



TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
Carrera: Ingeniería en Mantenimiento Industrial
Grado: Licenciatura



UPA Nacional Costa Rica



Proyecto:

“Sistema de Riego por Goteo Energizado con Módulos Solares”

Asesor Académico:

Ing. Alberto Garro Zavaleta

Asesor Industrial:

Sr. Carmelino Carranza Sánchez

Realizado por:

Yoltic Xicán Zúñiga Gamboa

San Ramón, Alajuela, noviembre 2014



- Canadian Engineering Accreditation Board
- Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie

Carrera evaluada y acreditada por:

CEAB

INFORMACIÓN

Información del estudiante:

- Nombre: Yoltic Xicán Zúñiga Gamboa.
- Cédula: 2-0691-0386.
- Carné I.T.C.R: 200965498.
- Dirección de residencia permanente: San Ramón, Alajuela.
- Teléfonos: casa: 24450107/ celular: 83108248
- Email: yoxizuga@gmail.com

Información del proyecto:

Nombre del proyecto: Sistema de riego por goteo energizado con módulos solares.

Asesor académico: Ing. Alberto Garro Zavaleta.

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes, de 8:00am a 5:00pm.

Información de la empresa:

- Nombre: UPA Nacional.
- Zona: San Ramón.
- Dirección: Costado este del Hospital San Ramón, contiguo al Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Actividad principal: Defender los intereses políticos, económicos y sociales de los afiliados.
- Asesor industrial: Carmelino Carranza Sánchez
- Teléfono: 88113319
- Email: upanac@sol.racsa.co.cr

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a la madre Tierra por permitir producir en ella los alimentos que nos proporcionan la energía para ser seres vivos saludables y fuertes; pido perdón de antemano por el daño ocasionado a los animales, semejantes al ser humano, por medio de la contaminación día tras día del agua, la tierra y el aire. Pido a Dios para que ilumine nuestras mentes y corazones con el fin de hacernos comprender que el dinero no da vida, solo la quita.

Lo dedico también a los agricultores, quienes con esfuerzo comienzan a producir de manera orgánica, pues entienden las necesidades de los cultivos, trabajan en la nutrición de estos y no en el tratamiento de plagas con agroquímicos, por lo tanto, también a quienes apoyan al pequeño y mediano agricultor ecológico.

A la vez, este proyecto está dedicado a mis padres, quienes con tanto esfuerzo han luchado por mi educación, no solo una educación formal en la cual el estudiante es insertado dentro de cuatro paredes para ser moldeado, sino una educación informal, dada ante el cuestionamiento propio hacia la vida, hacia la sociedad, a través de esta se me ha ayudado a ser un individuo libre y crítico, con la capacidad de razonar y actuar por mí mismo.

AGRADECIMIENTO

Inicio agradeciendo a mi familia, siempre presente durante mi desarrollo, brindándome la oportunidad de crecer en un ambiente diferente enfocado en el conocimiento, respeto por la vida, la naturaleza y la justicia, así como el valor de la lucha social, humana y animal.

Debemos agradecer, además, la oportunidad de estudiar en una universidad pública como lo es el Tecnológico de Costa Rica y luchar por su continuidad y calidad, porque la educación es de gran importancia para el desarrollo de un país y más aún una educación de calidad tanto técnica como humana. Por lo tanto, también agradezco a la escuela y varios de sus profesores, quienes saben transmitir su conocimiento adecuadamente, así como motivarnos a ser excelentes profesionales y humanos.

Agradezco a la escuela de Ingeniería Agrícola por brindarme parte de su tiempo y conocimiento para realizar los estudios topográficos y de suelos, así como la colaboración con el diseño. Gracias al ingeniero Carlos Piedra Santamaría por motivarme a desarrollar un proyecto diferente, fuera del esquema de empresa, y en el cual yo mismo pude definir lo que deseaba, así como buscar los medios para desarrollarlo.

Por último, doy gracias a cada individuo que busca hacer de este planeta un lugar mejor, a los sueños que se convierten en propuestas de mejora y luchas contra las injusticias. Agradezco a quienes no tienen miedo de alzar la voz y anteponer el interés colectivo antes del individual, así como hacer uso de sus capacidades y su conocimiento para proponer soluciones a los problemas que enfrentamos como sociedad, porque el conocimiento debe ser tanpreciado como la vida humana, y debe ser utilizado de forma altruista, valorando las oportunidades con el fin de brindárselas a nuestros semejantes.

Contenido

INFORMACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	14
1.1.1 LUCHAS RECIENTES DE UPA	14
1.1.2 VISIÓN, MISIÓN Y VALORES DE LA ORGANIZACIÓN.....	15
1.1.3 VALORES DE UPA NACIONAL	15
1.1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y FUNCIÓN DE UPA NACIONAL COSTA RICA, SEDE SAN RAMÓN.....	16
1.1.5 OBJETIVOS DE UPA NACIONAL:	16
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	17
1.3 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO ENERGIZADO CON PANELES SOLARES.....	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.3.3 METODOLOGÍA EMPLEADA.....	23
2MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 RIEGO POR GOTEO.....	25
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO.....	26
2.1.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RIEGO.....	27
2.1.3 SISTEMA DE FILTROS.....	28
2.1.4 FERTILIZACIÓN DIFERENCIAL	30
2.1.5 TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	31

2.1.6	<i>PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS, DIMENSIONAMIENTO DE ESTAS</i>	32
2.2	SISTEMA DE POTENCIA Y GENERACIÓN.....	33
2.2.1	<i>PARTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</i>	33
2.2.2	<i>REGULADOR DE CARGA</i>	36
2.2.3	<i>INVERSOR</i>	37
2.3	CONEXIÓN ENTRE LOS EQUIPOS Y LOS PANELES.....	39
2.3.1	<i>SISTEMA DE CONEXIÓN DIRECTA</i>	39
2.3.2	<i>SISTEMA CON BATERÍAS</i>	40
2.3.3	<i>SISTEMA CONECTADO A LA RED</i>	41
2.3.4	<i>SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (CONTROL)</i>	41
2.4	VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN.....	42
2.4.1	<i>CONTROLADOR DE RIEGO</i>	43
	3DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	45
3.1	GENERALIDADES DEL RIEGO.....	45
3.1.1	<i>CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO</i>	45
3.1.2	<i>SELECCIÓN DE PRODUCTO Y DISTRIBUCIÓN DE ESTE</i>	45
3.2	UBICACIÓN Y TIPO DE GOTERO.....	47
3.2.1	<i>DISTRIBUCIÓN DEL GOTEO EN EL INVERNADERO</i>	47
3.3	NECESIDADES DEL CULTIVO.....	48
3.3.1	<i>NECESIDAD DE AGUA</i>	49
3.3.2	<i>EFECTO DE LOCALIZACIÓN</i>	51
3.3.3	<i>EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS</i>	52
3.3.4	<i>NECESIDADES RESULTANTES DE RIEGO</i>	53
3.4	DOSIS DE RIEGO	56
3.4.1	<i>TIEMPO DE RIEGO</i>	59
3.5	RESUMEN DEL DISEÑO DE RIEGO	62
	4SISTEMA DE POTENCIA	64
4.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	65
4.2	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y CAPTACIÓN	67
4.2.1	<i>TANQUE DE RESERVA</i>	67
4.2.2	<i>TANQUE DE CAPTACIÓN</i>	68
4.3	CAUDAL DISPONIBLE.....	69
4.4	DISEÑO DE BOMBEO EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE RADIACIÓN DISPONIBLES.....	70
4.4.1	<i>DIÁMETRO DE LA TUBERÍA</i>	71

4.4.2	PRESIÓN QUE DEBE SUPLIR LA BOMBA	72
4.5	PROPUESTAS DE SISTEMAS DE BOMBEO	73
4.5.1	BOMBAS DE CORRIENTE DIRECTA.....	73
4.5.2	BOMBAS DE CORRIENTE ALTERNA.....	75
	<i>Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010.....</i>	<i>77</i>
5	SISTEMA DE GENERACIÓN.....	79
5.1	SISTEMA FUERA DE LA RED (CD)	79
5.2	SISTEMA FUERA DE LA RED CA.....	82
5.3	SISTEMA CONECTADO A LA RED CA.....	84
6	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	87
6.1	CONTROL DEL SISTEMA DE POTENCIA DE CORRIENTE ALTERNA	87
6.2	CONTROL DEL SISTEMA DE RIEGO.....	89
6.2.1	<i>Observaciones del programador.....</i>	<i>90</i>
6.2.2	<i>Información técnica del controlador.....</i>	<i>91</i>
7	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA EL AGRICULTOR.....	92
8	CONCLUSIONES.....	95
9	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
10	APÉNDICES.....	101
10.1	APÉNDICE 1.GRAFCET DEMOSTRATIVO CONTROL DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	101
10.2	APÉNDICE 2. TABLA SOBRE LAS HORAS DE RADIACIÓN DIARIAS	102
10.3	APÉNDICE 3. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS EN EL TERRENO	103
10.4	APÉNDICE 4. DIAGRAMA REPRESENTATIVO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL RIEGO EN EL INVERNADERO.....	104
10.5	APÉNDICE 5.EJEMPLIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL INVERNADERO.....	105
10.6	APÉNDICE 6.DIAGRAMA DE CONEXIÓN PANELES SOLARES CONECTADOS EN RED	106
10.7	APÉNDICE 7.INVERSIÓN REQUERIDA PARA SISTEMA FUERA DE LA RED.....	107
10.8	APÉNDICE 8. INVERSIÓN REQUERIDA PARA SISTEMA CONECTADO A LA RED.....	108
10.9	ANEXOS	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de vulnerabilidad promedio por provincia para el 2030	18
Figura 2. Generación esperada para el periodo del 2014-2035	20
Figura 3. Ejemplificación del levantamiento topográfico.	65
Figura 4. Dimensiones del tanque elevado de reserva (m).	67
Figura 5. Dimensiones reservorio de la captación de agua (m).....	68
Figura 6. Controlador LCB 200	79
Figura 7. Controlador Aerovironment Universal para motores (CA)	83
Figura 8. Diagrama escalera simplificado para control de la bomba	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del riego por goteo	27
Tabla 2. Equivalencia entre el mesh y el diámetro del orificio.	29
Tabla 3. Parámetros por tener en cuenta para la selección de un inversor.	38
Tabla 4. Clasificación del cultivo según la profundidad de las raíces	46
Tabla 5. Distribución y selección de las cintas de goteo en el invernadero.	48
Tabla 6. Temperaturas promedio mensuales de 1971 al 2002 en Naranjo	50
Tabla 7. Valor previo de evapotranspiración inicial en función a la radiación solar. ..	51
Tabla 8. Evapotranspiración tomando en cuenta el efecto de localización	52
Tabla 9. Necesidades resultantes de riego obtenidas por día incluyendo el coeficiente de uniformidad	55
Tabla 10. Cantidad de goteros por producto	59
Tabla 11. Volumen diario por emisor.	61
Tabla 12. Tiempo de riego para productos de menor profundidad radicular	61
Tabla 13. Caudal total en el invernadero	61
Tabla 14. Datos de la tubería que provee el riego en el invernadero.	62
Tabla 15. Costos del diseño de riego	63
Tabla 16. Levantamiento topográfico de la toma de agua al tanque elevado de reserva	66
Tabla 17. Datos del caudal de la naciente.	69
Tabla 18. Volumen diario disponible frente al volumen diario requerido	69
Tabla 19. Área por regar respecto al área real que se puede regar	69
Tabla 20. Características de la tubería por utilizar	70
Tabla 21. Comparación de pérdidas por fricción en diferentes diámetros de tubería.	71
Tabla 22. Longitud equivalente en accesorios	72
Tabla 23. Costos de tubería en elevación y accesorios.	73
Tabla 24. Comparación técnica entre bombas de corriente directa	73

Tabla 25. Comparación económica entre bombas de corriente directa	74
Tabla 26. Comparación técnica entre bombas de corriente alterna.....	75
Tabla 27. Comparación económica de las bombas de corriente alterna.	76
Tabla 28. Caída de voltaje para diferentes espesores de cable eléctrico.	77
Tabla 29. Lista de materiales para la conexión de la bomba.....	78
Tabla 30. Equipos para la instalación con una bomba de corriente directa	80
Tabla 31. Ventajas y desventajas de un sistema conectado en red con una bomba de corriente alterna.....	81
Tabla 32. Costo del sistema fotovoltaico conectado en red.....	85
Tabla 33. Ventajas y desventajas de un sistema conectado en red con una bomba de corriente alterna.....	86
Tabla 34. Información económica del sistema de control de riego	91
Tabla 35. Acciones de mantenimiento que el agricultor puede implementar en el riego y generación	93
Tabla 36. Análisis de fallas del controlador de riego	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Coeficientes (KC) para algunos de los principales cultivos	109
Anexo 2. Curva generalizada de coeficiente de cultivo Kc.....	110
Anexo 3. Radiación solar extraterrestre en MJ m-2d-1 de Allen et al 1998	111
Anexo 4. Procedimiento general para calcular ETC	112
Anexo 5. Longitud y latitud de San Rafael, Costa Rica	113
Anexo 6. Curvas de operación de las bombas VM01	114
Anexo 7. Curvas de operación de las bombas CS46 B5 y B7	115
Anexo 8. Corriente a plena carga en motores de corriente alterna monofásicos.....	116
Anexo 9. Corriente a plena carga para motores de corriente continua	117
Anexo 10. Curvas de operación de la bomba Grundfos SQ Flex.	118
Anexo 11. Curvas de operación de la bomba Shurflo 9325-043-101 24	119
Anexo 12. Longitud equivalente para accesorios de tubería PE	120
Anexo 13. Cotización de la bomba sumergible S46B7.....	121
Anexo 14. Capacidad máxima para dispositivos de protección de motores contra cortocircuito y falla a tierra.	122
Anexo 15. Conexión de la bomba Shurflo	123

RESUMEN

Este proyecto se realizó en un terreno de una hectárea, ubicado en San Ramón de Alajuela, consiste en la elaboración de una propuesta de diseño de un sistema de riego para un invernadero destinado al cultivo de hortalizas. Las plantas requieren una cantidad óptima de agua diaria para desarrollarse adecuadamente, de forma que se busca reducir las pérdidas de agua comunes en la agricultura por el efecto del viento, filtración por suelos arenosos, encharcamiento y evaporación. Para el desarrollo de este proyecto fue necesario reunirse con agricultores de la zona de San Ramón y Zarcero, esto con el fin de adquirir conocimiento con respecto a las condiciones en que se desarrolla actualmente la agricultura en la región, así como observar proyectos exitosos ya instalados y determinar propuestas de mejora. El diseño también propone la generación eléctrica para abastecer adecuadamente el sistema de bombeo, esto con el fin de que el agricultor contribuya a la protección del medio ambiente y pueda obtener ahorros económicos a través del tiempo.

Además, se analizará la posibilidad de instalar un sistema autónomo y se comparará con un sistema conectado a la red eléctrica suministrada a la empresa por parte de los servicios de la región, ello con el fin de definir el sistema más apto para instalar. Asimismo, se presenta un manual de usuario y mantenimiento para la adecuada manipulación y funcionamiento del sistema.

También se proporciona al agricultor una visión sobre la situación actual de las energías alternativas en el sector agrario nacional, debido a que estas tecnologías muchas veces no están al alcance de sectores en desarrollo, más bien están excluidas debido a la desigualdad social y al abandono por parte de la política nacional.

ABSTRACT

This design project was developed in a one-hectare piece of land located in San Ramón, Alajuela. It consists in coming up with a potential design for a greenhouse irrigation system. The idea is to grow vegetables inside this greenhouse. As we know, plants require an optimum daily amount of water to thrive properly. Water loss is an issue in traditional agriculture due to wind, sandy soils, and evaporation. Too much water can also be a problem if slow drainage is present. To develop this project it became necessary to meet with local San Ramón and Zarcero farmers, in order to acquire knowledge on the current agriculture practices in the area, as well as taking notes on similar successful projects, which could be improved.

The proposed design also includes generation of enough electricity to power the entire water pumping system, which will allow the farmer to help protect the environment, and also to get economic benefits over time.

To achieve this, both grid-tied and off-grid systems will be analyzed and taken into account. This will help farmers choose the one that best fits their needs.

A user and maintenance manual will be presented to ensure the system works well and is properly handled.

The project seeks to provide the individual with a clear idea on the current situation regarding alternative energy systems and their applications to make farming easier and more environmentally friendly. It has to be pointed out that access to these technologies is often limited for developing social groups with restricted monetary resources, of which farmers are perfect examples. They are also often excluded because of social gaps, and unfavorable national political policies.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

UPA corresponde a la Unión de Pequeños y Medianos Agricultores Nacionales, es un sindicato de campesinos encargado de reivindicaciones a nivel político y económico. Nace en 1981, está constituido por unos 17 000 afiliados y es la organización de agricultores más grande de Costa Rica. En los años 1986 y 1987 se opuso al gobierno de turno, adquiriendo desde entonces notoriedad ante la opinión pública.

UPA Nacional fue creada por los embates que sintió el campesino frente a los procesos de deterioro social de la década de 1980, por lo cual posee en su doctrina un énfasis en los problemas económicos; sin embargo, ante la acelerada desaparición del pequeño propietario, las propuestas son dadas frente a los programas del gobierno como una alternativa a las políticas vigentes del neoliberalismo en ascenso. Debido a esto, el discurso del sindicato es una opción pragmática en relación con los Programas de Ajuste Estructural (PAE), desarrollados por el gobierno. (39) (Vega, 1994)

1.1.1 LUCHAS RECIENTES DE UPA

UPA ayuda a la implementación del programa PROAGROIN de la condonación de la deuda Costa Rica – Holanda. Además, se da un proceso de incorporación de jóvenes y mujeres, y se fomenta la agricultura orgánica con resultados positivos en todo el país. Se firma el convenio con el consorcio frijolero, esto significa una importante labor en cuanto a la seguridad alimentaria.

1.1.2 VISIÓN, MISIÓN Y VALORES DE LA ORGANIZACIÓN

1.1.2.1 VISIÓN

Ser una organización efectiva que propone y defiende los intereses productivos del agricultor campesino, planteando una política agraria que procure valor agregado sobre la producción y que la diversifique, con una actitud de valentía e independencia y dando prioridad a los aspectos esenciales de la actividad productiva⁽³¹⁾(CooperativaAUPA, 2001)

1.1.2.2 MISIÓN

Unificar criterios y definir prioridades fortaleciendo la estructura organizativa en lo financiero y en su membrecía con el fin de ejecutar una política agraria, que responde efectivamente a las necesidades del agricultor. (CooperativaAUPA, 2001)

1.1.3 VALORES DE UPA NACIONAL

Confianza
Democracia
Dignidad
Ejecutividad
Espiritualidad

Honestidad
Lealtad
Participación
Solidaridad
Unión

1.1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y FUNCIÓN DE UPA NACIONAL COSTA RICA, SEDE SAN RAMÓN

Está ubicada en San Ramón, al costado este del hospital Carlos Luis Valverde Vega, contiguo al Ministerio de Agricultura y Ganadería, se encarga de dar soporte legal y político a los pequeños y medianos agricultores del país. La función de UPA Nacional es velar por los intereses de los afiliados (los agricultores), tanto económicos como políticos, con la finalidad de proteger la soberanía alimentaria nacional y el desarrollo del sector agrario diversificado.

1.1.5 OBJETIVOS DE UPA NACIONAL:

1. Desarrollar programas de capacitación para formar un nuevo perfil de agricultores y agricultoras, y así enfrentar con éxito la apertura y globalización a través de proyectos e iniciativas beneficiosos para la familia campesina en el marco de la reconversión productiva.
2. Reforzar la información estratégica requerida por las bases y dirigencias a través de equipos de promoción con capacidad de orientar procesos autónomos de planificación, seguimiento y evaluación.
3. Favorecer la participación de la mujer y el joven en el ámbito político organizativo y productivo como forma de concretar la política de trabajo compartido.
4. Reforzar proyectos de reconversión productiva mediante acciones propias y bajo coordinación interinstitucional, esto con el fin de facilitar la perspectiva empresarial campesina.
5. Desarrollar acciones diagnósticas y de producción de conocimientos para solución de problemas y necesidades como familia, empresa y sector.

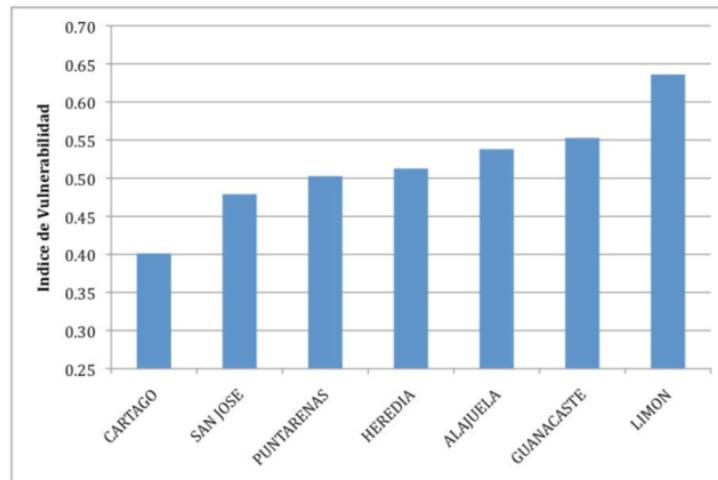
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, el planeta Tierra enfrenta una crisis ambiental en medio de la cual el recurso hídrico y las tierras fértiles para cultivo se están viendo amenazadas. Las técnicas de agricultura no siempre son las más adecuadas, por ejemplo, el uso de grandes extensiones de tierra que deben ser deforestadas previamente para poder implementar un sistema agrario por medio de monocultivos, así como el gran uso de agroquímicos y sistemas de riego que ineficientemente usan el recurso debido a que al aire libre se evapora un porcentaje considerable del agua utilizada para regar, más en extensiones tan desertificadas, son algunas de ellas.

El desarrollo humano está directamente ligado al sistema agrario, un pueblo dependiente de importaciones se vuelve frágil ante una crisis mundial de alimentos, por ello es de suma importancia desarrollar sistemas de producción independientes que aseguren la soberanía alimentaria. Aún cuando Costa Rica tiene la tierra y el recurso hídrico suficiente para abastecer en forma satisfactoria las necesidades de toda la población, la mala administración y distribución hacen pasar hambre a un porcentaje de la población. Según informe de la FAO, en el 2013 un 8,2% de los habitantes de Costa Rica sufría hambre debido a la desigualdad y al bajo crecimiento económico, esta, si bien es principalmente una situación política y social, los ingenieros deberían identificarse con el problema y plantear soluciones con el fin de brindar a la población los alimentos necesarios para su desarrollo, por esto se plantea un diseño para optimizar el uso de los recursos, este debe permitir cultivar en tierras más áridas, secas, normalmente no accesibles para la agricultura.

En Costa Rica, el sector agrícola es de suma importancia para el desarrollo del país, pues representa un 9 % del PIB y posee más de 120,000 hectáreas irrigadas. La figura 1 muestra la vulnerabilidad futura ante el cambio climático en el sector hídrico de los diferentes cantones. Limón es la provincia con más vulnerabilidad, mientras que Cartago posee la menor. Heredia se ubica en un punto intermedio y San José se muestra como la segunda provincia menos vulnerable.

Figura 1. Índice de vulnerabilidad promedio por provincia para el 2030



Tomado de Evaluación de la Vulnerabilidad Futura del Sistema Hídrico al Cambio Climático (21)(Jaime Echeverría, 2008)

En la figura anterior se presenta la vulnerabilidad a nivel de provincia para el escenario AD en el año 2030. Es posible observar cómo Limón y Guanacaste tendrán la mayor vulnerabilidad en el año 2030. Este patrón brinda una pauta para inversiones futuras en adaptación, la cual es consistente con los resultados del análisis de Retana. "En ambos casos (vulnerabilidad actual y futura), Limón es la provincia que tiene la mayor vulnerabilidad, mientras que Cartago la menor. De forma similar, Heredia se ubica en un punto intermedio y San José se muestra como la segunda provincia menos vulnerable."(Jaime Echeverría, 2008)

El Informe del Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos propone algunas medidas para reducir la vulnerabilidad ante la reducción del recurso, tales como:

- Diversificación de la producción, investigación y extensión agrícola.
- La posibilidad de interconectar los sistemas de agua. Con el fin de mantener la oferta de agua cuando algún sistema falle, ya sea por falta de agua o por contaminación de una fuente.
- Múltiples fuentes y aumento en la capacidad de almacenamiento de agua.
- Reducción de las fuentes de contaminación del agua.
- Protección de los bosques por medio de nuevas áreas silvestres protegidas, ampliación de las existentes o esquemas de pago por servicios ambientales en áreas privadas.

Según el plan de expansión para generación eléctrica del ICE, en Costa Rica la generación hidroeléctrica esperada para el periodo 2014-2035 es de 74%, como se observa en la siguiente gráfica, esto demuestra lo dependiente que es Costa Rica del recurso hídrico. Durante la época seca, los embalses trabajan a capacidades reducidas, esta situación hace necesario recurrir a la energía térmica, la cual es una fuente de contaminación, además de tener un costo más elevado; sin embargo, el uso de hidrocarburos podría verse reducido si se aumenta la cantidad de granjas solares instaladas en el país.

Figura 2. Generación esperada para el periodo del 2014-2035

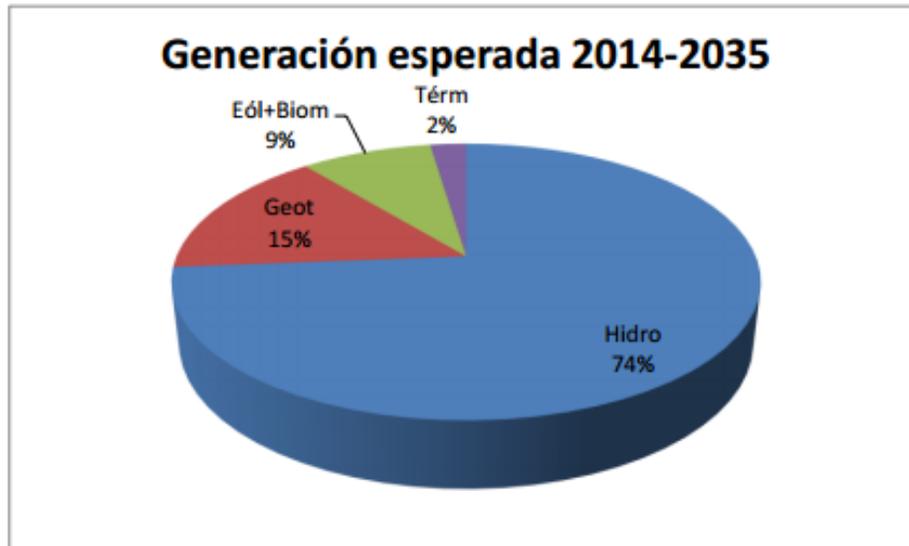


Figura 15-2 Porcentaje de generación por fuente 2014-2035

20)(ICE, 2014)

Actualmente, se observan reducciones en el recurso hídrico del país, "el gobierno de Costa Rica decretó en estado de emergencia 11 cantones de Guanacaste, Orotina, San Mateo, Atenas, Aguirre, Garabito, Montes de Oro, Esparza y el Central de Puntarenas" (34)(S Barquero, 2014). Los periódicos nacionales llevan varios años publicando las consecuencias que enfrenta el país ante el cambio climático. La noticia anterior muestra los efectos de la sequía a finales del mes de julio de 2014.

El periódico La Nación también prevé que "para el 2080 el paisaje de Costa Rica se verá alterado, volviéndose un paisaje más seco, desértico; las fuentes de agua se verán afectadas considerablemente debido al cambio de biodiversidad, los bosques húmedos y lluviosos se verán reducidos; y zonas como Guanacaste y Puntarenas se volverán sabanas".(23)(M Soto, 2014)

Dados los cambios pronosticados según algunas noticias a nivel nacional e internacional, así como los informes presentados por entes como el MINAET, y de acuerdo con la vulnerabilidad de los pequeños y medianos agricultores en este país, es importante el desarrollo técnico de propuestas de diseño por medio del uso de tecnologías como lo son el riego por goteo, sistemas de control y generación fotovoltaica, estas permiten a los grupos sociales, muchas veces abandonados por la política, enfrentar la problemática presente con respecto al recurso hídrico.

1.3 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO ENERGIZADO CON PANELES SOLARES

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de riego por goteo energizado con un sistema fotovoltaico que genere la energía requerida para abastecer el sistema de potencia, de forma tal que se cumpla con los requerimientos de suministro de agua de un invernadero en el terreno del señor William Zúñiga, ubicado en San Ramón de Alajuela.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un sistema de riego por goteo.
2. Diseñar la propuesta de potencia de un sistema fuera de la red y un sistema conectado en red.
3. Proponer un sistema de control para la bomba de corriente alterna.
4. Seleccionar los equipos requeridos del sistema de potencia y control.
5. Determinar las ventajas y desventajas de un sistema fuera de la red respecto a un sistema conectado en red.
6. Seleccionar un programador para controlar el riego del invernadero.
7. Estimar la inversión requerida para la instalación del proyecto.
8. Elaborar un programa de mantenimiento para los sistemas de generación y riego, este debe ser de fácil comprensión para el agricultor.

1.3.3 METODOLOGÍA EMPLEADA

1. En conjunto con estudiantes de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica, se realizó un levantamiento topográfico para determinar las diferencias de nivel entre la toma de agua y el invernadero, así como un análisis de filtración del suelo, información necesaria para el diseño.
2. Fue necesario asistir a clases de riego a presión, impartida por el ingeniero Marvin Villalobos, de la carrera de Ingeniería Agrícola.
3. Se realizaron las consultas bibliográficas necesarias para el desarrollo de este proyecto.
4. Se hicieron varias visitas a agricultores de Zarcero y de San Ramón, esto con el fin de adquirir información sobre la instalación de sistemas de riego y conocer más sobre la problemática enfrentada por algunos con respecto a la reducción del recurso hídrico.
5. Se llevó un control y muestreo de caudales en la fuente de agua, así como un análisis de humedad y temperatura del terreno donde se ubica el invernadero.
6. Se diseñó la distribución de las líneas de riego en el invernadero determinando el área que cada planta requiere y el espacio para que el agricultor se movilice.
7. Se determinó la distancia entre la fuente de agua y el tanque de reserva, así como entre este último y el invernadero, con esto se pudo calcular las caídas de presión.
8. Se diseñó el sistema de riego en función de la presión requerida y disponible por gravedad, la ubicación de las tuberías, la distancia y la ubicación de los goteros.

9. Antes de proceder con la selección del sistema de potencia, fue necesario conocer si el agua a disposición en la finca era suficiente para el riego del invernadero, por lo tanto, se realizaron los cálculos para determinar el agua necesaria por día.
10. Para la selección de la bomba se visitaron y cotizaron varias empresas con el fin de obtener la mejor opción posible.
11. Se realizó la comparación de varias bombas, tanto de corriente directa como de corriente alterna.
12. Se seleccionaron los equipos para la instalación de una granja solar, tanto para funcionar con motores de corriente directa como con motores de corriente alterna.
13. Se cotizaron equipos de protección y control para el sistema de bombeo, en el caso de que fuera conectado a la red (corriente alterna).
14. Se determinaron los costos de inversión, tanto de un sistema autónomo como de un sistema en red.

2 Marco teórico

El agua es un recurso imprescindible para la producción agrícola. Ante la realidad actual de la reducción de las fuentes de esta, se propone incursionar en la promoción de tecnologías de riego que reduzcan su uso, esto sin afectar la producción ni el medio ambiente. El riego por goteo (29)(Pizarro, 1990) permite reducir las pérdidas por percolación y evaporación, todo esto reduce los gastos diarios de agua en la producción. La generación eléctrica en Costa Rica es principalmente hidroeléctrica, y los ríos han reducido sus volúmenes, por lo que el sector agrario debe buscar protegerse para un futuro, por ese motivo el aporte a la red por medio de generación solar promueve un buen desarrollo en el país.

2.1 RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo se define como el riego que consigue mantener el agua en la zona radicular de las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplicando agua gota a gota. En otras palabras, se riega lo necesario, cerca de las raíces, para facilitarle a la planta la obtención del agua necesaria para su crecimiento. El goteo, a diferencia de otros métodos como lo son: aspersión o gravedad, al ser un riego localizado reduce considerablemente las pérdidas por percolación (filtración en la tierra por exceso de agua), evaporación superficial debido a la radiación solar y se reducen los problemas de distribución debidos al efecto del viento sobre el riego por aspersión. (22) (Juan, 1993)

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO

El agua aplicada al suelo se infiltra y se desplaza en dirección horizontal y vertical, desplazando los minerales del suelo. En el riego por goteo se forma una distribución conocida como bulbo de humedad, esto significa que no se moja todo el suelo, sino una parte. El bulbo húmedo varía en función de las características del suelo, como se observará más adelante en los resultados, el bulbo tenderá a variar si el suelo es arcilloso o más arenoso.

Para mantener la planta en condiciones adecuadas, se requiere determinar una frecuencia de riego, así como el volumen de riego por periodo; esto se debe determinar en función de las necesidades de cada planta y las características del suelo.

El riego por goteo requiere ser abonado frecuentemente, puesto que el agua se está moviendo constantemente en el bulbo, esto puede producir un lavado excesivo de nutrientes por lo que la fertirrigación se vuelve importante en el riego por goteo.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del riego por goteo

Ventajas	Desventajas
Ahorro importante de agua, mano de obra, abonos y productos fitosanitarios. Hasta de un 50 %.	Sistema más caro, no todo cultivo justifica su uso; sin embargo, cada vez son más accesibles.
Permite utilizarse en una gran variedad de terrenos, sin importar qué tan accidentados o pobres sean.	No protege cultivos sensibles a bajas temperaturas.
No requiere mucha calidad de agua para utilizarse (químicamente hablando).	Su instalación y diseño son más especializados, y si se realiza mal, las pérdidas son considerables.
Aumento de producción, adelantamiento de cosechas y mejor calidad de estas.	Se requiere mayor cualificación por parte de los usuarios que en cualquier otro sistema de riego.
No altera la estructura del terreno.	Si los filtros no funcionan bien o el diseño no es el adecuado, puede presentar problemas de obstrucción en los goteros, lo cual se puede transformar en grandes daños en los cultivos o en la instalación.

Fuente: Elaboración Propia Office Excel 2010, Información tomada de (Juan, 1993)

2.1.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RIEGO

Un sistema de riego por goteo consta esencialmente de:

- Sistema de filtros
- Equipo de fertilización
- Tuberías que conducen el agua a las plantas
- Goteros (cintas de goteo)
- Dispositivos de regulación
- Elementos de seguridad
- Dispositivos de control

2.1.3 SISTEMA DE FILTROS

Los problemas de obstrucción son de carácter grave en los sistemas de riego, y se debe considerar, para evitarlos, las siguientes características:

1. Calidad del agua de riego.
2. Sensibilidad de los goteros a la obstrucción.
3. Filtros o tratamiento empleados para limpiar el agua.
4. Tipos de abonos utilizados.

Los sistemas de filtrado buscan aumentar la calidad del agua por medio de mallas, depósitos de sedimentación y filtros, todo esto para evitar la situación de obstrucción. Si el agua proviene de fuentes subterráneas y no por arrastre, tiende a ser un agua muy limpia físicamente, no cuenta con muchos sólidos en suspensión. Si se encuentra bien protegida del exterior, para evitar el ingreso de malezas y plantas secas en descomposición, se reduce considerablemente la suciedad del agua.

Sin embargo, para mantener la limpieza en el agua se hace uso de sistemas simples como lo son depósitos de sedimentación y mallas. Los tanques de sedimentación buscan filtrar partículas sólidas entre un tanque y otro, al sedimentarse en uno antes de ingresar a otro.

Los filtros de mallas están formadas por un cartucho en el cual van mallas concéntricas que pueden ser metálicas o plásticas, estas tienen distintos espesores, de acuerdo con estos permiten partículas más grandes o de menor tamaño. Como unidad de medida, se emplea el mesh, este es la densidad de mallas por pulgada cuadrada, como equivalencia entre el mesh y el tamaño de los orificios Medina San Juan proporciona la siguiente tabla:

Tabla 2. Equivalencia entre el mesh y el diámetro del orificio

Mesh	Ø mm	Mesh	Ø mm	Mesh	Ø mm
4	3,5	30	0,5	155	0,1
6	2,5	50	0,3	200	0,08
10	1,5	75	0,2	400	0,022
20	0,8	120	0,13		

Fuente: Elaboración propia Office Excel 2010. Tomado de (Juan, 1993)

Como regla, Medina San Juan propone utilizar una malla cuyo tamaño sea la décima parte del tamaño del orificio del gotero. Por ejemplo, si el orificio del gotero tiene un diámetro de 1 mm, se debe utilizar mallas de 155 mesh.

La limpieza de los filtros puede hacerse manual o automáticamente, los filtros de limpieza automática se dan en una inversión del flujo, y los filtros de limpieza manual están diseñados para ser abiertos manualmente.

La limpieza automática puede realizarse dependiendo de las siguientes variables de control:

1. Tiempo: intervalos mediante un temporizador, intervalos fijos colocados previamente en el dial del aparato.
2. Presión: la limpieza se realiza cuando alcanza una diferencia de presión determinada entre la entrada y la salida del filtro.
3. Caudal: cuando el caudal se ve reducido, se aplica la limpieza.

2.1.4 FERTILIZACIÓN DIFERENCIAL

El riego por goteo permite fertilizar, esto reduce la mano de obra pues se mezclan los nutrientes con el agua de riego. Los fertilizadores diferenciales son aquellos que constan de un depósito plástico donde se colocan los abonos para su disolución y posterior conexión a la red de riego, para esto se utiliza el principio de Venturi.

Además, los fertilizadores diferenciales cuentan con una tubería que lleva un estrechamiento inmediatamente antes del punto de conexión con el depósito, es decir, se une por ambos extremos de la red general, este estrechamiento provoca una alta presión a la entrada y una baja a la salida, lo que provoca la succión del líquido contenido en el depósito. Al variar el diámetro de la reducción se puede dosificar el caudal inyectado a la red.

2.1.5 TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Las tuberías de PVC y PE son comunes en el riego por goteo, debido a que son accesibles, no se corroen y las pérdidas por fricción son bajas. El Polietileno (PE) es un material más fácil de instalar y debido a la flexibilidad permite ahorrar accesorios, en bajos diámetros los costos son competitivos con respecto al PVC.

Hay dos tipos de PE:

1. Baja densidad: se obtiene a una presión de 2000 Kg/cm², tiene menor resistencia al calor y a la tracción, pero es de mayor resistencia al agrietamiento y tiene mayor flexibilidad, es utilizado normalmente.
2. Alta densidad: obtenida a una presión de 20 kg/cm².

Nota: La tubería de PE debe ser unida a presión por medio de unas anillas o abrazaderas, no puede unirse con pegamentos.

2.1.6 PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS, DIMENSIONAMIENTO DE ESTAS

Para seleccionar las tuberías se debe tomar en cuenta las pérdidas por fricción en estas, y no deben exceder las pérdidas máximas por cada 100m que expone el Código de Instalaciones Hidráulicas en la tabla 6.2 de velocidades máximas recomendadas por diámetro de tubería.

Las ecuaciones por utilizar para conocer las pérdidas en las tuberías son las siguientes:

Ecuación 1. Darcy- Weisbach

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

f=Factor de fricción

g=constante gravitatoria $\left(\frac{9,8\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

Velocidad del líquido en la tubería $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

El coeficientito de fricción f se calculó con Colebrook -White cómo:

Ecuación 2. Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log\left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,2016}{\text{Re}^{0,89}}\right)$$

Re=Número de Reynolds en la tubería =V x D/v

v=viscosidad cinemática= $\frac{1,02 \times 10^{-6} \text{m}^2}{\text{s}}$ del agua 20 °C

k=rugosidad absoluta del material de la tubería, para Plástico=0,0015 mm

2.2 SISTEMA DE POTENCIA Y GENERACIÓN

Los sistemas con bombas alimentados con energía fotovoltaica pueden estar conectados directamente al conjunto, mediante un banco de baterías o controladores de seguimiento de potencia máxima. Pueden ser bombas de corriente continua o corriente alterna por medio del uso de inversores. Además, los sistemas pueden estar conectados a la red.

2.2.1 PARTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.2.1.1 Baterías

Las baterías son los equipos que buscan almacenar la energía en celdas químicas, son recargadas por medio de alternadores, paneles solares, molinos de viento, etc. Las baterías, al combinar el ácido sulfúrico, el plomo en agua y sulfato de plomo, crean electricidad. Cuando la electricidad es forzada dentro de las baterías, la reacción química se invierte y la energía se guarda químicamente.

Las baterías se miden en amperes hora (Ah), lo que significa que la batería es capaz de entregar una cantidad de amperios en un tiempo determinado, comúnmente se utilizan 20 horas como medida estándar. Otra medida son los minutos de reserva, estos equivalen al tiempo que puede funcionar entregando a una corriente dada.

1. Baterías de ciclo profundo:

Cuando se requiere una batería que aporte energía a lo largo de varias horas, se utilizan las de ciclo profundo.

2. Baterías de ciclo corto:

Son utilizadas cuando se requiere que la batería entregue la energía en un corto tiempo, entre 300 y 600 ampere, en unos 3 a 5 segundos, luego las baterías se recargan rápidamente. El consumo de energía realizado en cada arranque no debe superar el 5% de la capacidad de la batería.

3. Longevidad de la batería:

Es importante también determinar la vida útil de la batería, esta también se mide en cuántos ciclos puede soportar una batería, pues estos representan el número de veces que puede ser descargada y cargada. Cada ciclo de carga y descarga puede representar un día para el caso de un panel solar.

Las baterías de ciclo corto no son capaces de soportar varias descargas profundas, en el caso de las de ciclo profundo, estas sí lo permiten. Para aumentar la vida útil de una batería no se recomienda descargarla por completo, porque esto reduce los amperes- horas totales entregados una vez concluido el curso de la vida de la batería.

Las baterías de gel son más seguras, tolerantes a las vibraciones y soportan abusos como descargas profundas sin daño, esto es posible pues la tensión de carga está regulada cuidadosamente.

Las baterías de gel tienen ciertas ventajas con respecto a las de agua:

- Pueden ser cargadas más rápidamente y requieren menos energía para recargarse completamente.
- Mantienen un voltaje más alto mientras se descargan, por lo tanto los aparatos de corriente directa trabajan mejor.
- Producen menos gas de hidrógeno al cargar.
- No necesitan mantenimiento. La desventaja es que cuestan substancialmente más que las baterías de ácido y tienen una vida de 350-500 ciclos.

Selección e instalación de un banco de baterías

Para el uso de ciclo profundo, las baterías deben ser seleccionadas de tres a cuatro veces dependiendo de la cantidad de la exigencia diaria en D.C.

La conexión debe ser:

- En serie, cuando se desea aumentar la capacidad de amperios.
- En paralelo si se desea aumentar el voltaje.

2.2.2 REGULADOR DE CARGA

Los controladores o reguladores de carga son equipos que controlan el voltaje y la corriente de un panel solar o de un generador eólico cuando entregan a bancos de baterías. Buscan evitar, además, que se siga ingresando corriente a la batería cuando esta ya está cargada, porque puede incidir en una sobrecarga.

El regulador de carga controla constantemente el estado de carga de las baterías, además regula la intensidad de carga de estas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de la carga. Una programación elaborada permite dar un control automático, modificar los parámetros de funcionamiento, considerar los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, así como la capacidad del acumulador.

Los reguladores se desconectan del consumo debido a baja tensión de la batería cuando tienen un acumulador de 70 %, y la tensión de la batería se encuentra por debajo del valor de tensión de maniobra de desconexión. Esta desconexión se lleva a cabo para evitar una sobrecarga puntual y proteger la batería.

Para la operación se debe determinar:

- La intensidad máxima de carga o generación: máxima intensidad de corriente admisible proveniente de los paneles.
- Intensidad máxima de consumo: máxima corriente que puede pasar hacia el consumo.
- Voltaje final de carga: voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería, cuando la batería está cargada.

Se debe seleccionar un controlador de carga capaz de manejar un poco más de los amperios que los módulos solares son capaces de generar, al menos un 15 % más, el Código Eléctrico recomienda dejar un margen de 25 %. Se debe tener la potencia pico de un panel, multiplicarlo por el número de paneles en paralelo, esto será la máxima corriente nominal a la que debe trabajar el regulador de carga.

2.2.3 INVERSOR

El inversor debe seleccionarse de acuerdo con la potencia pico que se debe entregar en forma continua y en función de la situación más crítica, como el arranque de un motor, esta oscila entre dos o tres veces la corriente nominal; sin embargo, en algunos casos puede ser seis veces la corriente nominal.

2.2.3.1 PARTES DE UN INVERSOR:

- Control principal: elementos de control general, sistemas de generación de ondas basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.
- Etapa de potencia: cuenta con filtro de salida LC para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.
- Control de red: es la interface entre la red y el control principal. Busca proporcionar el funcionamiento correcto del sistema, sincronizando la forma de onda generada a la red eléctrica, ajustando la tensión, fase y sincronismo.
- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT): tiene la función de acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, buscando obtener la mayor cantidad de energía disponible y máxima potencia.

- Protecciones: protecciones ante la red externa, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además respecto a daños de personas y compatibilidad electromagnética.
- Monitorización de datos: disponen de microprocesadores que facilitan parámetros de control y de trabajo.

Tabla 3. Parámetros por tener en cuenta para la selección de un inversor

Tensión nominal (V)	Tensión que debe aplicarse en bornes de entrada al inversor.
Potencia nominal (VA).	Potencia que suministra el inversor de forma continua.
Potencia activa (W)	Potencia real que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente.
Capacidad de sobrecarga	Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal y al tiempo que puede mantener esta situación.
Factor de potencia	Cociente entre potencia activa y aparente a la salida del inversor.
Eficiencia o rendimiento	Relación entre las potencias de salida y entrada del inversor.
Autoconsumo	Porcentaje de potencia consumida por el inversor, comparada con la de salida.
Armónicos	La calidad de la onda, de una frecuencia de onda múltiple.
Distorsión armónica	Parámetro que indica el contenido armónico de la onda de tensión a la salida del inversor.
Rizado de corriente	Variación sobre el valor de la onda de corriente alterna y al rectificarse o invertir una señal de CC a CA.

Tomado de: Elaboración propia Office Excel 2010 Información tomada de (7)(Ballesteros, 2012).

2.3 CONEXIÓN ENTRE LOS EQUIPOS Y LOS PANELES

2.3.1 SISTEMA DE CONEXIÓN DIRECTA

Un sistema de conexión directa funciona solo durante las horas de radiación efectivas, esto quiere decir que la bomba funcionará siempre que haya radiación del sol; sin embargo, cuando esta sea insuficiente para generar la potencia requerida, la bomba saldrá de funcionamiento, por lo que el bombeo se da durante las horas del día de mayor radiación, y no está disponible para bombear durante la noche. Además, el sistema debe ser diseñado en función de la potencia del sistema de bombeo, para que el panel genere la energía que la bomba requiere, por esto la cantidad de paneles está directamente relacionada con la potencia de la bomba y no con el tiempo requerido de funcionamiento de esta. Por ende, se debe buscar un conjunto bomba- paneles que aporte el volumen de agua requerido cada día, de forma que la cantidad de paneles aporte la potencia requerida y el tiempo de radiación disponible permita bombear el volumen justo necesario por día, esto permitirá optimizar los recursos sin exagerar en la selección de paneles ni en la bomba. Puede hacerse uso de bombas especializadas de corriente directa y bajo voltaje, estas permitirían diseños más sencillos y óptimos; sin embargo, tienden a ser más caros, esto los hace menos accesibles.

2.3.2 SISTEMA CON BATERÍAS

Los sistemas con baterías llevan más elementos, como son las mismas baterías, estas deben ser seleccionadas en función de cuatro veces los amperios hora requeridos por la bomba, además de la corriente de arranque, esta tiende a dar una batería más robusta para soportar los arranques. Sin embargo, la generación puede darse durante las horas efectivas, esto permite diseñar en función de la energía consumida por la bomba y no en función de la potencia requerida por la bomba, lo cual permite un diseño más óptimo a la hora de seleccionar los paneles; sin embargo, debido a que la tecnología de las baterías no está aún muy desarrollada, muchos fabricantes no recomiendan el diseño con baterías, debido a su corta duración. Además de los efectos nocivos de sus componentes para el medio ambiente, el mantenimiento se vuelve más complejo con baterías que sin estas.

2.3.3 SISTEMA CONECTADO A LA RED

En un sistema conectado a la red, el sistema fotovoltaico debe diseñarse en función del consumo de energía de los equipos, en este caso de la bomba; pero, a diferencia del sistema con baterías, la energía no se almacena, sino que es entregada a la red eléctrica de la compañía suministradora, y una vez que los equipos requieren energía, la obtienen del sistema fotovoltaico en caso de que se esté generando. No obstante, durante la noche la energía es suministrada por parte de la red. El diseño, al final, debe buscar equiparar los gastos con la producción, para su instalación se debe realizar un contrato con la compañía suministradora de energía e instalar un medidor bidireccional, el cual permita un conteo positivo cuando la generación sea mayor al consumo, y reste cuando el consumo sea mayor a la generación. Este sistema tiene las ventajas de ser una conexión sencilla, pues las bombas de corriente alterna son más comunes por menor costo de inversión y de mantenimiento.

2.3.4 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (CONTROL)

El sistema de control es el conjunto de elementos que permite centralizar el funcionamiento de la instalación, con el fin de obtener un mejor rendimiento del riego y reducir la intervención humana. El sistema de control está conformado por actuadores, receptores y memorias, los actuadores reaccionan en función de los impulsos entregados por los receptores y las memorias.

Para riego existen varios tipos de sistemas de control, algunos pueden funcionar constantemente sin importar los receptores ni las memorias, y son programados por el usuario, esto quiere decir que funcionan fuera de un sistema de control; sin embargo, realizan una función importante.

2.4 VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

Son válvulas colocadas en línea con las tuberías de la instalación, permiten controlar la presión o el caudal que pasa a través de esta.

1. Reguladores de caudal: controlan el flujo volumétrico de agua que trasiega a través de ellas, pueden ser fijas o variables, esto quiere decir que pueden tener una posición máxima a un caudal dado y la posición cerrada, o pueden tener posiciones intermedias. Además, pueden regularse y accionarse mediante accionamientos manuales, eléctricos, o mecánicos.
2. Reguladores de presión: son válvulas que buscan reducir, de forma controlada, la presión de salida respecto a la presión de entrada, esto con el objetivo de mantener una presión controlada en todo el sistema, o de proteger accesorios o equipos aguas abajo.
3. Válvulas de paso: son válvulas que simplemente cierran o abren, pueden ser accionadas mecánicamente; sin embargo, cuando se desea centralizar y controlar las acciones en un sistema de riego, se puede controlar por accionamiento eléctrico mediante un sistema de solenoides.

2.4.1 CONTROLADOR DE RIEGO

El controlador de riego se refiere a la computadora de mando en la cual se centralizan las órdenes para las válvulas, en función del tiempo, o receptores (sensores). Existe gran variedad de controladores en el mercado ya especializados para riego; sin embargo, también se puede desarrollar una computadora para controlar, como por ejemplo al utilizar una tarjeta Arduino Uno. Además, se cuenta con sistemas más complejos pero versátiles, como son los DSL y PLC, o Logo.

Para automatizar sistemas de riego es importante tener conocimiento con respecto a las frecuencias de riego y los periodos de este, con base en el tiempo y la frecuencia de riego se puede programar controladores especializados en el mercado, estos son sencillos de pocas salidas.

Para un sistema más completo se puede hacer uso de receptores, en este caso sensores de humedad, luz, temperatura, lluvia o minerales; sin embargo, en el sector agrario es tan complejo automatizar un sistema de forma que la intervención humana sea innecesaria debido a la gran cantidad de variables, de igual manera, se vuelve complejo determinarlas y controlarlas. Por ende, los sistemas más especializados tienden a ser de un coste muy elevado, esto no se justifica para pequeños proyectos. cuando puedan manejarse las variables, se requiere la intervención humana especializada, y no se logra independizarse totalmente de la esta, porque constantemente es preciso estar variando la programación en función de las condiciones ambientales, del producto y del desarrollo del producto.

Aun cuando se avanza mucho en el área de automatización, es importante mantener la intervención humana, así como la capacidad visual y de entendimiento por parte del agricultor sobre los cultivos. El agricultor, con base en la coloración de las plantas o en función de la humedad perceptible en el suelo, aunados estos elementos a la experiencia, conoce bien cuándo regar y cada cuánto, por este motivo aún las máquinas no pueden sustituir de forma adecuada al ser humano en la agricultura. Y para pequeños y medianos agricultores es mejor un sistema modesto pero funcional, que él pueda manipular y variar en función de su experiencia en el riego convencional y en según el comportamiento de las plantas a través del tiempo.

Por lo tanto, el mercado brinda varias opciones accesibles y sencillas, por medio de estas el agricultor, a través de la pantalla, puede ingresar por válvulas la hora a la que desea la activación y la desactivación. De esta manera se le permite manejar hasta un conjunto de cuatro válvulas o más, dependiendo del equipo por acceder.

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

3.1 GENERALIDADES DEL RIEGO

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

Superficie de la finca: 10 000m²

Cota sobre el nivel del mar: 1100 m

Tipo de suelo: Arcilloso

Área del invernadero=500m²

3.1.2 SELECCIÓN DE PRODUCTO Y DISTRIBUCIÓN DE ESTE

El agricultor desea que el diseño le permita cultivar eficientemente una diversidad de productos y rotarlos durante el año en el invernadero y terrazas según él disponga. Por lo tanto, el diseño lleva a cabo la consideración en función de las profundidades radiculares.

Tabla 4. Clasificación del cultivo según la profundidad de las raíces

Menos o igual de 0,6 m	Más de 0,6 m
Alverja	Ají
Brócoli	Ajo
Cebolla	Alcachofa
Coliflor	Brócoli
Lechugas	Cebolla
Menta	Coliflor
	Espárragos
	Melón
	Chile dulce
	Alfalfa
	Pepino
	Tomate

Tomado de Elaboración propia Office Excel 2010.(11) (CEROS&UNOS, 7)

Nota: Aun cuando la profundidad radicular del tomate, el pepino y los espárragos supere un metro de profundidad, para efectos de simplificar el diseño se subdividieron los productos en dos grupos, esto con el fin de diseñar en función de dos láminas de agua, reduciendo las variables en el campo. Al final, las láminas de agua calculadas son solo una aproximación del agua real requerida. Si el proyecto es instalado, el agricultor será quien decida, desde su experiencia y el comportamiento presentado por los productos en el terreno, la cantidad de agua y la frecuencia de riego.

3.2 UBICACIÓN Y TIPO DE GOTERO

El sistema de riego es diseñado por goteo, debido a esto se seleccionan cintas de goteo más económicas y fáciles de cambiar que los goteros independientes. Se buscaron, además, auto-compensadores de presión para trabajar bien ante las variaciones de nivel entre terraza y terraza. Según (Juan, 1993) para productos hortícolas es recomendable utilizar cintas en fila, de manera que el agujero se encuentre espaciado a una distancia similar al espaciamiento entre las plantas por sembrar, es decir, la distancia entre filas debe ser similar a la distancia entre las perforaciones de la cinta. Para productos como la lechuga, se puede sembrar a una distancia entre plantas de 15 o 20 cm; en lo que respecta al ajo, se quiere rotar cultivos entre 8 cm, el apio a 20 cm. Debido a esto, se puede hacer uso de las cintas por goteo de 25 o 20 cm.

Para productos de raíz más profunda, como el tomate o el pepino, los agricultores en Costa Rica de la zona de Occidente tienden a utilizar cintas de goteo a 25 o 30 cm. (5)(Agricultores Hortícolas, 2014))

3.2.1 DISTRIBUCIÓN DEL GOTEO EN EL INVERNADERO

La distancia entre líneas, de acuerdo con las recomendaciones dadas por agricultores de la zona y la necesidad de los productos, serán de dos líneas en las terrazas de 1,50 m de ancho y de una línea en las de 1,37 m de ancho, para productos de raíz poco profunda. (Obsérvese el Apéndice 5).

En el caso de productos de raíz profunda, que además adquieren alturas mayores a 80 cm, se utilizará una terraza para cada línea; sin embargo, muchos

agricultores han logrado tener muy buenos resultados utilizando una configuración de 30 cm.

Tabla 5. Distribución y selección de las cintas de goteo en el invernadero

Profundidad de la raíz	Cinta de goteo	Líneas por terraza	Distancia entre líneas m	Ancho de la terraza m	Largo de la terraza m
Menor o igual a 60 cm	25 cm	2	0,7	1,5	4,8
Mayor a 60 cm	30 cm	1	1,3	1,4	4,0

Fuente: Elaboración Propia Office Excel 2010

3.3 NECESIDADES DEL CULTIVO

El riego por goteo busca satisfacer las necesidades de las plantas sin excederse ni ser precario, esto con el fin de que la planta tenga un crecimiento adecuado, pues el riego es parte de la nutrición de esta.

Debido a que solo se riega una parte del suelo, y la parte húmeda generalmente está a la sombra de la planta, las pérdidas por evaporación se reducen considerablemente, con esto el agua es totalmente consumida o aprovechada con la transpiración a partir de la ETP (Evapotranspiración), mediante correctores que tienen en cuenta la fracción del suelo recubierto por la planta y el efecto oasis.

La transpiración es la responsable de que la planta pierda agua y constantemente esté requiriendo el aporte por parte del suelo. No todas las plantas consumen la misma cantidad de agua durante su crecimiento, para cada planta se utiliza un factor de corrección conocido como Kc (Coeficiente de cultivo), este varía según el tipo y la especie del cultivo.

3.3.1 NECESIDAD DE AGUA

Las necesidades de agua se refieren a la cantidad requerida por cada planta, estas necesidades ya vienen tomando en cuenta los coeficientes de corrección, tal información se puede observar en la ecuación 3.

Ecuación 3. Necesidad de agua

$$N_n = ET_0 K_c K_a K_r$$

Los valores de la ecuación se entienden como:

ET_0 = Evapotranspiración dependiente del clima.

K_c = Corrección de acuerdo con el tipo de cultivo y transpiración de este.

K_L = Corrección por efecto localizado (se pierde menos agua por evaporación que en los métodos comunes de riego, por esto se debe corregir el área expuesta, que no está cubierta, sombreada por la planta).

K_a = Corrección por variaciones climáticas locales.

K_r = Corrección por advención.

Para calcular la evapotranspiración mediante Hargreaves, es preciso conocer la radiación solar y los datos de temperatura. Esto se puede observar en la ecuación 4.

Ecuación 4. Evapotranspiración inicial por Hargreaves

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s$$

ET_0 = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

T_{med} = Temperatura media °C.

Rs= Radiación Solar Incidente, convertida en mm/día se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre, la cual se corrige mediante la latitud del lugar y el mes. Tomado de (32) (Ramón). (Anexo 2 y 3). Esto se puede observar en la ecuación 5.

Ecuación 5. Radiación Solar Incidente para Hargreaves

$$Rs = R0 \times KT (t_{max} - t_{min}) \times 0,5$$

Para determinar Rs se utilizó la tabla de R0 de Allenet al de 1998, que está en MJ/m² y para pasarlo a mm/ día (de agua evaporada), se debe multiplicar por un factor de (0,408)².

El terreno está ubicado a 10° Latitud Norte (Anexo5).

Tabla 6. Temperaturas promedio mensuales de 1971 al 2002 en Naranjo

Mes	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Temperatura media	Radiación Extraterrestre Latitud 10
Enero	13,7	26,5	20,1	31,9
Febrero	13,6	27,3	20,5	34,5
Marzo	14,0	27,9	21,0	36,9
Abril	14,8	28,0	21,4	37,9
Mayo	16,3	26,6	21,5	37,6
Junio	15,9	25,7	20,8	37,0
Julio	15,9	25,6	20,8	37,1
Agosto	16,0	25,3	20,7	37,5
Septiembre	16,0	25,2	20,6	37,1
Octubre	16,0	25,2	20,6	35,1
Noviembre	15,6	25,3	20,5	32,4
Diciembre	14,6	25,9	20,3	31,0

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. (Información Facilitada por el Instituto Meteorológico de Costa Rica vía Fax)

Al utilizar una radiación solar extraterrestre de 0,17, el factor de corrección por radiación solar sería $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras de Costa Rica.

Tabla 7. Valor previo de evapotranspiración inicial en función de la radiación solar

Radiación Solar Incidente											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
9,9	8,9	9,5	9,6	8,4	8,0	8,0	7,9	7,8	7,4	7,0	7,2
Evapotranspiración potencial diaria(mm/día)											
5,1	4,6	5,0	5,1	4,4	4,2	4,2	4,1	4,0	3,8	3,6	3,7

Fuente: Elaboración propiaOffice Excel 2010

Para obtener la evapotranspiración del cultivo ET_c se multiplica la evapotranspiración inicial por un factor de corrección de cultivo (K_c), aplicando la tabla 12 de la página 110 de(6)(Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006); para hortícola se utilizará un K_c de 1, la tabla para cultivos no estresados y bien manejados en climas subhúmedos (HR_{min}). (Fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_o).

3.3.2 EFECTO DE LOCALIZACIÓN

El área sombreada por el cultivo se denomina A, definida como la fracción de la superficie del suelo sombreado por la cubierta vegetal a mediodía con respecto a la superficie total, es un factor de corrección relacionado con la cantidad de agua perdida por evaporación, comparando el método localizado con otros métodos.

Este método supone que por efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie del suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina agua con una intensidad mucho menor. Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo ET_c se debe corregir con un coeficiente de localización K_1 , esto dependerá del área sombreada. Sin embargo, debido a que en el cultivo de hortalizas el área sombreada tiende a ser mayor a un 60 % el efecto es despreciable, y no se corrige por efecto de localización.

3.3.3 EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

La corrección por variaciones climáticas (KL), Según Pizarro 1990 en el libro de riego localizado de alta frecuencia, menciona que siempre estará comprendido entre 1,15 y 1,20. Para efectos de diseño, se utilizará 1,20 debido a la pequeña variación existente en las necesidades de las hortalizas a través del tiempo.

Tabla 8. Evapotranspiración tomando en cuenta el efecto de localización

Evapotranspiración resultante (mm/día)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5,8	5,3	5,7	5,8	5,1	4,8	4,8	4,7	4,7	4,4	4,2	4,3

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

3.3.4 NECESIDADES RESULTANTES DE RIEGO

Las necesidades totales se obtienen a partir de la reducción de las pérdidas por percolación, necesidades de lavado y falta de uniformidad del riego, Fernando Pizarro propone la siguiente ecuación:

$$A = N_n + P_p$$

A= Agua por aplicar.

P_p= Pérdidas por percolación.

N_n= Necesidad neta de riego.

E_a= Eficiencia de riego.

La eficiencia del riego vendría dada por la siguiente ecuación:

$$E_a = N_n/A$$

La percolación viene dada por:

$$P_p = A(1 - E_a)$$

Las necesidades de lavado son una variable por añadir a las necesidades netas para mantener la salinidad del suelo a un nivel no perjudicial, por ello se debe regar en función de una u otra variable, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$A = N_n + R$$

$$LR = R/A$$

$$A = N_n + A(LR)$$

R= Las necesidades de lavado.

LR= Coeficiente de necesidad que relaciona las necesidades de lavado con el agua por aplicar.

El diseño debe ir en función de la necesidad de lavado o las pérdidas por percolación, no en función de ambas, por esto se expresa como una misma ecuación con una variable K, eligiendo el K más alto. Para obtener el agua por aplicar se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$A = N_n / (1 - K)$$

$$K = (1 - E_a)$$

$$K = LR$$

3.3.4.1 EFICIENCIAS DE APLICACIÓN DE RLAF (RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA)

Las eficiencias proporcionadas por Keller en 1978 se subdividen en 2 casos, según Pizarro, para climas áridos donde no hay precipitación efectiva y para climas húmedos donde sí se ha tomado en cuenta la precipitación efectiva.

Cómo el diseño es dentro de invernaderos donde no hay precipitación y el único aporte de agua es dado por el sistema de riego, se utilizan los valores para climas áridos. (Pizarro, 1990)

Para una profundidad radicular menor a 0,75 m y una textura del suelo media, la eficiencia ronda los 0,95, y para una profundidad de entre 0,75 m y 1,5 m con una textura de suelo media también se toma en cuenta una eficiencia que ronda los 0,95.

Las necesidades totales están dadas por la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - K)C_u}$$

Para realizar un análisis de la salinidad del suelo se requieren pruebas de laboratorio; sin embargo, el agricultor no está en condiciones de acceder, por lo que se diseñó en función de la percolación. Con el propósito de obtener las necesidades resultantes de riego por percolación se utilizó la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - (1 - E_a))C_u}$$

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - (1 - E_a))C_u}$$

Se cuenta con un coeficiente de uniformidad (C_u) inicial de 0,9, el cual deberá ser recalculado una vez determinado el caudal con que se regará y los equipos por utilizar para cada mes con una eficiencia de 0,95 y un coeficiente de uniformidad de 0,9.

Tabla 9. Necesidades resultantes de riego obtenidas por día incluyendo el coeficiente de uniformidad

Necesidad resultante (mm/día)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6,8	6,2	6,7	6,8	6,0	5,6	5,6	5,5	5,4	5,1	4,9	5,0

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

Nota: La necesidad total es para cada planta.

Porcentaje de la superficie mojada:

Fue definido por Keller y Karmeli en 1974 como la relación expresada en porcentaje entre el área mojada por los emisores y el área total. Para el caso de las hortalizas herbáceas, se recomienda una superficie mojada de un 70%. Cuanto más alto es el porcentaje de la superficie mojada, el sistema se vuelve más seguro, pues protege las plantas de algún error en el riego o si la evapotranspiración aumenta, esto debido a que es como si tuviera una mayor reserva de agua.

Para obtener el porcentaje de suelo mojado se aplica el cuadro 3 de la página 105 de “Riego por Goteo”, de San Juan Medina. Según la tabla, el porcentaje de suelo mojado para espaciamientos es de 0,25 entre goteros y entre laterales es de 0.5, en el caso de plantas de poca profundidad radicular será de 100 %.

3.4 DOSIS DE RIEGO

Como el riego por goteo es considerablemente eficiente con respecto a los otros métodos de riego, se puede trabajar para que la humedad del terreno esté siempre próxima a la capacidad de campo, esto mantendrá un rango menor que el de capacidad de campo y superior al punto de marchitez.

La dosis de riego máximo está definida por:

$$D_{\text{Max}}(\text{mm})=y(C_c-C_M)d_a z \frac{P}{100}$$

y= El porcentaje de descenso de humedad permitido.

C_c =Humedad correspondiente a la capacidad de campo en mm/m.

C_M =Humedad correspondiente en el punto de marchitez, en mm/m.

z= Profundidad del suelo adecuada a las raíces del cultivo en m.

P= Porcentaje del área por humedecer.

d_a = Densidad aparente del terreno.

y= 0,3 productos sensibles a la sequía y 0,6 para productos poco sensibles.

La dosis máxima será:

Para un suelo franco arcilloso, según el cuadro 4 de la página 108 de San Juan Medina, se obtiene que:

$$y = 0,3$$

$$C_c = 27 \%$$

$$C_M = 13$$

$$P = 70\%$$

$$D_a = 1,4$$

$$z = 50 \text{ cm}$$

$$z = 30 \text{ cm}$$

Para la clasificación definida anteriormente se tomará en cuenta lo siguiente:

Para raíces menores a 60 cm, se diseñarán para 30 cm como raíz efectiva.

$$D_{\text{Max}}(\text{mm})=0,3(2700-1300)(1,4)(0,3)\frac{70}{100}$$

La dosis máxima obtenida es de: 123,48mm.

En raíces mayores a 60 cm se utilizará 50 cm como profundidad de raíz efectiva.

$$D_{\text{Max}}(\text{mm})=0,3(2700-1300)(1,4)(0,5)\frac{70}{100}$$

La dosis máxima obtenida es: 205,8mm.

3.4.1 TIEMPO DE RIEGO

El tiempo de riego estará dado de acuerdo con las necesidades de cada planta y el número de goteros que la satisfagan. Los productos de raíz poco profunda serán sembrados a una distancia entre sí de 25cm entre cada perforación de la cinta y 60cm o 70 cm entre líneas, esto por recomendación de la experiencia empírica de varios agricultores.

Cultivos como tomate o pepino, analizados como raíz profunda, se cultivarán a 30 cm entre cada perforación de la cinta y una línea por terraza. Para ambos casos se utilizará cintas de goteo con un caudal de 2,6L/s y un intervalo diario de riego.

Tabla 10. Cantidad de goteros por producto

Clasificación	Número de líneas	Cantidad de gotero por línea	Total de goteros
Raíces poco profunda	8	19	152
Raíces profundas	4	13	52

Fuente: Elaboración propia. Office Word 2010

El número de emisores por metro cuadrado se obtendrá al multiplicarla distancia entre líneas por la distancia entre gotero.

La distancia entre líneas es: 70 cm.

La distancia entre gotero es = 0,25 cm.

Número de emisores por metro cuadrado = (1/ Distancia entre gotero x Distancia entre línea).

Para eras superiores se utiliza (poca profundidad radicular):

$$\frac{\text{NumerodeEmisores}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ emisor}}{0,7\text{m}(0,25\text{m})}$$

$$\frac{\text{NumerodeEmisores}}{\text{m}^2} = 5,7 \frac{\text{Emisores}}{\text{m}^2}$$

Eras inferiores (mayor profundidad radicular):

$$\text{"Numero de Emisores" / "m" }^2 = \text{"1 emisor" / "1.35mx0.35m"}$$

$$\text{"Numero de Emisores" / "m" }^2 = 3,86 \text{ "Emisores" / "m" }^2$$

$$\text{El volumen por emisor: "Ve=" "Nr x l" / "Ne"}$$

Ve= Volumen diario por emisor (m³).

Nr= Necesidad resultante (m/día).

l= Intervalo de riego (días).

Ne= Número de emisores por metro cuadrado.

Intervalo (l) = 1 día

$$\text{Ne} = 3,86 \frac{\text{Emisores}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Ne} = 5,7 \frac{\text{Emisores}}{\text{m}^2}$$

Tabla 11. Volumen diario por emisor

Productos de menor profundidad radicular L/(emisor día)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1,20	1,08	1,18	1,19	1,05	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,88
Productos de mayor profundidad radicular L/(emisor día)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1,77	1,59	1,74	1,76	1,55	1,46	1,45	1,44	1,41	1,33	1,26	1,29

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

Tabla 12. Tiempo de riego para productos de menor profundidad radicular

Tiempo de riego en minutos por día para las eras superiores. (min)												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
27,6	24,9	27,2	27,5	24,2	22,8	22,7	22,4	22,0	20,8	19,7	20,2	23,5
Tiempo de riego en minutos por día para las eras inferiores. (min)												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
40,8	36,8	40,17	40,62	35,69	33,65	33,57	33,14	32,52	30,77	29,08	29,88	34,72

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

Tabla 13. Caudal total en el invernadero

Caudal total del invernadero (L/min)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

Nota: El caudal total del invernadero es igual durante todos los meses, debido a que es dependiente del caudal de las cintas de goteo y la cantidad de las mismas, lo que varía es el tiempo de riego.

3.5 RESUMEN DEL DISEÑO DE RIEGO

Diferencia de altura del invernadero al tanque de reserva: 14m (137kPa)

Longitud de tubería: 40 m

Caudal= 8,84 L/min

#Gotos (en la cinta de goteo)= 204

Al utilizar Darcy- Weisbach se obtiene un diámetro adecuado de 19mm con pérdidas menores a las propuestas por el Código de Instalaciones Hidráulicas.

Tabla 14. Datos de la tubería que provee el riego en el invernadero

Material	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Polietileno	19	40

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

El sistema de riego requiere un filtro a la salida del tanque superior, esto para evitar obstrucción en las cintas de goteo, por lo tanto se realizó la cotización de un filtro de malla de la marca Irritec de 25mm, de limpieza manual. También se consideró la importancia de la fertirrigación, se seleccionó un sistema de fertirriego por Venturi de 19mm a 12mm in de la marca Irritec.

Nota: La distribución de las cintas de goteo se puede observar en el Apéndice3, acerca de la distribución del riego en el invernadero.

4 SISTEMA DE POTENCIA

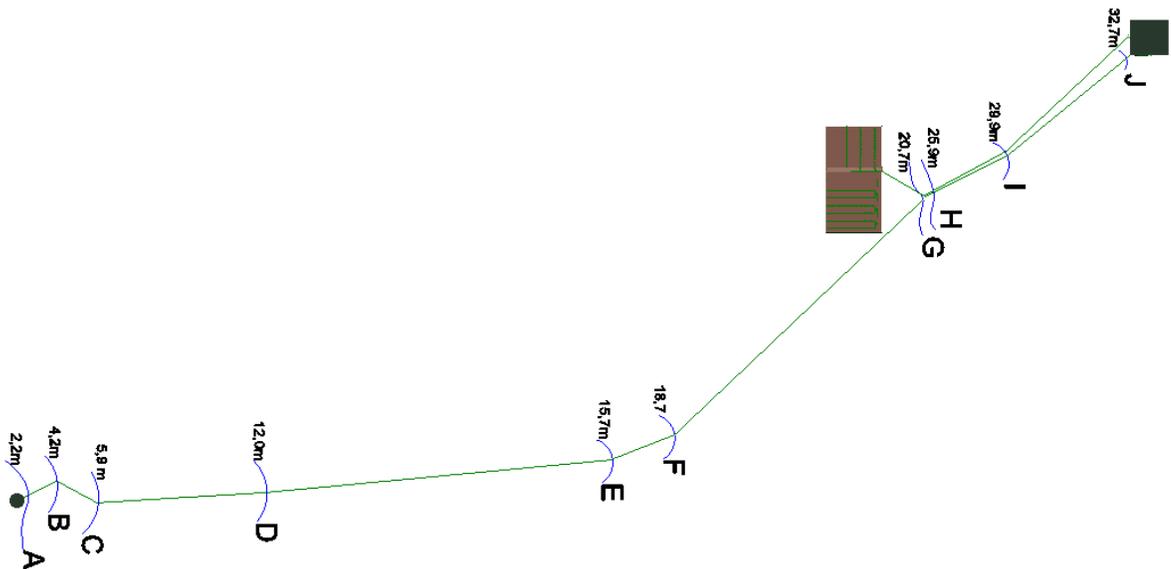
El diseño se realizará en función de la disponibilidad de agua en el terreno, esto le permitirá expandirse en el tiempo. El agua será tomada de una naciente, la cual ya cuenta con la instalación hidráulica que desvía el caudal a un reservorio. El inconveniente que presenta el agricultor es que la toma de agua se encuentra a 12 metros bajo el nivel del invernadero, por esta razón, y aprovechando la existencia de un tanque de concreto existente en el terreno, se decide elevar el agua a una altura que permita el riego por gravedad, esto con el fin de permitir que el agricultor amplíe el riego a más invernaderos disminuyendo la frecuencia de uso de la bomba.

Esto también se realizará en función de si el agricultor decidiera utilizar un sistema de generación y bombeo autónomo de la red, en el cual el riego deba darse a medio día, tiempo no adecuado para regar. Se realizó, asimismo, la comparación entre una instalación con bombas de corriente directa y corriente alterna, esto con el fin de buscar similitudes entre ambas propuestas de diseño en cuanto a capacidad.

4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para determinar la altura a la cual se tiene que elevar el agua, se contó con el apoyo de estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica, ellos, haciendo uso de una estación completa topográfica, determinaron la diferencia de altura, así como las pendientes y distancias por donde se diseñará el camino de la tubería. En el punto A se encuentra el tanque de captación, y en el J, el tanque de reserva a la altura de G, el invernadero.

Figura 3. Ejemplificación del levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia. Autodesk Auto CAD 2014

Tabla 16. Levantamiento topográfico de la toma de agua al tanque de reserva elevado

Punto	N (m)	E (m)	Z(m)
A	994,9	989,9	994,0
B	992,9	993,1	996,0
C	995,1	997,1	997,7
D	994,1	1013,9	1003,8
E	990,9	1047,8	1007,5
F	988,4	1054,2	1010,5
G	964,2	1078,8	1012,5
H	964,4	1079,6	1017,7
I	960,9	1087,0	1021,7

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010.

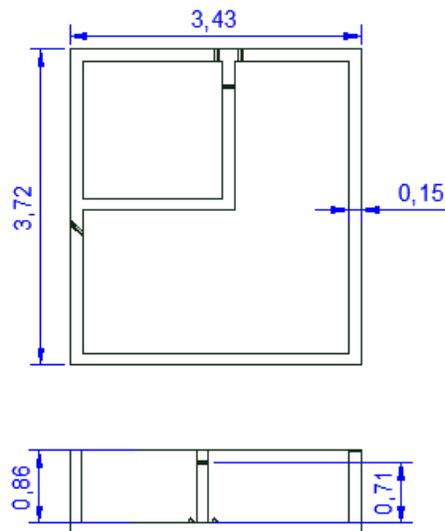
Del levantamiento topográfico se obtienen datos importantes, como la diferencia de altura desde la toma de agua hasta el tanque de reserva, a esta diferencia, identificada con la variable Z, se le deben sumar las alturas de los tanques desde donde se va a colocar la bomba en el tanque inferior hasta el punto donde se va a ingresar el agua en el tanque de reserva superior.

4.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y CAPTACIÓN

4.2.1 TANQUE DE RESERVA

Actualmente, se encuentra construida una pileta de hormigón, antiguamente utilizada para producción de tilapias; sin embargo, el agricultor ya no desea seguir con la producción de tilapias, y debido a que el diseño busca hacer uso de los recursos disponibles, se transformará en un tanque de reserva, con el fin de aprovechar el volumen, pues cuenta con una partición. Es decir, el tanque cuenta con dos sectores, para sacar provecho de esta configuración se decide ingresar el agua en el espacio más grande, esta va a pasar hacia el compartimento más pequeño, con la finalidad de que las partículas en suspensión se asienten, de esta manera se aumentará la calidad del agua.

Figura 4. Dimensiones del tanque elevado de reserva (m)



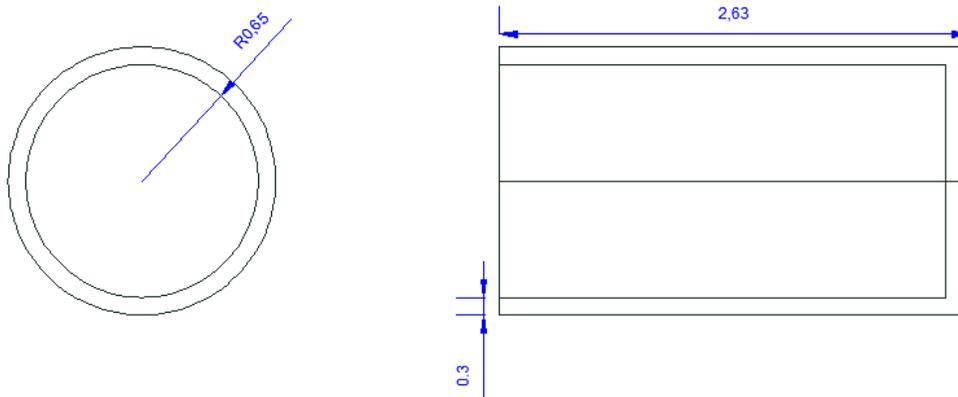
Fuente: Elaboración propia. Autodesk Auto CAD 2013

Volumen del reservorio = 9,2m³

4.2.2 TANQUE DE CAPTACIÓN

El tanque ubicado en la parte inferior para la toma de agua es cilíndrico, fabricado en concreto, en este tanque irá instalada la bomba a 0,5m de la superficie inferior, sus dimensiones serán las siguientes:

Figura 5. Dimensiones reservorio de la captación de agua (m).



Fuente: Elaboración propia Autodesk Auto CAD 2013.

Volumen Captación=1,5m³

Tras el levantamiento topográfico se obtiene una diferencia de altura de 28,568 metros, y en la figura 2 del tanque superior se puede observar que se eleva 0,86 metros más a la entrada del reservorio. Por esto, para calcular la altura a la cual se debe elevar la bomba, es necesario sumar la altura del tanque de reserva (0,85m) más 2,13 metros del tanque de la toma. Finalmente, se obtiene una altura final de 33,6 m.

4.3 CAUDAL DISPONIBLE

Se llevó un control del caudal durante los meses de agosto y septiembre, con esto se obtuvo la mínima, la máxima y el promedio.

Tabla 17. Datos del caudal de la naciente

Caudal (L/min)		
Promedio	Mínima	Máxima
3,1	2,9	3,3

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

De acuerdo con los datos obtenidos se decide diseñar en función de un 20 % menos del caudal mínimo.

Tabla 18, Volumen diario disponible frente al volumen diario requerido

Volumen diario disponible vs requerido. (m ³)	
Disponible	Requerido
4,17	0,23

Fuente: Elaboración propia, Office Excel 2014

El agua requerida para regar el invernadero representa solo un 5,5% del área que se puede regar con el agua disponible, por lo tanto, se puede regar en total 18 veces el área actualmente definida.

Tabla 19. Área por regar con respecto al área real que se puede regar

Área instalada m ²	Área real posible m ²
50	900

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2014

4.4 DISEÑO DE BOMBEO EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE RADIACIÓN DISPONIBLES

Para diseñar el sistema de generación eléctrica a partir de energía solar en la zona de San Ramón, se debe tomar en cuenta la radiación solar diaria en horas de la zona por cada mes, esto permitirá seleccionar la alimentación del sistema de bombeo más adecuado, la disponibilidad del sistema, la cantidad de paneles, las horas de bombeo y determinar si se desea conexión directa, almacenar la energía o un sistema conectado a la red.

Tabla 20. Características de la tubería por utilizar

Longitud (m)	110
Codos (45 ⁰)	2
Codos (90 ⁰)	2
Material	Polietileno
Válvulas Anti retorno	1

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

La selección de la tubería y el sistema de bombeo fueron elegidos en función del tiempo de radiación efectiva, esto permitió optimizar el diseño al dejar de lado elementos de almacenamiento como lo son las baterías.

4.4.1 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

El caudal por manejar se selecciona en función de la radiación mínima, esto permite elevar la mayor cantidad de agua captada durante las horas en las que se puede generar. El diseño debe funcionar adecuadamente hasta durante los días de menor radiación, por ello se diseña en función del mes de junio, este tiene la menor cantidad de horas de radiación. Del Apéndice 2 se obtienen horas de radiación mínimas de 3,1.

Se utiliza, por lo tanto, el caudal mayor de 3,3 L/min, debido a que las fechas de menor radiación se caracterizan por mayores lluvias y humedad, y la bomba debe funcionar para elevar la mayor cantidad de agua en caso de que esté disponible y el agricultor quiera disponer de esta. El volumen disponible por elevar cada 24 h es de 4752 L (4,75m³). Para elevar este volumen durante el tiempo disponible de radiación se requiere una bomba con un caudal igual o mayor a 25,5L/min. Al utilizar el material de plástico de Polietileno (PE) para el caudal conocido de 25,5 L/min se puede utilizar un diámetro de 25mm según la siguiente tabla.

Tabla 21. Comparación de pérdidas por fricción en diferentes diámetros de tubería

Diámetro (mm)	Pérdidas (m/m)	Pérdidas permisibles código hidráulico (m/m)
19	0,145	0,14
25	0,037	0,12
38	0,005	0,10

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010 (13)(CÓDIGO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS EN EDIFICACIONES, 1996)

4.4.2 PRESIÓN QUE DEBE SUPLIR LA BOMBA

Para calcular la presión que debe suplir la bomba, se utiliza una altura de 33,6 m, más las pérdidas en la tubería, en estas son necesarias la longitud de 110m de la tubería, más las longitudes equivalentes a los accesorios en la tubería.

Tabla 22, Longitud equivalente en accesorios

Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente (m)
Codos (45°)	6	0,40
Válvulas Anti retorno	1	2,44
Longitud equivalente resultante		4,84

Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, 2011).

Como se observa en la tabla anterior, las pérdidas en los accesorios no son considerables, por este motivo las pérdidas por fricción serán muy bajas, prácticamente despreciables; significarán 4, 24 m equivalentes en la tubería.

Para obtener la altura resultante al utilizar Bernoulli, la bomba debe vencer, tanto las pérdidas por fricción como el diferencial de altura, así como suministrar la presión requerida al final de la tubería, en este caso esta es igual a la presión atmosférica, por lo tanto, la altura resultante será de 39,7m.

Resultado: se requiere una bomba con un caudal igual o mayor a 25, 5 L/min (6,7 gal/min) y una presión de 39,7 m (389 kPa).

Tabla 23. Costos de tubería en elevación y accesorios

Material	Marca	Cantidad		Precio unitario del distribuidor en Costa Rica	Precio Total
Tubería PE Ø25mm	Irritec	110	m	¢496	¢54 560
Codos PE 45° Ø25mm	Irritec	6	Unidad	¢183	¢1 098
Total					¢55.658,00

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010, Cotización Kaf Costa Rica vía teléfono.

4.5 PROPUESTAS DE SISTEMAS DE BOMBEO

4.5.1 BOMBAS DE CORRIENTE DIRECTA

Las bombas de corriente directa son de un costo más elevado, y actualmente en el país no se logra encontrar un soporte fuerte para el mantenimiento de estas. Se analizaron dos bombas de corriente directa, una de la marca GRUNDFOS y otra de la marca Shurflo, como se va a observar en las curvas de operación del Anexo 10 y 11, estas impiden trabajar con solo una bomba, lo cual obliga a trabajar con dos bombas en serie o paralelo para suministrar el volumen de agua en el tiempo dispuesto para tal fin.

Tabla 24. Comparación técnica entre bombas de corriente directa

Marca y serie	Modelo	Cantidad de bombas	Caudal/ bomba (m ³ /h)	Presión/ bomba (m)	Potencia solar /bomba (W)	Horas de operación/ día	Volumen que puede elevar por día (m ³)	Corriente /bomba (A)	Voltaje /bomba (V)
GRUNFOS SQ	SQ Flex	2	1,04	20	800	3,1	3,23	6,7	120
SHURFLO 9300	9325-043-101	4	0,38	40	115	3,1	1,18	3	30

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. Fichas técnicas (35)(Shurflo)

Nota: Según el apéndice 2 la bomba debe elevar el volumen de agua para la condición de radiación más crítica de 3,1 horas.

La cantidad en la tabla se refiere a cuántas bombas se deben manejar para elevar el caudal requerido. Las bombas SHURFLO 9300 9325-043-101, de ser instaladas, se colocan en paralelo debido a que en las curvas de operación el caudal no varía mucho; sin embargo, la presión sí lo hace en función de la potencia generada. Para las bombas GRUNFOS SQ, de ser instaladas, se prefiere colocarlas en serie, pues varía considerablemente el caudal en la curva, aunque no la presión.

Tabla 25. Comparación económica entre bombas de corriente directa

Marca y serie	Modelo	Cantidad	Potencia solar total (W)	Precio (₡) /bomba	Costo total (₡)	Termino comercial
GRUNFOS SQ	SQ Flex	2	1600	₡1 245 450	₡2 490 900	FCA
SHURFLO 9300	9325-043-101	4	460	₡380 000	₡1 520 000	FCA

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. Cotización Consenergy Costa Rica, precio puesto en Miami.

Como se observa en la tabla anterior, el costo económico de las bombas de corriente directa es muy elevado, a diferencia de las bombas de corriente alterna. Se selecciona la opción de cuatro bombas Shurflo 93009325-043-101 para una propuesta de diseño fuera de la red. Para la conexión de las bombas se requiere que sean alimentadas a un voltaje de 24V, una corriente de 3 A y una potencia de 115 W cada una. Además, deben llevar consigo un controlador de carga para conectarlas a los módulos solares.

4.5.2 BOMBAS DE CORRIENTE ALTERNA

Al utilizar las fichas técnicas de las bombas de la serie DAB, CS46 y TACO VM014 se determinaron las que cumplían satisfactoriamente con las necesidades de presión y caudal, esto determinó, en las curvas de operación, el caudal de la presión que se debe suplir consideradas las pérdidas. Se elaboró, además, una tabla comparativa de los volúmenes que se elevan durante las horas de radiación con el fin de obtener el mes de menor radiación.

Tabla 26, Comparación técnica entre bombas de corriente alterna

Marca modelo	Caudal (gal/min)	Presión (m)	Potencia (W)	Horas de operación/día	Volumen que puede elevar por día (m ³)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Consumo diario kWh
DAB CS46 B5	6	40	248	3,1	4,22	7,2	115	3,02
DAB CS46 B7	10	40	373	3,1	7,04	5,4	208	4,1
Taco VM0104, 1 HP	6,5	40	746	3,1	4,57	16	115	6,7
TACO VM0105, 1,5HP	13	40	1119	3,1	9,15	20	115	8,4
Taco VM0104, 1 HP (746W)	6,5	40	746	3,1	4,88	8,8	208	6,7
TACO VM0105, 1,5HP	13	40	1119	3,1	9,15	11	208	8,3

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010 Fichas técnicas (37)(Submittal Data Information VM01 Series Pumps , 2013) (15)(BOMBAS SUMERGIBLES DAB CS46, 2014)

Nota: Para obtener los valores de la corriente nominal se hizo uso de la tabla 430-149 de corriente a plena carga para motores de corriente alterna rotor devanado o jaula de ardilla del Código Eléctrico. (Anexo 9)

Tabla 27. Comparación económica de las bombas de corriente alterna

Marca y modelo	Cantidad	Precio del distribuidor en Costa Rica
DAB CS46 B5	1	¢226 000
DAB CS46 B7	1	¢226000
Taco VM0104, 1HP (746W)	1	¢606 729
TACO VM0105, 1,5 HP (1,1kW)	1	¢742 938

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. Cotización departamento de ventas de Campos Rudín S.A y el grupo SAEG Costa Rica.

Se selecciona, finalmente, la bomba DAB CS46 B7.

El motor utilizado en la bomba, según el distribuidor, tiende a ser de la marca Baldor; sin embargo, varía el motor utilizado, por lo tanto, se acudió al catálogo de NEMA de motores de corriente alterna y se identificó un motor de 1/5 HP (373 W), este, a plena carga, tiende a tener un factor de potencia de 0,57. No obstante, al obtener una potencia de consumo con un factor de potencia bajo, se incurre en un diseño limitado, entonces se definió diseñar con un factor de potencia de 0,85 para asegurar la generación eléctrica.

4.5.2.1 SELECCIÓN DEL CABLEADO DE LA BOMBA

Existe una longitud de 150m entre el disyuntor principal y la bomba, y una corriente de 5,4 A. De acuerdo con la norma NEMA, basada en el NEC, tabla 310-16, para un THHN a una corriente de 5,4 A se puede utilizar un cable 14; sin embargo, debido a la longitud del cableado, las pérdidas de voltaje analizadas en la tabla siguiente y en función de la recomendación del NEC para ramales con una caída no mayor al 3%, se debe utilizar un cable AWG THHN número 6.

Tabla 28. Caída de voltaje para diferentes espesores de cable eléctrico

Designación AWG	Caída de tensión %
14	13,5
12	8,5
10	5,4
8	3,4
6	2,1
4	1,3
3	1,1
2	0,8
1	0,7

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

4.5.2.2 SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES

En cuanto a la selección de protecciones, según la tabla 430-151A del Código Eléctrico, para un motor monofásico con 5,4A de corriente nominal, si se utiliza un fusible con retardo de tiempo se debe aplicar un 175% máximo de corriente a plena carga. Si se utiliza interruptores automáticos de tiempo inverso se debe aplicar el 250% máximo a la corriente a plena carga. Entonces, se requieren fusibles con retardo de tiempo de 9.45, tras consultar la sección 240-6 del Código Eléctrico se seleccionó una capacidad normalizada de 15 A. También se seleccionó un interruptor automático de tiempo inverso de 13,5A. Según la sección 240-6 del Código Eléctrico, se eligió una capacidad normalizada de 15A. En resumen, se optó por un fusible con retardo de 15 A y un interruptor automático de tiempo inverso de 15A.

4.5.2.3 Selección del contactor

Los contactores por utilizar deben ser Nema 3R para uso exterior protegidos contra lluvia, nieve y granizo, o al menos ir dentro de un gabinete 3R. La capacidad interruptiva del contactor debe ser mínima, es decir, de un 115% de la corriente a plena carga del motor. Es así que el contactor seleccionado debe ser capaz de trabajar con corrientes de al menos 6,21A.

Tabla 29. Lista de materiales para la conexión de la bomba

Material	Descripción	Cantidad	Montaje	Precio unitario del distribuidor en Costa Rica	Precio Total
Cable línea (rojo)	AWG 6	120	Atornillado	₡1 100	₡132 000,00
Cable neutro (Blanco)	AWG 6	120	Atornillado	₡1 100	₡132 000,00
Tierra (verde)	AWG 8	10	Atornillado	₡750	₡7 500,00
Disyuntor tiempo inverso (208V)	15 A	2	Riel Din	₡14 595	₡29 190
Porta fusible y fusible con retardo	15 A	2	Riel Din	₡4 102,65	₡4 102,65
Gabinete	3R	2	Intemperie	₡56 801,55	₡113 603,10
Luz piloto amarilla	208V	1	Intemperie	₡13 885,85	₡13 885,85
Luz piloto verde	208V	2	Intemperie	₡13 885,85	₡27 771,70
Luz piloto roja	208V	2	Intemperie	₡13 885,85	₡27 771,70
Sensor(interruptor) de boya dos posiciones	208 V entrada y 24 V salida	2	Tanque	₡20 340,00	₡81 360,00
Contactor	12 A y 24V la bobina	4	Riel Din	₡26 533,58	₡106 134,32
Tubería PVC eléctrico 19mm	Clase A	110	Intemperie	₡346,05	₡38 065,50
Caja de arranque 1/2 HP (373 kW)	208V	1	Intemperie	₡39 483,00	₡39 483,00

₡729687,82

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2014. Cotización facilitada por Elektrosistemas CR y Campos Rudin.

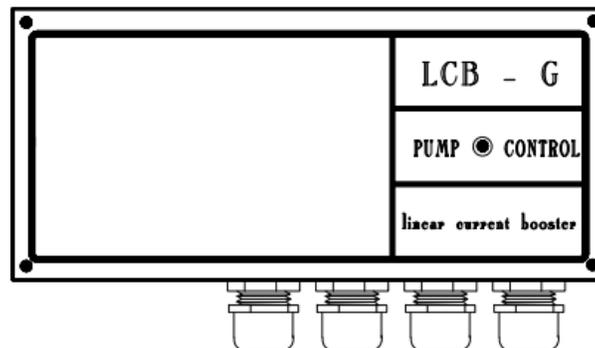
5 SISTEMA DE GENERACIÓN

5.1 SISTEMA FUERA DE LA RED (CD)

Una vez seleccionada la bomba de la marca Shurflo, la cual presenta un consumo menor al igual que una inversión más baja, se requiere la selección de paneles y un controlador. La cantidad de potencia requerida por cada bomba sugerida por el fabricante para lograr el caudal y la altura buscados es 115 W (Anexo 11); sin embargo, en el mercado los paneles más comunes son de 250 W, entonces se recomienda colocar un panel solar por cada dos bombas. Para regular el funcionamiento de la bomba, y como protección, la empresa Shurflo ha diseñado el controlador LCB 200 para la serie 9300, este controla el arranque y operación de la bomba.

Figura 6. Controlador LCB 200

SHURflo 902-200
LCB - G Pump Controller



Fuente: (Autor, año de publicación). Tomado de: manual de instalación (Shurflo).

Cada controlador tiene la capacidad para 7A, esto permite utilizar uno para cada dos bombas; no obstante, por recomendaciones del distribuidor se utilizará un controlador por cada bomba. El controlador cumple la función de regular la potencia que se entrega por parte de los módulos solares a las bombas, tanto el arranque como la operación y desconexión, en función a la potencia que generen los paneles.

Nota: El controlador no cumple la función de regular el llenado y vaciado de los tanques, solo el control de operación de la bomba en relación a la radiación solar disponible.

Tabla 30. Equipos para la instalación con una bomba de corriente directa

Marca y serie	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Precio unitario del distribuidor en Costa Rica	Precio total
Módulo Canadian solar 250(W)	2	30	6,64	€162 000	€324 000
Controlador LCB 200	4	30	3	€183 000	€732 000
Cable cobre #10 cobre Beacon (m)	6			€435	€2 610
Total					1 076 610

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. Cotización facilitada por Purasol Costa Rica

Tabla 31. Ventajas y desventajas de un sistema conectado en red con una bomba de corriente directa

Ventajas	Desventajas
No se requieren baterías, esto reduce gastos en mantenimiento, además, las baterías tienen una menor vida útil y están compuestas de elementos dañinos para el medio ambiente.	Costo mayor de equipos, estos requieren una mayor inversión.
Menor cantidad de paneles requeridos.	Poca disponibilidad de repuestos en el mercado, tiempos de espera elevados para acceder a la reparación de los equipos.
Funcionamiento autónomo de la red.	
No requiere un inversor.	Se requiere invertir en un tanque de captación de mayor volumen para aprovechar el agua captada durante la noche.
Reducción en costos de cableado, debido a que los paneles se colocan cerca de la bomba y no hace falta conectarlo a la red.	No cuenta con un control de llenado y vaciado de los tanques.
El uso de cuatro bombas en paralelo permite mantener el sistema activo mientras se reemplaza o repara una bomba, esto disminuye la capacidad diaria de forma poco drástica.	

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

5.2 SISTEMA FUERA DE LA RED CA

El sistema autónomo con una bomba de corriente alterna busca funcionar de igual manera que el sistema con bombas de corriente directa, solo que en este caso se hará uso de un inversor adaptado para las corrientes de arranque del motor. Se utilizará la bomba DAB CS46 B7 de 1/2 HP(373 W) con corriente de arranque cuatro veces la nominal, de 39,2 A, y un voltaje de 115 V.

Se realizó la propuesta de conexión de una bomba de corriente alterna seleccionando un inversor capaz de soportar la corriente de arranque y una selección de paneles en función del consumo; sin embargo, en función de las recomendaciones dadas por empresas distribuidoras y asesoras, como Purasol y Consenergy Costa Rica, se definió usar un inversor diseñado para soportar la corriente de arranque y regular el arranque de la bomba sin la necesidad de una batería. Las baterías no son muy recomendadas debido al mantenimiento que requieren y a su corta vida útil, además del desgaste sufrido ante los arranques. Se recomienda, por lo tanto, utilizar un controlador universal para bombas USPC de la marca Aerovironment.

Figura 7. Controlador Aerovironment Universal para motores (CA)



Fuente: Tomado de (3)(AeroVironment, 2013)

El inversor de la imagen brinda la protección de la bomba y cumple la función de arrancador el inversor; no obstante, es un elemento muy caro y difícil de cotizar en el país. Los inversores de potencias tan elevadas rondan los 6000 dólares, debido a esto no se considera para diseño.

5.3 SISTEMA CONECTADO A LA RED CA

Para el sistema conectado a la red fue seleccionada la bomba DAB CS46 B7, debido a su bajo consumo, a diferencia de las bombas Taco, esta bomba es sumergible y su precio, accesible.

La bomba tiene un consumo esperado promedio de 3,7kW/h diarios, se puede diseñar el sistema en función de un promedio de horas de radiación anual, con esto interesa llegar a una equivalencia, y el ICE permite la acumulación de energía generada en bonos. Se busca un diseño más económico por medio del uso de un promedio de radiación solar anual para el diseño, en lugar de utilizar el mes de menos radiación. Con un promedio anual de 5,2 horas de radiación, según el Apéndice2, para un consumo de 111kW h mensuales, es posible utilizar cuatro paneles de 250W para generar la potencia consumida por la bomba. El cálculo para determinar cuántos paneles utilizar se puede observar en la operación siguiente:

$$\#Paneles = \frac{P_{\text{Potencia Consumida}}}{((30\text{días/mes}) \times H_{\text{r}} \text{Horas de radiación} \times P_{\text{p}} \text{potencia de cada panel})}$$

$$\#Paneles = \frac{P \text{ (kWh /mes)}}{(30\text{días/mes}) \times H_{\text{rad}} \text{ (h/día)} \times P_{\text{p}} \text{ (kW/panel)}}$$

$$\#Paneles = \frac{111 \text{ (kWh /mes)}}{30(\text{días/mes}) \times 5,1 \text{ (h/día)} \times 0,250(\text{kW/panel})}$$

$$\#Paneles = \frac{111 \text{ (kWh /mes)}}{30(\text{días/mes}) \times 5,1 \text{ (h/día)} \times 0,250(\text{kW/panel})}$$

$$\#Paneles = 2,9 \text{ paneles}$$

Se utilizarán 4 paneles para balancear el sistema.

$$\#Paneles = 4 \text{ paneles}$$

Se seleccionaron cuatro paneles de la marca ReneSolaVirtus II, cada uno contiene un micro inversor EnecsysDuo, un disyuntor de 208V para el cable vivo y el neutro calibre AWG10. Según recomendaciones de SolarIng, el sistema incluye un disyuntor de 20 A 208 V, cableado, módulos solares, los micro inversores y la mano de obra.

Tabla 32. Costo del sistema fotovoltaico conectado en red

Material	Descripción	Cantidad	Montaje	Precio unitario	Precio Total instalado
Módulo Solar Rene Sola Virtus2	250 W	4	Estructura de aluminio	-----	-----
Microinversor EnecsysDuo	30V-208V CA-DC	4	Bajo el panel	-----	-----
Disyuntor	20A 208V	1	Riel Din	-----	-----
Mano de obra	-----	-----	-----	-----	-----
Total					¢1 083 000

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 201. Cotización facilitada por la empresa Solar Ing.

El diagrama de conexión de los paneles se observa en el Apéndice 5.

Nota: Debido a que los costos del sistema de potencia con bombas de corriente directa son más elevados, la adquisición y mantenimiento de equipos es más compleja y el agricultor tiene acceso a la red. Por ende, la propuesta de control y los diagramas fueron realizados en función del sistema conectado en red.

Tabla 33. Ventajas y desventajas de un sistema conectado en red con una bomba de corriente alterna

Ventajas	Desventajas
No se requieren baterías, esto reduce gastos en mantenimiento. Además las baterías tienen una menor vida útil y están compuestas de elementos dañinos para el medio ambiente.	Se es dependiente de la red y por seguridad los paneles se desconectan del sistema cuando la red sufre desconexión.
Las bombas son de menor costo, así como los equipos de control.	Requiere un inversor.
En el mercado, las bombas de corriente alterna tienen mayor comercialización, esto facilita la obtención de repuestos para la labor de mantenimiento.	Requiere más paneles que un diseño con bombas de corriente directa.
Se requiere menor conocimiento técnico para el desarrollo y mantenimiento.	Requiere mayor inversión en cableado.
El diseño se realiza en función del consumo.	
Permite el control de llenado y vaciado de los tanques a través del cableado, sensores y contactores.	

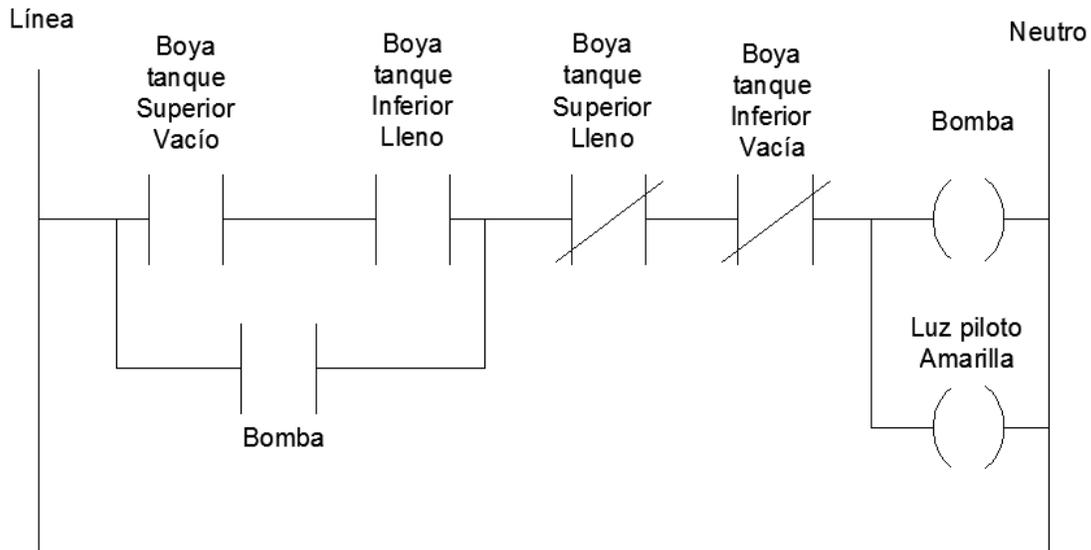
Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2013

6 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

6.1 CONTROL DEL SISTEMA DE POTENCIA DE CORRIENTE ALTERNA

La bomba funcionará de acuerdo con la necesidad del tanque superior y la disponibilidad del tanque inferior. El objetivo del sistema de control para la bomba será mantener un volumen mínimo en el tanque superior, esto significa bombear cada vez que el tanque superior baje de un mínimo permisible de 1m^3 ; sin embargo, el sistema de bombeo no debe entrar en funcionamiento si no hay disponibilidad de agua en el tanque inferior, esto debido a que si funcionara en seco dañaría la bomba. También se busca que la bomba funcione solo si hay suficiente agua en el tanque inferior, ello para no tener una alta frecuencia de arranques en un corto periodo. El tanque inferior tiene la capacidad de abastecer 2m^3 cada vez que el tanque superior lo solicita, con esto se asegura que el tanque superior se llene por completo cada vez que sea necesario. A continuación, se muestra el diagrama de escalera que representa el funcionamiento de la bomba, con un sistema de control sencillo muy similar al arranque-para de una bomba.

Figura 8. Diagrama escalera simplificado para control de la bomba



Fuente: Elaboración propia. Autodesk Auto CAD 2014

Para el adecuado funcionamiento de la bomba se hace uso de cuatro boyas, dos en cada tanque, estas permiten el control del arranque-para de la bomba, así como el uso de contactores y bobinas para memorizar los estados de la boya cuando el tanque inferior está lleno y el tanque superior está vacío. Los materiales para instalar el sistema de control de la bomba se pueden observar en la tabla 26. En el Apéndice 1 se puede observar un GRAFCET ejemplificativo del control deseado con los contactores y sensores de boya.

6.2 CONTROL DEL SISTEMA DE RIEGO

El control del sistema de riego será realizado por un controlador de riego TORO ECXTRA, este, por medio de válvulas instaladas en el sistema de riego, controla las horas y el tiempo de riego en cada zona.

Las zonas son los sectores controlados por cada válvula, estas se pueden determinar en función de la disponibilidad de agua, dividiendo un área de riego en sectores con el fin de administrar la disponibilidad del caudal, por lo tanto, se riega un sector y luego otro. También se pueden dividir en zonas en función del tiempo de riego requerido por cada producto, esto se debe a que no todos los cultivos requieren el mismo tiempo de riego, así se puede controlar el tiempo de riego por válvula, de esta manera se optimiza el riego y se reduce la intervención humana.

Los controladores TORO ECXTRA permiten operar hasta tres programas identificados con las letras A, B, C y D, de esta forma se puede programar diferentes riegos para cuatro zonas, así como diferentes horarios dependiendo del mes. El TORO ECXTRA se programa en función de las zonas de riego, estas se definen para cada programa, y en cada una debe programarse los días de riego para cada zona, así como la hora de inicio y el tiempo de riego. Para este diseño se plantean dos programas, subdivididos según la profundidad radicular de los cultivos, estos le permiten al agricultor manejar en el invernadero dos productos al mismo tiempo.

Programa 1.Productos de baja profundidad radicular

Días de riego: todos los días de la semana

Hora de inicio: 6 am

Tiempo de riego: 23,5 minutos

Programa 2.Productos de alta profundidad radicular

Días de riego: Todos los días de la semana

Hora de inicio: 7 am

Tiempo de riego: 35 minutos

6.2.1 Observaciones del programador

El tiempo de riego definido anteriormente permite un riego generalizado a lo largo del año; sin embargo, los cultivos varían las necesidades de riego durante su crecimiento y dependen de la variedad por cultivar, así como del mes en el que se cultivan. Por lo tanto, es importante que el agricultor se capacite o capacite a alguien para manipular el controlador, esto con el fin de determinar, en función del cultivo, la fecha y la etapa de crecimiento de este. Para determinar las necesidades de riego es importante llevar un control de ellas por medio del uso de la experiencia del agricultor, esto facilitará el control de riego a través del tiempo.

6.2.2 Información técnica del controlador

Dimensiones de la caja: 33,7 cm x 22,9 cm x 9cm

Corriente de entrada: 0,5A

Voltaje de entrada: 120V

Frecuencia: 60Hz

Potencia de salida: 20-30VA

Voltaje de salida: 24V

Frecuencia: 60Hz

6.2.2.1 Costo del sistema de control para riego

Tabla 34. Información económica del sistema de control de riego

Equipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Controlador TORO 8002	4 módulos	1	₡93 600	₡93 600

Total ₡93600

Fuente: Elaboración propia. Office Excel. Cotización facilitada por RYM
vía email.

7 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA EL AGRICULTOR

Se presentan acciones que el agricultor puede realizar fácilmente con respecto a algunos equipos de riego y generación, esto con el fin de mantener a través del tiempo un funcionamiento óptimo de la maquinaria, principalmente el mantenimiento de la limpieza en los equipos de generación para evitar que la suciedad afecte la generación. Además, se deben mantener los sistemas hidráulicos libres de partículas insolubles que puedan bloquear las perforaciones de las cintas de goteo.

Las labores de mantenimiento para el sistema de riego y para el sistema fotovoltaico se plantean en términos sencillos y de fácil comprensión para el agricultor, pues estas labores no consumen mucho tiempo y son fáciles de realizar. El inconveniente para el mantenimiento es que generalmente está diseñado para sistemas complejos y robustos, en estos su aplicación tiene una fuerte justificación económica, pues de este dependen muchas hectáreas y está conformado por complejos y robustos sistemas de control y potencia, es decir, ha sido diseñado para empresas capaces de pagar el desarrollo de un programa especializado de mantenimiento, además de llevar un control de este. Por lo tanto, este documento, por medio del uso de la bibliografía consultada, de las recomendaciones dadas por casas comerciales de riego y agricultores consultados, propone un programa de mantenimiento en el cual el agricultor pueda basarse; sin embargo, debe decidir, según la observación, propuestas de mejora.

El mantenimiento de los paneles solares es mínimo; no obstante, como mantenimiento básico se recomienda limpiar los módulos con cierta frecuencia. El proveedor de Solar Ing recomienda al menos 1 vez cada 3 meses.

Tabla 35. Acciones de mantenimiento que el agricultor puede implementar en el riego y generación

Frecuencia	Acción
Diaria	<ol style="list-style-type: none">1. Visualmente controlar la calidad del agua en los tanques (Formación de líquenes y sedimentos)2. Verificar el adecuado funcionamiento de las cintas de goteo (Humedecimiento del suelo)
Mensual	<ol style="list-style-type: none">1. Verificar el adecuado funcionamiento de carga y descarga de los tanques de captación.2. Limpiar el cartucho del filtro con cloro dejándolo remojar 1 noche.3. Limpiar las paredes y fondos de los tanques, líquenes y sedimentos.4. Purgar las cintas de goteo durante 5 minutos.5. Purgar los tanques de reserva como de captación.
Trimestral	<ol style="list-style-type: none">1. Limpiar la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico con una esponja y agua.2. Podar las plantas que puedan provocar sombra al panel fotovoltaico
Anual	<ol style="list-style-type: none">1. Dejar el cartucho del filtro remojando en un balde con ácido muriático.2. Solicitar una revisión sobre los módulos solares al proveedor.

Fuente: Elaboración propia. Office Excel, para el desarrollo de la tabla se baso en (25)(Manual de Operación y Mantenimiento de un Sistema de Riego por Goteo, 2005)(2)(ADRA Perú, 2009)
(28)(PANELES SOLARES (ABC))

Tabla 36. Análisis de fallas del controlador de riego

Modo de fallo	Posible causa	Acción correctiva
La pantalla está en blanco y el temporizador no funciona.	La alimentación principal está desconectada.	Comprobar que el programador se encuentre conectado.
Los programas de riego comienzan a horas no programadas.	Los programas de riego tienen superposición de horarias.	Separar los tiempos de inicio. Acortar los tiempos programados.
El riego de alguna zona no se enciende.	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión defectuosa de la válvula. • La protección del circuito automático tiene deshabilitada la zona. • El tiempo de ejecución de la zona se encuentra apagado. 	Comprobar las conexiones de los cables en las válvulas de control. Comprobar el solenoide de la válvula defectuosa, y reemplazarla en caso de ser necesario.
No se apaga una zona de riego.	Válvula solenoide defectuosa.	Inspeccionar y limpiar la válvula, cambiarla en caso de ser necesario.
El programa se reinicia inesperadamente luego de finalizar una operación.	Hay más de una hora en el arranque del programa. El tiempo está mal ajustado.	Reajustar las variables del programa. Reducir la hora de inicio del programa.

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010. (TORO, 2009)

8 CONCLUSIONES

1. El sistema de riego fue diseñado para que trabaje por gravedad, por ello no es dependiente del sistema de bombeo para lograr las presiones y caudales requeridos; sin embargo, la disponibilidad de agua sí depende del sistema de bombeo.
2. Se diseñó un sistema de riego por goteo haciendo uso de válvulas reguladoras de presión y cintas de goteo.
3. El sistema de control de carga y descarga de los tanques permite la disponibilidad en el tanque superior, sin que este se rebalse.
4. Los sistemas de protección y control de la bomba deben contar con la especificación NEMA 3 R que los proteja de la intemperie, la lluvia y la suciedad.
5. El sistema de potencia con una bomba de corriente alterna facilita la adquisición de repuestos.
6. El sistema de potencia con bombas de corriente directa permite el funcionamiento a una menor capacidad en caso de que falle una bomba, mientras se localizan los repuestos o el remplazo.
7. El programador de riego es fácil de instalar y de bajo consumo, esto le permite al agricultor disminuir la mano de obra para las acciones de riego.
8. La inversión en un sistema autónomo es mayor que la de un sistema conectado a la red.
9. La vida útil del proyecto estará relacionada con la forma en que el agricultor lo manipule y le dé mantenimiento.

9 RECOMENDACIONES

1. Capacitar al agricultor en relación con el uso y mantenimiento de los equipos.
2. Utilizar un sistema conectado a la red siempre que sea posible, debido a que el costo de adquisición es menor y se facilitan las labores de mantenimiento y adquisición de repuestos.
3. Aumentar la longitud de las terrazas, esto con el fin de aprovechar mejor las válvulas solenoides y reguladoras de presión por área de riego.
4. Aumentar el área de producción con la finalidad de aprovechar mejor la inversión según el agua disponible del terreno, esta se puede aumentar para 9000 m².
5. Señalar la trayectoria de las tuberías, tanto eléctricas como hidráulicas, en el terreno para evitar la ruptura de estas a la hora de realizar trabajos de mantenimiento en la finca.
6. Tapar el tanque de captación, así como el de reserva, para evitar el ingreso de partículas sólidas.
7. De ser necesario, aumentar la frecuencia con que se limpian los tanques y filtros del sistema.
8. Llevar un control en relación con la producción para determinar las horas de riego necesarias y cambiarlas en función de la experiencia que se va adquiriendo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB. (2014). *Motores NEMA de CA y de CC a prueba de explosión*. Ciudad: Editorial.
2. ADRA Perú. (2009). *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA DE RIEGO*. Recuperado el 18 de octubre de 2014, de http://www.adra.org.pe/en/archivos/publicaciones/pub_719_Manual_OYM_RG_23mar.pdf
3. Aero Vironment Inc. (s.f.). *Janzir Solar Solutions and Consultancy*. Recuperado el 18 de 09 de 2014, de <http://www.solar-sc.de/USPC-5000.pdf>
4. AeroVironment. (2013). *AVAeroVironment*. Recuperado el 17 de 09 de 2014, de https://www.avinc.com/glossary/uspc_5000
5. Agricultores Hortícolas, Z. y. (15 de Agosto de 2014). Agricultura por goteo. (Y. X. Gamboa, Entrevistador)
6. Allen, Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56*. ROMA.
7. Ballesteros, C. O. (2012). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE INVERSORES FOTOVLTÁICOS DE CONEXIÓN A RED CON POTENCIA IGUAL O SUPERIOR A 100kw*. Universidad Carlos III , Departameto de Tecnología Electrónica, Madrid.
8. Banco Interamericano de Desarrollo. (2011). Recuperado el 17 de septiembre de 2014, de <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2011/08952.pdf>
9. Canadian Solar. (s.f.). *CS6P-250 / 255 / 260P datta sheet*. Recuperado el 20 de 09 de 2014, de www.canadiansolar.com
10. Castro, V. (1987). *Radiación Solar en Costa Rica*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
11. CEROS&UNOS. (2013 de 05 de 7). *Huerta y Jardinería*. Recuperado el 27 de 06 de 2014, de <http://www.huertayjardineria.com.ar/SiemA.htm>

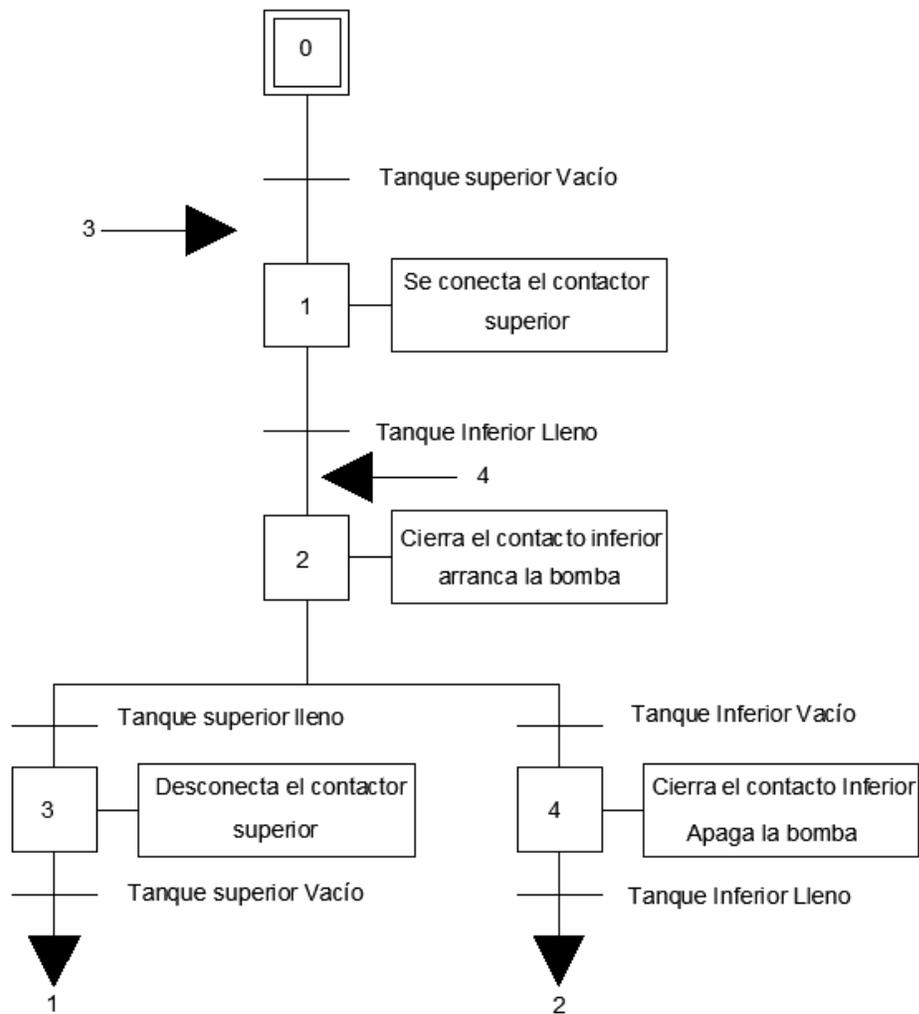
12. Chanto J, L. F., Mora M, D., Morales R, A., Vargas B, L., Zamora, P., & Jimenez R, O. (1996). *CÓDIGO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS EN EDIFICACIONES*. COSTA RICA: COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA.
13. *Código Eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la Vida y la Propiedad* (Primera ed.). (2008). Costa Rica.
14. corporacionfont. (s.f.). *Corporación Font*. Recuperado el 20 de 08 de 201, de <http://www.corporacionfont.com/>
15. DAB, W. T. (2014). BOMBAS SUMERGIBLES DAB CS46. *FICHA TÉCNICA*.
16. Echeverría, J., Eladio, Z., & José, R. P. (2008). *Plan Nacional de Gestión Integrado de Recursos Hídricos*. San José, Costa Rica: Ministerio del Ambiente y Energía.
17. GRUNDFOS. (2011). *SQFLEX Renewable-energy based water supply systems 50/60Hz*.
18. Heinrich Bettoni, K., Pacheco Cubero, R., Solera Flores, M., & Alfaro Hernandez, M. (2013). *Series de Brillo Solar en Costa Rica*. Costa Rica: Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas.
19. Huerto Urbano. (s.f.). *Huerto Urbano*. Recuperado el 30 de 6 de 2014, de <http://www.huertodeurbano.com/>
20. ICE. (2014). *PLAN DE EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA PERIODO 2014-2035*. San José: Instituto Costarricense de Electricidad.
21. Jaime Echeverría, E. Z. (2008). *Plan Nacional De Gestión Integrada De Recursos Hídricos*. Ministerio Del Ambiente y Energía.
22. Juan, J. S. (1993). *Riego Por Goteo* (3 ed.). España: Mundi Prensa.
23. M Soto, M. (14 de Octubre de 2014). *La Nación*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de Cambio climático alterará el paisaje de Costa Rica en 2080: http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Cambio-climatico-alterara-paisaje-costarricense_0_1445255477.html

24. Maiden, J. (2004). *Bufa*. Recuperado el 20 de Agosto de 2014, de <http://www.bufa.es/google-maps-latitud-longitud/>
25. Medina Rengifo, J., Himeur, Y., Romero Zeballos, J. L., Zúñiga Velando, C., & Alvarado Paco, L. (2005). *Manual de Operación y Mantenimiento de un Sistema de Riego por Goteo*. Recuperado el 18 de Octubre de 2014, de http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf
26. Natural Resources Mangament and Enviroment Departament. (s.f.). *FAO CORPORATE DOCUMENT RESPOSITORY*. Recuperado el 13 de Agosto de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#TopOfPage>
27. Oropeza, I. J., & Oropeza Angeles, J. *Instalaciones eléctricas comerciales e industriales*. Scheneider.
28. *PANELES SOLARES (ABC)*. (s.f.). Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.abc-panelessolares.com/2011/04/mantenimiento-de-los-paneles-solares.html>
29. Pizarro, F. (1990). *Riegos Localizados De Alta Frecuencia* (2 ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
30. PLASTIFER,S.A. (s.f.). 2 Tuberías y Accesorios de PVC Presión.
31. R.L, A. C. (2001). *Agenda APA NACIONAL 2000*. San José, Costa Rica.
32. Ramón, F. S. Universidad Salamanca, Geología.
33. ReeSola. (s.f.). *ReneSola*. Recuperado el 20 de 09 de 2014, de VirtusII Datasheet: www.ReneSola.com
34. S Barquero, M. (1 de 10 de 2014). Gobierno decretó emergencia por sequía en costa del Pacífico. *La Nación* .
35. Shurflo. (s.f.). *shurflo 9300*. Obtenido de Shurflo datasheet : <http://www.dayliff.com/dmdocuments/Shurflo%20DC%20Submersible%20Pumps-1.pdf>
36. Snyder, R., Orang, M., Eching, S., Bali, K., & Zaccaria, D. (Diciembre de 2000). *Basic Irrigation Sheduling*. California.

37. Taco. (05 de Agosto de 2013). Submittal Data Information VM01 Series Pumps . Canada.
38. TORO. (2009). *TORO EXCTRA User's Guide*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de https://media.toro.com/CatalogDocuments/Manual/ECXTRA_User_Guide.pdf
39. Vega, B. N. (1994). *Las Propuestas de UPANACIONAL Alterantiva o inserción en el Ajuste Estructural*. San José.

10 APÉNDICES

10.1 Apéndice 1. GRAFCET demostrativo control del sistema de bombeo.



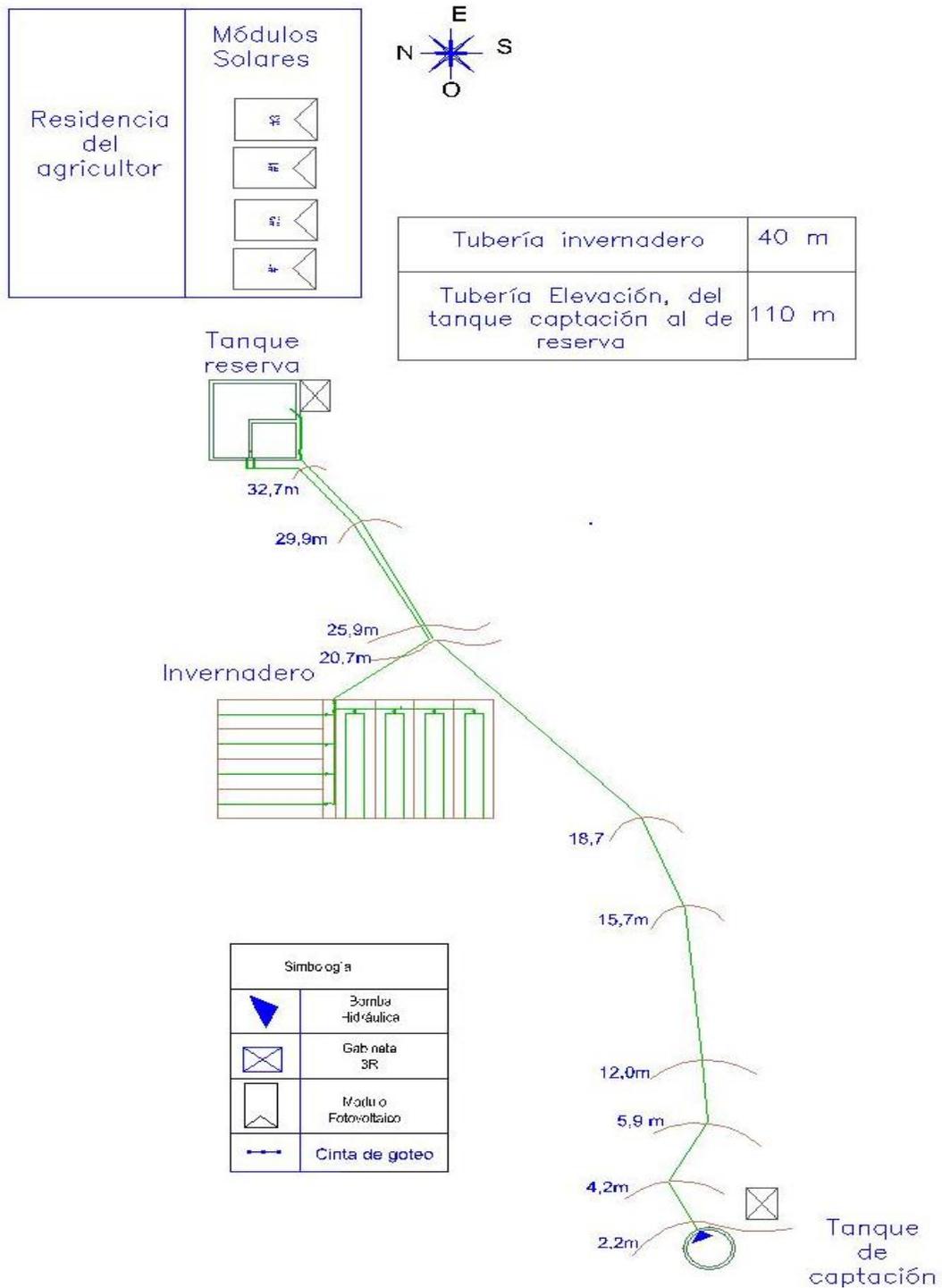
Fuente: Elaboración propia. Autodesk Auto CAD 2014

10.2 Apéndice 2. Tabla sobre las horas de radiación diarias

Horas de radiación diarias (h)													
Naranjo La luisa Lat: 10,063 Long: 84,4655 1200 m													
Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1978-1981	8	7,8	8,2	6,4	4,6	3,1	4,1	4	3,8	3,2	3,9	6,2	5,3
La laguna de fraijanes Lat: 10, 0809 Long 84,1129 Altitud 1850 m													
1976-2012	8,1	8,5	8,2	6,5	4,2	3,1	3,3	3,5	3,2	3,2	4,1	6,1	5,2
Palmira(Zona Norte) Lat 10°12'59,99" Long 84°22'59,99" 2010 m													
1973-1983	6,5	7,1	6,9	6,5	4,9	3,6	4,2	4,2	3,6	3,6	3,7	5,3	5
Datos resultantes													
Promedio	7,5	7,8	7,8	6,5	4,6	3,3	3,9	3,9	3,5	3,3	3,9	5,9	5,2
Mínimo	6,5	7,1	6,9	6,4	4,2	3,1	3,3	3,5	3,2	3,2	3,7	5,3	5
Máximo	8,1	8,5	8,2	6,5	4,9	3,6	4,2	4,2	3,8	3,6	4,1	6,2	5,3

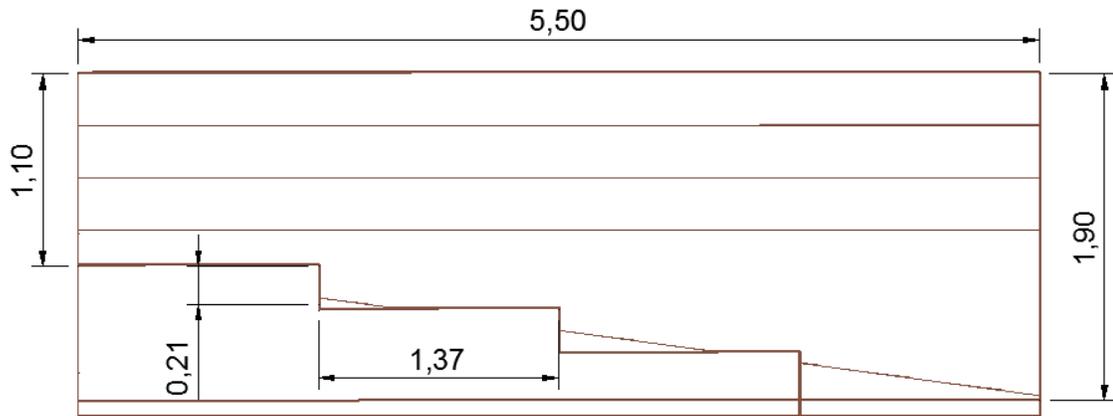
Fuente: Elaboración propia.OfficeExcel2010 , información tomada de (18) (Heinrich Bettoni, Pacheco Cubero, Solera Flores, & Alfaro Hernandez, 2013) y (10)(Castro, 1987)

10.3 Apéndice 3. Esquema de la distribución de los equipos en el terreno



10.5 Apéndice 5.Ejemplificación de las dimensiones del invernadero

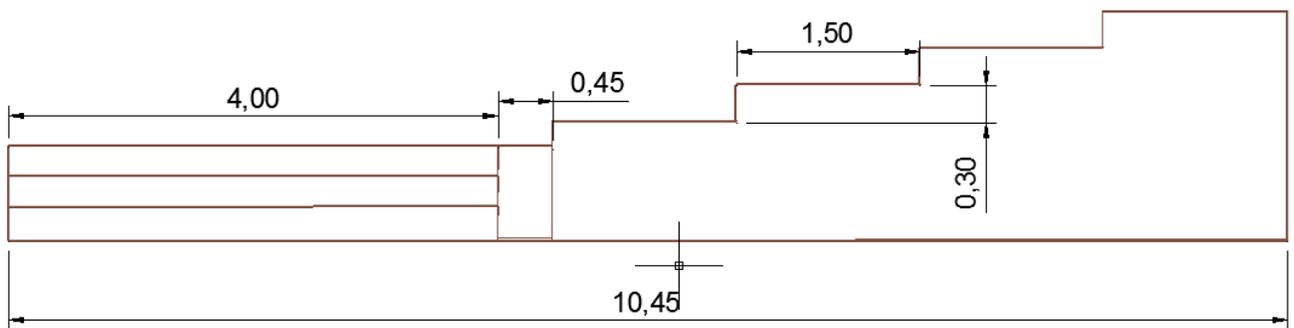
VISTA FRONTAL



Unidades: m

Fuente: Elaboración propia Autodesk Auto CAD 2013

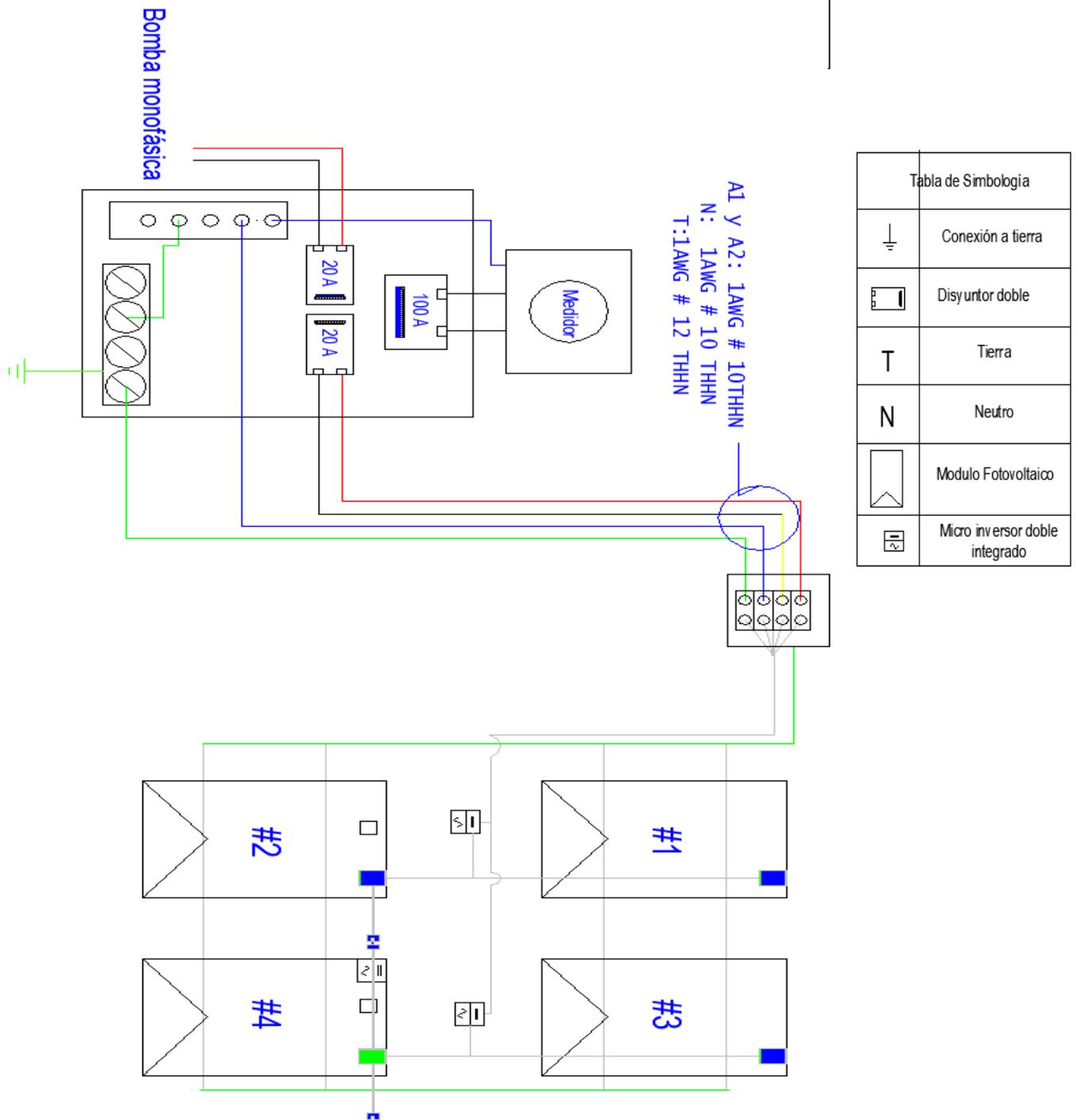
VISTA LATERAL



Unidades: m

Fuente: Elaboración propia Autodesk Auto CAD 2013

10.6 Apéndice 6. Diagrama de conexión paneles solares conectados en red



Fuente: Elaboración propia Autodesk Auto CAD 2013.

10.7 Apéndice 7. Inversión requerida para sistema fuera de la red

Material	Descripción	Cantidad		Precio unitario ₡	Precio Total
Válvula principal de tubería Ø19mm	Irritec	2	unitario	₡314	₡628
Válvula para cinta de goteo Ø 16 mm	Irritec	12	unitario	₡342	₡4 104
Cinta de goteo 25 cm (2,6L/h) Ø 16 mm	Euro-Drip	1 Rollo 500 m	metros	₡19 950	₡19 950
Cinta de goteo 30 cm (2,6L/h) Ø 16 mm	Euro-Drip	1 Rollo 500 m	metros	₡18 810	₡18 810
Válvula reguladora de presión (100 kPa) Ø 19mm	Palaplast	8	unitario	₡2 743	₡21 944
Tubería PE Ø19mm	Irritec	40	metros	₡342	₡13 680
Válvulas Solenoides 24 V	Irritec	2	unitario	₡10 830	₡21 660
Codos 45 Ø19mm	Irritec	4	unitario	₡148	₡592
TE 19mm	Irritec	7	unitario	₡168	₡1 176
Venturi 19mm- 13mm	Irritec	1	unitario	₡18 810	₡18 810
Manguera para Venturi	Irritec	1	unitario	₡6 270	₡6 270
SHURFLO 9300	9325-043-101	4	unitario	₡478 000	₡1 912 000
Tubería PE Ø 25mm	Irritec	110	metros	₡496	₡54 560
Codos PE 45° Ø25mm	Irritec	6	unitario	₡183	₡1 098
Módulo Canadian solar	250(W) 30 V	2	unitario	₡162 000	₡324 000
Controlador LCB 200	30 V 7,8 A	4	unitario	₡183 000	₡732 000
Cable cobre AWG #10	Beacon	6	metros	₡435	₡2 610
Controlador Toro 8002	4 módulos	1	Unitario	₡93 600	₡93 600
Electricista	Trabajo Calificado	4		₡2 500	₡10 000
Fontanero	Trabajo Calificado	4		₡2 500	₡10 000
Ayudante	Trabajo semicalificado	8		₡1 500	₡12 000
Trabajo de ingeniería	Licenciatura	20		₡15 000	₡300 000

Total **₡3 579 492**

Fuente: Elaboración propia Office Excel 2010.

10.8 Apéndice 8. Inversión requerida para sistema conectado a la red

Material	Marca	Cantidad	metros	Precio unitario	Precio total
Válvula Principal de tubería Ø 19mm	Irritec	2	Unitario	€314	€628
Válvula para cinta de goteo Ø 16 mm	Irritec	12	Unitario	€342	€4 104
Cinta de goteo 25 cm (2,6L/h) Ø 16 mm	Euro-Drip	1 Rollo 500 m	metros	€19 950	€19 950
Cinta de goteo 30 cm (2,6L/h) Ø 16 mm	Euro-Drip	1 Rollo 500 m	metros	€18 810	€18 810
Válvula reguladora de presión (100 kPa) Ø 19mm	Palaplast	8	Unitario	€2 743	€21 944
Tubería PE Ø19mm	Irritec	40	metros	€342	€13 680
Válvulas Solenoides 24 V	Irritec	2	Unitario	€10 830	€21 660
Codos 45 Ø19mm	Irritec	4	Unitario	€148	€592
TE Ø19mm	Irritec	7	Unitario	€168	€1 176
Venturi Ø 19mm- 13mm	Irritec	1	Unitario	€18 810	€18 810
Manguera para venturi	Irritec	1	Unitario	€6 270	€6 270
Bomba Sumergible 1/2 HP (374 kW)	DAB CS46 B5	1	Unitario	€226 000	€226 000
Cable Línea (rojo)	AWG 6	120	Unitario	€1 100	€132 000
Cable Neutro (azul)	AWG 6	120	Unitario	€1 100	€132 000
Tierra (verde)	AWG 8	10	Unitario	€750	€7 500
Disyuntor tiempo inverso monofásico 208V	15A	2	Unitario	€14 595	€29 190
Porta fusible y fusible con retardo	16A	2	Unitario	€4 103	€8 206
Gabinete 3R	3R	2	Unitario	€56 802	€113 604
Luz piloto amarilla	208V	1	Unitario	€13 886	€13 886
Luz piloto verde	208V	2	Unitario	€13 886	€27 772
Luz piloto roja	208V	2	Unitario	€13 886	€27 772
Interruptor de boya dos posiciones	24 V salida	4	Unitario	€20 340	€81 360
Contactador monofásico 208V	Bobina 12 A 24V	4	Unitario	€26 534	€106 136
Tubería PVC Eléctrico 12mm	Clase A	110	Unitario	€346	€38 060
Caja de arranque 1/2 HP (373 kW)	208V	1	Unitario	€39 483	€39 483
Tubería PE Ø 25mm	Irritec	110	metros	€496	€54 560
Codos PE 45° Ø25mm	Irritec	6	Unitario	€183	€1 098
Generadores solares	Incluye instalación	4		€1 083 000	€1 083 000
Disyuntor principal CuttlerHamer	2 x 100A	1	Unitario	€80 000	€80 000
Controlador Toro 8002	4 módulos	1	Unitario	€93 600	€93 600
Electricista	Trabajo Calificado	2		€2 500	€5 000
Fontanero	Trabajo Calificado	4		€2 500	€10 000
Ayudante	Trabajo semicalificado	6		€1 500	€9 000
Trabajo de ingeniería	Licenciatura	20		€15 000	€300 000
				Total	€2 746 851

Fuente: Elaboración propia. Office Excel 2010

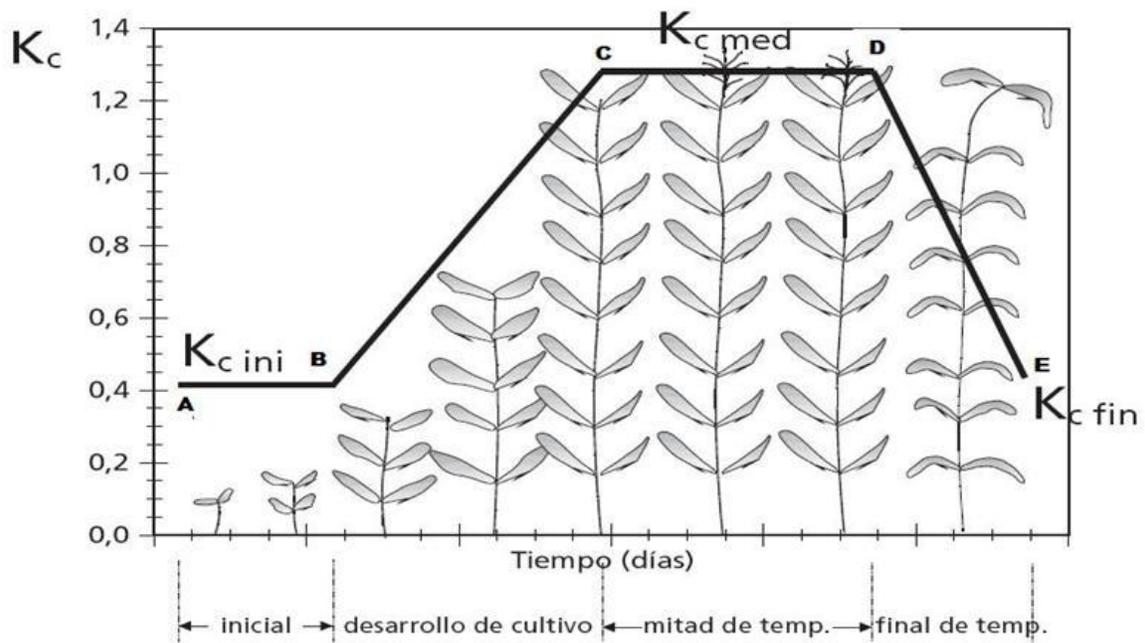
10.9 Anexos

Anexo 1. Coeficientes (Kc). Para algunos de los principales cultivos

Cultivo	% Ciclo Vegetativo			Kc			
	B	C	D	B	C	D	E
Algodón	15	25	85	0.35	0.95	0.95	0.50
Maiz (grano)	20	45	75	0.20	1.05	1.05	0.60
Maiz (forraje)	20	45	100	0.20	1.00	1.00	1.00
Trigo, Cebada	20	45	75	0.33	1.10	1.10	0.15
Cártamo	17	45	80	0.20	1.05	1.05	0.25
Sorgo	16	42	75	0.20	1.05	1.05	0.50
Melon	21	50	83	0.80	0.95	0.95	0.75
Remolacha azucarera	15	45	80	0.20	1.15	1.15	0.95
Sandia	20	50	75	0.80	1.00	1.00	0.75
Girasol	20	45	80	0.20	1.10	1.10	0.40
Alfalfa (anual)	7	30	100	0.40	1.15	1.15	0.40
Papa	20	45	78	0.80	1.10	1.10	0.70
Tomate	25	50	80	0.30	1.10	1.10	0.65
Espárrago	12	25	95	0.25	1.00	1.00	0.25
Broccoli	20	50	83	0.30	1.00	1.00	0.80
Col	25	63	88	0.30	1.00	1.00	0.85
Zanahoria	20	50	83	0.85	0.95	0.95	0.80
Apio	15	40	90	0.80	0.95	0.95	0.95
Pepino	19	47	85	0.80	0.85	0.85	0.85
Lechuga	25	65	90	0.80	0.80	0.80	0.80
Cebolla	10	26	75	0.80	1.00	1.00	0.75
Cebollin	25	70	90	0.80	1.00	1.00	0.90
Chile, Pimiento	20	45	85	0.80	1.00	1.00	0.85
Rábanos	20	45	85	0.80	0.85	0.85	0.75
Espinacas	33	67	92	0.80	0.95	0.95	0.90
Calabaza	20	50	80	0.52	0.90	0.90	0.70
Fresas	15	45	80	0.20	0.70	0.70	0.70
Pasto (forrajes)	25	50	75	0.95	0.95	0.95	0.95
Almendro	0	50	90	0.55	1.05	1.05	0.65
Kiwi	0	22	67	0.30	1.05	1.05	1.00
Manzano	0	50	75	0.55	1.05	1.05	0.80
Vid (Viñedos)	0	25	75	0.45	0.80	0.80	0.35
Frutales de hueso	0	50	90	0.55	1.05	1.05	0.65
Nogales	0	50	75	0.55	1.05	1.05	0.80
Aguacate	0	33	67	0.70	0.70	0.70	0.70
Citricos	0	33	67	1.00	1.00	1.00	1.00
Citricos (semitárido)	0	33	67	0.90	0.90	0.90	0.90
Palma Datilera	0	33	67	0.95	0.95	0.95	0.95
Coníferas (Pinos, etc)	0	33	67	1.15	1.15	1.15	1.15
Olivos	0	33	67	0.80	0.80	0.80	0.80

Fuente: (Snyder, Orang, Eching, Bali y Zaccaria, 2000).

Anexo 2. Curva generalizada de Coeficiente de Cultivo K_c



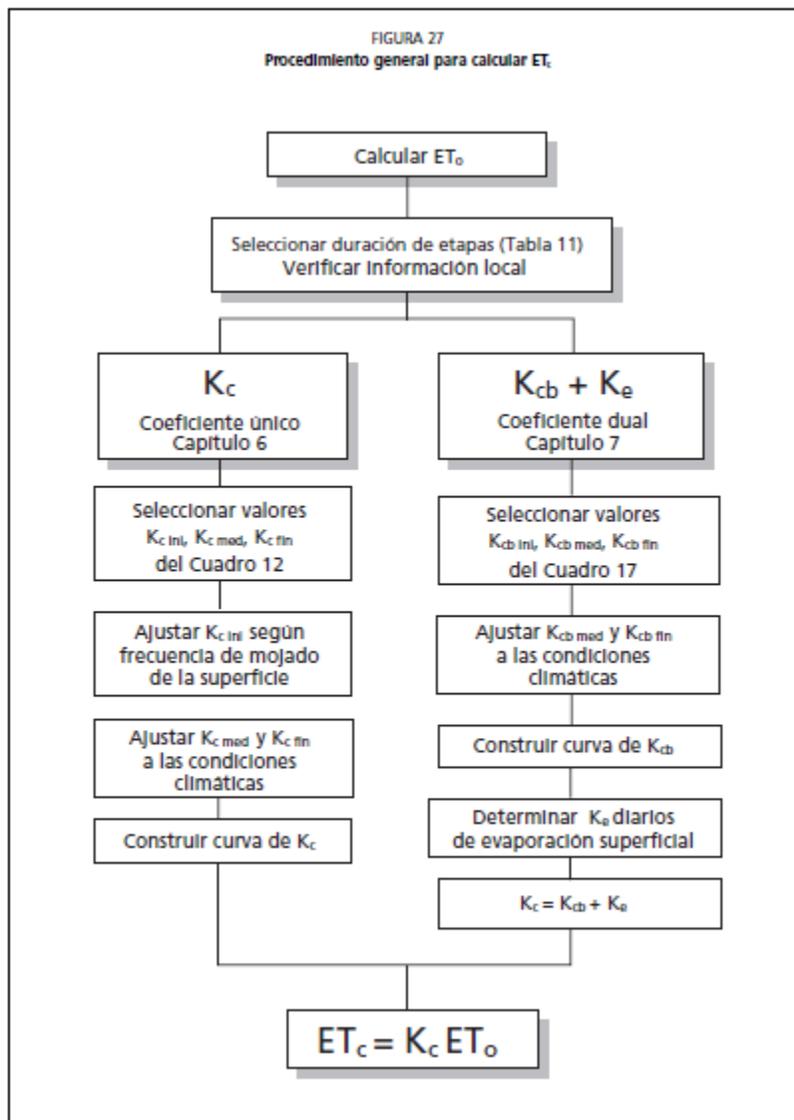
Fuente: (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006).

Anexo 3. Radiación solar extraterrestre en MJ m-2d-1 de Allen et al 1998

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: (Natural Resources Mangament and Enviroment Departament, año de publicación).

Anexo 4. Procedimiento general para calcular ETC (Evapotranspiración del cultivo)



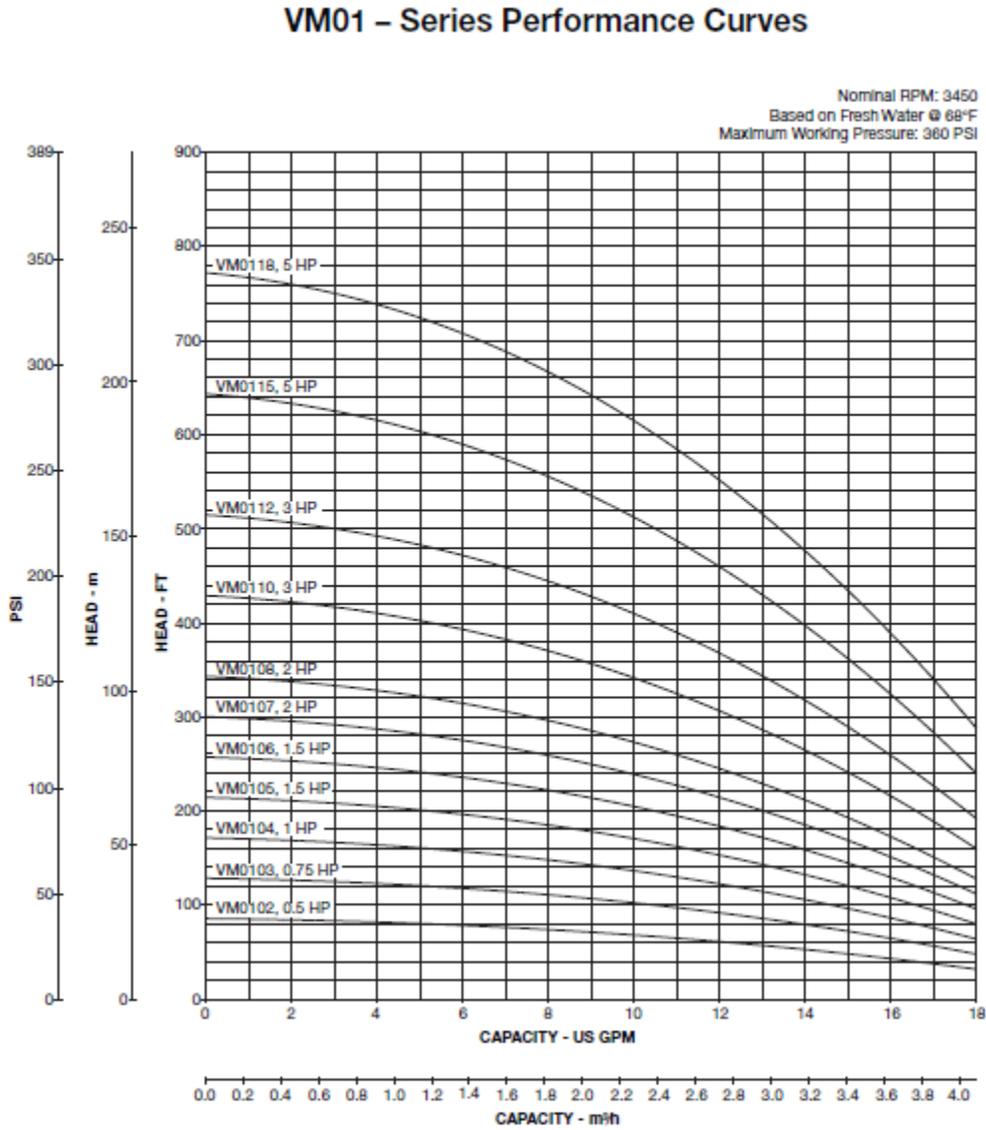
Fuente: (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006).

Anexo 5. Longitud y latitud de San Rafael, Costa Rica



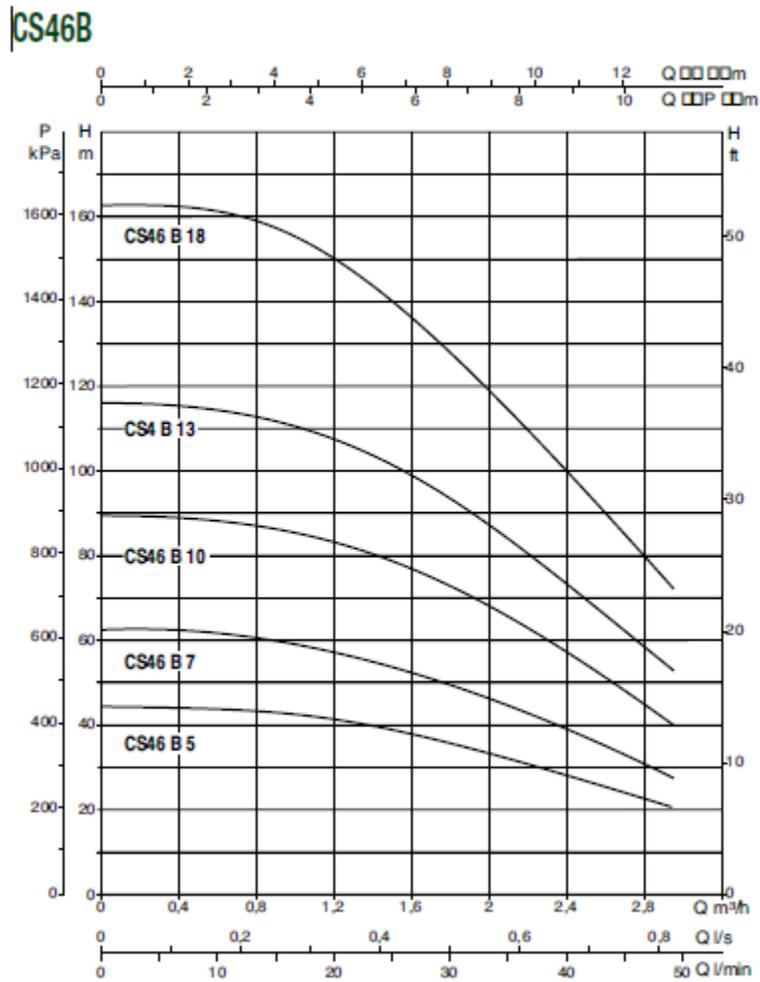
Fuente: (Maiden, 2004).

Anexo 6. Curvas de operación de las Bombas VM01



Fuente: (Submittal Data Information VM01 Series Pumps).

Anexo 7. Curvas de operación de las bombas CS46 B5 y B7



Fuente: (DAB, 2014).

**Anexo 8. Corriente a plena carga en motores de corriente alterna
monofásicos**

kW (HP)	115 V	200 V	208 V	230 V
0.12 (1/6)	4.4	2.5	2.4	2.2
0.20 (1/4)	5.8	3.3	3.2	2.9
0.25 (1/3)	7.2	4.1	4.0	3.6
0.37 (1/2)	9.8	5.6	5.4	4.9
0.56 (3/4)	13.8	7.9	7.6	6.9
0.75 (1)	16	9.2	8.8	8
1.12 (1½)	20	11.5	11	10
1.5 (2)	24	13.8	13.2	12
2.2 (3)	34	19.6	18.7	17
3.75 (5)	56	32.2	30.8	28
5.6 (7½)	80	46	44	40
7.5 (10)	100	57.5	55	50

Fuente: (Código Eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la Vida y la Propiedad, 2008).

Anexo 9. Corriente a plena carga para motores de corriente continua

N. Tablas

Tabla 430-147 Corriente a plena carga en amperios, para motores de corriente continua.

Los siguientes valores de corriente de plena carga* son para motores que funcionan a velocidad básica.

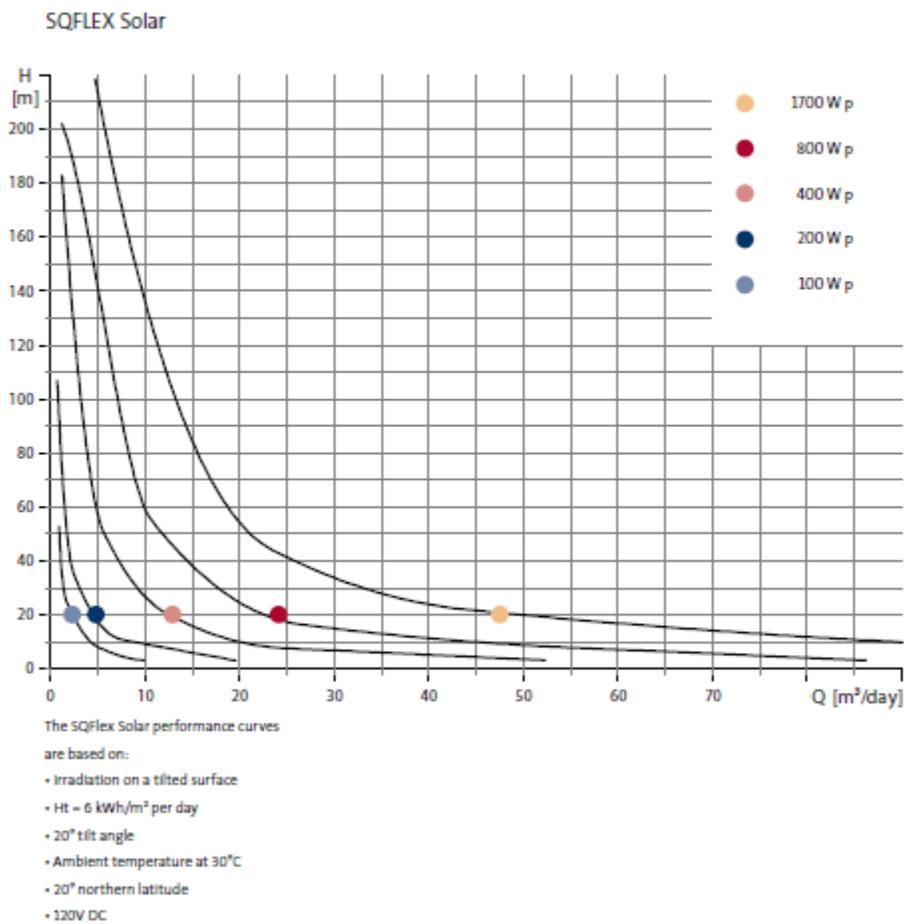
Potencia kW (HP)	Capacidad nominal de tensión en el inducido*					
	90 V	120 V	180 V	240 V	500 V	550 V
0.20 (1/4)	4.0	3.1	2.0	1.6	—	—
0.25 (1/3)	5.2	4.1	2.6	2.0	—	—
0.37 (1/2)	6.8	5.4	3.4	2.7	—	—
0.56 (3/4)	9.6	7.6	4.8	3.8	—	—
0.75 (1)	12.2	9.5	6.1	4.7	—	—
1.12 (1½)	—	13.2	8.3	6.6	—	—
1.5 (2)	—	17	10.8	8.5	—	—
2.2 (3)	—	25	16	12.2	—	—
3.75 (5)	—	40	27	20	—	—
5.6 (7½)	—	58	—	29	13.6	12.2
7.5 (10)	—	76	—	38	18	16
11.2 (15)	—	—	—	55	27	24
14.9 (20)	—	—	—	72	34	31
18.7 (25)	—	—	—	89	43	38
22.4 (30)	—	—	—	106	51	46
29.9 (40)	—	—	—	140	67	61
37.5 (50)	—	—	—	173	83	75
44.8 (60)	—	—	—	206	99	90
56 (75)	—	—	—	255	123	111
75 (100)	—	—	—	341	164	148
93.3 (125)	—	—	—	425	205	185
112 (150)	—	—	—	506	246	222
150 (200)	—	—	—	675	330	294

* Estos valores son promedios para corriente continua.

Fuente: (Código Eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la Vida y la Propiedad, 2008).

Anexo 10. Curvas de operación de la bomba Grundfos SQ Flex

Total performance, total range



Fuente: (GRUNDFOS, 2011).

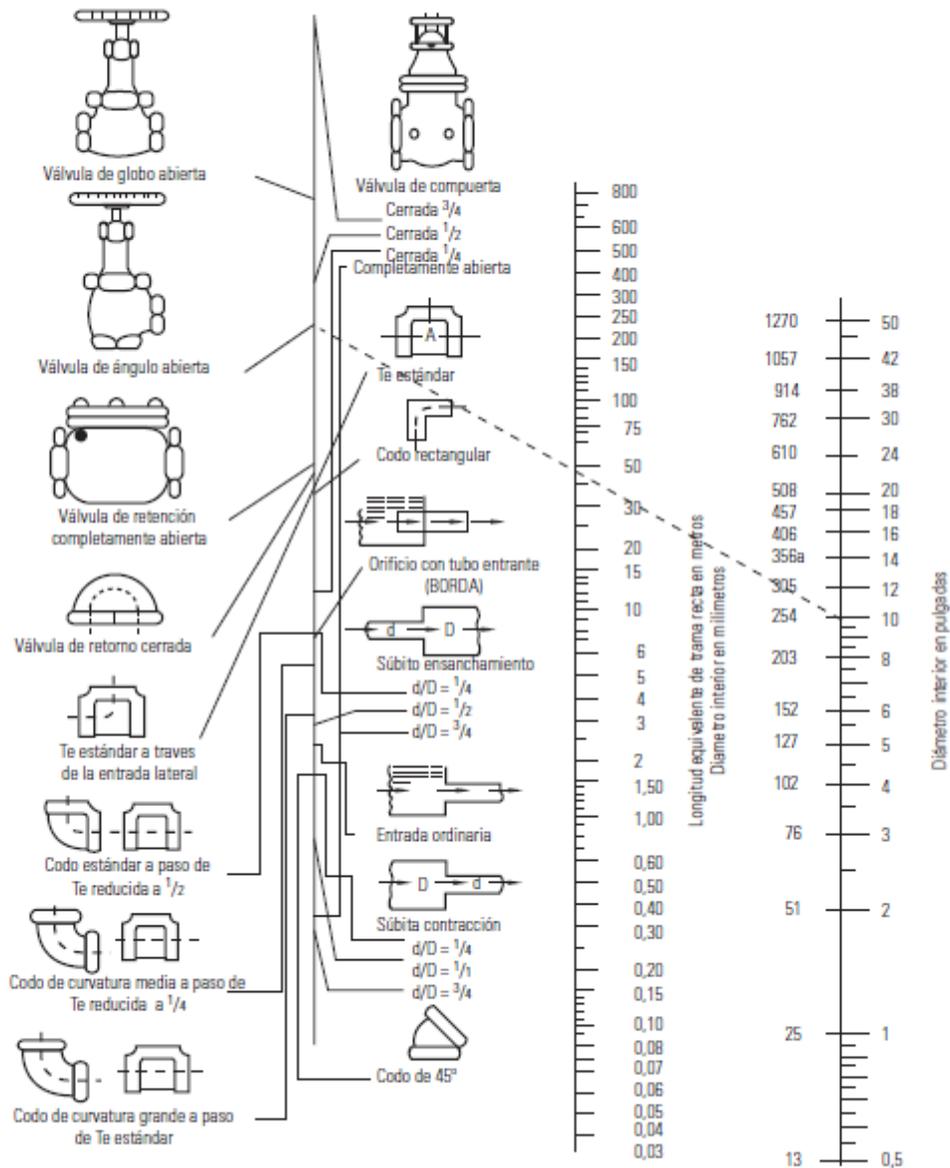
Anexo 11. Curvas de operación de la bomba Shurflo 9325-043-101 24

Model	9325-043-101					
Description	24VDC Submersible Pump for potable water wells 1/2" Hose Barb discharge port 50 mesh SS inlet screen					
Vertical Lift (feet)	20	60	100	140	180	230
Vertical Lift (meters)	6.1	18.3	30.5	42.7	54.9	70.1
Flow (GPH)	111	105	100	93	87	79
Flow (LPH)	420	398	379	352	329	300
Solar Array (MinWatts)	58	78	99	115	135	155
Current Amps	1.7	2.3	2.9	3.5	4.0	4.6

Fuente: Elaboración propia. Información proporcionada Vía email por el distribuidor en Costa Rica.

Anexo 12. Longitud equivalente para accesorios de tubería PE

GRÁFICO 6.15 Nomograma para cálculo de longitud equivalente en accesorios de tuberías



Fuente:(Banco Interamericano de Desarrollo, 2011).

Anexo 13. Cotización de la bomba sumergible S46B7



TEL:(506)2257-4604 TEL/FAX:(506)2257-5835 APDO:1216-2100
125 MTS ESTE DEL CENTRO COMERCIAL DE GUADALUPE
GUADALUPE, SAN JOSE, COSTA RICA
CEDULA JURIDICA #3-101-142717



Guadalupe, 22 de Septiembre del 2014

Contacto: Sr. Yoxic
Empresa / Cliente:
Teléfono: 8310-8248 **Fax:**
E-mail: yoxizuga@gmail.com

Sirva este medio para hacerle llegar la proforma y las características del artículo solicitado:
PROFORMA 55035

ITEM	DESCRIPCIÓN ARTICULO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	<p>Bomba Sumergible Para Pozo Profundo Modelo: S46B7</p> <p>Construcción de su carcasa, adaptador a motor, descarga Y eje de la bomba en acero inoxidable.</p> <p>Caudal x Presión 10GPM @ 40MCA Impulsores tipo cerrado y difusores en termoplastico Potencia: 0.5Hp Voltaje: 115V – Monofásica – 60Hz Incluye: Bomba – Motor – Caja de Arranque Marca: DAB – ITALY</p>	1,00	€200.000,00	€200.000,00
	Subtotal			€200.000,00
	Precio sin LV.			€200.000,00
	Impuesto de Ventas	13%		€26.000,00
	Precio total			€226.000,00

Tiempo de entrega:
Condiciones de Pago:
Validez de la oferta:

Inmediata, salvo previa venta.
Contado o transferencia.
Esta oferta vence en 8 días

Atentamente,

21 años a su servicio

Sr. Sergio Bustos R.
Asesor de Ventas ICR
ventas4@camposrudin.com

Fuente: Campos Ruin vía email.

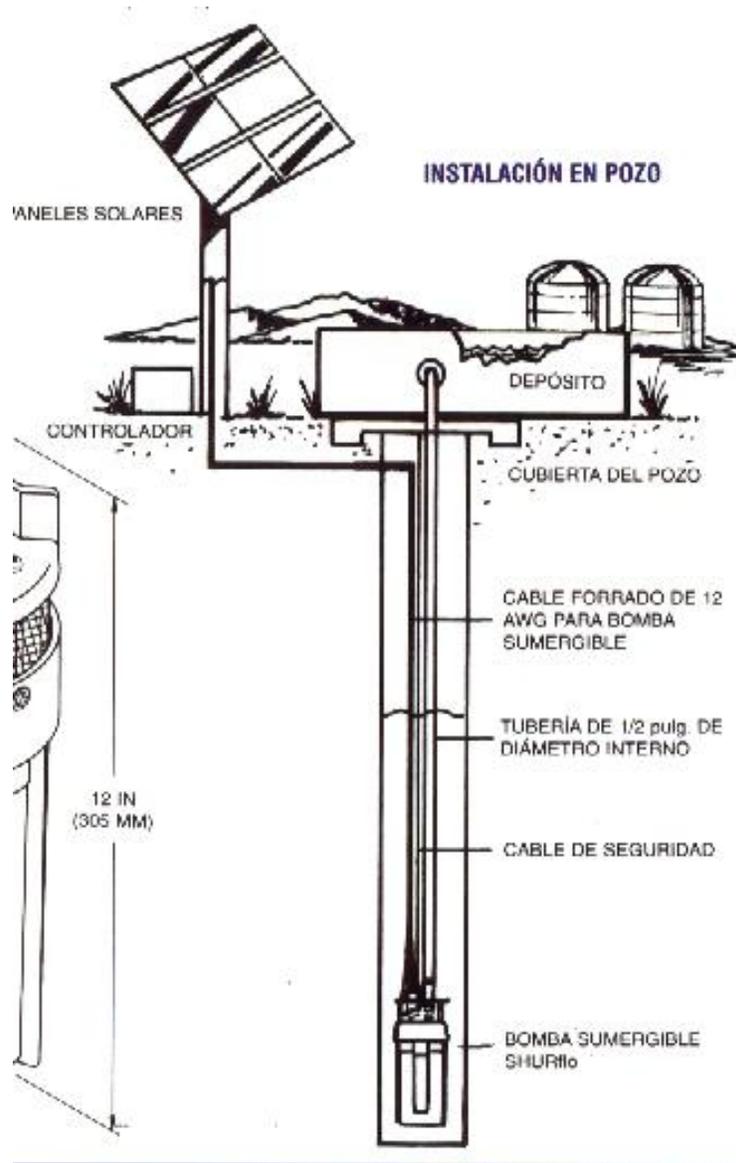
**Anexo 14. Capacidad máxima para dispositivos de protección de motores
contra cortocircuito y falla a tierra**

**Tabla 430-152 Capacidad nominal o ajuste máximos
de los dispositivos de protección para circuitos
ramales de motores contra cortocircuito y falla a
tierra**

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente de plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible con retardo de tiempo ¹ (elemento dual)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de c.a. distintos a los de rotor devanado				
De jaula de ardilla:				
Diferentes de los de diseño E	300	175	800	250
Sincrónicos ³	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De c.c. (tensión constante)	150	150	250	150

Fuente:(Código Eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la Vida y la Propiedad, 2008).

Anexo 15. Conexión de la bomba Shurflo



Fuente: (Shurflo). Tomado de (Shurflo)