octubre	10.6	23.2	18
Noviembre	8.6	23.4	17.5
Diciembre	10.0	22.4	17

➤ **Coordenadas solares**

Gracias al *software* Meteonorm se obtuvo la carta solar a partir de las coordenadas de ubicación, latitud: -9.71, longitud: -76.09. Con esto se aprecia la trayectoria aparente del Sol y buscar la mejor posición, para lograr eficiencia, evitando pérdidas por suciedad y sombras.

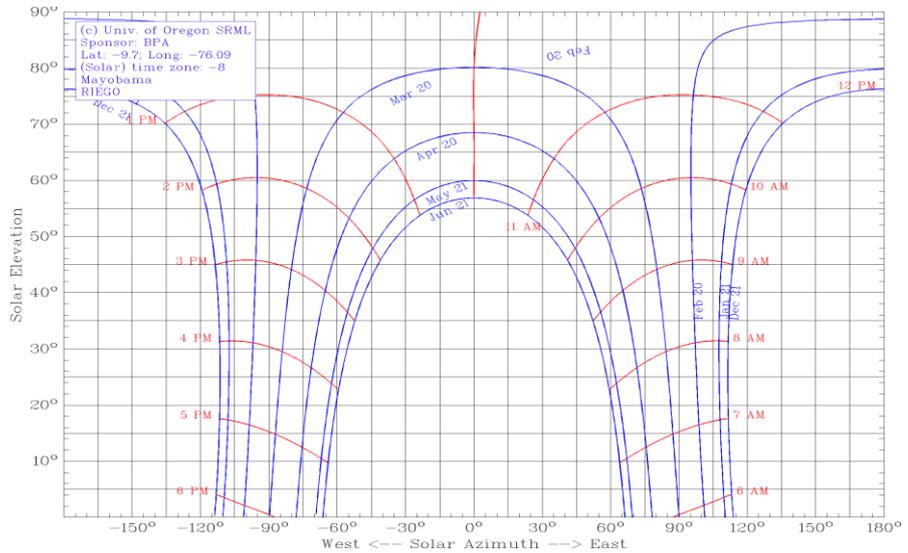


Figura 65. Carta solar obtenida en el software Meteonorm

Los ángulos de inclinación óptima (β) válidas para sistemas de generación fotovoltaica que trabajan durante todo el año para lograr una mejor captación de la energía solar, se pueden estimar de acuerdo con la ubicación, empleando el siguiente cuadro, utilizado por el *software* PVsyst.

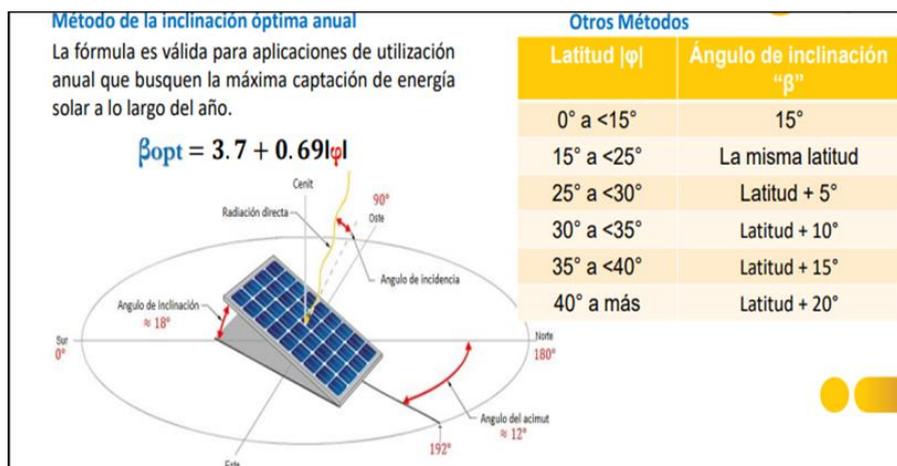


Figura 66. Ángulo de inclinación óptima

En este caso, con una latitud de -9.71 será un ángulo β_{opt} de inclinación igual a 15°, esto se corrobora con el empleo del *software* PVsyst, que entrega

un azimut equivalente a 0° y el ángulo de inclinación óptima de 15° , como se muestra en el siguiente gráfico.

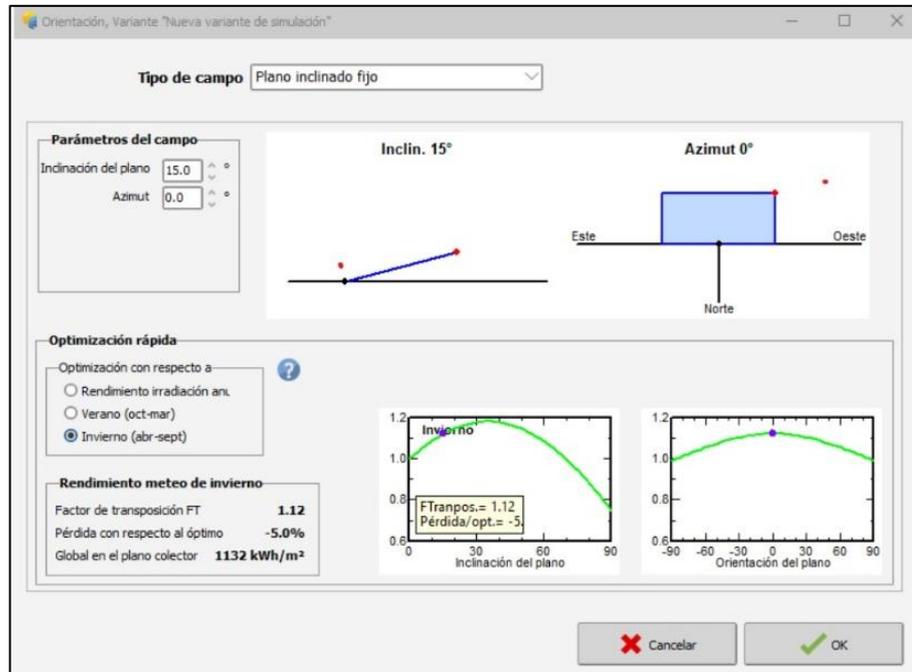


Figura 67. Ángulo de inclinación y giro óptimo en el software PVsyst

- **Elección de paneles fotovoltaicos**

Para la selección de los paneles solares se trabajó con base en el tipo de panel, para este caso se seleccionó el policristalino que es más económico, pero menos eficiente que el monocristalino, sin embargo, se menciona que esta diferencia de eficiencia es poca. También, se consideraron los siguientes criterios establecidos en el *datasheet* (ficha técnica):

- **Visualización de la lista de TIER**, en este punto en la *datasheet* se fijó que sea de la TIER 1, ya que esto puede ser indicio que garantiza una mejor calidad y que el fabricante tiene todas las escalas del proceso, según la clasificación realizada por *Bloomberg New Energy Finance Corporation* (BNEF).
- **Identificación de la marca en el mercado**, se buscó muchas marcas y sus respectivas *datasheet* y se procedió a seleccionar el que cumpla con este requerimiento.
- **Visualización de las certificaciones**, en este punto se verificó que cumpla con las certificaciones de calidad y pruebas.

- **Revisión de tolerancia, que sea positiva**, se verificó que este panel seleccionado tenga una tolerancia 0~+.
- **Que sea eficiente**, que tenga una buena eficiencia (13-23 %).
- **Que tenga un menor porcentaje de degradación durante un tiempo de vida**, que su tiempo de degradación sea lenta para asegurar su durabilidad.
- **Pérdidas por temperatura**, que cumpla su trabajo en temperaturas de acuerdo con el campo.
- **Análisis del costo beneficio a largo plazo**, con todo el criterio anterior se dedujo que, al instalarlo en este sistema, a largo plazo sí se tendría beneficios económicos con respecto a su inversión y a su implementación si fuera energía tomada de la red.

- **Cálculos del diseño fotovoltaico**

- **Determinación de la demanda energética**

Para la determinación de la demanda energética fue necesario considerar la potencia y horas de trabajo de todos los aparatos a usarse, así mismo, se consideró multiplicarlo por el rendimiento global de la instalación (R), aplicando la fórmula:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \left(1 - k_a \cdot \frac{N}{Pd}\right)$$

Tabla 10. Cargas para demanda energética

Cuadro de cargas para demanda energética						
Aparato	Cant.	Potencia (W)	Demanda máxima (W)	Voltaje del aparato	Horas de uso diario	Consumo diario (Wh/día)
Bomba de 2 HP	1	1492	1492	220	4.5	6714
Lámpara de emergencia	1	9	9	220	10	90
Electroválvula	8	8.4	67.2	24	2	134.4
luz piloto	2	4.4	8.8	220	4.5	39.6
Guardamotor	1	1	1	220	4.5	4.5
PLC S7 1200	1	11	11	220	24	264

Relé	2	0.5	1	24	2	2
Contactador	1	4.1	4.1	220	4.5	18.45
Sensor de humedad	1	1	1	24	24	24
Total (W)			1595.1	Total, AC Wh/día	7290.95	
				Rendimiento global de la instalación	0.738	
				Demanda energética ((Wh/día) /R)	9886.03	

➤ La tensión del sistema

Conociendo la demanda máxima, que es de 1595.1 W, se procedió a determinar la tensión del sistema; para ello se tuvo en cuenta lo afirmado por Solís y Perlaza [38] quienes afirman que se tienen definidos los siguientes parámetros para la obtención del voltaje del sistema fotovoltaico:

Para potencias > 800W Y < 1600 W, la tensión del sistema será 24 V

Después de observar este criterio, se dedujo que la tensión del sistema es de 24 V.

➤ Determinación de los paneles fotovoltaicos

Tabla 11. Datos para determinación de paneles

Datos	
Demanda energética	9886.03 Wh/día
HSP promedio menor	4.96 kWh/m ² /día
Tensión nominal	24 VDC
Temperatura máxima promedio	24.6 °C
Temperatura mínima promedio	8 °C

➤ Potencia requerida del generador FV

Para calcular la potencia de este generador FV se usó la siguiente fórmula:

$$P_{G-FV} = \frac{\text{demanda energética}}{HSP} [38]$$

$$P_{G-FV} = \frac{9886.03}{4.96} = 1993.15 \text{ W}$$

Esta es la potencia instalada que se debería cubrir con este arreglo fotovoltaico, para tener una buena confiabilidad.

➤ **Influencia de la temperatura en las celdas fotovoltaicas**

La temperatura que incide en una celda fotovoltaica juega un papel importante en la eficiencia, una temperatura elevada puede quitar su eficiencia hasta un 10 %. Debido a ello es importante realizar unas correcciones a las características del panel seleccionado a partir de sus características de eficiencia y costo.

Tabla 12. Datos del panel fotovoltaico

Datos técnicos del panel fotovoltaico seleccionado		
Marca	Seraphim	
Modelo	SRP-400-BMA	
N.º de células	72	
P _{máx}	400	W
V _{nom}	24	V
V _{p. m}	41.6	V
I _{p. m}	9.62	A
V _{oc}	49.1	V
I _{sc}	10.1	A
TNOCT	45	°C
Coef. temp. P _{máx}	-0.36	%
Coef. temp. V _{oc}	-0.28	%
Coef. temp. I _{sc}	0.05	%
Dimensiones	Largo: 2.15 m	Ancho: 1.02 m

Para realizar estas correcciones por influencia de la temperatura, se usaron las fórmulas empleadas por Isaac [35] quien afirma que la temperatura que consiguiera la célula de la placa (panel) solar será:

$$T_c = T_a + G \times \frac{TNCT-20}{800} [35]$$

Se considera una irradiancia de 1200 W/m², según la Dirección General de Electrificación «Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural». Asimismo, para este cálculo se consideró una temperatura ambiente promedio máximo de 24.6 °C, y una temperatura promedio mínima de 8 °C, dato que se obtuvo de la estación Carpish.

$$T_c = 24.6 + 1200 \times \frac{45-20}{800} = 62.1 \text{ °C}$$

Variación de parámetros

$$\Delta P_{\text{máx}} = (T_{\text{cmáx}} - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{Coef. } TP_{\text{máx}} \% / \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta P_{\text{máx}} = (62.1 - 25) \cdot (-0.36) = -13.356 \%$$

$$\Delta V_{\text{oc}} = (T_{\text{cmín}} - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{Coef. } TV_{\text{oc}} \% / \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta V_{\text{oc}} = (8 - 25) \cdot (-0.28) = 4.76$$

$$\Delta I_{\text{sc}} = (T_{\text{cmáx}} - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{Coef. } TI_{\text{sc}} \% / \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta I_{\text{sc}} = (62.1 - 25) \cdot 0.05 = 1.885 \%$$

Luego se corrigen los parámetros eléctricos

$$\text{Pot. máx. corregida} = P_{\text{máx}} + \frac{P_{\text{máx}}}{100 \%} \times \Delta P_{\text{máx}}$$

$$\text{Pot. máx. corregida} = 400 + \frac{400}{100 \%} \times -13.356 \% = 346.576 \text{ W}$$

$$\text{Voc. corregido} = V_{\text{oc}} + \frac{V_{\text{oc}}}{100 \%} \times \Delta V_{\text{oc}}$$

$$\text{Voc. corregido} = 49.1 + \frac{49.1}{100 \%} \times 4.76 \% = 51.43716 \text{ V}$$

$$\text{Isc. corregido} = I_{\text{sc}} + \frac{I_{\text{sc}}}{100 \%} \times \Delta I_{\text{sc}} \%$$

$$\text{Isc. corregido} = 10.1 + \frac{10.1}{100 \%} \times 1.885 \% = 10.287355$$

En la tabla 13 se muestra el cuadro de resumen de la influencia de la temperatura.

Tabla 13. Influencia de la temperatura en celda

Influencia de la temperatura		
T_c	62.1	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta P_{\text{máx}}$	-13.356	%
ΔV_{oc}	4.76	%
ΔI_{sc}	1.855	%
Pot. máx. corregida	346.576	W
Voc. corregido	51.43716	V
Isc. corregido	10.287355	A
Voc. en serie = Voc. corregido	51.43716	V
Isc. en paralelo = Isc. corregido / N.º de paneles	61.72413	A
FV paralelo		

➤ Cantidad de paneles FV

$$N.^\circ \text{ paneles} = \frac{PG - FV}{PFV \text{ elegido corregido}}$$

$$N.^\circ \text{ paneles} = \frac{1993.15W}{346.576W} = 5.751 = \mathbf{6 \text{ paneles}}$$

N.° de paneles FV en serie

$$N.^\circ \text{ ps} = \frac{V_{nom}}{V_{pm}}$$

$$N.^\circ \text{ ps} = \frac{24}{41.6} = 0.577 = \mathbf{1 \text{ panel en serie}}$$

➤ **N.° de paneles FV en paralelo**

$$N.^\circ \text{ PP} = \frac{PG-FV}{PFV \text{ elegido corregido} \times N^\circ ps}$$

$$N.^\circ \text{ PP} = \frac{1993.15W}{346.57W \times 1} = 5.751 = \mathbf{6 \text{ paneles en paralelo}}$$

Potencia corregida. del generador FV = Pot. máx. corregida x
cantidad de paneles FV

$$\text{Potencia corregida del generador FV} = \mathbf{346.576 \times 6 = 2079.456 W}$$

En la tabla 14 se aprecia la cantidad de paneles requeridos y potencia corregida del generador fotovoltaico.

Tabla 14. Potencia corregida del generador fotovoltaica

Cantidad de paneles FV	5.751	6
N.° de paneles FV serie	0.577	1
N.° de paneles FV paralelo	5.751	6
Potencia corregida del generador FV	2079.456	W

• **Determinación de las baterías**

Para determinar la selección de las baterías se realizaron cálculos con base en la demanda energética, para los días de autonomía se consideró 2 días, debido a que la secuencia de riego son cada 2 días. Así mismo, se consideró la tensión del sistema de 24 V y la profundidad de descarga de la batería al 60 % a una vida útil promedio. Una vez teniendo la estimación de la capacidad del banco de baterías de 1337.8531 Ah, se procedió a seleccionar la batería que se acomodaba a este proyecto.

Fórmula para calcular la capacidad de las baterías

En este caso, se está considerando una profundidad de descarga de 0.7, lo que significa que la batería se estaría descargando a un 70 % y estaría quedando un 30 % de carga, teóricamente, esto haría que se reduzca su tiempo de vida, pero sin embargo, esto se puede refutar por el lado de que la mayor carga es la motobomba y este hará su funcionamiento en el día, en el momento de las HSP, con esto se diría que la batería se estaría cargando constantemente, evitando que se descarguen hasta ese nivel. También hay que recalcar que a la entrega de las baterías al sistema, estas deberían estar completamente cargadas.

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{\text{Demanda energética} \times \text{Días de autonomía}}{V_{\text{bat}} \times PD}$$

V_{bat} = tensión de la batería

PD = profundidad de descarga

$$N.^{\circ} \text{ bat} = \frac{\text{Estm.Cap.Banco de la bat.}}{\text{Capacidad de la batería}}$$

Tabla 15. Cuadro resumen de la determinación de baterías

Determinación de baterías		
Demanda energética	9886.03	Wh/día
Tensión del sistema	24	V
Días de autonomía	2	días
Profundidad de descarga	0.7	
Estm. cap. banco de la bat.	1176.908797	Ah
Marca		Tensite
Tensión de la batería	12	V
Capacidad de la batería	300	Ah
N.º de baterías en serie	1	1
N.º de baterías en paralelo	3.92303	4
cantidad de baterías	3.92303	4
Capacidad de baterías	1200	Ah

En las figuras 68 y 69 se aprecian los datos técnicos de la batería considerada en el proyecto.

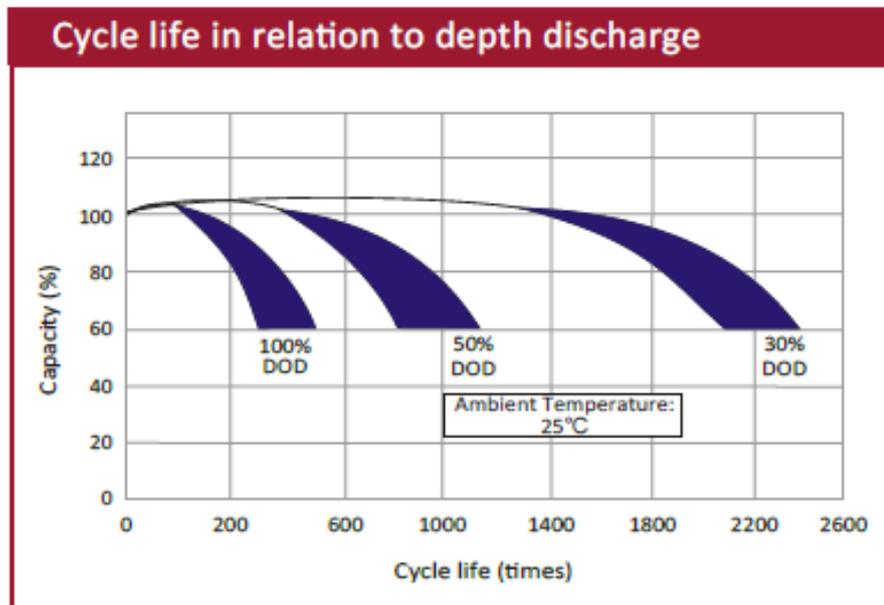


Figura 68. Curva de profundidad de descarga de la batería Tomada de «Ficha técnica Tensite gel 12-300» [74, p. 3]

Especificaciones técnicas de la batería



TECHNICAL SPECIFICATIONS

BATTERY MODEL	Nominal voltage		12V	
	Rated capacity (100 hour rate)		300Ah	
DIMENSION	Cells Per battery		6	
	Length	Width	Height	Total Height
APPROX. WEIGHT	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACITY @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
	10 hour rate (25.0A)	5 hour rate (43.7A)	3 hour rate (66.2A)	1 hour rate (161.5A)
MAX. DISCHARGE CURRENT	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
INTERNAL RESISTANCE	2000 A (5 sec.)			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	Full charged Vat 25°C: Approx. 2.0mΩ			
	40°C	25°C	0°C	
CHARGE METHOD @25°C	103%	100%	86%	
	Cycle Use		Standby Use	
	14.4-15.0V		13.50-13.80V	
	(Initial charging current less than 27A)			

Figura 69. Especificaciones técnicas de la batería Tomada de «Ficha técnica Tensite gel 12-300» [74, p. 2]

- **Determinación del regulador**

Este dispositivo se encarga de inyectar corriente con una tensión regulada proveniente de los PF y cargar las baterías. Para su elección se tuvo que buscar uno que tenga una tensión del sistema de 24 V, una potencia por encima de lo requerido (2079.456 W) y sobre todo que cumpla con la capacidad de corriente máxima del generador más un rango de factor de seguridad.

$$I_{MAX.G} = I_{SC.G} = N_{MP} \times I_{SC} I_{cont} > f.s. \times I_{MAX.G}$$

Tabla 16. Elección del regulador

Elección del regulador		
Corriente máxima del G. FV	61.72413	A
Factor de seguridad	1.25	
Corriente del regulador	77.1551625	A
Tensión de la batería	12	V
Se elige un regulador	marca	modelo
	Victron energy	MPPT150/85
I del regulador elegido	85	A

El cargador solar elegido es el cargador solar de control inteligente de marca de Victron Energy, este es un dispositivo con seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT, *máximum power point tracking*) muy rápido, con una eficacia de conversión extraordinaria y se adecua a un amplio rango de voltajes de la batería y generadores FV.

En la figura 70 se muestra el seguimiento del punto de potencia máxima del cargador:

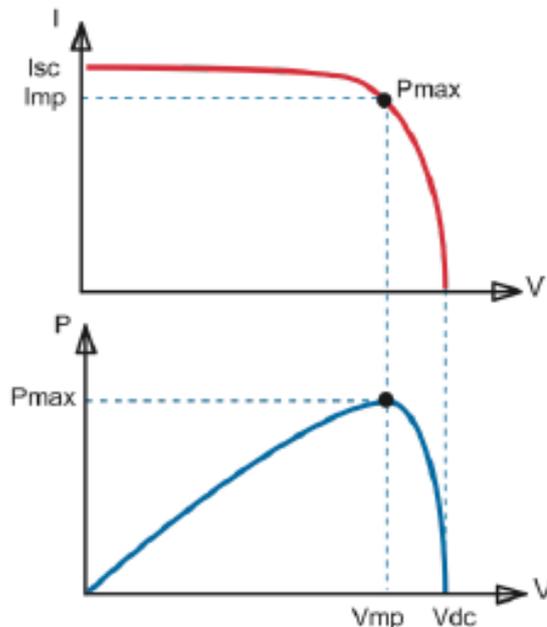


Figura 70. Seguimiento del punto de potencia máxima del cargador
Tomada de Datasheet Victron Energy [75]

En la figura 71 se muestran las especificaciones técnicas del regulador cargador de la batería Victron Energy.

Especificaciones técnicas del regulador					
Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V)				
Corriente de carga nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Corriente de cortocircuito máxima FV 2)	50 A	50 A	50 A	70 A	70 A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	10mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable)				
Tensión de carga de "Rotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos y on-off remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				



Figura 71. Especificaciones técnicas del cargador.
Tomada de Victron Energy [76]

- **Determinación del inversor**

Este equipo se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna necesaria para que puedan funcionar, su determinación fue a partir de la potencia total de consumo multiplicada por un factor de simultaneidad, el cual se considera uno, porque casi toda la demanda se basa en la electrobomba y los demás componentes tienen un consumo mínimo. Una vez obtenida la potencia con la que debe trabajar este inversor, se busca uno que se acomode a este requerimiento.

$$P_{inv} = P_{AC} \times f.s.$$

Tabla 17. Elección del inversor

Elección del inversor		
Potencia total de consumo	1595.1	w
Factor de simultaneidad	1	
Tensión del sistema	24	v
potencia del inversor	1595.1	w
Se elige un inversor	marca	modelo
	Victron energy	Phoenix (24/3000)
Pot del inver. elegido	3000	W

En la figura 72 se muestran las especificaciones técnicas del inversor elegido, marca Victron Energy.

Especificaciones técnicas del inversor					
Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 40/3000	24/5000 40/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	SI				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 - 17V 19 - 33V 38 - 60V				
Salida	Salida 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficiencia máx. 12 / 24 / 48V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				



Figura 72. Especificaciones técnicas del inversor Tomada de Victron Energy [76]

a. Puesta a tierra

La conexión a tierra está constituida por un electrodo simple de acero recubierto de cobre, un pozo cavado de forma vertical, el relleno se hace mezclando tierra de préstamo con 2 sacos de bentonita sódica, el enlace de la varilla al tablero de control es mediante un conductor de Cu, la conexión en varilla es mediante conector de bronce y en tablero es con terminal tipo ojo.

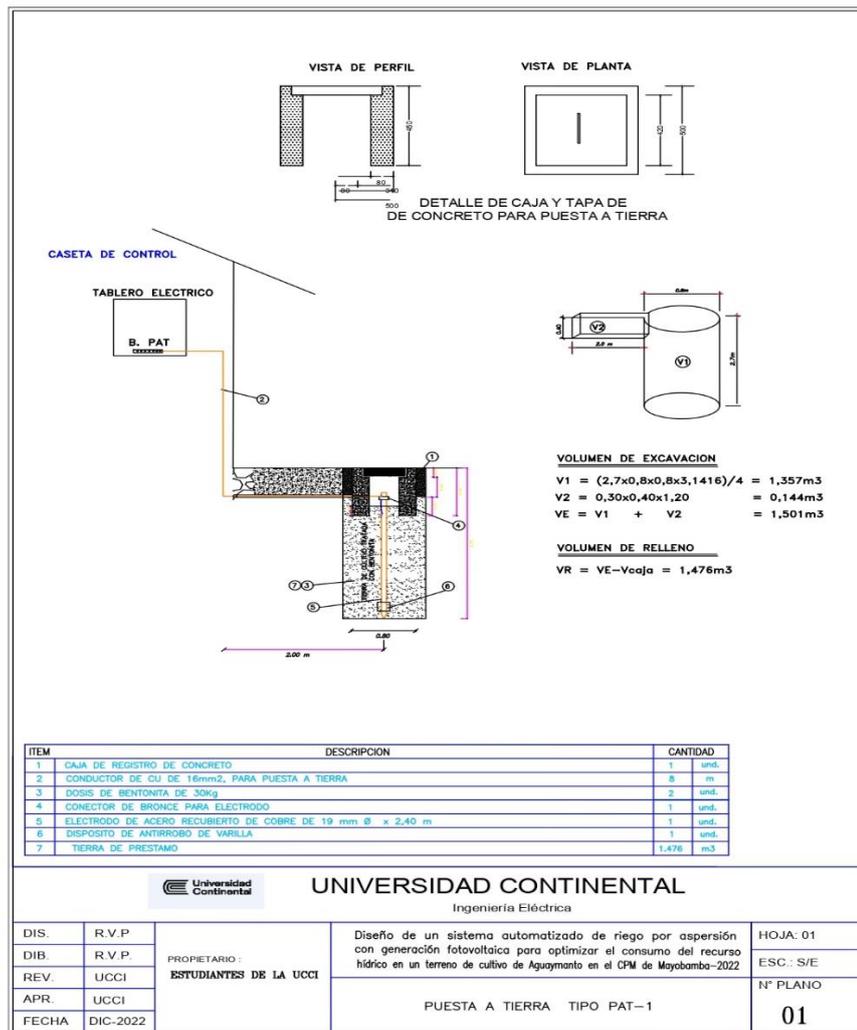


Figura 73. Detalle de puesto a tierra

b. Conductores

Para la elección de estos conductores eléctricos y de control se realizó la determinación de su sección, utilizando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2\rho \times L \times I}{\% (V_a - V_b)}$$

Donde:

S: sección en mm²

L: longitud en metros

I: intensidad en A

% (V_a-V_b): caída de tensión en Voltios

ρ : conductividad del Cu igual a 0.022Ω mm²/m

Tabla 18. Elección de conductores eléctricos

Equipo A	Equipo B	Longitud	Máxima caída de tensión admisible	I(A)	V	S(mm ²)	AWG
Generador F.V.	Regulador	7	3 %	57.72	24	24.691	3
Regulador	Batería	6	3 %	57.72	24	21.164	4
Batería	Inversor	5	3 %	79.755	24	24.370	4
Inversor	Tablero	5	1 %	79.755	220	7.976	8
Tablero	control	15	5 %	3	24	1.650	14



Figura 74. Cables fotovoltaicos

4.3.3. Diseño de control

Para el diseño de control se tuvo en cuenta los cálculos previos de la parte hidráulica y eléctrica y con estos datos dimensionar la instalación de diversos componentes eléctricos y electrónicos que lo constituyen, así mismo, se realizó la toma de datos en campo de parámetros como la temperatura y velocidad del viento, también se consideró los datos meteorológicos obtenidos de las fuentes antes descritas.

4.3.3.1. Análisis de parámetros

Como se ha mencionado, este diseño de control estuvo limitado por tres parámetros, como son la temperatura, viento y humedad; con base en estos datos es que se realizaron las programaciones del momento y tiempo de riego, así mismo, una correcta distribución del recurso hídrico.

a) La temperatura

Las altas temperaturas aceleran la respiración (por las estomas) de las plantas y si la planta ya no puede controlar estas situaciones cierran sus estomas para evitar perder agua por la evaporación, debido a esto si se riega a altas temperaturas el agua que llega a las plantas no es bien aprovechada, por ende, no absorben el agua, de lo contrario, esta agua almacenada en las hojas crea un efecto lupa que hace que el agua se caliente, dañando a las hojas de la planta; en ocasiones se puede apreciar como si hubieran recibido agua hervida. Por otra parte, las temperaturas bajas dificultan las funciones de la membrana celular.

Es por lo que para este sistema de riego la base son los límites establecidos de temperatura para el cultivo de aguaymanto, de acuerdo con las bases teóricas, las temperaturas recomendables de riego van desde los 13° - 18°, basados en esa teoría, se realizaron tomas de muestras de temperaturas cada 30 minutos, durante un periodo de 8 días, ya con estos datos se realizó un análisis. Para ello, se empleó un equipo multifuncional, el cual medía la velocidad del viento y temperatura.

En la figura 75 se aprecia la toma de muestras de temperatura y velocidad del viento con un equipo anemómetro multifuncional.



Figura 75. Mediciones con el anemómetro

b) El viento

Para conocer los horarios de mayor y menor viento, se hizo un análisis estadístico con base en la toma de datos realizados en campo. Esto sirvió para determinar los horarios donde el viento no perjudique la trayectoria del agua expulsada por los aspersores.

En la figura 76 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 2/6/2023.

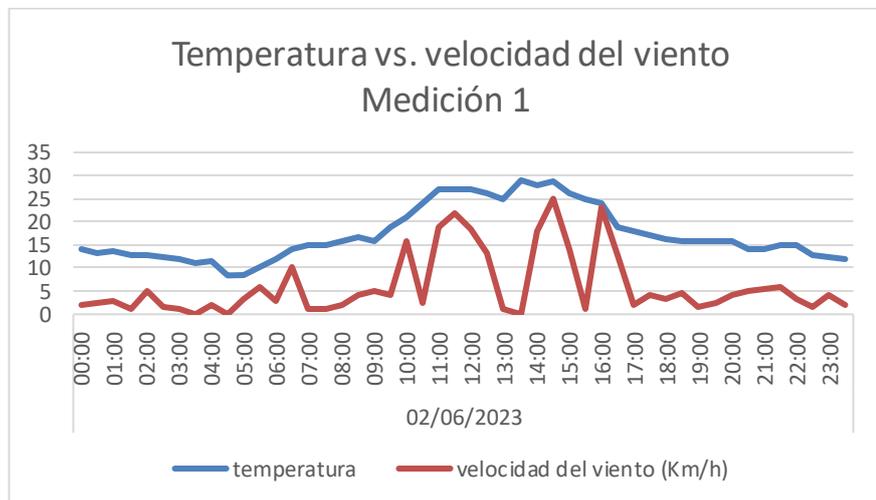


Figura 76. Primer día de medición con anemómetro

En la figura 77 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 3/6/2023.

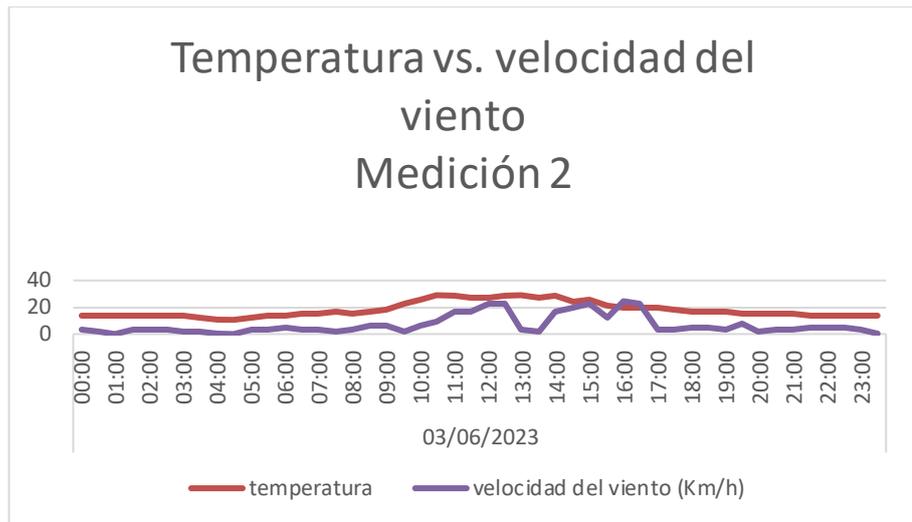


Figura 77. Segundo día de medición con anemómetro

En la figura 78 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 4/6/2023.

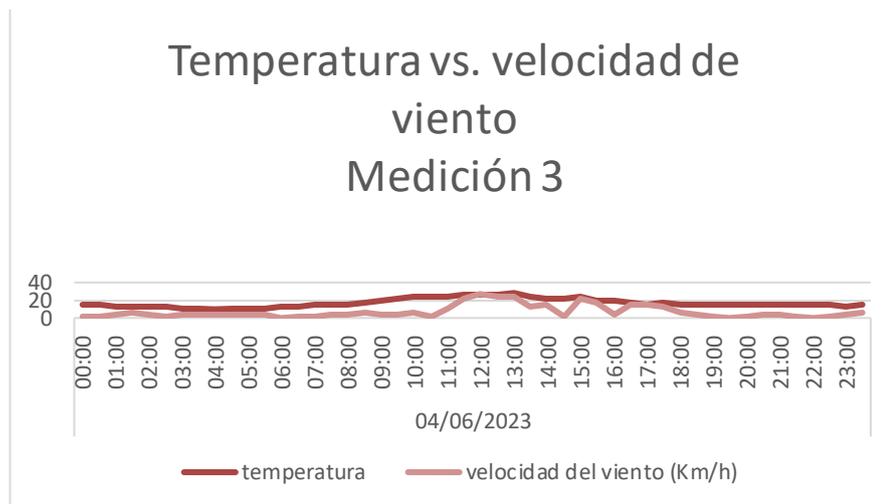


Figura 78. Tercer día de medición con anemómetro.

En la figura 79 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 5/6/2023.

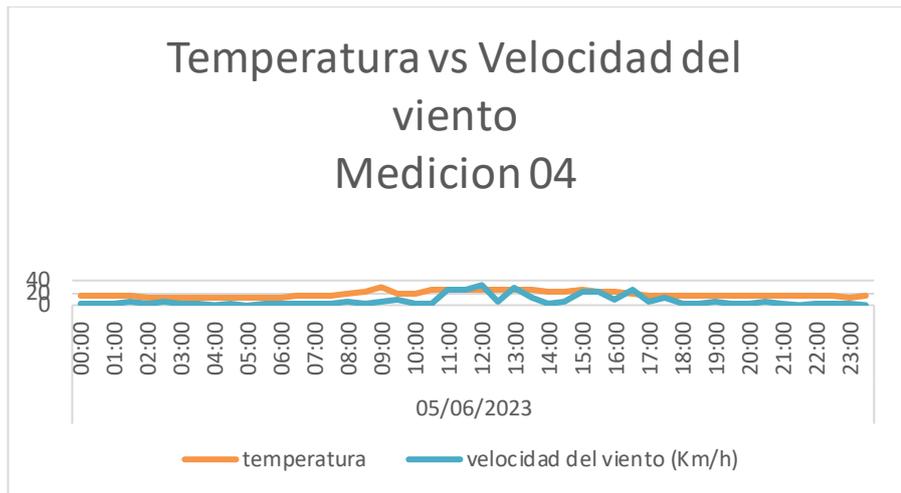


Figura 79. Cuarto día de medición con anemómetro.

En la figura 80 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 6/6/2023.

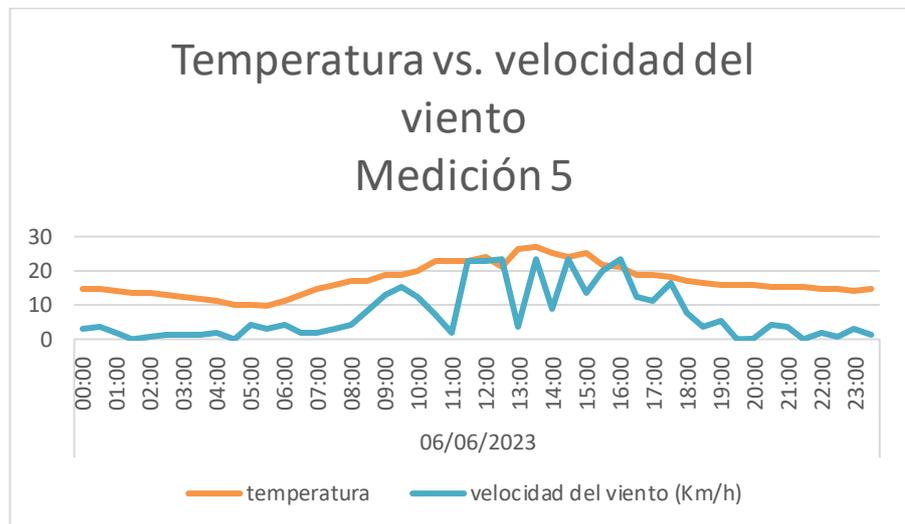


Figura 80. Quinto día de medición con anemómetro

En la figura 81 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 7/6/2023.

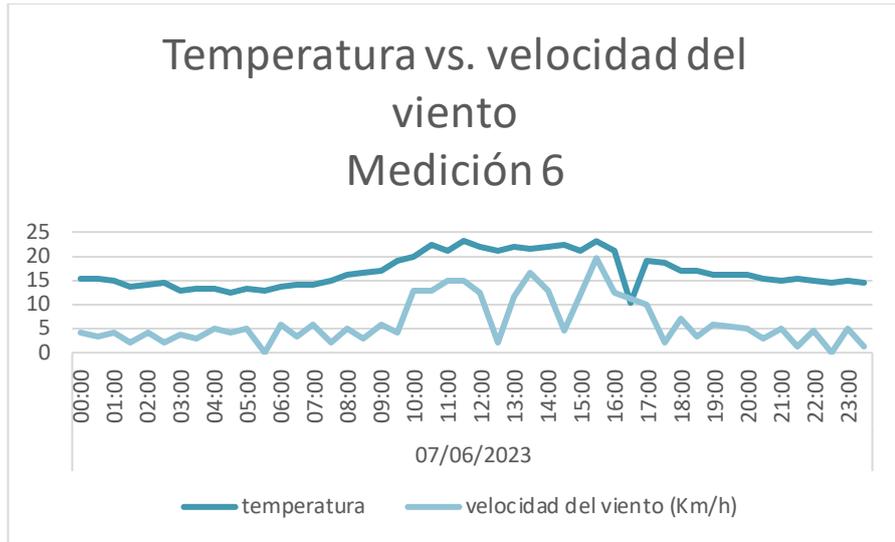


Figura 81. Sexto día de medición con anemómetro

En la figura 82 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 8/6/2023.

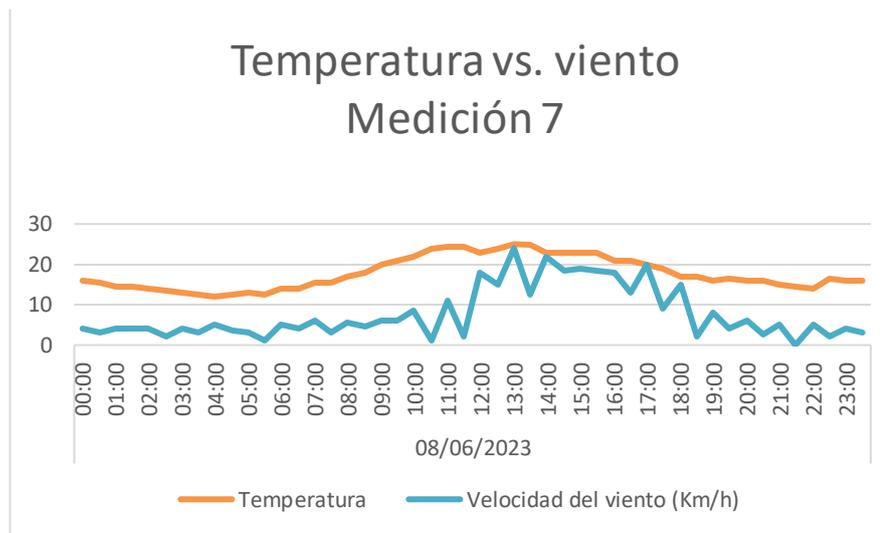


Figura 82. Séptimo día de medición con anemómetro

En la figura 83 se aprecia el comportamiento de la temperatura y el viento durante el 9/6/2023.

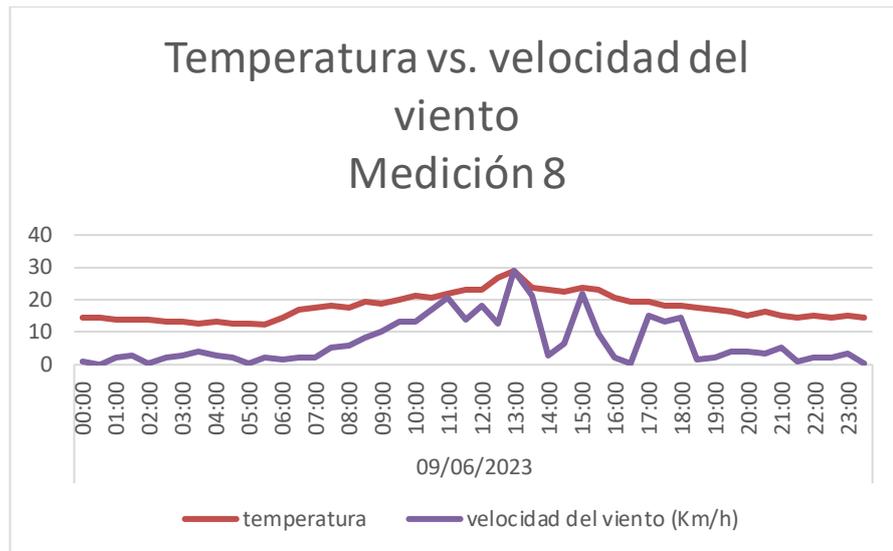


Figura 83. Octavo día de medición con anemómetro

Después de realizar el análisis estadístico de las gráficas de velocidades del viento y temperatura se pudo deducir que los vientos más fuertes se dan durante el día, va de aumento si la temperatura sube y disminuye cuando esta baja. Se aprecia que los picos de viento se dan entre las 10:00 a. m. a 5:00 p. m., y el resto del día las velocidades son más leves. Del mismo modo los picos de temperaturas más altas se producen entre las 9:00 a. m. a 17:00 p. m. y las temperaturas más bajas se producen entre las 2:00 a. m. a 6:00 a. m.

De esto se deduce que no es favorable el riego durante esos horarios, estableciéndolo de la siguiente manera:

Horarios favorables de riego

- De 17:00 p. m. a 2:00 a. m. hay 9 horas para poder regar.
- De 6:00 a. m. a 9:00 a. m. solo hay 3 horas para poder regar.

Tiempo y frecuencia de riego

Como se sabe, el tiempo necesario de riego es de 60.29 minutos diarios para mantener hidratada a la planta en épocas de estiaje. En el proyecto se cuenta con 12 aspersores para poder cubrir el riego de todo el terreno, pero debido a que la presión calculada solo puede hacer girar 2 aspersores a la vez, se consideró 6 secuencias de riego, si se riega diariamente se requiere 361.74 minutos, pero sin embargo, considerándose que un día de esos no haya agua en el canal y no puede abastecerse para el bombeo o la irradiación haya sido baja, se decide que el riego sea como se describe a continuación:

- Día uno, 6 aspersores en 3 secuencias de 2 en 2
- Día dos, 6 aspersores en 3 secuencias de 2 en 2

De esa manera, las plantas estarían recibiendo agua cada 2 días, el tiempo requerido diariamente para poder regar las 3 secuencias sería:

3 secuencias x 60.29 minutos x 2 días = 361.74 minutos o 6.029 horas de riego diariamente.

Selección de horarios de riego

Conociendo los horarios óptimos de riego de acuerdo con estos análisis, se optó que sean de 18:00 p. m. a 00:00 a. m., diariamente.

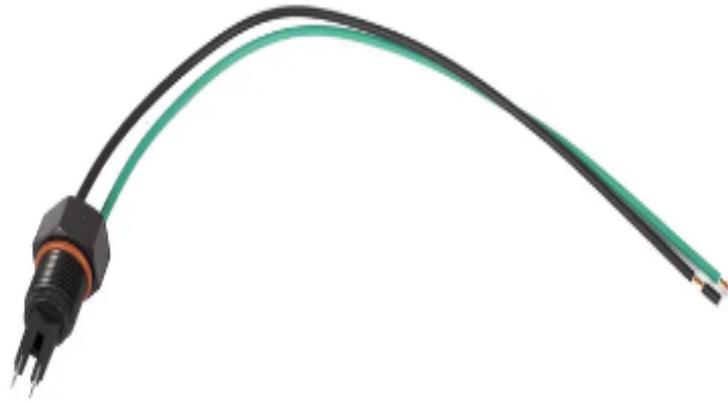
c) La humedad

La humedad con la que cuenta la tierra es un eje fundamental para el adecuado crecimiento de las plantas, si la tierra está muy seca o de poca humedad, las plantas sufrirán de estrés hídrico, es por ese motivo que se debe controlar el nivel de humedad para saber el momento indicado de poner en funcionamiento estos aspersores y entregar el líquido elemento. El nivel de humedad relativa brindado por la estación Carpish es de 92 % y la de la zona de proyecto es de un promedio de 66.0 %. (obtenida a partir de Meteonorm). Las lluvias son importantes para mantener húmeda la tierra, en invierno es abundante y en verano son escasas, por lo tanto, la tierra se seca haciendo que las plantas se deshidraten, requiriéndose del riego para poder realizar los cultivos. En este diseño se considera un sensor de humedad que censa la existencia de agua, para lo cual se considera un recipiente que cuando llueve se llena de agua y el sensor que está, normalmente cerrado, se abra haciendo que el sistema de control y fuerza deje de trabajar casi en su totalidad, esto sucede hasta que el sensor detecte que ya no existe agua en el recipiente; es entonces que se activa el proceso de regado.

4.3.3.2. Dispositivos de Control

a) Sensor de agua

Este es un sensor que detecta presencia de agua y su estado inicial se comporta como normalmente cerrado y con acción del agua se apertura y esta señal se envía al PLC para que dé órdenes de apertura del circuito de control y con ello el de fuerza queda bloqueada de funcionar, hasta que seque el agua y vuelva a cerrarse el circuito. Su tensión de trabajo es de 24 voltios.



**Figura 84. Sensor de presencia de agua
Tomada de Euro 4x4 Parts**

b) Plc Simatic S7-1200

En la figura 85 se aprecia la ficha técnica del Plc considerado para el diseño



SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU compacta AC/DC/relé, E/S INTEGRADAS: 8 DI DC 24V; 6 DO, relé 2 A; 2 AI 0-10V DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, Memoria de programas/datos 75 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1212C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.5
Ingeniería con	<ul style="list-style-type: none"> Paquete de programación
	STEP 7 V17 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	<ul style="list-style-type: none"> 120 V AC 230 V AC
	SI
	SI
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
Rango admisible, límite inferior	47 Hz
Rango admisible, límite superior	63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	80 mA con 120 V AC; 40 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	240 mA con 120 V AC; 120 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
PI	0,8 A ² s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 000 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	<ul style="list-style-type: none"> 24 V
	20,4 a 26,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	11 W
Memoria	
Memoria de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Integrada ampliable
	75 kbyte
	No
Memoria de carga	<ul style="list-style-type: none"> Integrada enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.
	2 Mbyte
	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
existente	SI
libre de mantenimiento	SI
sin pila	SI

**Figura 85. Plc Simatic S7-1200
Tomado de Siemens [44]**

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN

5.1. Construcción

5.1.1. Prototipo Virtual

Con la finalidad de demostrar el funcionamiento de este diseño, se realizó su esquematización y ensamblado en los *softwares* referenciados, que son el TIA PORTAL y SketchUp, y con base en ello hacer simulaciones y poder observar la funcionabilidad y comportamiento, con tendencia a ir mejorándolo.

5.1.1.1. Programa TIA PORTAL

Se realizó la creación de este proyecto en el entorno de programación del TIA PORTAL V17 y la simulación de variables con su componente S7-PLCSIM V17: se seleccionaron los componentes necesarios y el módulo Plc S7-1200 versión más reciente para su simulación V4.1 y se definió su configuración; posteriormente se realizaron las tablas de variables de entradas y salidas; luego se programó el bloque de programa o unidad lógica de programación con instrucciones lógicas para cumplir la función de bombeo y las secuencias de riego.

Diagramas *ladder* de programación

- En el segmento 1 se realizó el diagrama *ladder* que muestra el arranque directo de la bomba sumergible del sistema de riego.

- En el segmento 2 se realizó el diagrama *ladder* para el mando de la electroválvula que apertura o cierra el ingreso del agua al reservorio inferior.

En la figura 86 se pueden apreciar los diagramas *ladder* de programación realizados en el *software* TIA PORTAL, segmentos 1 y 2.

Totally Integrated Automation Portal			
Riego02 / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Bloques de programa			
Main [OB1]			
Main Propiedades			
General			
Nombre	Main	Número	1
Idioma	KOP	Numeración	Automático
Información			
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor	
Familia		Versión	0.1
		Comentario	
		ID personalizado	
Main			
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		→ True, if remanent data are available
Temp			
Constant			
Segmento 1:			
Segmento 2:			
Segmento 3:			

Figura 86. Bloques de programa, segmentos 1 y 2

- En el segmento 3 se consideró un bloque para el horario local y un contador que discrimine las fases de riego.
- En el segmento 4 se definen las condiciones para el arranque de la bomba, como horarios (horas solar pico) y posición de interruptores de nivel.
- En el segmento 5 se definieron las condiciones del accionamiento de las electroválvulas según el día y horarios de riego, habilitación de arranque (TRUE) y posición del sensor de agua.

En la figura 87 se pueden apreciar los diagramas *ladder* de programación realizados en el *software* TIA PORTAL dividida en segmentos.

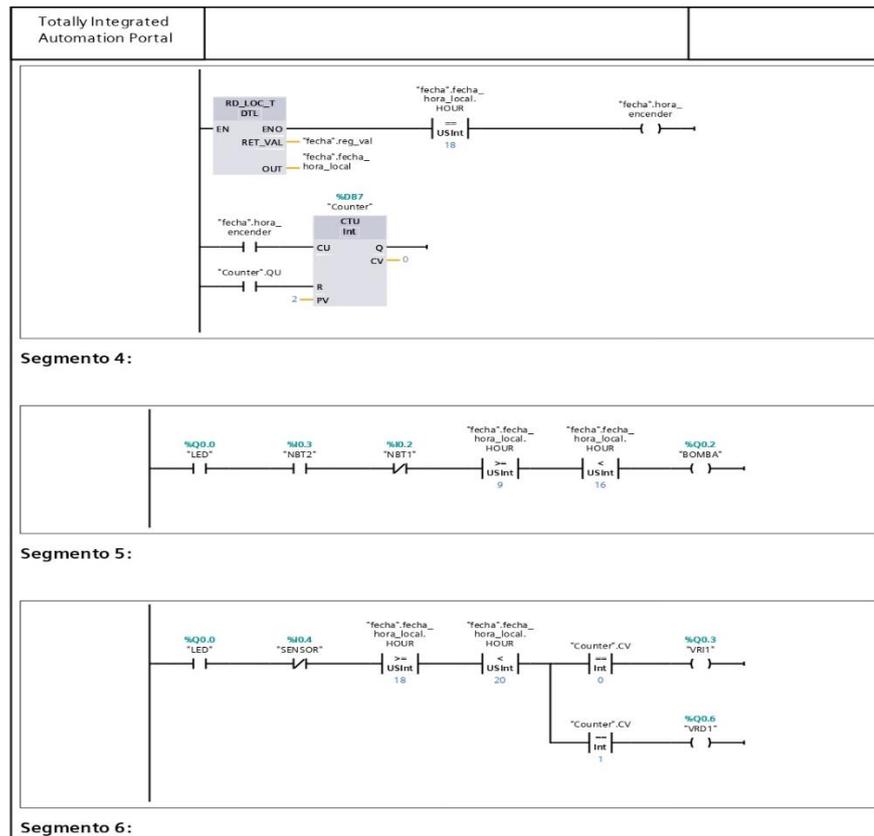


Figura 87. Bloques de programa, segmentos 3, 4 y 5

- En los segmentos 6 y 7, del mismo modo, se definen las condiciones del accionamiento de las electroválvulas según el día y horarios de riego, habilitación de arranque (TRUE) y posición del sensor de agua.

En la figura 88 se pueden apreciar los diagramas *ladder* de programación realizados en el *software* TIA PORTAL.

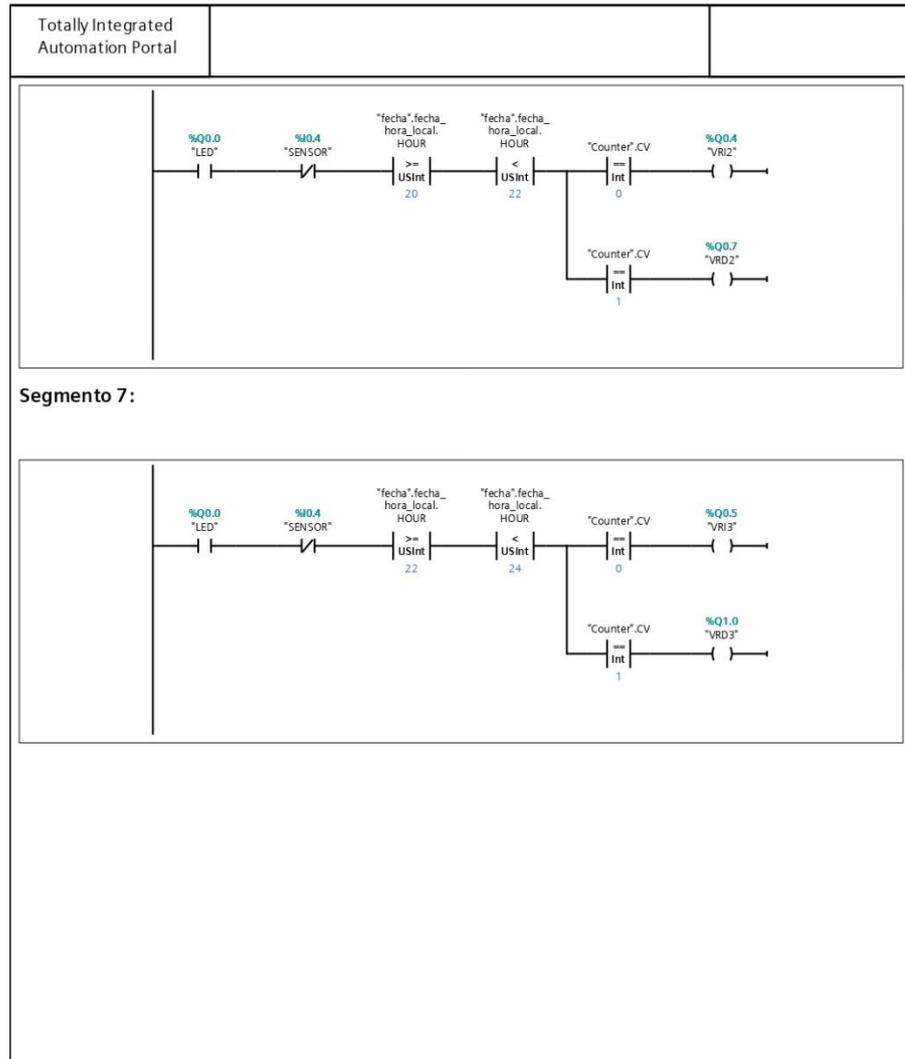


Figura 88. Bloques de programa, segmentos 6 y 7

5.1.2. Ensamble Virtual en el Programa SketchUp

Se realizó un modelado en 3D de toda la arquitectura de sistema de riego, aplicando el *software* SketchUp. Esto ayudó a tener claro los puntos de ubicación de todos los componentes.

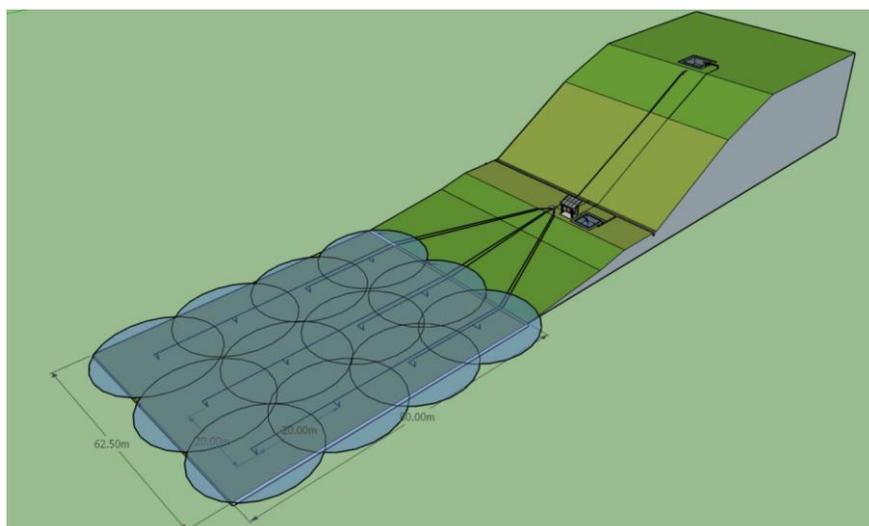


Figura 89. Sistema de riego en 3D

5.2. Pruebas y Resultados

5.2.1. Pruebas

Se lleva a cabo una serie de pruebas con base en simulaciones, para poder verificar todas las posibles deficiencias que podría tener este sistema automático de irrigación y así poder corregirlo y llegar a tener buenos resultados.

5.2.1.1. Pruebas Mediante Simulación en PLCSIM V17

Teniendo el diagrama después de realizar el paso anterior, se procede a realizar las simulaciones y emisión de reporte de la tabla de simulaciones de variables creados en TIA PORTAL V17 para el funcionamiento del sistema de control de bombeo y riego, pudiéndose simular con el *software* PLCSIM de la misma versión (V17); para ello Siemens tiene desarrollado el PLCSIM para arrancar sus CPU 1224 DC/DC/RELAY en forma virtual, se compiló de acuerdo a la selección de horarios de riego y se arrancó el programa que verificó la secuencia programada.

Caso 1: En el estado inicial se muestran todas las variables del programa de riego en posición de reposo.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar cohere...
<input type="checkbox"/>	*START*:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*LED*	%Q0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VENT*	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI1*	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD2*	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD3*	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 90. Simulación caso 1

Caso 2: Se realizó el accionamiento del mando al presionar la entrada IO.0 (**start**), activándose la salida Q0.0 (**led**), corriendo programa.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coherencia
<input type="checkbox"/>	*START*:P	%I0.0:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*LED*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VENT*	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI1*	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD2*	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD3*	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 91. Simulación caso 2

En el caso 3 se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del primer grupo de 2 aspersores (día 1). A las 18 horas del día 1 se encienden la válvula, primero VRI1 por 2 horas.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar cohere...
START:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
STOP:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
SENSOR:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT1:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT2:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
LED	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VENT	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
BOMBA	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI1	%Q0.3	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VRI2	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI3	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD1	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD2	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD3	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 92. Simulación caso 3

En el caso 4 se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del segundo grupo de 2 aspersores (día 1). A las 20 horas del día 1 se encienden la válvula, primero VRI2 por 2 horas.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coher...
START:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
STOP:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
SENSOR:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT1:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT2:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
LED	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VENT	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
BOMBA	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI1	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI2	%Q0.4	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VRI3	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD1	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD2	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD3	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 93. Simulación caso 4

En el caso 5 se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del tercer grupo de 2 aspersores (día 1). A las 22 horas del día 1 se encienden la válvula, primero VRI3 por 2 horas, cerrándose el ciclo de riego del día 1.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coh...
START:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
STOP:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
SENSOR:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT1:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT2:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
LED	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VENT	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
BOMBA	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI1	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI2	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI3	%Q0.5	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VRD1	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD2	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD3	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 94. Simulación caso 5

En el caso 6 se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del primer grupo de 2 aspersores (día 2). A las 18 horas del día 2 se enciende la válvula, primero VRD1 por 2 horas.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coe
START:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
STOP:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
SENSOR:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT1:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT2:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
LED	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VENT	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
BOMBA	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI1	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI2	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI3	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD1	%Q0.6	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VRD2	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD3	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 95. Simulación caso 6

Caso 7: Se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del segundo grupo de 2 aspersores (día 2). A las 20 horas del día 2 se enciende la válvula, primero VRD2 por 2 horas.

En la figura 96 se ve la activación VRD2 de 20 a 22 h.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coe
START:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
STOP:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
SENSOR:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT1:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
NBT2:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
LED	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VENT	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
BOMBA	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI1	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI2	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRI3	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD1	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
VRD2	%Q0.7	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
VRD3	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 96. Simulación caso 7

Caso 8: Se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula para realizar el riego del segundo grupo de 2 aspersores (día 2). A las 22 horas del día 2 se enciende la válvula, primero VRD3 por 2 horas. Terminándose el proceso de riego.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coh
<input type="checkbox"/>	*START*:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*LED*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VENT*	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI1*	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD2*	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD3*	%Q1.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE

Figura 97. Simulación caso 8

Caso 9: Se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó la electroválvula de acceso del agua del canal al reservorio 1, se enciende la válvula de entrada de agua (VENT). terminándose el proceso de riego.

En la figura 98, si el sensor de nivel del tanque 1 se activa indicando nivel bajo se activa la válvula de entrada del canal de agua.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar cohe
<input type="checkbox"/>	*START*:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*LED*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VENT*	%Q0.1	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI1*	%Q0.3	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD2*	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
<input type="checkbox"/>	*VRD3*	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 98. Simulación caso 9

Caso 10: Se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó el interruptor de nivel (NBT2).

En la figura 99, si el sensor de nivel del tanque 2 se activa indicando nivel bajo se activa la bomba de agua.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coh
-01	*START*:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*LED*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*VENT*	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI1*	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD2*	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD3*	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 99. Simulación caso 10

Caso 11: Se corrió el programa con la activación del Q0.0 (**led**); al tener la condición se habilitó el interruptor de nivel (NBT1) con lo cual se acciona la bomba y empieza a bombear. También si el interruptor de nivel del tanque 1 y 2 detecta nivel bajo de agua este se activa, indicando que la bomba y la válvula de entrada de agua del canal entren en funcionamiento.

En la figura 100 se ve el accionamiento de la bomba por interruptor de nivel.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar co
-01	*START*:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*STOP*:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*SENSOR*:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*NBT1*:P	%I0.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*NBT2*:P	%I0.3:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*LED*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*VENT*	%Q0.1	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*BOMBA*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI1*	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI2*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRI3*	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD1*	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD2*	%Q0.7	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
-01	*VRD3*	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 100. Simulación caso 11

5.2.2. Resultados

Las pruebas realizadas mediante simulaciones en los *softwares* dieron como resultado que este diseño de riego desempeña la función deseada; la electrobomba bombea agua durante las horas de mayor irradiación, evitando de esa manera que la batería se descargue por debajo de la profundidad de descarga considerada, para ello, el circuito de fuerza cumple su función de controlar y proteger. Igualmente, el sistema de control obedece la programación configurada, se realiza la apertura de las válvulas de manera secuencial exactamente con los tiempos estimados de 2 horas por cada dos

electroválvulas, dejando pasar el agua que hace girar los aspersores que esparcen el H₂O al cultivo, al mismo tiempo que en el tablero se muestran las lámparas piloto indicadoras. Si se da un caso de lluvia el sensor de agua envía una señal al PLC y este da orden de no regar hasta que la humedad se haya perdido.

CONCLUSIONES

1. El diseño del sistema automatizado de riego por aspersión cumple con las expectativas esperadas gracias a que se realizó un análisis exhaustivo de todos los parámetros necesarios, considerándose el uso de varios *softwares*, páginas web con información meteorológica e instrumentos de apoyo que fueron necesarios para realizar el diseño. En la simulación respondieron adecuadamente los parámetros programados de riego, el PLC envía señal a las electroválvulas y estas se cierran y abren sin ningún inconveniente permitiendo el pase o no de agua, se obtuvo una eficiencia del 80 % y permitirá cubrir con el regado de la totalidad de las plantas del terreno. El sistema diseñado permitirá una reducción en el tiempo de trabajo, así mismo, permite optimizar el consumo del recurso hídrico, ya que solo se utilizará el agua estrictamente necesaria para el adecuado crecimiento de las plantas de aguaymanto, para ello, se dispone de un sensor de agua, esto permitirá sembrar en épocas de verano cuando otros vecinos que no cuentan con la tecnología no lo hacen y esto genera ganancias, ya que en estas épocas el producto tiende a escasear, generando el alza de los precios.
2. El sistema hidráulico con los reservorios de 40 m³ en el punto de captación (reservorio 1) y de 20 m³ en el punto de aguas bombeadas (reservorio 2), fueron diseñados para cubrir la demanda hídrica de 2 días de riego, la electrobomba bombea el agua de la poza de captación a la poza de aguas bombeadas a una altura manométrica total de 35.21 m, conforme los flotadores de nivel indican la necesidad de agua en el reservorio, del mismo modo, las tuberías de las alas regadoras conducen por sus interiores el agua de manera uniforme, a una presión adecuada previamente calculada, logrando una eficiencia en los aspersores del 86.6 %, optimizando de esta forma el consumo del recurso hídrico.
3. Para poder cumplir con una eficiente funcionabilidad de este subsistema eléctrico fue necesario realizar el cálculo de la demanda máxima el cual fue de 1595.1 W a ello se le multiplicó por un factor de rendimiento global de la instalación de 0.738, obteniendo como resultado una demanda energética por cubrir diariamente de 9886.03 Wh/día, con base en ello se realizó el dimensionamiento de los paneles solares, determinándose la cantidad de 6 paneles conectados en paralelo haciendo una potencia corregida de 2079.456 W; el banco de baterías trabajará con una profundidad de descarga de 0.7, obteniendo como resultado el requerimiento de 4 baterías de 1200 Ah 12 V, conectados en paralelo; el regulador elegido fue con base en la tensión del sistema y una potencia por encima de lo requerido, cumpliendo con la capacidad de corriente máxima y un rango de factor de seguridad; el inversor fue elegido con base en la potencia total de consumo y a la tensión del sistema. Durante la

simulación el subsistema eléctrico trabajó eficientemente suministrando energía eléctrica a todos los componentes eléctricos y de control.

4. El subsistema de control se diseñó con base en el análisis de tres parámetros necesarios como son la velocidad del viento, la temperatura ambiental y la humedad; la velocidad del viento se determinó con la ayuda de un anemómetro, se fueron tomando muestras, dando como resultado los horarios de vientos adecuados para regar que fueron 17:00 p. m. a 2:00 a. m. y 6:00 a. m. a 9:00 a. m.; las temperaturas fueron obtenidas de la estación Carpath, y contrastadas con las mediciones en campo utilizando un termómetro que viene incorporado en el equipo anemómetro, del cual se establecieron temperaturas óptimas para riego concordantes con los horarios de viento adecuado, manteniendo el rango de temperaturas recomendadas para un riego adecuado de 13 °C a 18 °C; en el caso de la humedad, se tuvo en cuenta la frecuencia de lluvias, porque es cuando no se debe regar, entonces se consideró un sensor de agua que indicara en qué momento se debe activar el sistema de riego.

TRABAJOS FUTUROS

- Nuestro diseño al no contar con un sistema de monitoreo a distancia está expuesto a ciertas desventajas como no poder saber cuándo está funcionando o cuándo se malogró algo, en ese sentido se recomienda que en un futuro se debe implementar un dispositivo GX de interfaz de comunicaciones, como Cerbo GX que facilita una red de Wi Fi; para poder realizar el control de los equipos de carga y regulación desde un equipo móvil.
- Todos los componentes hidráulicos al estar en constante funcionamiento pueden sufrir ciertos desperfectos, en ese sentido, es conveniente realizar mantenimientos preventivos y correctivos de manera trimestral a todos los componentes del sistema de riego, evitando de esa manera alguna posible falla y perjudique el proceso de regado.
- Desarrollar trabajos de limpieza a los paneles para evitar que la suciedad quite su eficiencia, evitando descargar las baterías por debajo del 70 % de su carga, para alargar su vida útil, así mismo, se recomienda la implementación de otra actividad que involucre el uso de la energía eléctrica generada no utilizada, sobre todo, en épocas de invierno, de esa manera poder sacar mayor provecho.
- Para poder tener un sistema de control más robusto, en el futuro se pueden realizar unos análisis más exhaustivos, con base en muestras de más años de los parámetros de viento, temperatura y épocas de lluvias; y con ello se pueden implementar otros dispositivos de monitoreo y control.
- Investigar las necesidades hídricas de otras plantas que pudieran ser de mayor rentabilidad y deducir si se pueden cambiar de sistema de riego por aspersión a otro tipo de riego más eficiente, haciendo que se cubra mayores extensiones de terreno con la misma cantidad de agua.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **Banco Mundial.** *El agua en la agricultura* [en línea]. Edición 2022. [consultado: 13 de noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
2. **Chacra.** *El sector agropecuario frente al gran desafío de la sostenibilidad.* La red del campo. [en línea]. Agosto 2022. Edición 3.626. [fecha de consulta 24 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://n9.cl/mqleiv>
3. **Ministerio de Agricultura.** *Aprovechamiento de los recursos hídricos para uso agrario.* [en línea]. 2017. [Consultado el 20 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://n9.cl/t7zzu>
4. **MARTÍNEZ, J.; PÉREZ, D.** *Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación en una granja vertical.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones). Santiago de Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente, 2017 [consultado: 23 de mayo de 2021]. 142 pp. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/9782/T07449.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. **RAMIREZ, E.; VERGARA, J.** *Sistema de riego automatizado basado en IoT utilizando variables ambientales para cultivos de berenjena en la finca La Esperanza del municipio de Chinú – Córdoba.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Sistemas). Córdoba, Colombia: Universidad de Córdoba, 2020 [consultado: 20 de octubre de 2021]. 135 pp. Disponible en: <https://n9.cl/395vd>
6. **MENA, H.** *Diseño de una instalación de bombeo para el riego de una finca* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electromecánico). Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas, 2018. [consultado: 7 mayo de 2021]. 141 pp. Disponible en: <https://n9.cl/n8apk>
7. **MARTINEZ, C.** *Diseño de sistema de bombeo a base de energía solar para suministro de agua.* [en línea]. Tesis (Título de Maestría en Ingeniería Aplicada). Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Boca del Río, 2020. [consultado: 29 noviembre de 2022]. 113 pp. Disponible en: https://www.uv.mx/veracruz/miaplicada/files/2021/07/Tesis_Carlos-Alberto-Martinez-Farias.pdf
8. **CORTES, V.; VARGAS, M.** *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poussepin.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2020. [consultado: 23 noviembre de 2022]. 100 pp. Disponible en: <https://n9.cl/c7an2>
9. **CARRASCO, J.** *Planificación y diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo*

- de arándano (Vaccinium Myrtillus) en fundo Lefkada de 116.64 ha del sector de riego Olmos, utilizando software de diseño* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Agrícola). Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura, 2020 [consultado: 12 mayo de 2021]. 130 pp. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2323>
10. **TAKAEZU, D.** *Diseño para la implementación de un sistema de riego tecnificado en el campamento Villa Cuacone, Southern Perú Copper Corporation, Moquegua, Perú* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Agrícola). Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017 [consulta: 23 mayo de 2021]. 108 pp. Disponible en: <https://n9.cl/lj0dg>
 11. **CHANG, L.** *Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la hacienda Durand* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico). Chiclayo, Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2020 [consulta: 24 mayo de 2021]. 114 pp. Disponible en: http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2799/1/TL_ChangWongLeonel.pdf
 12. **JARA, H.** *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupe - La Libertad* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Mecánico Electricista). Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán, 2021 [consulta: 27 mayo de 2021]. 110 pp. Disponible en: https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9159/Jara_%20Toro_%2C%20Henry%20James.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 13. **BLAS, R.; MARTELL, O.** *Diseño hidráulico de un sistema de riego tecnificado por goteo para productos orgánicos en la localidad de Conache, distrito de Laredo.* [en línea]. Tesis (título de Ingeniero Civil). Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2017 [consulta: 20 junio de 2021]. 157 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3kepTzk>.
 14. **QUISPE, W.** *Construcción de un prototipo de control automático de riego tecnificado para el cultivo de quinua en el distrito de Acolla, provincia de Jauja-2019* [en línea]. Tesis (Grado de bachiller en Ingeniería Eléctrica). Huancayo, Perú: Universidad Continental, 2019 [consulta: 23 junio de 2021]. 51 pp. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6402/2/IV_FIN_113_TI_Quispe_Herhuay_2019.pdf
 15. **CAYLLAHUA, S.** *Diseño de riego tecnificado en la optimización del recurso hídrico de Sapallanga – Huancayo* [en línea]. Tesis (título de ingeniera civil). Huancayo, Perú: Universidad Peruana Los Andes, 2022 [consulta: 28 noviembre de 2022]. 230 pp. Disponible en: <https://n9.cl/8jcts>
 16. **ARIAS, D.** *Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el fundo «Cantagallo», San Martín - Perú.* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Agrícola). Lima, Perú: Universidad Agraria La Molina, 2019

- [consulta: 12 mayo de 2022]. 199 pp. Disponible en: <https://n9.cl/ly33w>
17. **QUISPE, H.** *Diseño de un sistema de riego automatizado por aspersión para viveros de café utilizando la tecnología Arduino en la empresa Viveros Ortíz-Pasco; 2018* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero de sistemas). Chimbote, Perú: Universidad Católica los Ángeles de Chimbote, 2018 [consulta: 13 de mayo 2021]. 104 pp. Disponible en: <https://n9.cl/jnuz9>
 18. **DUQUE, F.; SALDARRIAGA, L.** *Sistema de riego automatizado para una huerta escolar, basado en una redinalámbrica de sensores* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2020. [consultado el 10 de agosto del 2022]. 109 pp. Disponible en: <https://n9.cl/mfmvj>
 19. **CHAMSA.** *La intrínseca historia de los sistemas de riego.* [en línea]. Edición 2022. [fecha de consulta 11 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3Iiex5c>
 20. **GUERRERO, C. y otros.** *Diseño e instalación de sistema de riego automatizado para orquídea oncidium sphacelatum en invernadero de la universidad autónoma de Chapingo* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero en control y automatización). México: Instituto Politécnico Nacional, 2018 [consultado el 20 de octubre de 2021]. 87 pp. Disponible en: <https://n9.cl/in0sh>
 21. **DONCEL, D. y BETANCOURTH, F.** *Ecobrick. Ladrillos con colillas de cigarro* [en línea]. Investigación (Trabajo de investigación ingeniería civil noveno semestre). Bogotá, Colombia: Corporación universitaria minuto de Dios Girardot, Cundinamarca, 2020 [consultado el 28 de octubre de 2021]. 66 pp. Disponible en: <https://n9.cl/l612n>
 22. **Ministerio de Agricultura.** *El Agua: Proyecto Subsectorial de irrigación (PSI).* [en línea]. Julio de 2003 [consultado el 9 de octubre de 2022]. 11pp. Disponible en: http://www.psi.gob.pe/docs/biblioteca/boletines/el_agua.pdf
 23. **Universidad de Costa Rica.** *Manejo eficiente del agua de riego. Buenas Prácticas Agrícolas* [en línea]. 2020 [consultado el 20 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://n9.cl/atngeu>
 24. **Congreso de la República.** *Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos.* [en línea]. Lima, Perú 23 de marzo de 2009. pp. 3-6. [consultado el 10 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
 25. **Presidencia de la República.** *Decreto Supremo N.º 057-2000-AG, Reglamento de Organización Administrativa del Agua.* [en línea]. Lima, Perú, 31 de agosto del 2000. [consultado el 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://n9.cl/j63tg>
 26. **IAGUA.** *¿Cuántos tipos de riego hay?* [en línea]. 2021. [consultado el 20 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-riego-hay>

27. **PERALTA, J.; SIMPFENDÖRFER, C.; Ministerio de Agricultura; Comisión Nacional de Riego; Corporación de Fomento de la Producción.** *Riego por Aspersión*. [en línea]. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA – Carillanca, 2001. [Consulta: 2 noviembre del 2022]. 49 pp. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>
28. **BEJARANO, G.** *Diseño e instalación de riego por aspersión en el cultivo de guayaba (Psidium guajava L.) C.V. taiwanesa 1, UNA, Managua, 2021* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Agrícola). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, 2022. (Consulta: 26 noviembre del 2022). 56 pp. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4545/1/tnf06b423.pdf>
29. **FERNÁNDEZ, G.** *Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión* [en línea]. *módulo 3*. Sevilla, España: Consejería de agricultura y Pesquería, Servicio de publicaciones y Dibulgacion, 2010. ISBN 978-84-8474-134-3. [consultado el 26 de octubre de 2022]. 113p. Disponible en: <https://n9.cl/b5v54>
30. **VILLANUEVA, N.** *Diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión utilizando agua tratada en una refinería de petróleo en la ciudad de Lima* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Mecánico de Fluidos). Lima, Perú: Universidad Mayor de San Marcos, 2022 [consulta: 25 noviembre de 2022]. 101 pp. Disponible en: <https://n9.cl/x7mch>
31. **ALLEN, R.; PEREIRA L.; RAES D.; SMITH, M.** *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de agua de los cultivos*. Riego y drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). [en línea]. Roma. 2006, 56(1), 322 PP [consulta: 18 julio de 2022]. ISSN 0254-5293. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
32. **ALEXANDER, CH.; SADIKU, M.** *Fundamentos de circuitos eléctricos* [en línea]. 5ª ed. México, editorial McGraw-Hill, 2013, pp. 865 [consulta: 14 noviembre de 2022]. ISBN: 978-607-15-0948-2. Disponible en: <https://n9.cl/fa2it>
33. **ALARCÓN, C.** *Rediseño de la red de bombas sumergibles del nivel 190 al nivel 583 de la mina Islay, Volcán Compañía Minera S. A. A. - Unidad Chungar- año 2021* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Mecánico). Huancayo, Perú: Universidad Continental, 2021. [consulta: 12 octubre de 2022]. 64 pp. Disponible en: <https://n9.cl/bolhb>
34. **CHAMBA, E.; OYAQUE, S.** *Análisis y Diseño Fotovoltaico para un Sistema de Riego Ubicado en el Cantón Mocache* [en línea]. Tesis (Título Ingeniero Eléctrico). Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2022 [consulta: 18 octubre de 2022]. 63 pp. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23572/1/UPS-GT003976.pdf>
35. **ISAAC, P.** *Diseño técnico - económico de autogeneración de energía eléctrica para*

- oficina administrativa en la ciudad de Arequipa, 2020* [en línea]. Tesis (Título profesional de ingeniero electricista). Arequipa, Perú: Universidad Continental, 2020. [consultado el 19 de octubre del 2022]. 118 pp. Disponible en: <https://n9.cl/uv1bt>
36. **BERNAOLA, A.** *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía en el pabellón de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional del Centro del Perú* [en línea]. Tesis (Título profesional de ingeniero electricista). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018. [consultado el 22 de octubre del 2022]. 109 pp. Disponible en: <https://n9.cl/p2ju7>
37. **Universidad Nacional Agraria (UNA).** *Diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la red a pequeña escala.* [en línea]. En: *Laboratorio de Innovación y Desarrollo de Energías Renovables (Lider)* (2014 : Managua, Nicaragua). Guía técnica [consultado el 12 de noviembre del 2022]. 30 pp. Disponible en: <https://n9.cl/441sfa>
38. **SOLÍS, W.; PERLAZA, J.** *Diseño y análisis del funcionamiento de un sistema de energía renovable para usuarios residenciales de la comunidad Masa 2* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Eléctrico). Guayaquil, Ecuador: Universidad Pontificia de Ecuador, 2022 [consulta: 20 de diciembre del 2022]. 67 pp. Disponible en: <https://n9.cl/we9gl>
39. **Ministerio de Energía y Minas (Minem).** *Código nacional de electricidad-utilización; sección 060: puesta a tierra y enlace equipotencial.* [en línea]. Lima, Perú, 17 de enero del 2006 [consultado el 22 de noviembre del 2022]. 839 pp. Disponible en: <https://n9.cl/76lj>
40. **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.** *Guía IEEE para la seguridad de puesta a tierra en subestación de C.A.* [en línea]. IEEE 80-2000:2017. EE. UU.: IEEE, 11 de mayo del 2017 [consultado el 28 de diciembre del 2022]. 99 pp. Disponible en: <https://n9.cl/9nifc>
41. **UNSAYO, E.; MAMANI, E.** *Diseño de un sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión de 60 kV desde la SE María Jiray hasta la unidad minera Contonga.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). Arequipa, Perú: Universidad Continental, 2020. [consulta: 25 mayo del 2022]. 147 pp. Disponible en: <https://n9.cl/dvk8w>
42. **MORENO, A.; CÓRCOLES, S. H.** *Arduino. Curso práctico* [en línea]. 2018. Madrid, editorial RA-MA S. A., pp. 452 [consulta: 19 noviembre de 2022]. ISBN: 978-84-9964-745-6. Disponible en: <https://n9.cl/tzg22>
43. **MONTAÑO, F.** *AutoCAD 2022, Manual Imprescindible.* Edición 2019. Madrid, España: Anaya Multimedia, S.A., 2019. pp. 416. ISBN: 978-84-415-4159-7.
44. **Siemens.** *Simatic, Herramientas de ingeniería, Ayuda en pantalla de S7-PLCSIM: Manual de programación y Manejo.* Versión 17. Alemania: Copyright, 2021. pp. 114. Referencia del documento: A5E46238792-AB.

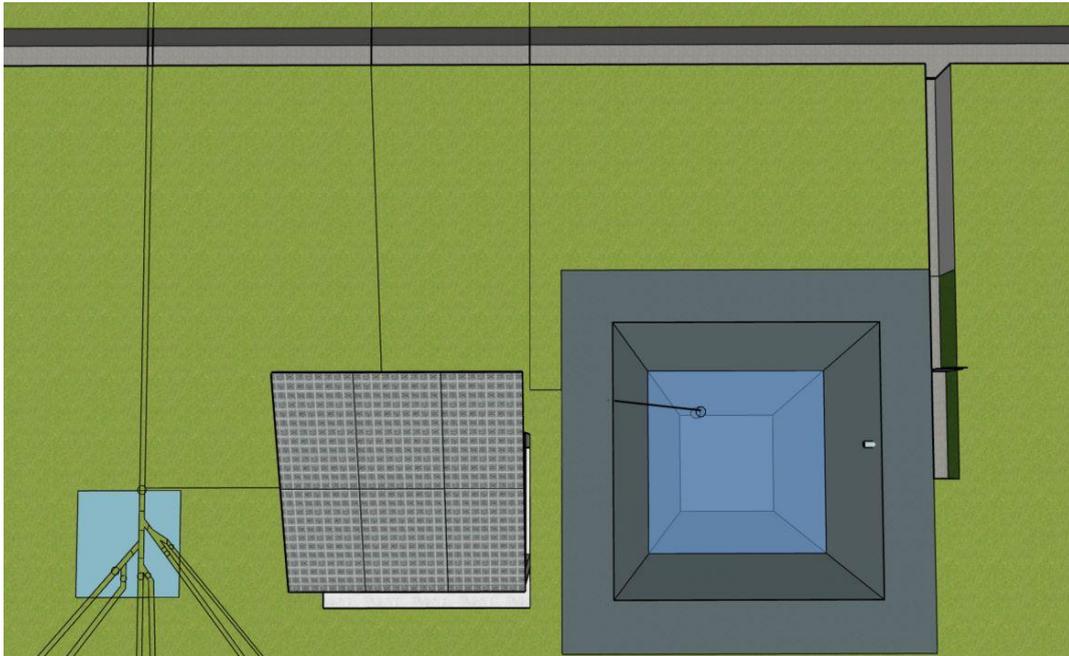
45. **CÓRDOVA, I.** *Microgeneración fotovoltaica con el software PVsyst en el centro poblado San Marcos – Lambayeque.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019 [consulta: 13 de mayo del 2022]. 117 pp. Disponible en: <https://n9.cl/9r3fa>
46. **NIZAMA, T.** *Contenido de Compuestos Carotenoides y Determinación de la Capacidad Antioxidante in Vitro de Physalis Peruviana l «Aguaymanto»* [en línea]. Tesis (Título Licenciada en Nutrición). Trujillo, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2019 [consulta: 30 julio del 2022]. 62 pp. Disponible en: <https://n9.cl/o3bdwp>
47. **ALALUNA, E.; Arandanosperu.pe.** *Condiciones para el establecimiento del Aguaymanto (Physalis peruviana L.).* [en línea]. Edición 2014. [fecha de consulta 17 de septiembre del 2022]. Disponible en: <https://n9.cl/a6biu>
48. **VELÁSQUEZ, E.; VELÁZQUEZ, K.** *Evaluación de las Características Fisicoquímicas del Aguaymanto (physalis peruviana l.) De la Zona Andina y Selva en Diferentes Estados de Madurez* [en línea]. Tesis (Títulos de Ingenieros en Industrias Alimentarias). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Peru, 2017 [consulta: 12 de agosto del 2022]. 125 pp. Disponible en: <https://n9.cl/s066y>
49. **BAEZ, B.; CARRILLO, B. y otros.** *Metodología de diseño de producto I+P+D3. Metodología de Diseño de Producto bajo la estructura de Innovación y Creatividad. Revista Espacios* [en línea]. 2018. Vol.39 (N.º 11), 20 pp. [consulta: 18 de agosto del 2022]. ISSN 07981015. Disponible en: <https://n9.cl/mku6u>
50. **ALAMY.** *Aspersor de riego rotativo.* 2023, p. 1.
51. **Industrias Tinsa.** *Equipo de riego.* 2023.
52. **Multiservicios Precisur.** *Manómetros.* 2021.
53. **Universidad del estado de Mato Grosso (UNEMAT).** *Cualidades físicas del suelo.* 2006, p. 18.
54. **Digikey.** *Calculadora de ley de Ohm.* 2021.
55. **Lumikon.** *Capacidad de corriente en cables de Cu.* 2019.
56. **EVANS.** *Sistemas de presión.* 2022.
57. **ANDREA.** *Tablero de distribución, instalaciones eléctricas domiciliarias.* 2020, p. 1.
58. **GUILLERMO.** *Qué es el interruptor termomagnético. Ingeniería Colectiva.* 2020.
59. **Área tecnológica.** *Guardamotor.* 2022.
60. **Chint Electric.** *Contactores.* 2018.
61. **Chint Electric.** *Contactores industriales.* 2018. P. 156.
62. **Chint Electric.** *Guardamotors.* 2021, p. 152.
63. **Industrias Finder.** *Minirelés industriales.* 2022, p. 3.
64. **Portal Frutícola.** *Energía solar para el riego agrícola: soluciones y tipos.* PortalFrutícola.com. 2020, p. 2.

65. **DI THOMAS, W.** *Invernaderos fotovoltaicos: un estudio económico-técnico*. 2013, p. 15.
66. **Autodesk.** *Autodesk AutoCAD*. 2020, p. 1.
67. **Lavi, P.** *Elaboración de una barra nutricional a partir de la Manihot esculenta (yuca), Anacardium occidentale L (casho) y Physalis peruviana L (aguaymanto)*. 2018, p. 22.
68. **Orbes Agrícola SAC.** *Aspersores agrícolas*. 2019, p. 1.
69. **Acorsa Perú.** *Tuberías HDPE*. 2022.
70. **POPP.** *Interruptor automático magnetotérmico industrial curva C, 2P + 16A*. 2022.
71. **Schneider.** *Hoja de datos del producto*. 2019.
72. **Industrias Hunter.** *Riego residencial y comercial*. 2017, p. 3.
73. **Senamhi.** *Atlas de energía solar del Perú*. República del Perú. 2003, p. 36.
74. **Tensite.** *Ficha técnica Tensite gel 12-300*. 2022.
75. **Datasheet Victron Energy.** *Controladores de carga MPPT BlueSolar y SmartSolar. Resumen*. 2020.
76. **Victron Energy.** *Controladores de carga SmartSolar con interfaz VE.Can MPPT 150/70 VE.Can hasta MPPT 150/100 VE.Can. Blue Power*. 2020.

ANEXOS

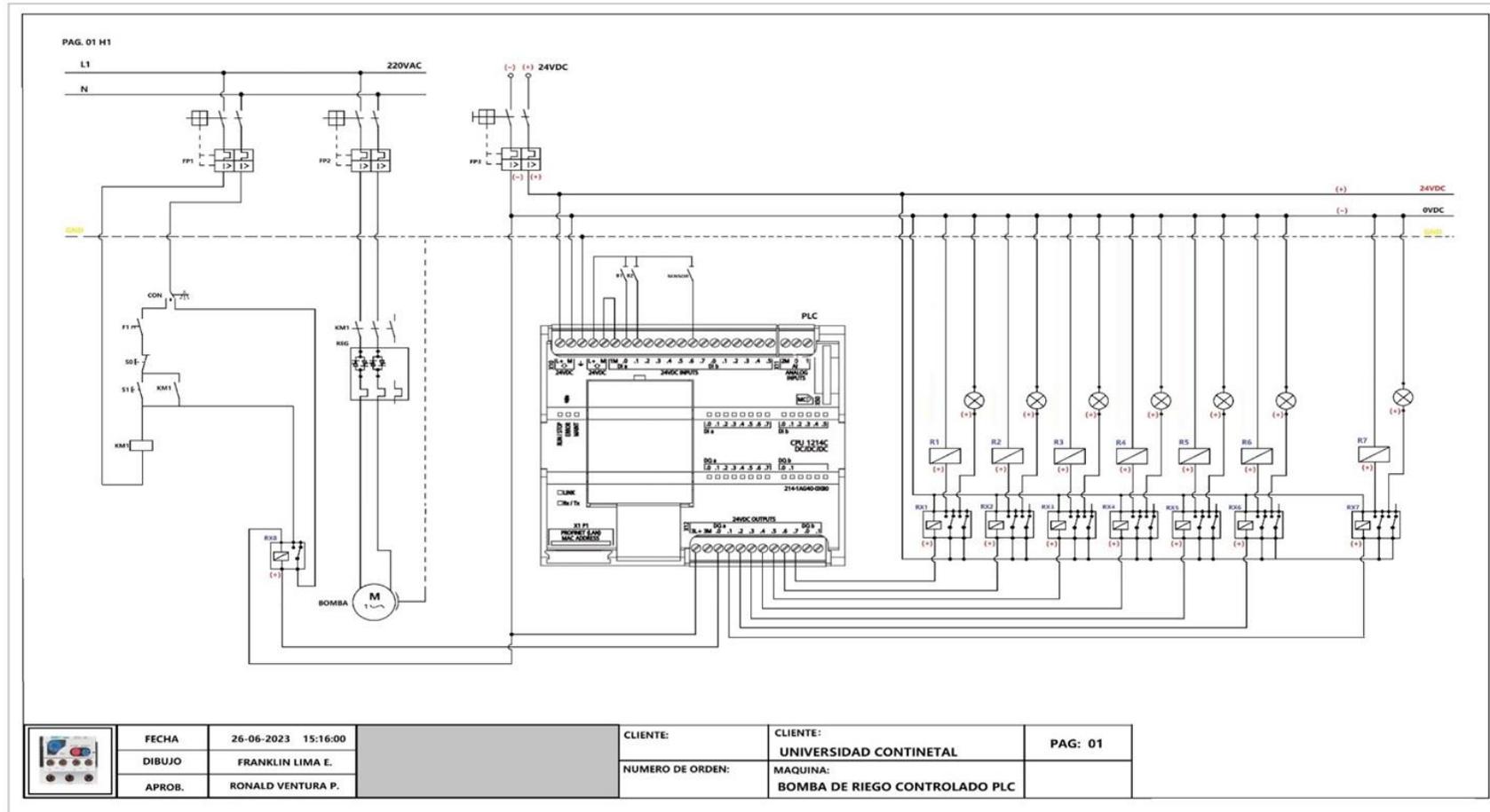
Anexo 1

Plano de ubicación de paneles fotovoltaicos, reservorio inferior y distribución de tuberías



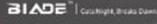
Anexo 2

Diagramas eléctricos de control y mando



Anexo 3

Ficha técnica del panel fotovoltaico



SRP-390W-6MA: Maximum System Voltage 1000 VDC
SRP-405W-6MA-1V: Maximum System Voltage 1500 VDC

Electrical Characteristics

Module Type	SRP-390W-6MA (SRP-390W-6MA-1V)	SRP-395W-6MA (SRP-395W-6MA-1V)	SRP-400W-6MA (SRP-400W-6MA-1V)	SRP-405W-6MA (SRP-405W-6MA-1V)
	STC	STC	STC	STC
Maximum Power at STC (P _{mp})	390	395	400	405
Open Circuit Voltage (V _{oc})	48.7	48.9	49.1	49.4
Short Circuit Current (I _{sc})	9.95	10.03	10.10	10.15
Maximum Power Voltage (V _{mp})	41.2	41.4	41.6	41.9
Maximum Power Current (I _{mp})	9.47	9.55	9.62	9.67
Module Efficiency at STC(η _m)	19.32	19.56	19.81	20.06
Power Tolerance	(0,+4.99)			
Maximum System Voltage	1000 VDC / 1500 VDC			
Maximum Series Fuse Rating	20A			

STC: Irradiance 1000 W/m² module temperature 25°C AM=1.5.

Temperature Characteristics

P _{max} Temperature Coefficient	-0.36 %/°C
V _{oc} Temperature Coefficient	-0.28 %/°C
I _{sc} Temperature Coefficient	+0.05 %/°C
Operating Temperature	-40 ~ +85 °C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2 °C

Mechanical Specifications

External Dimensions	2015 x 1002 x 40 mm
Weight	23.0kg
Solar Cells	PE-RC Mono crystalline 158.75 x 79.375 mm(144pcs)
Front Glass	3.2 mm AR coating tempered glass, low iron
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction Box	IP68, 3 diodes
Output Cable	4.0 mm ² , Portrait:255mm(+355mm()); Landscape:1200mm
Connector	MC4 Compatible
Mechanical Load	5400 Pa

Packing Configuration

	2015 x 1002 x 40 mm		
Container	20' GP	40' GP	40' HC
Pieces per Pallet	27	27	27*2
Pallets per Container	18	22	22
Pieces per Container	270	594	638

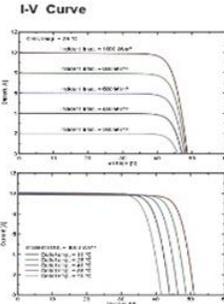
* 27*2 pieces per pallet is the special package which only suits for container transport.
For details please consult SERAPHIM




BIADE™

Cuts Night, Breaks Dawn.

390W-405W



I-V Curve

Add: No. 1-2, Hongqiao Rd, Hongqiao Town, Wujin District, 213000, Changzhou, China
 Tel: +86-519-69699979 Fax: +86-519-88786181 Email: info@seraphim-energy.com
 info@seraphim-energy.com
 www.seraphim-energy.com

Blade™ – A Module re-Modeled

Seraphim's Blade™ Series solar module boasts two identical parts, which are composed of cells that are half the size of ordinary solar cells. By cutting cells into halves, these smaller currents will help reduce 'Cell To Module' loss, which means higher output.

In the meantime, the overall space between cells are doubled, and more light will be transferred into power through multiple reflections. Compared to mainstream standard modules, the Blade™ series module has lower current and series resistance which helps minimize mismatch loss, internal power loss, and shadow effect, etc. Once one cell has HI defect or appearance defect, such as black edge or V sharp. After cutting, one intact half can be reused.



More Output



Higher Efficiency



Higher ROI

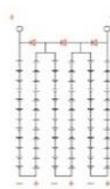
Less Mismatch loss

Instead of 6 internal strings of cells, the Blade series module has 2 x 6 shorter ones. This design effectively deals with the mismatch happened between cells caused by shadow, out of sync performance degradation, etc.

Standard Module / With 6 internal strings of cells



Design Sketch



Circuit Diagram



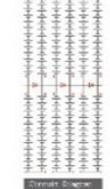
Electrical Sketch

Module current output is 8.7A, current mismatch in series is **0.3A**.

Blade™ / With 2 x 6 internal strings of cells



Design Sketch



Circuit Diagram



Electrical Sketch

Module current output is $4.5 \times 4.35 = 8.85A$, current mismatch in series is **0.15A**.

Less Internal Power Loss



Standard Cell

Half Cell

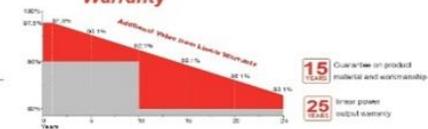
The ribbon length of half-cells is shorter than normal cell. Calculated by Joule's law and Ohm's law, the power loss reduction is nearly 6%.

Product Certificates



Insurance **PICC**

Warranty



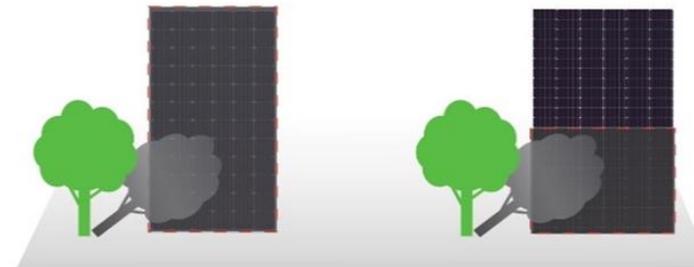
Higher Yield Due to Better Shading Response

Blade™ comprises two separated and identical solar cell arrays, which means the ordinary strings of cells are cut into halves, and these shorter strings compose arrays which has separated current paths. When a module is shaded, only one side shaded array's current will be impacted, while the other array will still be functionally producing power. Under this circumstance, when a module is shaded, the affected working areas of Blade™ will be 50% less.

By cutting solar cell into halves, the internal power loss will be lower and hot spot effect will also be reduced.

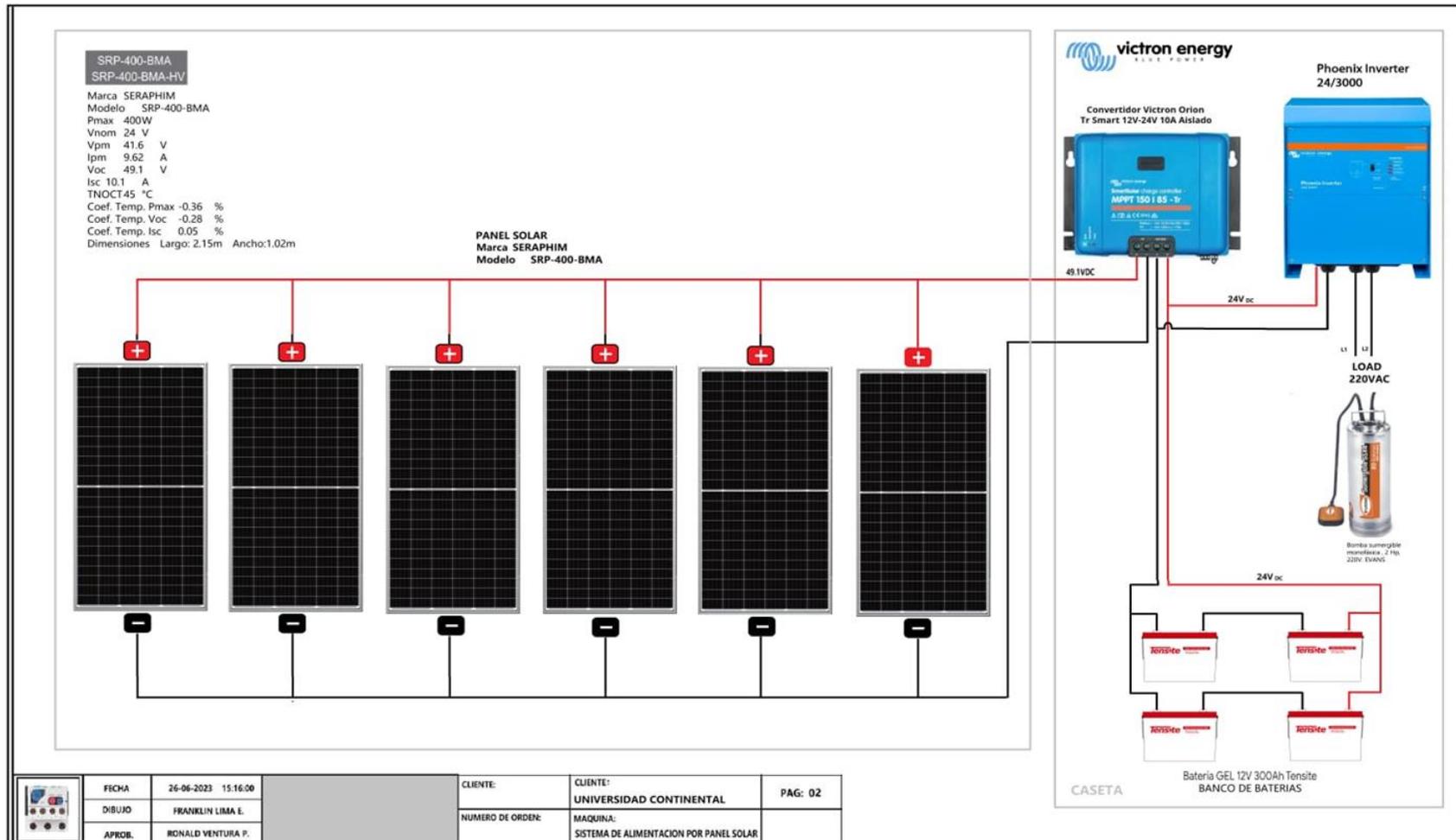
Standard Module

Blade™ Module



Anexo 4

Diagrama de conexión de sistema de generación



Anexo 5

Presupuesto para implementación del sistema

Presupuesto					
Producto	Marca	Precio	Unidad	Cantidad	Subtotal
Electroválvula	Hunter	S/ 100.00	Und.	7	S/ 700.00
Batería 12 V 300 Ah	Tensite	S/ 1200.00	Und.	4	S/ 4800.00
Inversor	Victron Energy	S/3200.00	Und.	1	S/ 3200.00
Cargador	Victron Energy	S/ 1620.00	Und.	1	S/ 1620.00
PLC S1200	Siemens	S/ 1100.00	Und.	1	S/ 1100.00
Paneles solares	Seraphim	S/ 638.00	Und.	6	S/ 3828.00
Geomembrana	Orbes agrícola	S/ 500.00	m	1.5	S/ 750.00
Tubo HDPE de 1.5"	Acorsa Perú	S/ 123.00	m	3	S/ 369.00
Tubo HDPE de 4"	Acorsa Perú	S/ 500.00	m	0.5	S/ 250.00
tubo HDPE de 1.1/4"	Acorsa Perú	S/ 118.00	m	0.5	S/ 59.00
Válvula chek	Agromax	S/ 100.00	Und.	1	S/ 100.00
Lámpara led	DERA	S/ 10.46	Und.	1	S/ 10.46
Electrobomba de 2 HP	Evans	S/ 850.00	Und.	1	S/ 850.00
Contactador 1Ø 220 V Bobina 24 V	Chint	S/ 45.85	Und.	1	S/ 45.85
Cables eléctricos	Novum Solar	S/ 200.00	glob.	1	S/ 200.00
Lámparas piloto plásticas	Green Premium	S/ 8.50	Und.	7	S/ 59.50
Terminales para conexión	Promelsa	S/ 100.00	glob.	1	S/ 100.00
Relé	Finder	S/ 9.00	Und.	8	S/ 72.00
Estructura de montaje para paneles	AutoSolar	S/ 500.00	glob.	1	S/ 500.00
Llave termomagnética	Poop	S/ 12.00	Und.	3	S/ 36.00

Guardamotor	Chint	S/ 130.00	Und.	1	S/ 130.00
Arrancador suave	Schneider	S/ 230.00	Und.	1	S/ 230.00
Excavación de pozas con MP		S/ 160.00	h	5	S/ 800.00
Otros		S/ 200.00		1	S/ 200.00
Total					S/ 20 009.81

Anexo 6
Encuestas realizadas



Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos: Sally Sabaly Maresca Villanueva
DNI 46758668

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si (x) No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación () aspersión (x) goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal (x)
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5 (x) 5-8 () 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si (x) No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha () 1 ha (x) más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si (x) No () N/S ()

"Muchas gracias por el Apoyo"

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos:..... Liliana Ventura Palomino 09377099857

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si () No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación () aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal ()
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3-5 () 5-8 () 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si () No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si () No () N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si () No () N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha () 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si () No () N/S ()

"Muchas gracias por el Apoyo".

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos... Matilde Alerma Sumi
DNI 411659977

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si No N/S
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación aspersión goteo
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria Inter diaria Semanal
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 3-5 5-8 8-a más
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si No N/S
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si No N/S
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si No N/S
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha 1/2 ha 1 ha más de una ha
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si No N/S

"Muchas gracias por el Apoyo"

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos..... Marcelina Bernar da Gutierrez
DNI 10480437

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si (x) No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación (x) aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria (x) Semanal ()
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3-5 (x) 5-8 () 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si (x) No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha (x) 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si (x) No () N/S ()

“Muchas gracias por el Apoyo”

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobambá-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos..... Rómulo Huanca Cuno
DNE (46654453)

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si () No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación () aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal ()
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5() 5-8() 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si () No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si () No () N/S()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si () No () N/S()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha () 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si () No () N/S ()

"Muchas gracias por el Apoyo"

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos..... Néstor Palomino Alvarez.....
DNI 22662801

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si (x) No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación (x) aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria (x) Semanal ()
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5(x) 5-8() 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si (x) No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si (x) No () N/S()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha (x) 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si (x) No () N/S ()

"Muchas gracias por el Apoyo"

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos:..... Ana Flores Sanchez
47274256

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5 () 5-8 () 8-a más
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si No () N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si () No () N/S
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si No () N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si No () N/S ()

“Muchas gracias por el Apoyo”

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos:..... Carol Castelo Huaranca.....
71625246

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Sí No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación aspersión () goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5 () 5-8 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Sí () No N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Sí () No N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Sí () No N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha 1/2 ha () 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Sí () No () N/S

“Muchas gracias por el Apoyo”

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos:..... Mauricio Palomino Fernandez
75 712253

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación () aspersión () goteo (x)
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal (x)
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 3- 5 () 5-8 () 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si () No () N/S
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si No () N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si No () N/S ()
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha 1/2 ha () 1 ha () más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si No () N/S ()

“Muchas gracias por el Apoyo”

Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de Aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022.

ENCUESTA

Estimado poblador del Centro Poblado de Mayobamba, le saludamos y pedimos su apoyo en responder las siguientes preguntas con la mayor sinceridad. Los datos obtenidos serán utilizados únicamente con fines académicos.

Indicaciones: Leer detenidamente cada interrogante y marcar con un aspa (x) la respuesta que considere conveniente.

Nombres y Apellidos: RONNY DIAZ CUACUIRA
44685279

1. ¿Existe algún recurso hídrico disponible para regar sus cultivos?
Si No () N/S ()
2. ¿En sus cultivos que tipo de riego utiliza?
Inundación () aspersión goteo ()
3. ¿Cuál es la frecuencia de sus riegos en épocas de estiaje?
Diaria () Inter diaria () Semanal
4. ¿Cuánto tiempo se demora usted en regar una parcela de media hectárea en horas?
1-3 () 3- 5 5-8 () 8-a más ()
5. ¿Considera que con el tipo de riego que actualmente utiliza, se desperdicia agua?
Si () No N/S ()
6. ¿Usted cultiva la planta de Aguaymanto?
Si No () N/S ()
7. ¿Considera que es rentable el cultivo de Aguaymanto?
Si () No () N/S
8. ¿Qué extensión de terreno utiliza para el cultivo de Aguaymanto?
1/4 de ha () 1/2 ha () 1 ha más de una ha ()
9. ¿Usted estaría dispuesto a implementar un sistema de riego automatizado?
Si No () N/S ()

“Muchas gracias por el Apoyo”

Anexo 7

Palabras abreviadas

Abreviatura	Significado
C.P.M.	Centro Poblado Mayor
I+P+D3	Investigación +. Planificación + Definición del producto, diseño y desarrollo
ha	hectáreas
PLC	Controlador lógico programable
ANA	Autoridad Nacional del Agua
HDPE	Tuberías de polietileno de alta densidad
PVC	Cloruro de polivinilo
Ha	Altura geométrica de aspiración
Hi	Altura geométrica de impulsión o elevación
Ht	Altura geométrica total
v	Velocidad
Q	Caudal
D	Diámetro
J	Perdida de carga por m de tubería
C	Coefficiente de rugosidad (depende del material)
Hp	Perdidas de carga en tuberías
Lt	Longitud total por diámetro tubería
Hpt	Totalidad de las pérdidas de carga en la tubería
Hs	Pérdidas de carga en fittings
ET	La Evapotranspiración
G	La Irradiancia (W/m ²)
H	La irradiación (Wh/ m ²)
HSP	Horas solar pico
AM	Masa de aire

STC	Irradiancia a temperaturas en condiciones normales
TNOCT	Temperatura de operación nominal en °C
NOCT	Temperatura del ambiente
T _c	Temperatura de celda °C
T _{cmax}	Temperatura de celda máxima
T _{cmin}	Temperatura de celda mínima
T _a	Temperatura ambiente
TIER	Nivel tecnológico
ΔV _{oc}	Variación del voltaje de celda en circuito abierto
ΔV _{max}	Variación de potencia máxima
ΔI _{sc}	Variación de la corriente de corto circuito
Coef. <i>TP</i> _{max}	coeficiente de temperatura de la potencia máxima
Coef. <i>TV</i> _{oc}	Coeficiente de temperatura de la tensión del circuito abierto
Coef. <i>TI</i> _{sc}	Coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito
V _{MPP}	Tensión en la potencia máxima
V _{NOM}	Tensión nominal
PG-FV	Potencia del generador foto voltaico
N [°] _{ps}	Número de paneles en serie
N [°] _{pp}	Número de paneles en paralelo
<i>n</i>	Eficiencia de una celda o panel solar
<i>PTotal</i>	Potencia total
<i>VTotal</i>	Tensión total
<i>ITotal</i>	Intensidad total
ΔV _{oc}	Influencia de temperatura en paneles monocristalino
A _h	Amper hora
V _{bat}	Tensión de la batería
PD	Profundidad de descarga

Imax,G	Corriente máxima de generación
Isc	Corriente en cortocircuito
N _{MP}	Cantidad de paneles en paralelo
G	Corriente máxima del generador
Icont	Intensidad del controlador
F _s	Factor de seguridad
f _s	Factor de simultaneidad
P _{inv}	Potencia del inversor
R	El rendimiento global de una instalación fotovoltaica
PAT	Puesta a tierra
DC	Corriente directa o continua
AC	Corriente alterna
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
E _{to}	Evapotranspiración del cultivo de referencia
K _c	Coefficiente del cultivo
ET _c	Evapotranspiración del cultivo
LR	lámina de riego
V _a	Volumen de agua
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
SI	Sistema internacional
FV	Fotovoltaico
P _{AC}	Potencia total de consumo
NBT1	interruptor de nivel numero 1
NBT2	interruptor de nivel numero 2
LED	Diodo Emisor
VENT	Válvula de entrada de agua

VRI1	Válvula de riego ala regadora 1, primera secuencia de riego
VRI2	Válvula de riego ala regadora 2, primera secuencia de riego
VRI3	Válvula de riego ala regadora 3, primera secuencia de riego
VRD1	Válvula de riego ala regadora 1, Segunda secuencia de riego
VRD2	Válvula de riego ala regadora 2, Segunda secuencia de riego
VRD3	Válvula de riego ala regadora 3, Segunda secuencia de riego