

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOMATIZADO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE
AGUA PARA RIEGO, PECUARIO Y CONSUMO
HUMANO UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

TESIS

PRESENTADO POR:

**JOHNNY JARA RAMOS
JHON SMITH RAMOS CARBAJAL**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOMATIZADO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA
PARA RIEGO, PECUARIO Y CONSUMO HUMANO UTILIZANDO
ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

TESIS PRESENTADO POR:

**JOHNNY JARA RAMOS
JHON SMITH RAMOS CARBAJAL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**



V.B.
[Handwritten signature]

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

.....
M.Sc. Oscar Raul Mamani Luque

PRIMER JURADO:

.....
M.Sc. José Antonio Mamani Gómez

SEGUNDO JURADO:

.....
M.g. Roberto Alfaro Alejo

DIRECTOR DE TESIS:

.....
Dr. Eduardo Flores Condori

ASESOR DE TESIS:

.....
M.Sc. José Luis Soto Gonzales

Área : Ingeniería y Tecnología

Tema : Innovación tecnología de la infraestructura rural

Línea : Ingeniería de Infraestructura Rural

FECHA DE SUSTENTACION: 24 DE OCTUBRE DEL 2016

DEDICATORIA I

Con Mucho cariño y Eterna Gratitud a mis Queridos Padres y mi Abuelita Josefa, quienes con su sacrificada e invaluable labor hicieron posible que alcance y concretice mi gran deseo de ser profesional.

Con inmensa gratitud y agradecimiento a mis hermanos, tíos y primos, por su incondicionales e incomparable apoyo, quienes supieron alentarme en cada momento de mi vida.

Con un especial cariño y admiración a todos mis amigos.

J.J.R

DEDICATORIA II

A mis queridos Padres, Fermín J. Ramos Velázquez y Lucina E. Carbajal Lope, Quienes siempre dieron su vida por mi felicidad, a ellos que me enseñaron a luchar por lo que uno sueña, a ellos que me educaron en valores, como estar siempre unidos en familia. Por su gran corazón, paciencia y gran capacidad de entrega, pero sobre todo por enseñarme a ser responsable, gracias a ellos he llegado a esta meta.

A mis amigos quienes me brindaron su amistad incondicional y mis maestros los que me apoyaron en cada ciclo de mi desarrollo profesional.

A mis hermanos, Alberto y Smarly a los que quiero con todo mi corazón, quienes siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, siendo ellos una fuente inagotable de apoyo y alegrías.

A mi novia Maribel, quien me acompaña y soporta con mucha paciencia y mucho amor mi día a día. Y sin olvidarme de mis familiares que siempre creyeron en mí. Gracias a todos ellos.

J.S.R.C

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro profundo y sincero agradecimiento, gratitud a nuestra alma mater la Universidad Nacional del Altiplano y de una manera muy especial y particular nuestra **Facultad de Ingeniería Agrícola**.

A todos los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola quienes nos impartieron sus conocimientos durante toda nuestra formación profesional.

Nuestros más sinceros agradecimientos al M.Sc. Oscar Mamani Luque, M.Sc. Percy Arturo Ginez Choque, por compartirnos sus conocimientos profesionales e impartir sus sabios consejos de mucha utilidad, a la vez son profesionales al cual admiramos.

Agradecemos a los miembros del jurado, M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, M.Sc. Roberto Alfaro Alejo y M.Sc. José A. Mamani Gómez, por orientarnos y guiarnos en el trabajo de investigación.

A todo nuestros compañeros y amigos de la carrera profesional de Ingeniería Agrícola, por esas largas horas de estudio que compartimos en esos años en la universidad. Por esa amistad que cultivamos, avanzando en esta nueva experiencia. Por esos momentos que quedarán marcados en nuestra vida como algo único e inolvidable y que marcaron el término de una etapa, es que les dedicamos estas líneas en esta investigación tan importante para nosotros.

A todos ellos, muchas gracias.

Los Autores

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA I	i
DEDICATORIA II	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRAC	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. En américa latina	3
1.2.2. En el Perú	3
1.2.3. En la Región	4
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Hipótesis General	4
1.3.2. Hipótesis Específico	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.6. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
2.1. MARCO TEORICO	7
2.1.1. Energía solar	7
2.1.2. Unidades de medida de la radiación	7
2.1.3. Equipos de medición de radiación solar	7
2.1.4. Irradiación solar	8
2.1.5. Insolación horas solares pico	9
2.1.6. Posición y orientación de la superficie captadora	9
2.2. FENÓMENO FOTOVOLTAICO	11
2.2.1. Juntura N-P de una celda solar	11
2.3. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE CELDAS SOLARES	12
2.3.1. Celdas de silicio mono y poli cristalino	13
2.3.2. Celdas de silicio amorfo	14

2.4.	SISTEMA FOTOVOLTAICO	15
2.4.1.	Panel fotovoltaico	15
2.4.2.	Potencia máxima	16
2.4.3.	Eficiencia paneles solares	16
2.4.4.	Factor de forma o factor de llenado	16
2.4.5.	Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico	17
2.5.	SISTEMA DE BOMBEO	18
2.5.1.	Motores de bombeo	18
2.5.2.	Tipos de equipos de bombeo	19
2.5.3.	Inversor de corriente sistema	21
2.5.4.	Baterías de sistema fotovoltaico	22
2.5.5.	Tanque de almacenamiento y estructura de soporte	24
2.6.	DESCRIPCIÓN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	24
2.6.1.	Sistema de riego localizado o goteo	24
2.6.2.	Elementos básicos que componen un equipo de riego por goteo	26
2.6.3.	Flujo en tuberías	28
2.6.4.	Coeficiente de uniformidad (CU)	31
2.7.	CARACTERÍSTICAS PARA UN SISTEMA DE RIEGO	34
2.7.1.	Topografía de terreno del lugar	34
2.7.2.	Contenido de agua en el suelo	34
2.7.3.	Tipo de suelo	37
2.7.4.	Calidad de agua	37
2.7.5.	Formación del bulbo	38
2.7.6.	Área humedecida	39
2.7.7.	Clima	40
2.7.8.	Evapotranspiración	40
2.7.9.	Método de Hargreaves para ETp	42
2.7.10.	El coeficiente de cultivo (Kc)	43
2.7.11.	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)	44
2.8.	REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO	44
2.8.1.	Cálculo de necesidades de agua de los cultivos	44
2.8.2.	Cálculo de las necesidades brutas de riego	45
2.8.3.	Cálculo calendarios de riego a tiempo real	45
2.8.4.	Requerimiento de riego para estimar las necesidades hídricas del cultivo	46
2.9.	GENERALIDADES DE CULTIVO DE CEBOLLA	50
2.9.1.	Aspectos botánicos	50
2.9.2.	Requerimientos de clima y suelo	53

2.9.3.	Densidad de siembra	55
2.9.4.	Riego de cebolla.....	56
2.10.	AUTOMATIZACIÓN CON ARDUINO	60
2.10.1.	Plataforma electrónica de arduino "open-source"	60
2.10.2.	Características generales de la placa	61
2.11.	PREPARACIÓN DEL ENTORNO DESCARGAR E INSTALAR ARDUINO	62
2.11.1.	Ejecuta el IDE	62
2.12.	CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE	64
2.12.1.	Estructura del lenguaje de programación de arduino UNO	64
2.12.2.	Estructura de variables de programación.....	65
2.12.3.	Estructura de funciones.....	66
2.12.4.	Estructura de comunicación serial.....	67
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	68
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO	68
3.1.1.	Ubicación del área de estudio	68
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	68
3.2.1.	Materiales y equipos de gabinete:.....	68
3.2.2.	Equipos y materiales del sistema de bombeo:	68
3.2.3.	Equipos y materiales del sistema automatizado:	69
3.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	69
3.3.1.	Diseño de prototipo fotovoltaico	69
3.4.	DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO.....	70
3.4.1.	Calculo de evapotranspiración potencial.....	70
3.4.2.	Determinación del Kc del cultivo de cebolla.....	71
3.4.3.	Determinación de requerimiento de riego	72
3.4.4.	Diseño agronómico y el diseño hidráulico de proyecto	75
3.4.5.	Diseño agronómico del sistema	76
3.4.6.	Cálculo de la separación de goteros.....	77
3.4.7.	Diseño hidráulico	78
3.5.	DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL PROYECTO PANELES Y BOMBA.....	85
3.5.1.	Diseño de proyecto.....	85
3.5.2.	Dimensionamiento del sistema	86
3.6.	PROGRAMACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO CON ARDUINO.	92
3.6.1.	Sistema sensor de humedad de Suelo.....	92
3.6.2.	Sistema autónomo y automático de tanque	94

3.6.3.	Sistema sensor de electroválvula controlada por arduino.	98
3.7.	ANÁLISIS DE COSTOS ENTRE EL SISTEMA FOTOVOLTAICO - SISTEMA CONVENCIONAL A ELECTRICIDAD.	100
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	103
4.1.	CONOCER LOS FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA REALIZAR LA ADECUADA SELECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y ACCESORIOS PARA ACCIONAR EL SISTEMA AUTOMATIZADO DE BOMBEO DE AGUA PARA USO EN RIEGO DE CEBOLLAS Y CONSUMO PECUARIO, HUMANO	103
4.2.	DEMOSTRAR LA VIABILIDAD DE INSTALAR EL PROTOTIPO AUTOMATIZADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS.	110
4.3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA ENTRE PROTOTIPO FOTOVOLTAICO Y SISTEMA CONVENCIONAL A ELECTRICIDAD.	111
V.	CONCLUSIONES	113
VI.	RECOMENDACIONES.....	114
VII.	REFERENCIAS.....	115
VIII.	ANEXOS.....	117
	ANEXO A: Panel fotográfico	117
	ANEXO B: Cuadros de datos meteorológicos de campo	122
	ANEXO C: Materiales de sistema automatizado y de riego.....	126
	ANEXO D: Esquema general de Programación en formato c/c++ para el sistema de riego automatizado	128
	ANEXO E: Planos de sistema fotovoltaico y esquema de prototipo automatizado..	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ángulo de inclinación β para colocado de paneles solares.	10
Figura 2: Esfuerzo cortante de fluido. mecánica de fluidos.	28
Figura 3: Curva caudal vs presión para goteros.	31
Figura 4: Tipos de suelos y forma de infiltración del agua.	37
Figura 5: Tipos de formaciones de bulbo de humedecimiento.	38
Figura 6: Humedecimiento de perfil de bulbo húmedo en el suelo.	39
Figura 7: Curva típica de coeficiente de cultivo en duración en ciclos.	59
Figura 8: Aspecto de la placa arduino UNO.	61
Figura 9: Características y partes de placa arduino UNO.	61
Figura 10: ventana de descarga de software arduino UNO.	62
Figura 11: IDE de conexión puerto COM.	63
Figura 12: Tipo de programación en C/C++.	63
Figura 13: Muestra de programación de sensor de humedad.	64
Figura 14: cálculo de K_c de cultivo de investigación de campo.	71
Figura 15: modelos de instalación de sensor y potenciómetro LM393.	92
Figura 16: instalación de sensor y potenciómetro LM393 y arduino.	93
Figura 17: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor de humedad.	94
Figura 18: conexión de sensor ultrasonido de nivel de agua para arduino.	95
Figura 19: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor ultrasonido.	96
Figura 20: sensor de nivel de agua electromagnético para arduino.	97
Figura 21: conexión en protoboar de sensor de nivel de agua para arduino.	97
Figura 22: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor electromagnético de flotador.	98
Figura 23: conexión de electroválvula.	99
Figura 24: Lenguaje de programación código C/C++ de electroválvula.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Resumen de la tecnología fotovoltaica.	14
Tabla N° 2: Clasificación de los emisores finales.	30
Tabla N° 3: Valores de factor de reducción de Christianssen.	33
Tabla N° 4: Densidad aparente de tipos de suelo.	35
Tabla N° 5: Valores normales de capacidad de campo y coeficiente de marchitez.	36
Tabla N° 6: Metodologías de evapotranspiración potencial (ETP).	42
Tabla N° 7: Valores de los coeficientes típicos de Kc en las fases inicial (Kcini), de mediados (Kcmed) y final (Kcfin).	59
Tabla N° 8: Datos de campo de sistema de riego por goteo para cebolla.	76
Tabla N° 9: Datos de cultivo.	76
Tabla N° 10: tabla propuesta por karmeli-keller puede ser usada en el cálculo de la separación de goteros cuando se utiliza un sistema de riego por goteo...	77
Tabla N° 11: Cantidad de agua en litros por día para proyecto de investigación.	85
Tabla N° 12: Costo de sistema fotovoltaico.	100
Tabla N° 13: Costo de sistema convencional.	101
Tabla N° 14: Comparación de costos sistema fotovoltaico y convencional.	102
Tabla N° 15: Datos hidrometeorológicos consolidados.	103
Tabla N° 16: Cálculo de evapotranspiración.	103
Tabla N° 17: Datos de radiación solar.	104
Tabla N° 18: cálculo de evapotranspiración potencial máxima.	104
Tabla N° 19: Cálculo de los coeficientes típicos de Kc.	104
Tabla N° 20: Requerimiento de riego.	106
Tabla N° 21: Diseño agronómico de sistema.	107
Tabla N° 22: Diseño hidráulico de proyecto.	108
Tabla N° 23: Calculo de dimensión de proyecto.	110
Tabla N° 24: Análisis comparativo de sistema convencional y fotovoltaico.	111

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

FV	: Fotovoltaico
CC	: Corriente continua
CA	: Corriente alterna
LED	: Diodo emisor de luz
KW	: Kilowatts
MJ	: Mega joule
CE	: Carga estática
CDT	: Carga dinámica total
AM	: Masa de aire
CU	: Coeficiente de Uniformidad
CV	: Coeficiente de variación de gotero
RPM	: Revoluciones por minuto
HSP	: hora solar pico
N-P	: Neutrones Protones
PMAX	: Potencia máxima
CER	: Centro de energías renovables
UTP	: Universidad tecnológica de Pereira
UNALM	: Universidad nacional agraria la molina
MINAGRI	: Ministerio de agricultura y riego
IDE	: Interface de electrónico
PEBD	: Polietileno de baja densidad
PE	: Polietileno
NR	: Necesidades de riego
AU	: Agua extraída por las plantas
CC	: Capacidad de campo
PMP	: Punto de marchitez permisible
PCP	: Perdida de carga permisible
Qr	: Caudal de riego
PVC	: Poli cloruro de vinilo
ETP	: Evapotranspiración potencial del cultivo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo diseñar y evaluar la viabilidad del prototipo automatizado de bombeo de agua para el uso de riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica, considerando el problema de la deficiente aplicación de sistemas fotovoltaicos en riego automatizado en las zonas alto andinas. Para el estudio se consideró el centro poblado de Ichu, donde se plantea hacer el prototipo automatizado con paneles fotovoltaicos y realizar el diseño adecuado. Con la metodología de cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de cebolla de 4.56 mm/día con un área de cultivo de 200 m² y un sistema de riego localizado con eficiencia del 90 % y un caudal de 0.46 lts/seg, tiempo de riego de 1.14 h/día, con tubería principal de 29.4 mm y 12 laterales de 17.4 mm, El cálculo de paneles se realizó con datos de heliógrafo mensuales de 5.76 horas-pico/día, con un régimen de bombeo de 3.23 lt/min. y paneles cristalinos SIEMEN de 12 V y 4.83A, según el cálculo se requiere 04 paneles de 231.84 watts. El sistema automatizado funciona con el micro controlador Arduino UNO, con una programación lógica C/C++, que operara el sistema. Teniendo los resultados de la evaluación económica de costos de inversión inicial, reposición, salvamentos, electricidad etc. Para una vida útil de 20 años. El costo del sistema de riego fotovoltaico es de S/5,787.70 soles y el sistema convencional a electricidad es de S/11,247.16 soles considerablemente mayor a sistema fotovoltaico. Concluyendo que el prototipo fotovoltaico es viable a nivel de costos y a nivel de uso de energía limpia de sol que es al 100% automatizado dando su utilidad como un aspecto positivo para una familia rural.

Palabras clave: Arduino, automatizado, riego, bombeo, energía solar, paneles fotovoltaicos, cebolla.

ABSTRAC

The objective of this research work is to design and evaluate the feasibility of the automated prototype of water pumping for the use of irrigation, livestock and human consumption using photovoltaic energy, considering the problem of the deficient application of photovoltaic systems in automated irrigation in the zones. high Andean For the study, the town center of Ichu was considered, where it is proposed to make the automated prototype with photovoltaic panels and to carry out the appropriate design With the calculation methodology of the potential evapotranspiration of the onion crop of 4.56 mm / day with a cultivation area of 200 m² and a localized irrigation system with 90% efficiency and a flow rate of 0.46 lts / sec, irrigation time of 1.14 h / day, with a main pipe of 29.4 mm and 12 laterals of 17.4 mm, the calculation of panels was carried out with monthly heliograph data of 5.76 peak hours / day, with a pumping rate of 3.23 l / min. and SIEMEN crystalline panels of 12 V and 4.83 A, according to the calculation, 04 panels of 231.84 watts are required. The automated system works with the Arduino UNO microcontroller, with a C / C ++ logic programming, that will operate the system. Having the results of the economic evaluation of initial investment costs, replacement, salvage, electricity, etc. For a life of 20 years. The cost of the system of photovoltaic irrigation is of S / 5,787.70 soles and the conventional system to electricity is of S / 11,247.16 soles considerably greater to photovoltaic system. Concluding that the photovoltaic prototype is viable at the cost level and at the level of use of clean sun energy that is 100% automated, giving its usefulness as a positive aspect for a rural family.

Keywords: Arduino, automated, irrigation, pumping, solar energy, photovoltaic panels, onion.

I. INTRODUCCIÓN

La energía es fundamental para cualquier actividad productiva; su ausencia disminuye la posibilidad de un desarrollo sustentable. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por sí solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovable como el sol y el viento.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede ayudar a reemplazar con el tiempo de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o simplemente agotables y que hoy en día se encuentran en una serie de alzas, que afectan en gran medida el bolsillo de los consumidores de energía (Ángeles, 2009).

La tecnología fotovoltaica que transforma Directamente la luz solar en electricidad, ha mostrado ser de gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares apartados y remotos.

Con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles, la contaminación atmosférica, los costos de producción y satisfacer la demanda eléctrica en lugares rurales alejados de la red se han desarrollado investigaciones sobre los aprovechamientos de la energía solar en los hogares y la agricultura en países como Reino Unido, Etiopía, Francia, India, y especialmente, Estados Unidos de América. (Pérez, 2007).

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica (FV) es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos). Desde las primeras instalaciones de bombeo FV realizadas.

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica, se presenta como una de las aplicaciones más importantes de la energía solar, y tiene un especial impacto en comunidades rurales donde no existe suministro de energía eléctrica convencional. Siendo el bombeo de agua subterránea para riego, una aplicación que puede presentar en el futuro un gran potencial de desarrollo, teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego, suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación, dando una excelente coincidencia entre oferta

y demanda, lo que una solución fotovoltaica resulta ser adecuada para este tipo de aplicaciones (Gorka, 2012).

Una de las variables más importantes hoy en día está la tecnificación con equipos automatizados que operan con paneles solares que generan energía limpia como también para una buena optimización se usa el control mediante sensores de humedad, nivel de agua en los tanques y su manejo adecuado del agua para planificar el riego de un cultivo, en una región climática, y en un suelo con unas características determinadas (Gorka, 2012).

La importancia que recae sobre esto, es que se le tiene que dar un uso óptimo al agua, y automatizar el sistema de riego ya que el recurso hídrico es cada vez más caro y escaso en el planeta.

1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo pretende investigar la operatividad técnica del proyecto automatizado para las condiciones de estudio en zonas rurales, como también poder evaluar el prototipo de bombeo a nivel de costos y de impacto ambiental e identificar los resultados positivos.

Los resultados obtenidos de este estudio ayudaran a ver si es viable implementar un prototipo automatizado con el controlador Arduino, de bajo costo en base a paneles fotovoltaicos para uso en bombeo de agua para riego menor y consumo humano, también demostrar si es económicamente rentable para su uso en las zonas rurales, sin acceso y mal uso de la energía eléctrica.

La zona de Ichu con alta radiación solar, potencialmente dedicado al sembrío de cebolla se hace el uso de riego con motores de energía eléctrica tendida, sin una aplicación de nuevas tecnologías fotovoltaicas de energías limpias y de bajo costo de una manera automatizada para optimizar tiempo y control en el sistema de riego por goteo.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. En américa latina

Estableció un marco de la agricultura y desarrollo rural sostenibles como parte de su mandato de mejorar las condiciones de las poblaciones rurales y la productividad agrícola: “la ordenación y la conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de modo tal que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo viable (en los sectores agrícola, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (La FAO, 1999).

1.2.2. En el Perú

El interés en el uso técnico de las energías renovables, especialmente de la energía solar, comenzó en el Perú, como en muchos otros países, en los años setenta del siglo pasado, como consecuencia de la llamada crisis de petróleo. Se trabajó en diferentes instituciones del país (mayormente en Universidades), especialmente en bombeo de agua con molinos de viento, calentadores solares de agua y secadores solares de productos agrícolas. Estas experiencias fueron puntualmente exitosas, hoy bien asentada en Arequipa (ITINTEX, 2011).

La energía solar fotovoltaica, que tiene particular importancia para el desarrollo de zonas rurales: Según datos del Ministerio de Energía y Minas del Perú, en los últimos años se ha incrementado a 75 % el porcentaje de la población peruana que cuenta Con servicio eléctrico. A pesar del gran esfuerzo de aumentar la electrificación en el Perú, básicamente a través de la extensión de redes eléctricas, esto significa que todavía hay 7 millones de peruanos sin electricidad. Casi toda esta gente vive en áreas rurales y en la medida que aumenta la electrificación, cada vez es más costoso aumentar un punto porcentual más a la electrificación, debido a la baja densidad poblacional y las dificultades geográficas de gran parte del territorio peruano. Para estos millones de peruanos la única posibilidad económicamente viable a corto y mediano plazo es la generación local de electricidad, basada sobre todo en recursos renovables: hidráulica, eólica, solar y biomasa. A pesar de que esta situación es ampliamente reconocida, relativamente poco se ha hecho hasta la fecha en este campo. Esto se explica por varias

razones, principalmente porque es más costoso electrificar regiones remotas y aisladas que regiones que están cerca a la red eléctrica interconectada existente (MINAN, 2006).

1.2.3. En la Región

El primer proyecto de electrificación rural Fotovoltaico en el Perú fue un proyecto de la cooperación técnica alemana que instaló en 1986 - 96 en el Departamento Puno cerca de 500 prototipos, en un marco “pre-comercial” (subsidiados). Durante la evaluación del proyecto que el CER-UNI ha realizado 10 años después del inicio del proyecto.

El Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) está ejecutando desde 1996 un proyecto piloto de electrificación fotovoltaica en la comunidad insular de Taquile en el Lago Titicaca. En este proyecto se había considerado que los usuarios deben pagar mayormente el costo de los prototipos, salvo los costos de estudios previos y de seguimiento, pero con facilidades y que los usuarios sean después propietarios de los prototipos. En el marco de este proyecto se ha instalado 427 prototipos, todos funcionando hasta la fecha. Consideramos que el proyecto, que es bien evaluado, puede ser considerado como sostenible (CER-UNI, 2000).

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

Es posible construir un sistema fotovoltaico automatizado, de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano, mediante paneles fotovoltaicos en las zonas rurales en este caso centro poblado de Ichu, sector Ojherani.

1.3.2. Hipótesis Específico

- Existen las condiciones para la implementación del diseño automatizado con paneles fotovoltaicos para el uso en riego, pecuario y humano.
- Es viable la instalación del prototipo automatizado con energía fotovoltaica.
- La utilidad económica del prototipo es sostenible y rentable que el sistema convencional.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y evaluar la viabilidad del sistema Automatizado con paneles solares, para bombeo de agua en el uso en riego, pecuario y consumo humano.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Conocer los fundamentos de diseño para realizar la adecuada selección de paneles fotovoltaicos y accesorios para accionar el sistema Automatizado de bombeo de agua para uso en riego de cebollas y consumo pecuario, humano.
- Demostrar la viabilidad de instalar el prototipo automatizado por paneles fotovoltaicos.
- Evaluación económica entre prototipo fotovoltaico y sistema convencional de electricidad para una familia rural

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema fundamental es la deficiente aplicación de sistemas fotovoltaicos en riego automatizado en la zonas alto andinas en este caso las poblaciones rurales apartadas que tienen precarias condiciones energéticas, ya que se carece de proyectos que estén enfocados en la ayuda y la mejora de la calidad de vida de la familias donde no tienen agua para consumo (humano, animal) y riego menor de cultivos, pues la energía ha sido fundamental en el desarrollo poblacional es por eso que se limita a una calidad de desarrollo y obliga a una vida precaria de las familias que viven en las zonas rurales y obligándolos en buscar nuevas tecnologías de obtención de energía y como también la no modernización de los sistemas de manera automatizada.

1.6. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las zonas rurales de la región Puno, específicamente en el centro poblado de Ichu se encontró el uso de sistemas de bombeo para riego de cebolla con motores a combustible y energía de tendido eléctrico, no habiendo la aplicación de tecnología de riego tecnificado y automatizado en el uso óptimo del agua

Carencia de tecnologías de bajo costo de generación de energía fotovoltaico en el uso en riego automatizado con controles de sensores que ayudarían a dar un buen uso del agua de manera óptima con cero costos en energía.

Desconocimiento de un análisis de costo económico, social el uso de energía fotovoltaica y aplicación de un prototipo automatizado con Arduino en el uso de agua en riego, pecuario y consumo humano.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Energía solar

La energía solar, es la fuente radiante producida en el sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión, ésta llega a la tierra a través del espacio como fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. Sin embargo, del total de energía no toda llega a la tierra, ya que solo 3/4 partes de ella entran a través de la atmósfera terrestre. Esta energía del astro solar, llega a la tierra en forma de radiación, teniendo diferentes procesos que sufre la energía antes de ser captada por el aparato receptor fotovoltaico (Ángeles, 2009).

2.1.2. Unidades de medida de la radiación

Para determinar el valor de la radiación total de un determinado lugar, se usa diferentes unidades. La unidad de medida para aplicaciones fotovoltaicas, es el Kilowatt hora por metro cuadrado (KWh/m²); es necesario saber que ésta es una unidad de energía y no de potencia. También algunos Técnicos, utilizan como unidad el Mega Joule por metro cuadrado (MJ/m²) o unidades de calor como calorías por metro cuadrado (Cal/m²) (Gonzales, 2012).

$$1\text{KWh}/\text{m}^2 = 3.61\text{MJ}/\text{m}^2 = 860\text{Cal}/\text{m}^2$$

2.1.3. Equipos de medición de radiación solar

Radiación solar directa: Este Equipo de medición se llama piro heliómetro. Mide la energía que proviene directamente del sol, obviando la radiación difusa desde otras direcciones. Dicho instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol (Gonzales, 2012).

El sensor que se utiliza es una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termocuplas, oscila la variación con la radiación solar directa que llega a la placa.

Radiación solar global (directa + difusa), El equipo de medición se llama piranómetro, y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo

la radiación directa y la difusa. Son unas placas pintadas de blanco y de negro que trabajan como sensores. Las placas negras se calientan más que las blancas, por tanto y debido a que absorben más radiación. Mediante termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, Se trata de evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, debemos de aislar mediante una cúpula de vidrio. Para poder medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor (Gonzales, 2012).

2.1.4. Irradiación solar

La potencia de la radiación solar, que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se le conoce como irradiación y se mide en unidades de W/m^2 .

Se tiene conocimiento que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire (MA) 1. A medida que la luz solar la atraviesa, ésta sufre procesos como los anteriormente nombrados, pero que vale la pena recordar como son: absorción, reflexión y refracción, y lo que, en consecuencia, hace que la irradiación disminuya su valor respecto de afuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el Sol en el cenit, la irradiación máxima que un captador podría recibir es de $1,000 W/m^2$ como un valor promedio normalizado. Para un día despejado, la componente recibida mayormente en el captador es la directa, mientras que en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes (Abella, 2005).

A lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiación recibida en un captador varía cada instante, presentando valores mínimos en el amanecer y atardecer, y adquiriendo valores máximos al mediodía (Abella, 2005).

Esto es, por ejemplo, que a las 10 am, el valor de la irradiación sea diferente y menor al que se obtiene a las 12 pm, ya que la distancia de la luz solar al mediodía es mínima. Lo anterior, se debe por efectos horarios y estacionales.

Con el fin de proporcionar un estándar en la industria fotovoltaico, los fabricantes de paneles han adoptado por definir una nueva unidad llamada Sol.

$$1\text{Sol} = \frac{1\text{KW}}{\text{m}^2} = \frac{100\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

Con este valor, se determina la máxima potencia eléctrica de salida de un panel fotovoltaico (FV) y, además, es de gran utilidad para comparar paneles de distintas procedencias.

2.1.5. Insolación horas solares pico

Éste es otro término importante, el cual corresponde al valor acumulado de la irradiación en un tiempo dado en el momento. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado (W-h/m²). Siempre, se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser en la hora, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico (HSP). Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de 1,000 W/m². La energía que produce un sistema fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe (Mghouchi, 2016).

2.1.6. Posición y orientación de la superficie captadora

La orientación correcta de los equipos fotovoltaicos es un asunto diferente, para cada latitud del planeta tierra en que se deseen instalar este tipo de sistemas. Para sacar el mayor provecho al equipo, es necesario, que tenga una dirección que vaya siguiendo la trayectoria del sol durante el día (Mghouchi, 2016).

Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones existentes, esto no se puede cumplir, ya que la ubicación del o los paneles es de manera fija, por lo que la posición del equipo se encuentra sujeto a dos aspectos fundamentales: Orientación, Inclinación.

Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía. Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija que no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo (Mghouchi, 2016).

Respecto de la orientación del panel fotovoltaico, la orientación más eficiente será cuando su superficie de captación se encuentre dirigida hacia el norte, dado que permite aprovechar el mayor número de horas de sol, independientemente de la estación del año y de la latitud.

En aquellos casos en que dicha colocación no sea posible por condiciones constructivas como obstrucciones, sombras, etc., debe orientarse tratando de aprovechar el mayor número de horas de sol. De acuerdo con la inclinación del colector, es aquella que asegura la mayor captación de energía solar, lo que depende igualmente de dos factores:

- Latitud del lugar de emplazamiento.
- Período de utilización durante el año.

Algunas empresas fabricantes de paneles, recomiendan que se debe encontrar el punto de producción adecuada en el invierno, con lo que se logrará una generación óptima el resto del año. El ángulo de inclinación es medido entre el panel solar y el plano horizontal.

Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador.

La inclinación y orientación óptimas, así como las horas sol pico (HSP). Estos datos nos servirán para calcular dicha potencia o número de módulos de paneles.

Debemos de conocer los siguientes conceptos básicos para la ejecución de estos cálculos: Ángulo de inclinación β : Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal (figura 1). Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

Ángulo de azimut α : Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

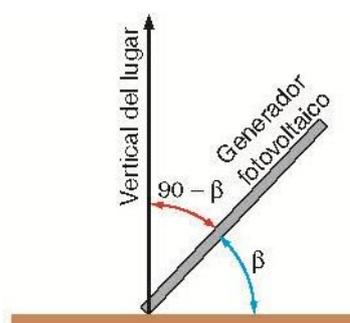


Figura 1: Ángulo de inclinación β para colocado de paneles solares.

2.2. FENÓMENO FOTOVOLTAICO

Existen ciertos materiales, que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar, y el material es un semiconductor tal como el silicio (Si), los pares de carga son electrones (e-) y huecos (h+) que una vez producidos se mueven aleatoriamente en el volumen de un sólido (Pérez, 2007).

Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se recombinan, neutralizándose mutuamente. Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación, conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material, que si son conectadas entre sí mediante un circuito externo, al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo. Este fenómeno, se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas, (Pérez, 2007).

El campo eléctrico interno local, se crea siempre que se ponen en contacto un semiconductor tipo N con otro tipo P, es decir, donde existe una unión N-P.

El semiconductor tipo N, tiene un exceso de cargas negativas (electrones), mientras que el semiconductor tipo P, predominan las cargas positivas. El espacio que existe entre ambas zonas, se llama juntura N-P.

2.2.1. Juntura N-P de una celda solar

El hecho de iluminar el silicio cristalino, puede liberar electrones dentro del enrejado cristalino, pero para que estos electrones sean útiles se deben separar y dirigir a un circuito eléctrico. Para separar las cargas eléctricas, la celda solar de silicio debe tener un campo eléctrico interno incorporado. Uno de los métodos más utilizados para producir este campo eléctrico interno, es la presencia de una juntura dentro de un semiconductor. Por lo general, esta juntura puede ser el resultado de un semiconductor de cristal simple, con una región tipo P y una región tipo N. La celda de silicio, el tipo más común de celdas solares, tiene dos regiones dentro del semiconductor, una región tipo P dopada con boro, el cual tiene tres electrones de valencia (uno menos que el silicio) provocando una región

con alta concentración de huecos. La otra región tipo N se obtiene al dopar el silicio con fósforo, el cual tiene cinco electrones de valencia (uno más que el silicio) provocando una región con alta concentración de electrones. La diferencia de concentración entre electrones y huecos, entre ambas regiones provoca un campo eléctrico permanente que se encarga de separar los electrones y huecos adicionales que aparecen cuando la celda es iluminada con la luz del sol (Hahn y Schmidt, 1998).

Esta juntura se mantiene en equilibrio al no existir luz incidente, luego cuando la luz incide sobre el semiconductor, gracias a la absorción de fotones, se liberan electrones del átomo de silicio, se rompe el equilibrio de la juntura N-P y se producen los denominados par “electrón-hueco”. De esta manera, se produce un campo eléctrico en la interfaz de la juntura que, al conectar una carga externa entre ambas zonas, genera la corriente eléctrica típica del fenómeno fotovoltaico y característica fundamental de las celdas solares (Hahn y Schmidt, 1998).

En resumen, para que una célula solar expuesta al sol produzca energía eléctrica debe reunir las siguientes tres características fundamentales:

- a) Ser capaz de absorber una fracción importante de la radiación solar, para que la generación de pares electrón-hueco sea eficiente.
- b) Tener un campo eléctrico interno que separe las dos cargas impidiendo su posterior recombinación.
- c) Finalmente, las cargas separadas deben ser capaces de viajar a través de la oblea hasta los electrodos superficiales desde donde pasan al circuito exterior.

2.3. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE CELDAS SOLARES

El avance de la tecnología de las celdas solares ha tenido cambios importantes desde su invención. Ha ido paralela desarrollo y avances tecnológicos producidos en materiales y procesos (Garges y Gurrola, 2005).

Los dispositivos fotovoltaicos de aplicación a la conversión de la energía solar, deben construirse con materiales semiconductores sensibles a la radiación solar de forma que el efecto fotovoltaico se produzca de forma eficiente.

No, solamente, es preciso disponer de un semiconductor sensible a todas las longitudes de onda del espectro solar, sino que, además, debe ser posible fabricar en serie con él uniones o heterouniones fotovoltaicamente eficientes y a un costo moderado. Es claro que rendimiento y costo son los dos parámetros fundamentales del éxito de una tecnología.

En la actualidad, se encuentran altamente comercializadas para uso las celdas de silicio mono cristalino, silicio poli cristalino y silicio amorfo. Este último, presenta todavía bajos niveles de eficiencias, por lo que su uso se ve restringido a lugares en los cuales no existan restricciones con respecto al área de colección o circuitos de baja potencia, como calculadoras de bolsillo o celulares (Garges y Gurrola, 2005).

Las celdas de silicio Mono cristalino están formadas por una estructura cristalina uniforme; en cambio, las celdas de silicio poli cristalino están formadas por pequeñas estructuras ubicadas arbitrariamente. Estos granos hacen que la estructura no sea uniforme y se obtenga una eficiencia menor.

2.3.1. Celdas de silicio mono y poli cristalino

Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente, el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente las obleas se pulen por ambas caras. Durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original. Una vez pulidas las obleas se introduce por difusión a alta temperatura el material, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo P si se le añadió boro, o tipo N si se añadió fósforo. La mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 V, independientemente del área superficial de la celda; sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará (Garges y Gurrola, 2005).

Este tipo de celdas solares, vale decir, las de silicio mono y poli cristalino son las más producidas industrialmente, en las figuras siguientes se muestran algunos módulos de silicio, Mono cristalino y poli cristalino, en donde se puede apreciar el color azul característico del silicio dopado del módulo multicristalino y el color más oscuro del silicio mono cristalino.

2.3.2. Celdas de silicio amorfo

La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica. Los átomos de silicio que forman al sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso de las celdas anteriormente nombradas (Garges y Gurrola, 2005).

La obtención de celdas solares de bajo costo que puedan ser producidas masivamente sin que se produzca escasez de las materias primas necesarias, ha sido el objetivo del desarrollo de la tecnología de las celdas solares de silicio amorfo; sin embargo, hay algunos inconvenientes que han contenido la penetración en el mercado de los módulos fotovoltaicos amorfos, como es el caso del bajo rendimiento de conversión fotovoltaico que tienen respecto de las otras celdas de silicio mono y poli cristalino.

Cuando El silicio, es utilizado en la fabricación de las estas celdas, se obtiene a partir de elementos como arena o cuarzo, los cuales se presentan en la naturaleza con altos grados de impurezas, por este motivo es necesario procesarlos para obtener un silicio con propiedades de semiconductor y así lograr celdas de alta eficiencia. Es importante, destacar que el silicio es el segundo elemento más abundante en la superficie terrestre, luego del oxígeno. A continuación, se presenta una tabla resumen de las principales ventajas y desventajas de la Tecnología fotovoltaica de los tres tipos de celdas antes descritas (Garges y Gurrola, 2005).

Tabla N° 1: Resumen de la tecnología fotovoltaica.

TIPO DE CELDA	EFICIENCIA (%)	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Silicio Mono cristalino	12 a14	Tecnología bien desarrollada y probada	Emplea material caro
		Estable	Mucho desperdicio (casi la mitad)
		Mayor eficiencia	Manufactura costosa
Silicio Policristalino	11 a 13	Se fabrica en celdas solares cuadradas	
		Tecnología bien desarrollada y probada	Material costoso
		Estable	Mucho desperdicio
		Buena eficiencia	Manufactura costosa
		Celdas cuadradas	Menor eficiencia que el mono cristal

		Menor costoso que el mono cristal	
		Utiliza muy poco material	Degradación pronunciada
Silicio Amorfo o Película Delgada	4 a 8	Alto potencial y producción rápida	Menor eficiencia
		Costo bajo, 50% de silicio cristalino	Menor durabilidad
		Menor afectado por bajos niveles de insolación	

Fuente: Colegio oficial de Ingenieros telecomunicaciones (Madrid, 2002).

2.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO

Estructura clásica de un Sistema Fotovoltaico y los diferentes componentes que la conforman, en donde se describe, cada uno de los elementos que configuran dicho sistema.

2.4.1. Panel fotovoltaico

Uno de los componentes básicos, y el más importante en este tipo de instalaciones es el panel fotovoltaico, ya que corresponde al centro del sistema, si éste decae con fallas no podrán funcionar de manera correcta ninguno de los otros componentes, por lo que no se podrá hacer llegar energía al resto de los consumidores del prototipo (Ortega, 2002).

Por los tanto los módulos solares fotovoltaicos se construyen para una vida útil al menos de 20 años. Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas, la de laminación del encapsulante que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas (Ortega, 2002).

Habitualmente, los paneles independientes de la tecnología de fabricación vienen caracterizados por su curva I-V, que suele quedar definida por la tensión a circuito abierto (V_{oc})², por la intensidad de cortocircuito (I_{sc})³, y por la potencia máxima o potencia pico ($P_{máx}$), todos ellos referidos generalmente a condiciones estándares, las cuales son:

- Irradiación: 1000 W/m²
- Temperatura normal de incidencia en la celda: 25 °C
- Distribución espectral: MA 1.5

Mediante estas condiciones, las siguientes cantidades son medibles: la potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$) entregada por el m3dulo, la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y el voltaje de circuito abierto (V_{oc})

En los m3dulos se debe apreciar cierta informaci3n el3ctrica en donde se incluir3n los siguientes aspectos:

- Polaridad de los terminales o bornes de salida
- Tensi3n de funcionamiento
- Corriente de funcionamiento
- Corriente de cortocircuito
- Potencia m3xima

2.4.2. Potencia m3xima

Corresponde al m3ximo rect3ngulo que puede inscribirse al interior de la curva I-V, la que representa la potencia m3xima que puede generar una celda solar. Este punto, denominado P_{mp} , se obtiene del producto de V_{mp} e I_{mp} , y viene dado por la ecuaci3n (Ortega, 2002).

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (1)$$

2.4.3. Eficiencia paneles solares

Seg3n Gorka, (2012). Se define al rendimiento o eficiencia (η) de un panel solar, como el cociente entre la potencia m3xima que puede dar a la carga y la potencia luminosa recibida por la c3lula y se encuentra dado por la siguiente ecuaci3n:

$$\eta = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_1} \quad (2)$$

P: Potencia recibida por la celda.

2.4.4. Factor de forma o factor de llenado

Este factor se define como el cociente entre la potencia m3xima que la c3lula solar puede dar a la carga y la potencia te3rica m3xima definida por el punto (I_{sc} , V_{oc}) (Gorka, 2012).

El factor de forma viene dado por la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3)$$

2.4.5. Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico

El rendimiento de un panel fotovoltaico, viene limitado por diferentes factores, dentro de los cuales se pueden describir los siguientes:

2.4.5.1. Energía de los fotones incidentes

Para generar los pares e- y h+, es necesario que los fotones que llegan a la célula tengan una determinada energía. En la radiación solar, una parte de los fotones incidentes no tienen energía, por lo que se pierden, y otros tienen una energía mayor, por lo que se pierde ese exceso. Un 50% de la energía incidente se pierde por éste motivo (Gorka, 2012).

2.4.5.2. Pérdidas por reflexión parcial

Parte de la luz que incide sobre la célula, es reflejada por la superficie de ésta, por lo que se pierde (se perdería un 30%). Para evitar esta pérdida en la fabricación de las células, se emplean capas anti reflectantes y superficies rugosas (con estas capas las pérdidas quedan en aproximadamente 10%) (Gorka, 2012).

2.4.5.3. Pérdidas por efecto de la sombra

Las pérdidas por el efecto de la sombra, son un factor que afecta notablemente el desempeño de las celdas solares y, en especial, a los módulos con celdas en serie, es el efecto del sombreado parcial o total, es por ello que se tiene que evitar que llegue sombra al panel fotovoltaico (Gorka, 2012).

Si una celda que se encuentra en serie con otras celdas y que es sombreada, no logra generar la misma corriente que sus similares, y por lo tanto, no deja pasar el flujo de corriente y el módulo completo se ve afectada de la misma manera que la celda individual. Incluso, esta celda en vez de generar potencia, comienza a disipar potencia en forma de calor, por lo cual incrementa su temperatura, y puede incluso, llevar a su destrucción y en el peor de los casos del módulo completo.

2.4.5.4.Efecto de la temperatura

Otro factor que influye en el rendimiento de los módulos, es la temperatura de operación de las celdas. Por un lado, la corriente aumenta con la temperatura, pero el voltaje disminuye en un porcentaje mayor y, por lo tanto, la potencia de generación también disminuye al aumentar la temperatura. En. La potencia nominal se reduce, aproximadamente, 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C. Esta conducta, responde al hecho de que los fotones de la luz solar transmiten su energía directamente a los electrones, sin un paso térmico intermedio (Hahn y Schmidt, 1998).

Una demostración de esto, se puede ver con la instalación de células solares en el Polo Sur, no sólo funcionan, sino que, además, liberan más energía de la esperada en un clima como el del Polo Sur.

2.5. SISTEMA DE BOMBEO

2.5.1. Motores de bombeo

Los motores son los encargados de transformar la energía proveniente del sol, la cual ha sido captada por los paneles fotovoltaicos, en energía mecánica. Los motores que se ocupan, generalmente, en aplicaciones de bombeo fotovoltaico son de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados. La selección de un motor depende de la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad y costos (Garces, 2005).

Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores que se utilizan en aplicaciones fotovoltaicos son de dos tipos: motores de corriente continua (CC) y motores de corriente alterna (CA). Dentro de los motores de corriente continua se puede distinguir, entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas.

De la misma manera, para motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia, y velocidades nominales. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al motor y a su velocidad.

Por su parte, dentro de las principales ventajas que caracterizan a este tipo de motores, es que no necesitan un inversor, ya que los paneles fotovoltaicos proporcionan potencia en corriente continua (CC), por lo que se adaptan bien para su acoplamiento directo al generador fotovoltaico (Garces, 2005).

En general, los motores de corriente continua (CC) son más costosos que los motores de corriente alterna (CA) y son difíciles de encontrarlos en grandes potencias.

Por su parte, los motores de corriente alterna están más extendidos siendo más fácil encontrarlos en potencias mayores. Son más baratos y eficientes que los de corriente continua, pero la desventaja que presenta este tipo de motores es que obligan a la instalación de un sistema inversor que cambie la CC proveniente del arreglo del panel fotovoltaico en CA.

2.5.2. Tipos de equipos de bombeo

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido diseñadas pensando en una fuente de potencia constante. En los sistemas fotovoltaicos la potencia que proporcionan los módulos fotovoltaicos (FV) es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar, es por ello que la potencia generada por dichos módulos varía constantemente, y en consecuencia la potencia entregada a la bomba también. Es por esta razón que han sido diseñadas algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica, las cuales desde el punto de vista mecánico se agrupan en centrífugas y volumétricas (Ortiz, 2015).

2.5.2.1. Bombas centrífugas

Este tipo de bombas tiene un impulsor que a través de la fuerza centrífuga a alta velocidad cambia la dirección del agua de axial a una dirección radial. Las bombas centrífugas se pueden encontrar en dos formas (Ortiz, (2015).

Sumergibles y de superficie. Tienen la capacidad de bombear el agua a 60 metros de carga dinámica total, o más, dependiendo del número y tipo de impulsores.

Las bombas centrífugas de succión superficial poseen la ventaja que pueden ser inspeccionadas y ser reparadas fácilmente, ya que se encuentran al nivel del suelo, donde

es más fácil realizarles trabajos de mantención. La desventaja que tienen es que no trabajan de manera adecuada si es que la profundidad de succión excede los 8 metros.

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras tienen el motor en la superficie, mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos. Generalmente, las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.

2.5.2.2. Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande (Ortiz, 2015).

Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada, otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y, por lo tanto, el flujo de agua bombeada es mayor.

Los datos fundamentales para la elección de la bomba necesaria para una instalación destinada a la extracción de agua son:

- El caudal
- La altura manométrica

Por lo tanto, las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia, todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que en un sistema fotovoltaico (FV), la energía tiene mediano costo, y por ende una mala elección de ésta, puede hacer que se esté votando dinero. Es por ello que se debe tener una idea clara de qué tipo de bomba es la más adecuada para el proyecto. Este proceso de seleccionar la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de cada bomba existente en el mercado y que cada vez crece más y más. Un solo fabricante puede ofrecer un sin número de modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

El método de diseño técnico se basa, en calcular el sistema para el periodo del año, es decir, aquél para el cual la relación entre la demanda de bombeo de agua y la irradiación solar disponible es mayor. El cálculo, sin embargo, se hace en función de la potencia, es decir, se calcula la potencia eléctrica que hay que suministrar al motor-bomba para satisfacer las necesidades de bombeo de agua, y el número de paneles capaces de entregar dicha potencia (Ortiz, 2015).

2.5.2.3. Bomba de pozo profundo

Típicamente se utiliza para aprovechar mantos acuíferos subterráneos, las más usadas son las de turbina vertical y turbina sumergible estas últimas son las más económicas. Cuando existe el suministro eléctrico se recomienda instalar variadores de frecuencia (velocidad) en el tablero de arranque para tener control sobre las RPM del Equipo Bomba-Motor a través del motor e indirectamente sobre la bomba (Ortiz, 2015).

Coefficiente de velocidad específica determina el desempeño del equipo bomba-motor, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{3.65 \times N \times \sqrt{Q_b}}{H^{3/4}} \quad (4)$$

Dónde:

N = Revoluciones del equipo de bombeo

H = Altura dinámica total m.c.a para cada rotor.

Q_b = Caudal de bombeo m³/seg

2.5.3. Inversor de corriente sistema

El aparato llamado inversor, o también conocido como convertidor u ondulator, tiene por función transformar la corriente eléctrica. Conceptualmente, se trata de lograr una fuente de energía eléctrica de corriente alterna (CA), desde una fuente de corriente continua (CC), es decir convertir la energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos, la cual es corriente continua, en corriente alterna para de este modo poder alimentar el grupo motor-bomba, el cual trabaja con corriente alterna (Gorka, 2012).

La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra.

Un inversor CC-CA, está compuesto entre otros de unos transistores y tiristores capaces de cortar en un segundo muchas veces la corriente que recibe, consiguiendo simular el comportamiento de la corriente alterna. Según el tipo de onda producido, los podemos clasificar en:

- Inversores de Onda cuadrada
- Inversores de Onda senoidal modificada
- Inversores de Onda senoidal pura

Los inversores de onda cuadrada, son más baratos, pero normalmente son también los menos eficientes. No son aptos para motores de inducción. Son aptos para alimentar un televisor, o un aparato eléctrico pequeño (Gorka, 2012).

Los inversores de onda senoidal pura, en los cuales se utiliza una electrónica más elaborada se pueden conseguir una onda senoidal pura con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores. Este tipo de inversor se utiliza en instalaciones con alta exigencia de calidad de onda, para motores de inducción y sofisticados aparatos que requieren una forma de onda senoidal pura, es por ello que el costo de estos inversores resulta mayor que los otros dos tipos de inversores (Gorka, (2012).

La segunda forma de dimensionar el inversor es mediante la potencia de arranque donde algunos inversores pueden suministrar más de su capacidad nominal durante períodos cortos de tiempo. Esta capacidad es importante, cuando se utilizan motores u otras cargas que requieran de más potencia, para arrancar que para permanecer en marcha una vez que han arrancado (motores de inducción, lámparas de gran potencia).

2.5.4. Baterías de sistema fotovoltaico

Las baterías o los acumuladores son dispositivos que almacenan energía eléctrica. El acumulador de Pb-ácido tiene numerosas aplicaciones, pero se verá el uso de las baterías

para automotores y principalmente el de las baterías para sistemas fotovoltaico (baterías solares). Como la diferencia en el costo de estas dos versiones es apreciable, existe siempre la tentación de usar la batería más económica en un sistema fotovoltaico (FV) (Ortiz, 2015).

Para apreciar porque una batería solar representa la solución más adecuada, se explicará las diferencias entre las dos.

El modelo de batería usado en los automotores está diseñado para sostener corrientes elevadas (200 a 350 A) por muy breves instantes (segundos) durante el arranque del motor. El resto del tiempo la batería está siendo cargada o permanece inactiva. La batería de un sistema solar, por el contrario, debe ser capaz de sostener corrientes moderadas (una decena de amperes), durante horas. Además, en muchas aplicaciones, deberá permanecer activa sin recibir carga alguna (servicio nocturno). Normalmente, los períodos de reposo son nulos, ya que está siendo cargada o descargada.

Dos características que identifican a una batería solar son: la mayor profundidad de descarga y un alto valor para el ciclaje.

Las baterías cumplen varias funciones en los sistemas fotovoltaicos. Las baterías sirven para almacenar la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos para ser usada por la noche y horas de bombeo día de agua necesarias, permitir la operación de las cargas durante períodos de poco sol, estabilizar el voltaje del sistema y, absorber transitorios.

El intervalo que incluye un período de carga y uno de descarga, recibe el nombre de ciclo. Idealmente, las baterías se recargan al 100% de su capacidad durante el período de carga de cada ciclo. Si existe un controlador, las baterías no se descargarán totalmente durante el ciclo, de igual manera no corren el peligro de sobrecargarse durante períodos de poco uso.

El uso de baterías tiene desventajas significativas. De hecho, se recomienda no utilizar baterías cuando se es posible acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico y, por supuesto, cuando no se necesita almacenamiento. Las baterías aumentan el costo del sistema, ya que implican la incorporación de otros dispositivos, como por ejemplo los controladores de carga, además el uso de baterías aumenta los requisitos de

mantenimiento, disminuye el rendimiento del sistema debido a la pérdida de capacidad y, representan un riesgo potencial de causa de accidentes y de contaminación (Ortiz, 2015).

Debido a estas razones, resulta más conveniente la utilización de sistemas de bombeo directo en los que no se utilizan baterías, y en los que los módulos fotovoltaicos se conectan directamente a un grupo motor-bomba de corriente continua, o a través del uso de un inversor con un grupo motor-bomba de corriente alterna, y en reemplazo de las baterías, utilizar un tanque de almacenamiento para aquellos días donde no se disponga de un recurso solar óptimo para hacer funcionar el sistema de bombeo fotovoltaico.

2.5.5. Tanque de almacenamiento y estructura de soporte

En los sistemas de bombeo fotovoltaico debido a su naturaleza se debe almacenar la energía sobrante, para poder cubrir las necesidades cuando la disponibilidad del recurso solar sea insuficiente (Garges, 2005).

Almacenar agua en tanque es mucho más barato que la utilización de baterías. El uso de baterías se justifica más cuando se requiere de bombear agua durante la noche, ya que la introducción de baterías en un sistema de bombeo fotovoltaico podría reducir su confiabilidad e incrementar sus requerimientos de mantenimiento.

Una parte importante de un sistema de generación de electricidad solar, es la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos. Ella asegura, que los paneles puedan colocarse con el ángulo de inclinación correcto en dirección al sol y brinda seguridad a la instalación. El conjunto constituido por la estructura soporte y los paneles solares, deberá ser capaz de soportar posibles vientos fuertes, altas temperaturas, etc. Debido a que el colapso de ésta, puede hacer que todo el sistema falle por un descuido en la estructura base donde irán inmersos los paneles fotovoltaicos (FV) (Garges, 2005).

2.6. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

2.6.1. Sistema de riego localizado o goteo

El sistema de riego por goteo o también conocido como localizado, es un sistema de riego mecanizado a presión, que permite aplicar agua gota a gota sobre la superficie del suelo donde se encuentra el cultivo y por ende se desarrolla el sistema radicular de la planta, produciendo un humedecimiento limitado y localizado (FAO, 1999).

El agua se vierte en pequeños volúmenes por unidad de tiempo y a baja presión mediante emisores o goteros insertados en una tubería lateral de distribución, los cuales son absorbidos por las raíces de la planta, aprovechándose prácticamente en su totalidad.

A diferencia del riego tradicional y de aspersión, aquí el agua se conduce desde el depósito o la fuente de abastecimiento a través de tuberías y en su destino se libera gota a gota justo en el lugar donde se ubica la planta. El agua se infiltra en el suelo produciendo una zona húmeda restringida a un espacio concreto.

Por consiguiente, no se moja todo el suelo sino parte del mismo, y sólo en la parte necesaria para el desarrollo de las raíces. El bulbo húmedo variará, según las características del suelo, la cantidad de agua y el tiempo que se haga durar ese constante goteo. Como consecuencia, al acotar la superficie humedecida, las raíces limitan su expansión a ese espacio y no a otro. Otra característica, consecuencia de esta modalidad de riego, es el mayor aprovechamiento de las tierras por el alto grado de eficiencia que tiene este tipo de riego.

Las principales ventajas de este tipo de sistema son las siguientes:

- La eficiencia del riego por goteo o localizado es muy alta (90 a 95%), y la distribución del agua es muy uniforme en el suelo.
- Ahorro entre el 50 y el 60% de agua respecto a los sistemas tradicionales de riego.
- Reducción significativa en mano de obra, así como también en la vigilancia del riego.
- Incremento en la producción de cultivos.
- Con este sistema se puede regar muy frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de tal manera que el suelo esté siempre húmedo.
- El régimen de aplicación (intervalos entre riegos y cantidad de agua), puede ajustarse exactamente de acuerdo con las condiciones del suelo y del cultivo.
- Se aplica el agua que sólo las raíces del cultivo son capaces de absorber, por lo tanto se evita mojar otras áreas de terreno, lo que significa un ahorro de agua, evita inundaciones.
- Es posible ejecutar otras actividades agrícolas en el predio durante el riego.

- Los goteros dosifican su caudal, entregándolo gota a gota, de acuerdo a la capacidad de absorción del suelo y las necesidades del cultivo; así se minimizan las pérdidas por conducción y evaporación.
- Es un sistema de riego de alta eficiencia, aún en terrenos con topografía irregular, en suelos poco profundos o con problemas de infiltración o en predios en que el recurso hídrico sea escaso.

Las principales desventajas del riego por goteo son las siguientes:

- Facilidad de taponamiento de los emisores. (Principal desventaja)
- Complejidad en las instalaciones.
- Este tipo de riego no protege a las plantaciones sensibles contra heladas en zonas habitualmente frías.

2.6.2. Elementos básicos que componen un equipo de riego por goteo

Los elementos básicos que componen un equipo de riego por goteo, son los Sigüientes (FAO, 1999).

2.6.2.1.Unidad de bombeo

La unidad de bombeo de un sistema de riego por goteo, es una instalación con equipos de elevación mecánica, que tiene por objeto aspirar el agua desde la fuente hídrica elegida, e impulsarla al tanque y luego distribuirlas a las tuberías para uso humano y riego localizado (FAO, 1999).

Normalmente, la unidad de bombeo se ubica cerca a la fuente de agua y lo más junto posible de la fuente de energía disponible.

2.6.2.2.Equipos de filtración

El equipo de filtración, resulta imprescindible para filtrar las aguas que provengan de los ríos y posos, ya que estos pueden tener ciertas partículas de solidos que pueden hacer que los goteros se obstruyan, de modo, que todo el sistema falle a causa de algún elemento extraño. Es más, si el sistema se fundamenta en el racionamiento del agua y su buena y uniforme distribución a través de los goteros es fundamental que garanticemos la limpieza de las aguas (FAO, 1999).

Existen muchos sistemas de filtración y evidentemente todos tratan de conseguir la limpieza del agua de partículas extrañas. Filtros de arena y gravas, de mallas, sistemas fundados en la decantación, con sistemas automatizados o no, todos ellos pueden resultar válidos si forman parte de garantizar la mínima obstrucción posible, ya que de ella depende la eficacia del sistema.

2.6.2.3.Red de tuberías

La red de tuberías constituye el sistema de distribución del agua. La red de distribución la componen tuberías principales, secundarias y laterales. Habitualmente las tuberías principales y secundarias se colocan enterradas en los suelos y las tuberías laterales se instalan sobre la superficie del terreno (Gorka, 2012).

La tubería principal presenta puntos de derivación a través de válvulas de corta, por los cuales se une con las tuberías secundarias. El material de las tuberías secundarias es comúnmente el PVC rígido.

A las tuberías secundarias se conectan las tuberías laterales, que se colocan a lo largo de las hileras del cultivo y son las que llevan insertados los goteros, a intervalos fijos. Las tuberías laterales son, por lo general, de polietileno y su diámetro varía entre 12 mm y 22 mm.

El hecho de que hoy exista el PVC, y otros derivados del petróleo, han facilitado y ayudado a la difusión de este sistema por sus ventajas de transporte, su facilidad en el corte y en el pegado y al mismo tiempo la dureza y resistencia ante los cambios de temperatura han hecho que el fibrocemento se deje sólo para las redes principales de grandes cultivos.

El esparcimiento de las tuberías laterales, está en función de las distancias de plantación y puede instalarse una o más tuberías laterales por hilera. Las piezas especiales de la red de tuberías consisten en tres, reducciones, curvas, etc., que se utilizan para derivar o unir tuberías. Las características de estas piezas dependen del tipo de tubería en la cual deben ser incorporadas (Echarte, 2012).

2.6.3. Flujo en tuberías

Definición de un fluido “Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene”.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea ese esfuerzo” (Echarte, 2012).

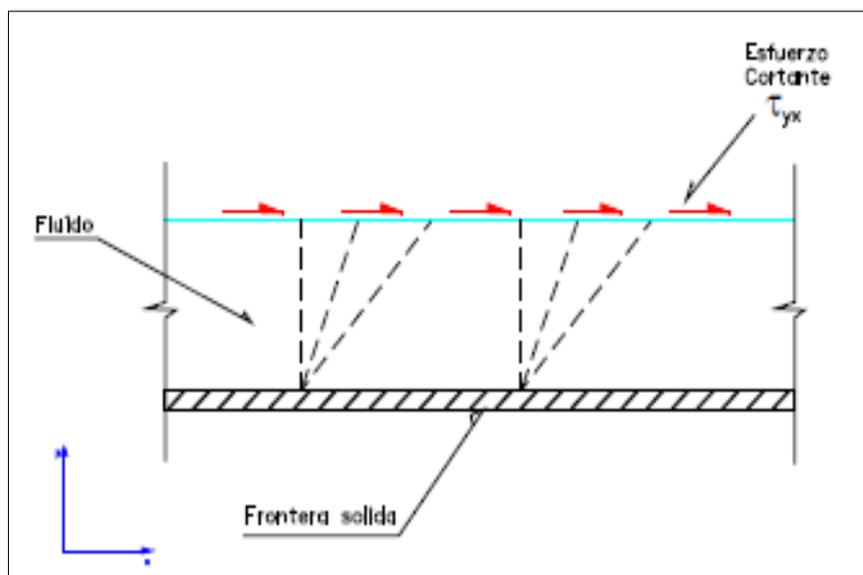


Figura 2: Esfuerzo cortante de fluido. mecánica de fluidos (Irving H. Shames, 1990).

2.6.3.1. Pérdidas por fricción en la tubería mediante Hazen - Williams

Las pérdidas por fricción en la tubería recta, son de aproximadamente el 2% de la distancia de recorrido del agua, o lo que es equivalente a la longitud total L de la tubería. Por lo general, el resultado es una estimación conservadora, si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de aproximadamente 1 litro/seg (Abella, 2005).

Para el cálculo de las pérdidas de carga que se producen en las tuberías de PVC, se pueden utilizar diversas fórmulas como lo son Hazen – Williams, Scobey y de Prandtl-Colebrook.

Para el cálculo de pérdidas, se utilizará la primera de ellas, la cual entrega resultados bastante exactos en el cálculo de pérdidas de carga en redes hidráulicas por Goteo.

$$J = 10.665 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.869}} \quad (5)$$

Dónde:

J = Pérdida de carga (m/km)

Q = Caudal (m³/seg.)

D = Diámetro (m)

C = Coeficiente de rugosidad (para PVC es 150)

2.6.3.2.Mangueras de riego

En ellas van incrustados los goteros. Son las tuberías que se ubican dentro del campo de cultivo, a lo largo de la hilera de plantas, en el caso de doble línea de manguera la distancia entre ellas la define el bulbo de humedecimiento y el sistema radicular de la planta (Abella, 2005).

Normalmente son de 12, 16 y 22 mm de diámetro, Los cuales están en función del caudal a distribuir y la longitud de instalación. El material de fabricación es el Polietileno (plástico derivado del etileno)

Las mangueras de riego fabricadas sin “costura” (totalmente extrudidas) contienen goteros integrados. Cuando a una tubería de manguera “ciega” se le insertan goteros se le conoce como manguera con goteros sobre línea. Cuando la manguera de riego es fabricada con “costura” (pegadas) se le conoce como cinta de riego.

Tubería Plástica, es el tubo de manguera usado para conectar las mangueras de riego y línea de tubería terciaria (a la primera mediante una “unión dentada” o “unión manguera cinta” y a la segunda por “conector inicial con empaque”) son también de polietileno de baja densidad (PEBD) se les conoce como “bigotes”. “La manguera de riego más la tubería plástica recibe el nombre de Lateral de Riego o simplemente Lateral” (Abella, 2005).

2.6.3.3.Goteros o emisores

Los goteros o emisores, son elementos cuya función es la de aplicar el agua proveniente de la red de tuberías al suelo a regar, de manera lenta y uniforme según los caudales proyectados (Abella, 2005).

Existen goteros de diversas clases y modalidades, pero todos ellos han de reunir al final las condiciones de regular el caudal adecuadamente, y tener el orificio del tamaño

adecuado para que se eviten las obstrucciones que constituyen el principal problema de esta modalidad de riego.

El caudal o gasto normal de estos elementos varía entre 1 y 10 l/h, dependiendo de las medidas de paso de agua del goteo.

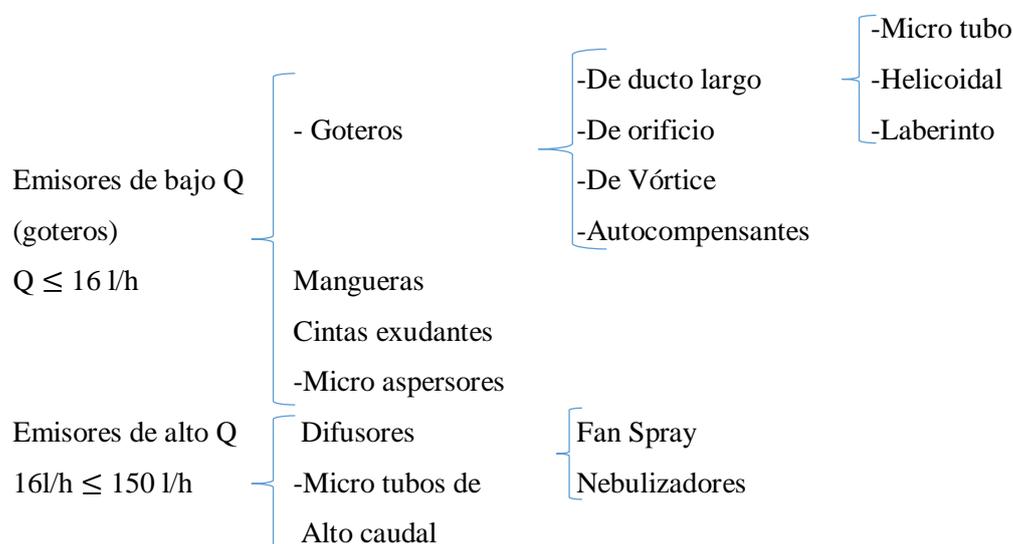
En la práctica, los goteros se estructuran y diseñan especialmente para reducir la presión de salida del agua a cero, mediante el paso de la misma por laberintos simétricamente irregulares o perforaciones pequeñas, donde las pérdidas de carga por fricción son considerables.

Los tipos de goteros más utilizados son los siguientes: goteros de laberinto en línea, goteros de botón con laberinto y goteros de botón auto compensado o autorregulado.

Los goteros de laberinto, se caracterizan por tener una estructura interna de laberinto que provoca un régimen turbulento en el flujo del agua.

El esparcimiento de los goteros en la tubería lateral, depende de las distancias de plantación, del tipo y textura del suelo, y del desarrollo del sistema radicular del cultivo.

Tabla N° 2: Clasificación de los emisores finales.



Fuente: Hidráulica de tuberías (Juan g. Saldarriaga)

Goteros integrados Se dice que un gotero está integrado cuando forma parte de la manguera (es suministrada por los fabricantes en espaciamientos fijos) (Abella, 2005).

Los goteros integrados de acuerdo a su trabajo pueden ser auto compensado o no auto comenzante y de acuerdo a su forma pueden ser del tipo cilíndrico o “Rulero” (son insertados en mangueras de espesor media y gruesa) o del tipo plano o “pastilla” (son insertados en mangueras de espesor delgado).

Relación presión-Caudal en goteros o emisor es de Bajo Caudal-Goteros integrados, La ecuación que relaciona el caudal de salida con la cabeza en el gotero final tiene la siguiente Formula que te proporciona la fábrica (Abella, 2005).

$$q = K \times h^x \quad (6)$$

Esta ecuación no es dimensionalmente homogénea, de modo que tanto K como x, dependen del sistema de unidades utilizado.

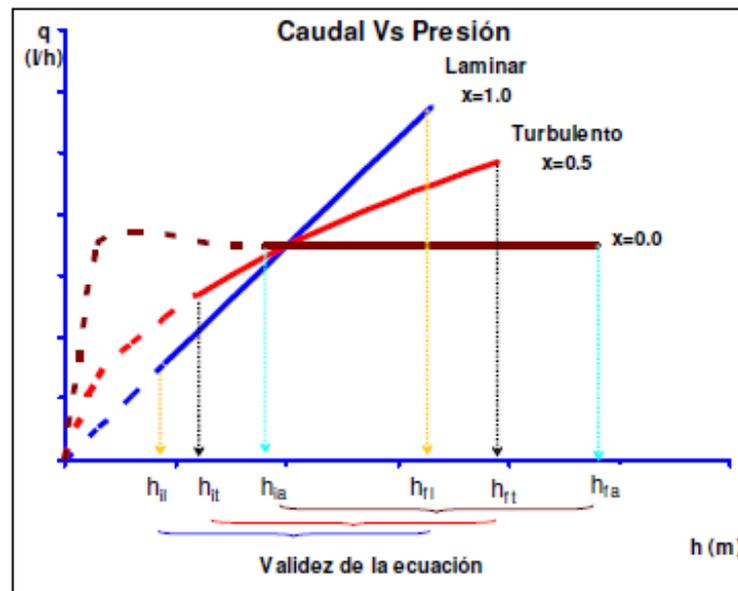


Figura 3: Curva caudal vs presión para goteros (López, 2008).

2.6.4. Coeficiente de uniformidad (CU)

Es un indicador de que tan bien o mal se distribuye el agua en la superficie regada por los goteros. Es una medida de la capacidad del sistema de entregar el mismo volumen de agua a través de los goteros (Abella, 2005).

Se define por:

$$C. U = \frac{q_{ns}}{q_a} \times \left(1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{e}} \right) \quad (7)$$

$$q_{ns} = \left[\frac{CU \times q_a}{\left(1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{e}}\right)} \right] \quad (8)$$

Dónde:

q_{ns} = Caudal mínimo en la Sub. Unidad de riego (no se conoce)

q_a = Caudal medio de trabajo

e = Número de goteros por planta

CV = Coeficiente de variación del gotero

Se impone un CU en riego por goteo es 90% para determinar un q_{ns} .

2.6.4.1. Tolerancia de caudales y presiones en la sub unidad de riego

La diferencia máxima de presiones permitida compatible con el coeficiente de uniformidad (CU) elegido, será proporcional a la diferencia entre la presión media que produce el caudal medio y la presión mínima de la sub unidad (Abella, 2005).

$$\Delta H_{\text{sub Unidad}} = M \times (h_a - h_{ns}) \quad (9)$$

Dónde:

$h_a = \left(\frac{q_a}{K}\right)^{1/x}$ Es presión de trabajo de gotero

$h_{ns} = \left(\frac{q_{ns}}{K}\right)^{1/x}$ Es presión mínima del gotero

2.6.4.2. Valores de “F” Christianssen para riego por goteo

Este valor es un coeficiente, que estima el efecto de múltiples salidas en la descarga en la tubería de distribución a causa de los laterales conectados; esto provoca que gradualmente el caudal de entrada en la tubería se reduzca a medida que este avanza a lo largo de la misma, alimentado los laterales de riego, de tal manera que al final de la tubería el caudal es sólo una pequeña fracción del caudal inicial (Abella, 2005).

El valor del coeficiente se encuentra en la tabla 3, llamada valores de F Christianssen, el cual depende del número de laterales (n) conectados y del régimen hidráulico (m), que para polietileno (PE) es 1.75; para PVC es 1.80 y para aluminio es 1.90.

Tabla N° 3: Valores de factor de reducción de Christianssen.

n	$l_0 = 1$					n	$l_0 = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,338	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,341
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,356	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,349
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,372	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
>300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-

n = Número de salidas
 $\beta=1,75$. Blasius, Cruciani-Margaritora
 $\beta=1,786$. Scimemi
 $\beta=1,80$. Iso, Veronese-Daite
 $\beta=1,85$. Hazen-Williams
 $\beta=1,90$. Scobey
 $\beta=2,00$. Manning, Darcy-Weisbach

En la práctica se toma los siguientes valores de β :
 $\beta=1,75$ para tuberías de PE
 $\beta=1,80$ para tubería de PVC
 $\beta=1,85-1,90$ para tubería de aluminio

Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria>.

2.7. CARACTERÍSTICAS PARA UN SISTEMA DE RIEGO

Para realizar la instalación de un sistema de riego por goteo, siempre se debe tener presente ciertas consideraciones técnicas.

2.7.1. Topografía de terreno del lugar

Es necesario hacer siempre un levantamiento topográfico del sector que se va a realizar el sistema de riego, con el fin de determinar la superficie, forma, pendientes, localización y cotas del Pozo de agua al lugar donde se pretende situar el equipo de bombeo. Esto con el objetivo de calcular la carga dinámica total que va a requerir el sistema (Abella, 2005).

2.7.2. Contenido de agua en el suelo

El suelo se encuentra constituido por tres fases; sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida se compone de partículas minerales y de materia orgánica, ésta última representa un pequeño porcentaje salvo en el caso de suelos orgánicos (Abella, 2005).

El espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, que están ocupados por las fases líquida y gaseosa.

Los poros del suelo están ocupados por agua y aire, en proporciones variables según el estado de humedad. Cuando todos los poros están ocupados por agua se dice que el suelo está saturado. Sin embargo, existen otros estados de humedad con denominaciones particulares como son capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP).

En la técnica del riego y drenaje es muy práctico expresar el contenido de agua del suelo en forma de altura o lámina de agua, es decir, de volumen por unidad de superficie. Las unidades más frecuentes son el m³/ha y el mm, entre las que existe la siguiente relación:

$$1\text{mm} = \frac{10\text{m}^3}{\text{ha}}$$

2.7.2.1. Densidad aparente de suelo

Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado. Es muy variable según el suelo,

incluso en cada uno de los horizontes porque depende del volumen de los poros. Si el suelo es compacto, la densidad sube. Su valor en los horizontes A suele estar comprendido entre 1 y 1.25, mientras que en los horizonte B puede alcanzar hasta 1.5 o más alto. Su valor nos permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la forma habitual de medir los parámetros del suelo, y las masa/superficie que son las utilizadas en la aplicación de aditivos al mismo para corregir sus deficiencias (Abella, 2005).

Tabla N° 4: Densidad aparente de tipos de suelo.

TEXTURA	DENSIDAD APARENTE (g/cm³)
Arenoso	1.50 -1.80
Franco Arenoso	1.40 -1.60
Franco	1.30-1.50
Franco Arcilloso	1.30-1.40
Arcilloso	1.20-1.30

Fuente: www.monografias.com/trabajos82.

2.7.2.2.Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de humedad de un suelo, después que el exceso ha sido drenado y la velocidad de descenso disminuida en grado considerable. Se ha determinado en laboratorio, que cuando un suelo está en capacidad de campo, el contenido de agua está retenido con una tensión de 1/3 de atmósfera aproximadamente (Abella, 2005).

Un suelo está a capacidad de campo después de dos o cinco días de aplicado el riego, si saturamos un suelo, la cantidad de agua que queda retenida en los poros sin ser arrastrada por el peso de la gravedad, es la Capacidad de Campo o Capacidad de Retención. La capacidad de campo se valora por el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco. La capacidad de campo representa el contenido de humedad del suelo, cuando el agua que este contiene, deja de fluir por gravedad, cuando este fenómeno ocurre, el agua libre o gravitacional deja de existir en el suelo. En el suelo provisto de un buen drenaje interno, la máxima capacidad de almacenamiento de agua está representada por la capacidad de campo.

El contenido de humedad de un suelo, por otra parte, no podrá sobrepasar a su capacidad de campo sino por cortos periodos, a menos que exista algún obstáculo para el

flujo del agua. El método utilizado para la obtención de la capacidad de campo fue el método de la manguera o llamado también método de la columna desuelo, y se utilizó la siguiente fórmula.

$$cc = \left(\frac{P_{sh} \times P_{ss}}{P_{ss}} \right) \times 100^1 \quad (10)$$

Dónde:

P_{sh} = Peso suelo húmedo.

P_{ss} = Peso suelo seco.

De acuerdo a la clase textural a la cual pertenece un determinado suelo se puede considerar los siguientes rangos admisibles de capacidad de campo.

2.7.2.3. Punto de marchitez permanente del suelo

Se conoce como el nivel de humedad del suelo al cual las plantas se marchitan en forma permanente. Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no pueden extraer agua del suelo. No es un valor constante para un suelo dado, sino que varía con el tipo de cultivo. El Punto de marchitez permanente de un suelo coincide con el contenido de humedad que le correspondiente a una tensión de 15 atmósferas (Abella, 2005).

Tabla N° 5: Valores normales de capacidad de campo y coeficiente de marchitez.

TEXTURA	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE
ARENOSO	5 – 15	3 – 8
FRANCO ARENOSO	10 – 20	6 – 12
FRANCO	15 – 30	8 – 17
FRANCO ARCILLOSO	25 – 35	13 – 20
ARCILLOSO	30 – 70	17 – 40

Fuente: [www. Geotecnia.sor.blogspot.pe](http://www.Geotecnia.sor.blogspot.pe).

2.7.3. Tipo de suelo

Respecto del tipo de suelo, se debe conocer como dato primordial el tipo de suelo en el cual se encuentran los cultivos, ya que este importante dato será clave para determinar la cantidad de agua necesaria que habrá que destinarles a los cultivos para su correcto crecimiento. Ya que cada tipo de suelo cuenta con características completamente diferente uno del otro, por lo que a través de mapas cartográficos se pueden acceder a conocer el tipo de suelo con la que cuenta la zona en la cual se encuentran los cultivos, ya que estos mapas detallan la información de todos los tipos de suelos existentes a lo largo del país (Gorka, 2012).

La siguiente figura, muestra los tres principales tipos de suelos existentes en el país, en donde se aprecia que el grado de filtración de cada uno de ellos es distinto, formándose una película de agua diferente para cada tipo.

En el riego por goteo es de especial importancia considerar la tasa de entrega de agua al suelo, pues la aplicación de los goteros no puede ser mayor que la infiltración, por definición del sistema que implica que sean mínimas las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda.

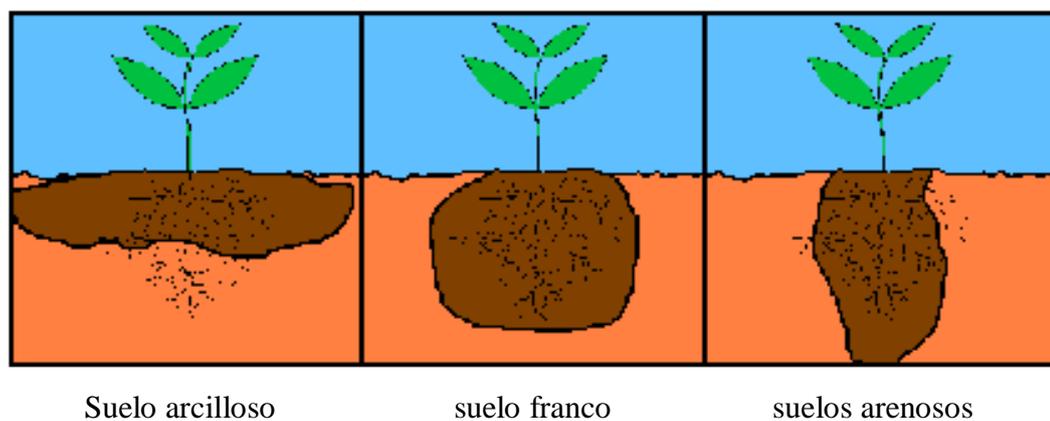


Figura 4: Tipos de suelos y forma de infiltración del agua.

2.7.4. Calidad de agua

Respecto del agua, es necesario, conocer la disponibilidad total del recurso hídrico a través del año, viendo las posibles fluctuaciones a lo largo del año que sufre el río en donde se pretende extraer el agua para los cultivos. El abastecimiento de agua del sistema de riego por goteo se basará en las necesidades del cultivo (UNALM, 2010).

En caso que el aprovisionamiento de agua de que dispone el predio sea irregular, sería necesario contar con un tanque de acumulación de agua, con el fin de complementar dichas fluctuaciones, aún más en este tipo de sistemas cuando la energía que acciona todo este sistema igual es variable como es la energía solar. Para de este modo permitir extraer los caudales necesarios para las jornadas de riego sin mayores problemas y sin temor alguna de la falta de agua.

2.7.5. Formación del bulbo

A pesar de que los goteros del riego arrojan caudales pequeños localizados, el agua cuando empieza a fluir sobre una superficie muy reducida del suelo provoca un pequeño charco, cuyo radio se va extendiendo a medida que el riego continúa. La aplicación del riego por goteo tiene que ser acorde con el tipo de suelo, tipo de gotero, distancia entre líneas de goteros laterales y distancia entre los goteros. Todo esto, para evitar posibles excesos de agua que puedan provocar algún tipo de inundación, cuando se deja caer gota a gota el agua en el suelo, esta se mueve hacia los lados (horizontalmente) y hacia abajo (verticalmente) formando el bulbo húmedo, este bulbo tiene gran importancia ya que en él se desarrollan las raíces de las plantas (MINAGRI, 2013).

La forma y tamaño del bulbo húmedo depende de los siguientes factores: La textura del suelo. En suelos arenosos el bulbo tiene forma alargada y en suelos arcillosos tiene forma achatada.

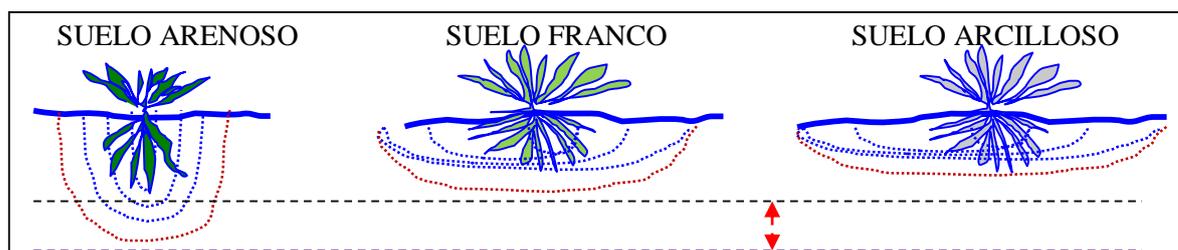


Figura 5: Tipos de formaciones de bulbo de humedecimiento.

El caudal del gotero. Cuando el agua empieza a salir del gotero se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie. A mayor caudal del gotero corresponde una mayor superficie del charco y por lo tanto, un bulbo más extendido en forma horizontal.

El tiempo de riego. A medida aumenta el tiempo de riego el tamaño del bulbo aumenta en profundidad y aumenta su tamaño en sentido horizontal hasta cierto límite dependiendo del tipo de suelo.

El bulbo húmedo debe medirse en el campo unas horas después de cada riego, para asegurarse de estar regando un volumen adecuado de raíces de las plantas. Se acepta una profundidad de 30 centímetros para la mayoría de los cultivos, pero puede ser menor para cultivos que tengan raíces más superficiales.

2.7.6. Área humedecida

Puede asegurarse que los cultivos pueden desarrollarse normalmente cuando se riega un 50% del área ocupada por las raíces, en la zona humedecida la concentración de raíces es 3-4 veces mayor que en otro tipo de riego (Fernández, 2010).

El área humedecida depende del tipo de cultivo; refiriéndose al marco de plantación se consideran adecuados los porcentajes siguientes:

Cultivos de hortalizas (tomate, cebolla, repollo) del 30 al 70%

Dos son los factores principales que afectan las dimensiones del bulbo de humedecimiento, La textura del suelo y la descarga del gotero.

Perfil de humedecimiento de un lateral de goteros

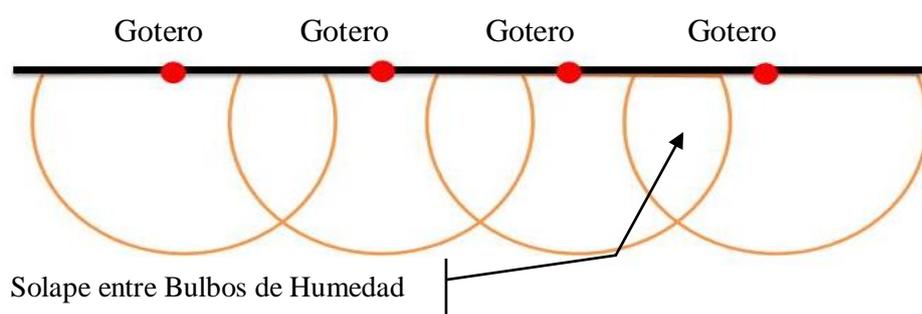


Figura 6: Humedecimiento de perfil de bulbo húmedo en el suelo.

Es recomendable crear una franja continua de humedecimiento, a lo largo del lateral; para ello debe haber una superposición entre bulbos de humedecimiento. Entonces debe seleccionarse un distanciamiento adecuado entre los goteros.

2.7.7. Clima

Los factores climáticos de importancia en este método, son aquellos que tengan influencia sobre la evapotranspiración del cultivo, y serán considerados en el diseño del equipo de riego (Fernández, 2010).

En este método de riego, no se ve afectado en su aplicación por factores como vientos y altas temperaturas, debido a la forma de salida del agua desde el sistema al medio, que es gota a gota y en forma localizada.

2.7.8. Evapotranspiración

Una de las variables más importantes para planificar el riego de un cultivo en una región climática determinada y en un suelo con unas características determinadas, es la evapotranspiración del cultivo (ETc), que es la suma del agua consumida por la planta en la transpiración y del agua evaporada desde el suelo, y debe ser satisfecha estacionalmente en su totalidad mediante la lluvia y/o el riego, para que no se vea afectada la producción potencial del cultivo (Fernández, 2010).

Para cualquier planificación del potencial productivo de una zona o simplemente optimizar el uso del agua, recurso cada vez más caro y escaso, es necesario conocer las necesidades hídricas de un cultivo.

De toda el agua que el sistema suelo y planta recibe, bien por la lluvia o por el riego, una primera cantidad no llega ni siquiera a infiltrarse en el suelo, se pierde directamente por escorrentía. Otra segunda parte del agua en el suelo, va hacia estratos profundos, lejos del alcance de la raíz, las cuales constituyen pérdidas por percolación o drenaje. Otra tercera pérdida importante es el proceso físico de paso de agua en forma de vapor desde el suelo directamente, o bien, desde la superficie de la hoja a la atmósfera y que se conoce como evaporación. Finalmente, nos queda una parte del agua del suelo, que es absorbida por las raíces y pasa directamente a la atmósfera, en forma de vapor de agua: es la transpiración.

Según lo señalado anteriormente, el fenómeno de evapotranspiración es la consideración conjunta de dos procesos diferentes:

- Evaporación y la transpiración

La evaporación explicada de forma sencilla, es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor.

Se produce evaporación desde:

- a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- b) Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).
- c) Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Las plantas captan agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran. (Fernández, 2010).

Como son difíciles de medir por separado, y además en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el concepto mixto de Evapotranspiración.

Para el Ingeniero agrícola e hidrólogo el interés de la evapotranspiración se centra en la cuantificación de los recursos hídricos de una zona: lo que llueve menos lo que se evapotranspiración será el volumen de agua disponible.

2.7.8.1. Factores que influyen en la evapotranspiración

La evaporación depende del poder evaporante de nuestra atmósfera, que a su vez depende de los siguientes factores:

- Radiación solar, Temperatura y Humedad.
- Humedad.
- Presión atmosférica (y la altitud en relación con ella): A menor presión (y/o mayor altitud) \geq más evaporación
- Viento: más viento \geq más evaporación

La evaporación desde un suelo desnudo depende de:

- El poder evaporante de la atmósfera.
- El tipo de suelo (textura, estructura)
- El grado de humedad del suelo.

Finalmente, la transpiración está en función de:

- El poder evaporante de la atmósfera.
- El grado de humedad del suelo, El tipo de cultivo.
- El tipo de cultivo.
- Variaciones estacionales.

El cálculo de la evapotranspiración, existen diferentes métodos de cálculos y fórmulas que ayudan a la obtención de este dato, algunos de estos autores se detallan a continuación en el siguiente cuadro (Fernández, 2010).

Tabla N° 6: Metodologías de evapotranspiración potencial (ETP).

Thornthwaite	Temperatura	De la latitud se obtiene en n° teórico de horas sol
Hargreaves	Temperatura, altitud radiación solar, viento	Las horas sol la radiación solar dependiendo del cultivo
Blaney-criddle	Temperatura	Numero teórico de horas sol coeficiente que depende del cultivo
Turc	Temperatura y horas reales de sol	De las horas de sol se obtiene la radiación global
Penman	Temperatura, horas sol, velocidad del viento y Hr	Por las tablas se obtiene los parámetros

Fuente: Escuela de postgrado UNALM (Mirla Graciela, 2011).

2.7.9. Método de Hargreaves para ETp

Es un método sencillo debido a que sugiere el cálculo de la evapotranspiración potencial a partir de datos medidos de temperatura media del aire, humedad relativa media

y de datos de radiación solar, utiliza principalmente información de temperatura máxima y mínima, y se aplica a través de la siguiente ecuación (Fernández, (2010).

La fórmula modificada de Hargreaves se expresa en la siguiente relación matemática

$$ET_p = 0.34 Ra [0.4 + (0.024T)] \left[1.35 \left(1 - HR^{1/2} \right) \right] (1 + 0.0004Z) \quad (11)$$

Dónde:

ET_p = Evapotranspiración potencial (mm / Día)

Ra = Radiación extraterrestre (mm / Día)

T = Temperatura media del aire en grados Celsius

HR = Humedad media relativa del aire en forma decimal

Z = Altitud sobre el nivel de mar en metros.

En esta primera aproximación del método (formula empírica) la temperatura a incluir en la formula deberá ser en grados Fahrenheit, por tal razón la fórmula de cálculo será.

$$ET_p = 0.0075 \times R_s \times T^{\circ F} \quad (12)$$

Dónde:

$T^{\circ F}$ (Temperatura Fahrenheit) = $32 + 1.8 T^{\circ C}$

R_s (Radiación solar) = $0.075 \times Ra \times S^{1/2}$

Ra = Radiación Extraterrestre

S (Brillo solar) = $12.5 (100 - HR)^{1/2}$

$$ET_p = 0.023 \times Ra \times (T + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (13)$$

2.7.10. El coeficiente de cultivo (K_c)

Para conocer la evapotranspiración del cultivo, se necesita conocer un segundo factor, el coeficiente de cultivo o K_c . Este coeficiente mide la contribución del propio cultivo sobre las necesidades hídricas del mismo. Este factor denominado K_c depende de manera directa con dicho factor viene establecido por tablas para los diferentes cultivos y se pueden encontrar en distintos manuales de riego existentes (Fernández, 2010).

2.7.11. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de Enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (MINAGRI, 2012).

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c \times ET_p \quad (14)$$

Dónde:

K_c= Coeficiente único de cultivo.

2.8. REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO

2.8.1. Cálculo de necesidades de agua de los cultivos

Como se ha indicado anteriormente, la evapotranspiración (o necesidades hídricas brutas) de un cultivo constituye el volumen de agua que ese cultivo necesita para su desarrollo óptimo. Parte de ese volumen debe ser suministrado por el riego y se conoce como necesidades netas de riego (NR_r). Las NR_r de un cultivo se calculan como la diferencia entre la ET_c y los aportes naturales de agua (Ana):

$$NR_r = ET_c - Ana \quad (15)$$

Donde todos los términos de esta ecuación se expresan en mm por unidad de tiempo (día, semana, mes, etc.) (Fernández, 2006).

Los aportes naturales de agua pueden tener diversas fuentes: a) la precipitación, la más importante de todas; b) el agua almacenada en el suelo de las precipitaciones de invierno/primavera; este aporte puede ser relativamente importante en zonas con suelos con gran capacidad de retención de agua y clima relativamente húmedo, al menos en invierno/primavera; c) el ascenso capilar de agua desde capas subterráneas de agua; este aporte sólo es significativo si esta capa está relativamente cerca de la superficie; d) el rocío, la niebla, etc.

2.8.2. Cálculo de las necesidades brutas de riego

Como se ha indicado anteriormente, las necesidades netas de riego representan el volumen de agua que el sistema de riego debe suministrar a la zona radicular de un cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas brutas. Todo sistema de riego está sujeto a unas pérdidas de agua de forma que su eficiencia de aplicación es siempre menor del 100 %. Estas pérdidas pueden deberse a una evaporación directa de la lámina libre de agua (como ocurre en el riego por inundación), a la evaporación de las gotas de agua en su camino hacia el cultivo o a su arrastre por el viento (como ocurre con el riego por aspersión), a escorrentía superficial cuando el terreno no está perfectamente nivelado, a drenaje de agua por debajo de la zona radicular, etc. La eficiencia de aplicación de un sistema de riego depende de muchos factores; aparte de los ya mencionados, se pueden citar el diseño y el manejo del sistema de riego. La determinación de la eficiencia de aplicación de un sistema de riego concreto, en una zona o parcela concretas, precisa de una evaluación de campo detallada que se debe realizar por personal cualificado. riego por superficie, eficiencia de aplicación (E_a) de 55 a 85 %; b) riego por aspersión, E_a de 65 a 90 %; c) riego por goteo, E_a de 90 a 95 % (Fernández, 2006).

Además, algunos suelos pueden presentar ciertos niveles de salinidad que serán más o menos perjudiciales según sean la tolerancia del cultivo a la salinidad y la calidad de las aguas de riego. Se denomina fracción de lavado (FL) al exceso de agua de riego que se debe aplicar para producir el lavado de sales y evitar su acumulación en la zona radicular del cultivo. Esta fracción depende de los factores que se han mencionado anteriormente. En consecuencia, las necesidades brutas de riego (NR_b) se calculan con la siguiente expresión:

$$NR_b = 100 \frac{NR_n}{E_a(1-FL)} \quad (16)$$

Donde E_a se expresa en tanto por ciento; FL, como fracción; y NR_b y NR_n en mm por unidad de tiempo.

2.8.3. Cálculo calendarios de riego a tiempo real.

Hasta ahora no se ha introducido el factor suelo en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Este factor se debe incluir cuando el regante está interesado en realizar, por ejemplo, calendarios de riego a tiempo real y para ello lleva a cabo balances

hídricos diarios simplificados del contenido de agua en el suelo. Para realizar estos cálculos, el suelo se considera de forma simplificada como una caja en la que cabe un determinado volumen máximo de agua, la capacidad de campo (CC) (Fernández, 2006).

Asimismo, existe un límite inferior de contenido de agua en el suelo, por debajo del cual el cultivo se marchita permanentemente y muere, el punto de marchitez (PMP). El volumen de agua entre estos dos límites se denomina agua útil o agua extraíble por las plantas (AU) y se calcula con la siguiente expresión:

$$AU = 100(Q_{CC} - Q_{PM})Z_r \quad \text{En mm.} \quad (17)$$

2.8.4. Requerimiento de riego para estimar las necesidades hídricas del cultivo

“Las necesidades hídricas del cultivo a regar y el modo de aplicar agua para mantener el nivel de humedad adecuado en el suelo del cultivo para el óptimo desarrollo del mismo” (Fernández, 2006).

El Requerimientos de riego, que sirve para conocer el caudal necesario, tiempo de riego, intervalo y láminas de riego. Por ende, estos datos se emplearán para el diseño hidráulico y serán necesarios para la operación del sistema planteado.

2.8.4.1. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración potencial se representa por una curva de necesidades de agua de la planta a lo largo del ciclo vegetativo. Evapotranspiración de referencia o evapotranspiración del cultivo (ETc). La noción de ETc ha sido establecida para reducir las ambigüedades de interpretación a que da lugar el amplio concepto de evapotranspiración y para relacionarla de forma más directa con los requerimientos de agua de los cultivos. Es similar al de ETp, ya que igualmente depende exclusivamente de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios son considerados equivalentes, pero se diferencian en que la ETc es aplicada a un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramíneas o alfalfa, de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se ve sometido a déficit hídrico. Es por lo anterior que en los últimos años está reemplazando al de ETp (Fernández, 2006).

Resumiendo, la evapotranspiración del cultivo es el requerimiento hídrico del cultivo, el cual se basa en la evapotranspiración referencial y el coeficiente de cultivo y se obtiene mediante la fórmula:

$$ET_c = ET_p \times K_c \quad (18)$$

2.8.4.2. Evapotranspiración de gotero (ET_g)

(Fernández, 2006). Dice debido a que se hará riego por goteo, ahora debemos ajustar el humedecimiento a riego localizado, llamado evapotranspiración de gotero (ET_g) y con este método solo se humedece el 50 % de la superficie del cultivo lo conocemos como porcentaje de área bajo riego (PAR), lo que se hace por medio de la fórmula:

$$ET_g = ET_c \times PAR \quad (19)$$

2.8.4.3. Lámina de riego (L_r)

Como las plantas toman el agua del suelo, los requerimientos hídricos se aplicarán a través del riego, por lo que se hace necesario calcular la lámina de riego que se aplicará al suelo. Ahora calculamos la lámina de riego (L_r) que depende del tipo de suelo y profundidad de las raíces del cultivo, cuyas relaciones se expresan mediante la siguiente fórmula:

$$L_r = (CC - PMP) / 100 \times Pr \times Da \quad (20)$$

Intervalo de riego, restituiremos la humedad perdida, evitando que las reservas de humedad lleguen al agotamiento.

Lo anterior da lugar al concepto de lámina neta de riego (L_n), cuya lámina sirve para restituir la humedad suelo. Dicha humedad de restitución equivale a una fracción de la lámina de riego (L_r) y puede definirse como la humedad necesaria para la restitución del agua que un cultivo ha consumido en cierto período de tiempo. Por tanto sólo se permite un cierto porcentaje de agotamiento de la lámina de riego (L_r) (Fernández, 2006).

2.8.4.4. Lámina neta de riego (L_n)

Según (Fernández, 2006). El cálculo de la lámina neta de riego se procede mediante la expresión:

$$L_n = E T_g \times L_r \quad (21)$$

Lámina de riego (L_r).

2.8.4.5. Lámina bruta de riego (L_b)

Debido a que cuando aplicamos el riego hay pérdidas, que se deben a la eficiencia del riego (E_f), para los sistemas de riego por goteo se ha establecido este valor en $E_f=0.90$.

Con este dato ajustamos la lámina de riego neta (L_n), mediante el cálculo de la lámina de riego bruta que considera las pérdidas del sistema mediante la expresión:

$$L_b = L_n / E_f \quad (22)$$

Este será el valor de la lámina de agua que aplicaremos al suelo mediante el riego, con el fin de restituir la capacidad de campo del mismo (Fernández, 2006).

2.8.4.6. Intensidad de la aplicación (I_a)

Conociendo la lámina bruta de riego (L_b), cuyo valor indica la humedad necesaria para restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un período de tiempo. No obstante, dicha lámina se aplica a través del sistema de riego, por lo que necesitamos conocer la intensidad de la aplicación (I_a), dato que está dado en mm/hora.

La estimación de la intensidad de la aplicación (I_a) se hace mediante la expresión:

$$I_a = Q_e / dl \times de \quad (23)$$

Dónde:

Q_e = caudal en L/h.

Que se aplica en una superficie, la que está definida por la distancia entre laterales (dl) multiplicado por distancia entre emisores (de). (Fernández, 2006).

2.8.4.7. Tiempo de riego (T)

Según (Fernández, 2006). Para operar el sistema necesitamos conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (L_b) y se hace mediante la expresión:

$$T = L_b / I_a \quad (24)$$

2.8.4.8. Área del sector de riego (A)

Ahora conocemos la lámina bruta de riego (Lb) que requiere el suelo para satisfacer al cultivo, también sabemos el tiempo (T) que necesitamos para aplicarla y cada cuanto tiempo (Ir) debemos practicar la operación de riego para restituir la humedad. Además conocemos el tiempo que el poblador que regara dispone para realizar las operaciones de riego (Fernández, 2006).

No obstante, desconocemos la superficie del sector de riego. A la porción de la superficie del lote que deseamos regar en un período dado se le llama sector de riego; y el número de sectores dependerá del tiempo que dispongamos para aplicar el riego y de la cantidad de agua disponible en cierto tiempo a lo que llamamos caudal (Q), valor que se expresa en L/hora, L/seg o M³/hora.

2.8.4.9. Áreas de riego con recursos hídricos limitados del pozo

Según (Fernández, 2006). En pequeños riegos, con recursos hídricos limitados, la cuestión es más bien:

¿Cuánta superficie puedo regar con el agua que tengo en mi pozo?

Por tanto, necesitamos conocer cuántos litros de agua (volumen) obtendremos en el tiempo (T horas) que disponemos para el riego, según un caudal conocido, que podría ser un pozo excavado o manantial. Para determinar el volumen empleamos la siguiente fórmula:

$$\text{Vol} = Q \times 3600 \times T \quad (25)$$

El volumen se expresa en Lts, Q en L/seg. y T en horas.

2.8.4.10. Volumen en el sector de riego

En pequeños sistemas de riego a menudo obtenemos primero el volumen disponible y luego estimamos la superficie del sector de riego, pero en sistemas más grandes primero estimamos el número de sectores y a partir de este valor volumen de agua requerido para regar cada sector (Fernandez, 2006).

En el caso anterior se emplea la expresión:

$$\text{Vol} = A \times Lb \quad (26)$$

Dónde:

Vol = volumen en Litros

A = el área (m²)

Lb = lámina bruta de riego en mm.

2.8.4.11. Caudal del proyecto

Según (Fernández, 2006). Considera que: Se calcula el caudal del proyecto, mediante la expresión:

$$Q = \text{Vol}/3600 \times T \quad (27)$$

Dónde:

Q = caudal en L/s,

Vol = volumen en Litros

T = tiempo en Horas.

Este valor representa el caudal necesario para abastecer un sector de riego y a partir del cual se dimensionará la tubería a utilizar.

2.9. GENERALIDADES DE CULTIVO DE CEBOLLA

La cebolla es la segunda hortaliza más importante en el mundo, después del tomate, lo cual se debe a su uso como condimento en la alimentación humana. Tiene la ventaja de que puede consumirse en diferentes formas, tales como: bulbo seco, hojas verdes, cabeza fresca, cabeza tierna o de desarrollo intermedio, deshidratado en polvo o escamas y en encurtidos. Además, es un cultivo que hoy en día cuenta con gran diversidad genética adaptable a diferentes condiciones agroclimáticas lo cual hace de este cultivo un producto que puede ser adaptado a muchas zonas de Perú (MINAGRI, DGCA, 2013).

2.9.1. Aspectos botánicos

2.9.1.1. Semilla de cebolla

La semilla es producida en la inflorescencia o conjunto de flores (umbela). Es relativamente pequeña, angulosa y de color negro, cuando está madura. Tiene forma arriñonada y mide unos 4 mm por 2 mm, en un gramo hay entre 250 y 260 semillas (MINAGRI, DGCA, 2013).

La semilla de cebolla tiene la capacidad de germinar a temperaturas bajas, en efecto el umbral mínimo para que se inicie el proceso es de 1.5° C. La temperatura óptima es de 24° C y la máxima 35° C.

Esta semilla pierde su poder germinativo con mayor rapidez que la mayoría de las otras especies hortícolas. Esto obliga a mantenerla bajo condiciones especiales para retener alto el porcentaje de germinación. Implica conservarla a baja temperatura (inferior a 6° C).

2.9.1.2. Germinación de la semilla

En semilla recién cosechada, se ha detectado una proporción baja de semillas que no germinan. Pero tal efecto de dormancia desaparece en unos dos meses. También se ha comprobado que semilla inmadura, con un 64 por ciento de humedad (MINAGRI y DGCA, 2013).

2.9.1.3. Raíz

La cebolla es una planta que tiene un sistema radicular muy superficial (45 cm) y extendido y su mayor volumen de raíces se ubica en los primeros 30 cm de suelo.

De la parte de debajo de la placa basal o tallo se forman raíces adventicias, y más adelante en el desarrollo de la planta se forman raíces a los lados de la placa basal. Debido a que la cebolla tiene solo una raíz primaria, el desarrollo de la planta depende de la formación de raíces adventicias. Estas raíces están continuamente desintegrándose y siendo reemplazadas por nuevas raíces.

La superficie radicular por unidad de peso de la planta es menor que en la mayoría de las especies hortícolas (MINAGRI, DGCA, 2013).

2.9.1.4. Crecimiento

El mayor crecimiento vegetativo ocurre cuando las temperaturas están entre 15 y 23° C y éste disminuye con temperaturas cercanas a 30° C.

Se ha comprobado que la cebolla requiere niveles de nitrógeno, fósforo y potasio más altos que otras hortalizas para su crecimiento y producción (Osuna y Ramírez, 2013).

2.9.1.5. Formación del bulbo

La formación del bulbo está influenciada por varios factores, pero el más importante es el fotoperiodo o largo del día.

Las condiciones de días largos estimulan la formación del bulbo, pero hay diferencias de respuesta entre los cultivares.

El efecto de día largo puede ser anulado exponiendo las plantas a condiciones de día corto.

La temperatura es otro factor que influye en la formación del bulbo. Los niveles de 23° a 30° C aceleran este proceso, si el fotoperiodo es el apropiado; en cambio se produce un retraso progresivo a medida que baja la temperatura (Osuna y Ramírez, 2013).

2.9.1.6. La planta

La planta es bianual, polinización cruzada, en la primera temporada se desarrolla a partir de una semilla hasta formar un bulbo maduro.

En la segunda temporada se produce la brotación del bulbo, formándose los tallos florales, en cuyas umbelas se forman las semillas.

El tallo es un disco delgado del cual nacen las raíces y las hojas de las plantas; permanece con esta forma en la primera temporada pero en la segunda se alarga hasta 1.0 ó 1.5 m. de altura y en su extremo se forman las flores en una inflorescencia llamada umbela.

Las hojas son erectas, huecas y semicilíndricas, con un diámetro de 0.3 cm. aproximadamente.

Una planta forma de 8 a 15 hojas de unos 30 a 60 cm de longitud. Al nacer, cada hoja aparece dentro de la anterior y así se forma una especie de tallo, llamado “tallo falso” constituido por las vainas de las hojas (Osuna y Ramírez, 2013).

2.9.2. Requerimientos de clima y suelo

2.9.2.1. Temperatura

La cebolla es un cultivo que normalmente se ha desarrollado en climas fríos, pero hoy en día existen variedades genéticamente mejoradas para crecer en un amplio rango de temperaturas, inclusive, en Puno, ya se han hecho siembras a nivel del lago en los meses más frescos del año (octubre, noviembre), obteniéndose rendimientos muy satisfactorios (F.D.A., 1992).

Sin embargo, los rangos de temperaturas donde mejor crece están entre los 12.8° C y 24° C. El mejor crecimiento y calidad se obtienen si la temperatura es fresca durante el desarrollo vegetativo (desde la germinación hasta el inicio de formación de bulbos) prefiriéndose que en tal etapa las temperaturas no superen los 24° C.

Altas temperaturas pueden producir también otros efectos indeseables como: mayor tendencia a producir bulbos divididos o dobles, formación precoz de los bulbos (por lo tanto reducción en los rendimientos y tamaño de los bulbos), formación de bulbos alargados, aumento en la pungencia (pérdida de la dulzura y aumenta los volátiles de sabor).

En altitudes mayores (arriba de los 1600 m.s.n.m.) en donde ocurren temperaturas en el rango de 4.4 - 7.2 ° C, se puede inducir la formación de tallo floral si las cebollas ya han pasado el estado juvenil. La cebolla permanece en el estado juvenil hasta que la planta alcanza un diámetro de más de ¼ pulgada. La formación de flores hace que la cebolla no se pueda comercializar porque el bulbo es atravesado por el centro por un tallo duro y fibroso. Hay bastante diferencia entre variedades en su susceptibilidad a florecer (F.D.A., 1992).

La mejor manera de evitar la floración es retrasar la época de siembra de manera que la planta esté en su estado juvenil durante el período de bajas temperaturas y sembrar variedades adaptables al área

2.9.2.2. Luz (Fotoperiodo)

Define: La formación de bulbos es iniciada por períodos de luz prolongadas (día largo). Cuanto más largo es el día más pronto se iniciará la formación del bulbo y el

crecimiento de las hojas decrecerá. Por lo tanto, las variedades se clasifican de acuerdo a su fotoperiodo. Las variedades de día largo requieren de días con más de 14 a 16 horas de luz para iniciar la formación de bulbos. Las cebollas de día intermedio requieren alrededor de 14 horas luz para iniciar la formación de bulbos y las variedades de día corto requieren entre 11-13 horas (MINAGRI y DGCA, 2013).

La luminosidad es importante en esta especie, la cual generalmente va acompañada de temperatura alta, por eso es que zonas con cielos despejados, fuerte radiación y una humedad relativa baja son favorables para el cultivo de cebolla para bulbo.

2.9.2.3.Humedad relativa

La humedad relativa tiene una fuerte influencia en la incidencia de enfermedades fungosas en la cebolla. Las zonas áridas (secas) con un verano bien marcado con varios meses libres de lluvia son ideales para la producción de cebolla si reúnen las demás condiciones necesarias para el cultivo. Días calientes y secos son favorables para una buena maduración y curado natural de la cebolla en el campo. La condensación de la humedad relativa (niebla o neblina) durante las horas frías del día es desfavorable porque favorece al desarrollo de enfermedades foliares (MINAGRI y DGCA, 2013).

2.9.2.4.Condiciones física y química del suelo

Este cultivo se adapta a suelos francos, francos limosos, francos arcillosos (no más de 30% de arcilla), franco arenoso, arcillo arenosos y orgánicos; y lo importante es que tengan buen drenaje y ausencia de piedras. Los suelos pesados (arcillosos) son difíciles de trabajar porque requieren un manejo especial de la humedad, por lo tanto, es recomendable evitarlos (MINAGRI y DGCA, 2013).

Los suelos que presentan buena textura, fértiles y bien drenados ofrecen condiciones ideales para el cultivo. Prefiere el pH cercano al neutro y no tolera los suelos salinos. El pH más conveniente es entre 6.0 y 7.0. La salinidad no debe superar 1.2 mmhos/cm, ya que a ese nivel se inicia un efecto negativo sobre el rendimiento con una conductividad eléctrica de 2 milimohs (mmho) puede ocurrir ya una reducción de la cosecha en un 10% lo cual puede ser más severo en condiciones de alta temperatura.

El nivel de materia orgánica es importante en la productividad del suelo. Un porcentaje mínimo de un 3% es deseable para obtener altos rendimientos. Para mejorar esta

condición se debe incorporar materia orgánica como ser abonos verdes, e incorporación de rastrojos en general. El uso de estiércoles no es recomendado porque aumenta la pungencia de la cebolla (debido a su alto contenido de azufre), y la incidencia de la enfermedad llamada raíz rosada. Por otra parte, suelos muy orgánicos producen cebollas con menos aptitud para el almacenamiento (aspecto importante de este cultivo).

2.9.3. Densidad de siembra

(MINAGRI y DGCA, 2013). Define: Depende en gran medida de la época de siembra, textura y estructura del suelo.

Como regla general se puede sembrar de 2 formas:

- Densidades intermedias
- Densidades altas

2.9.3.1. Densidades intermedias

Según (MINAGRI y DGCA, 2013). Estas podrían ser, por ejemplo, en doble hilera; que es el sistema comúnmente utilizado con riego por gravedad.

Distancia entre camellones	:	0.75 m
Distancia entre hileras	:	0.20 m
Distancia entre plantas	:	0.10 m
Plantas por hectárea	:	266.800

2.9.3.2. Densidades altas

El sistema de densidades altas se desarrolla en camas de siembra de 1.5 m o 1.8 m, poniendo 2 ó 3 pares de líneas de plantas. En el centro de la cama se dejan unos 35 cm entre las dos líneas centrales para facilitar las labores culturales y el aporque, cuando se usan 2 pares de líneas (Osuna y Ramírez, 2013).

Bajo este sistema el riego más utilizado es el de goteo.

Distancia entre camas	:	1.5 m
Distancia entre hileras	:	0.20 m
Distancia entre plantas	:	0.08 – 0.10 m
Plantas por hectárea	:	333,300

Para cosechar bulbos inmaduros las distancias de siembra fluctúan dependiendo del tamaño del bulbo que se quiera programar para la cosecha, pudiendo llegar hasta 5 centímetros con lo cual llegaríamos a población de 533,200 planta/Ha para obtener bulbos maduros se pueden tener diferentes distanciamientos dependiendo del tamaño de bulbo que necesitemos producir; por ejemplo, cuando el cultivo está dirigido para exportación necesitamos obtener un porcentaje alto de bulbos grandes, lo cual lo logramos con distanciamientos de 12 a 13 centímetros entre plantas; pero esto resulta en una reducción en los rendimientos totales por hectárea, pero en mayor porcentaje para la exportación.

2.9.4. Riego de cebolla

Debe tenerse especial cuidado de no aplicar exceso de agua ni de hacer sufrir a la planta por falta de agua; 24 horas antes del trasplante se debe regar abundantemente el campo para asegurar un buen establecimiento de las plántulas (Osuna y Ramírez, 2013).

La planta de cebolla requiere de agua en forma permanente. Por lo tanto, es importante verificar con frecuencia el grado de humedad del suelo y dar los riegos correspondientes. Por otro lado, la planta de cebolla no crece cuando el suelo está excesivamente húmedo, debido a que se produce un déficit de oxígeno en la zona de las raíces y estas no pueden cumplir su función de absorción. Esta situación puede presentarse en el período de lluvias; por eso es importante en la fase de propagación. Usar en el almácigo el sistema de mesa levantada para facilitar el escurrimiento del agua. Incluso, si el exceso de humedad persiste por varios días, conviene cultivar el suelo, entre las hileras, para acelerar la evaporación y el secado del suelo.

Para el riego de este cultivo e independientemente del tipo de cultivar, el productor deberá elegir entre dos tipos de cebolla a cosechar según su conveniencia:

- Cebolla verde o con tallo
- Cebolla seca o de guarda

Ambos tipos de cebolla, por su distinto ciclo vegetativo, poseen requerimientos de agua diferentes.

La cebolla de cualquier tipo se puede regar superficialmente, tanto por surcos, como por goteo. El riego por aspersión es recomendable con algunas reservas, por los riesgos de enfermedades fitosanitarias.

Los riegos se efectúan por los surcos entre los camellones y en cada suelo es necesario determinar el tiempo suficiente para lograr una infiltración hasta toda la zona radicular. Es conveniente recordar que el exceso de agua, hasta el punto de saturación del suelo, provoca la detención del crecimiento de la planta de cebolla.

La cebolla es una planta que tiene un sistema radicular muy superficial (45 cm) y extendido, y su mayor volumen de raíces se ubica en los primeros 30 cm de suelo, lo que indica que el cultivo explora un volumen reducido de suelo y que en esa zona siempre debe permanecer con suficiente humedad disponible para la planta, a capacidad de campo.

Aplicaciones pequeñas de agua retardarán el desarrollo del cultivo, en tanto que excesos de agua favorecen la aparición de bulbos dobles y rajaduras en los bulbos mismos, lo cual le resta valor comercial al producto. Una condición de mal drenaje hace susceptible a la planta a la entrada de enfermedades en forma prematura (F.D.A, 1992).

Relacionado a lo anterior, los riegos de la cebolla deben ser frecuentes, ya que los riegos son livianos o de tiempo corto. La frecuencia práctica sugerida según la textura de los suelos es la siguiente:

- Texturas gruesas : 2 a 3 días
- Texturas medias : 3 a 4 días
- Texturas finas : 4 a 5 días

Si se riega por goteo, las frecuencias de riego son diarias, pudiendo espaciarse la práctica del fertiriego cada dos días.

Una insuficiente frecuencia o cantidad de agua aumenta la pungencia de la cebolla, lo cual no es muy deseable si se quiere producir cebollas dulces.

También la frecuencia de riego dependerá de la demanda de agua por el cultivo de acuerdo a su estado vegetativo, tipo de suelo, donde se esté trabajando y de la evaporación dependiendo del clima.

La etapa crítica para la cebolla en cuanto a necesidades de agua, corresponde al inicio de la formación del bulbo, pero siempre existe una necesidad periódica de agua durante todo el cultivo después del trasplante. Es en este período crítico de riego nombrado en donde nunca debe faltarle agua al cultivo, de lo contrario, se producirán pérdidas irreparables en los rendimientos futuros del producto, aun cuando el producto trate de reponer este déficit de agua con riego suplementario, posterior a la falta de agua mencionada (F.D.A, 1992).

En el caso de cebolla seca o de bulbos maduros, el riego debe interrumpirse cuando se inicia la caída del follaje de las plantas, ya que, con esa interrupción de agua, se puede lograr una maduración más rápida y uniforme de los bulbos, además de un mejor secado de las capas o túnicas externas que protegen al bulbo.

Los requerimientos de agua, varía según el tipo de cebolla a cultivar, siendo mayores en la cebolla seca o de guarda.

En trabajos realizados en Perú, en el ministerio de agricultura y riego (MINAGRI), con cebolla, se recomienda regar entre el 50 % y 80 % de la E.T.P (Evapotranspiración Potencial) durante el período previo a la formación del bulbo y durante el desarrollo de éste, se debe regar al 100 por ciento de la E.T.P.

Las mismas experiencias arriba mencionadas, efectuadas en Perú, muestran que un cultivo con un rendimiento de casi 50 toneladas por hectárea el consumo medio diario era de 4.2 mm de agua durante el crecimiento de las raíces y el follaje pero el consumo aumentaba a 5 mm durante el desarrollo del bulbo.

2.9.4.1. Coeficiente de cultivo en cebolla

El coeficiente de cultivo (K_c) representa el efecto del cultivo sobre el proceso de transpiración. Por tanto, el K_c depende de las características del cultivo: especie, variedad, grado de desarrollo, arquitectura foliar, etc. Para el cálculo del K_c , la FAO recomienda dividir el ciclo del cultivo en cuatro fases fenológicas:

- a) inicial, desde la siembra o trasplante del cultivo hasta que éste cubre aproximadamente un 10 % de la superficie del suelo.

- b) desarrollo, desde el fin de la fase inicial hasta que el cultivo cubre aproximadamente un 70-80 % del suelo (es decir, hasta que se alcance una cobertura efectiva del suelo).
- c) mediados, desde el fin de la fase de desarrollo hasta que el cultivo muestra los primeros síntomas de senescencia.
- d) final, desde el final de la fase de mediados hasta que se alcanza la madurez fisiológica del cultivo o, en cultivos hortícolas, hasta la fecha de cosecha.

Durante la fase inicial, la mayor parte de la evapotranspiración se debe a la evaporación de agua del suelo; por ello, los valores del Kc en la fase inicial suelen ser relativamente bajos (MINAGRI y DGCA, 2013).

Durante la fase de desarrollo, la transpiración se va convirtiendo en preponderante y el Kc aumenta hasta que se alcanza un máximo durante la fase de mediados (Figura 7). Por último, durante la fase final el Kc va disminuyendo hasta alcanzar la fecha de cosecha o de madurez fisiológica. Cuadro 7. Lista valores típicos de Kc para distintos cultivos hortícolas para unas prácticas culturales estándar y unas condiciones climáticas subhúmedas (humedad relativa mínima de alrededor de 45 % y velocidad media del viento de 2 m/s).

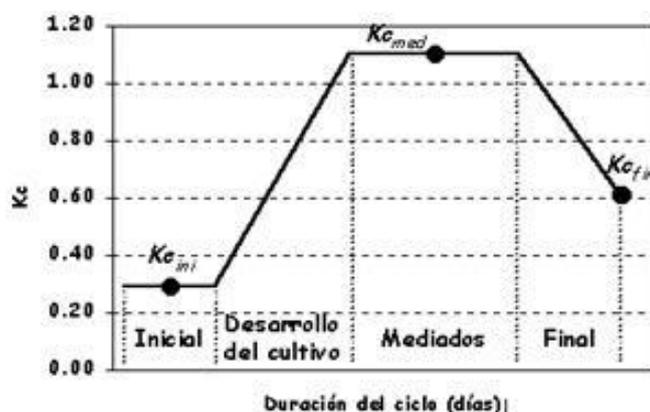


Figura 7: Curva típica de coeficiente de cultivo en duración en ciclos.

Tabla N° 7: Valores de los coeficientes típicos de Kc en las fases inicial (K_{cini}), de mediados (K_{cmed}) y final (K_{cfin}).

Cultivo	Estado Inicial	Estado de max. Crecim.	Estado intermedio	Estado final
Cebolla Verde	0.5	0.7	1.00	1.00
Cebolla seca	0.5	0.75	1.05	0.85

Fuente: (Allen et al, 1998).

2.10. AUTOMATIZACIÓN CON ARDUINO

2.10.1. Plataforma electrónica de arduino "open-source"

Arduino UNO, es de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware libre. Es decir, su uso es de forma sencilla para realizar proyectos interactivos. Arduino es tanto software como hardware, y aquí viene la primera diferencia con otras placas y microcontroladores (Enríquez, 2009).

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, por su sencillez y bajo costo.

El nuevo Arduino UNO R3 utiliza el microcontrolador ATmega328. En adición a todas las características de las tarjetas anteriores, el Arduino Uno utiliza el ATmega16U2 para el manejo de USB en lugar del 8U2 (o del FTDI encontrado en generaciones previas). Esto permite ratios de transferencia más rápidos y más memoria. No se necesitan drivers para Linux o Mac (el archivo inf para Windows es necesario y está incluido en el IDE de Arduino) (Enríquez, 2009).

La tarjeta Arduino Uno R3 tiene pins SDA y SCL cercanos al AREF. Es más, hay dos nuevos pines cerca del pin RESET. Uno es el IOREF, que permite a los shields adaptarse al voltaje brindado por la tarjeta. El otro pin no se encuentra conectado y está reservado para propósitos futuros. La tarjeta trabaja con todos los shields existentes y podrá adaptarse con los nuevos shields utilizando esos pines adicionales.

El Arduino es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino Uno R3 puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de tu computadora (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP). El IDE open-source puede ser descargado gratuitamente (actualmente para Mac OS X, Windows y Linux) (Herrador, 2009).

Esta plataforma requiere la carpeta de drivers Arduino 1.0 para poder instalarlo de forma apropiada en algunos computadores. Hemos testeado y confirmado que el Arduino Uno R3 puede ser programado en versiones anteriores del IDE.

2.10.2. Características generales de la placa

Se trata de unas placas open hardware por lo que su diseño es de libre distribución y utilización, que incluso podemos construirlas nosotros mismos (Herrador, 2009).



Figura 8: Aspecto de la placa arduino UNO (Unipe, Bordignon, 2015).

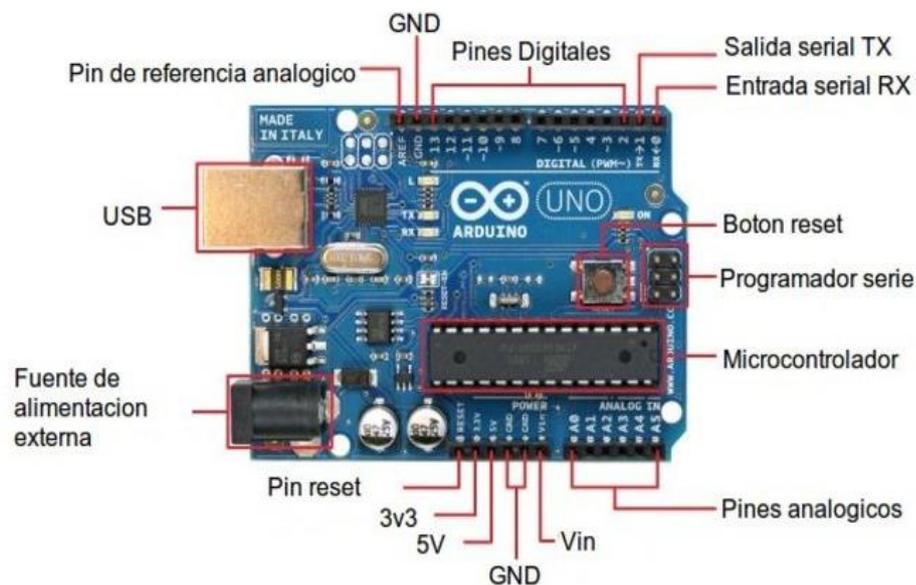


Figura 9: Características y partes de placa arduino UNO.

Características arduino Uno

- Microcontroladores = ATmega328
- Voltaje de funcionamiento = 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) = 7-12V

Voltaje de entrada (límites)	= 6-20V
Pines E / S digitales	= 14 (de los cuales 6 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	= 6
DC Corriente por I / O Pin	= 40 mA
Corriente CC para Pin 3.3V	= 50 mA
Memoria Flash	= 32 KB (ATmega328) y 0,5 KB utilizado por gestor de arranque
SRAM	= 2 KB (ATmega328)
EEPROM	= 1 KB (ATmega328)

2.11. PREPARACIÓN DEL ENTORNO DESCARGAR E INSTALAR ARDUINO

Ingresa a esta página de Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/Software>) el sistema operativo donde se instalará en Windows.



Figura 10: ventana de descarga de software arduino UNO.

2.11.1. Ejecuta el IDE

Se debe de usar el cable USB conecta tu Arduino a la computadora. y se busca en el escritorio el acceso directo al IDE Arduino  y dale doble clic. Luego verifica que en Herramientas en el Puerto se encuentre seleccionado el puerto COM que tiene conectado el Arduino. Aparecerá entre paréntesis “Arduino Uno”, como muestra la imagen:

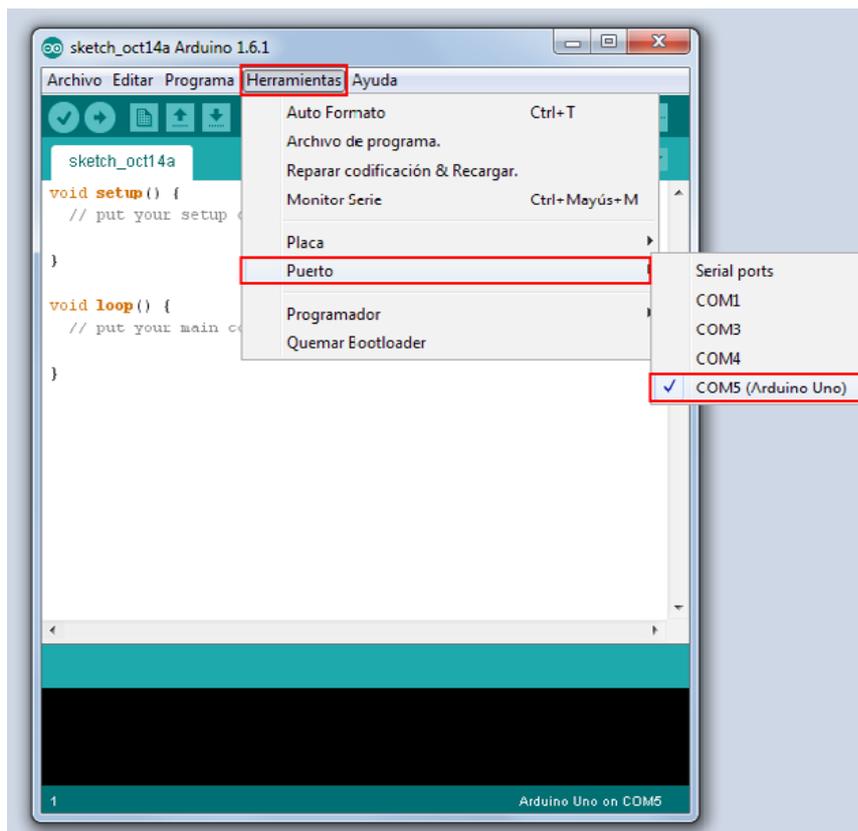


Figura 11: IDE de conexión puerto COM.

Toda una programación de hace la copia y pega este código en la pantalla principal del Software de Arduino UNO.

```

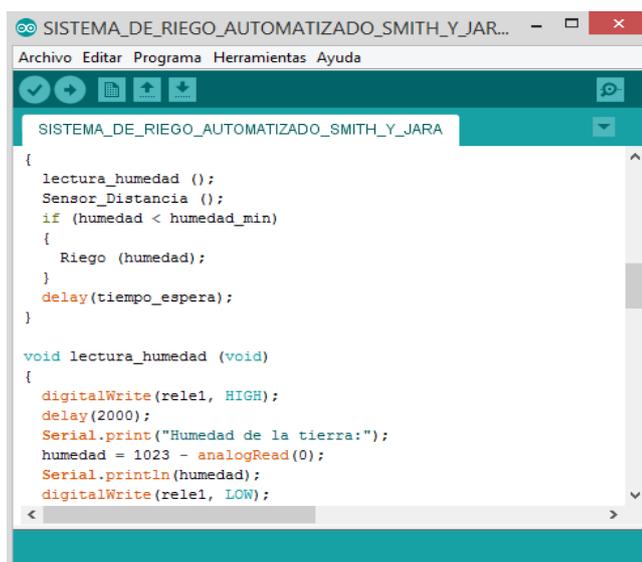
/*PROGRAMACION BASICA DE SENSOR
DE HUMEDAD-TESIS-UNA-FIA*/
Void setup()
{
Serial.begin(57600); // NUMERO DE BITS.
}
void loop()
{
Serial.print("Moisture Sensor Value:");
Serial.println( (1023 - analogRead(0)));
delay(1000); // PROGRAMACION.
}

```

Figura 12: Tipo de programación en C/C++.

Luego de hacer el armado de código C/C++, Compila el código y lo carga en la junta configurado. Ver la posibilidad de subir los detalles a continuación. Si está utilizando un programador externo con su junta, puede mantener pulsada la tecla "Shift" en su ordenador cuando se utiliza este icono. El texto cambiará a "Subir el uso de programador"

Como muestra la siguiente imagen:



```

SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SMITH_Y_JAR...
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SMITH_Y_JARA
{
  lectura_humedad ();
  Sensor_Distancia ();
  if (humedad < humedad_min)
  {
    Riego (humedad);
  }
  delay(tiempo_espera);
}

void lectura_humedad (void)
{
  digitalWrite(rele1, HIGH);
  delay(2000);
  Serial.print("Humedad de la tierra:");
  humedad = 1023 - analogRead(0);
  Serial.println(humedad);
  digitalWrite(rele1, LOW);
}

```

Figura 13: Muestra de programación de sensor de humedad.

2.12. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE

2.12.1. Estructura del lenguaje de programación de arduino UNO

Un programa arduino puede correr en dos partes:

- void setup()
- void loop()

Setup () es la preparación, y loop () es la ejecución. En la sección setup(), que se encuentra siempre al comienzo de tu programa, se configuran los pinModes, se inicializa la comunicación serial, etc. En la sección loop () se encuentra el código que será ejecutado, como lectura de entradas, disparo de salidas, etc (Gorka, 2012).

- Variable Declaration
- Function Declaration

Estructuras de control

- if
- if...else
- for
- switch case
- while
- do... while
- continue

- return

Sintaxis

- ; (punto y coma)
- {} (paréntesis de corchetes)
- // (comentario simple de línea)
- /* */ (comentario multilínea)

Operadores aritméticos

- plus (adición)
- - (sustracción)
- * (multiplicación)
- / (división)
- % (módulo)

Operadores de comparación

- == (igual a)
- != (distinto a)
- < (menor que)
- > (mayor que)
- <= (menor o igual que)
- >= (mayor o igual que)

Operadores compuestos

- ++ (incremento)
- -- (decremento)
- += (adición compuesta)
- -= (sustracción compuesta)
- *= (multiplicación compuesta)
- /= (división compuesta)

2.12.2. Estructura de variables de programación

Las variables con expresiones que puedes usar en programas para guardar valores, como lectura de sensores desde un pin análogo (Gorka, 2012).

Las Constantes son valores particulares con significado especial

- HIGH | LOW
- INPUT | OUTPUT
- true | false
- Integer Constants

Tipos de datos las variables pueden tener varios tipos de datos, los cuales se describen a continuación.

- boolean
- byte
- int
- unsigned int
- long
- unsigned long
- double
- string
- array

2.12.3. Estructura de funciones

Entrada/Salida digital

- pinMode(pin, modo)
- donde modo=INPUT o modo=OUTPUT
- digitalWrite(pin, valor)
- int digitalRead(pin)

Entrada/Salida analógica

- int analogRead(pin)
- analogWrite(pin, value) – PWM

Entrada/Salida avanzado

- shiftOut(dataPin, clockPin, bitOrder, valor)
- unsigned long pulseIn(pin, valor)

Tiempo

- unsigned long millis()
- delay(ms)
- delayMicroseconds(us)

Matemáticas

- min(x, y)
- max(x, y)
- abs(x)
- constrain(x, a, b)

Números al azar

- randomSeed(seed)

- `long random(max)`
- `long random(min, max)`

2.12.4. Estructura de comunicación serial

Se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino y un computador u otro dispositivo. Esta comunicación sucede a través de la conexión serial de la placa Arduino o USB y sobre los pines digitales 0 (RX) ó 1 (TX). Luego, si usas estas funciones, no puedes tampoco usar estos pines como entrada o salida digital (Gorka, 2012).

- `Serial.begin(velocidad)`
- `int Serial.available()`
- `int Serial.read()`
- `Serial.flush()`
- `Serial.print(data)`
- `Serial.println(data)`

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación del área de estudio

El área de apoyo de la presente Investigación se ubica, específicamente en el centro poblado de Ichu, sector Ojherani. Con ubicación geográfica de latitud, 15° 52' 42.1" y longitud, 69° 56' 31.5" con una altitud de 3829 m.s.n.m. en el departamento, provincia y distrito de Puno.

El Área de la Investigación corresponde al tipo de clima Tundra Seca, Se ubica encima de los 3824 m.s.n.m. La temperatura media anual fluctúa entre 3°C y 10°C. La temperatura Máxima es: 20°C y mínima: -1°C.

La humedad media relativa varía entre 45 y 54 % el viento predominante es de este a oeste con velocidades de 1.75 m/seg. En promedio.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados para el proyecto de tesis

3.2.1. Materiales y equipos de gabinete:

- Computadora Core i7
- Impresora b/n, color
- Cámara fotográfica Canon 16 mega pixeles
- Memoria USB-8GB
- Escáner y útiles de escritorio

3.2.2. Equipos y materiales del sistema de bombeo:

- Panel Fotovoltaico solar
- Regulador de carga
- Cables de tensión fotovoltaica 12V.
- Bomba solar sumergible
- Tanque de Agua 1.100lt
- Estructura de acero
- Batería CC

- Tuvo de PVC
- Codos de PVC
- Filtros
- Goteros

3.2.3. Equipos y materiales del sistema automatizado:

- Arduino UNO R3
- Caja de cristal protector de Arduino
- Sensor de humedad hidrómetro
- Electroválvula
- Sensor de nivel de agua de tanque Ultrasonido HC-SR04
- Relay 5v de 2 canales
- Potenciómetro LM-393
- Cable jumper MM y MH

3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

3.3.1. Diseño de prototipo fotovoltaico

El prototipo Fotovoltaico a ser diseñado y construido es un sistema automatizado de bombeo de agua para riego de cultivos específicamente Cebolla, auto sustentado, el cual está enfocado principalmente para una zona rural, en las cuales, ya que siempre hay un acceso limitado a la energía eléctrica pero hay nuevas alternativas como la de esta investigación se plantea el aprovechamiento de la incidencia de rayos solares, por lo que se ha aprovechado esta característica natural de la posición geográfica de nuestra zona de estudio para la obtención de energía fotovoltaica, la cual se utilizará para alimentar el sistema.

El sistema consta de tres partes fundamentales:

- Alimentación del sistema por paneles solares.
- Bombeo y almacenamiento.
- Control de la planta y automatización del riego con Arduino Uno y Sensores.

3.4. DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO

3.4.1. Cálculo de evapotranspiración potencial

CUADRO DE INFORMACION METEOROLOGICA RESUMIDA

TESISTAS	: Bach. JOHNNY JARA RAMOS
	: Bach. JHON SMITH RAMOS CARBAJAL

INFORMACION GEOGRAFICA:

ESTACIÓN : ICHU

LATITUD : 15 ° 52 ' 19.0 " SUR

LONGITUD : 69 ° 55 ' 16.0 " OESTE

ALTITUD : 3829 m.s.n.m.

INFORMACION METEREOLÓGICA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura media Men. °C	10.30	10.23	10.02	9.65	8.28	7.00	6.72	7.95	9.17	10.12	10.66	10.62
Precipitación (mm)	145.62	134.30	107.76	43.12	5.90	2.37	1.63	7.97	17.67	35.46	52.99	95.02
Humedad Relativa %	63.65	64.45	64.51	54.45	44.51	43.82	43.94	44.06	44.24	46.18	46.22	54.08
Veloc. Viento (m/s)	2.19	2.12	2.04	2.02	1.97	2.21	2.39	2.59	2.64	2.59	2.53	2.45
Horas de Sol (horas)	6.44	6.17	7.78	9.07	8.13	7.29	8.19	8.49	9.83	8.12	8.43	6.11

3.4.1.1. Métodos de Hargraves para E_{Tp} - en base a la temperatura

HALLANDO LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ETP

METODO DE HARGRAVES - EN BASE A LA TEMPERATURA

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE$$

$$CE = 1.00 + 0.04 \frac{E}{2000}$$

$$CH = 0.166(100 - HR)^{\frac{1}{2}} ; \text{para } HR > 64\%$$

$$CH = 1.00 ; \text{para } HR < 64\%$$

LATITUD ABSOLUTA : 15.87 Para usar la tabla de Factor de Latitud

ALTITUD PROMEDIO : 3829 Para la Corrección por Altitud

	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Número del Mes :	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Factor de Latitud MF	2.119	2.499	2.607	2.765	2.730	2.337	2.319	1.917	1.670	1.469	1.581	1.842
Temp. Media en °F TM	48.51	50.22	51.19	51.12	50.54	50.41	50.04	49.37	46.90	44.60	44.10	46.31
Fact. Correc. Humed. CH	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990	0.989	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fact. Correc. Altitud CE	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077
ETP (mm/mes)	110.6	135.1	143.7	152.2	148.6	125.6	123.5	101.9	84.3	70.5	75.0	91.8
ETP (mm/día)	3.69	4.36	4.79	4.91	4.79	4.48	3.99	3.40	2.72	2.35	2.42	2.96

3.4.1.2. Hargraves para ETP - en base a la radiación

METODO DE HARGRAVES - EN BASE A LA RADIACIÓN

$$ETP = 0.0075 \times RSM \times TMF$$

$$RSM = 0.0075 \times RMM \times S$$

$$S = \frac{n}{N} \times 100$$

$$RMM = Ra \times DM$$

LATTITUD ABSOLUTA : 15.87 Para usar la tabla de Factor de Latitud
 ALTITUD PROMEDIO : 3829 Para la Corrección por Altitud

	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Número del Mes :	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Horas de Sol n	9.83	8.12	8.43	6.11	6.44	6.17	7.78	9.07	8.30	7.29	8.19	8.49
Horas de Insolación N	12.00	12.52	12.85	13.05	12.95	12.63	12.22	11.78	11.37	11.15	11.25	11.58
Porcentaje Horas Ins. S	81.9%	64.9%	65.6%	46.8%	49.7%	48.8%	63.7%	77.0%	73.0%	65.4%	72.8%	73.3%
Radiación Extraterrestre Ra	14.31	15.80	16.69	16.79	16.89	16.40	15.21	13.51	11.73	10.83	11.23	12.62
Días del Mes	31	30	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
Rad. Extrat. Equivalente RMM	443.70	474.00	500.61	520.40	523.50	459.20	471.40	405.39	363.51	324.78	348.01	391.20
Rad. Solar Equiv de Evap Mens. RSM	301.19	286.33	304.08	267.04	276.85	240.67	282.13	266.76	232.98	196.98	222.72	251.20
ETP (mm/mes)	109.57	107.84	116.74	102.38	104.94	91.00	105.87	98.77	81.96	65.89	73.66	87.25
ETP (mm/día)	3.65	3.48	3.89	3.30	3.39	3.25	3.42	3.29	2.64	2.20	2.38	2.81
ETP PROMEDIO (mm/mes)	110.11	121.48	130.21	127.27	126.75	108.28	114.71	100.33	83.15	68.20	74.35	89.54
ETP PROMEDIO (mm/día)	3.67	3.92	4.34	4.11	4.09	3.87	3.70	3.34	2.68	2.27	2.40	2.89

ETP máxima = 4.34 mm/día

3.4.2. Determinación del Kc del cultivo de cebolla

DETERMINACION DEL Kc DEL CULTIVO

"Kc" PARA EL CULTIVO: CEBOLLA

ETP en el mes Inicial o de Ciembra: ETP = 4.34 mm/día

Para un Intervalo de riego inicial de: 2.00 días Ok!

Kc = 0.50 para la etapa inicial

valores de cálculo y búsqueda 1 4.00

Humedad. Relativa Mínima HR %: HR = 43.82 %

Velocidad del Viento Promedio Vv: Vv = 2.64 m/seg

Etapas Periodo Vegetat.	Inicial	Desar.	Medio	Medio	Final	Total
Duración (días)	30	31	30	31	30	152
Kc	0.50	0.75	1.05	1.05	0.85	-----

CURVA Kc DEL CULTIVO: CEBOLLA

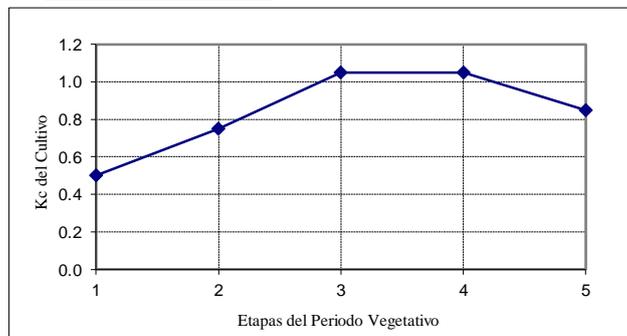


Figura 14: cálculo de Kc de cultivo de investigación de campo.

3.4.3. Determinación de requerimiento de riego

Estimar las necesidades hídricas del cultivo y el modo de aplicar agua para mantener el nivel de humedad adecuado en el suelo para el óptimo desarrollo del cultivo.

El Requerimientos de riego, que sirve para conocer el caudal necesario, tiempo de riego, intervalo y láminas de riego. Estos datos se emplearán para el diseño hidráulico y serán necesarios para la operación del sistema.

3.4.3.1. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Evapotranspiración del cultivo es el requerimiento hídrico del cultivo, el cual se basa en la evapotranspiración referencial y el coeficiente de cultivo y se obtiene mediante la fórmula:

$$ET_c = ET_p \times K_c \quad (28)$$

Dónde:

$$ET_c = 4.34 \times 1.05$$

$$ET_c = 4.56 \text{ mm/día}$$

3.4.3.2. Evapotranspiración de gotero (ET_g)

Debido a que se hará riego por goteo, ahora debemos ajustar el humedecimiento a riego localizado, llamado evapotranspiración de gotero (ET_g), lo que se hace por medio de la fórmula:

$$ET_g = ET_c \times PAR \quad (29)$$

Con este método de riego sólo se humedece un 60% de la superficie del cultivo, esto se conoce como porcentaje de área bajo riego (PAR). Para nuestro ejemplo, aplicando la fórmula se obtiene que:

$$ET_g = 4.56 \times 0.50$$

$$ET_g = 2.28 \text{ mm/día}$$

3.4.3.3.Lámina de riego (Lr)

Como las plantas toman el agua del suelo, los requerimientos hídricos se aplicarán a través del riego, por lo que se hace necesario calcular la lámina de riego que se aplicará al suelo. Ahora calculamos la lámina de riego (Lr) que depende del tipo de suelo y profundidad de las raíces del cultivo, cuyas relaciones se expresan mediante la siguiente formula:

$$Lr = (CC - PMP)/100 \times Pr \times Da \quad (30)$$

Dónde:

- CC = capacidad de campo
 PMP = punto de marchitez permanente
 Pr = profundidad de raíz de cebolla
 Da = densidad aparente

$$Lr = (06 - 2)/100 \times 30 \times 1.5$$

$$Lr = 1.8 \text{ cm} \quad \text{o} \quad 18 \text{ mm}$$

3.4.3.4.Lámina neta de riego (Ln)

Ahora estimamos la lámina neta de riego mediante la expresión:

$$Ln = ETg \times Ir \quad (31)$$

Dónde:

Ir = intervalo de riego

$$Ln = 2.28 \times 03$$

$$Ln = 6.84\text{mm}$$

Es la humedad suficiente para 3 días de consumo del cultivo. Note que 6.84mm es aproximadamente el 37.98% de la lámina de riego (Lr).

3.4.3.5.Lámina bruta de riego (Lb)

Se ha establecido este valor en $Ef=0.90$, por se riego por goteo el más bajo porcentaje.

$$Lb = Ln/Ef \quad (32)$$

$$Lb = 6.84/0.90$$

$$Lb = 7.60\text{mm}$$

Este será el valor de la lámina de agua que aplicaremos al suelo mediante el riego, con el fin de restituir la capacidad de campo del mismo.

3.4.3.6. Intensidad de la aplicación (Ia)

En este momento conocemos la lámina bruta de riego (Lb), cuyo valor indica la humedad necesaria para restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un período de tiempo. No obstante dicha lámina se aplica a través del sistema de riego, por lo que necesitamos conocer la intensidad de la aplicación (Ia), dato que está dado en mm/hora).

$$Ia = qe / (Sl \times Sg) \quad (33)$$

Dónde:

qe = caudal del gotero (4l/hora)

Sl = separación lateral

Se = separación de goteros

$$Ia = 4 / (0.8 \times 0.6)$$

$$Ia = 8.33\text{mm/hora}$$

3.4.3.7. Tiempo de riego (T)

Ahora, para operar el sistema necesitamos conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (Lb) y se hace mediante la expresión:

$$T = Lb / (Ia) \quad (34)$$

$$T = 7.60 / 8.33$$

$$T = 0.91 \text{ Horas}$$

Redondeando es.

$$T = 1 \text{ Horas}$$

Área del sector de riego de parcela de proyecto (A)

$$A = 200 \text{ m}^2 = 0.02 \text{ Hectareas}$$

3.4.3.8. Volumen en el sector de riego

$$\text{Vol} = A \times Lb \quad (35)$$

Dónde:

Vol = $A \times Lb$:

Vol = volumen en Litros de 03 días de riego

A = el área (m²)

Lb = lámina bruta de riego en mm.

$$\text{Vol} = 200 \text{ m}^3 \times 7.60$$

$$\text{Vol} = 1519 \text{ Litros}$$

Esto es el volumen necesario para satisfacer 3 días de demanda hídrica del cultivo. Ósea dividido entre tres y veo que por día el volumen de agua será de 506.33lt.

3.4.3.9. Caudal del proyecto

Finalmente calculamos el caudal del proyecto, mediante la expresión:

$$Q = \text{vol} / (T \times 3600) \quad (36)$$

Donde

Q = caudal en lt/s.

Vol = volumen en Litros

T = tiempo en Horas

$$Q = 1519 / (0.91 \times 3600)$$

$$Q = 0.46 \text{ litros/seg}$$

Este valor representa el caudal necesario para abastecer un sector de riego y a partir del cual se dimensionará la tubería a utilizar.

3.4.4. Diseño agronómico y el diseño hidráulico de proyecto

El diseño agronómico depende del cultivo, el tipo de siembra o marco de plantación y de la profundidad de mojado, utilizando esta información para determinar el número de emisores o goteros por planta o metro cuadrado y la disposición de laterales.

Ahora el diseño hidráulico permite determinar los diámetros más apropiados de la red de distribución.

Tabla N° 8: Datos de campo de sistema de riego por goteo para cebolla.

Superficie de parcela	200m ²
Textura del suelos	Gruesa (suelo arenoso)
Evapotranspiración diaria máxima	4.34 mm/día
Pendiente del terreno	SN-S =-0.01% (bajada) SE-W =-0.04% (bajada)

3.4.5. Diseño agronómico del sistema

Para hacer este cálculo se selecciona un gotero existente en el mercado para la investigación.

Datos de Gotero:

- q = 04 lt/hora (caudal de gotero)
h = 7.3 m (presión nominal)
fe = 0.1 m (coeficiente de perdida de cotero)

$$q = 1.267 \times h^{-0.5}$$

- CV = 4% (Coeficiente de variación en la construcción del gotero)
CU = 90% (Coeficiente de uniformidad de diseño)

Por lo tanto, el valor de CU se maneja como constante para todos los diseños. El valor de CV es de catálogo de fabricación del gotero si no lo tuviera se coloca 3%.

Tabla N° 9: Datos de cultivo.

Cultivo	Cebolla
Separación entre surco	0.8m
Profundidad de raíces	30cm
Dosis de riego en periodo alto (Etc)	4.56mm/día = 4.56 lt/m2/día.

Intervalo de riego	1 a 3 días
---------------------------	------------

Primeramente, determinar el porcentaje de suelos humedecido, de acuerdo con el caudal del gotero, la textura del suelo, la separación de laterales y la separación de emisores.

Calculo de porcentaje de suelo humedecido en relación con el caudal del gotero, textura y separación entre laterales.

3.4.6. Cálculo de la separación de goteros

Tabla N° 10: tabla propuesta por karmeli-keller puede ser usada en el cálculo de la separación de goteros cuando se utiliza un sistema de riego por goteo.

CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN DE GOTEROS															
SEPARACIÓN ENTRE LAS LÍNEAS DE GOTEROS (m)	G: textura gruesa (suelo arenoso) M: textura media (suelo franco) F: textura fina (suelo arcilloso)														
	Caudal de emisión (lt/h)														
	< 1,5			1,5-3			3-6			6-12			> 12		
	Separación de los goteros (m) y tipo de suelo*														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0	
Porcentaje de suelo mojado hasta 30 cm de profundidad (%)															
0,8	38	88	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,0	33	70	10	40	80	10	80	10	10	10	10	10	10	10	
			0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2	25	58	92	33	67	10	67	10	10	10	10	10	10	10	
					0			0	0	0	0	0	0	0	
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	10	80	10	10	10	10	
								0	0	0	0	0	0	0	
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	10	80	10	
												0	0	0	
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	
														0	
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	

Fuente: <http://elriego.com/informacion-tecnica/tablas>.

En nuestro diseño, tenemos un gotero de 4 lt/h y el suelo es de textura gruesa (suelos arenoso), verificamos en la tabla la separación lateral será de $(S_l) = 0.8\text{m}$ y la separación entre goteros de 0.6m, lo que nos dará un porcentaje de suelo mojado de 100% empírico.

Como resultado del diseño agronómico podemos ver:

Separación de laterales $(S_l) = 0.8\text{m}$

Separación de goteros $(S_g) = 0.6\text{m}$

Caudal de gotero $(q_g) = 4\text{lt/hora}$

Dosis por aplicar $(Dp) = 4.56\text{mm/día o } 4.56 \text{ lt/m}^2/\text{día}$

3.4.7. Diseño hidráulico

Trabajaremos con una subunidad de riego para realizar el diseño hidráulico del sistema, se observa que las líneas laterales tienen una medida de 20m, mientras que la línea principal tiene una longitud de 10m. Por lo tanto, solo queda pendiente definir el diámetro interno de ambas líneas.

3.4.7.1. Calculamos la pérdida de carga permisible de la subunidad (PCP)

Usamos la siguiente ecuación:

$$\text{PCP} = 2.5 (h - h_{\min})$$

h = presión nominal o media de operación de gotero.

h_{\min} = presión mínima de operación, se calcula para caudal mínimo.

$$h = 7.3 \text{ m}$$

Se calcula q_{\min} con la siguiente ecuación:

e = número de goteros por planta

$$q_{\min} = \frac{\text{CU} \times q_g}{100 \left[1 - \left(\frac{1.27 \times \text{CV}}{\sqrt{e}} \right) \right]}$$

$$q_{\min} = \frac{90 \times 4}{100 \left[1 - \left(\frac{1.27 \times 0.04}{\sqrt{1}} \right) \right]}$$

$$q_{\min} = 3.42 \text{ lt/hora}$$

Se calcula h_{min} para el caudal mínimo (q_{min}) utilizando la ecuación del gotero:

$$q = 1.267 \times h^{-0.5}$$

Según la tabla de fabricación la fórmula del gotero es

$$q = K \times h^x$$

Despejamos h .

$$h_{min} = \left(\frac{q_{min}}{1.267} \right)^{\frac{1}{0.5}}$$

$$h_{min} = \left(\frac{3.42}{1.267} \right)^{\frac{1}{0.5}}$$

$$h_{min} = 7.27m$$

Se calcula la pérdida de carga permisible para la subunidad

$$PCP = 2.5 (7.3 - 7.27)$$

$$PCP = 0.065m$$

La PCP de la sub unidad se repartirá de manera diferente, de tal manera que se le asignará a la tubería principal la mayor parte (65%) debido a que maneja un caudal mayor, por tanto, para la tubería lateral el (35%). Los valores son:

$$\Delta hL = 0.35(PCP) \dots \dots \text{Lateral}$$

$$\Delta hL = 0.35(0.065)$$

$$\Delta hL = 0.02m$$

$$\Delta hP = 0.65(PCP) \dots \dots \text{Principal}$$

$$\Delta hP = 0.65(0.065)$$

$$\Delta hP = 0.04m$$

3.4.7.2. Diseño de tubería lateral

Para el diseño se propone un diámetro interior (D_i) y se calcula la Δh sea menor o igual que Δh_L

Datos:

$$q_g = 4 \text{ lt/h}$$

$$h = 7.3 \text{ m}$$

$$S_g = 0.6 \text{ m}$$

$$D_i = ?$$

$$h_L = ?$$

$$\Delta h = ?$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$f_e = 0.1 \text{ m}$$

$$S = 0.04\%$$

Se propone un $D_i = 17.4 \text{ mm}$. Tuberías Nikoll. (NTP 399.002)

Numero de emisores por lateral

$$n = L / S_g$$

$$n = 20/0.6$$

$$n = 33 \text{ emisores por lateral}$$

Calculo del caudal en tubería lateral

$$q_l = Ne(q)$$

$$q_l = 33(4)$$

$$q_l = 133.0 \text{ lt/hora}$$

$$q_l = 0.04 \text{ lt/seg}$$

Dónde:

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{q_l^{1.75}}{D_i^{4.75}} \right)$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{(0.04)^{1.75}}{(17.4)^{4.75}} \right)$$

$$J = 0.32\text{m}$$

Luego.

$$J^1 = J \left(\frac{S_e + f_e}{S_e} \right)$$

$$J^1 = 0.32 \left(\frac{0.6 + 0.1}{0.6} \right)$$

$$J^1 = 0.37\text{m}$$

Ahora trabajamos con el cuadro de coeficiente de Christians en para salidas múltiples.

$$F = 0.365$$

$$hf = J \times F \times L / 100$$

$$hf = 0.37 \times 0.365 \times 20 / 100$$

$$hf = 0.03\text{m}$$

Luego:

$$hL = h \times 3/4(hf) \times 1/2(\Delta EL)$$

$$\Delta EL = sL / 100$$

De donde verifica que:

ΔEL = diferencia de cota entre extremos de la tubería (m)

s = pendiente (%)

L = longitud del lateral

$$hL = 7.3 \times 3/4(0.03) \times 1/2(0.04) \left(\frac{20}{100} \right)$$

$$hL = 7.32\text{m}$$

Prosigo:

$$h_n = h_L - (h_f + \Delta EL)$$

$$h_n = 7.32 - (0.03 + 0.008)$$

$$h_n = 7.29\text{m}$$

$$\Delta h = h_L - h_n$$

$$\Delta h = 7.32 - 7.29$$

$$\Delta h = 0.03\text{m}$$

Entonces como $\Delta h=0.03\text{m}$ es aproximadamente igual a $\Delta h_L = 0.02\text{m}$ se acepta el $D_i=17.4\text{mm}$ para la tubería lateral.

3.4.7.3. Diseño de tubería principal o distribuidor

Proponemos un diámetro interno (D_i) aceptaremos aquel en el cual el Δh sea menor o igual que Δh_T

DATOS:

$$q_L = 133 \text{ lt/hora}$$

$$h_L = 7.32\text{m}$$

$$SL = 0.8\text{m}$$

$$L = 05\text{m}$$

$$f_e = 0.1\text{m}$$

$$s = 0.01\%$$

$$\Delta h = ?$$

$$H_T = ?$$

$$D_i = ?$$

Se propone un diámetro de $D_i = 29.4\text{mm}$. Tuberías Nikoll. (NTP 399.002)

Numero de laterales que salen de distribuidos

$$N = \left(\frac{L}{SL} \right)$$

$$N = \left(\frac{05}{0.8} \right)$$

$N = 06 \approx$ Donde en toda la parcela sera 12 laterales sub area 1 Y sub area 2

$$q_p = N(ql)$$

Caudal de tubería principal

$$q_p = 06(133)$$

$$q_p = 833\text{lt/hora} \cong 0.23\text{lt/seg}$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{q_p^{1.75}}{D_i^{4.75}} \right)$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{(0.23)^{1.75}}{(29.4)^{4.75}} \right)$$

$$J = 0.65\text{m}$$

Luego:

$$J^1 = J \left(\frac{SL + fe}{SL} \right)$$

$$J^1 = 0.65 \left(\frac{0.8 + 0.1}{0.8} \right)$$

$$J^1 = 0.73\text{m}$$

$F = 0.376$ coeficiente de christians (tabla)

$$hf = J \times F \times L / 100$$

$$hf = 0.73 \times 0.394 \times 05 / 100$$

$$hf = 0.014\text{m}$$

$$hP = hLx \frac{3}{4}hf + \frac{1}{2}\Delta EL$$

$$hP = 7.32 + \frac{3}{4}(0.014) + \frac{1}{2}(0.0005)$$

$$hP = 7.34\text{m}$$

$$hn = hP - (hf + \Delta EL)$$

$$hn = 7.34 - (0.014 + 0.0005)$$

$$hn = 7.32\text{m}$$

$$\Delta h = hP - h_n$$

$$\Delta h = 7.34 - 7.32$$

$$\Delta h = 0.01\text{m}$$

Entonces vemos que Δh es menor que ΔhP , se acepta el diámetro de la tubería principal.

3.4.7.4. Límites de utilización del proyecto

En este punto se define el tiempo de riego (T_r) y las unidades operacionales, las cuales permitirán diseñar las tuberías principales y el cabezal. Los cálculos son los siguientes:

Tiempo de riego (T_r)

$$T_r = \frac{D_p}{e \times q}$$

$$T_r = \frac{4.56}{1 \times 4}$$

$$T_r = 1.14 \text{ horas/día}$$

Tiempo disponible para riego (T_{dr})

$$T_{dr} = 1.5 \text{ horas}$$

Se determina el número de unidades operacionales (N)

$$N = \frac{T_{dr}}{T_r}$$

$$N = \frac{1.5}{1.14}$$

$N = 01$ una unidad operacional o un área de riego.

Se calcula el caudal ajustado del gotero, En este caso no es necesario ya que no hubo cambio de tiempo de aplicación (T_r) y las unidades operacionales quedaron exactas.

3.4.7.5. Calcularemos el caudal del sistema

$$Q_s = 10 \left(\frac{A}{N} \right) \left(\frac{e \times q}{S_p \times S_r} \right)$$

Q_s = caudal del sistema (m³/h)

A = Superficie total a regar (ha)

S_p = separación entre plantas en una misma hilera (m)

S_r = separación entre hileras de planta (m)

$$Q_s = 10 \left(\frac{0.02}{1} \right) \left(\frac{1 \times 4}{0.8 \times 0.6} \right)$$

$$Q_s = 1.67 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_s = 0.46 \text{ lt/seg}$$

3.5. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL PROYECTO PANELES Y BOMBA

Es necesario, para establecer el tamaño del arreglo fotovoltaico y el tipo de bomba que se requiere para el proyecto, realizar el dimensionamiento del sistema.

3.5.1. Diseño de proyecto

Para este proyecto se consideró un fundo en la zona de Ichu, se tomaron en cuenta el número de habitantes de la vivienda (adultos y niños), la cantidad de animales que conviven con ellos y la cantidad de agua requerida para riego de cebolla. Este dimensionamiento se puede ver en el Tabla 11.

Tabla N° 11: Cantidad de agua en litros por día para proyecto de investigación.

CONSUMIDORES DE AGUA EN PROYECTO	NUMERO DE HABITANTES Y ANIMALES	CONSUMO DE AGUA (lt/día)	AGUA TOTAL
Personas > 18 Años	05	50	250

Personas < 18 Años	03	20	60
Vacunos	06	40	240
Gallinas	50	0.1	05
Cuyes	50	0.1	05
Ovejas	10	5	50
Agua para Riego			506.33
TOTAL			1,116.33

Para satisfacer las necesidades se ha establecido que la cantidad de agua necesaria es **1,116.33 litros/día** de uso en riego, pecuario y humano, sin embargo, cabe recalcar que para el prototipo se utilizó un tanque cuya capacidad es de 1,100 litros. Es importante mencionar que para este tipo de proyectos es preferible almacenar agua que energía ya que la vida útil de los tanques de almacenamiento es mayor que la vida útil de las baterías, además esto permitirá tener una reserva del líquido para condiciones no esperadas.

3.5.2. Dimensionamiento del sistema

Primeramente, comenzamos con el dimensionamiento del sistema donde será necesario determinar el régimen de bombeo, que simplemente, es el caudal mínimo requerido para completar el volumen de agua necesario, bombeando en las horas de mayor insolación o sea en horas de bajo sol, durante el día. Éste valor se obtiene de la siguiente manera:

$$R_B = \frac{V_{\text{Agua}}}{\text{Insolacion}}$$

Dónde:

R_B = Regimen de Bombeo

V_{Agua} = Volumen de agua

Luego para obtener la insolación diaria se utilizaron los datos de Heliofanía proporcionados por la Oficina de Monitoreo y evaluación - PELT. Para asegurarnos que

el sistema pueda seguir trabajando en las peores condiciones es necesario realizar los cálculos con el menor valor de entre los valores promedios mensuales.

El dato obtenido de la base de datos del heliógrafo Est, Ichu. Que es de 172.83 [horas-pico/mes] mes de febrero.

Para obtener las horas pico de insolación al día se realiza la siguiente conversión: Trabajaremos con un día mes promedio que es 30 días.

$$172.83 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 5.76 \text{ horas/día}$$

3.5.2.1. Calculo del régimen de bombeo

$$RE_{\text{Bombeo}} = \frac{1116.33 \frac{\text{Lt}}{\text{día}}}{5.76 \frac{\text{hora - pico}}{\text{día}}}$$

$$RE_{\text{Bombeo}} = 193.77 \frac{\text{Lt}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$RE_{\text{Bombeo}} = 3.23 \text{ lt/min}$$

$$RE_{\text{Bombeo}} = \text{Regimen de bombeo}$$

La bomba a ser seleccionada para el sistema debe ser capaz de bombear **3.23** litros por minuto para poder obtener los 1,116.33 litros diarios de agua necesarios, cuando se tenga un día con pocas horas de insolación (5.76 h-pico/día).

3.5.2.2. Calculo de carga dinámica total (CDT)

La carga dinámica total del sistema es un dato fundamental para el dimensionamiento de la bomba.

Carga estática (CE)

$$CE = \text{Nivel Estatico} + \text{Altura de Descarga}$$

$$CE = 3.00\text{m} + 3.20\text{m}$$

$$CE = 6.20\text{m}$$

Recorrido total de Tubo (RT_{TUBO} .)

$$RT_{\text{TUBO}} = CE + \text{ABATIMIENTO} + \text{RECORRIDO EXTRA DE TUBERIA}$$

$$RT_{\text{TUBO}} = 6.20\text{m} + 1.5\text{m} + 5.70\text{m}$$

$$RT_{\text{TUBO}} = 13.40 \text{ metros}$$

3.5.2.3.Carga por fricción (Cf)

Nota: las pérdidas por fricción en la tubería recta, son de aproximadamente el 2% de la distancia del recorrido del agua, a lo que es equivalente a la longitud total L de la tubería. Por lo general el resultado es una estimación conservadora, si se asume que los sistemas de bombeo solar típico tienen flujos de aproximadamente de un litro por segundo. Adoptado dicho criterio de cálculo, y según el lago de la cañería del sistema tenemos:

$$\%2 \text{ de } L \text{ es } 0.02 \times RT_{\text{TUBO}} = 0.02 \times 13.40 = 0.268$$

$$Cf = RT_{\text{TUBO}} \times \text{FACTOR DE FRICCIÓN}$$

$$Cf = 13.4\text{m} \times 0.27$$

$$Cf = 3.59\text{m}$$

La carga dinámica (CD) se calcula con la siguiente fórmula:

$$CD = \text{ABATIMIENTO} \times \text{FACTOR DE FRICCIÓN}$$

$$CD = 1.5\text{m} \times 3.59\text{m}$$

$$CD = 5.09\text{m}$$

Ahora la carga dinámica total (CDT) es la suma de la carga estática y la carga dinámica:

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 6.2\text{m} + 5.09\text{m}$$

$$CDT = 11.29\text{m}$$

Por tanto, con el régimen de bombeo y la carga dinámica total, se puede escoger la bomba Necesaria para el proyecto.

3.5.2.4. Determinar la potencia del arreglo fotovoltaico necesario, para lo cual se debe determinar la corriente eléctrica:

$$E_{\text{HIDRAULICA}} = \frac{V_{\text{Agua}}}{K \times CDT}$$

$$E_{\text{HIDRAULICA}} = \text{Energía Hidraulica}$$

Esta es una constante física, El factor $K = 367 \left(\frac{\text{lt} \times \text{m}}{\text{Wh}} \right)$ se usa para calcular la energía en (vatios/hora), siendo éste la energía necesaria para levantar un litro de agua una distancia de un metro.

Este valor es una constante física.

$$E_{\text{HIDRAULICA}} = \frac{1116.33 \left(\frac{\text{Lt}}{\text{día}} \right)}{367 \left(\frac{\text{lt} \times \text{m}}{\text{Wh}} \right)} \times 11.29 \text{m}$$

$$E_{\text{HIDRAULICA}} = 34,35 \text{ Wh/día}$$

Debido a que la bomba sumergible tiene una eficiencia muy baja (10%), se requiere una mayor potencia eléctrica del sistema para activarla:

$$ESA = \frac{E_{\text{HIDRAULICA}}}{n}$$

$$ESA = \frac{34.35 \text{ Wh/día}}{0.10}$$

$$ESA = 343.5 \text{ Wh/día}$$

$$ESA = \text{Energía del sistema de alimentación}$$

Luego se considera, que vamos a tomar la necesidad de electrificar una casa sin conexión eléctrica a la red en una zona rural, que será utilizada por una familia de 08 personas.

Los equipos básicos necesarios que consumirán energía en vivienda:

Focos: 2 unidades x 4 horas x 30 Watt (100%) = 240 Wh

Televisión: 01 unidad x 3 h x 70 Watt (100%) = 210 Wh

Radio: 2 h x 20 W (100%) = 40 Wh

Total consumos por día estimados (Cde) = 490 Wh / día

Aplicamos un rendimiento de la instalación del 95% para calcular la energía total necesaria para abastecer la demanda:

Total energía necesaria (Ten) = Cde / 0,95 = 515.78 Wh/día de uso en la vivienda de la familia

El voltaje nominal del sistema Fotovoltaico es de 12 voltios ya que la bomba seleccionada trabaja con este valor y la cantidad de equipos básico de la vivienda será de 515.78 Wh, la carga eléctrica del sistema será de:

$$515.78 \text{ Wh/día} + 343.5 \text{ Wh/día} = \mathbf{859.28 \text{ Wh/día}}$$

$$C_{\text{ELECTRICA}} = \frac{\text{ESA}}{\text{VOLTAJE DEL SISTEMA}}$$

$$C_{\text{ELECTRICA}} = \frac{859.28 \text{ Wh/día}}{12 \text{ V}}$$

$$C_{\text{ELECTRICA}} = 71.60 \text{ Ah/día}$$

$$C_{\text{ELECTRICA}} = \text{Carga Electrica}$$

Para tomar en cuenta las pérdidas del sistema, se considera un rendimiento del conductor del 80%.

$$\text{CEC} = \frac{C_{\text{ELECTRICA}}}{\text{Rendimiento Conductor}}$$

$$\text{CEC} = \frac{71.60 \text{ Ah/día}}{0.80}$$

$$\text{CEC} = 89.5 \text{ Ah/Día}$$

$$\text{CEC} =$$

Carga Electrica Corregida

La corriente del proyecto se obtiene como la relación entre la carga eléctrica corregida y la insolación del sitio.

$$\text{CORRIENTE}_{\text{proyecto}} = \frac{\text{CEC}}{\text{INSOLACION}}$$

$$\text{CORRIENTE}_{\text{proyecto}} = \frac{89.5 \text{ Ah/dia}}{5.76 \text{ h/Dia}}$$

$$\text{CORRIENTE}_{\text{proyecto}} = 15.74 \text{ A}$$

$$\text{CORRIENTE}_{\text{proyecto}} = \text{Corriente del Proyecto}$$

Por efecto de la temperatura, deterioro del módulo con el paso del tiempo, polvo en la superficie, cargas desiguales, entre otros, los paneles solares pueden disminuir su eficiencia, por lo que es importante considerar el factor de reducción del módulo, el cual es del 95% para paneles cristalinos y 75% para módulos amorfos.

$$\text{CORRIENTE}_{\text{Ajustada}} = \frac{\text{CORRIENTE}_{\text{proyecto}}}{F_{\text{Reduccion}}}$$

$$\text{CORRIENTE}_{\text{Ajustada}} = \frac{15.74 \text{ A}}{0.95}$$

$$\text{CORRIENTE}_{\text{Ajustada}} = 16.35 \text{ A}$$

Los paneles solares seleccionados proporcionan 12 Voltios y 4.83 Amperios, por lo que para obtener los 16.35 Amperios, es necesarios que se los debe colocar en paralelo.

$$\text{MODULO}_{\text{Paralelo}} = \frac{\text{CORRIENTE}_{\text{Ajustada}}}{\text{CORRIENTE NOMINAL MODULO}}$$

$$\text{MODULO}_{\text{Paralelo}} = \frac{16.35 \text{ A}}{4.83 \text{ A}}$$

$$\text{MODULO}_{\text{Paralelo}} = 3.39$$

$$\text{MODULO}_{\text{Paralelo}} = 4 \text{ paneles Solares}$$

Para alimentar el sistema se requieren cuatro paneles solares en paralelo, la potencia del arreglo fotovoltaico será de:

$$\text{POTENCIA} = \text{MODULO}_{\text{Paralelo}} (I \times V)$$

$$\text{POTENCIA} = 4 \times (4.83A \times 12V) = 231.84 \text{ W}$$

3.6. PROGRAMACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO CON ARDUINO.

3.6.1. Sistema sensor de humedad de suelo

3.6.1.1. Sensor de humedad resistivo con comparadores de tensión

Este sensor de humedad incluye una placa que se coloca entre en Arduino y el sensor de humedad. Esta placa proporciona la posibilidad de hacer lecturas tanto analógicas, como lecturas digitales.

Las lecturas digitales consisten en devolver 0 o 1 al Arduino mediante el ajuste del potenciómetro azul que dispone la placa. Con ese potenciómetro ajustamos el punto de humedad en el que queremos que nos devuelva el comparador un 1. Si el valor es más bajo del punto en el que tenemos ajustado el comparador nos devolverá un 1, por tanto, menos humedad de la que deseamos, si el punto de humedad se encuentra por encima del valor que hemos establecido nos devuelve un 0. Con estos valores realizaremos el programa para realizar el riego o las acciones que creamos oportunas.

El circuito usado es el LM393. Este integrado dispone de dos comparadores en su interior.

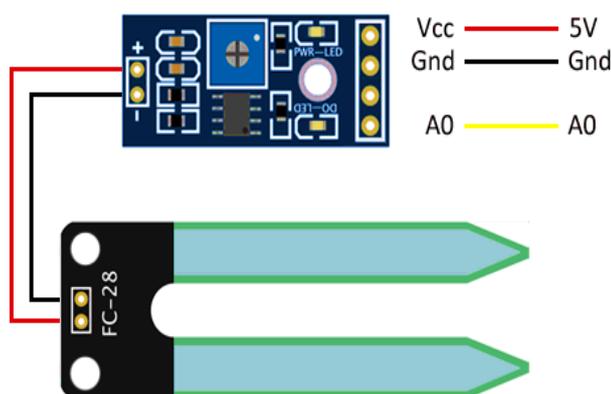


Figura 15: modelos de instalación de sensor y potenciómetro LM393.

Especificaciones:

Fuente de alimentación: 3.3v a 5v

Señal de tensión de salida: 0 - 4.2v

Corriente: 35mA

Pines:

1 - salida analógica (S)

2 - GND (-)

3 - Power (+)

Tamaño: 60x20x5mm

Entre sus principales características encontramos que se puede alimentar con fuente doble +-12V o simple de +5V. Además posee una salida a colector abierto lo que permite seleccionar los niveles de la tensión de salida.

Si observamos cómo está construido vemos que tiene las entradas en bases abiertas y la salida en colector abierto.

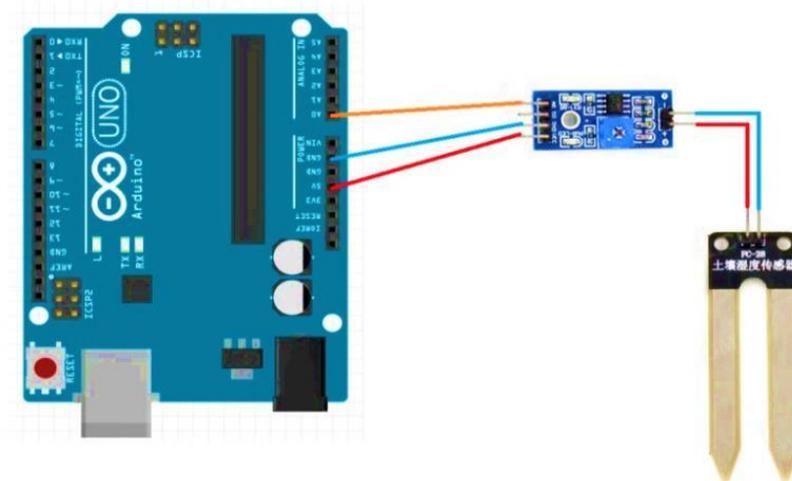
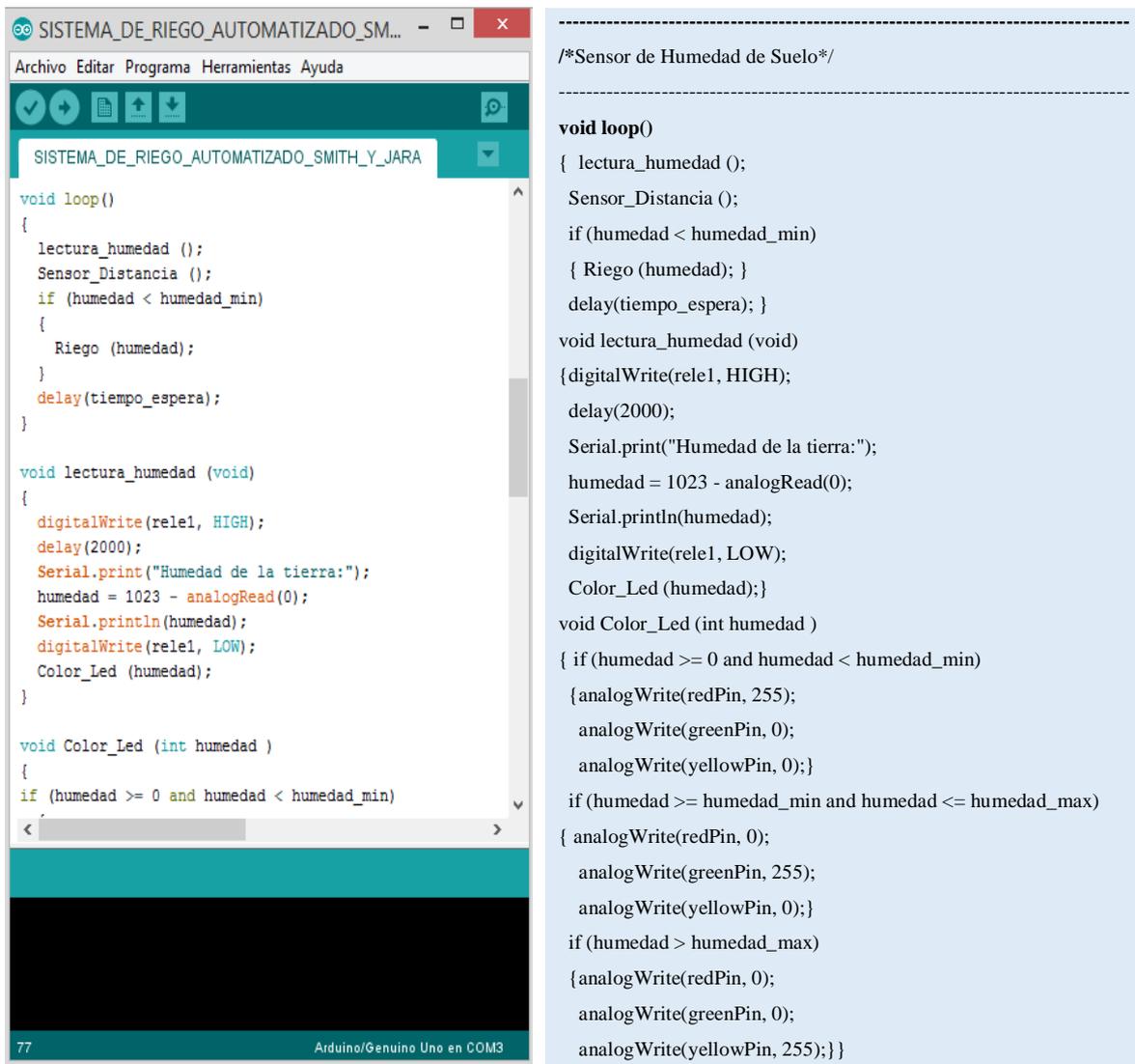
3.6.1.2. Tipo de conexión de sensor de humedad a placa arduino UNO.

Figura 16: instalación de sensor y potenciómetro LM393 y arduino.

Programación de Código C/C++ de sensor de humedad en arduino



```

SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SM... - □ ×
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SMITH_Y_JARA
void loop()
{
  lectura_humedad ();
  Sensor_Distancia ();
  if (humedad < humedad_min)
  {
    Riego (humedad);
  }
  delay(tiempo_espera);
}

void lectura_humedad (void)
{
  digitalWrite(rele1, HIGH);
  delay(2000);
  Serial.print("Humedad de la tierra:");
  humedad = 1023 - analogRead(0);
  Serial.println(humedad);
  digitalWrite(rele1, LOW);
  Color_Led (humedad);
}

void Color_Led (int humedad )
{
  if (humedad >= 0 and humedad < humedad_min)
  {
    analogWrite(redPin, 255);
    analogWrite(greenPin, 0);
    analogWrite(yellowPin, 0);
  }
  if (humedad >= humedad_min and humedad <= humedad_max)
  {
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 255);
    analogWrite(yellowPin, 0);
  }
  if (humedad > humedad_max)
  {
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 0);
    analogWrite(yellowPin, 255);
  }
}

/*Sensor de Humedad de Suelo*/

void loop()
{
  lectura_humedad ();
  Sensor_Distancia ();
  if (humedad < humedad_min)
  {
    Riego (humedad);
  }
  delay(tiempo_espera);
}

void lectura_humedad (void)
{
  digitalWrite(rele1, HIGH);
  delay(2000);
  Serial.print("Humedad de la tierra:");
  humedad = 1023 - analogRead(0);
  Serial.println(humedad);
  digitalWrite(rele1, LOW);
  Color_Led (humedad);
}

void Color_Led (int humedad )
{
  if (humedad >= 0 and humedad < humedad_min)
  {
    analogWrite(redPin, 255);
    analogWrite(greenPin, 0);
    analogWrite(yellowPin, 0);
  }
  if (humedad >= humedad_min and humedad <= humedad_max)
  {
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 255);
    analogWrite(yellowPin, 0);
  }
  if (humedad > humedad_max)
  {
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 0);
    analogWrite(yellowPin, 255);
  }
}
77 Arduino/Genuino Uno en COM3

```

Figura 17: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor de humedad.

3.6.2. Sistema autónomo y automático de tanque

Los sensores de nivel de agua de tanque, controlaran la altura mínima y máxima del depósito, activan y desactivando la bomba de llenado según sea necesario. Tras estudiar las diferentes opciones, se decidió por el sensor por flotador. Para ellos será necesario calibrar el sensor en el tanque en el que se utilice, ajustando los valores mínimo y máximo donde se desee. La medición de la altura del agua en el tanque, por tanto se calcula la distancia a la que se encuentra el agua del sensor. Y por tanto midiendo una primera vez a diferentes alturas, podemos saber la altura del agua en cada momento y de esta manera

decidir llenar el depósito del agua cuando deseemos, parándolo cuando llegue a una determinada altura.

3.6.2.1. Sensor de nivel de tanque

Simplemente conectar Tensión y GND y el pin restante es la señal.

Módulo de Sensor de agua para Arduino UNO / profundidad del agua de tanque.

Tipo de conexión de sensor de nivel de tanque con arduino UNO

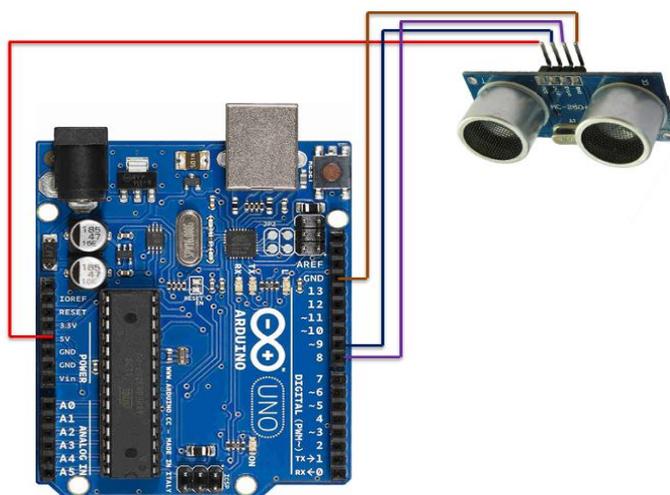
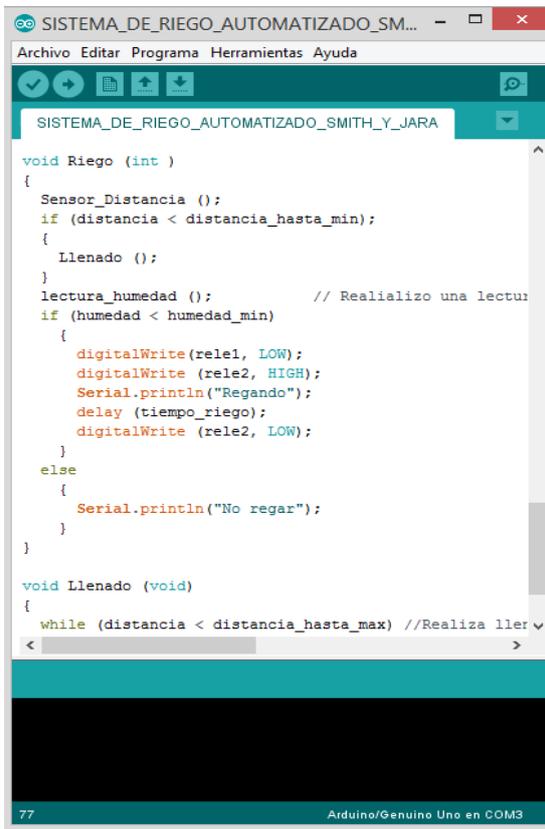


Figura 18: conexión de sensor ultrasónico de nivel de agua para arduino.

Especificaciones:

- Voltaje de funcionamiento: 5V (DC)
- Corriente estática: <2 mA
- Trabajo actual: 15mA
- Señal de salida: frecuencia de la señal eléctrica, 5V de alto nivel, bajo nivel de 0V
- Ángulo Eficaz: <15 °
- Distancia de detección: 2 cm - 450 cm
- Disparo de la señal de entrada: TTL pulso 10μs
- Echo señal de salida: señal PWL de TTL
- VCC = +5VDC
- Trig = Entrada de Trigger de sensor
- Echo = Salida de Echo de sensor
- GND = GND tierra

Programación código C/C++ de sensor ultrasonido de nivel de agua en taque en arduino.



```

SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SM...
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SISTEMA_DE_RIEGO_AUTOMATIZADO_SMITH_Y_JARA
void Riego (int )
{
  Sensor_Distancia ();
  if (distancia < distancia_hasta_min);
  {
    Llenado ();
  }
  lectura_humedad (); // Realializo una lectur
  if (humedad < humedad_min)
  {
    digitalWrite(rele1, LOW);
    digitalWrite (rele2, HIGH);
    Serial.println("Regando");
    delay (tiempo_riego);
    digitalWrite (rele2, LOW);
  }
  else
  {
    Serial.println("No regar");
  }
}

void Llenado (void)
{
  while (distancia < distancia_hasta_max) //Realiza ller

```

```

-----
/*Sensor de Nivel de tanque, Johnny y Smith*/
-----
void Riego (int )
{Sensor_Distancia ();
  if (distancia < distancia_hasta_min);
  { Llenado ();
  }
  lectura_humedad ();
  if (humedad < humedad_min)
  { digitalWrite(rele1, LOW);
    digitalWrite (rele2, HIGH);
    Serial.println("Regando");
    delay (tiempo_riego);
    digitalWrite (rele2, LOW);
  }
  else{ Serial.println("No regar"); } }
void Llenado (void)
{ while (distancia < distancia_hasta_max)
  { digitalWrite (rele3, HIGH);
    Sensor_Distancia ();
  }
  digitalWrite (rele3, LOW);}

```

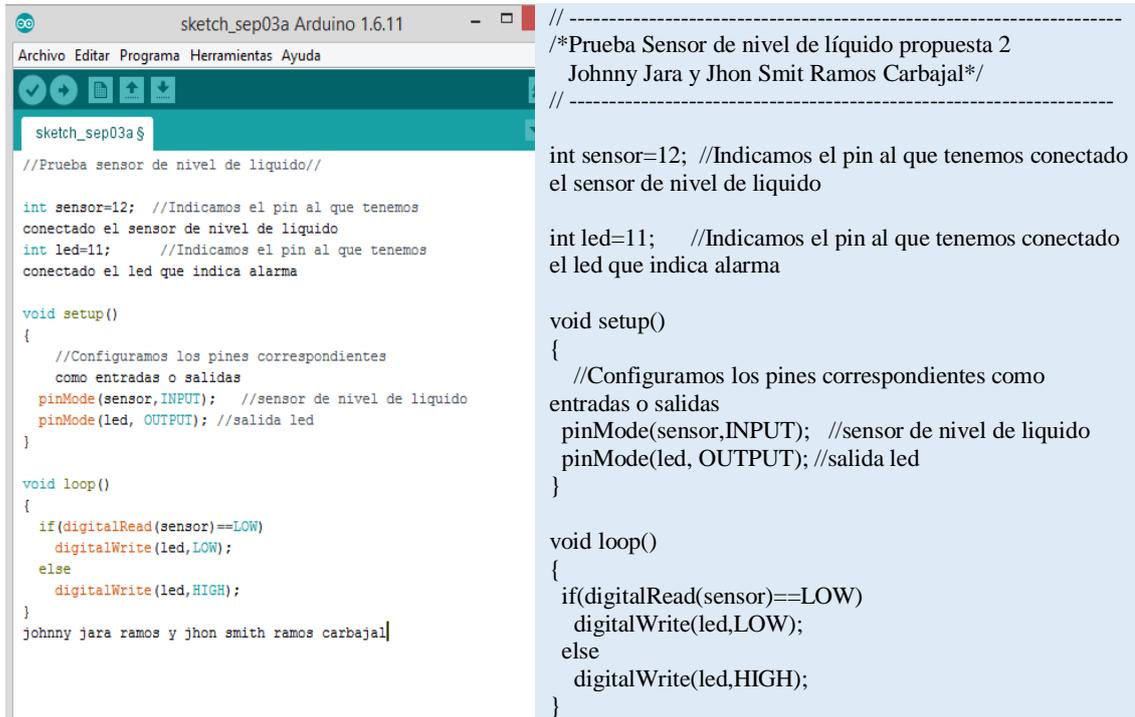
Figura 19: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor ultrasonido.

3.6.2.2.Sensor de nivel agua con flotador

Al principio del proyecto, cuando se pensó en las diferentes maneras de controlar el agua del tanque, se pensó en poder hacerlo con sensores de nivel de líquidos, Con Estos sensores de tipo flotador son sensores para montaje en el interior de depósitos. Fabricado con polipropileno, son aptos para agua. Cuando el flotador magnético llega a la posición más alejada de la tuerca cierra su contacto. La sujeción al depósito se realiza mediante rosca.

Los sensores de nivel de líquido de los que vamos trabajar en la investigación será del tipo de sensores se pueden encontrar fácilmente para Arduino, pero tienen unos inconvenientes de instalación, y es que para instalarlos tienes que hacer agujeros en los laterales del bidón. Otro inconveniente es que si se desea cambiar la altura del sensor se tiene que volver a agujerear.

Programación de código C/C++ de sensor de nivel de tanque con flotador en arduino



```

// -----
/*Prueba Sensor de nivel de líquido propuesta 2
Johnny Jara y Jhon Smit Ramos Carbajal*/
// -----

int sensor=12; //Indicamos el pin al que tenemos conectado
el sensor de nivel de liquido

int led=11; //Indicamos el pin al que tenemos conectado
el led que indica alarma

void setup()
{
  //Configuramos los pines correspondientes
  como entradas o salidas
  pinMode(sensor,INPUT); //sensor de nivel de liquido
  pinMode(led, OUTPUT); //salida led
}

void loop()
{
  if(digitalRead(sensor)==LOW)
    digitalWrite(led,LOW);
  else
    digitalWrite(led,HIGH);
}
johnny jara ramos y jhon smith ramos carbajal

```

Figura 22: Lenguaje de programación código C/C++ de sensor electromagnético de flotador.

3.6.3. Sistema sensor de electroválvula controlada por arduino.

Para ello trabajaremos con una electroválvulas, Rain Bird 075-DV. En la programación Arduino le llegue un comando '1' cambie el estado del relé número 1 de la placa, y active/desactive la electroválvula cuando el sensor de húmeda quiera agua.

Usamos la placa de relés como un interruptor electrónico, controlado por nuestro Arduino, para activar y desactivar la electroválvula.

Tenemos que trabajar con 12VAc, que es lo que necesita la electroválvula para funcionar, uno sus cables lo hacemos pasar por el relé y el otro lo conectamos a la electroválvula. Hay que tener muy en cuenta que son 12V. La placa de relés tiene una peculiaridad: cuando en la entrada IN1 ponemos un estado LOW, el relé se activará, y cuando ponemos un valor HIGH, se desactivará. El condensador que veis, sirve para deshabilitar el reset que se produce en la placa Arduino cada vez que recibe un comando vía USB.

Tipo de conexión de sensor electroválvula con arduino UNO.

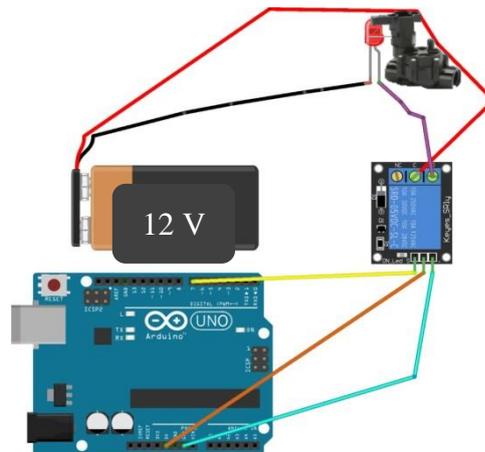
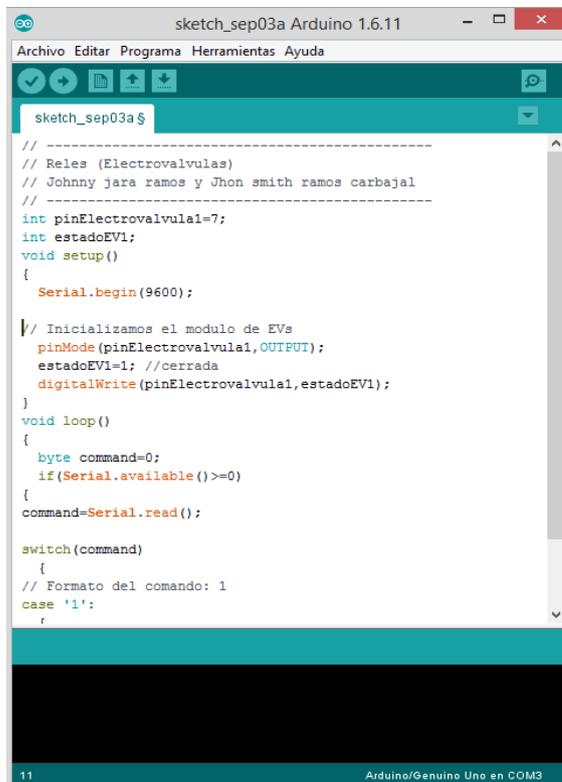


Figura 23: conexión de electroválvula.

Especificaciones:

Electroválvula Rain Bird Serie DV con solenoide con Tornillos de acero inoxidable.
 Presión: 1-10,4 bar y 075DV: 0,05-5 m3/h también 100DV: 0,75-9,08 m3/h

Programación código C/C++ de electroválvula en arduino



```
// -----
// Reles (Electroválvulas) Johnny jara y Jhon Smit
// -----
int pinElectroválvula1=7;
int estadoEV1;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  // Inicializamos el modulo de EVs
  pinMode(pinElectroválvula1,OUTPUT);
  estadoEV1=1; //cerrada
  digitalWrite(pinElectroválvula1,estadoEV1);
}
void loop()
{
  byte command=0;
  if(Serial.available()>=0)
  {
    command=Serial.read();

    switch(command)
    {
      // Formato del comando: 1
      case '1':
      {
        estadoEV1=!estadoEV1;
        digitalWrite(pinElectroválvula1,estadoEV1);}
    }
  }
}
```

Figura 24: Lenguaje de programación código C/C++ de electroválvula.

3.7. ANÁLISIS DE COSTOS ENTRE EL SISTEMA FOTOVOLTAICO - SISTEMA CONVENCIONAL A ELECTRICIDAD.

Tabla N° 12: Costo de sistema fotovoltaico.

COSTOS DE INVERSION INICIAL DEL SISTEMA DE RIEGO FOTOVOLTAICO					
ID	DESCRIPCION DE MATERIALES	UND.	CANT.	PRECIO UNT.	COSTO TOTAL
1	SISTEMA FOTOVOLTAICO				
1.1.	Panel Fotovoltaico	UND	4	150	600
1.2.	Bomba Solar Sumergible	UND	1	1,000	1000
1.3.	Regulador de Carga	UND	1	25	25
1.4.	Soporte Estructural para Panel Solar	UND	1	200	200
SUB TOTAL					1,825.0
2	EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Línea de Riego				
2.1.1.	Gotero en Línea 4Lt/h	UND	396	1	396
2.1.2.	Tuberías Laterales diámetro 17.4mm	M	240	3	720
2.1.3.	Tuberías Principal diámetro 29.4mm	UND	10	7	70
2.2	Red Hidráulica				
2.2.1.	Tub. Impulsión PVC Agua	M	7.3	9	65.7
2.2.2.	Tub. Principal PVC Agua (uso potable)	M	10	3	30
2.3	Accesorios Riego				
2.3.3.	Codo PVC Agua	UND	6	9	54
2.3.4.	Codo PVC Agua (uso potable)	UND	3	3	9
2.3.5.	TEE PVC Agua	UND	2	1	2
SUB TOTAL					1,346.7
3	SISTEMA AUTOMATIZADO				
3.1.	Arduino UNO R3	UND	1	60	60
3.2.	Sensor Ultrasonido para Nivel de Agua	UND	1	25	25
3.3.	Sensor de Humedad de Suelo	UND	1	15	15
3.4.	Potenciómetro LM-393	UND	1	5	5
3.5.	Relay de dos Canales	UND	1	25	25
3.6.	Cable M-M y H-H	PAQ	1	30	30
3.7.	Caja Arduino	UND	1	20	20
3.8.	Leds Rojo, Verde, Amarillo	UND	1	5	5
SUB TOTAL					185
4	ANEXOS Y GASTOS GENERALES				
4.1.	Tanque de Almacenamiento Circular (1100 lts)		1	400	400
4.2.	Torre Base de Tanque		1	300	300
4.3.	Otros		1	100	100
SUB TOTAL					800
COSTO TOTAL					4,156.7

Tabla N° 13: Costo de sistema convencional.

COSTOS DE INVERSION INICIAL DEL SISTEMA DE RIEGO CONVENCIONAL					
ID	DESCRIPCION	MARCA	CANT	PRECIO UNT.	COSTO TOTAL
1	SISTEMA CONVENCIONAL				
1.1.	Sistema eléctrico		1	400	400
1.2.	Bomba Sumergible		1	1200	1,200
SUB TOTAL					1,600
2	EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Línea de Riego				
2.1.1.	Gotero en Línea 4Lt/h	UND	396	1	396
2.1.2.	Tuberías Laterales diámetro 17.4mm	M	240	3	720
2.1.3.	Tuberías Principal diámetro 29.4mm	UND	10	7	70
2.2	Red Hidráulica				
2.2.1.	Tub. Impulsión PVC Agua	M	7.3	9	65.7
2.2.2.	Tub. Principal PVC Agua (uso potable)	M	10	3	30
2.3	Accesorios Riego				
2.3.3.	Codo PVC Agua	UND	6	9	54
2.3.4.	Codo PVC Agua (uso potable)	UND	3	3	9
2.3.5.	TEE PVC Agua	UND	2	1	2
SUB TOTAL					1,346.7
3	VALVULAS				
3.1.	Válvulas de PIC Bronce	UND	1	116.89	116.89
3.2.	Válvula Compuerta Liviana Bronce	UND	1	79.66	79.66
3.3.	Válvula Compuerta Liviana Bronce	UND	1	52.52	52.52
3.4.	Válvula CHECK VERTICAL BRONCE	UND	1	103.16	103.16
SUB TOTAL					352.23
4	OBRAS ANEXOS Y GASTOS GENERALES				
4.1.	Tanque de Almacenamiento Circular (1100 lts)	UND	1	400	400
4.3.	Torre Base de Tanque	UND	1	300	300
4.4.	Otros		1	100	100
SUB TOTAL					800
COSTO TOTAL					4,098.9

La comparación de costos y viabilidad del sistema fotovoltaico y convencional:

Tabla N° 14: Comparación de costos sistema fotovoltaico y convencional

COSTOS EN 20 AÑOS DE VIDA UTIL		SISTEMA DE RIEGO FOTOVOLTAICO	SISTEMA CONVENCIONAL ELECTRICIDAD
COSTOS DE INVERSION INICIAL		4,156.7	4,098.93
Costos de reposición	Bomba Sumergible	1000	1200
	Goterros	396	396
	Grupo de Válvulas	50	352.23
	Sistema Automatizado	185	0
	Sistema eléctrico	0	400
Costo de Electricidad de 20 años		0	4,800
TOTAL		5,787.70	11,247.16

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONOCER LOS FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA REALIZAR LA ADECUADA SELECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y ACCESORIOS PARA ACCIONAR EL SISTEMA AUTOMATIZADO DE BOMBEO DE AGUA PARA USO EN RIEGO DE CEBOLLAS Y CONSUMO PECUARIO, HUMANO

Trabajando con temperatura media mensual °C, precipitación en mm, Humedad relativa, velocidad del viento y horas sol, promedios de los años en datos.

Tabla N° 15: Datos hidrometeorológicos consolidados.

Datos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura media Mensual °C	10.30	10.23	10.02	9.65	8.28	7.00	6.72	7.95	9.17	10.12	10.66	10.62
Precipitación (mm)	145.62	134.30	107.76	43.12	5.90	2.37	1.63	7.97	17.67	35.46	52.99	95.02
Humedad Relativa %	63.65	64.45	64.51	54.45	44.51	43.82	43.94	44.06	44.24	46.18	46.22	54.08
Velocidad. Viento (m/s)	2.19	2.12	2.04	2.02	1.97	2.21	2.39	2.59	2.64	2.59	2.53	2.45
Horas de Sol (horas)	6.44	6.17	7.78	9.07	8.13	7.29	8.19	8.49	9.83	8.12	8.43	6.11

Se realizó el cálculo de ETP, método de Hargraves - en base a la temperatura, con datos de la estación meteorológica de Ichu de propiedad del PELT.

Tabla N° 16: Cálculo de evapotranspiración.

Número del Mes :	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Factor de Latitud MF	2.119	2.499	2.607	2.765	2.730	2.337	2.319	1.917	1.670	1.469	1.581	1.842
Temp. Media en °F TMF	48.51	50.22	51.19	51.12	50.54	50.41	50.04	49.37	46.90	44.60	44.10	46.31
Fact. Correc. Humed. CH	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990	0.989	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fact. Correc. Altitud CE	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077	1.077
ETP (mm/mes)	110.6	135.1	143.7	152.2	148.6	125.6	123.5	101.9	84.3	70.5	75.0	91.8
ETP (mm/día)	3.69	4.36	4.79	4.91	4.79	4.48	3.99	3.40	2.72	2.35	2.42	2.96

Método de Hargraves - en base a Radiación solar.

Tabla N° 17: Datos de radiación solar.

Número del Mes :	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Horas de Sol n	9.83	8.12	8.43	6.11	6.44	6.17	7.78	9.07	8.30	7.29	8.19	8.49
Horas de Insolación N	12.00	12.52	12.85	13.05	12.95	12.63	12.22	11.78	11.37	11.15	11.25	11.58
Porcentaje Horas Ins. S	81.9%	64.9%	65.6%	46.8%	49.7%	48.8%	63.7%	77.0%	73.0%	65.4%	72.8%	73.3%
Radiación Extraterrestre Ra	14.31	15.80	16.69	16.79	16.89	16.40	15.21	13.51	11.73	10.83	11.23	12.62
Días del Mes	31	30	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
Rad. Extrat. Equivalente RMM	443.70	474.00	500.61	520.40	523.50	459.20	471.40	405.39	363.51	324.78	348.01	391.20
Rad. Solar Equiv RSM	301.19	286.33	304.08	267.04	276.85	240.67	282.13	266.76	232.98	196.98	222.72	251.20

Con dichos datos se puede obtener la evapotranspiración potencial máxima que es de 4.34mm equivalente a 4.3 litros por metro cuadrado por día.

Tabla N° 18: cálculo de evapotranspiración potencial máxima.

ETP (mm/mes)	109.57	107.84	116.74	102.38	104.9	91.00	105.8	98.77	81.9	65.8	73.6	87.2
ETP (mm/día)	3.65	3.48	3.89	3.30	3.39	3.25	3.42	3.29	2.64	2.20	2.38	2.81
ETP PROM(mm/mes)	110.11	121.48	130.21	127.27	126.7	108.2	114.7	100.3	83.1	68.2	74.3	89.5
ETP PROM (mm/día)	3.67	3.92	4.34	4.11	4.09	3.87	3.70	3.34	2.68	2.27	2.40	2.89

Como parte del análisis de trabajo se tuvo que calcular con Valores de los Coeficientes típicos de Kc en las fases inicial (Kcini), de mediados (Kcmed) y final (Kcfin). Se manejó el material recomendado para cebollas en Kc a nivel peruano. Adaptado de Allen et al. (1998). En este caso se usó el Kc máximo en la etapa de maduras de **1.05**.

Tabla N° 19: Cálculo de los coeficientes típicos de Kc.

Cultivo	Estado Inicial	Estado de max. Crecim.	Estado intermedio	Estado final
Cebolla Verde	0.5	0.7	1.00	1.00
Cebolla seca Perú	0.5	0.75	1.05	0.85

Determinación de requerimiento de riego

Evapotranspiración de cultivo (ETc). Se tuvo un cálculo a nivel de evapotranspiración potencial de la zona en estudio y trabajando con los datos de Kc de la cebolla seca existente en Ichu se obtuvo una evapotranspiración de cultivo en cebolla ETc de **4.56 mm/día**, que sería la suma de agua consumida por la planta en la transpiración y del agua evaporada desde el suelo y debe ser satisfecha en su totalidad mediante el sistema de riego propuesto para el cultivo mencionado.

Evaluando la evapotranspiración del gotero se tiene una 50% de humedeciendo de la superficie del cultivo lo cual se conoce como porcentaje de área bajo riego a nivel de longitud de **2.28mm/día**.

La lámina de riego (Lr), dentro del proyecto de investigación fue de **18mm**, el cual depende del tipo de suelo y la profundidad de raíz de la cebolla.

La lamina neta (Ln), sirve para restituir la humedad del suelo dicha humedad de restitución equivale a una fracción de la lámina de riego que en este caso salió **6.84mm** de longitud.

Considerando que para el sistema de riego por goteo está establecido un valor de eficiencia de riego de **0.90** que equivale a un 90% en donde la lámina bruta (Lb), es **7.60mm** corresponde la medida en longitud de agua a aplicar en los suelos mediante riego con el fin de restituir la capacidad de campo.

Una intensidad de aplicación (Ia) de riego por goteo de **8.33mm/hora**, que son la distancia entre laterales y multiplicado por la distancia entre emisores con el factor tiempo en horas.

A nivel de administración del sistema se tiene un tiempo de riego por goteo de **0.91** horas según calculo, sirve para aplicar la lámina bruta de riego del cultivo mencionado en un tiempo determinado en este caso es en horas al día.

Para regar una superficie de nuestro proyecto de 200m², se calculó el número de sectores de riego el agua que dispongo de **1,519 litros** de mi pozo a ser bombeado en riego. Para mi sector único de parcela.

El caudal de proyecto que obtuvimos de **0.46lt/seg** es un valor que representa el caudal necesario para abastecer los **200m²**, en riego por goteo.

Finalmente tenemos un cuadro resumen de la determinación de requerimiento de riego en nuestra parcela de proyecto.

Tabla N° 20: Requerimiento de riego.

DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTO DE RIEGO		
1	Evapotranspiración del cultivo (ETc)	4.56mm/día
2	Evapotranspiración de gotero (ETg)	2.28mm/día
3	Lámina de riego (Lr)	18 mm
4	Lámina neta de riego (Ln)	6.84mm
5	Lámina bruta de riego (Lb)	7.60mm
6	Intensidad de la aplicación (Ia)	8.33mm/hora
7	Tiempo de riego (T)	T = 0.91 Horas
8	Volumen en el sector de riego	1519 Litros
9	Caudal del proyecto	0.46 litros/seg

En el diseño agronómico se tuvo que trabajar con un suelo Grueso de características arenoso, la distribución de goteros para sistema de goteo se realizó por la metodología de karmeli-keller donde se tiene que hacer un cruce del tipo de suelo y la separación de goteros teniéndose una zona de humedeciendo del 100% a un Porcentaje de suelo mojado hasta 30 cm de profundidad (%) en cebolla.

Se tiene un gotero de trabajo para nuestro diseño con una presión nominal de **7.3** metros según manual de fabricación y un coeficiente de perdida de cotero de 0.1 metros de gotero de 4lt/hora.

Tabla N° 21: Diseño agronómico de sistema.

DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA		
1	Superficie de parcela	200m ²
2	Textura del suelo	Gruesa (suelo arenoso)
3	Evapotranspiración diaria máxima	4.34 mm/día
4	Pendiente del terreno	SN-S =-0.01% (bajada) SE-W =-0.04% (bajada)
5	Datos de Gotero:	q = 4 lt/hora (caudal de gotero) h = 7.3 m fe = 0.1 m
6	Cultivo	Cebolla
7	Separación entre surco	0.8m
8	Profundidad de raíces	30cm
9	Dosis de riego en periodo alto (Etc)	4.56mm/día = 4.56 lt/m ² /día.
10	Intervalo de riego	1 a 3 días
11	Separación de laterales (S ₁)	0.8m
12	Separación de goteros (S _g)	0.6m

Diseño hidráulico de proyecto de riego por goteo. Para el diseño es impórtate tener claro que cada diseño es único, cada lote y terreno tiene características particulares y cada y cada diseñador puede tomar características diferentes en donde se pretende determinar los diámetros más apropiados de la red de distribución definido la sección de tubería laterales y principales a nivel de diámetros, Considerando que nuestra área de riego es de 20 x10m en un área de **200m²**.

La Perdida de carga Permisible trabaja a nivel de cálculo de una presión nominal de operación de un gotero con un dato de fábrica, menos la presión mínima de operación calculada que es de **0.065m**.

La pérdida de carga permisible de la sub unidad de riego se repartirá de manera diferente, de la manera que se le asignará a la principal la mayor parte el 65% debido a que maneja un caudal mayor en la tubería principal quedando a la tubería lateral el 35%.

El trabajo se realizó con una propuesta de tubería de la marca Nikoll en este caso la tubería principal se aceptó con un diámetro de **29.4mm**, con la característica de cálculo aceptándose aquel diámetro interior cuya diferencia de presión nominal sea menor o igual a una presión nominal de cálculo. A nivel de lateral de la misma manera con un diámetro de **17.4mm**. considerando de la diferencia de presión nominal calculado delta es un poco mayor que la diferencia de presión nominal de tubería a nivel de **35%** de presión se acepta el diámetro de la tubería ya que el siguiente diámetro quedaría muy sobrado lo que ocasionaría el mayor costo en el proyecto a nivel de tuberías.

En el diseño hidráulico se tiene un caudal **0.46lt/seg**. Teniendo un cierre coincidente de buen diseño en el cálculo hidráulico y agronómico con la misma cantidad de agua disponible.

Tabla N° 22: Diseño hidráulico de proyecto.

DISEÑO HIDRAULICO DE PROYECTO		
1	Calculamos la perdida de carga permisible de la subunidad (PCP)	0.065m
2	Diseño de tubería lateral, diámetro interior (Di)	17.4mm
3	Numero de emisores por lateral	33 emisores
4	Caudal en tubería lateral	0.04lt/seg
5	Diseño de tubería principal o distribuidor	29.4mm
6	Numero de laterales	12 laterales
7	Caudal de tubería principal	833lt/hora
8	Tiempo de riego (Tr)	1.14 horas/día
9	Caudal del sistema	0.46lt/seg

Para este proyecto se consideró para una familia ubicado en el centro poblado de Ichu tomando siempre en cuenta el número de habitantes adultos y niños donde se pudo sumar la cantidad de agua al día que se va consumir según la organización mundial de la salud

recomienda la cantidad de agua en lts. Para regadíos es muy variable pues depende del tipo de cultivo y de la época del año en este caso en nuestro estudio fue para cebolla, según los cálculos estimados se tubo **1,116.33 lts** de consumo de agua de lts/día. Es importante mencionar en nuestro estudio que es preferible almacenar agua que energía ya que la vida útil del tanque de almacenamiento tiene mayor vida útil que la batería de nuestro sistema fotovoltaico, como también permitirá la reserva de agua para condiciones no esperadas.

Para el cálculo de agua necesario, bombeado en horas de mayor insolación durante el día se trabajó con datos de Heliofanía proporcionados por el Proyecto especial binacional lago Titicaca (PELT), para poder tener un buen diseño del sistema fotovoltaico de riego y trabajar en las peores condiciones es primordial realizar los cálculos con el menor valor de los valores promedios mensuales de horas pico-mes convertidos a horas - pico/día, **5.76 horas/día** que resultó ser el mes de febrero.

Con los datos de horas pico del mes de febrero se procede a calcular el régimen de bombeo, para calcular el tipo de bomba que sea capaz de bombear **3.23lt/min**, para poder obtener los **1,116.33lts** diarios de agua cuando se tenga un día con la cantidad de pocas horas de insolación de **5.76 horas/día**.

Para poder obtener el dimensionamiento de la bomba es necesario calcular el régimen de bombeo y la carga dinámica total, de esta manera se podrá escoger la bomba necesaria para este proyecto, trabajando con un factor **k=367 lts.m/wh** el cual se usará para calcular la energía en vatios – hora interpretando dicho factor donde la energía necesaria para levantar un lito de agua a una distancia de un metro es el factor ya mencionado y se le conoce como una constante física.

Se toma en cuenta la pérdida total del sistema el cual se considera un rendimiento del conductor del **80%** la corriente del proyecto **15.74A** lo obtenemos como la relación entre la carga eléctrica corregida y la insolación del sitio.

Por efectos ambientales como son la temperatura, y la degradación del módulo fotovoltaico con el paso del tiempo, por acciones de polvo sobre la superficie los paneles solares tendrán una disminución de eficiencia de un **95%** para paneles cristalinos y **70%** para paneles amorfos.

En nuestro estudio se trabajó con el panel marca SIEMEN con un voltaje de **12V** de **4.83 Amperios** y de manera necesaria se colocará en paralelo todo el modulo según cálculo del proyecto son **4 paneles** con una potencia de arreglo fotovoltaico de **231.84W**.

Tabla N° 23: Calculo de dimensión de proyecto.

TAMAÑO DEL PROYECTO, PANELES Y BOMBA		
1	Cantidad de agua en litros por día para proyecto	1,116.33lts
2	Horas pico de insolación al día del mes más bajo Febrero	5.76 horas/día
3	régimen de bombeo	3.23lt/min
4	carga dinámica total (CDT)	6.20m
5	Recorrido total de Tubo (RT_{TUBO})	13.40m
6	Carga por fricción (Cf)	3.59m
7	La carga dinámica (CD)	5.09m
8	carga dinámica total (CDT)	11.29m
9	Energía hidráulica	34.35Wh/día
10	Energía del sistema de alimentación	343.5Wh/día
11	Carga eléctrica del sistema	71.60Ah/día
12	Carga eléctrica corregida	89.5Ah/día
13	corriente del proyecto	15.74A
14	Corriente ajustada	16.35A
15	modulo en paralelo de Paneles solares	4 paneles
16	potencia del arreglo fotovoltaico	231.84W

4.2. DEMOSTRAR LA VIABILIDAD DE INSTALAR EL PROTOTIPO AUTOMATIZADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS.

El proyecto propuesto es transportable y ajustable, con un control automatizado de manera barata. Donde se tendrá la intención de realizar el riego controlando la humedad de la tierra alrededor de la plantación en este caso cebolla, y así con los datos de la

humedad en tiempo real y mediante una monitorización de horas al día donde se podrá controlar el riego con un monitoreo constante para ver la necesidad de agua en tiempo real con el sensor que utilizamos, sensor de humedad resistivo con comparadores de tensión.

Dicho sistema controlado por el micro controlador Arduino con una estructura lógica nos ayuda a gestionar y ahorrar agua, como también nos evitara tener que estar vigilando el cultivo de cebolla constantemente.

Teniendo también un sistema de control de tanque con el sensor de ultrasonidos, el será encargado de medir el nivel del tanque, mediante la calibración del mismo, con la programación se tiene que activar y desactivar la bomba para el llenado del tanque de agua el cual funcionara con una energía de 12V proporcionados por los paneles fotovoltaicos.

Dichos elementos tienen un costo altamente económico con una durabilidad de 5 años de uso con la única diferencia del sensor de humedad de suelo que debe ser cambiado cada 6 meses, pero dicho elemento tiene un costo de s/. 20.00 nuevos soles que es insignificante a la tecnología convencional.

4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA ENTRE PROTOTIPO FOTOVOLTAICO Y SISTEMA CONVENCIONAL A ELECTRICIDAD.

Según los cuadros de costos evaluados tenemos la siguiente comparación en la que se realizó la suma de los costos de inversión inicial, reposición, salvamentos, electricidad, etc.

Que se vieron en los dos anteriores diagramas de flujos para cada tipo de sistema, con el fin de comparar cual es el sistema más rentable o viable en los 20 años de funcionamiento

Tabla N° 24: Análisis comparativo de sistema convencional y fotovoltaico.

COSTOS EN 20 AÑOS DE VIDA UTIL		SISTEMA DE RIEGO FOTOVOLTAICO	SISTEMA CONVENCIONAL ELECTRICIDAD
COSTOS DE INVERSION INICIAL		4,156.7	4,098.93
Costos de	Bomba Sumergible	1,000	1,200
reposición	Goterros	396	396

Grupo de Válvulas	50	352.23
Sistema Automatizado	185	0
Sistema eléctrico	0	400
Costo de Electricidad de 20 años	0	4,800
TOTAL	5,787.70	11,247.16

Pudiéndose ver en el cuadro de comparación en 20 años de funcionamiento el costo del sistema de riego fotovoltaicos es de **s/ 5,787.70 soles**, y el sistema convencional a electricidad es de **s/ 11,247.16 soles**, considerablemente mayor al sistema fotovoltaico.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron son las siguientes:

- Se concluye que con el diseño de un sistema de riego automatizado justo a la medida de las necesidades que tenemos, beneficiara a la reducción del consumo de agua por cultivo de cebolla, también se reduce el consumo de energía ya que el sistema funciona con paneles fotovoltaicos, minimiza la contaminación del suelo por exceso de agua en este caso la salinidad, tiempo del operario y el ahorro de agua ya que en la actualidad este líquido es de vital importancia para el ser humano.
- La reducción de costos se logra gracias a la implementación de nuevas tecnologías en este caso del sistema fotovoltaico automatizado logra el ahorro de energía, así también el ahorro de la mano de obra humana ya que no necesitara que este sistema se esté manejando constantemente por el regante.
- Un beneficio importante es la reducción de gastos de agua, esto debido a que el sistema manda solamente el caudal de agua que la planta necesita durante el día y así desarrollarse a la perfección, sin tener desperdicios al regar de manera tradicional que en la actualidad se viene haciendo en el centro poblado de Ichu.
- El proyecto es viable a largo plazo (20 años de funcionamiento), el costo del sistema de riego fotovoltaico es s/. 5,787.70 soles y el costo del sistema de riego convencional a electricidad es de s/. 11,247.16 soles, pudiendo observar una considerablemente mayor. La diferencia en los costos de inversión inicial del sistema fotovoltaico se debe al bajo costo de los paneles solares y componentes incluido el sistema automatizado por el micro controlador Arduino.
- Este proyecto ha conseguido la optimización del riego de manera totalmente automática mediante la aplicación del método que aseguramos los mejores resultados del riego superficial tal y como se había planteado. Con este sistema se ha conseguido un ahorro de agua de entre un 20% y un 30 % dependiendo del criterio de riego del agricultor, si lo comparamos con un riego por goteo sin automatizar. Comparándolo por un riego por inundación, se consigue un ahorro de entre 35% y 40%. De agua.

VI. RECOMENDACIONES

Los resultados del trabajo de investigación permiten recomendar lo siguiente:

- Las cosas a mejorar en un futuro si se va a seguir con esta investigación sería el de ampliar con más sensores y/o accesorios. Como son sensor de temperatura ambiente, ultravioleta de radiación solar, una pantalla LCD para poder observar los datos de cada sensor.
- Se podría implementar un sistema de circuitos para poder elegir diferentes tipos de áreas de riego de diferentes cultivos. Como también incorporando una memoria que podría almacenar datos emitidos por los accesorios del sistema de riego automatizado.
- En caso de una ampliación de distintos tipos de cultivos según sea el caso, se tendría que añadir electroválvulas correspondientes, con el rele actual podríamos abrir perfectamente la bomba de presión y con las electroválvulas controlar el riego específico para cada planta.
- Se recomienda aplicar este sistema fotovoltaico con paneles amorfos con un diseño de bomba de corriente alterna, instalado con inversor de corriente.

Recomendaciones ala F.I.A y la UNA-Puno.

- Realizar investigaciones a nivel de sistemas de riego automatizados con sensores Arduino, Leonardo alimentados con energía fotovoltaica.
- Dar a conocer las aplicaciones de las tecnologías modernas en sistemas de riego por goteo, aspersión monitoreados con microcontroladores administrados por redes wifi.

VII. REFERENCIAS

- Abella, M. A. (2005). Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. Segunda Edición, 70.
- Ángeles, G.O. (2009). Conservación ambiental y desarrollo rural al aplicarse tecnología fotovoltaica. Estudio de caso en Tapanatepec. Instituto Politécnico Nacional, Mexico, 235.
- Edilberto Santos Ortiz, (2015). Comparación de los costos de sistemas fotovoltaicos para invernaderos y gastos de energía eléctrica de la red, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 50.
- El Mghouchi, El Bouardi, A. (2016). Prediction of daily solar radiation intensity by day of the year in twenty four cities of Morocco. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 823.
- FAO, WEC. (1999). Aspectos de consumo y producción de energía, 50.
- FUENTES, J. L. (1998). Técnicas de riego, Editorial Mundi prensa, España. 472.
- Gorka, E. (2012). Automatización de sistema de Riego por goteo. Tesis de pregrado, Universidad pública de Navarra UPNA, España, 85.
- Garcés, Gurrola y Saldaña, (2005). Energía solar para bombeo de agua, 70.
- González, h. d. (2012). Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en xalapa. Maestría en ingeniería energética, Mexico, 172.
- Hahn y Schmidt , R. (1998). Photovoltaic water pumps lessons learned from demonstration and field testing projects supported by GTZ. Paper presented at the International Workshop on PV water supply. Marrakech, Morocco, 90.
- J, F. G. (2009). Energías renovables para el desarrollo. Primera Edición, España. 30.
- Lorenzo, E. (1997). Photovoltaic Rural Electrification. Progress in photovoltaics and Applications, 70.

- MINAGRI y DGCA. (2013). Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Competitividad Agraria. Primera Edición, Peru, 37.
- M, C. R. A. (2012). Biblioteca de Electricidad y electrónica. Primera Edición, Editorial Altamar S.A, España, 100.
- Ortega Rodríguez, M. (2002). Energías renovables. Segunda Edición. Editorial Thompson, España. 336.
- Pérez, R. (2007). Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero. Tesis Doctoral. Dpto. de Ingeniería Gráfica e Ingeniería Sistemas de Información Cartográfica. Universidad de Córdoba, España. 338.
- Rafael Fernández Gómez. (2010). Manual de riego para agricultores. Riego localizado: manual y ejercicios. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, España. 154.
- Enríquez Herrador, R. (2009). Guía de Usuario de Arduino, 40.
- Sener, y Energía. (2004). Energías renovables para el desarrollo sustentable. Primera Edición. Editorial México. 35.

VIII. ANEXOS

ANEXO A: Panel fotográfico



Fotográfica N° 01: Estación meteorológica de Ichu, donde se obtuvo los datos de meteorología y de Heliógrafo de horas sol de propiedad del PELT.



Fotográfica N° 02: Heliógrafo equipo de lectura de horas de sol en la estación Ichu de propiedad del PELT.



Fotográfica N° 03: Parcelas de cebolla sin sistemas de riego tecnificado donde se puede apreciar la forma de sembrado del mismo.



Fotográfica N° 04: se observa la modalidad de sembrado de cebolla con sistema de riego por inundación en parcelas de sembrío de cebolla.



Fotográfica N° 05: Se observa el uso de bombas a combustible en el sistema de riego por inundación en parcelas.



Fotográfica N° 06: Se observa la electrobomba de 220 voltios de uso por el propietario de las parcelas de cultivo de cebolla.



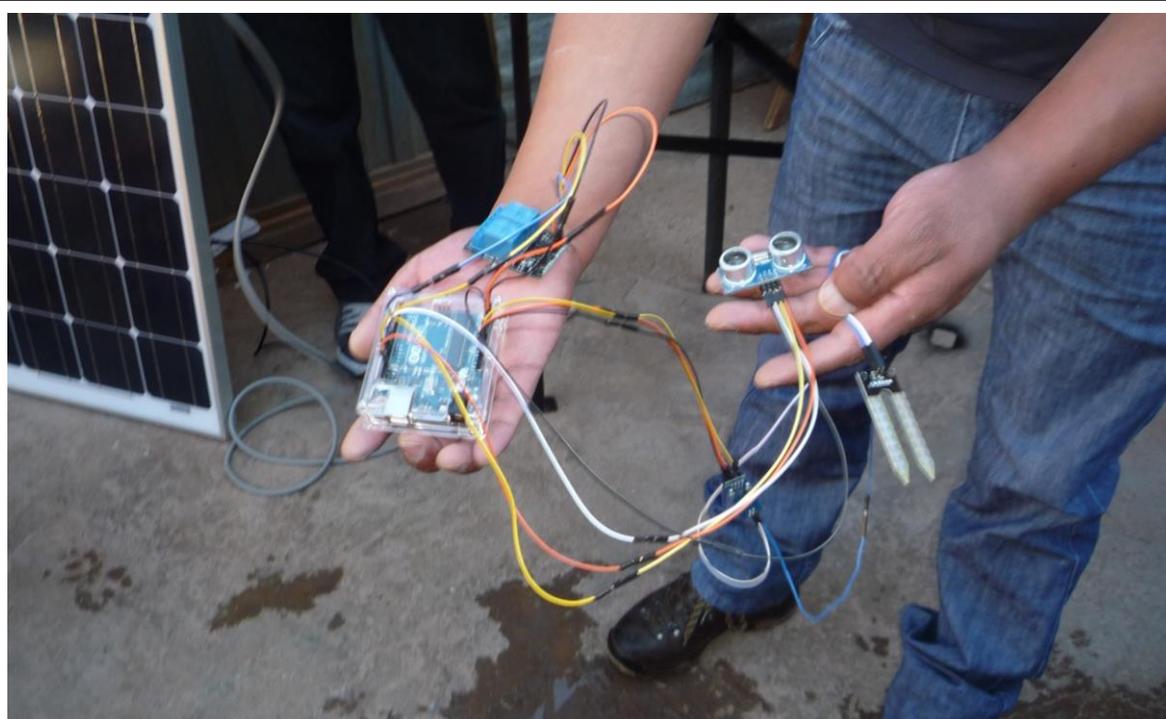
Fotográfica N° 07: poso circular de donde se extrae el agua para riego de los cultivos en principal de la cebolla.



Fotográfica N° 08: visualización de cómo hacen sus sistemas de riego e instalación de tuberías para el mismo de manera artesanal y sin usar técnicas adecuadas en riego.



Fotográfica N° 09: visualización de armado de prototipo automatizado para riego con sistema Arduino y paneles fotovoltaicos.



Fotográfica N° 10: Se nota la conexión de sensores de humedad y de nivel de agua de tanque en la placa de control arduino.

ANEXO B: Cuadros de datos meteorológicos de campo

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

NOMBRE : ESTACION ICHU

CUENCA : ILAVE

LATITUD : 15°52'19"

REGION : PUNO

CODIGO : 001

LONGITUD : 69°55'16"

PROV : PUNO

TIPO : ORDINARIA

ALTITUD : 3829 msnm

DIST : PUNO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1967	46.00	94.30	139.70	41.00	13.00	0.00	0.00	0.00	1.50	27.40	29.00	77.10	469.00
1968	157.60	105.50	88.20	74.40	5.00	0.00	0.00	0.00	12.20	12.00	13.20	60.90	529.00
1969	25.10	156.20	81.50	3.10	31.00	0.00	0.00	0.00	9.50	21.90	49.00	60.70	438.00
1970	71.20	92.80	148.90	7.30	13.70	0.60	9.50	15.60	40.00	31.80	4.50	131.00	566.90
1971	95.70	168.50	52.40	8.70	16.10	0.00	2.20	0.00	21.60	0.00	135.70	0.00	500.90
1972	166.90	94.30	108.00	36.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	16.10	54.30	41.30	521.30
1973	84.90	121.40	144.90	25.70	3.60	1.00	0.00	0.00	14.20	24.80	11.90	124.40	556.80
1974	91.50	218.30	29.10	15.20	11.00	0.00	0.00	4.00	0.00	11.80	56.80	87.00	524.70
1975	224.80	85.90	181.90	36.30	6.20	0.00	0.00	0.60	32.00	32.20	33.80	92.90	726.60
1976	199.40	128.80	124.80	85.00	12.40	0.00	2.10	1.30	46.10	12.90	24.00	93.30	730.10
1977	240.50	232.30	76.50	53.60	0.00	0.00	0.00	53.20	27.60	20.50	48.10	87.40	839.70
1978	134.30	193.50	107.40	22.10	23.50	0.00	0.00	0.00	13.10	34.10	17.00	212.80	757.80
1979	184.00	136.60	130.60	18.40	2.00	1.90	1.30	3.90	41.80	4.30	9.70	65.10	599.60
1980	70.30	166.60	173.20	28.50	0.00	0.00	0.00	0.00	23.10	33.40	118.50	168.20	781.80
1981	257.80	148.50	117.80	37.70	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	14.20	72.50	160.20	815.00
1982	203.60	125.00	71.90	52.00	3.90	0.00	0.60	1.20	3.10	33.90	42.40	122.40	660.00
1983	60.80	84.50	168.40	8.10	4.90	0.00	1.00	32.70	38.60	51.70	57.00	46.30	554.00
1984	124.70	148.80	161.20	47.90	0.00	0.00	1.00	22.20	10.00	18.60	36.70	26.70	597.80
1985	49.90	44.20	51.80	24.40	5.00	1.00	2.50	4.00	48.20	61.00	35.50	23.00	350.50
1986	26.00	138.00	7.50	2.10	1.50	2.80	0.00	3.00	6.50	15.00	30.50	69.00	301.90
1987	212.80	237.10	126.00	33.50	21.40	0.00	3.00	9.00	7.50	41.50	89.40	71.50	852.70
1988	115.50	180.60	97.50	97.70	6.00	22.00	0.00	3.00	31.50	38.00	100.00	142.50	834.30
1989	131.20	234.10	168.70	95.70	1.30	0.00	11.00	1.50	26.00	6.50	31.40	134.10	841.50
1990	158.80	79.10	54.60	9.70	0.00	0.90	7.60	1.50	9.00	37.70	111.60	69.60	540.10
1991	273.60	93.20	155.40	67.20	17.40	0.00	0.00	0.00	6.20	56.00	0.00	142.80	811.80
1992	194.90	57.80	89.60	88.40	0.00	1.40	0.00	4.80	6.00	3.30	40.00	53.60	539.80
1993	172.50	23.40	49.20	13.50	2.40	34.30	0.00	9.80	1.00	112.60	130.00	101.90	650.60
1994	106.40	144.10	115.20	70.10	5.80	35.60	0.00	0.00	6.30	13.80	27.40	59.60	584.30
1995	106.80	75.10	28.50	8.50	0.00	2.70	2.20	31.10	0.00	47.50	27.20	64.90	394.50
1996	147.20	67.80	96.30	69.50	3.00	0.00	0.00	26.30	9.50	113.40	83.00	117.40	733.40
1997	133.80	105.20	162.10	110.20	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	14.30	51.20	98.00	681.30
1998	125.80	70.60	100.20	5.00	0.00	0.00	0.00	0.20	16.60	9.90	32.80	55.30	416.40
1999	206.30	102.80	56.40	37.70	1.90	0.00	2.00	17.60	10.30	14.30	57.80	165.60	672.70
2000	158.50	238.30	160.00	75.10	3.70	0.00	0.00	22.40	46.50	38.00	103.30	88.40	934.20
2001	151.80	168.40	110.30	16.90	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	11.80	12.60	11.10	488.40
2002	95.00	116.90	112.30	104.40	5.40	0.00	1.80	1.80	21.90	104.00	3.00	95.30	661.80
2003	134.60	221.90	133.30	31.70	0.60	0.00	0.00	6.90	15.80	118.30	13.50	110.40	787.00
2004	273.90	224.60	78.20	63.90	11.50	0.80	0.40	52.60	36.90	71.30	21.60	16.70	852.40
2005	93.70	166.90	160.50	125.70	28.70	6.20	16.00	22.90	8.80	116.30	78.00	105.30	929.00
2006	217.20	92.50	116.70	22.10	10.80	2.60	0.00	0.90	16.90	14.00	68.10	136.20	698.00
2007	293.00	100.10	81.60	34.20	0.50	0.50	7.70	18.40	12.80	2.90	27.40	58.20	637.30
2008	75.30	265.70	84.00	49.70	0.00	0.00	0.00	0.50	5.80	30.60	70.60	79.90	662.10
2009	230.20	107.30	141.30	49.90	0.00	0.70	0.00	2.80	44.20	38.00	60.20	69.00	743.60
2010	68.10	105.40	168.60	67.50	2.40	0.00	0.80	0.00	75.40	40.60	97.60	83.90	710.30
2011	271.60	74.50	65.10	6.30	0.00	0.20	0.00	0.60	1.80	34.90	70.10	153.50	678.60
2012	88.80	119.70	111.40	24.60	0.00	0.00	1.60	0.50	1.40	28.40	152.80	91.20	620.40
2013	147.80	125.30	66.70	28.40	9.60	0.00	0.50	4.00	2.40	21.20	35.80	183.00	624.70
2014	76.10	182.50	134.00	41.30	1.70	1.00	5.10	4.30	32.10	29.80	76.20	260.40	844.50
2015	159.00	116.00	91.00	37.00	2.00	0.00	0.00	0.00	7.00	51.00	44.00	87.00	594.00
PROM	145.62	134.30	107.76	43.12	5.90	2.37	1.63	7.97	17.67	35.46	52.99	95.02	649.82
STD	69.38	57.00	42.84	31.24	7.72	7.46	3.27	12.79	16.64	30.47	36.86	51.39	149.15
MIN	25.10	23.40	7.50	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	301.90
MAX	293.00	265.70	181.90	125.70	31.00	35.60	16.00	53.20	75.40	118.30	152.80	260.40	934.20
MEDIANA	134.60	121.40	110.30	36.30	2.40	0.00	0.00	1.80	10.30	29.80	44.00	87.40	660.00

Fuente: PELT

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

NOMBRE : ESTACION ICHU

CUENCA : ILAVE

LATITUD :15°52'19"

REGION : PUNO

CODIGO : 001

LONGITUD :69°55'16"

PROV : PUNO

TIPO : ORDINARIA

ALTITUD :3829 msnm

DIST : PUNO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
1967	63.0	55.0	61.0	52.0	39.0	20.0	25.0	41.0	21.0	26.0	36.0	36.0	39.58
1968	53.0	59.0	59.0	51.0	31.0	94.0	93.0	92.0	94.0	86.0	58.0	75.0	70.42
1969	74.0	79.0	80.0	67.0	70.0	73.0	66.0	56.0	42.0	67.0	68.0	69.0	67.58
1970	55.0	68.0	81.0	58.0	48.0	51.0	72.0	62.0	63.0	58.0	51.0	68.0	61.25
1971	84.0	88.0	87.0	62.0	47.0	37.0	35.0	32.0	39.0	46.0	53.0	42.0	54.33
1972	67.0	68.0	69.0	59.0	48.0	48.0	47.0	46.0	68.0	50.0	53.0	56.0	56.58
1973	69.0	69.0	65.0	58.0	51.0	50.0	54.0	53.0	49.0	78.0	33.0	54.0	56.92
1974	53.0	66.0	50.0	48.0	40.0	41.0	40.0	44.0	33.0	32.0	45.0	50.0	45.17
1975	65.0	62.0	64.0	47.0	30.0	29.0	28.0	30.0	41.0	57.0	40.0	57.0	45.83
1976	65.0	63.0	63.0	55.0	45.0	25.0	31.0	38.0	44.0	33.0	37.0	43.0	45.17
1977	66.0	69.0	62.0	52.0	45.0	34.0	34.0	45.0	48.0	43.0	34.0	50.0	48.50
1978	61.0	65.0	67.0	51.0	48.0	43.0	39.0	41.0	45.0	46.0	35.0	59.0	50.00
1979	64.0	65.0	59.0	49.0	50.0	33.0	41.0	44.0	53.0	42.0	44.0	53.0	49.75
1980	52.0	63.0	67.0	44.0	37.0	38.0	42.0	45.0	47.0	50.0	51.0	55.0	49.25
1981	61.0	58.0	59.0	55.0	46.0	45.0	57.0	46.0	44.0	49.0	55.0	62.0	53.08
1982	67.0	64.0	64.0	53.0	43.0	40.0	42.0	46.0	42.0	43.0	46.0	58.0	50.67
1983	51.0	58.0	64.0	46.0	40.0	37.0	44.0	48.0	49.0	53.0	44.0	54.0	49.00
1984	67.0	68.0	71.0	63.0	47.0	55.0	55.0	50.0	48.0	50.0	55.0	56.0	57.08
1985	62.0	63.0	70.0	51.0	48.0	51.0	51.0	52.0	50.0	51.0	46.0	46.0	53.42
1986	51.0	53.0	40.0	46.0	43.0	54.0	50.0	48.0	55.0	50.0	48.0	54.0	49.33
1987	72.0	72.0	73.0	58.0	45.0	51.0	53.0	56.0	55.0	56.0	58.0	54.0	58.58
1988	54.0	61.0	63.0	60.0	56.0	58.0	44.0	52.0	55.0	55.0	61.0	62.0	56.75
1989	63.0	63.0	64.0	61.0	38.0	33.0	43.0	39.0	44.0	29.0	48.0	67.0	49.33
1990	78.0	58.0	62.0	48.0	35.0	43.0	42.0	34.0	25.0	34.0	46.0	35.0	45.00
1991	60.0	49.0	63.0	56.0	44.0	41.0	34.0	22.0	31.0	26.0	18.0	38.0	40.17
1992	61.0	61.0	64.0	60.0	45.0	43.0	38.0	37.0	33.0	44.0	31.0	27.0	45.33
1993	53.0	42.0	44.0	43.0	36.0	42.0	32.0	34.0	31.0	43.0	49.0	53.0	41.83
1994	49.0	59.0	53.0	52.0	35.0	43.0	42.0	36.0	38.0	31.0	30.0	42.0	42.50
1995	52.0	50.0	39.0	35.0	31.0	37.0	40.0	43.0	31.0	41.0	45.0	43.0	40.58
1996	61.0	52.0	62.0	58.0	42.0	38.0	39.0	40.0	35.0	55.0	61.0	58.0	50.08
1997	72.0	69.0	68.0	69.0	48.0	41.0	37.0	26.0	28.0	18.0	32.0	50.0	46.50
1998	53.0	49.0	61.0	41.0	28.0	29.0	23.0	43.0	50.0	43.0	53.0	57.0	44.17
1999	76.0	75.0	64.0	62.0	51.0	48.0	50.0	51.0	46.0	45.0	52.0	64.0	57.00
2000	71.0	73.0	69.0	63.0	51.0	44.0	47.0	47.0	45.0	42.0	53.0	54.0	54.92
2001	57.0	58.0	54.0	39.0	22.0	35.0	27.0	24.0	17.0	26.0	48.0	51.0	38.17
2002	62.0	72.0	74.0	7.0	51.0	42.0	35.0	29.0	32.0	49.0	23.0	45.0	43.42
2003	65.0	68.0	59.0	47.0	33.0	31.0	32.0	39.0	54.0	62.0	36.0	60.0	48.83
2004	60.0	64.0	74.0	68.0	55.0	52.0	50.0	58.0	42.0	41.0	50.0	52.0	55.50
2005	66.0	78.0	73.0	75.0	64.0	56.0	55.0	53.0	56.0	64.0	62.0	68.0	64.17
2006	72.0	72.0	75.0	65.0	56.0	52.0	54.0	51.0	58.0	54.0	55.0	63.0	60.58
2007	77.0	71.0	67.0	64.0	52.0	47.0	55.0	57.0	50.0	40.0	49.0	59.0	57.33
2008	61.0	76.0	67.0	61.0	54.0	50.0	44.0	38.0	44.0	45.0	51.0	59.0	54.17
2009	71.0	66.0	70.0	65.0	47.0	47.0	46.0	44.0	44.0	48.0	58.0	59.0	55.42
2010	68.0	66.0	74.0	66.0	47.0	47.0	46.0	50.0	55.0	49.0	43.0	56.0	55.58
2011	73.0	65.0	62.0	45.0	40.0	37.0	39.0	34.0	37.0	43.0	44.0	62.0	48.42
2012	64.0	69.0	63.0	56.0	45.0	39.0	38.0	37.0	35.0	40.0	52.0	55.0	49.42
2013	69.0	70.0	71.0	61.0	46.0	40.0	41.0	42.0	42.0	40.0	37.0	48.0	50.58
2014	65.0	65.0	64.0	59.0	43.0	41.0	39.0	42.0	40.0	45.0	39.0	52.0	49.50
2015	64.0	62.0	63.0	57.0	45.0	42.0	42.0	42.0	40.0	45.0	49.0	60.0	50.92
PROM	63.65	64.45	64.51	54.45	44.51	43.82	43.94	44.06	44.24	46.18	46.22	54.08	51.18
STD	7.99	8.44	9.12	10.86	8.79	11.66	12.06	11.25	12.57	12.50	10.26	9.35	7.00
MIN	49.00	42.00	39.00	7.00	22.00	20.00	23.00	22.00	17.00	18.00	18.00	27.00	38.17
MAX	84.00	88.00	87.00	75.00	70.00	94.00	93.00	92.00	94.00	86.00	68.00	75.00	70.42
MEDIANA	64.00	65.00	64.00	56.00	45.00	42.00	42.00	44.00	44.00	45.00	48.00	55.00	50.00

Fuente: PELT

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

NOMBRE : ESTACION ICHU

CUENCA : ILAVE

LATITUD : 15°52'19"

REGION : PUNO

CODIGO : 001

LONGITUD : 69°55'16"

PROV : PUNO

TIPO : ORDINARIA

ALTITUD : 3829 msnm

DIST : PUNO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
1967	10.0	11.2	10.0	10.1	8.0	7.4	6.9	9.5	9.3	10.2	9.7	10.2	9.38
1968	9.4	10.1	8.8	8.6	7.4	5.3	6.2	7.2	8.9	10.8	11.2	10.3	8.68
1969	10.8	10.4	9.6	8.9	7.2	6.4	6.2	8.4	9.2	10.8	10.7	11.2	9.15
1970	10.9	10.2	9.4	8.7	7.9	7.4	6.3	7.0	8.6	9.4	11.1	8.9	8.82
1971	9.5	9.5	8.5	8.1	6.7	6.1	5.7	7.1	8.2	9.9	9.7	10.5	8.29
1972	10.4	10.1	9.6	9.9	8.0	6.4	6.1	7.6	9.0	9.7	10.7	11.6	9.09
1973	10.0	10.1	9.2	9.0	7.9	6.9	6.0	7.4	8.9	10.5	10.5	10.5	8.91
1974	10.9	9.2	10.0	9.1	6.9	6.3	5.7	6.6	8.2	8.2	9.5	9.8	8.37
1975	8.9	8.9	9.2	8.9	7.2	6.1	7.2	7.5	8.9	9.7	11.0	10.6	8.68
1976	10.5	10.7	10.6	10.3	8.6	5.9	6.6	7.3	8.7	10.8	11.7	11.1	9.40
1977	9.7	9.6	9.5	9.5	7.8	6.7	7.0	6.7	8.2	9.8	10.5	10.9	8.83
1978	9.3	9.9	9.7	10.3	9.1	7.2	6.1	7.6	8.8	8.8	11.0	9.9	8.98
1979	9.5	9.8	10.0	8.2	7.8	5.9	6.7	7.4	8.6	9.9	10.1	11.3	8.77
1980	11.6	10.4	10.0	9.8	7.6	6.0	7.7	8.0	9.6	10.7	11.1	11.1	9.47
1981	11.0	11.4	10.9	10.9	8.1	7.3	6.1	7.0	9.0	9.9	10.9	10.8	9.44
1982	10.3	11.4	10.7	10.7	8.2	7.7	7.0	7.4	9.7	10.1	11.7	10.9	9.65
1983	12.1	11.5	11.2	10.1	8.4	8.2	8.2	8.0	10.0	10.3	10.8	10.2	9.92
1984	10.9	10.1	10.0	9.4	8.7	7.3	7.9	9.1	9.9	10.1	10.9	10.7	9.58
1985	10.6	10.6	10.4	9.3	9.4	7.9	7.5	8.9	9.5	10.2	10.1	10.4	9.57
1986	10.8	10.5	10.8	11.0	9.6	8.6	8.5	9.6	10.0	10.0	10.7	11.4	10.13
1987	10.7	10.6	10.6	9.9	9.3	8.3	9.0	8.5	9.2	9.7	9.6	9.8	9.60
1988	10.1	10.0	10.2	10.0	9.6	8.0	7.3	8.4	9.5	9.8	9.5	9.9	9.36
1989	10.4	10.1	10.4	9.5	6.9	6.9	5.3	7.0	8.7	9.7	10.7	9.9	8.79
1990	10.2	10.1	10.4	10.4	8.0	7.3	6.4	7.8	9.8	10.4	11.3	12.2	9.53
1991	10.6	10.7	10.3	10.0	9.0	7.0	6.5	8.4	9.9	10.2	11.1	10.8	9.54
1992	9.6	9.5	9.5	9.1	7.9	7.3	6.2	7.2	7.9	9.5	9.6	10.7	8.67
1993	9.5	9.6	9.6	9.4	8.1	5.9	5.6	8.1	8.3	8.8	9.3	9.0	8.43
1994	9.1	9.2	9.4	8.9	7.8	5.5	6.9	7.9	8.3	9.0	9.9	9.7	8.47
1995	9.2	9.8	9.6	9.3	8.0	7.8	6.3	6.8	9.0	9.2	9.5	10.4	8.74
1996	9.6	9.7	9.8	9.6	8.1	6.2	7.2	7.0	9.3	10.0	10.7	10.9	9.01
1997	9.6	9.5	9.0	9.1	8.0	6.1	6.2	6.9	8.6	9.8	10.9	10.2	8.66
1998	10.6	10.7	9.7	9.6	8.1	7.0	6.0	9.9	10.3	12.0	11.8	10.4	9.68
1999	10.4	10.1	10.8	10.2	8.8	7.0	6.2	8.5	9.5	11.1	10.2	10.2	9.42
2000	9.8	9.6	9.2	8.4	8.0	7.6	7.1	9.0	9.6	10.9	11.3	12.6	9.43
2001	12.3	12.7	12.3	11.2	9.1	8.1	7.5	9.4	10.3	11.4	11.4	12.0	10.64
2002	10.8	10.1	10.2	9.3	8.8	7.1	7.3	8.0	8.9	9.5	10.9	11.5	9.37
2003	10.2	9.8	10.3	9.6	8.8	7.4	6.4	8.2	9.7	9.6	11.0	10.2	9.27
2004	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	7.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	10.0	9.25
2005	11.0	11.0	10.0	10.0	9.0	7.0	6.0	8.0	9.0	10.0	10.0	10.0	9.25
2006	10.9	11.0	10.2	9.8	8.9	6.5	7.2	7.8	8.9	10.6	11.5	11.9	9.60
2007	10.4	10.7	11.2	10.4	8.8	7.0	6.9	7.6	9.8	11.5	12.2	12.2	9.89
2008	11.6	10.4	11.1	10.7	8.8	7.0	8.0	7.9	9.6	10.5	10.3	10.8	9.73
2009	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	7.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	10.0	9.17
2010	10.0	10.7	9.9	9.7	9.5	8.3	7.3	9.8	9.0	10.7	10.7	10.6	9.68
2011	9.8	10.1	9.5	9.8	7.8	7.6	6.8	8.2	9.5	10.7	11.6	10.5	9.33
2012	10.3	10.1	9.9	9.2	8.9	7.3	5.1	8.0	10.3	11.3	11.8	11.9	9.51
2013	11.0	10.0	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	8.0	9.0	10.0	10.0	10.0	9.00
2014	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	7.0	6.0	7.0	9.0	10.0	10.0	10.0	8.92
2015	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	7.0	7.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	9.17
PROM	10.30	10.23	10.02	9.65	8.28	7.00	6.72	7.95	9.17	10.12	10.66	10.62	9.23
STD	0.73	0.67	0.68	0.70	0.71	0.75	0.81	0.84	0.59	0.72	0.72	0.79	0.47
MIN	8.90	8.90	8.50	8.10	6.70	5.30	5.10	6.60	7.90	8.20	9.30	8.90	8.29
MAX	12.30	12.70	12.30	11.20	9.60	8.60	9.00	9.90	10.30	12.00	12.20	12.60	10.64
MEDIANA	10.30	10.10	10.00	9.70	8.10	7.00	6.70	8.00	9.00	10.00	10.70	10.50	9.27

Fuente: PELT

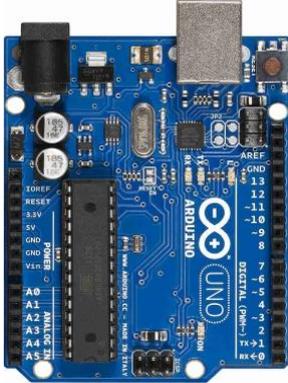
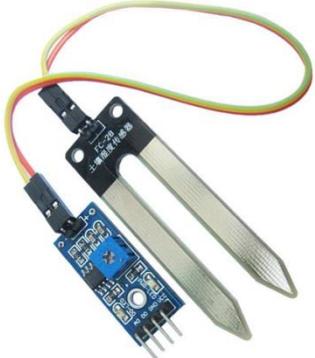
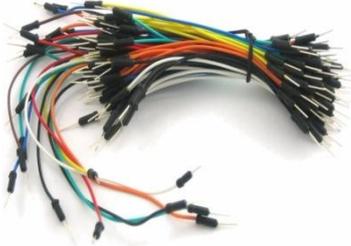
DATOS DE HELIOGRAFO-ESTACION ICHU-PELT-2015

ENERO	FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE		
DE SOL	HORAS DE SOL																													
TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL	HR.	MIN.	TOTAL
10.33	5	0	5.00	9	40	9.67	8	30	8.50	8	0	8.00	8	30	8.50	8	30	8.50	10	0	10.00	10	0	10.00	8	40	8.67	9	30	9.50
6.17	6	20	6.33	7	40	7.67	8	10	8.17	7	30	7.50	8	30	8.50	6	30	6.50	0	20	0.33	11	0	11.00	10	0	10.00	9	0	9.00
8.00	2	10	2.17	8	30	8.50	9	30	9.50	7	0	7.00	8	30	8.50	8	0	8.00	8	30	8.50	10	10	10.17	8	10	8.17	7	30	7.50
9.00	6	30	6.50	6	40	6.67	6	30	6.50	6	30	6.50	6	30	6.50	6	40	6.67	8	30	8.50	10	10	10.17	9	40	9.67	3	30	3.50
3.17	7	40	7.67	8	0	8.00	10	0	10.00	9	40	9.67	8	30	8.50	6	30	6.50	9	10	9.17	10	0	10.00	8	30	8.50	7	0	7.00
3.50	4	30	4.50	8	30	8.50	10	0	10.00	10	0	10.00	1	0	1.00	7	30	7.50	9	0	9.00	10	0	10.00	9	0	9.00	9	10	9.17
11.00	3	0	3.00	4	0	4.00	0	30	0.50	9	0	9.00	4	0	4.00	8	30	8.50	6	0	6.00	10	50	10.83	9	30	9.50	10	40	10.67
6.50	5	0	5.00	7	10	7.17	10	0	10.00	10	0	10.00	8	0	8.00	7	50	7.83	8	10	8.17	10	40	10.67	8	0	8.00	10	40	10.67
6.00	6	0	6.00	7	40	7.67	9	30	9.50	10	0	10.00	6	30	6.50	8	0	8.00	8	30	8.50	9	0	9.00	7	10	7.17	10	40	10.67
2.50	7	0	7.00	5	50	5.83	10	0	10.00	10	0	10.00	7	30	7.50	8	30	8.50	9	10	9.17	9	40	9.67	7	10	7.17	8	10	8.17
4.17	6	40	6.67	5	30	5.50	9	30	9.50	9	30	9.50	8	0	8.00	8	30	8.50	8	40	8.67	10	10	10.17	10	20	10.33	10	0	10.00
2.67	10	30	10.50	8	30	8.50	10	0	10.00	9	30	9.50	5	30	5.50	8	40	8.67	10	20	10.33	10	10	10.17	11	0	11.00	6	0	6.00
7.00	9	30	9.50	8	10	8.17	9	90	10.50	8	30	8.50	3	20	3.33	8	0	8.00	10	10	10.17	10	0	10.00	1	0	1.00	7	30	7.50
5.00	4	40	4.67	7	30	7.50	7	30	7.50	9	10	9.17	7	40	7.67	8	0	8.00	10	20	10.33	9	10	9.17	3	0	3.00	10	0	10.00
3.50	6	0	6.00	1	30	1.50	9	30	9.50	9	30	9.50	8	30	8.50	8	0	8.00	10	0	10.00	10	30	10.50	4	40	4.67	10	20	10.33
5.67	5	0	5.00	6	0	6.00	9	40	9.67	6	30	6.50	8	30	8.50	7	30	7.50	10	20	10.33	10	20	10.33	9	40	9.67	9	40	9.67
4.00	6	0	6.00	7	0	7.00	8	0	8.00	8	0	8.00	8	30	8.50	8	50	8.83	10	10	10.17	10	30	10.50	10	40	10.67	3	30	3.50
3.00	6	30	6.50	7	40	7.67	9	30	9.50	5	20	5.33	8	0	8.00	5	20	5.33	10	10	10.17	10	10	10.17	10	0	10.00	9	0	9.00
5.33	8	0	8.00	10	0	10.00	5	0	5.00	4	20	4.33	4	30	4.50	3	30	3.50	10	20	10.33	9	30	9.50	10	0	10.00	9	40	9.67
8.00	6	0	6.00	10	0	10.00	9	10	9.17	6	0	6.00	8	10	8.17	7	40	7.67	10	20	10.33	9	20	9.33	10	0	10.00	10	0	10.00
9.50	6	30	6.50	9	40	9.67	9	30	9.50	7	40	7.67	8	30	8.50	9	0	9.00	10	0	10.00	9	0	9.00	10	10	10.17	1	10	1.17
7.50	4	30	4.50	7	0	7.00	10	0	10.00	9	0	9.00	8	30	8.50	9	30	9.50	9	30	9.50	10	0	10.00	9	10	9.17	4	0	4.00
6.00	10	40	10.67	10	10	10.17	9	10	9.17	8	10	8.17	3	30	3.50	8	40	8.67	7	20	7.33	8	30	8.50	10	0	10.00	10	30	10.50
4.50	4	40	4.67	10	10	10.17	10	0	10.00	7	30	7.50	8	10	8.17	9	30	9.50	2	20	2.33	9	30	9.50	4	10	4.17	10	50	10.83
9.50	3	40	3.67	9	30	9.50	9	40	9.67	6	20	6.33	8	0	8.00	9	30	9.50	8	40	8.67	7	40	7.67	7	0	7.00	10	30	10.50
7.67	7	0	7.00	9	20	9.33	11	0	11.00	7	40	7.67	8	35	8.58	10	0	10.00	10	10	10.17	10	10	10.17	8	20	8.33	8	0	8.00
9.50	7	20	7.33	9	0	9.00	10	30	10.50	7	30	7.50	8	30	8.50	9	0	9.00	8	30	8.50	8	0	8.00	5	40	5.67	10	0	10.00
10.50	6	30	6.50	4	20	4.33	10	30	10.50	8	40	8.67	8	20	8.33	9	30	9.50	0	40	0.67	10	30	10.50	3	30	3.50	10	0	10.00
8.00				10	0	10.00	10	30	10.50	8	30	8.50	8	30	8.50	10	10	10.17	9	20	9.33	9	40	9.67	9	30	9.50	9	0	9.00
5.00				10	0	10.00	10	20	10.33	8	30	8.50	8	0	8.00	10	0	10.00	9	10	9.17	10	30	10.50	9	30	9.50	7	30	7.50
7.50				6	30	6.50				8	40	8.67				8	40	8.67	9	30	9.50				8	30	8.50			
6.44																														
11.00																														
2.50																														

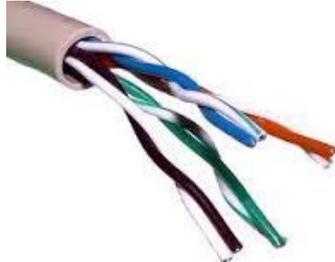
	HORAS SOL MES
	199.67
	172.83
	241.17
	272.17
	252.17
	218.75
	254.00
	263.33
	294.83
	251.67
	253.00
	189.55
MESES MAS ALTO	172.83
MESES MAS BAJO	1.17



ANEXO C: Materiales de sistema automatizado y de riego

<p style="text-align: center;">SENSOR DE ULTRASONIDO</p> 	<p style="text-align: center;">PLACA ARDUINO</p> 	<p style="text-align: center;">SENSOR DE HUMEDAD</p> 
<p style="text-align: center;">RELAY</p> 	<p style="text-align: center;">POTENCIOMETRO</p> 	<p style="text-align: center;">LED</p> 
<p style="text-align: center;">CABLES USB TIPO AB</p> 	<p style="text-align: center;">RESISTENCIA DE 220 OHMIOS</p> 	<p style="text-align: center;">CABLE MM Y LM</p> 

Materiales de Sistema fotovoltaico y Bombeo

<p>TANQUE DE AGUA</p> 	<p>BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE</p> 	<p>TUBERIAS Y ACCESORIOS DE BOMBEO</p> 
<p>EMISORES DE MANGAS</p> 	<p>EMISORES GOTERO BOTON</p> 	<p>MANGUERA DE GOTEO LATERALES</p> 
<p>FILTRO DE AGUA</p> 	<p>PANELES SOLARES</p> 	<p>REGULADOR DE CARGA</p> 
<p>INVERSOR DE CORRIENTE</p> 	<p>BATERIA</p> 	<p>CABLES ATP</p> 

ANEXO D: Esquema general de programación en formato c/c++ para el sistema de riego automatizado

+++++++ **Programación en Software Arduino con C/C++**+++++++
Sistema de riego por goteo Automatizado

```

int distancia_hasta_max = 0; // Lamina mín del agua para el riego de cebolla en cm
int distancia_hasta_min = 0; // lamina máx del agua en el tanque en cm
int humedad_min = 300; // Humedad mín para que inicie a regar la cebolla
int humedad_max = 700; // Humedad a partir de la cual se considera mucha humedad
long tiempo_riego = 1800000; // Tiempo en milisegundos de riego de cebolla
long tiempo_espera = 3600000; // Tiempo de espera en milisegundos

int rojoPins = 3; // pins del Led rojo a PWM pins 6
int verdePins = 5; // pins del Led verde a PWM pins 5
int amarilloPin = 6; // pins del Led amarillo a PWM pin 3
int echo = 8; // Pins para recibir el pulso de eco
int trig = 9; // Pins para enviar el pulso de disparo
int rele1 = 10; // Rele en el pins 10 del sensor de humedad
int rele2 = 11; // Rele en el pins 11 de la bomba de agua
int rele3 = 12; // Rele en el pins 12 de la E.V.
int distancia = 0;
int humedad = 0;
int rojo = 0;
int verde = 0;
int amarillo = 0;
int nivel = 0;
Void setup ()
{Serial.begin(57600);
pinsMode(echo, INPUT);
pinsMode(trig, OUTPUT);
pinsMode(rojoPins, OUTPUT);
pinsMode(verdePins, OUTPUT);
pinsMode(amarilloPins, OUTPUT);
pinsMode(rele1, OUTPUT);
pinsMode(rele2, OUTPUT);
digitalWrite(rele1, HIGH);
digitalWrite(rele2, LOW);
digitalWrite(rele3, LOW);}
Void loop()
{lectura_humedad ();
Sensor_Distancia ();
if (humedad < humedad_min)
{Riego (humedad);}
delay(tiempo_espera);}
void lectura_humedad (void)
{digitalWrite(rele1, HIGH);
delay(2000);
Serial.print("Humedad de la tierra:");
humedad = 1023 - analogRead(0);
Serial.println(humedad);
digitalWrite(rele1, LOW);
Color_Led (humedad);}
void Color_Led (int humedad )

```

```

{ if (humedad >= 0 and humedad < humedad_min)
{ analogWrite(rojoPin, 255);
analogWrite(verdePin, 0);
analogWrite(amarilloPin, 0);}
if (humedad >= humedad_min and humedad <= humedad_max)
{ analogWrite(rojoPin, 0);
analogWrite(verdePin, 255);
analogWrite(amarilloPin, 0);}
if (humedad > humedad_max)
{ analogWrite(rojoPin, 0);
analogWrite(verdePin, 0);
analogWrite(amarilloPin, 255);} }
void Sensor_Distancia(void)
{ unsigned int tiempo;
digitalWrite(trig, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trig, LOW); // Calcula la dist mide el tiempo del estado alto del pins ECHO
tiempo = pulseIn(echo, HIGH); // La vel del sonido es de 340m/s o 29 microseg por cm
distancia= tiempo/58; // manda la distancia al monitor serie
Serial.print(distancia);
Serial.println(" cm"); }
void Riego (int )
{ Sensor_Distancia ();
if (distancia < distancia_hasta_min);
{ Llenado ();}
lectura_humedad (); //lectura para confirmar la medición es correcta y realmente es bajo
if (humedad < humedad_min)
{ digitalWrite(rele1, LOW);
digitalWrite (rele2, HIGH);
Serial.println("Regando");
delay (tiempo_riego);
digitalWrite (rele2, LOW);}
else
{ Serial.println("No regar");} }
void Llenado (void)
{ while (distancia < distancia_hasta_max) //hace el llenado hasta la altura maxima
{ digitalWrite (rele3, HIGH);
Sensor_Distancia ();}
digitalWrite (rele3, LOW);}

```

ANEXO E: Planos de sistema fotovoltaico y esquema de prototipo automatizado