



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**ESTUDIO PARA EL BOMBEO DE AGUA MEDIANTE LA
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA APLICADO AL RIEGO EN
EL SECTOR GANADERO DE ROSASPATA UBICADO EN LA
CUENCA LLALLIMAYO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JAIME RENE VILCA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Con amor respeto y admiración a mis padres: Timoteo y Gladys, por brindarme su amor, cariño, estímulo y apoyo Constante; gracias por guiar mi vida con principios y valores, cuyo resultado de su sacrificio y valentía se ve reflejado en esta realidad.

Mis hermanas; Dianeth y Tania, Por su apoyo y cariño incondicional en cada momento de mi vida, por haber compartido tan felices momentos juntos.

A mi hijo Stefano, quien es el motivo y razón para poder seguir adelante cada día, y a mi querida esposa Nélica por su incondicional apoyo en todo momento.

Jaime Rene Vilca Quispe



AGRACEDIMIENTOS

Quisiera agradecer a Dios por darme salud y vida. A mis docentes por su talento, su confianza, su paciencia y por todos los momentos vividos, de forma muy especial a mi director de tesis Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón, que me apoyo en sacar adelante esta tesis. A los jurados MC. Walter Oswaldo Paredes Pareja, M.Sc. Roberto Jaime Quiroz Sosa y M.Sc. Henry Shuta Lloclla por compartirnos sus conocimientos profesionales e impartir sus sabios consejos de mucha utilidad, a la vez son profesionales al cual admiramos.

A la escuela de ingeniería mecánica eléctrica, por acogerme y ser parte de esta gran familia, por las alegrías y tristezas que me ayudaron a mejorar personal como profesionalmente, siempre buscando la excelencia de nuestra especialidad.

Finalmente, a mis compañeros y amigos de la universidad que con su alegría y dedicación me inspiraron a ser mejor persona cada día. Gracias a todos.

Jaime Rene Vilca Quispe



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRACEDIMIENTOS

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 22

1.1.1. Problema general 22

1.1.2. Problema específico 22

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 22

1.2.1. Objetivo general..... 22

1.2.2. Objetivos específicos 22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 24

2.2. LA ENERGÍA..... 28

2.2.1. Principales fuentes de energía renovable 28

2.3. LA ENERGÍA SOLAR 29

2.3.1. El sol 30



2.3.2.	Radiación solar	31
2.3.3.	Unidades de medida de la radiación	32
2.3.4.	Irradiación solar	32
2.3.5.	Horas pico solar (PSH)	34
2.4.	SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO	35
2.4.1.	Efecto fotovoltaico.....	36
2.4.2.	Células fotovoltaicas.....	37
2.4.2.1.	Módulos de silicio monocristalino.....	38
2.4.2.2.	Módulo de silicio policristalino.....	38
2.4.2.3.	Celdas de silicio amorfo.....	38
2.4.3.	Módulo fotovoltaico	39
2.4.4.	Arreglos fotovoltaicos.....	44
2.4.4.1.	Incrementando el voltaje.....	44
2.4.4.2.	Incrementando la corriente.....	45
2.4.5.	Inclinación del arreglo fotovoltaico.....	48
2.4.5.1.	Regla de mano.....	49
2.4.6.	Almacenamiento de energía.....	50
2.4.6.1.	Baterías.....	50
2.4.6.2.	Sistemas de regulación.....	51
2.4.6.3.	Inversor.....	51
2.5.	SISTEMA MOTOR-BOMBA.....	52
2.5.1.	Motores	52
2.5.1.1.	Motores DC.....	53
2.5.1.2.	Motores AC.....	54
2.5.2.	Clasificación y descripción general de las bombas	56



2.5.2.1.	Definición de bomba.....	56
2.5.2.2.	Clasificación de las bombas.....	56
2.5.3.	Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos	57
2.5.3.1.	Bombas centrífugas.....	57
2.5.3.2.	Bombas volumétricas.....	59
2.5.3.3.	Bombas de cilindro.	60
2.5.3.4.	Bombas de diafragma.	60
2.5.4.	Selección de la bomba	61
2.5.5.	Parámetros de funcionamiento de la bomba	64
2.5.5.1.	Potencia de la bomba.	64
2.5.5.2.	Pérdidas en tuberías.	65
2.5.5.2.1.	Perdidas primarias.....	65
2.5.5.2.2.	Evaluación del factor fricción (f).....	66
2.5.5.2.3.	Perdidas secundarias.	67
2.5.5.2.4.	Número de reynolds.....	68
2.5.5.2.5.	Rugosidad relativa.	69
2.5.5.2.6.	Coefficiente de fricción.....	69
2.5.5.2.7.	Diagrama de moody.....	69
2.6.	SISTEMA DE RIEGO	71
2.6.1.	El riego.....	71
2.6.2.	Riego por aspersión	72
2.6.3.	Adaptabilidad del sistema por aspersión	72
2.6.4.	Clasificación de los sistemas de aspersión	74
2.6.4.1.	Sistemas estacionarios.	74
2.6.4.1.1.	Móviles.	74



2.6.4.1.2.Semifijos.....	75
2.6.4.1.3.Fijos.....	75
2.6.4.2. Sistemas de desplazamiento continuo.....	76
2.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	76
2.7.1. Diseño agronómico.....	76
2.7.1.1. Necesidad del agua en los cultivos.....	77
2.7.1.1.1.Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	77
2.7.1.1.2.Métodos o fórmulas empíricas.....	77
2.7.1.1.3.Método de hargreaves.....	78
2.7.1.1.4.Evapotranspiración real del cultivo (ET _c).....	78
2.7.1.1.5.Factor de cultivo (K _c).....	79
2.7.1.1.6.Precipitación efectiva (PE).....	81
2.7.1.1.7.Demanda de agua de los cultivos (DA).....	82
2.7.1.1.8.Módulo de riego (Mr).....	83
2.7.1.2. El Agua en el suelo.....	84
2.7.1.2.1.Disponibilidad de agua en el suelo.....	84
2.7.1.3. Profundidad de raíces (z).....	85
2.7.1.4. Lamina neta de riego (L _n).....	86
2.7.1.5. Lamina bruta (L _b).....	86
2.7.1.6. La infiltración en el suelo.....	86
2.7.1.7. Características de funcionamiento del aspersor.....	87
2.7.1.7.1.Marco de riego.....	87
2.7.1.7.2.Caudal máximo de cada aspersor.....	87
2.7.1.7.3.Espaciamiento entre aspersores.....	88
2.7.1.8. Parámetros de riego.....	89



2.7.1.8.1.Frecuencia de riego (Fr).....	90
2.7.1.8.2.Dosis real (Dr).	90
2.7.1.8.3.Tiempo de riego (Tr).....	90
2.7.1.8.4.Turno (T).....	91
2.7.1.8.5.Postura.	91
2.7.1.9. Caudal del sistema.	91
2.7.1.9.1.Caudal del sistema (Qs).	92
2.7.2. Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.....	92
2.7.2.1. Teorema de bernoulli	92
2.7.2.2. Pérdida de carga (ht).	93
2.7.2.3. Pérdida de carga por rozamiento.	94
2.7.2.3.1.Pérdida de carga por fricción en una tubería simple.....	94
2.7.2.3.2.Pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples..	95
2.7.2.4. Criterio para el dimensionamiento de un ramal porta aspersor y la tubería secundaria.	98
2.7.2.5. Cálculo de un ramal porta aspersor.....	99
2.8. RECURSOS NATURALES APROVECHABLES.....	103
2.8.1. Recursos hídricos	103
2.8.2. Recurso solar.....	104

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO.....	107
3.1.1. Ubicación	107
3.1.2. Accesibilidad	108
3.1.3. Clima.....	109



3.1.4.	Suelo	109
3.2.	CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL TERRENO Y LA FUENTE DE AGUA 110	
3.2.1.	Características del terreno.....	110
3.2.2.	Fuente de agua	110
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS.	110
3.4.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	111
3.5.	HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	112
3.6.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	112
3.7.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	112
3.8.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	113
3.9.	PROCEDIMIENTO.....	113
3.9.1.	Recopilación de la información	114
3.9.2.	Trabajo de campo.....	114
3.9.3.	Trabajo de gabinete.....	114
3.9.4.	Diseño agronómico	115
3.9.4.1.	Evapotranspiración potencial (ETp).	115
3.9.4.2.	Evapotranspiración real o actual (ETc).	117
3.9.4.3.	Determinación de la precipitación efectiva (ETp).....	117
3.9.4.4.	Necesidad de agua de los cultivos (DA).....	117
3.9.4.5.	Demanda del proyecto (Dp).....	117
3.9.4.6.	Módulo de riego.....	118
3.9.4.7.	Determinación de lámina de riego.....	118
3.9.4.8.	Infiltración en los suelos.....	120
3.9.4.9.	Elección del marco de riego y tipo de aspersor.	121



3.9.4.10. Número y disposiciones de alas.....	122
3.9.5. Diseño hidráulico	123
3.9.5.1. Dimensionamiento del ala de riego.	123
3.9.5.2. Dimensionamiento de la tubería de alimentación.....	125
3.9.5.3. Presion en el origen (B) de la tuberia general.....	125
3.9.5.4. Cálculo de pérdidas en la sección 1.....	126
3.9.6. Selección de la bomba solar.....	129
3.9.7. Dimensionamiento y elección de la bomba a instalar.....	129
3.9.7.1. Calculo de la bomba	130
3.9.8. Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico	130
3.10. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	134
3.10.1. Costos de producción en la zona.....	135
3.10.1.1. Costo de siembra y cosecha en la zona.....	135
3.10.1.2. Precio de venta de productos agrícolas en la zona.....	136
3.10.2. Análisis financiero	137

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	141
4.1.1. Diseño agronómico	141
4.1.1.1. Necesidad de agua de los cultivos y la demanda del proyecto.	141
4.1.1.2. El agua en el suelo.	141
4.1.1.3. Infiltración en el suelo.	142
4.1.1.4. Marco de riego y tipo de aspersor.....	142
4.1.1.5. Parámetros de riego.	143
4.1.1.6. Caudal del sistema	143



4.1.2.	Diseño hidráulico	144
4.1.3.	Energía solar fotovoltaica	145
4.4.4.	Análisis económico	145
4.1.5.	Comparación de resultados con otras investigaciones.....	145
4.2.	DISCUSIÓN	147
4.2.1.	Diseño agronómico	147
4.2.1.1.	Necesidad de agua en los cultivos y la demandada del proyecto.	147
4.2.1.2.	Del agua en el suelo.	147
4.2.1.3.	De la velocidad de infiltración básica.....	148
4.2.1.4.	Del marco de riego y tipo de aspersor.	148
4.2.1.5.	De los parámetros de riego.	148
4.2.2.	Diseño hidráulico	149
4.2.2.1.	De la línea de conducción.....	149
4.2.2.2.	De las tuberías secundarias y laterales de riego.....	149
4.2.3.	Energía solar fotovoltaica	149
4.2.4.	Análisis económico	149
V.	CONCLUSIONES	150
VI.	RECOMENDACIONES	152
VII.	REFERENCIAS.....	153
ANEXOS.....		157

TEMA : Energía Solar Fotovoltaica.

ÁREA : Energía Renovables.

FECHA DE SUSTENTACION 12 DE MARZO 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	El sol.....	31
Figura 2:	Radiación solar que llega a la tierra.	32
Figura 3:	Irradiación global.....	34
Figura 4:	Distribución de la irradiancia solar (W/m) a lo largo del día (PSH).	35
Figura 5:	Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico.....	36
Figura 6:	Efecto fotovoltaico.	37
Figura 7:	Curva I vs V y P vs V para un módulo fotovoltaico típico a 1,000 W/m ² y 25°C.....	41
Figura 8:	Dependencia de la corriente producida en función del voltaje intensidades de radiación (temperatura constante de 25°C).....	43
Figura 9:	Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (irradiancia constante 1,000W/m ²).	44
Figura 10:	Analogía de una conexión en serie entre un sistema eléctrico y un hidráulico.	45
Figura 11:	Analogía de una conexión en paralelo entre un sistema eléctrico y un hidráulico.....	46
Figura 12:	La conexión de módulos fotovoltaicos.....	47
Figura 13:	Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar lo largo del año.....	48
Figura 14:	Esquema general de una instalación autónoma con inversor.	52
Figura 15:	Clasificación de las bombas.	57
Figura 16:	Bomba centrífuga superficial.....	58
Figura 17:	Esquema de una bomba centrífuga superficial.	58
Figura 18:	Esquema de una bomba centrífuga sumergible.	59



Figura 19: Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.....	60
Figura 20: Diagrama de selección preliminar de bomba solar.....	62
Figura 21: Esquema de potencias de una bomba hidráulica.	65
Figura 22: Diagrama de Moody.	70
Figura 23: Curva generalizada del coeficiente del cultivo K_c	81
Figura 24: Energías de posición, presión y velocidad.....	93
Figura 25: Tuberías con salidas múltiples.....	98
Figura 26: Ramal horizontal.	100
Figura 27: Ramal ascendente.	101
Figura 28: Ramal descendente ($h > h_g$).	101
Figura 29: Ramal descendente ($h < h_g$).	102
Figura 30: Recurso hidráulico disponible en la zona.	104
Figura 31: Radiación solar según el atlas de energía solar del Perú.	105
Figura 32: Promedio mensual de horas y decimas de sol.	105
Figura 33: Parámetros de radiación solar según base de datos de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).....	106
Figura 34: Comparación de datos de radiación solar.	106
Figura 35: Ubicación sector Rosaspata cuenca Llallimayo	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Fuentes de energía renovables.	29
Tabla 2:	Datos del sol.....	31
Tabla 3:	Resumen de la tecnología fotovoltaica.	39
Tabla 4:	Placa del fabricante de un módulo solares VLX-53.	42
Tabla 5:	Características de los principales tipos de baterías.	51
Tabla 6:	Principales características de las bombas fotovoltaicas.....	62
Tabla 7:	Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales.	71
Tabla 8:	Porcentaje de reducción para determinar el espaciamiento entre aspersores.	88
Tabla 9:	Coefficiente de Hazen William.	95
Tabla 10:	Valores de β según tipo de tubería.	97
Tabla 11:	Ecuaciones para el cálculo de un ramal porta aspersor para diámetro único en toda la conducción.	103
Tabla 12:	Vías de comunicación al distrito de Llalli.	109
Tabla 13:	Descripción del perfil del suelo de la zona.	109
Tabla 14:	Datos de meteorología brindados por la estación meteorológica Chuquibambilla.....	115
Tabla 15:	Factor mensual de latitud.	116
Tabla 16:	Velocidad de Infiltración Básica en los suelos según su textura.	120
Tabla 17:	Propiedades físicas del agua.	127
Tabla 18:	Parámetros para el cálculo de la rugosidad relativa.....	127
Tabla 19:	Valores de K perdidas en accesorios.	128
Tabla 20:	Características eléctricas PANEL SOLAR 320W 24V.	133
Tabla 21:	Características mecánicas PANEL SOLAR 320W 24V.....	133



Tabla 22: Detalle de costos del sistema de riego fotovoltaico.	134
Tabla 23: Costo de siembra de productos agrícolas cultivados en la zona	136
Tabla 24: Lista de precios de productos agrícolas cultivados en la zona.....	136
Tabla 25: VAN, TIR y flujo de caja para proyecto de riego de alfalfa (ensilado) usando bomba solar.	139
Tabla 26: VAN, TIR y flujo de caja para proyecto de riego de alfalfa (materia seca) usando bomba solar.....	140
Tabla 27: Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.	142
Tabla 28: Calculo de la necesidad de agua de los cultivos (D_a) y la demanda del proyecto (D_p).	142
Tabla 29: Elección del marco de riego y el tipo de aspersor.	143
Tabla 30: Calculo de los parámetros de riego.	144
Tabla 31: Calculo del caudal del sistema.	144



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- A.A** : Agua aprovechable
- AC** : Corriente alterna
- CC** : Capacidad de campo
- DA** : Demanda de agua de los cultivos
- DC** : Corriente continua
- ETc** : Evapotranspiración Real del Cultivo
- ETo** : Evapotranspiración de referencia
- Fr** : Frecuencia de riego
- FV** : Fotovoltaico
- Hr** : Carga en las tuberías
- Icc** : Corriente de corto circuito
- INAF** : Instituto nacional de ampliación de la frontera agrícola
- Is** : Corriente de salida
- Kc** : Factor de Cultivo
- KWh/m²** : Kilowatt hora por metro cuadrado
- Lb** : Lamina bruta
- Ln** : Lamina neta de riego
- MA** : Masa de aire
- Mr** : Módulo de riego
- NASA** : National Aeronautics and Space Administration
- PE** : Precipitación efectiva
- PMP** : Punto de marchitez permanente
- PSH** : Horas pico solar
- Qs** : Caudal del sistema



SENAMHI : Servicio nacional de meteorología e hidrología

T : Turno

TIR : Tasa Interna de Retorno

Tr : Tiempo de riego

VAN : Valor Actual Neto

Vca : Voltaje de circuito abierto

Vs : Voltaje de salida

z : Profundidad de raíces



RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado “Estudio Para el Bombeo de Agua Mediante la Energía Solar Fotovoltaica Aplicado al Riego en el Sector Ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo”, presenta una solución a la problemática de falta de agua para riego en el sector Rosaspata del distrito de Cupi de la provincia de Melgar, analizando su geografía, clima, fuentes hídricas. Este estudio contempla el estudio de un sistema de riego por aspersión usando energía renovable, con aspersores móviles que abarca una superficie de trabajo de 2.49 ha, para el cultivo de alfalfa. En el diseño agronómico se determinó que el mes más crítico es octubre, siendo su evapotranspiración potencial de 3.35 mm/día, con una precipitación efectiva 8.84mm/día, la necesidad de agua del cultivo es de 95 mm, la demanda de agua del proyecto es de 126.68 mm, la lámina neta es de 66.6mm, la lámina bruta es de 88.7mm, se eligió un marco de riego de 18x18m², el aspersor seleccionado trabajará a 3.5bar para un caudal de 2.600 l/s con un radio de alcance de 15 m, se determinó que 7 aspersores estarán funcionando al mismo tiempo y que el caudal del sistema será de 5 l/s. El diseño hidráulico comprende la línea de conducción, las tuberías secundarias, los laterales de riego, presiones de riego y caudal total, se escogió la bomba de agua más apropiada disponible en el mercado. En el diseño fotovoltaico se determinó una radiación mínima de 5W.h/m²-día, se requiere un total de 18 paneles solares con una potencia de 320w las cuales trabajaran sin necesidad de baterías. El costo aproximado del proyecto de bombeo para el riego de alfalfa es de aproximadamente S/. 41,000, de los cuales se analizó que para la producción de ensilado de alfalfa el valor actual neto es de S/. 121,000 y la tasa interna de retorno es de 50%, y para la producción de paca de alfalfa el valor neto es de S/. 4,000 y la tasa interna de retorno es de 18%, los cuales nos indican la rentabilidad y factibilidad de los mismos.

Palabras claves. *Energías renovables, energía solar, panel solar, fotovoltaico, bombeo de agua.*



ABSTRACT

The present research work, entitled "Study for Water Pumping Using Photovoltaic Solar Energy Applied to Irrigation in the Rosaspata Livestock Sector located in the Llallimayo basin", presents a solution to the problem of lack of water for irrigation in the Rosaspata sector of the Cupi district of the province of Melgar, analyzing its geography, climate and water sources. This study contemplates the study of a sprinkler irrigation system using renewable energy, with mobile sprinklers covering a working area of 2.49 ha, for the cultivation of alfalfa. In the agronomic design it was determined that the most critical month is October, with a potential evapotranspiration of 3.35 mm/day, with an effective precipitation of 8.84 mm/day, the water requirement of the crop is 95 mm, the water demand of the project is 126.68 mm, the net rainfall is 66.6 mm, and the gross rainfall is 66.6 mm. 6mm, the gross lamina is 88.7mm, an irrigation frame of 18x18m² was chosen, the selected sprinkler will work at 3.5bar for a flow rate of 2,600 l/s with a radius of reach of 15 m, it was determined that 7 sprinklers will be operating at the same time and that the system flow rate will be 5 l/s. The hydraulic design includes the pipeline, secondary piping, irrigation laterals, irrigation pressures and total flow, and the most appropriate water pump available on the market was chosen. In the photovoltaic design, a minimum radiation of 5W.h/m²-day was determined, a total of 18 solar panels with a power of 320W were required, which will work without the need of batteries. The approximate cost of the pumping project for alfalfa irrigation is approximately S/. 41,000, of which it was analyzed that for the production of alfalfa silage the net present value is S/. 121,000 and the internal rate of return is 50%, and for the production of alfalfa bales the net value is S/. 4,000 and the internal rate of return is 18%, which indicate the profitability and feasibility of the same.

Key words. *Renewable energy, solar energy, solar panel, photovoltaic, water pumping.*



CAPITULO I

INTRODUCCION

En la actualidad, el uso de energías renovables es una opción que cada día tiene más aceptación en el mercado nacional y mundial, existen de varios tipos: geotérmica, eólica, solar, etc. Sin embargo, hay una que ha capturado la atención como lo es la energía fotovoltaica, la cual, como el resto de las energías renovables, consiste en convertir directamente la radiación solar en electricidad.

Esta es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable. Actualmente, la energía fotovoltaica ya es competitiva para electrificar emplazamientos en zonas relativamente alejadas del Interconectado Central, como viviendas rurales, señalizaciones, alumbrado público, equipo de energía, bombeo de agua, etc.

A través de los años se han realizado estudios relacionados con la energía solar fotovoltaica, concitando gran interés por tratarse del aprovechamiento de energías renovables, lo que significa avances importantes en esta área. En concreto, el actual mercado fotovoltaico crece de forma contundente y lo más importante, respaldado por el interés gubernamental a nivel mundial.

Frente a esta situación, el estado mediante el apoyo de Universidades y Organizaciones Internacionales, vienen desarrollando e implementando proyectos de riego usando energías renovables, para esto se analizan los diferentes tipos de energía que se pueden usar para cada situación y lugar específico. Estos proyectos son muy importantes para mejorar la calidad de vida de la población rural en los ámbitos de energía, agua y agricultura; contribuyendo al desarrollo sostenible del sector rural de nuestra región.

Por lo expuesto antes, en la presente tesis se realizó un estudio de bombeo de agua aprovechando la energía solar fotovoltaica, en la localidad del sector de Rosaspata del



distrito de Cupi, provincia de Melgar, departamento de Puno, aprovechando la existencia de un pozo, de modo que satisfaga la necesidad del proyecto.

El presente proyecto de investigación se estructura de la siguiente manera:

En el capítulo I, en este capítulo se menciona básicamente los contenidos principales, planteamiento del problema, justificación del problema, y los objetivos de estudio.

En el capítulo II, este capítulo contiene los antecedentes de investigación que se realizaron respecto a la presente tesis, se describe clara y precisa el marco conceptual, términos básicos que corresponden a la revisión de literatura referente a energía solar, energía hidráulica del sistema de bombeo.

En el capítulo III, se describe los materiales que se utilizaron en la elaboración de este proyecto y el diseño metodológico de investigación, hipótesis del trabajo, justificación del proyecto, población y muestra, ubicación de la zona de estudio y los fundamentos de diseño para el sistema propuesto en este proyecto.

En el capítulo IV, se desarrolló el análisis e interpretación de resultados que se logró obtener durante el estudio de este proyecto de tesis.

En el capítulo V, se presentaron las conclusiones del presente trabajo de investigación.

En el capítulo VI, se presentaron las recomendaciones del presente trabajo de investigación.

En el capítulo VII, se presentaron las referencias bibliográficas se espera que se tenga en cuenta las futuras investigaciones relacionados al tema.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Problema general

¿Será posible realizar un estudio para el bombeo de agua, usando la energía solar fotovoltaica, aplicada al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo?

1.1.2. Problema específico

- ¿Se podrá proponer un sistema de riego apropiado, acorde a las características del sector de Rosaspata del distrito de Cupu?
- ¿Será posible desarrollar el diseño agronómico e hidráulico, para el riego por aspersión de un cultivo en específico?
- ¿Se podrá determinar el requerimiento de generación de energía, para que el sistema funcione y la cantidad de paneles necesarios para satisfacer esa necesidad?
- ¿Será posible analizar económicamente la rentabilidad y factibilidad del proyecto?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Realizar un estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica, aplicada al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Proponer un sistema de riego apropiado, acorde a las características del sector de Rosaspata del distrito de Cupu.
- Desarrollar el diseño agronómico e hidráulico, para el riego por aspersión de un cultivo en específico.



- Determinar el requerimiento de generación de energía, para que el sistema funcione y la cantidad de paneles necesarios para satisfacer la necesidad requerida.
- Analizar económicamente la rentabilidad y factibilidad del proyecto.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el proceso de revisión bibliográfica para la realización de este estudio fue necesario consultar varias tesis de grado que hicieran referencia al tema: bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica, las cuales sirven de apoyo en cuanto a la metodología y técnicas aplicadas. A continuación, se presentan los siguientes antecedentes:

Ortiz (2016). Diseño de sistema de regadío en zona rural con energía solar fotovoltaica. El presente proyecto se realizó con la finalidad de diseñar un sistema de riego apropiado, utilizando energía fotovoltaica, para una parcela ubicada en el sector de Cambrales, Yumbel, octava región, destinada a la producción de tomates.

Analizando la situación actual del predio, se evidencia que el método de riego utilizado hasta la fecha es poco eficiente, ya que, existen pérdidas innecesarias de agua y baja producción. Sumado a esto, se observó también que la fuente de energía utilizada actualmente para impulsar el agua, resulta inestable y no asegura un suministro continuo que satisfaga las necesidades del predio.

Por lo que se opta por cambiar el sistema a riego por goteo y se decide aumentar la superficie cultivada. Una vez definido, se determina subdividir el predio en 5 sectores los cuales serán regados en forma consecutiva.

Con lo anterior se determina la necesidad de agua y las presiones necesarias para que el sistema funcione adecuadamente. Una vez determinadas las presiones, caudales y optado por riego directo, se escoge la bomba más apropiada, disponible en el mercado, y se calcula el requerimiento de energía, traducido a paneles solares, para que el sistema funcione.



Una vez determinado el sistema de impulsión, se realiza la evaluación económica del proyecto concluyendo que, bajo el precio promedio de venta en el mercado y sólo variando, en los distintos escenarios, la producción, el proyecto resulta rentable y la inversión se recupera dentro del periodo de proyección de 10 años.

Auccacusi (2014). Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura - Cusco usando fuentes renovables de energía. La presente investigación esta desempeñada en mejorar la calidad de vida de la población rural presentando una solución a la problemática de falta de agua para riego en una zona específica del Perú, analizando su geografía, clima, fuentes hídricas y racionalidad de la población. En esta investigación se realizó el análisis económico con el fin de hallar la rentabilidad del proyecto, por lo expuesto antes, según el análisis económico, los requerimientos de caudal y presión para el sistema de riego se seleccionó la bomba solar como el equipo óptimo de bombeo para la zona de estudio, además se determinó que el producto en generar mayor utilidad es la cebolla.

Sosa (2017). Diseño del sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad para la comunidad Quenafajja del distrito de acora provincia de Puno. En donde explica el problema de la necesidad de agua potable para consumo humano en la comunidad Quenafajja, con las nuevas tecnologías se diseñó un sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad, este trabajo de investigación de ciencia aplicada permite el bombeo de agua mediante paneles solares, bombas sumergibles, variadores, etc. A un reservorio, en base a esto se elaboró cálculos de diseño, finalmente concluyendo los pobladores de la zona tendrán una mejor calidad de vida consumiendo agua potable.

Rondan (2016). Diseño de un sistema de riego para el cultivo de alfalfa en la localidad de Cotaparaco, provincia de Recuay, región Ancash. El presente trabajo, se



desarrolló en la Cordillera Negra, en el distrito de Cotaparaco, Provincia de Recuay, localizado a 49 km del puente de Cátaç, en el predio Uncay de la comunidad campesina San Pablo de Cotaparaco, este estudio contempla el diseño de un sistema de riego por aspersión del tipo fijo con aspersores móviles que abarca una superficie de trabajo de 3.65 ha, para el cultivo de alfalfa.

En el diseño agronómico se determinó que el mes más crítico es setiembre, siendo su evapotranspiración potencial de 2.82 mm/día, no existe precipitación efectiva, la necesidad de agua del cultivo es de 76.20 mm, la demanda de agua del proyecto es de 101.60 mm, la lámina neta es de 60 mm, la lámina bruta es de 80mm, se eligió un marco de riego de 15 x 15 m², el aspersor seleccionado trabajará a 4.21 atmósferas para un caudal de 2.630 l/s con un radio de alcance de 13.16 m, se determinó que 6 aspersores estarán funcionando al mismo tiempo y que el caudal del sistema será de 2.10 l/s. El diseño hidráulico comprende la línea de conducción, las tuberías secundarias, los laterales de riego y obras civiles (un partididor, un desarenador, un filtro de arena, una cámara de carga, 22 hidrantes de riego y 132 bocas de riego).

Andrade & Quispe (2016). “Diseño y Selección de un Sistema Eólico Solar Para la Generación de Energía Eléctrica que Mejore el Sistema de Bombeo de Agua con Fines de Riego en el Centro Poblado de chinumani- Yunguyo, 2016”, el presenta trabajo consiste en realizar un diseño y seleccionar los componentes de un sistema eólico solar para la generación de energía eléctrica que satisfaga la demanda que requiere un sistema de bombeo con fines de riego en el centro poblado de Chinumani del distrito de Yunguyo, con lo cual estudiaremos el diseño y su funcionamiento del sistema eólico solar conformado por cuatro generadores fotovoltaicos y un generador eólico para alimentar la demanda de carga hecha por el equipo de bombeo de agua, el cual suplirá las actividades de riego manuales que se realizan actualmente por riego por surcos, mediante conducción



de agua por tuberías en beneficio de 10 familias del centro poblado de Chinumani. La investigación que se llevó a cabo es una investigación teórica y práctica, donde se estudió primero todos los elementos que conforman el sistema propuesto para realizar los diseños que integran cada una de la partes como un sistema eólico solar para generación de energía eléctrica, un sistema hidráulico para el bombeo de agua, un sistema de riego para determinar el diseño agronómico con el cual pretendemos mejorar y finalmente comprobaremos todos estos resultados con softwares computacionales como el Homer 2 entre otros con el fin de garantizar su funcionamiento y aplicación en la agricultura para el centro poblado de Chinumani del distrito de Yunguyo. Para ello se analizó también la factibilidad económica del sistema eólico solar propuesto, en relación con un sistema convencional para bombeo de agua con fines de riego con el fin de garantizar su funcionamiento operacional del sistema.

Jara & Ramos (2018). “Diseño y Construcción de un Prototipo Automatizado de un Sistema de Bombeo de Agua Para Riego, Pecuario y Consumo Humano Utilizando Energía Fotovoltaica”, El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo diseñar y evaluar la viabilidad del prototipo automatizado de bombeo de agua para el uso de riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica, considerando el problema de la deficiente aplicación de sistemas fotovoltaicos en riego automatizado en las zonas alto andinas. Para el estudio se consideró el centro poblado de Ichu, donde se planteó hacer el prototipo automatizado con paneles fotovoltaicos y realizar el diseño adecuado Con la metodología de cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de cebolla de 4.56 mm/día con un área de cultivo de 200 m² y un sistema de riego localizado con eficiencia del 90 % y un caudal de 0.46 lts/seg, tiempo de riego de 1.14 h/día, con tubería principal de 29.4 mm y 12 laterales de 17.4 mm, El cálculo de paneles se realizó con datos de heliógrafo mensuales de 5.76 horas-pico/día, con un régimen de bombeo de 3.23



lt/min. y paneles cristalinos SIEMEN de 12 V y 4.83A, según el cálculo se requiere 04 paneles de 231.84watts. El sistema automatizado funciona con el micro controlador Arduino UNO, con una programación lógica C/C++, que operara el sistema. Teniendo los resultados de la evaluación económica de costos de inversión inicial, reposición, salvamentos, electricidad etc. Para una vida útil de 20 años. El costo del sistema de riego fotovoltaico es de S/5,787.70 soles y el sistema convencional a electricidad es de S/11,247.16 soles considerablemente mayor a sistema fotovoltaico. Concluyendo que el prototipo fotovoltaico es viable a nivel de costos y a nivel de uso de energía limpia de sol que es al 100% automatizado dando su utilidad como un aspecto positivo para una familia rural.

2.2. LA ENERGÍA

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc.

El sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, etc. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. (Canarias, 2008).

2.2.1. Principales fuentes de energía renovable

La fuente básica y principal de energía se halla en el sol, que nos proporciona luz y calor. Otras fuentes de energía se encuentran sobre la Tierra y su atmósfera. El control de las fuentes de energía ha sido una constante de todas las generaciones que nos han precedido, y especialmente de la presente.

En la actualidad, el petróleo es la principal fuente de energía. Los países que lo poseen ejercen presión sobre los que no lo tienen, y en muchos casos los precios y el suministro están expuestos a los vaivenes de los regímenes que lo producen y controlan, ya que es un medio de presión para conseguir sus objetivos (Roldán, 2008).

Tabla 1: Fuentes de energía renovables.

TIPO DE ENERGÍA	PROCEDENCIA
Energía eólica	El viento
Energía geotérmica	El calor del interior de la Tierra
Energía hidráulica	El agua
Energía mareomotriz	El mar
Energía fotovoltaica	Sol
Energía solar térmica	Sol
Energía Biomasa	Materias agrícolas diversas

Fuente: Roldán, J. (2008). Fuentes de Energía. (p.6). Madrid España

2.3. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m² día en la costa y selva y de 5-6kWh/m² día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La



fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo. (Perú económico, 2006, p.10-11).

2.3.1. El sol

El sol forma parte del conjunto de aproximadamente 200 000 millones de estrellas de la vía láctea, pero para nosotros es la más importante, pues constituye el principal aporte de energía para nuestro planeta. Su edad se estima entre unos 4 500 a 5 000 millones de años. Su masa se constituye en un 74 % de hidrogeno y 25 % de helio, otros elementos químicos como el oxígeno y carbono entre otros, son aproximadamente el 1 %. Gira sobre sí mismo con una inclinación de 7 grados con respecto a la elíptica, se le asigna un ecuador, meridianos y paralelos para poder ubicar las marcas superficiales que llega a tener en un momento dado.

Está formado por materia gaseosa intensamente caliente, con un diámetro de 1.39×10^9 m y 1.99×10^{30} kg. De masa, se encuentra a una distancia promedio de 1.5×10^{11} m de la tierra. Está constituido por hidrógeno (74%), helio (25%) y otros elementos (1%) tales como hierro, silicio, neón y carbono. (Vázquez, A. 2014, p. 15).

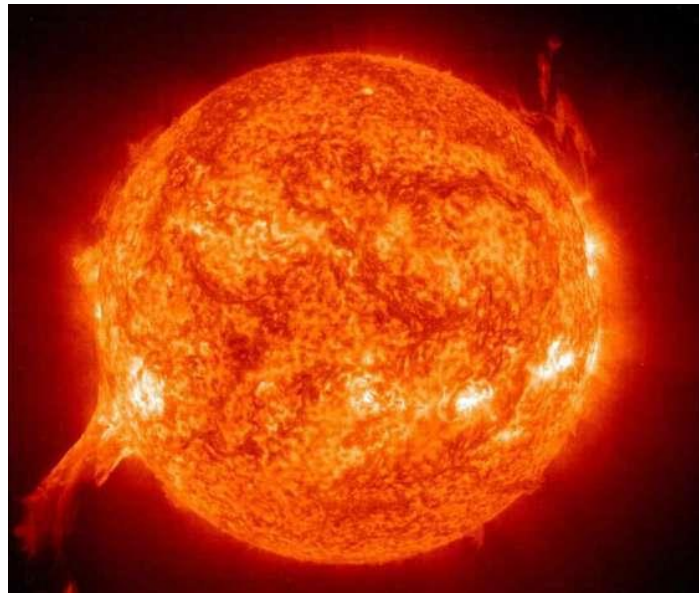


Figura 1: El sol.

Fuente: Vázquez, A. (2014, p. 15).

Tabla 2: Datos del sol.

Distancia a la tierra	149 598 000 km (1 u.a.)
Tiempo que toma la luz a la tierra	8.3 min
Radio	696 000 km (109 veces la tierra)
Temperatura superficial	5777 K
Tipo espectral	G2
Velocidad orbital	220 km/seg

Fuente: Vázquez, A. (2014, p. 15).

2.3.2. Radiación solar

La radiación en el sol es de 63 450 720 W/m² y la constante solar representa la energía media que llega a la capa más o es el que precisamente llega a la superficie del suelo, debido a que hay un sin número de factores que afectan la captación del 100 % de la energía radiante que proviene del sol

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el externa de la atmósfera terrestre y cuyo valor es igual a 1353 W/m². Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial. (Arhuire, I. y Hanco L. 2020).

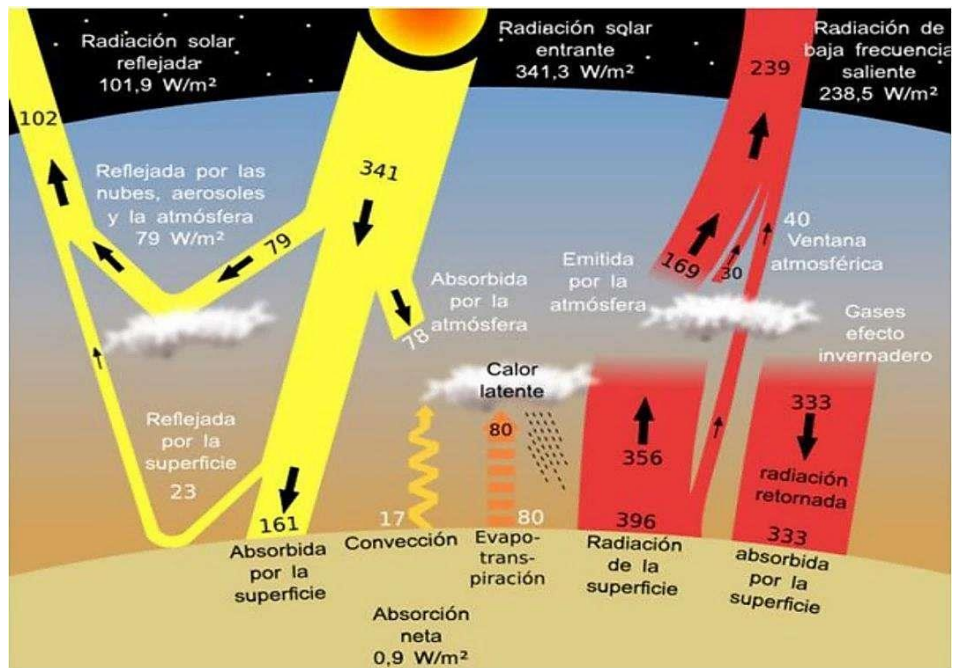


Figura 2: Radiación solar que llega a la tierra.

Fuente: (Méndez, J. & Cuervo, I. 2011). Energía solar térmica. (pp. 63-91).

2.3.3. Unidades de medida de la radiación

Para determinar el valor de la radiación total de un determinado lugar, se usa diferentes unidades. La unidad de medida para aplicaciones fotovoltaicas, es el Kilowatt hora por metro cuadrado (KWh/m^2); es necesario saber que ésta es una unidad de energía y no de potencia. También algunos técnicos, utilizan como unidad el mega Joule por metro cuadrado (MJ/m^2) o unidades de calor como calorías por metro cuadrado (Cal/m^2). Gonzales, H. (2012).

2.3.4. Irradiación solar

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

Se tiene conocimiento que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire (MA) 1. A medida que la luz solar la atraviesa,



ésta sufre procesos como los anteriormente nombrados, pero que vale la pena recordar como son: absorción, reflexión y refracción, y lo que, en consecuencia, hace que la irradiación disminuya su valor respecto de afuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la irradiación máxima que un captador podría recibir es de 1,000 W/m² como un valor promedio normalizado. Para un día despejado, la componente recibida mayormente en el captador es la directa, mientras que en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes (Abella, 2005).

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

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

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

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



Figura 3: Irradiación global.

Fuente: Atlas solar, (2016).

2.3.5. Horas pico solar (PSH)

Para poder diseñar un sistema fotovoltaico, debemos saber con cuánta energía solar contamos en el lugar donde lo vamos a instalar.

En la mayor parte de los lugares del mundo se conoce cuánta energía solar promedio está disponible. Este promedio se mide en horas pico solar o PSH. Una hora perfecta de sol representa una hora de sol luminoso, sin nubes; por lo tanto, si una región tiene un PSH de 6, significa que se puede contar con un promedio de 6 horas de sol radiante, sin nubes, por día. Una hora perfecta de sol equivale a una radiación de 1000 W/m² durante una hora. El PSH se obtiene sumando toda la energía recibida en el día y dividiendo esta

suma por 1000 W/m^2 . La curva de la figura 11, indica la cantidad de energía que se puede generar a través del día (Keane, 2014).

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en kW h/m^2 es numéricamente similar a las PSH. Este concepto es importante, ya que nos ayuda a estimar la potencia producida por los módulos fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico del sol.

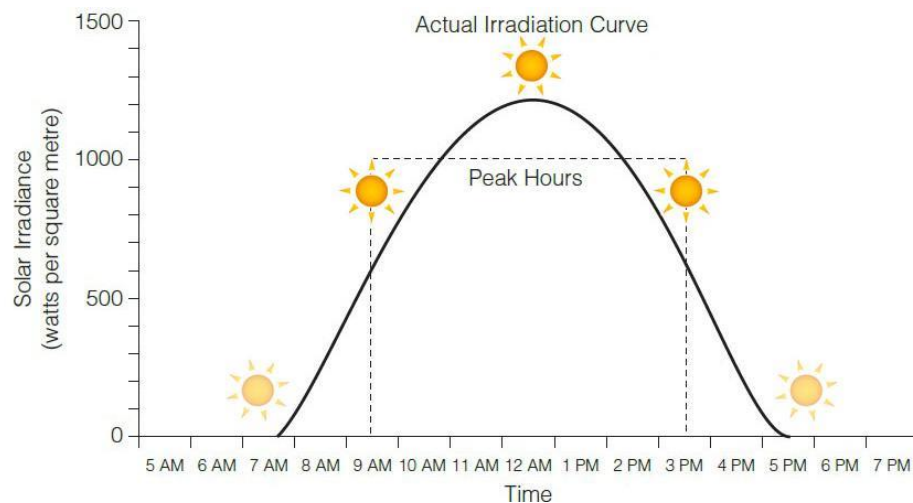


Figura 4: Distribución de la irradiancia solar (W/m) a lo largo del día (PSH).

Fuente: Hawkins, (2010).

2.4. SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío figura 2. A pesar de que se instalan bombas

de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. (Alonso, M. & Chenlo, F. 2014).

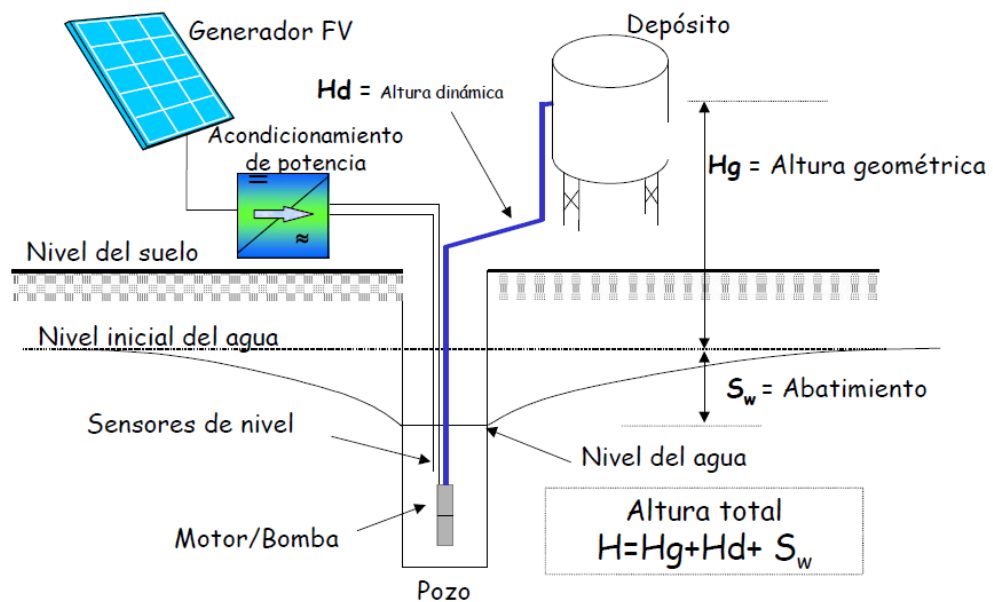


Figura 5: Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico.

Fuente: Alonso, M. & Chenlo, F. (2014).

2.4.1. Efecto fotovoltaico

Comúnmente se considera que el efecto fotoeléctrico, es la emisión de electrones de una superficie metálica cuando ésta es iluminada por luz describe que el efecto fotoeléctrico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. (Méndez, 2011).

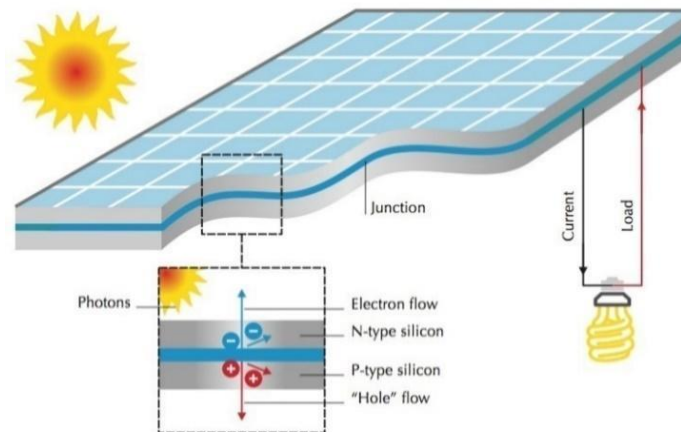


Figura 6: Efecto fotovoltaico.

Fuente: European Photovoltaic Industry Association. (2011).

2.4.2. Células fotovoltaicas

La conversión de la radiación solar en una corriente de electrones tiene lugar en la célula fotovoltaica, un dispositivo formado por una delgada placa de material semiconductor, a menudo silicio, correctamente tratada. Este tratamiento se caracteriza por varios procesos químicos, entre los que están los así llamados "dopados". Insertando en la estructura cristalina del silicio impurezas, es decir átomos de boro y fósforo, se genera un campo eléctrico y también se ponen a disposición las cargas necesarias para la formación de la corriente eléctrica. Ésta se crea cuando la célula, cuyas dos caras están conectadas a un aparato eléctrico, está expuesta a la luz.

La energía que es posible utilizar depende de las características del material que constituye la célula: la eficiencia de conversión (porcentaje de energía contenida en las radiaciones solares que es transformada en energía eléctrica disponible a los bornes) de las células de silicio disponibles en el mercado normalmente está comprendido entre el 13% y el 20%, mientras que en laboratorio se han alcanzado eficiencias de hasta 44,7%. Los módulos se juntan para componer un panel, cuyo tamaño varía según las aplicaciones específicas. (Godoy, E. 2016, p. 16-17).



2.4.2.1. Módulos de silicio monocristalino.

Estas células se componen de secciones de silicio puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro a una temperatura de 1500°C. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla cristal germen de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos produciendo líquido, que queda orientado siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene un mono cristal que posteriormente se corta en obleas. Son reconocibles por su forma circular o rectangular. Este tipo de célula, de entre las existentes en el mercado, es la más eficiente, con aproximadamente 15% al 20% de eficiencia, es decir, es la fracción de energía del sol que se convierte a energía eléctrica. (Godoy, E. 2016, p. 17).

2.4.2.2. Módulo de silicio policristalino.

Estas células están hechas de silicio fundido que posteriormente se solidifica y se cristaliza en lingotes. Los tamaños de los cristales están determinados en su mayor parte por la tasa a la cual el lingote es enfriado. Se tendrán granos más grandes si el enfriamiento es lento. Las células se obtienen cortando el lingote en finas láminas. Las células policristalinos son menos caras de producir que las monocristalinas, debido a que el proceso de manufactura es más simple y la pureza de la materia prima son menor. Sin embargo, éstas son ligeramente menos eficientes, con eficiencias promedio bordeando el 12%. (Godoy, E. 2016, p. 18).

2.4.2.3. Celdas de silicio amorfo.

Estas células están hechas de una delgada capa de sílice no cristalino puesto en una base rígida o flexible. Éstas son relativamente fáciles de fabricar y son menos caras que las células monocristalinas y policristalinos, pero sus

eficiencias solo bordean el 6%. El bajo costo hace que ellas sean la mejor opción donde la alta eficiencia y el espacio no son factores importantes. (Godoy, E. 2016, p. 18).

Tabla 3: Resumen de la tecnología fotovoltaica.

TIPO DE CELDA	EFICIENCIA %	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Silicio mono cristalino	12 a 14	Tecnología bien desarrollada y probada	Emplea material caro
		Estable	
Silicio Policristalino	11 a 13	Mayor eficiencia	Mucho desperdicio (casi la mitad)
		Se fabrica en celdas solares cuadradas	Manufactura costosa
		Tecnología bien desarrollada y probada	Material costoso
Silicio amorfo o película delgada	4 a 8	Estable	Mucho desperdicio
		Buena eficiencia	Manufactura costosa
		Celdas cuadradas	Menor eficiencia que el mono cristal
		Menos costoso que el mono	Degradación pronunciada
		Cristal	Menor eficiencia
		Utiliza muy poco material	Menor durabilidad
		Alto potencial y producción	
Rápida			
Costo bajo, 50% de silicio			
Cristalino			
Menor afectado por bajos niveles de insolación			

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

2.4.3. Módulo fotovoltaico

El bajo voltaje producido por la celda solar no es suficiente para todas las aplicaciones en donde se pueda usar. Para que se pueda generar una potencia útil, las celdas se agrupan en lo que se denomina el módulo solar fotovoltaico. Este conjunto de celdas debe estar convenientemente conectadas, de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con



las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado. Las celdas se pueden conectar en serie o en paralelo. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.16)

Comercialmente, las celdas solares se conectan en serie, se agrupan, se enlaminan y se empaquetan entre hojas de plástico y vidrio, formando la unidad del módulo solar. El módulo tiene un marco (usualmente de aluminio) que le da rigidez y facilidad en el manejo y transportación. Además, en éste se encuentran las cajas de conexiones eléctricas para conectar el cableado exterior. El número de celdas que contienen los módulos depende de la aplicación para la que se necesite. Es costumbre configurar el número de celdas conectadas en serie para tener módulos que sirvan para cargar acumuladores o baterías de 12 voltios. Se pueden encontrar módulos de 30, 33 y 36 celdas conectadas en serie disponibles comercialmente. Estos módulos proporcionan un voltaje de salida que sirve para cargar baterías a 12 voltios más un voltaje extra que sirve para compensar las caídas de tensión en los circuitos eléctricos, así como en los sistemas de control y manejo de energía. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.16)

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (curva I vs V) o potencia contra voltaje (curva P vs. V) que los caracteriza. La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva I vs. V . La figura 7 muestran curvas I vs. V y P vs. V para un módulo fotovoltaico típico. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.16)

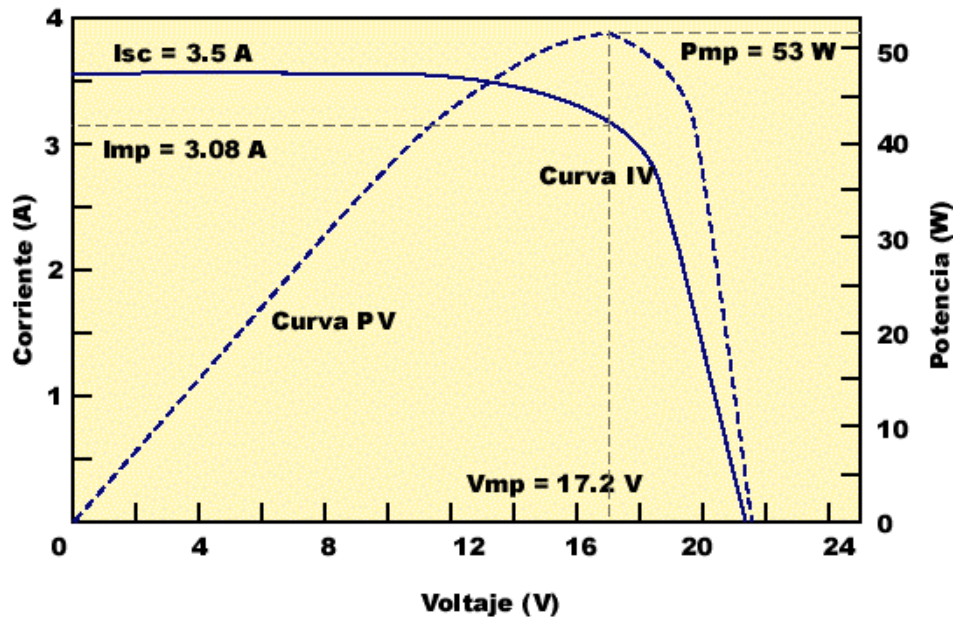


Figura 7: Curva I vs V y P vs V para un módulo fotovoltaico típico a 1,000 W/m² y 25°C.

Nota: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.17)

En la curva de potencia contra voltaje, existe un valor de voltaje, el V_p para el cual la potencia es máxima. La potencia máxima del módulo se le simboliza por P_p y representa la capacidad nominal de generación o potencia pico del módulo, y con su valor se evalúa la eficiencia de conversión del módulo.

La potencia pico queda definida por una pareja de valores de corriente y voltaje, I_p y V_p , los que definen una resistencia de carga R . Cuando una carga eléctrica con resistencia L se conecta al módulo, la transferencia de energía del módulo a la carga es máxima, y se dice que I_p y V_p corresponden a la corriente y voltaje de operación de la carga eléctrica.

Sin embargo, en aplicaciones reales no siempre sucede que la resistencia de la carga eléctrica es R . En este caso se tienen un desacoplamiento en la curva de potencia y la transferencia no es máxima, el módulo opera lejos del punto de máxima potencia y la

potencia entregada se reduce significativamente; en consecuencia, se tendrán pérdidas de energía. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.17)

Otros parámetros de importancia son: la corriente de corto circuito, (I_{cc}): (I_{sc} en la figura), que es la corriente máxima generada por el módulo para cero potencia; y el voltaje de circuito abierto (V_{ca}), máximo voltaje producido por el módulo.

La potencia máxima o tamaño de los módulos comerciales varía entre 25 y 350 Watts.

El voltaje V_p de la mayoría de los módulos fluctúa entre los 15 voltios (30 celdas en serie) y 17.5 voltios (36 celdas en serie). Cada módulo tiene en su parte posterior una placa del fabricante con el modelo y las especificaciones eléctricas. Por ejemplo, la placa en la parte posterior del módulo VLX-53, cuyas características se mencionan en la figura 7 se muestra en la tabla 04. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.17).

Tabla 4: Placa del fabricante de un módulo solares VLX-53.

MODELO	VLX-53
P_p	53W
V_p	17.2 V
I_p	3.08 A
V_{ca}	21.5 V
I_{cc}	3.5 A
Condiciones	1000 W/m ² , 25°C

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.18)

El funcionamiento del módulo fotovoltaico se ve afectado por la intensidad de la radiación y de la temperatura. La figura 08 muestra el comportamiento de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de la radiación solar. Se presenta un aumento proporcional de la corriente producida con el aumento de la intensidad. También se debe observar que el voltaje a circuito abierto V_{ca} , no cambia lo cual demuestra un comportamiento casi constante a los cambios de iluminación. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.18).

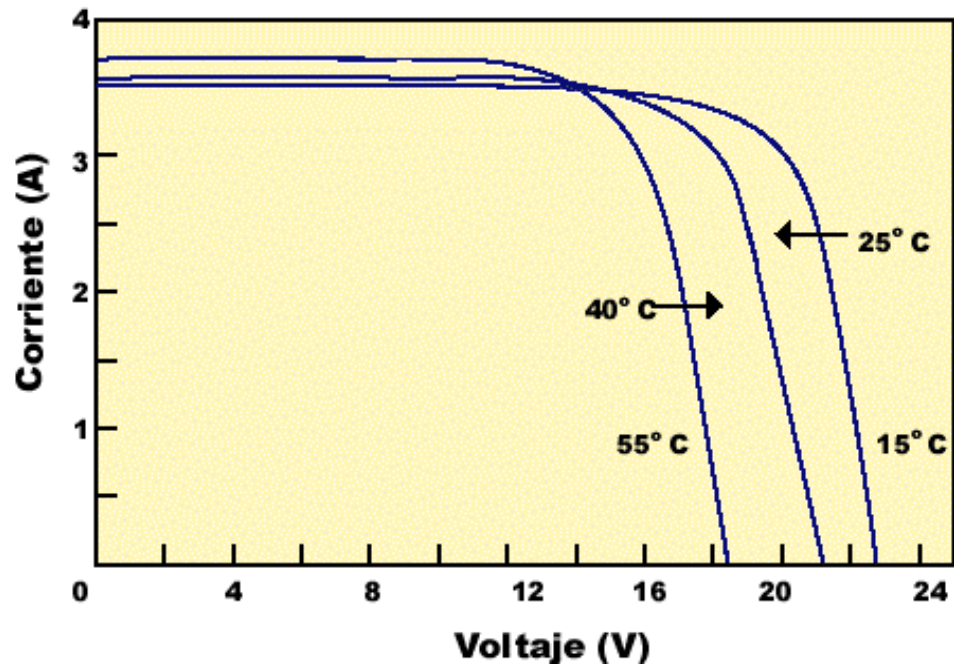


Figura 8: Dependencia de la corriente producida en función del voltaje intensidades de radiación (temperatura constante de 25°C).

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.19).

En la figura 09 se muestra el efecto que produce la temperatura sobre la producción de potencia en el módulo. Esta vez, el efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25°C es decir, un módulo de 50 W pico bajo condiciones estándares de medición perderá 12.5% de su potencia nominal cuando esté operando a 50°C.

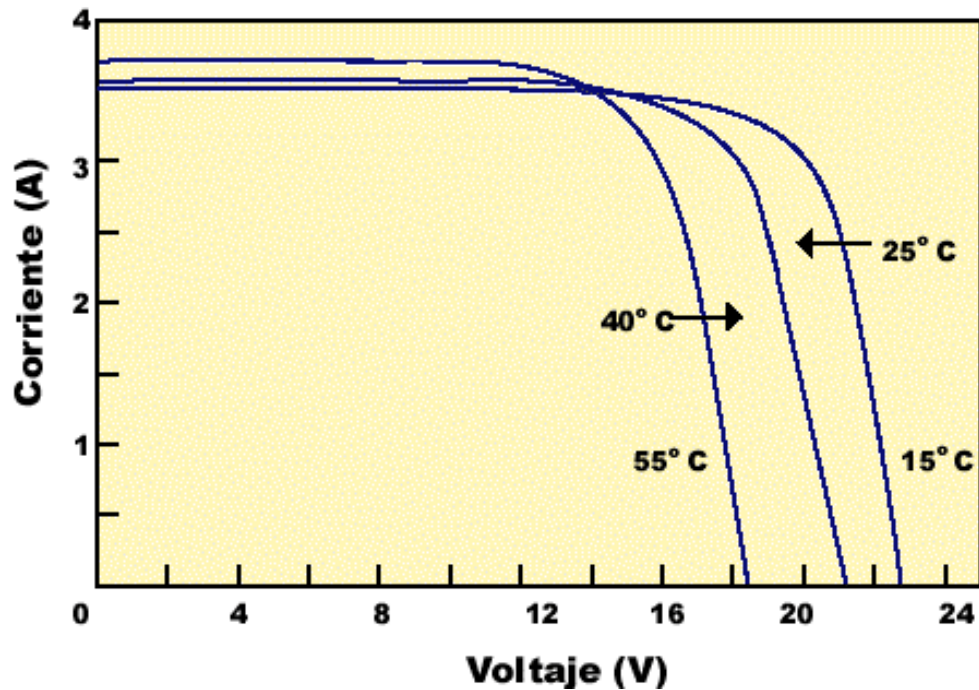


Figura 9: Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (irradiancia constante 1,000W/m²).

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.20)

El módulo FV es el componente más confiable del sistema. Es la calidad de la instalación, especialmente las interconexiones entre los módulos, lo que determina la confiabilidad del arreglo FV en su conjunto.

2.4.4. Arreglos fotovoltaicos

Un arreglo FV es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie y/o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, corriente y voltaje modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.20)

2.4.4.1. Incrementando el voltaje.

Los módulos solares se conectan en serie para obtener voltajes de salida más grandes. El voltaje de salida (Vs), de módulos conectados en serie está dado por la suma de los voltajes generados por cada módulo.

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (1)$$

Una forma fácil de entender el concepto de sistemas conectados en serie, es mediante la analogía presentada en la figura 10 entre un sistema hidráulico y un eléctrico. Como se puede observar en el sistema hidráulico (izquierda) el agua que cae desde cuatro veces la altura de 12 metros produce una caída de agua con cuatro veces la presión a la misma tasa de flujo, 2 L/s. La cual se puede comparar con los 48 voltios que el sistema eléctrico (derecha) alcanza al pasar una corriente de 2 amperios por cuatro módulos conectados en serie. La corriente se compara con el flujo ya que ambas permanecen constantes en el circuito, y el voltaje es análogo al papel de la presión en el sistema hidráulico. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.21)

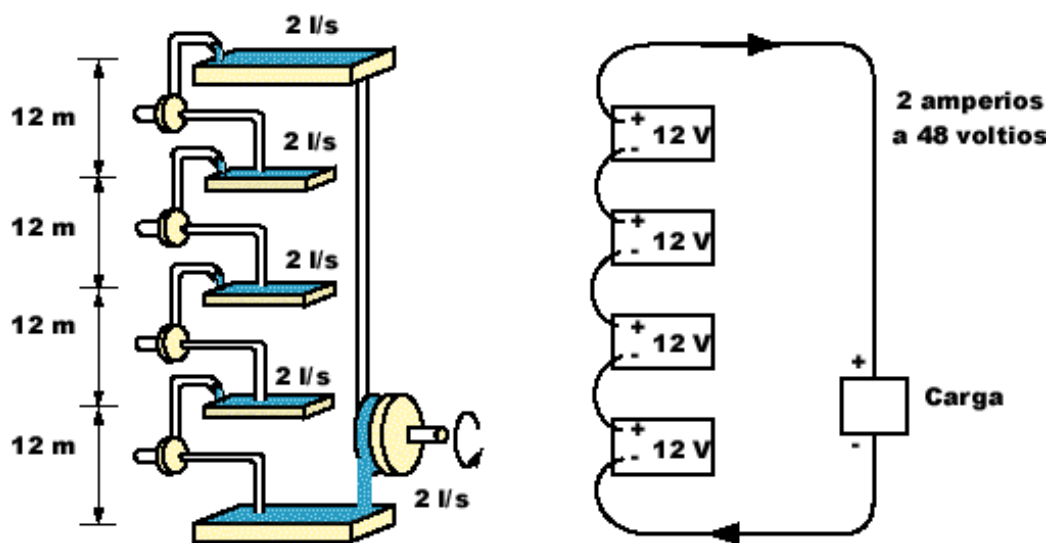


Figura 10: Analogía de una conexión en serie entre un sistema eléctrico y un hidráulico.

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.21)

2.4.4.2. Incrementando la corriente.

Los módulos solares o paneles se conectan en paralelo para obtener corrientes generadas más grandes. El voltaje del conjunto es el mismo que el de

un módulo (o un panel); pero la corriente de salida (I_s), es la suma de cada unidad conectada en paralelo.

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \quad (2)$$

De manera similar al sistema conectado en serie, los sistemas conectados en paralelo también pueden ser comparados en un sistema hidráulico, tal y como se muestra en la figura 11. En el sistema hidráulico (arriba) el agua que cae de la misma altura, da la misma presión que cada bomba individual, pero el flujo es igual al total de los flujos de todas las bombas. Entonces en el sistema eléctrico, el voltaje permanece constante y la corriente de salida de los cuatro módulos es sumada, produciendo 8 amperios de corriente a 12 voltios. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.21).

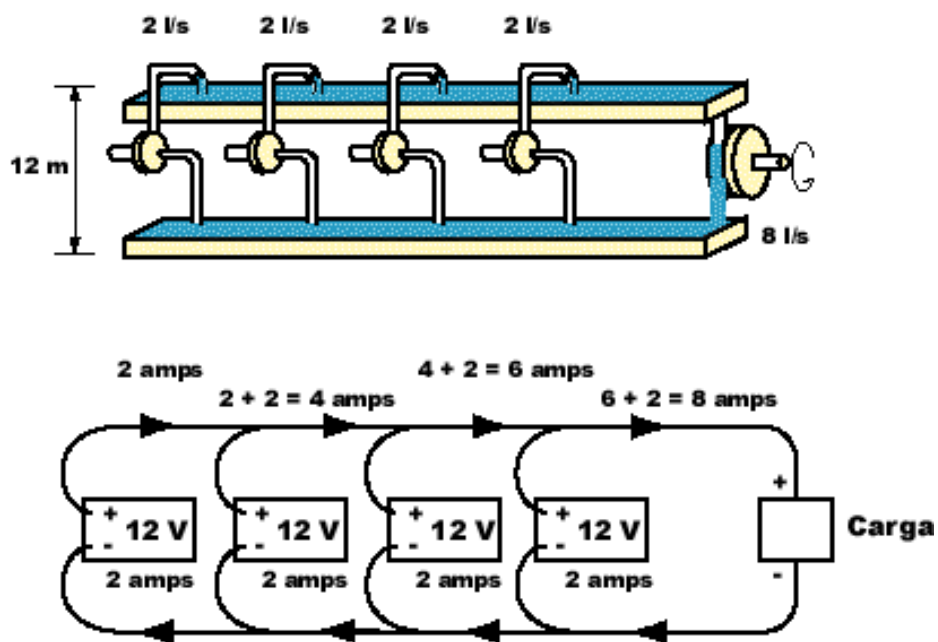


Figura 11: Analogía de una conexión en paralelo entre un sistema eléctrico y un hidráulico

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.22)

Para evitar el flujo de corriente en la dirección opuesta se utilizan diodos de bloqueo. Y los diodos de paso, proporcionan un camino de alivio para evitar

que circule corriente por un panel o un módulo sombreado (sombra de nubes o de objetos). Un módulo sombreado no genera energía, por lo cual, los demás módulos lo verán como un punto de resistencia. En consecuencia, fluirá corriente hacia él convirtiéndose en un punto caliente del arreglo. Aumentará su temperatura y se degradará aceleradamente. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.22)

En la figura 12 se muestra un ejemplo de módulos conectados en serie y en paralelo. En ella también se muestra la posición de los diodos de paso y el diodo de bloqueo. Este último debe ser calculado tomando en consideración la máxima corriente que generará el arreglo fotovoltaico en condiciones de corto circuito. La norma internacional dice que el valor de la corriente que soporta el diodo debe ser por lo menos 1.56 veces el valor de la corriente circuito del arreglo de corto.

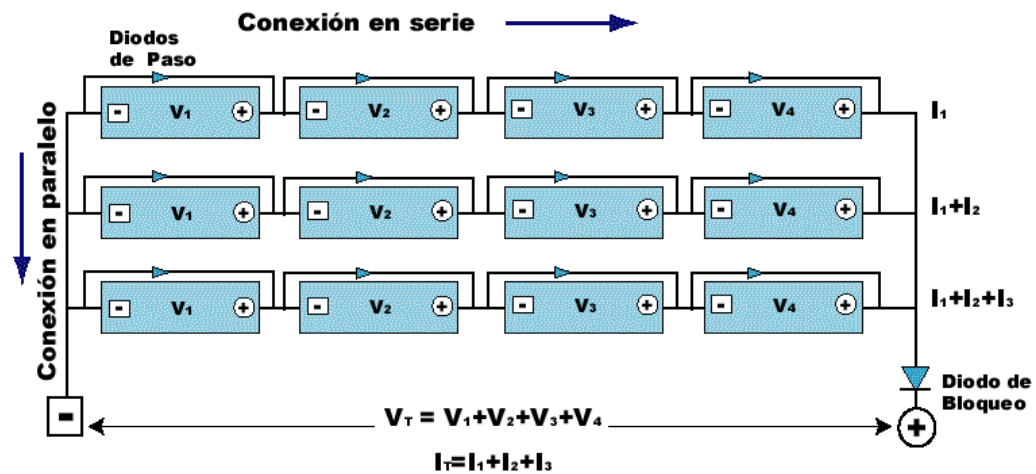


Figura 12: La conexión de módulos fotovoltaicos.

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.23)

Finalmente, la potencia nominal del arreglo es la suma de la potencia nominal de cada módulo.

2.4.5. Inclinación del arreglo fotovoltaico

La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares solo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al sol.

Existen estructuras de soporte del arreglo que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación. Estas estructuras de montaje se llaman seguidores. Generalmente el ángulo de elevación del arreglo es fijo. En algunos casos se usan seguidores azimutales.

Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual hasta en un 25%.

En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija como se muestra en la figura 13. Este montaje tiene la ventaja de ser muy sencillo.

Debido a que el ángulo de elevación del sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo del arreglo que garantice la máxima producción de energía eléctrica. En el hemisferio norte el sol se declina hacia el sur, por lo cual se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el sur. (Sandia Nacional Laboratories, 2005, p.24)

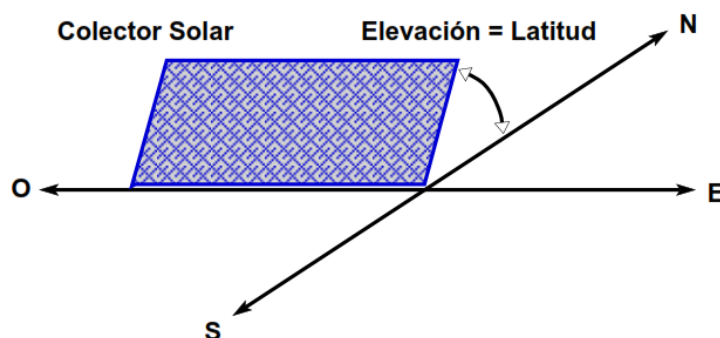


Figura 13: Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año.

Fuente: Sandia Nacional Laboratories. (2005, p.23)



2.4.5.1. Regla de mano.

- La inclinación del arreglo se selecciona para satisfacer la demanda de agua durante todo el año.
- Si se desea bombear la máxima cantidad de agua al año, la inclinación del arreglo deberá de ser igual al valor de la latitud del lugar.

Se ha visto que la energía que entrega un módulo o arreglo fotovoltaico depende de la irradiancia y la temperatura. Es posible estimar la energía eléctrica (en kWh/día) que se espera de un arreglo de cierta potencia nominal utilizando las siguientes aproximaciones:

Se ha visto que la energía que entrega un módulo o arreglo fotovoltaico depende de la irradiancia y la temperatura. Es posible estimar la energía eléctrica (en kWh/día) que se espera de un arreglo de cierta potencia nominal utilizando las siguientes aproximaciones:

1. Los módulos fotovoltaicos instalados en una estructura anclada al suelo trabajan aproximadamente a 55°C durante el día, 30°C por encima de las condiciones estándares de prueba (25°C). Esto significa que la capacidad real del arreglo es aproximadamente 15% menor que su potencia nominal. Es decir, su capacidad real es 85% de la capacidad nominal.
2. La energía eléctrica (kWh) esperada es el producto de la capacidad real del arreglo (en kW) por la insolación (en horas solares pico) al ángulo de elevación del arreglo.
3. La energía fotovoltaica generada varía con la época del año, de acuerdo a los cambios en los niveles de insolación.



4. Si se usa un seguidor azimutal, la energía disponible se aumenta hasta en un 25%.

2.4.6. Almacenamiento de energía

La incorporación de sistemas de energía a sistemas de generación energética responde a la necesidad de satisfacer a la demanda en situaciones en las que no exista producción de energía eléctrica por ausencia de recurso ya sea renovable o no renovable.

Arricibita, D. (2015).

Existen 3 métodos en el procedimiento de almacenamiento de energía:

- Mecánico.
- Eléctrico.
- Químico.

De estos 3 métodos, el más usado al día de hoy es el almacenamiento químico, es decir, a través de baterías.

2.4.6.1. Baterías.

En las instalaciones autónomas de suministro de electricidad, es necesario almacenar la energía captada durante las horas de radiación solar a fin de poder cubrir el suministro durante las horas en que no hay. Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los módulos fotovoltaicos, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida. Las principales tareas que tienen las baterías en un sistema fotovoltaico son:

- Almacenar energía durante un determinado tiempo.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que debe de tener en cuenta en un acumulador es la capacidad de este. Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados; En la tabla 08, podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas. Sagua, W. (2017 p. 70).

Tabla 5: Características de los principales tipos de baterías.

TIPO DE BATERÍA	TENSIÓN POR VASO	TIEMPO DE CARGA	AUTODESCARGA POR MES	Nº. DE CICLOS
Plomo-Acido	2v	8-16 horas	<5%	Medio
Ni-Cd (níquel Cadmio)	1.2v	1 hora	20%	Elevado
Li ion	3.6v	2-4 Horas	6%	Medio-Bajo

Fuente: Christopher R. (2013).

2.4.6.2. Sistemas de regulación.

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga, e impide las sobrecargas o sobre descargas controlando el voltaje de la batería. La función de regulación de carga idealmente debería depender directamente del estado de carga en la batería (Chercca, 2014).

El regulador de carga se conoce también como controlador de carga o regulador de voltaje. El regulador se posiciona entre el banco de paneles, la batería y el equipo o carga.

2.4.6.3. Inversor.

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica. 220V de valor eficaz y una frecuencia de 50 Hz.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estar presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas. (Componente de una instalación solar fotovoltaica, s.f. p.24).

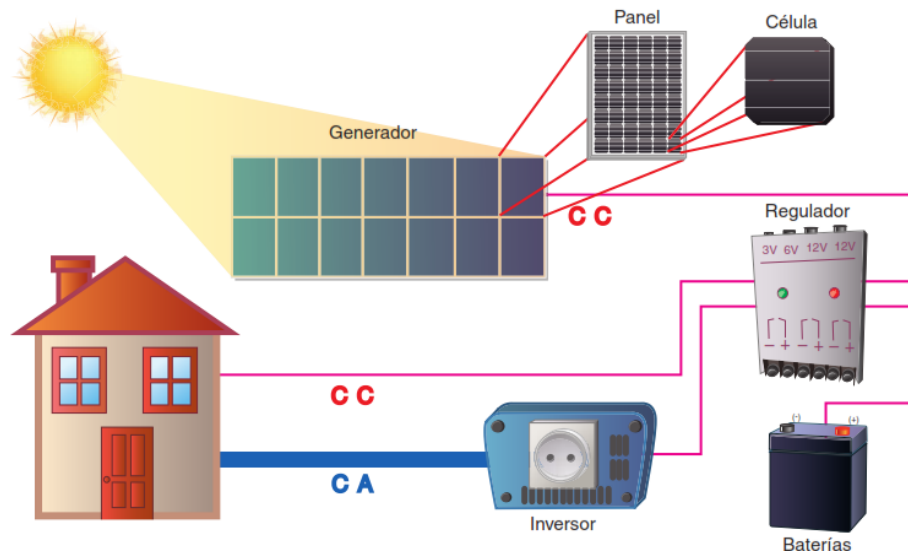


Figura 14: Esquema general de una instalación autónoma con inversor.

Fuente: Componente de una instalación solar fotovoltaica. (s.f. p.24).

2.5. SISTEMA MOTOR-BOMBA

Está formado por un motor que acciona una bomba de agua. En general, los motores pueden ser de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC). Las bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo. Por su situación en el pozo los sistemas motor bomba pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 14).

2.5.1. Motores

Un motor es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse básicamente en:

- Motores de corriente continua (DC)

- Motores de corriente alterna (AC)

Dependiendo del tipo de construcción, los motores de corriente continua pueden ser de imán permanente (con o sin escobillas), Serie, Shunt o Compuesta y los motores de corriente alterna pueden ser monofásicos o trifásicos, síncronos o asíncronos.

El principio de funcionamiento de los motores es la inducción electromagnética, según el cual una espira por la que circula una corriente eléctrica dentro de un campo magnético está sometida a una fuerza de desplazamiento. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 14-15).

2.5.1.1. Motores DC

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente y las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominales y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento, así como con el flujo magnético.

Uno de los principales inconvenientes que tienen los motores de corriente continua con escobillas es el desgaste de éstas con el funcionamiento. Aumentando el número de escobillas (de dos a cuatro o más) se puede aumentar considerablemente su tiempo medio de vida. Las tendencias actuales tienden al desarrollo de motores DC sin escobillas, conocidos como motores brushless, de muy alto rendimiento, Los motores DC sin escobillas tienen un rotor de imanes



permanentes y un estator bobinado (normalmente a tres fases). La conmutación del campo, realizada por las escobillas en los motores DC convencionales, es realizada en este caso electrónicamente. La electrónica de control puede ir incorporada en el propio motor o ser externa. El circuito de conmutación electrónica constituye una fuente de pérdidas de potencia, pero no mayor que las pérdidas en la resistencia serie de los motores con escobillas. Las ventajas de estos motores estriban en la posibilidad de operar sumergidos reduciendo el mantenimiento por no tener que reemplazar las escobillas y presentar un rendimiento elevado y un grado de fiabilidad semejante al de los motores AC de inducción.

Las principales ventajas de los motores DC son:

- Altos rendimientos
- No necesitan un inversor

En general están bien diseñados para acoplarse directamente al generador FV cuando accionan bombas centrífugas.

La utilización de motores DC con escobillas debe evitarse en sistemas sumergibles, ya que requieren mantenimiento regular que implica sacar la bomba del pozo (labor que puede resultar tediosa en grandes sistemas), son más caros que los motores AC y generalmente no se dispone de motores DC de grandes potencias, salvo diseños específicos. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 15)

2.5.1.2. Motores AC

Debido al gran número de aplicaciones para los que se han estado utilizando durante años se dispone de una gran variedad de motores AC. Su inclusión en un sistema fotovoltaico implica aumentar el coste económico debido a que necesitan la presencia de un inversor DC/AC. Además, se necesitan



dispositivos electrónicos auxiliares para proporcionar las altas corrientes de arranque.

Sin embargo, los motores AC son, en general, más eficientes y relativamente más baratos, siendo típicamente la mitad del costo de un motor DC de la misma potencia.

Los dos tipos básicos de motores AC son motores de inducción asíncronos y motores síncronos.

Los habitualmente utilizados en sistemas de bombeo FV son los motores de inducción asíncronos.

Los motores de inducción poseen pares de arranque muy bajos, siendo adecuados para bombas de bajo par de arranque, como las bombas centrífugas.

Los motores AC se componen fundamentalmente de dos partes, rotor y estator, y se caracterizan por su voltaje y potencia nominales, por su velocidad de giro, dependiente de la frecuencia de la tensión de alimentación, y por el par motor. Los motores de corriente alterna tienen un factor de potencia que limita el aprovechamiento de la corriente suministrada, dando lugar a pérdidas adicionales.

El par depende de la velocidad y de la corriente. El rendimiento de estos motores depende de la potencia activa de alimentación y de la carga. Si la carga es diferente de la carga nominal, el rendimiento suele decaer bruscamente.

Las pérdidas por fricción mecánica contribuyen significativamente a las pérdidas en los motores de alto rendimiento. Para minimizar el mantenimiento y las pérdidas por fricción es aconsejable lubricarlos con grasas de índice de viscosidad cinético independiente de la temperatura, pudiendo reducir las pérdidas por fricción hasta un 60%. Las imperfecciones en el circuito magnético también contribuyen a las pérdidas, si un motor está bien diseñado, éstas deberían se

pequeñas. El bajo rendimiento de algunos motores es debido principalmente a las pérdidas en el circuito magnético. Otro factor que contribuye a disminuir el rendimiento es el calentamiento del motor.

Cuando la temperatura aumenta, aumentan las pérdidas resistivas y como consecuencia aumenta la temperatura. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 15)

2.5.2. Clasificación y descripción general de las bombas

2.5.2.1. Definición de bomba.

Es una máquina generadora, que absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro.

Aplicaciones. Se emplean para bombear toda clase de fluidos como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; algunos otros líquidos alimenticios, como son cerveza y leche; también se encuentran los sólidos en suspensión como pastas de papel, mezclas, fangos y desperdicios.

2.5.2.2. Clasificación de las bombas.

Las bombas se clasifican con base en una gran cantidad de criterios, que van desde sus aplicaciones, materiales de construcción, hasta su configuración mecánica.

Ciertas bombas funcionan con un movimiento alternativo y otras con movimiento de rotación continuo, aunque el sistema de movimiento no permite su clasificación desde el punto de vista rotacional; por el contrario, su modo de accionar sí permite clasificarlas.

Un criterio básico que incluye una clasificación general, es el que se basa en el principio por el cual se adiciona energía al fluido.

Bajo este criterio las bombas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- a. Bomba de desplazamiento positivo.
- b. Bomba rotodinámica.

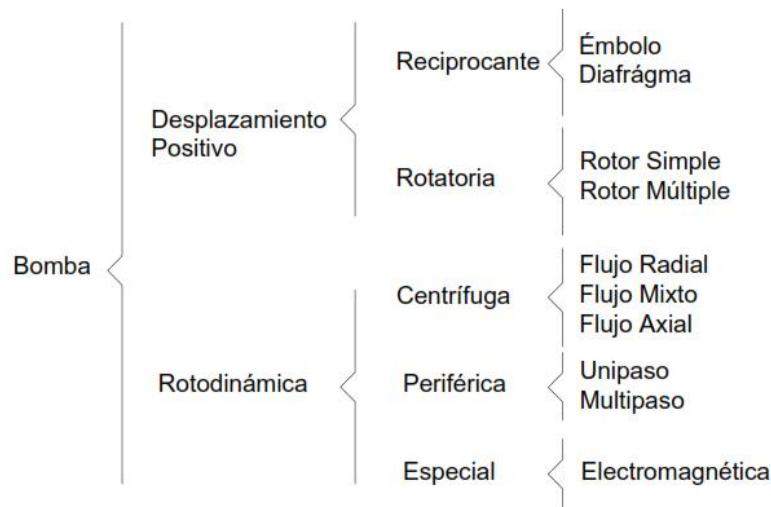


Figura 15: Clasificación de las bombas.

Fuente: Cortés (s.f.)

2.5.3. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día, la potencia generada por los módulos varía y en consecuencia la potencia entregada a la bomba. Por esta razón se han diseñado algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen, desde el punto de vista mecánico, en centrífugas y volumétricas. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 34)

2.5.3.1. Bombas centrífugas.

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie y son capaces de bombear el agua a 60 metros de carga dinámica total, o más, dependiendo del número y tipo de

impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Las bombas de succión superficial (figuras 18 y 19) se instalan a nivel del suelo y tienen la ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros. . (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 34)



Figura 16: Bomba centrífuga superficial.

Fuente: Alonso, M & Chenlo, F. (2014, p. 35)

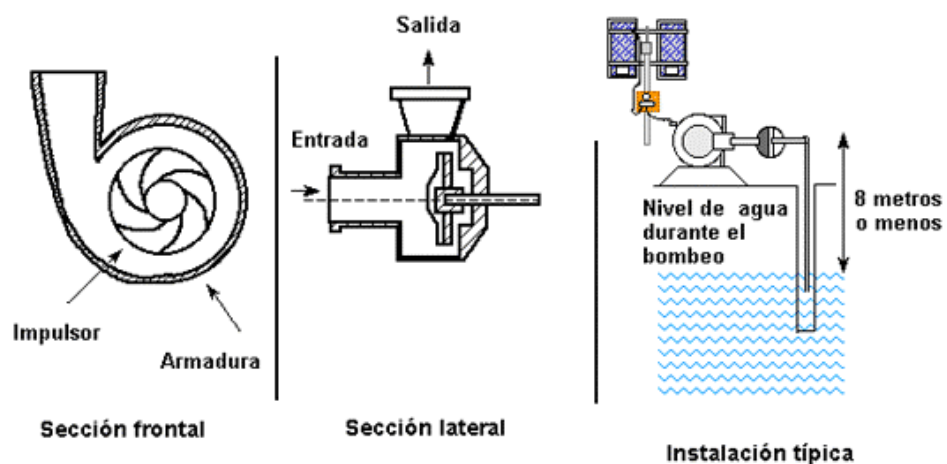


Figura 17: Esquema de una bomba centrífuga superficial.

Fuente: Alonso, M & Chenlo, F. (2014, p. 35)

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente (figura 18). Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos

por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple o de etapas.

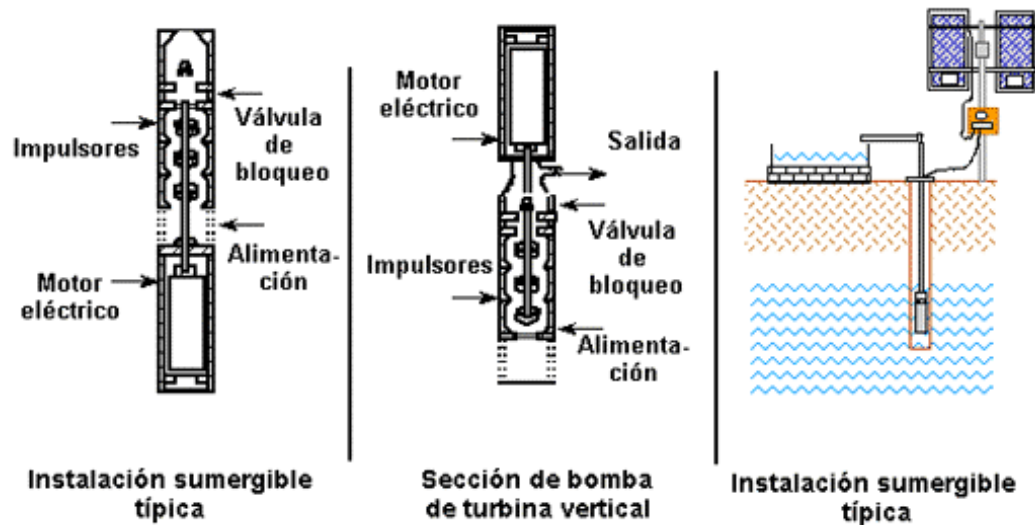


Figura 18: Esquema de una bomba centrífuga sumergible.

Fuente: Alonso, M & Chenlo, F. (2014, p. 36)

Todas las bombas sumergibles están selladas y tiene el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren sobrecalentamiento y se queman.

2.5.3.2. Bombas volumétricas.

Las bombas volumétricas (figura 23) o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada.

Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del

motor y por lo tanto el flujo de agua bombeada es mayor. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 37)

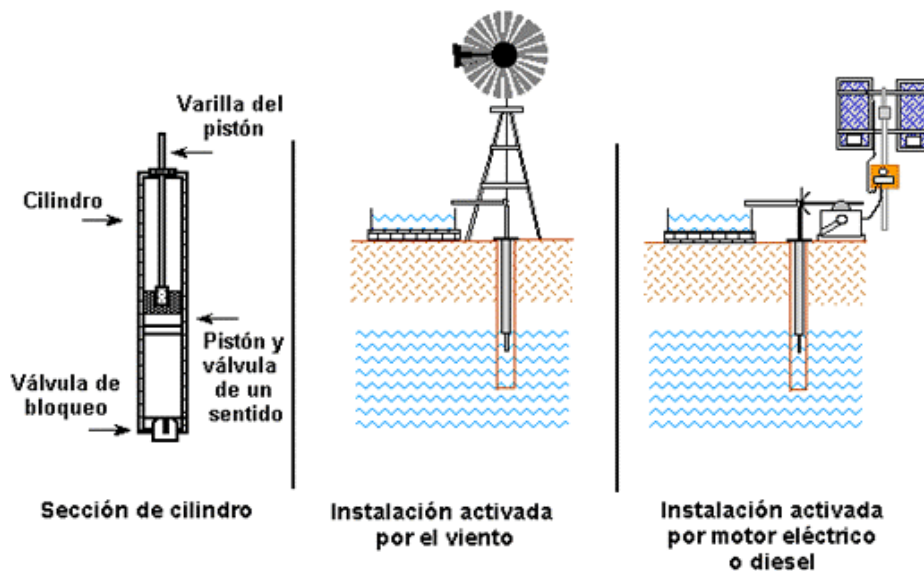


Figura 19: Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.

Fuente: Alonso, M & Chenlo, F. (2014, p. 38)

2.5.3.3. Bombas de cilindro.

Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando éste sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia del arreglo fotovoltaico. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 38)

2.5.3.4. Bombas de diafragma.

Estas bombas desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y



pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo, dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas proveen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y de superficie. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 34)

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de los diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aún, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos.

La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso.

2.5.4. Selección de la bomba

Como se ha visto, las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que en un sistema FV, la energía cuesta dinero. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de cada bomba. (Alonso, M & Chenlo, F. 2014, p. 40)

Las bombas más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total. Por ejemplo, una bomba de palanca puede llegar a tener una eficiencia de más del 40%, mientras que una bomba centrífuga puede tener una eficiencia tan baja como 15%. La figura 26 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga

dinámica total del sistema de bombeo. La tabla 4 presenta las ventajas y desventajas de las diferentes bombas utilizadas en el bombeo FV.

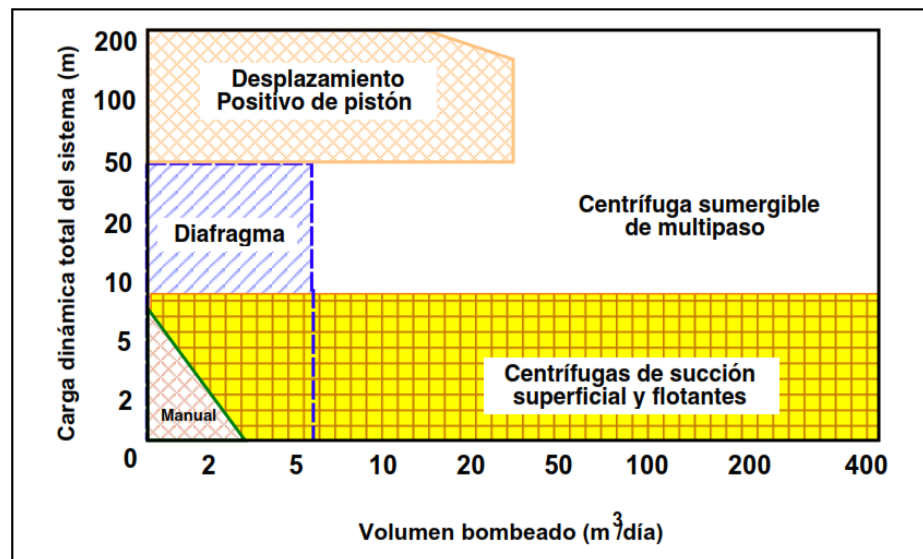


Figura 20: Diagrama de selección preliminar de bomba solar.

Fuente: Alonso, M & Chenlo, F. (2014, p. 40)

Tabla 6: Principales características de las bombas fotovoltaicas.

BOMBAS FOTOVOLTAICAS	CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS	DESVENTAJAS
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.
	Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.	Se dañan si trabajan en seco.
	Pueden utilizar el agua como lubricante.	Deben extraerse para darles mantenimiento.
	Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.	Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.
Manejan altos flujos.		
Continuación ...	Operan a cargas dinámicas grandes.	
	Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar los módulos fotovoltaicos.	



	Comúnmente disponibles.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.
Centrífugas de succión superficial	Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan altos flujos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros. Soportan cargas dinámicas muy grandes.	Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro.

Continuación ...

Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos.

No dan grandes flujos.



	Operan a cargas menores de 40 metros	Son muy económicas.
	Son muy económicas	No toleran arenas o sedimentos.
Diafragma		No trabajan a cargas dinámicas profundas.
		Bajos flujos.

Fuente: Godoy, E. (2016, p.24-25).

2.5.5. Parámetros de funcionamiento de la bomba

2.5.5.1. Potencia de la bomba.

La potencia que consume un equipo de bombeo no es exactamente igual a la que le transmite al fluido. La potencia teórica transmitida al fluido o potencia útil es dependiente de la densidad del fluido, el caudal y la altura manométrica a su paso por el equipo de bombeo:

$$P_u = \rho * g * Q * H \quad (3)$$

Donde:

P_u : Es la potencia útil (W).

ρ : Es la densidad del fluido (Kg/m³).

H : Es la altura manométrica.

Q : Es el caudal del flujo que atraviesa la bomba (m³/s).

g : Es la aceleración de la gravedad (m/s²).

Por otro lado, se deben considerar los rendimientos de los diferentes dispositivos y las pérdidas:

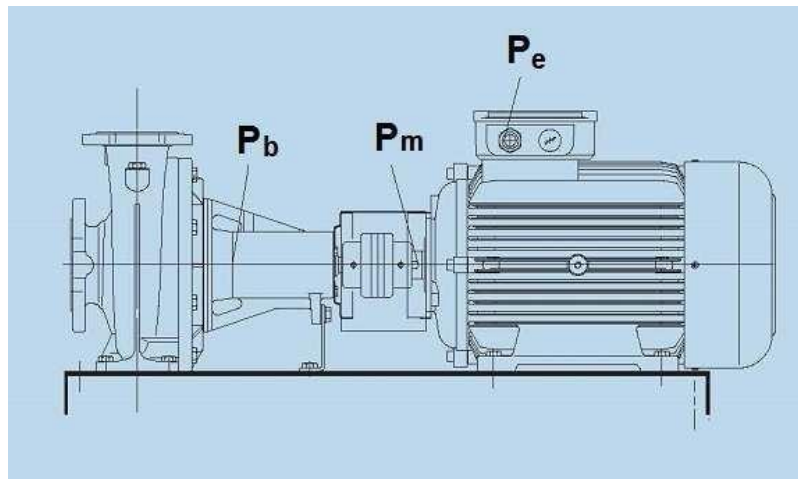


Figura 21: Esquema de potencias de una bomba hidráulica.

Fuente: Arricibita. (2015)

2.5.5.2. Pérdidas en tuberías.

Las pérdidas de carga en las tuberías (H_r) son de dos tipos: primarias y secundarias; las primarias son las pérdidas de superficie, en el contacto del fluido con la tubería, el rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre sí. Las secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones, válvulas y accesorios.

2.5.5.2.1. Pérdidas primarias.

Son aquellas que están relacionadas con las pérdidas de energía, que se generan por la fricción entre partículas del mismo fluido al desplazarse dentro de una tubería y la fricción con las paredes de dicha tubería.

La magnitud de las pérdidas primarias se evalúa haciendo uso de la ecuación (4) de DARCY-WEISBACH:

$$H_p = f \frac{L * V^2}{D * 2g} \quad (4)$$

Donde:

H_p : Es la pérdida de carga primaria.



- f : Es el factor de fricción.
- L : Es la longitud de la tubería.
- D : Es el diámetro interno de la tubería.
- V : Es la velocidad media del fluido
- g : Es la aceleración de la gravedad (m/s²).

2.5.5.2.2. Evaluación del factor fricción (f)

- Para flujo laminar completamente desarrollado en conductos (tuberías lisas y rugosas).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Donde:

- f : Es el factor de fricción.
- Re : Es el número de Reynolds.

- Cuando $Re > 4000$:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

ECUACIÓN DE COLEBROOCK

Donde:

- f : Es el factor de fricción.
- ϵ : Rugosidad Absoluta.
- D : Es el diámetro interno de la tubería.
- Re : Es el número de Reynolds.

Esta ecuación (6) graficada, es la que recibe el nombre de diagrama de MOODY.



2.5.5.2.3. Pérdidas secundarias.

Llamadas también pérdidas menores, son aquellas caídas o pérdidas de presión que se producen cuando el flujo atraviesa una válvula, codos, cambio de sección de tuberías (contracción o expansión), etc.

Las pérdidas secundarias se evalúan mediante la siguiente relación.

$$h_s = \frac{K * V^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

- hs : Es la pérdida de carga secundaria.
- V : Es la velocidad del fluido
- K : Es la constante de pérdida del accesorio
- g : Es la aceleración de la gravedad (m/s²).

Hay que considerar la potencia entregada por el motor y su rendimiento, sea cual sea el tipo, la potencia mecánica generada en el eje y, por último, la potencia absorbida por la bomba para suministrar el caudal y la altura manométrica necesaria, de modo que:

$$P_b = \frac{\rho * g * Q * H}{nH * nV} \text{ (KW)} \quad (8)$$

Donde:

- Q : Es el caudal del fluido que atraviesa la bomba (m³/s).
- ρ : Es la densidad del fluido (Kg/m³).
- g : Es la aceleración de la gravedad (m/s²).
- H : Es la altura manométrica.
- nH : Es el rendimiento hidráulico.
- nV : Es el rendimiento volumétrico.



El rendimiento hidráulico es un dato facilitado por el fabricante en el cual se tienen en cuenta las pérdidas de cargas debido a rozamientos internos del fluido con las paredes.

Es un dato equivalente al cociente entre la altura manométrica teórica del fluido y la real.

Para bombas de gran tamaño y con condiciones favorables este rendimiento alcanza valores comprendidos entre 0,95 y 0,98, mientras que, para bombas más pequeñas y de diseño simple los valores alcanzados están entre 0,85 y 0,88.

En cuanto al rendimiento volumétrico, este es un dato también proporcionado por el fabricante y hace referencia a posibles fugas de fluido por dentro de la bomba. Es un parámetro muy condicionado a la temperatura y presión a la que circula el fluido por el interior de la bomba. Los valores más comunes de este parámetro son los siguientes:

- [0.97, 0.98] para bombas precisas y grandes caudales.
- [0.94, 0.96] para bombas precisas y pequeños caudales.
- [0.89, 0.92] para bombas poco precisas y pequeños caudales.

2.5.5.2.4. Número de reynolds.

Es un número adimensional que ayuda a predecir el comportamiento de fluido en movimiento. El número de Reynolds distingue entre flujo laminar y flujo turbulento, fue desarrollado por Osborne Reynolds quien observó que el carácter del flujo en un tubo redondo depende del diámetro del mismo, velocidad media de flujo, viscosidad y densidad así:



$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (9)$$

Donde:

Re : Es el número de Reynolds.

V : Es la velocidad del fluido.

D : Es el diámetro interno de la tubería.

ν : Es la viscosidad cinemática.

2.5.5.2.5. Rugosidad relativa.

La rugosidad relativa está dada por la ecuación 10:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D} \quad (10)$$

Donde:

ϵ_r : Es la rugosidad relativa

ϵ : Es la rugosidad absoluta.

D : Es el diámetro interno de la tubería.

2.5.5.2.6. Coeficiente de fricción.

Con los datos de número Reynolds y rugosidad relativa se obtiene el coeficiente de fricción utilizando el diagrama de MOODY.

2.5.5.2.7. Diagrama de moody.

En 1944 fue dibujada por L. F. Moody en lo que ahora denominamos diagrama de Moody de pérdida de carga (figura Moody). Este diagrama es probablemente la figura más útil y conocida de la mecánica de fluidos. Es fiable si se aceptan errores inferiores al 15 por 100 en cálculos de diseño sobre el rango completo mostrado en la figura 21 (figura Moody).

Puede ser utilizada para conductos circulares y no circulares, y también para flujos en canales abiertos). Incluso puede adaptarse para el cálculo aproximado de capas límites turbulentos.

La zona sombreada del diagrama de Moody indica el rango de transición de flujo laminar a flujo turbulento. No existen coeficientes de fricción fiables para este rango, $2000 < Re < 4000$. Nótese que las curvas de rugosidad constante son horizontales en el régimen dominado por la rugosidad, a la derecha de la línea de puntos. (White, F., 2004, p.357).

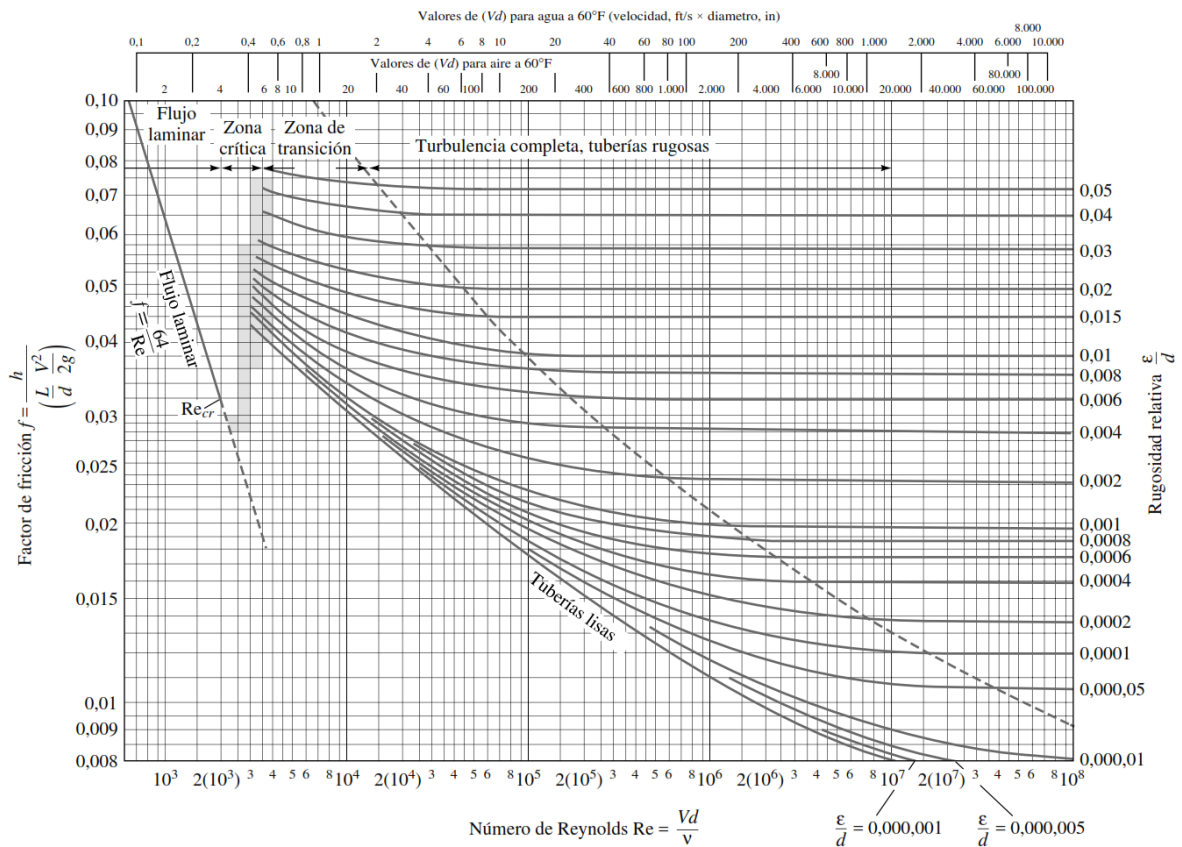


Figura 22: Diagrama de Moody.

Fuente: White, F., (2004, p.358).

Tabla 7: Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales.

MATERIAL	CONDICIÓN	e		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estriado	0,01	3,0	±70
	Oxidado	0,007	2,0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±50
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	—	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2,0	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

Fuente: White, F., 2004, p.358.

La tabla 7 muestra los valores recomendados de rugosidad para tubos comerciales obtenidos a partir de ensayos.

2.6. SISTEMA DE RIEGO

2.6.1. El riego

Es la aplicación artificial del agua al perfil del suelo, en cantidades y oportunidades adecuadas, para proporcionar condiciones óptimas de humedad para el normal desarrollo del cultivo y producir cosechas rentables en el menor tiempo posible con el mínimo de sacrificio humano. Esto depende de la habilidad, experiencia y destreza del agricultor.

También menciona que el riego es una ciencia ya que se basa en los principios matemáticos e hidráulicos tanto para el transporte, como para aplicar en cantidad y oportunidad exacta, además relaciona conceptos, variables e hipótesis demostrables, sustentado en el conocimiento científico válido. (Soto, F. 2002).



2.6.2. Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los aspersores.

La red de distribución del agua está formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores; el agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno, donde se infiltrará pasando desde la superficie del suelo hasta capas cada vez más profundas, quedando así a disposición del cultivo. La cantidad de agua que se infiltra, será más o menos homogénea según sean las características físicas del suelo y las propias características de funcionamiento de los aspersores. (Rafael F. 2010 p. 19).

2.6.3. Adaptabilidad del sistema por aspersión

El riego por aspersión resulta adecuado para la mayoría de los cultivos. Se adapta también a casi todos los suelos regables dado que los aspersores se encuentran disponibles en una amplia gama de caudales. Con un espaciamiento adecuado, el agua se puede aplicar con cualquier intensidad por encima de 0,15 pulgadas por hora (pph) para sistemas de movimiento periódico.

En suelos de textura extremadamente fina con bajas velocidades de infiltración, se debe tener particular cuidado en seleccionar los tamaños apropiados de boquilla, presión de operación y espaciamiento del aspersor para aplicar agua uniformemente con intensidades bajas. Los sistemas de movimiento periódico también resultan adecuados para el riego en áreas donde la situación cultivo - clima no requiere de riego más frecuentes que cada 5 a 7 días. En suelos de baja capacidad de retención de agua y cultivos con raíces superficiales, se requiere hacer aplicaciones frecuentes y pequeñas. Para hacer



tales aplicaciones los sistemas fijos o de movimiento continuo resultan más adaptables, sin embargo, donde la permeabilidad es baja algunos de los sistemas de movimiento continuo tales como pivote central y cañones móviles pueden causar problemas de escurrimiento. Los sistemas fijos además de ser adecuados para todas las frecuencias de riego, se pueden diseñar y operar para protección contra heladas, retardo de floración y enfriamiento de cultivos.

Hoy en día, la flexibilidad de los equipos de aspersión y su control eficiente de aplicación hacen que este método resulte adaptable para la mayoría de las condiciones topográficas sin necesidad de preparación de terreno y sujeto a la capacidad de uso de la tierra y a los aspectos económicos.

El riego por aspersión se puede adaptar a la mayoría de las condiciones climáticas donde la agricultura bajo riego es factible. Sin embargo, temperaturas extremadamente altas y velocidades de viento altas presentan problemas en algunas áreas, especialmente donde el agua de riego contiene grandes cantidades de sales.

La aspersión se puede recomendar en los siguientes casos:

- Terreno con topografía muy ondulada. La sistematización del mismo para riego por gravedad puede resultar muy costosa.
- Terrenos pocos o muy permeables. La aspersión permite obtener una alta eficiencia de riego y apreciables ahorros de agua.
- Agua obtenida en pozos profundos. Son necesarias grandes elevaciones de agua con potencias de bombes importantes. El aumento de energía que requiere la aspersión no tiene grandes repercusiones económicas.
- Ausencia de mano de obra calificada que conozca el manejo del agua de riego. Esta circunstancia puede producirse en zonas de nuevas irrigaciones donde para riego por gravedad utilizado correctamente, es necesario formar al regante.



- De igual manera, es importante en un sistema de riego por aspersión.
- El riego está sujeto a horarios o turnos, tiempos cortos de riego y gran caudal, que obliga instalaciones de aspersión muy grandes, con mucho equipo, o a la construcción de depósitos para regulación de agua.
- Agua con sustancias en suspensión. El material puede sufrir corrosión o erosión.
(Alfaro, M. y Castañón, S. 2006)

2.6.4. Clasificación de los sistemas de aspersión

Los sistemas de aspersión suelen clasificarse según el grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. De esta manera se facilita la comprensión de su funcionamiento y además se ofrece una mejor idea acerca de los costos necesarios e inversiones a realizar. De forma general los costes de inversión se incrementan y los requerimientos de mano de obra disminuyen a medida que aumenta el número de elementos fijos del sistema.

Los sistemas de aspersión se clasifican en dos grupos: sistemas estacionarios y sistemas de desplazamiento continuo.

2.6.4.1. Sistemas estacionarios.

Son aquellos que permanecen fijos mientras riegan. A su vez se pueden clasificar en móviles, semifijos y fijos.

2.6.4.1.1. Móviles.

Son aquellos en los que todos los elementos de la instalación son móviles: tuberías primarias, secundarias y terciarias, si las hubiera, ramales de aspersión, porta aspersores y aspersores. También el equipo de bombeo puede ser móvil, normalmente accionado por un motor de combustión conectado a la toma de fuerza de un tractor, que se va desplazando.



Los inconvenientes más destacables son que tienen un elevado coste de explotación (mano de obra para realizar los cambios de posturas, transporte de tuberías, etc.), problemas en el cambio de postura (ya que es preciso programar bien el resto de tareas que requiere el cultivo) y problemas en el manejo de los elementos que componen el sistema (aspersores torcidos, ramales mal alineados, etc.).

2.6.4.1.2. Semifijos.

Son aquellos que normalmente tienen fijos el equipo de bombeo y la red de tuberías principales, las cuales suelen ir enterradas. También en caso de existir tuberías secundarias y terciarias, irían enterradas. Pueden ser a su vez:

De tubería móvil, cuando el ramal de aspersión se cambia de toma o boca de riego con los cambios de posturas de riego. Es frecuente que los ramales lleven directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras que desplazan a los aspersores una determinada distancia (30 a 45 metros) pudiéndose realizar varias posturas de riego sin necesidad de cambiar el ramal de aspersión.

De tubería fija, cuando el ramal está enterrado en el suelo y al cambiar de postura se mueven los portaaspersores y aspersores.

2.6.4.1.3. Fijos.

Son aquellos sistemas que mantienen inmóviles todos los elementos que componen la instalación. Son sistemas de cobertura total, en los que los aspersores mojan toda la superficie que compone una unidad de riego.



2.6.4.2. Sistemas de desplazamiento continuo.

Son aquellos sistemas que se encuentran en movimiento mientras aplican el agua. Los más usuales son los pivotes, los laterales de avance frontal y los cañones enrolladores. (Rafael F. 2010 p. 19).

2.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Este sistema tiene dos partes bien diferenciadas como son: el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Con el primero se elabora la adecuación del sistema a todos aquellos aspectos relacionados con las condicionantes del medio (suelo, cultivo, clima, parcelación, etc.) y con el segundo se realiza el dimensionamiento más económico de la red de tubería, con el objetivo de conseguir un reparto uniforme del agua de riego. (Tarjuelo, M. 2005).

2.7.1. Diseño agronómico

El diseño agronómico constituye una parte fundamental del proyecto de riego por el gran número de condiciones que ha de tener en cuenta, entre ellos, el suelo, el clima, los cultivos, la parcelación, la necesidad de agua de los cultivos, la precipitación efectiva, el factor de cultivo, la probabilidad de lluvia, el requerimiento de agua de los cultivos.

El diseño agronómico tiene por finalidad garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua.

Se desarrolla en dos fases:

1. Cálculo de las necesidades de agua.
2. Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia e intervalo entre, caudal necesario, duración del riego, número de emisores y disposición de los mismos. (Fuentes, J. y García, G. 1999).



2.7.1.1. Necesidad del agua en los cultivos.

2.7.1.1.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Es similar al de ET_p, ya que igualmente depende exclusivamente de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios son considerados equivalentes, pero se diferencian en que la ET_o es aplicada a un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramíneas y alfalfa de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se ve sometido a déficit hídrico.

Es la cantidad de agua consumida, durante un determinado período de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua. (Fuentes, J. y García, G. 1999).

2.7.1.1.2. Métodos o fórmulas empíricas.

Consiste en fórmulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores y están basados en aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial y que han sido desarrolladas para zonas con características propias; las fórmulas empíricas más conocidas son:

- Método de Penman.
- Método de Blaney.
- Método de Radiación.
- Método de Hargreaves.
- Método de Christiansen.
- Método de Jensen – Haise.



2.7.1.1.3. Método de hargreaves.

En este método se analizan dos casos: En base a la radiación y en base a la temperatura; pero debido a la poca investigación sobre niveles de radiación solar durante todo el año en la zona específica de estudio, Se optará, por usar el método en base a la temperatura cuya ecuación es.

$$ET_o = MF * TMF * CH * CE \quad (11)$$

Donde:

ET_o : Evapotranspiración potencial o referencial [mm/mes].

MF : Factor mensual de latitud.

TMF : Temperatura media mensual [°F].

CH : Factor de corrección para la humedad relativa.

CE : Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

$$CH = 0.166 * \sqrt{100 - HR} \quad (12)$$

Dónde:

HR : Humedad Relativa media mensual [%].

La fórmula anterior se emplea para valores de HR mayores de 64%, pero para HR < 64%, CH = 1.

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000} \quad (13)$$

Dónde:

E : Altitud o Elevación del lugar [m.s.n.m].

2.7.1.1.4. Evapotranspiración real del cultivo (ET_c).

Es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo durante el período de tiempo considerado.

El rendimiento del cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima, y esto ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores

condiciones posibles. Ocurre entonces que la evapotranspiración real coincide con la evapotranspiración máxima.

Tanto en la evaporación como en la transpiración, el agua pasa de estado líquido al estado gaseoso, y este cambio de estado se ve favorecido cuando el aire está caliente, seco o muy movido (viento). Por otra parte, la cantidad de agua perdida por evapotranspiración depende de las disponibilidades de agua en el suelo y de la capacidad de las plantas para absorber y para transpirar esa agua contenida en el suelo. (Fuentes, J. y García, G. 1999).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (14)$$

Donde:

ET_c : Es la evapotranspiración del cultivo (mm).

K_c : Es el coeficiente de cultivo.

ET_o : Es la evapotranspiración referencial (mm).

2.7.1.1.5. Factor de cultivo (K_c).

El valor del coeficiente de cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su período vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un período reducido de tiempo. En estos cultivos hay que distinguir cuatro etapas en su período vegetativo. (Fuentes, J. y García, G. 1999).

- **Primera etapa:** Etapa inicial o de establecimiento del cultivo. Abarca desde la siembra o plantación hasta que el cultivo queda plenamente establecido: cubre o sombrea un 10% de la superficie del suelo, suponiendo que los rayos del sol incidan perpendicularmente.



- **Segunda etapa:** Etapa de desarrollo del cultivo o de rápido desarrollo de cultivo. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre o sombrea de forma efectiva la superficie del suelo (no menos del 70-80% de ésta).
- **Tercera etapa:** Etapa de mediados del período o de máxima evapotranspiración. Abarca desde final de la etapa anterior hasta la iniciación de la maduración del cultivo, que se manifiesta por el envejecimiento del follaje.
- **Cuarta etapa:** Etapa final o de maduración y cosecha. Abarca desde el final de la etapa anterior (que se manifiesta por una marcada disminución en el consumo de agua) hasta la maduración del cultivo o su cosecha.

Los cultivos en su mayoría tienen una curva del coeficiente semejante a la que se observa en la figura 23.

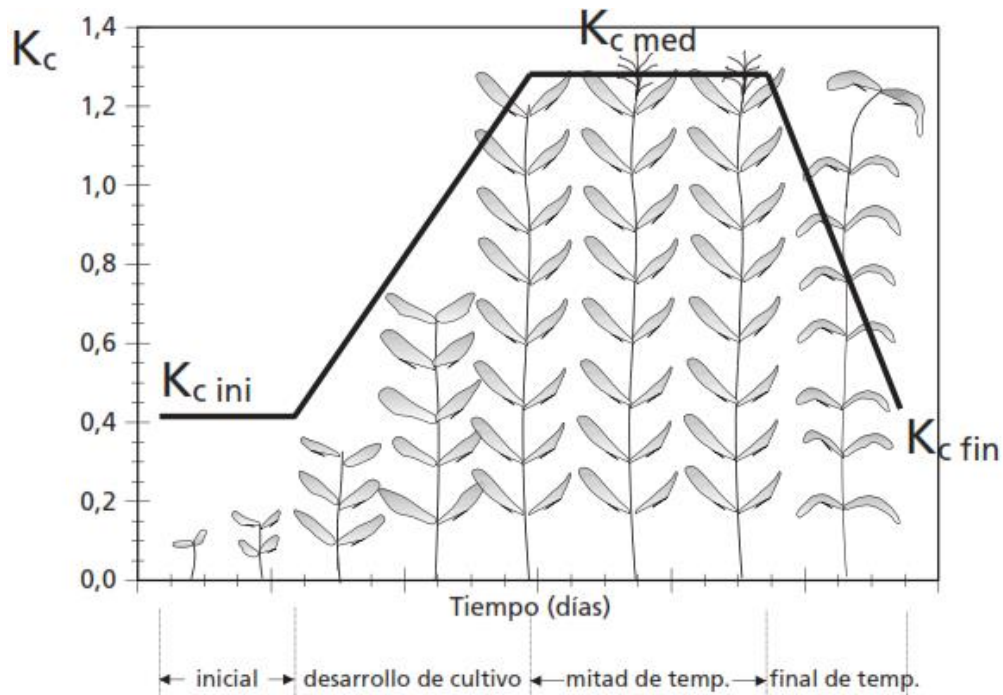


Figura 23: Curva generalizada del coeficiente del cultivo K_c .

Fuente: FAO. (2006)

Como podemos observar en la figura 23, el coeficiente de cultivo K_c es mayor cuando se encuentra en la fase de mediados del periodo o fase 3, produciéndose en esta fase la mayor necesidad de agua, por lo tanto, sabiendo el cultivo que se cosechará, usaremos el cuadro que se encuentra en la tabla B.2 de los Anexos para hallar K_c .

2.7.1.1.6. Precipitación efectiva (PE).

Durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio “suelo”, la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje del contenido de agua en el suelo; pero únicamente una fracción de esta precipitación se dispone para el desarrollo de la planta y la otra parte se pierde por escurrimiento, percolación profunda o evaporación. (Auccacusi, D. 2014, p. 39-40).



En este sentido, al volumen parcial de lluvia utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas en su normal desarrollo, se le ha definido como precipitación efectiva.

Existen diversos métodos para estimar la precipitación efectiva, en este caso se adoptará el criterio empírico de Brouwer y Heibloem [3.2], que proponen las siguientes ecuaciones para su aplicación en áreas con pendientes inferiores al 5%. Así en función de la precipitación caída durante el mes tenemos:

$$PE = 0.8P - 25 \text{ SI } P > 75\text{mm/mes} \quad (15)$$

$$PE = 0.8P - 25 \text{ SI } P > 75\text{mm/mes} \quad (16)$$

Dónde:

P : Precipitación mensual [mm/mes].

PE : Precipitación efectiva [mm/mes].

2.7.1.1.7. Demanda de agua de los cultivos (DA).

Es la cantidad de agua que requiere la planta para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Sin embargo, dentro de su ambiente, la planta no se encuentra aislada sino que forma parte de un microsistema, sujeto a “entradas” y “salidas”, por lo tanto, susceptible de efectuar un balance hídrico, en el que las “entradas” están dadas por todos los aportes hídricos al suelo y las “salidas” por el proceso de agotamiento de la humedad del suelo ocasionado por la evapotranspiración actual (ET_c). (Auccacusi, D. 2014, p. 40).

$$DA = ET_c - (PE + CA + N) \quad (17)$$

Donde:

DA : Demanda de agua para el periodo considerado [mm/mes].



ETc : Evapotranspiración real o actual [mm/mes].

Nf : Aporte eventual del nivel freático [mm/mes].

PE : Precipitación efectiva [mm/mes].

CA : Diferencia entre la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, inicial y final del periodo considerado [mm/mes].

El valor de Nf, se considera igual a cero “0” tanto para condiciones donde no existe influencia de nivel freático, así como en aquellas situaciones donde se puede controlar la ascensión capilar del nivel freático, mediante un adecuado sistema de drenaje, capaz de evitar daños físicos al sistema radicular de la planta.

El valor de CA, se considera igual a cero “0” para efectos de planificación de proyectos de irrigación, dado que en éstos, el objetivo es conocer la demanda de agua total del proyecto por lo que se asume que el suelo no contiene humedad.

En vista de lo anterior, la demanda de agua para el periodo considerado de la ecuación (17), quedará expresada por la ecuación 18.

$$DA = ETc - PE \quad (18)$$

Todas las definiciones anteriores son necesarias con el objeto de hallar la demanda de agua para regar, en este caso específico, 2.5 hectáreas de cultivo y por lo tanto encontrar el caudal óptimo para sembrar y cosechar en la zona de investigación.

2.7.1.1.8. Módulo de riego (Mr).

El módulo de riego se calcula a través del razonamiento siguiente:



Para una altura de 1mm de agua por día (lámina de agua), el metro cuadrado contiene un volumen de: $0.001 \times 1 \times 1 = 0.001 \text{ m}^3 = \text{litro/día}$, en estas mismas condiciones una hectárea contiene un volumen de agua de:

$$0.001 \times 100 \times 100 = 10 \text{ m}^3 = 10000 \text{ litros/día}$$

Equivalente a 0.116 litros/segundo

Entonces una dotación de 1mm/día equivale a un caudal fijo de 0.116 litros/segundo/hectárea, para una dotación de D_p , el módulo de riego de una parcela (M_r) está dado por la formula

$$M_r = \frac{10000}{86400} * D_p \quad (19)$$

Donde:

M_r : Modulo de riego (litros/segundo/hectárea).

D_p : Demanda del proyecto.

2.7.1.2. El Agua en el suelo.

Mediante el riego se persigue restituir al suelo la cantidad de agua consumida y darle así el cultivo, apropiadas condiciones de humedad, para su buen desarrollo. (Acebedo, E. 1979).

2.7.1.2.1. Disponibilidad de agua en el suelo.

La cantidad de agua disponible en el suelo a ser utilizada por las plantas, está comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC, 0.33bares) y el punto de marchitez permanente (PMP, 15 bares). Si se mantuviera la humedad del suelo a un nivel mayor que la capacidad de campo, existe peligro de que la falta de aire en el suelo sea un factor limitante para el normal desarrollo de las plantas. Mientras que a niveles de humedad cercanos al punto de marchitez permanente produciría



daños irreversibles al cultivo, a nivel fisiológico. (Rondan, E. 2016 p. 18-19).

Capacidad de campo (CC).

La capacidad de campo define como la máxima capacidad de tención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza según la textura del suelo entre 12 y 72 horas después de un riego. (Rondan, E. 2016 p. 18-19).

Punto de marchitez permanente (PMP).

Es el punto en el cual la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido al flujo retardado de agua del suelo hacia la planta y que en promedio corresponde a un estado energético de 15 bares. (Rondan, E. 2016 p. 18-19).

Agua aprovechable (A. A.).

De lo anterior se deduce que solo la fracción de humedad del suelo contenido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez es la aprovechable por las plantas. Pero el agua es cada vez más difícilmente absorbida a medida que su contenido disminuye, estimándose que alrededor del 75% de la humedad aprovechable puede ser extraída por las plantas sin mayor esfuerzo. (INAF. 1986 p. 101).

2.7.1.3. Profundidad de raíces (z).

Todo cultivo tiene un determinado patrón de distribución de raíces. Este varía según la edad, las condiciones de humedad a las que ha sido sometido durante su periodo vegetativo, la naturaleza física del suelo y las características intrínsecas del perfil del suelo.



Las características físicas y en especial la textura y el nivel de humedad del suelo tienen una gran influencia en la profundidad de enraizamiento. En forma general, se puede decir que los suelos de textura gruesa, permiten una mayor profundidad de raíces frente a los suelos de textura fina, que están en íntima relación con la capacidad de retención de agua de dichos suelos y altos niveles de humedad a que han sido sometido el cultivo durante su periodo vegetativo.

La profundidad de la raíz según cultivo depende de la profundidad de la capa arable. (Vásquez, 1992).

2.7.1.4. Lamina neta de riego (Ln).

Es la aportación de humedad al suelo para satisfacer las necesidades del cultivo durante varios días. Suele expresarse en mm de lámina de agua o en m³/ha. (Tarjuelo, M. 2005)

2.7.1.5. Lamina bruta (Lb).

Cuando se aplica un riego no toda el agua queda almacenada en la zona de suelo, sino que parte se pierde por evaporación, escorrentía percolación profunda. La lámina bruta es la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el riego para satisfacer las necesidades netas de riego. (Rondan, E. 2016 p. 20).

2.7.1.6. La infiltración en el suelo.

Las características de infiltración de un suelo constituyen el elemento básico para poder efectuar un adecuado diseño del sistema de riego y determinar el tiempo de riego apropiado.

La infiltración puede ser definida como la entrada vertical (gravitacional) del agua en el perfil del suelo teniendo gran importancia durante la ejecución del riego.

Normalmente se mide en mm/h, y limita el ritmo de aplicación del agua al terreno para que no haya escorrentía. La infiltración puede implicar un movimiento del agua unidimensional (vertical) tal como ocurre en el riego por aspersión o por inundación, un movimiento de agua bidimensional como ocurre en el riego por surcos y un movimiento de agua tridimensional como ocurre en riego por goteo. (Rondan, E. 2016 p. 21).

2.7.1.7. Características de funcionamiento del aspersor.

2.7.1.7.1. Marco de riego.

Indica que el marco de riego determina las interacciones o solapes entre los modelos de distribución de agua de los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua. Los marcos normalmente adoptados como separación entre aspersores dentro del ramal y entre ramales suelen ser: 12 x 12, 12 x 15, 12 x 18, 15 x 15 y 18 x 18 en rectángulo, y 18 x 15 en triángulo, medidos todos ellos en metros. En general son múltiplos de 6 o 9 m para sistemas con tuberías en superficies y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas. (Tarjuelo, M. 2005).

Marco en rectángulo : $S = l * l'$

Marco en cuadrado : $S = l^2, l' = l$

Marco en triángulo : $S = 0.5\sqrt{3} * l^2$

2.7.1.7.2. Caudal máximo de cada aspersor.

Conociendo el marco de riego (S) y la permeabilidad (lb) a que está sujeto el suelo en estudio, se puede determinar el caudal máximo que puede recibir ese terreno de cada aspersor, para el cálculo se utilizó la fórmula.

$$Q_{\max.\text{Asp}} = S * I_b \quad (20)$$

Donde:

$Q_{\max.\text{Asp}}$: Caudal máximo que puede recibir ese terreno de cada aspersor (l/h).

S : Marco de riego (m²).

I_b : Infiltración Básica (mm/h).

2.7.1.7.3. Espaciamiento entre aspersores.

Heerman y Kohl (1980), recomienda separaciones del 60% del diámetro efectivo del aspersor para marcos en cuadrado o en triángulo y el 40% y 75% para marcos en rectángulo, siempre que se trate de vientos menores de 2 m/s. Este espaciamiento debe reducirse, al aumentar la velocidad del viento, según se indica en la tabla 8

Tabla 8: Porcentaje de reducción para determinar el espaciamiento entre aspersores.

% de reducción	Velocidad del viento (m/s)
10-12	4-6
18-20	8-9
25-30	10-11

Fuente: Heerman y Kohl, (1980)

Se entiende por diámetro efectivo el 95% del diámetro mojado para aspersores con dos boquillas, y el 90% de este para aspersores con una boquilla.

Traslapes o solapes de un aspersor.

(Tarjuelo, M. 2005). Indica que el traslape es la técnica general de combinar el patrón que sigue un aspersor en su deposición de agua sobre la superficie del suelo.



Lo define como la pluviosidad que se obtendría si se distribuyera uniformemente el caudal emitido por el aspersor en la superficie que teóricamente riega, de acuerdo con el marco adoptado. Este es el parámetro que más frecuente se utiliza en la práctica para definir la intensidad de lluvia.

Distribución del caudal sobre el suelo.

(Tarjuelo, M. 2005). Indica que las rociadas emitidas por cada aspersor deben distribuirse de forma que el impacto de las gotas y la intensidad de lluvia no perjudiquen las condiciones físicas del cultivo o del suelo, logrando la máxima uniformidad posible.

Además, la fricción con el aire de la vena líquida (chorro): constituye la principal causa de que el agua llegue pulverizada al suelo, aunque también influye el choque con el brazo oscilante y la acción del "rompe chorro", que puede colocarse opcionalmente.

El tipo de chorro emitido depende principalmente del diseño geométrico del aspersor y la boquilla de supresión de trabajo y de las condiciones del viento. Al aumentar la presión disminuye el tamaño de gotas y un exceso de presión (normalmente por encima de 4bar. O 4kg/cm²) produce una excesiva pulverización del chorro y una baja brusca de uniformidad de riego cuando hay viento.

2.7.1.8. Parámetros de riego.

Revilla (2000), define los siguientes parámetros de riego:



2.7.1.8.1. Frecuencia de riego (Fr).

Indica el número de riegos por mes, resulta de dividir las necesidades totales o la demanda del proyecto entre la dosis máxima o lámina bruta, la expresión está dado por la fórmula

$$Fr = \frac{Dp}{Lb} \quad (21)$$

Donde:

Fr : Frecuencia de riego (riegos/mes).

Dp : Demanda del proyecto.

Lb : Lamina Bruta (cm).

2.7.1.8.2. Dosis real (Dr).

Es la cantidad de agua que se va aplicar en cada riego, sale de dividir la demanda del proyecto (Dp) entre el número de riegos (frecuencia de riego por mes) que vamos a dar cada mes, pero ya redondeado. La expresión está dada por la fórmula.

$$Dr = \frac{Dp}{Fr} \quad (22)$$

Donde:

Dr : Dosis real (mm).

2.7.1.8.3. Tiempo de riego (Tr).

Es el tiempo que se tarda en aplicar la dosis real. Resulta de la división entre la dosis real y la pluviometría del aspersor (Pms), se expresa en horas mediante la fórmula.

$$Tr = \frac{Dr}{Pms} \quad (23)$$

Donde:



Tr : Tiempo de riego (horas).

Pms : Pluviometría del aspensor (horas).

2.7.1.8.4. Turno (T).

Es el espacio comprendido entre dos riegos se expresa en días, está dado por la fórmula.

$$T = \frac{DM}{Fr} \quad (24)$$

Donde:

T : Turno (días).

DM : Dosis mensual.

2.7.1.8.5. Postura.

Es la cantidad de veces que puedo regar en un mismo día esto depende de lo que dure un riego y también del número de horas disponibles (Tdr) en el día para regar, está dado por la fórmula.

$$P = \frac{Tdr}{Tr} \quad (25)$$

Donde:

P : Postura (posturas/días).

Tdr : Número de horas disponibles (horas).

2.7.1.9. Caudal del sistema.

El caudal del sistema dependerá del aspensor elegido, del marco de riego, de la dosis real del sistema, de las horas de riego, del tiempo disponible de riego, así como del caudal disponible (oferta de agua), se debe tener en cuenta que este cálculo se realiza para el mes de máximas necesidades. (Rondan, E. 2016 p. 26).



2.7.1.9.1. Caudal del sistema (Qs).

El caudal del sistema o caudal de diseño deberá ser menor al caudal disponible, para su determinación se deberá tener en cuenta el número de aspersores que funcionaran simultáneamente y el caudal unitario de cada aspersor.

2.7.2. Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión

Consiste en el diseño de tuberías de la línea de conducción, de distribución, de los laterales y el requerimiento de presiones para que funcione óptimamente el sistema de riego por aspersión.

Para el diseño se tiene que tener en cuenta los siguientes conceptos:

2.7.2.1. Teorema de bernoulli

El teorema de Bernoulli no es otra cosa que el principio de la conservación de energía, la energía que posee un fluido en movimiento, está integrado por la energía interna, la energía debido a las presiones, a la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo, el principio de la energía se traduce en la siguiente ecuación, donde cada uno de los términos representa una forma de energía. La figura 24. Muestra este principio:

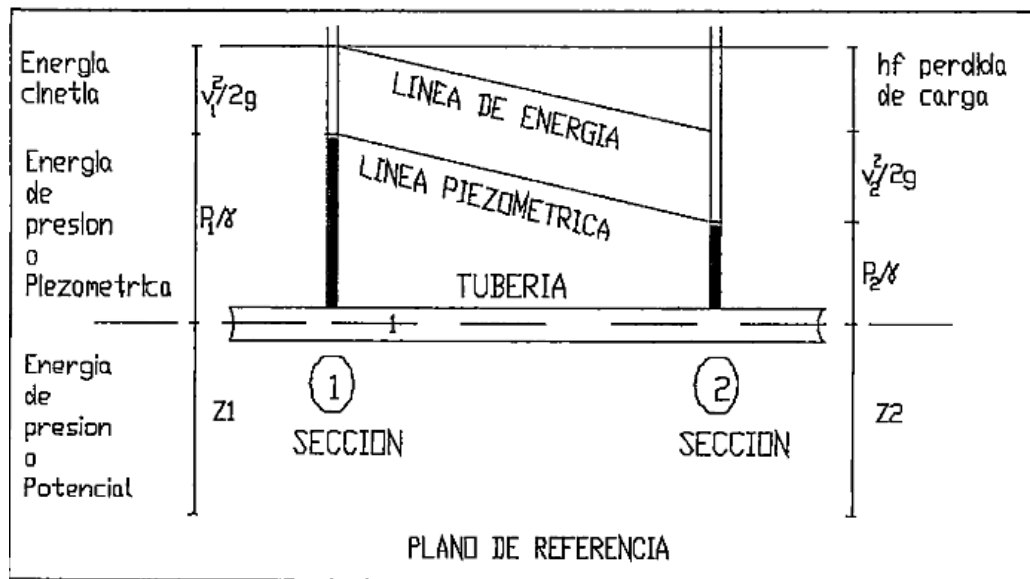


Figura 24: Energías de posición, presión y velocidad.

Fuente: Rondan, E. (2016 p. 27).

El teorema de Bernoulli, está dado por la siguiente fórmula.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (26)$$

Donde:

Z : Cota del punto respecto a un nivel de referencia arbitrario (m).

P/γ : Carga de presión “P es la presión y γ peso específico del fluido” (m).

H_f : Pérdida de carga que se produce en el tramo 1-2, esta magnitud es la Carga de la caída de energía.

V : Velocidad media del punto considerado (m/s).

g : Gravedad (m/s²).

2.7.2.2. Pérdida de carga (h_f).

(Agüero, R. 1997). Menciona que las pérdidas de carga son las pérdidas de presión que sufren los fluidos en su circulación a través de las tuberías y conductos. Se distinguen dos tipos de pérdidas de carga. La primera producida a lo largo de toda la tubería o conducto, al entrar en contacto el



agua con las paredes de la tubería denominada pérdida por rozamiento o pérdida de carga continua (h_r), la segunda produce otro tipo de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se origina al paso del líquido por puntos singulares de las tuberías como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc. y que se conocen como pérdidas singulares o pérdidas de cargas accidentales (h_s). La suma de estas dos pérdidas de carga nos da la pérdida total en un tramo de una tubería (h_t), la expresión está dado por la fórmula (27).

$$h_f = h_r + h_s$$

Donde:

h_r : Perdida de carga por rozamiento (m).

h_s : Perdida de carga por singularidad (m).

2.7.2.3. Pérdida de carga por rozamiento.

2.7.2.3.1. Pérdida de carga por fricción en una tubería simple.

Fórmula de Hazen Williams.

Esta fórmula es válida solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $25\text{ }^{\circ}\text{C}$). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad C depende del material de construcción y del diámetro de la misma pudiendo deducirse de ábacos o tablas, es útil para el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero, es válido para diámetros mayores o iguales a 50 mm, es definido por la fórmula. (Rondan, E. 2016 p. 29).

$$J = 10.62C^{-1.85}D^{-4.87}Q^{1.85} = \frac{hr}{L} \quad (28)$$

Donde:

J : Pérdida de carga unitaria (m/m).

Q : Caudal que circula por la tubería (m³/s).

D : Diámetro interno en (m).

L : Longitud total de tubería (m).

H_f : Perdida de carga continua (m)

C : Coeficiente de Hazen y Williams

El valor del Coeficiente de Hazen y Williams se indica en la tabla.

Tabla 9: Coeficiente de Hazen William.

MATERIAL	C
Fierro fundido	100
Concreto	110
Acero	120
Asbesto Cemento / PVC	140

Fuente: Agüero, R. (1993)

2.7.2.3.2. Pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples.

Las tuberías múltiples con salidas múltiples son utilizadas en distintos sistemas de riego a presión como el riego por aspersión o goteo. Las pérdidas de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples, resulta ser menor que en una tubería simple (con la misma longitud, diámetro interno idéntico y transportando un caudal constante a lo largo de la tubería), ello debido a que el caudal va disminuyendo en la dirección del flujo y por tanto la velocidad y la pérdida de carga por fricción se reduce en cada segmentó de la tubería entre dos salidas consecutivas.

La evaluación estricta de las pérdidas de carga por fricción en este tipo de tuberías, requiere el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en cada uno de los segmentos que la componen, sin embargo cuando el número de salidas es elevado, esta forma de cuantificar la pérdida de carga por fricción resulta impráctica.

Varios han sido los investigadores que han propuesto expresiones que agilicen la valorización de estas pérdidas de carga por fricción en una tubería de estas características como por ejemplo Christiansen (1942), Jensen y Fratini (1957), Escalopi (1988), entre otros. La manera tradicional de cuantificar la pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples (figura 2.3), consiste en afectar la pérdida de carga unitaria por fricción en una tubería simple por un factor F que tiene en cuenta el número de salidas.

Ecuación de Christiansen.

Esta ecuación tiene en cuenta que la distancia entre las salidas consecutivas es constante ($l = \text{constante}$), el caudal que proporciona cada salida (q) es constante, la distancia del inicio de la tubería a la primera salida es igual ($l_0 = l$), no hay caudal aguas debajo de la última salida, y las características del tipo de material de la tubería (aspereza) y diámetro interno de la misma se mantiene constante, está dado por la ecuación (29):

$$F1 = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{6n^2} \quad (29)$$

Ecuación de Scalopi.

En muchas situaciones en el campo la primera salida no puede estar localizada a un espaciamiento de la entrada de la tubería igual a la que existe entre las salidas consecutivas ($l_0 \neq l$) dejándose de cumplir la

ecuación anterior. Scalopi derivó un factor F2 tomando como base la ecuación F1 propuesta por Christiansen, donde el espaciamiento desde el inicio de la tubería a la primera salida puede ser cualquier distancia, está dado por la siguiente ecuación.

$$F2 = \frac{r + nF - 1}{r + n - 1} \quad (30)$$

Donde:

- F1, F2 : Factor de salidas múltiples (F).
R : l_0/l
N : Número de salidas.
 β : Constante que depende del tipo de material de tubería.

Tabla 10: Valores de β según tipo de tubería.

Para tuberías de	PE	$\beta=1.75$
	PVC	$\beta=1.8$
	ALUMINIO	$\beta=1.9$

Fuente: Tarjuelo, M. (2005).

Por lo tanto, la pérdida de carga continua o por rozamiento para una tubería con salidas múltiples estará dado por la fórmula.

$$h_r = FjL \quad (31)$$

Donde:

- h_r : Pérdida de carga continua.
F : Factor de salida múltiple.
j : Pérdida de carga unitaria en (m/m).
L : Longitud de la tubería (m).
La representación de la pérdida de carga por las tuberías con salidas múltiples se muestra en la figura 25.

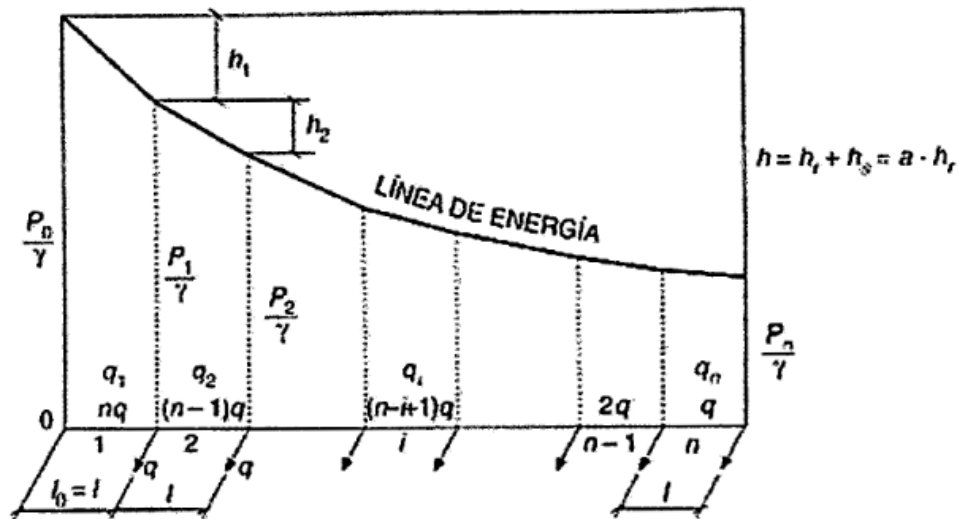


Figura 25: Tuberías con salidas múltiples.

Fuente: Tarjuelo, M. (2005).

2.7.2.4. Criterio para el dimensionamiento de un ramal porta aspersor y la tubería secundaria.

La base principal para la determinación de los diámetros de los ramales porta aspersores se fundamenta en la uniformidad de distribución de caudales en los mismos, dándose como norma convencional, ratificada por la experiencia, que la diferencia de caudal descargado por dos aspersores cualesquiera de un ramal sea inferior al 10% del caudal nominal. Este mismo criterio podría aplicarse al conjunto de ramales que constituyen un bloque de riego en los sistemas que llevan una sola válvula por bloque.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente sobre la ecuación de descarga de los aspersores, esta variación de caudal es equivalente a una variación de presión del 20 %, de esta manera se tendrá como condición de diseño, esta expresión está dado por la fórmula (32). (Tarjuelo, M. 2005 p. 83-84).

$$\frac{P_m}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} \leq 0.2 \frac{P_a}{\gamma} \quad (32)$$

Donde:

P_m/γ : La máxima presión en el aspersor de los conectados al ramal.

P_n/γ : La mínima presión en el aspersor de los conectados al ramal.

P_a/γ : Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión media en el ramal.

Ahora para el cálculo del diámetro de un ramal se hará considerando una tubería simple sin salidas, de longitud $L= n.l$, por lo que circula un caudal constante $Q= n.q$, que da lugar a una pérdida de carga h tal que se muestra en la siguiente fórmula.

$$h' = \frac{h}{F} = aJ'L \quad (33)$$

Siendo h la pérdida de carga máxima en el lateral portaaspersores, que vendrá limitada por la condición de diseño, F el factor de Christiansen. J' la pérdida de carga unitaria y a el coeficiente de proporcionalidad que engloba las pérdidas por rozamiento y las singulares ya que hay que tener en cuenta que.

$$h = h_r + h_s = ah_r s \quad (34)$$

Son las pérdidas de carga totales en el lateral portaaspersores, que suelen oscilar entre 1.10hr y 1.15hr para tuberías de PVC y entre 1.20hr y 1.25hr para aspersores con tuberías de aluminio.

2.7.2.5. Cálculo de un ramal porta aspersor.

Definimos presión media del lateral (P_m/γ) como aquella que proporciona el caudal medio q_m :

$$q_m = \frac{Q_0}{n} = l/n \sum q_i \quad (35)$$

Siendo Q_0 el caudal que entra por el origen, n el número de emisores y q_i el caudal descargado por cada uno de los emisores.

Se ha comprobado experimentalmente que en un lateral horizontal dicha presión media corresponde a un punto situado a $1/3 L$ del origen, y que en el tramo que va desde el origen hasta este punto se produce aproximadamente el 75% de la pérdida de carga total del lateral.

Para el diseño del lateral, In presión media en el mismo se hace coincidir con la presión nominal del aspersor (P_a/γ).

En la hipótesis de diámetro único en toda la conducción, analizaremos tres casos, para su determinación se tiene en cuenta las siguientes figuras: la figura 26, muestra el ramal horizontal, la figura 27 muestra el ramal ascendente, la figura 28, muestra el ramal descendente ($h > h_g$) y la figura 29, muestra el ramal descendente ($h < h_g$) para el cálculo de un ramal porta aspersor.

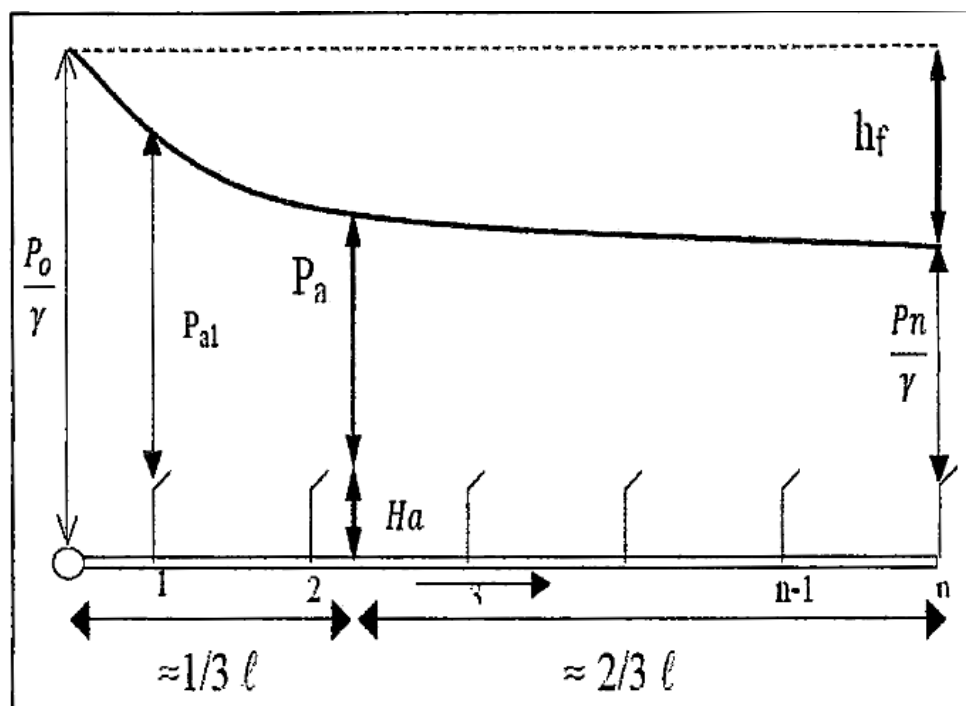


Figura 26: Ramal horizontal.

Fuente: Tarjuelo, M. (2005 p. 86).

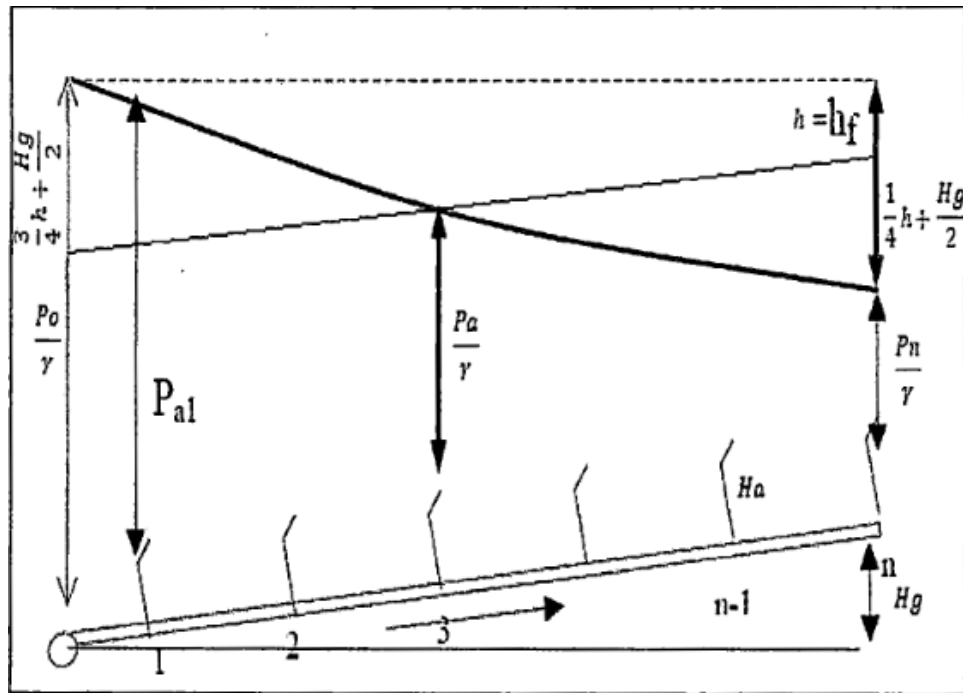


Figura 27: Ramal ascendente.

Fuente: Tarjuelo, M. (2005 p. 87).

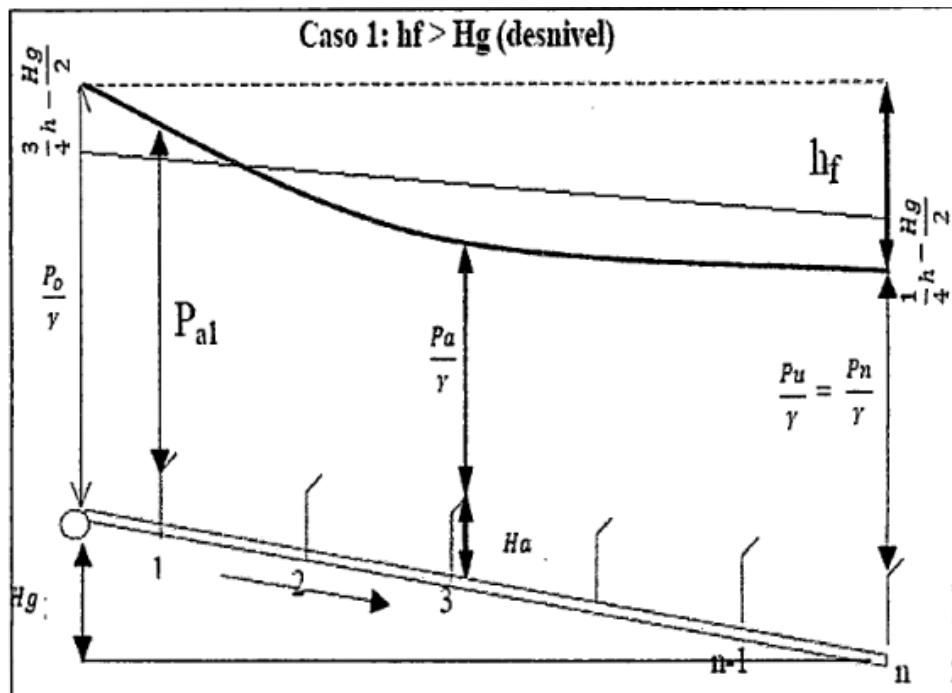


Figura 28: Ramal descendente ($h > h_g$).

Fuente: Tarjuelo, M. (2005 p. 88).

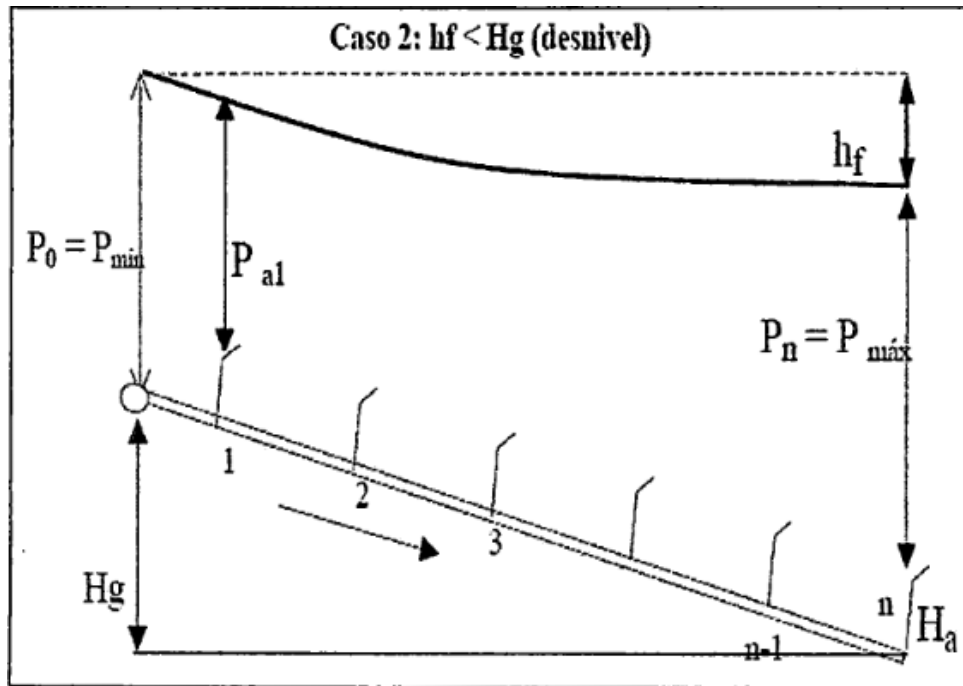


Figura 29: Ramal descendente ($h < h_g$).

Fuente: (Tarjuelo, M. 2005 p. 8)

Tabla 11: Ecuaciones para el cálculo de un ramal porta aspersor para diámetro único en toda la conducción.

DIRECCIÓN DEL RAMAL	CASO	ECUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO	CONDICIÓN DE DISEÑO	PRESIÓN MEDIA	PRESIÓN EN EL ORIGEN DEL RAMAL	PRESIÓN EN EL ASPERSOR DEL EXTREMO
RAMAL HORIZONTAL	-	$\frac{P_0}{\gamma} = H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$	$\left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) - \frac{P_n}{\gamma} = h \leq \frac{0.2P_a}{\gamma}$	$\frac{P_a}{\gamma} = \left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) - \frac{3}{4}h$	$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}h + H_a$	$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}h$
RAMAL ASCENDENTE	-	$\frac{P_0}{\gamma} = H_g + H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$	$\left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) - \frac{P_n}{\gamma} = h + H_g \leq \frac{0.2P_a}{\gamma}$	$\frac{P_a}{\gamma} + H_a = \frac{P_0}{\gamma} - \frac{3}{4}h - \frac{hg}{2}$	$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}h + \frac{hg}{2} + H_a$	$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}h - \frac{hg}{2}$
	h>hg	$\frac{P_0}{\gamma} + H_g = H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$	$\left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) - \frac{P_n}{\gamma} = h - H_g \leq \frac{0.2P_a}{\gamma}$	$\frac{P_a}{\gamma} = \frac{P_0}{\gamma} - \frac{3}{4}h + \frac{hg}{2} - H_a$	$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}h - \frac{hg}{2} + H_a$	$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}h + \frac{hg}{2}$
RAMAL DESCENDENTE	h=hg	-	-	-	$\frac{P_0}{\gamma} = H_a - \frac{P_a}{\gamma}$	$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma}$
	h<hg	$\frac{P_0}{\gamma} + H_g = H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$	$\frac{P_n}{\gamma} - \left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) = H_g - h \leq \frac{0.2P_a}{\gamma}$	$\frac{P_a}{\gamma} + H_a = \frac{P_0}{\gamma} - \frac{3}{4}h + \frac{hg}{2} - H_a$	$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}h - \frac{hg}{2} + H_a$	$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}h + \frac{hg}{2}$

Fuente: Tarjuelo, M. (2005)

2.8. RECURSOS NATURALES APROVECHABLES

2.8.1. Recursos hídricos

Para efectos de estudio se analizará el recurso hídrico para la estación de sequía debido a que durante esta época del año se necesitará mayor cantidad de agua para el riego de los cultivos.

- **Respecto al pozo:**

El pozo-manante de agua tiene una área de 15 metros por 12 metros en época de secas (Abril - Octubre) con una profundidad de 6 metros y mantiene su nivel de agua constante cuando es utilizado. Pero este en época de lluvia (diciembre - marzo) sobrepasa el nivel del suelo generando una pequeña laguna de 30 metros por 22 metros con una profundidad de 9 metros.



Figura 30: Recurso hidráulico disponible en la zona.

Elaboración propia.

2.8.2. Recurso solar

Según el servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) se obtuvo que la energía solar incidente diaria en la provincia de Melgar del departamento de Puno, clasificado por meses, es el siguiente:

- Febrero : 5.5 – 6 kW.h/m² día.
- Mayo : 5.5 – 6 kW.h/ m² día.
- Agosto : 4.5 - 5 kW.h/ m² día.
- Noviembre : 6 – 6.5 kW.h/ m² día.

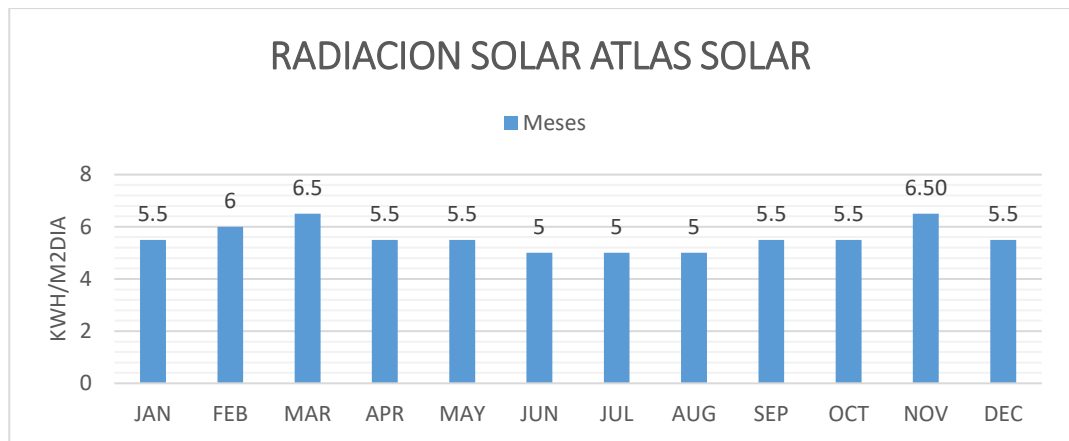


Figura 31: Radiación solar según el atlas de energía solar del Perú.

Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú, (2003).

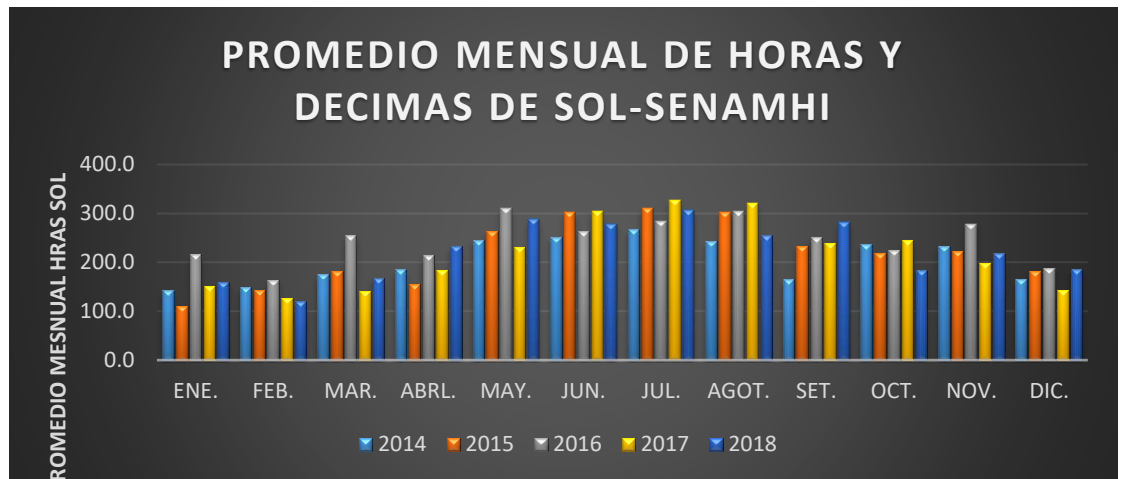


Figura 32: Promedio mensual de horas y decimas de sol.

Elaboración propia

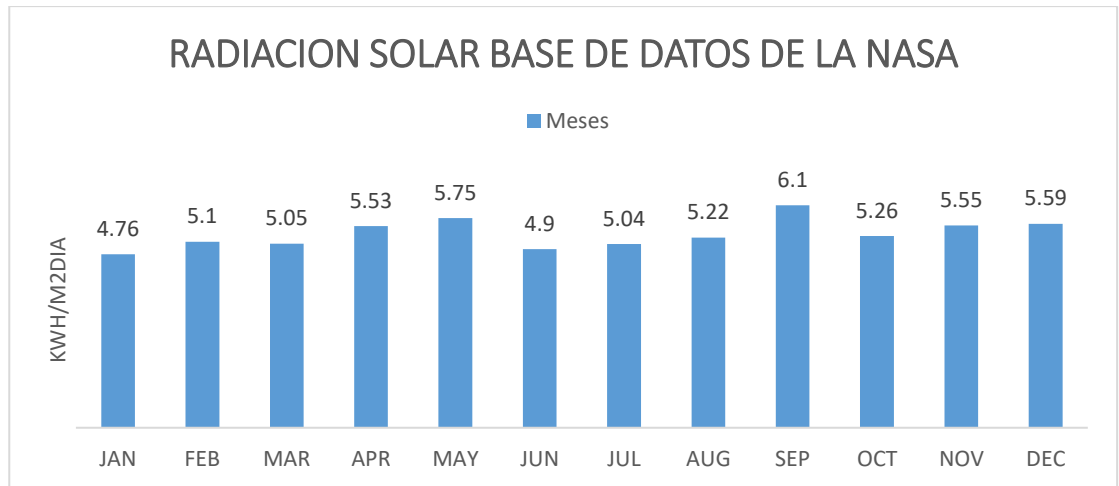


Figura 33: Parámetros de radiación solar según base de datos de la NASA

Fuente: Nasa.

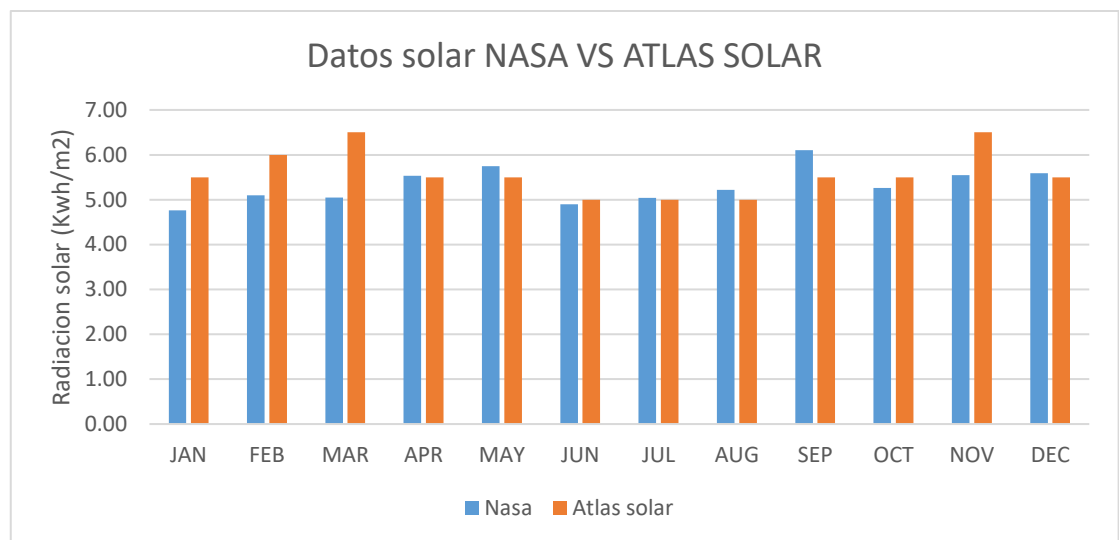


Figura 34: Comparación de datos de radiación solar.

Elaboración propia.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

3.1.1. Ubicación

El análisis técnico para la selección del equipo óptimo de bombeo usando energía solar fotovoltaica se realizará en el sector de Rosaspata de la cuenca Llallimayo del distrito de Cupi provincia de Melgar departamento de Puno.

El distrito de Cupi se ubica al norte en el departamento de Puno, en la provincia de Melgar, a una altitud de 3950-4200 msnm. Con una temperatura promedio máxima de 13°C y una mínima de 5°C. Al oeste de la capital de la provincia a una distancia de 38 km

- **Ubicación geográfica.**

La cuenca del río Llallimayo se ubica hidrográficamente dentro de la cuenca del río Ramis, y geográficamente entre las coordenadas mostradas a continuación,

Altitud	:	3,950.00 m.s.n.m.
Este	:	294,911.378 m.
Norte	:	8, 343,943.106 m.

- **Ubicación política.**

Sector	:	Llallimayo
Distrito	:	Llalli - Cupi
Provincia	:	Melgar
Departamento	:	Puno



Figura 35: Ubicación sector Rosaspata cuenca Llallimayo

Elaboración propia.

3.1.2. Accesibilidad

La articulación vial de la Zona de estudio, no presenta mayores dificultades, conectándose con la capital de la provincia de Melgar (Ayaviri), mediante la carretera Panamericana Puno – Juliaca y de Juliaca se encuentra aproximadamente a 98 Km. Ver Cuadro II-1.

Desde Ayaviri - Umachiri - Llalli (38 Km), otra vía de articulación del distrito es Ayaviri -Chuquibambabilla - Llalli.

Internamente, la integración vial del sector Rosaspata con las comunidades se efectúa mediante trochas carrozables y caminos de herradura, que son utilizados por la población de las comunidades.

Tabla 12: Vías de comunicación al distrito de Llalli.

RUTA	TIPO CARRETERA	TIEMPO	DISTANCIA
PUNO-JULIACA	Asfaltado	45 Minutos	51Km
JULIACA-AYAVIRI	Asfaltado	1 horas y 15minutos	98Km
AYAVIRI-UMACHIRI	Asfaltado	15 minutos	13.65Km
UMACHIRI-LLALLI	Asfaltado	10 minutos	18Km

Elaboración propia.

3.1.3. Clima

La zona de estudio se encuentra ubicada en la cuenca Llallimayo, con clima característico de la sierra, con temperatura promedio anual de 9.4 °C que se muestra en la tabla A.5 del anexo A, la humedad relativa media mensual es casi constante siendo su distribución anual de 80% que se muestra en la tabla A.1 del anexo A, con una velocidad de viento de 6.3m/s, se observa que las precipitaciones máximas se da en los meses de enero, febrero y marzo el mes de febrero alcanza una precipitación promedio de 212.8 mm.

3.1.4. Suelo

Los suelos de esta serie tienen una capa superficial poco profunda de material no pedregoso, de textura franco-arenoso a franco-arcilloso-arenoso.

Tabla 13: Descripción del perfil del suelo de la zona.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
Localización	En Sorapampa a 150m. Del camino Umachiri-Llalli
Pendiente	1-2%
Relieve	Plano
Drenaje natural	Bueno a algo excesivo
Profundidad efectiva	Moderada (55 cm)
Napa freática	No observable hasta 1.60cm
Salinidad	No aparente

Fuente: INAF (1986)



De acuerdo a las características químicas los suelos de esta serie presentan reacción moderadamente acida a lo largo de todo el perfil (PH entre 5.5 a 6.5), con contenido de carbonato de calcio generalmente bajo.

Con respecto a los contenidos de sales los análisis de laboratorio reportan valores bajos en todo el perfil (inferior a 0.43mmhos.)

Agronómicamente, estos suelos presentan entre buena a moderada capacidad para producir cosechas. Recomendándose llevar a cabo prácticas conservacionistas a fin de que las tierras no pierdan su nivel de producción, para ello se deben realizar rotaciones de cultivos, aplicación de enmiendas orgánicas e incorporación de abonos y fertilizantes. INAF. (1986).

3.2. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL TERRENO Y LA FUENTE DE AGUA

3.2.1. Características del terreno

El Estudio de la propuesta del bombeo de agua mediante energía solar aplicado al riego se realizará para la producción de alfalfa, se realizó en el predio de Rosaspata ubicado en el Distrito de Cupi a una altura de 3950 m.s.n.m, a nivel de parcela, abarcando un área de terreno de 2.49 has.

3.2.2. Fuente de agua

El agua para riego se aprovechará un pozo de 15x12mts una profundidad de 6 m. en épocas críticas (octubre), la cual será bombeada directamente hacia los aspersores.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.

Los materiales y equipos utilizados para el proyecto de tesis.

- Computadora Core i5.
- Impresora b/n, color.
- Cámara fotográfica Canon 16 mega pixeles.



- Memoria USB-8GB.
- Escáner y útiles de escritorio.
- Calculadora.
- Cinta métrica.
- flexo metro.
- Información climática del Senamhi (Datos históricos de las estaciones meteorológicas de Puno).
- Información del patrón del cultivo de pastos cultivados en la zona del estudio (datos de campo proporcionados por personas naturales del sector Rosaspata.
- Libros, artículos científicos y tesis referidas a sistemas solares, catálogos de empresas que comercializan equipos y materiales referidas a sistemas fotovoltaicos.
- Catálogos de las características de las bombas hidráulicas.
- Información de base de datos de la Nasa (velocidad del viento y la radiación solar).
- Información de la base de datos del ministerio de energía y minas (atlas solar del Perú).
- Páginas electrónicas de internet.

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de nivel descriptivo y enfoque cuantitativo porque se apoya en el contexto teórico para conocer, describir, relacionar o explicar una realidad, de acuerdo a lo planteado.

En cuanto al método que se empleó en el presente proyecto de tesis es teórica, para ello se recurrirá a bibliografías establecidas, catálogos, tablas, diagramas, herramientas computacionales datos meteorológicos (fuente SENAMHI y páginas base de datos de la



Nasa), Ministerio de Agricultura y Riego MINAGRI, PRONAMACHCS entre otras instituciones y universidades que realizan investigación en este campo con la finalidad de realizar el diseño y selección de un sistema solar para generación de energía eléctrica para que mejore el sistema de bombeo de agua con la finalidad de riego en el sector Rosaspata.

3.5. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Con el estudio del bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica con fines de riego, será una mejor alternativa y promoverá el crecimiento y fortalecimiento de sus economías de los productores del sector Rosaspata de la cuenca Llallimayo-provincia de Melgar.

3.6. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- Realizando el estudio se podrá proponer un sistema de riego apropiado, acorde a las características de sector de Rosaspata del distrito de Cupi.
- Es posible realizar el diseño agronómico e hidráulico, para el riego por aspersión de un cultivo en específico.
- Es posible determinar el requerimiento de generación de energía para que el sistema funcione y cantidad de paneles necesarios para satisfacer esa necesidad.
- Aplicando el riego mediante la energía solar fotovoltaica, será económicamente rentable y factible la ejecución del proyecto.

3.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de investigación propone realizar un estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero, de manera sustentable a la situación que padecen actualmente los pobladores de la zona. En la actualidad la principal fuente de ingreso de la economía de las comunidades del sector Rosaspata se basa en la crianza de animales (vacunos, ovinos, etc.) Para ello es primordial



realizar plantaciones de pastos y forrajes en gran cantidad para su alimentación, por ello la necesidad de contar con aguas permanentes es un factor fundamental para el desarrollo del sector, en nuestro país es evidente que aquellas comunidades apartadas de la geografía peruana presenten problemas de abastecimiento de agua para el regadío de sus pastizales y consumo, lo cual repercute en el desarrollo de su economía y calidad de vida.

Dada la situación, se ve en las energías renovables una gran oportunidad para poder combatir con el problema mencionado, además el sector Rosaspata de la cuenca Llallimayo proporciona los recursos necesarios (energía solar) napa freática accesible para poder implementar el estudio mencionado que permitirán su aprovechamiento óptimo de estos recursos que nos permita generar energía eléctrica suficiente para el funcionamiento de un sistema de bombeo de agua con fines de riego.

El presente proyecto además pretende despertar el interés de entidades y gobiernos locales y regionales, para fomentar la implementación de tecnologías limpias en sus proyectos de inclusión social, como sistemas de bombeo de agua para el consumo humano, ganadero y riegos en lugares inaccesibles o alejadas del departamento de Puno.

3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población beneficiara con el estudio del bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicada al riego, consta de 18 parcelarios que habitan en el sector Rosaspata de la cuenca Llallimayo del distrito de Cupi. De las cuales cada familia posee un área promedio de 4has de pastos cultivados.

3.9. PROCEDIMIENTO

El presente estudio se desarrolló en tres etapas, recopilación de información, trabajo de campo y trabajo de gabinete.



3.9.1. Recopilación de la información

Se recopiló toda la información básica: ubicación, vías de acceso, fuentes de agua, además de información meteorológica y cartográfica de la zona.

3.9.2. Trabajo de campo

En esta etapa se constató todos los recursos naturales disponibles en la zona de trabajo como son, ubicación y toma de medidas del pozo (recurso hídrico), se dimensiono el área que abarca el proyecto.

3.9.3. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consistió en ordenar y procesar la información obtenida, la metodología que se empleó en esta etapa del proyecto podemos clasificarlo en cuatro grupos, (diseño agronómico, diseño hidráulico, dimensionamiento del equipo fotovoltaico y evaluación económica del proyecto), donde se realizaron las siguientes acciones:

- **Diseño agronómico del sistema de riego por aspersión.** (Consistió en la determinación de la evapotranspiración potencial, determinación de la precipitación efectiva, determinación de la evapotranspiración real del cultivo de alfalfa, determinación de la demanda de agua, determinación de la demanda del proyecto, determinación de la lámina neta, determinación de la lámina bruta, elección del marco de riego y el tipo de aspersor, determinación de los parámetros de riego, determinación del caudal del sistema y análisis e interpretación de resultados).
- **Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.** (consistió en la elaboración de los planos de planta y diseño de la línea de conducción, las secundarias y los ramales porta aspersores).
- **Dimensionamiento de la bomba y el arreglo fotovoltaico.**

Consistió en determinar la potencia y capacidad necesaria del equipo de bombeo también se determinó la potencia y cantidad de los paneles solares.

- **Análisis económico del proyecto.**

(Se realizó un análisis económico con los productos que más se acomodan a la zona según el clima (Avena, Alfalfa, Papa).

Para el trabajo de gabinete fue necesario el uso de tablas, métodos y fórmulas que se mencionan a continuación:

3.9.4. Diseño agronómico

3.9.4.1. Evapotranspiración potencial (ETp).

Se utilizó el método de Hargreaves, en base a datos de temperatura, humedad relativa, y la altitud o elevación del lugar, las fórmulas nro. 11 Están dadas para el cálculo de la evaporación potencial.

Tabla 14: Datos de meteorología brindados por la estación meteorológica

Chuquibambilla.

DATOS METEOROLÓGICOS	
Mes	Octubre
Cantidad de días	31
Latitud del sector Rosaspata-Cupi	14° 54' 55"
Altura del sector Rosaspata-Cupi (E)	3950
Temperatura promedio (TMF)	10°C
Humedad relativa Promedio (HR)	79
Velocidad del viento a 10 metros de altura (v)	5.4
Precipitación por mes (P)	31.4

Fuente: Senamhi.

Hallamos el factor mensual de latitud (MF), mediante el cuadro que se encuentra en la tabla B.1 del anexo B, sabiendo que la latitud sur de la zona es de 14° y el mes más seco es octubre, lo determinamos; en la tabla 15 donde se indica los factores mensuales de latitud para la latitud sur 14°.

Tabla 15: Factor mensual de latitud.

LATITUD	MESES											
	sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
14°	2.68	2.32	2.34	1.96	1.73	1.54	1.65	1.90	2.14	2.49	2.54	2.71

Fuente: Estudio climatológico de la zona andina, informe técnico FAO/UNESCO/OMM.

Datos:

$$MF = 2.49 \text{ mm/mes}$$

$$TMC = 10.48$$

$$HR = 79\%$$

$$E = 3950$$

Reemplazamos en las ecuaciones respectivas que se tiene.

$$TMF = \frac{9}{5} * 10.48 + 32 = 50.86$$

$$CH = 0.166(100 - 79)^{0.5} = 0.76$$

Luego.

$$ETp = 2.49 * 50.86 * 0.76 * 1.079$$

$$ETp = 103.85 \text{ mm/mes}$$

Hallamos el factor de cultivo (K_c), mediante el cuadro que se encuentra en la Tabla B.2 del anexo B, sabiendo que los cultivos consumen más agua durante su fase de maduración o fase 3.

De los datos obtenidos observamos que el K_c para pastos cultivados (alfalfa) se considera 1, lo que usaremos este valor en el cálculo para hallar la máxima demanda de agua de los cultivos de la siguiente manera:

Datos:

$$ETp = 103.85 \text{ mm/mes}$$

$$K_c = 1$$



3.9.4.2. Evapotranspiración real o actual (ETc).

La evapotranspiración real o actual o también llamado uso consuntivo se determina a partir de las fórmulas.

$$ETc = 103.85 * 1$$

$$ETc = 103.85 \text{ mm/mes}$$

3.9.4.3. Determinación de la precipitación efectiva (ETp).

Hallamos la precipitación efectiva (PE), mediante la ecuación 15, sabiendo que la precipitación mensual es de 31.4 mm/mes.

$$PE = 0.6P - 10 \text{ SI } P < 75 \text{ mm/mes}$$

$$PE = 0.6 * 31.4 - 10$$

$$PE = 8.84 \text{ mm/mes}$$

3.9.4.4. Necesidad de agua de los cultivos (DA).

Para la determinación de la necesidad de agua de los cultivos se tuvo en cuenta la formula.

$$DA = ETc - PE$$

$$DA = 103.85 - 8.84$$

$$DA = 95.01 \text{ mm/mes}$$

$$DA = 3.06 \text{ mm/dia}$$

3.9.4.5. Demanda del proyecto (Dp).

La demanda del proyecto (Dp) será igual a la necesidad de riego del cultivo (DA) dividida por la eficiencia de riego del proyecto (Er).

$$Dp = DA/Er \quad (36)$$

$$Er = Ea * Ed * Ec \quad (37)$$

Donde:

Dp : Demanda de agua del proyecto (mm).



DA : Demanda de agua de los cultivos (mm).

Er : Eficiencia de riego (%)

Ea : Eficiencia de aplicación (%)

Ed : Eficiencia de distribución (%).

Ec : Eficiencia de conducción (%).

Para el sistema de riego por aspersión se toma en consideración las pérdidas que ocurren mayormente a nivel parcelario, porque la conducción está entubada desde la fuente y minimiza las pérdidas a este nivel, lo mismo pasa con la distribución, por lo tanto se asume que las principales pérdidas ocurrirán a nivel parcelario, justamente en la aplicación del agua al cultivo, entonces por lo mencionado la eficiencia de riego prácticamente equivale a la eficiencia de aplicación, está definido por la fórmula.

$$D_p = DA/E_a \quad (38)$$

$$D_p = 95.01/0.75$$

$$D_p = 126.68 \text{ mm/mes}$$

3.9.4.6. Módulo de riego.

Remplazamos en la ecuación

$$M_r = \frac{10000}{86400} * 126.68/31$$

$$M_r = 0.47 \frac{l}{s/ha}$$

3.9.4.7. Determinación de lámina de riego.

Cálculo de la lámina neta de riego (L_n) y cálculo de lámina bruta de riego.

Para esos cálculos utilizaremos las siguientes relaciones.

$$L_a = \frac{C.C. - P.P.M.}{100} * D_a * d \quad (39)$$



Donde:

La : Lámina de agua almacenada en cm.

C.C. : Capacidad de campo en %.

P.M.P. : Punto de marchitez permanente en %.

D.a. : Densidad aparente.

D : Profundidad efectiva de raíces en cm.

Para suelos totalmente secos, en el punto de marchitez permanente, obtenemos los valores de capacidad de campo punto de marchitez eficiencia de aplicación profundidad de raíces de la tabla B.3, B.4 y B.5 de los anexos.

Datos:

CC = 16.28

P.M.P. = 7.78

D.a. = 1.45

D = 90

% agotamiento = 60%

Efic de aplicación = 75%

Calculo lámina de agua almacenada.

El cual está dada por la fórmula 40:

$$La = \frac{C. C. - P. P. M.}{100} * Da * d \quad (40)$$

Remplazamos en la ecuación 40:

$$La = \frac{16.28 - 7.78}{100} * 1.45 * 90$$

La = 11.09cm

Calculo lámina neta de riego (LNR)

$$L. N. R. = La * \% \text{ de agotamiento} \quad (41)$$

Remplazamos en la ecuación 41:



$$L. N. R. = 11.09 * 0.60$$

$$L. N. R. = 6.66 \text{ cm}$$

Calculo lámina bruta de riego (L.B.R.)

$$L. B. R. = \frac{L. N. R}{Ea} \quad (42)$$

Donde:

L.B.R. : Lamina bruta de riego.

L.N.R. : Lamina neta de riego.

Ea : Eficiencia de riego.

Remplazando:

$$L. B. R. = \frac{6.66}{0.75}$$

$$L. B. R. = 8.87 \text{ cm}$$

Para los cálculos de lámina neta de riego y lámina bruta de riego se utilizó las tablas B.3 y B.5 de los anexos, cuyos valores fueron obtenidas mediante un estudio realizado por el ministerio de agricultura en la zona.

Para el cálculo de la L.B.R. se ha estimado una eficiencia de aplicación (Ea) de 75%.

También se consideró un porcentaje de agotamiento de 60%.

3.9.4.8. Infiltración en los suelos.

Tabla 16: Velocidad de Infiltración Básica en los suelos según su textura.

Textura	Velocidad de Infiltración Básica (mm/hr.)
Arcilloso	3.8
Franco Arcilloso	6.4
Franco Limoso	7.6
Limoso	8
Franco	8.9
Limo Arenoso	10
Arenoso Limoso	15
Franco Arenoso	16
Arenoso	19
Arenoso Grueso	50

Fuente: Manual "Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas", Proyecto MASAL.



Para nuestro caso según los resultados que se tomaron como datos, según investigación del instituto nacional de ampliación de la frontera agrícola (INAF) del proyecto Chuquibambilla, el tipo de suelo es franco-arenoso a franco-arcilloso-arenoso, entonces de acuerdo a la tabla 16 la velocidad de infiltración será 16mm/hr.

3.9.4.9. Elección del marco de riego y tipo de aspersor.

Se seleccionó un marco de riego de 18 x 18 m². La elección del aspersor fue de acuerdo a lo que menciona el catalogo VYRSA, donde se seleccionó un aspersor de impacto agrícola de medio caudal de sector circular, siendo sus especificaciones técnicas: aspersor con dos boquillas de 4.8x3.2mm, presión de 3.5bar, caudal de trabajo 2600l/h, alcance de mojado 15m.

• Cálculo de los parámetros de riego.

Datos:

Lb	=	8.87cm	
Pms	=	8.0mm/h	
M.R.	=	18x18 m ²	
Tdr	=	8 hr/día	(criterio del proyectista)
Dp	=	126.68	

Remplazando valores:

$$Fr = 126.82/88.7$$

$$Fr = 2 \text{ Riegos/mes}$$

$$Dr = 126.82/2$$

$$Dr = 63.34\text{mm}$$

$$Pms = 2600/(18 * 18)$$

$$Pms = 8\text{mm/hr}$$



$$Tr = 63.34/8$$

$$Tr = 8 \text{ horas}$$

$$T = 31/2$$

$$T = 15 \text{ Dias}$$

$$P = 8 / 8$$

$$P = 1 \text{ Postura/día}$$

3.9.4.10. Número y disposiciones de alas.

Para determinar el número de alas necesarias lo primero que hay que proveer es la posible disposición de estas y de la tubería principal enterrada. En la parcela rectangular la disposición más frecuente suele ser colocar la tubería principal paralela al lado mayor (tarjuelo, 1999).

Y, en este caso, por el centro de la parcela al resultar alas no demasiado largas ($126/2 = 63 \text{ m}$).

El número de aspersores (N_a) se calculará teniendo en cuenta que la menor separación entre aspersores (18 m) será dentro del ala y la mayor (18m) será entre alas, así se tendrá:

$$N_a = 126/18$$

$$N_a = 7$$

Lo que implica 7 posiciones de aspersores en esta dirección.

$198/18 = 11$, lo que implica 11 posiciones de ala en esta dirección.

El número total de posiciones de aspersor será pues **Nat= 11x7 = 77**.

Con estos datos calculamos el número de aspersores funcionando $N^{\circ}asf$

$$N^{\circ}asf = \frac{2.4948 * 10000}{18 * 18 * 1 * 10}$$

$$N^{\circ}asf = 7$$

Determinación del caudal del sistema.



$$Q_S = 0.72 * 7$$

$$Q_S = 51/s$$

3.9.5. Diseño hidráulico

Para realizar el diseño hidráulico se tendrán en cuenta los siguientes datos:

Longitud de tuberías

$$B-A = 30m$$

$$A-C = 189m$$

$$C-P = 54m \text{ (longitud del ala)}$$

- Se desprecian los desniveles existentes en la parcela.
- El aspensor se encontrarán a 2 m por encima del terreno y la pérdida de carga en el tubo portaaspensor se estima en 0.5m.
- Todas las alas de riego y las tuberías de alimentación de las alas serán iguales por tratarse de un sistema fijo aéreo.
- Las pérdidas de carga singulares se estiman en un 20% de las continuas en todas las tuberías.

3.9.5.1. Dimensionamiento del ala de riego.

El ala tiene 3 aspersores más uno en el origen, que no se considera para su dimensionamiento.

Datos:

$$\text{Número de aspersores por ala} = 3$$

$$\text{Caudal} = 0.72l/s$$

$$Q = \# \text{ de aspersores de ala} * \text{caudal del aspensor} \quad (43)$$

$$Q = 3 * 0.72$$

$$Q = \frac{2.16l}{s} = 7.8m^3/h$$

$$Q = 7800l/h$$



Longitud del ala

$$L = 3 * 18 = 54\text{m}$$

Asumimos valores:

$$\beta = 1.8 \quad I_0 = 1$$

Con el número de aspersores por ala $N=3$ nos vamos a la figura D.3 de los anexos obtenemos coeficientes de Christiansen (F)

$$F = 0.540$$

Sabemos que la presión de trabajo es 3.5bar, la condición de diseño según la tabla 11 será:

$$\left(\frac{P_0}{\gamma} - H_a\right) - \frac{P_n}{\gamma} = h \leq 0,2\text{Pa}/\gamma$$

Reemplazando:

$$h \leq 0,2 * 35 = 7\text{m}$$

$$h' = \frac{7}{0.540} = 12.98\text{m}, \text{ y como } h' = h'r + h's = 1.20\text{hr.}$$

Se tendrá:

$$J_{100} = \frac{hr}{L} = \frac{12,98/1,2}{0.54} = 20 \text{ m}/100\text{m}$$

Con este valor J_{100} y caudal $Q=7.8\text{m}^3/\text{h}$, nos vamos al ábaco de PVC que se encuentra en la fig. D.4 de los anexos y se obtiene que el diámetro comercial inmediato superior al estrictamente necesario es 40mm.

Reemplazando los valores en la fórmula de Hazen-Williams, se obtiene la pérdida de carga real

$$hf = \frac{10.667}{D^{4.871}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * L \quad (44)$$

Remplazamos los valores en la ecuación 44:

$$hf = \frac{10.667}{0.04^{4.871}} \left(\frac{2.16 * 10^{-3}}{150}\right)^{1.852} * 54$$



$$hf = 4m$$

Teniendo las pérdidas del ala recalculamos el diámetro de la tubería con la fórmula de Hazem-Williams.

$$D = \left[\frac{3.157 * Q^{1.852} * L}{C^{1.852} * hf} \right]^{0.2053} \quad (45)$$

Remplazando:

$$D = \left[\frac{3.157 * 7800^{1.852} * 54}{150^{1.852} * 4} \right]^{0.2053}$$

$$D = 40mm$$

Lo cual es válido el diámetro de la tubería elegida.

Las presiones en el origen del ala y en el último aspersor son respectivamente:

$$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4} * h + H_a$$

$$\frac{P_0}{\gamma} = 35 + \frac{3}{4} * 3.5 + 2.5 = 40m$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4} * h$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 35 - \frac{1}{4} * 3.5 = 34m$$

3.9.5.2. Dimensionamiento de la tubería de alimentación.

$$Q = 7 * 2.6$$

$$Q = 18.2m^3/h$$

Con este caudal nos vamos a la fig. D.4 de los anexos y se tomara tubería de PVC de diámetro 63mm, con $V=2m/s$.

3.9.5.3. Presion en el origen (B) de la tubería general.

Sabemos que el caso mas desfavorable se presentara cuando funciona el ultimo hidrante, debemos garantizar la presion minima, se tendra.



$$hf = \frac{10.667}{0.063^{4.871}} \left(\frac{5 * 10^{-3}}{150} \right)^{1.852} * 199$$

$$hf = 7.6m$$

Recalculamos el diámetro de la tubería

$$D_{AC} = \left[\frac{3.157 * 18200^{1.852} * 208}{150^{1.852} * 7.6} \right]^{0.2053}$$

$$D_{AC} = 63.4mm$$

Lo cual es válido el diámetro de la tubería elegida..

Perdidas en el tramo BA

$$h_{BA} = \frac{10.667}{0.063^{4.871}} \left(\frac{5 * 10^{-3}}{150} \right)^{1.852} * 30$$

$$h_{BA} = 1m$$

$$D_{BA} = \left[\frac{3.157 * 18200^{1.852} * 30}{150^{1.852} * 1} \right]^{0.2053}$$

$$D_{BA} = 65mm$$

Entonces el diametro en el BA es 65mm se tomara el diametro comercial superior

75mm.

La presion en el origen será:

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_O}{\gamma} + h(ala) + h_{AC} + h_{BA}$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = 40 + 3.5 + 7.6 + 1$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = 52m$$

3.9.5.4. Cálculo de pérdidas en la sección 1.

Datos:

$$\text{Caudal} = 5l/s = 5 \times 10^{-3} m^3/s$$



Diámetro nominal= 63mm

Diámetro interno=59.8mm=0.0598m

Cálculo de la Velocidad.

$$V=Q/A$$

$$V=1.78\text{m/s}$$

Cálculo del número de reynolds.

Tabla 17: Propiedades físicas del agua.

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Presión de vapor (kPa)
0	999.9	1.792x10 ⁻⁶	0.61
5	1000	1.519x10 ⁻⁶	0.872
10	999.7	1.308x10 ⁻⁶	1.13
15	999.1	1.141x10 ⁻⁶	1.6
20	998.2	1.007x10 ⁻⁶	2.34

Fuente: Potter, C. y Wiggert, C. (1998)

De la tabla 17 tomaremos la viscosidad cinemática para una temperatura de 10°C.

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = 8 \times 10^4$$

Cálculo de la rugosidad relativa.

Tabla 18: Parámetros para el cálculo de la rugosidad relativa.

MATERIAL TUBERÍA	PVC
Diámetro nominal	63
Diámetro interior	59.8mm
Longitud de la tubería	7m
L/D	117
Rugosidad e	0.0015

Elaboración propia.

$$\epsilon_r = \epsilon/D$$

$$\epsilon_r = 2.5 * 10^{-5}$$

Cálculo del Coeficiente de Fricción.

Datos:

$$Re = 8 \times 10^4$$

$$\varepsilon_r = 2.5 \times 10^{-5}$$

Nos vamos al diagrama de Moody y obtenemos el coeficiente de fricción.

$$f = 0.019$$

Cálculo de Pérdidas de Energía Debido a la Fricción.

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

$$h_f = 0.35m$$

Cálculo de Pérdidas Menores (accesorios).

Tabla 19: Valores de K perdidas en accesorios.

ACCESORIOS	K	CANTIDAD	TOTAL
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	0	0
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	0	0
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	0	0
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	0	0
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	0	0
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$)	1.15	0	0
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$)	5.6	0	0
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$)	24	0	0
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	0	0
“T” por la salida lateral	1.8	0	0
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.9	0	0
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	1	0.75
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.6	0	0
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	0	0
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.4	0	0
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	0	0
Total de pérdidas menores			0.75

Fuente: Conagua (2002).

De la tabla 19 tenemos el total de pérdidas en los accesorios, hallamos las pérdidas secundarias.



$$h_s = \frac{K * V^2}{2g}$$

$$h_s = 0.12m$$

Cálculo de las pérdidas totales en la tubería de succión.

$$h_{st} = 0.47m$$

Cálculo de las pérdidas totales en el sistema.

$$h_{s \text{ total sit}} = 7 + 52 + 0.47$$

$$h_{st} = 59.47m$$

3.9.6. Selección de la bomba solar

Usando una presión o altura dinámica total de 59.47m y teniendo en cuenta que se necesita bombear un volumen diario de 144 m³ de agua, seleccionamos la clase de bomba que se debe utilizar en el sistema.

3.9.7. Dimensionamiento y elección de la bomba a instalar

Ahora que se ha establecido el requerimiento se puede ver en el mercado la bomba solar que cumpla con el requerimiento calculado.

En el mercado existen una gran variedad de firmas que fabrican bombas adecuadas para el sistema calculado y de las cuales poseen motor de corriente continua lo que permite una conexión directa con los paneles solares. Se elige usar equipo de bombeo de la firma Pedrollo debido a su confiabilidad y relación precio calidad. Estas bombas son de procedencia Italiana, las cuales son especialmente creadas para aplicaciones rurales.

La bomba Pedrollo considerada para el predio es la serie 4SR75G que consiste en un sistema de bombeo alimentado con energía solar. La bomba pertenece a la serie que puede elevar agua hasta una altura 66m y puede bombear a 18m³/h, tiene una instalación simple y no requiere de mantenimiento. Posee una alta confiabilidad y esperanza de vida.



3.9.7.1. Cálculo de la bomba

En este punto para el cálculo se usará la ecuación 46. Los datos del problema son:

$$PB = \frac{Q_S * H_T * \gamma}{n} \quad (46)$$

Donde:

PB : Es la potencia requerida por la bomba.

QS : Es el caudal del sistema o en la subunidad de riego (m³/s)

HT : Es la carga total del sistema (m)

n : Es la eficiencia de la bomba (0.8-0.85)

Nota: por ser una bomba sumergible no se consideran las pérdidas de carga de la sección 1.

Datos:

$$QS = 18.2 \text{ m}^3/\text{h} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Eficiencia de la bomba (Eb)} = 54\%$$

Reemplazando:

$$PB = \frac{5 * 10^{-3} * 59 * 1000}{0.54}$$

$$PB = 5353 \text{ w} = 5.35 \text{ kw}$$

$$PB = 7 \text{ hp}$$

3.9.8. Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

Para ello hallamos la radiación global diaria del lugar de estudio ubicando en el sector Rosaspata, en el mapa del Perú de energía solar incidente obtenida del “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” (SENAMHI), para el mes de octubre por ser el mes más seco y consecuentemente el de mayor necesidad de agua según datos obtenidos por la estación meteorológica de Chuquibambilla.

Entonces teniendo los rangos de energía solar incidente mensual próximo al sector Rosaspata determinamos la radiación global para el mes de octubre, que se encuentra en la figura 31 y 33 cuyo valor varía entre 5 a 6.5 kW.h/m-día, por lo que usando el menor valor de 5W.h/m2-día para este proyecto, podemos estimar la potencia necesaria para el caso de estudio, según la ecuación extraída de “manual de selección de bombas solares”

El proyecto requiere una demanda de agua 18 m3/h por sector, es decir la demanda de agua total es de 146m3/día, por lo que el área total de los paneles debe entregar energía suficiente para la demanda solicitada. Como los paneles existentes han llegado solo hasta una eficiencia en laboratorio de 44,7%, debemos considerar un área de exposición mayor para el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta que los paneles comercializados aún no alcanzan esa eficiencia.

$$P_{SG} = \frac{11.6 * H_{man} * Vol}{G_D} \quad (47)$$

Donde:

P_{SG} : Potencia necesaria en paneles solares [W.h/día]

Vol : Volumen que se desea bombear 146.4 [m3/día].

H_{man} : Altura manométrica total 59 [m.c.a.].

G_D : Radiación global diaria de la localidad [KW.h/m2-día].

Remplazando los valores en la ecuación.

$$P_{SG} = \frac{11.6 * 59 * 146}{5}$$

$$P_{SG} = 19984W. h/dia$$

Entonces conociendo la potencia necesaria (P_{SG}), se puede obtener el tamaño de los paneles solares y la manera más simple de hacerlo es utilizando la siguiente ecuación.

$$A_r = \frac{1200 * P_{SG}}{G_D} \quad (48)$$

Donde:



A_r : Tamaño del módulo fotovoltaico [Wp].

P_{SG} : Potencia necesaria 15170.9 [W.h/día].

G_D : Radiación global diaria de la localidad 5000 [W.h/m²-día].

Remplazamos los valores en la ecuación.

$$A_r = \frac{1200 * 19984}{5000}$$

$$A_r = 4796 \text{ Wp}$$

La ecuación 48 da como resultado el tamaño de los módulos fotovoltaicos en la unidad Watt pico, que es la máxima salida de potencia de un panel fotovoltaico bajo condiciones estándares, es decir con un brillo solar completo, aproximadamente de 1000 W/m² y a 25°C de temperatura ambiente.

Para la selección de los módulos solares en el mercado local existen muchas calidades y tipos de células, cada una con diferente eficiencia y para este proyecto se optó el tipo de célula con características intermedias en costo y eficiencia es la policristalina. Entonces para efectos de estudio seleccionamos módulos solares policristalinos marca ERA por ser uno de las marcas locales más conocidas.

Según el catálogo existen paneles cuyas potencias varían entre 150 a 330W, pero para generar altas potencias se considera desde 250 a 330 W, sabiendo esto, se calcula la cantidad de módulos solares mediante la ecuación 49.

$$N_{MS} = \frac{A_r}{P_{max}} \quad (49)$$

Donde:

N_{MS} : Cantidad de módulos solares.

A_r : Tamaño de modulo voltaico 546.15 [Wp].

P_{max} : Máxima potencia de modulo solar 295 [W]

$$N_{MS} = \frac{4796}{320}$$

$$N_{MS} = 14.9 \cong 15$$

Entonces se necesitan 15 paneles solares de 320W.

Cabe aclarar que, este cálculo no cubre factores como suciedad, días nublados ni otros (si por estos factores se considera unos tres paneles lo que se requeriría un total de 18 paneles solares).

Seleccionamos el módulo de 320 Watts por ser económico, donde su precio por 18 módulos solares es de S/13,991, El detalle de las especificaciones técnicas del módulo solar se encuentra en la figura G.1 de los anexos; cuyas características eléctricas son mostradas en la tabla.

Tabla 20: Características eléctricas PANEL SOLAR 320W 24V.

CARACTERISTICAS	ESPMC-320W-24V
Tensión optima de operación (V_{mp})	37.65
Corriente optima de operación (I_{mp})	8.5V
Tensión en circuito abierto (V_{oc})	45.45V
Corriente de corto circuito (I_{sc})	9.1A
Máxima potencia STC (P_{max})	320W
Eficiencia del modulo	16.40%
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Tensión máxima de sistema	1000V DC (IEC)/600V DC
Tolerancia de potencia	0/+5%

Fuente: solar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

Tabla 21: Características mecánicas PANEL SOLAR 320W 24V

TIPO DE CÉLULA	SILICIO 156X156MM (6 PULGADAS)	POLICRISTALINO
Número de células		72(6X12)
Dimensiones	1956X992X45mm(77x39.1x2 pulgadas)	
Peso	20kg	
Vidrio frontal	Vidrio templado de 3.2mm	
Marco	Aleación de aluminio anodizado	
Caja de conexiones	clase IP67 (3 diodos bypass)	
Cables de salida	4mm ² solar cable 2x900mm	
Conectores	Conectores H4 (MC4 conectables)	

Fuente: Autosolar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

3.10. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Para la implementación del sistema de riego por aspersión y sea la mejor alternativa de inversión se realizará el análisis económico técnico lo cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 22: Detalle de costos del sistema de riego fotovoltaico.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE MATERIALES	UND.	CANT.	COSTO UNIT S/.	COSTO TOTAL S/.
1 SISTEMA FOTOVOLTAICO					
1.01	PANEL FOTOVOLTAICO 320WP 24V	UND	18	777.00	13,986.00
1.02	CONTROLADOR-REGULADOR 7,5KW 400V	UND	1	4,000.00	4,000.00
1.03	ESTRUCTURA PARA CUBIERTA INCLINADA 10 UND KH915	UND	2	987.00	1,974.00
1.04	CABLE ROJO DE ZZ-F SOLAR PV DE 6mm2	M	50	8.10	405.00
1.05	CABLE NEGRO DE ZZ-F SOLAR PV DE 6mm2	M	50	8.10	405.00
1.06	REPARTIDOR LEGRAND BORNERA SELECCIONABLE 40 ^a	UND	1	163.00	163.00
1.07	BOMBA SOLAR SUMERGIBLE PEDROLLO 7HP	UND	1	3,769.00	3,769.00
1.08	MONTAJE EQUIPO FOTOVOLTAICO	CJTO	1	200.00	200.00
SUB TOTAL 1:					24,902.00
2 EQUIPO DE RIEGO					
2.01	ASPERSOR VYR 70 3/4" CIRCULAR BRONCE (A01/A3) "toberas 4.8x3.2mm"	UND	10	45.00	450.00
2.02	TUBERIA DE PVC D=40mm L=5m	M	238	26.00	6,188.00
2.03	TUBERIA DE PVC D=63mm L=5m	M	42	49.00	2,058.00
2.04	TUBERIA DE PVC D=75mm L=5m	M	6	84.00	504.00
2.05	VALVULA COMPUERTA DE BRONCE 63mm	UND	10	109.00	1,090.00
2.06	VALVULA COMPUERTA DE BRONCE 75mm	UND	1	140.00	140.00
2.07	MANOMETROS HIDRAULICOS 2 INCLUYE ACCESORIOS	UND	2	87.00	174.00
2.08	CRUZ NORMAL 63mm	UND	10	17.00	170.00
2.09	TEE PVC 63 mm	UND	1	7.90	7.90
2.1	TEE PVC 40 mm	UND	44	4.80	211.20
2.11	CODO PVC 40mm	UND	22	4.20	92.40
2.12	CODO PVC D= 75mm, 90°	UND	1	9.80	9.80



Continuación

2.13	REDUCTOR PVC 75mm a 63mm	UND	1	18.00	18.00
2.14	TUBO METÁLICO PORTAASPERSOR 3/4X1m	UND	10	22.00	220.00
2.15	OTROS	CJTO	1	500.00	500.00
SUB TOTAL 2:					11,833.30
3	PUESTA A TIERRA				
3.01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE D=16MMX2.4M	UND	1	42.30	42.30
3.02	CONECTOR TIPO AB PARA ELECTRODO DE 16MM	UND	1	4.20	4.20
3.03	CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO PARA PUESTA A TIERRA 0.5X0.5X0.45M	UND	1	53.00	53.00
3.04	CABLE DE ACERO CON RECUBRIMIENTO METALÚRGICO DE CU DE 6 AWG (13.3MM2), PARA PUESTA A TIERRA	M	5	3.70	18.50
3.05	TUBO DE PVC DE 3/4"X3M TIPO SEL	UND	2	2.00	4.00
3.06	CURVA DE PVC DE 3/4" TIPO SEL	UND	1	0.50	0.50
3.07	ABRAZADERA GALVANIZADA DE DOS OREJAS PARA TUBO PVC DE 3/4	UND	5	0.60	3.00
3.08	TARUGO DE PVC FISHER 6X30	UND	10	0.10	1.00
3.09	TORNILLO TIRAFONDO 5/32"X1-1/4	UND	10	0.10	1.00
3.10	BENTONITA	UND	1	22.00	22.00
3.11	TIERRA DE CULTIVO	M3	1	30.00	30.00
3.12	MONTAJE DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA	CJTO	1	350.00	350.00
SUB TOTAL 3:					529.50
COSTO TOTAL REFERENCIAL DEL PROYECTO					37,264.80

Elaboración propia.

3.10.1. Costos de producción en la zona

3.10.1.1. Costo de siembra y cosecha en la zona.

El costo de la mano de obra para sembrar y para cosechar 2.5 hectáreas en el sector de Rosaspata en Melgar es de S/.30 por persona, por lo general se necesita de 4 personas, por lo que, el monto de la mano de obra es de S/.120.

Durante la siembra en el sector de Rosaspata en Melgar, el costo de las semillas o tubérculos para ser sembrados se observan en la tabla 23.

Tabla 23: Costo de siembra de productos agrícolas cultivados en la zona

PRODUCTOS AGRICOLAS	Kg/ha	en HECTÁREAS (kg)	2.5	PRECIO UNITARIO (S/.kg)	PRECIO TOTAL (S/.)
Cebada	130		325	1.2	390
Avena	130		325	1.8	585
Alfalfa	25		62.5	26	1625
Papa	1104		2760	1.2	3312

Elaboración propia

3.10.1.2. Precio de venta de productos agrícolas en la zona.

La producción de toneladas por hectárea de los principales productos agrícolas en el sector de Rosaspata lo podemos hallar en base a estudios realizados por las diferentes instituciones y universidades, CARITAS, MINAGRI, PRONAMACHCS, entre otras, que se encuentra en los anexos H, mientras que los precios de venta de estos productos los obtenemos mediante una visita realizada en el mercado de la zona que es la feria agropecuaria de Ayaviri, entonces asumiendo que se realizará una cosecha promedio de un tipo de producto agrícola en 2.5 hectáreas de cultivo en el sector de Rosaspata que luego será vendida, obtenemos la ganancia total expresada en la tabla 24 sin considerar los costos de producción.

Tabla 24: Lista de precios de productos agrícolas cultivados en la zona.

PRODUCTOS AGRICOLAS	ton/ha	Kg/ha	en 2.5 Ha (kg)	PRECIO UNITARIO (S/.kg)	N° de cosecha al año	PRECIO TOTAL (S/.)
Avena materia verde (MV)	21.7	21700	54250	0.7	1	37975
Avena materia seca (MS)	6.3	6300	15750	0.4	1	6300
Avena Ensilado	16.3	16300	40750	0.6	1	24450
Alfalfa Materia verde (MV)	14.4	14400	36000	1.2	2	86400
Alfalfa Materia Seca (MS)	5.2	5200	13000	0.8	2	20800
Alfalfa ensilada	10.4	10400	26000	0.9	2	46800
Papa	12	900	2250	1.2	1	2700

Elaboración propia.

De la tabla anterior observamos que la alfalfa es el producto cuyo precio de venta es el más alto, por otro lado, la papa es el de menor precio.

Por lo tanto, se realizará el análisis financiero para el alfalfa ensilado y la paca (materia seca), los cuales pueden ser almacenados en almacenes y en silos.

3.10.2. Análisis financiero

Es necesario realizar un análisis financiero para comprobar viabilidad del proyecto durante un lapso de 10 años. Las técnicas de evaluación por las cuales analizaremos el presente proyecto son VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) tomando como tasa de interés mínimo de 15% anual para moneda nacional (S/), que promueve la inclusión de productores agropecuarios al sistema financiero.

Cabe resaltar que con este proyecto se incrementará considerablemente la cosecha al año en el sector de Rosaspata para la evaluación financiera se tomará 5 cosechas en total al año. Por lo tanto, con el estudio de bombeo solar y la cosecha del producto agrícola que es la alfalfa analizamos la rentabilidad de la inversión tecnológica con el sistema de bombeo solar presente en la zona y sin él para el año dos, de la siguiente manera:

- Hallamos la inversión que es el costo del sistema de bombeo solar así como el sistema de riego por aspersión, los cuales son expresados en negativo ya que es un desembolso de dinero que sale de caja.

Inversión = (- Sistema de Bombeo Solar) + (- Sistema de Riego por Aspersión)

Inversión = - 29349.50 - 11 633

Inversión = S/. -41,183

- Hallamos los ingresos incrementales que son la diferencia de los ingresos considerando la implementación del sistema de bombeo solar con los ingresos sin esta implementación.

Ingresos Incrementales = Ingresos con proyecto - Ingresos sin proyecto



$$\text{Ingresos Incrementales} = 104,000 - 41,600$$

$$\text{Ingresos Incrementales} = 62,400$$

- Hallamos los egresos incrementales que son la diferencia de los egresos considerando la implementación del sistema de bombeo solar con los egresos sin esta implementación.

$$\text{Egresos Incrementales} = \text{Egresos con proyecto} - \text{Egresos sin proyecto}$$

$$\text{Egresos Incrementales} = 8,850 - 3,540$$

$$\text{Egresos Incrementales} = 5,310$$

- Hallamos el efecto neto que es la diferencia de los ingresos incrementales con los egresos incrementales.

$$\text{Efecto Neto} = \text{Ingresos Incrementales} - \text{Egresos Incrementales}$$

$$\text{Efecto Neto} = 62,400 - 5,310$$

$$\text{Efecto Neto} = 57,090$$

- Finalmente hallamos el flujo de caja nominal para el año 2 que es la suma del efecto neto más la inversión en mantenimiento.

$$\text{Flujo de caja Nominal} = \text{Inversión} + \text{Efecto Neto}$$

$$\text{Flujo de caja Nominal} = -1467 + 57,090$$

$$\text{Flujo de caja Nominal} = 55,623$$

Como sabemos el anterior procedimiento se realizó para el año 2 se consideró la inversión por mantenimiento del sistema de bombeo S/. 1467 anual que es el 5% del sistema de bombeo, de la misma manera se realizara el procedimiento para el resto de los años, para el año 1 se modificó el cálculo por que no habrá ganancias.

Una vez hallado el flujo de caja nominal para los años del 1 al 10 aplicamos el método del valor actual neto (VAN) además del método de la tasa interna de retorno (TIR)

donde se halla la tasa de interés cuando el VAN es igual a 0, entonces según las condiciones descritas y usando la ecuación podemos desarrollar la tabla 25 y 26.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

- I : Desembolso inicial de la inversión año 1 [S/].
 N : Número de periodos considerados.
 Q : Representa los flujos de caja anuales.
 r : Tasa de interés según Agrobanco 15 [%

Tabla 25: VAN, TIR y flujo de caja para proyecto de riego de alfalfa (ensilado) usando bomba solar.

VAN, TIR Y FLUJO DE CAJA PARA PROYECTO DE RIEGO DE ALFALFA USANDO BOMBA SOLAR										
RUBROS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. INVERSIÓN (Expresados en "negativo")	-41,183	-1,467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467
Sistema de bombeo solar	-29,350	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467
Sistema de riego por Aspersión	-11,833									
II. EFECTO NETO (A-B)	-	49,290	49,290	49,290	49,290	49,290	49,290	49,290	49,290	49,290
A. INGRESOS INCREMENTALES (a-b)	-	54,600	54,600	54,600	54,600	54,600	54,600	54,600	54,600	54,600
(a) Ingresos con proyecto	36,400	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000
Venta de alfalfa Ensilado (5 veces)	36,400	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000	91,000
(b) Ingresos sin proyecto	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400
Venta de alfalfa Ensilado (2 veces)	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400	36,400
B. EGRESOS INCREMENTALES (c-d)	-	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310
(c) Costos y gastos operativos con proyecto	7,018	8,850	8,850	8,850	8,850	8,850	8,850	8,850	8,850	8,850
Costo de siembra alfalfa (solo primer año)	3,478									
Cosecha con tractor agrícola (5 veces al año)	3,300	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250
Mano de obra cosecha (5 veces al año)	240	600	600	600	600	600	600	600	600	600
(d) Costos y gastos operativos sin proyecto	7,018	3,540	3,540	3,540	3,540	3,540	3,540	3,540	3,540	3,540
Costo de siembra alfalfa (solo primer año)	3,478									
Cosecha con tractor agrícola (2 veces al año)	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300
Mano de obra cosecha (2 veces al año)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
FLUJO DE CAJA NOMINAL (I+II)	-41,183	47,823	47,823	47,823	47,823	47,823	47,823	47,823	47,823	47,823
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-41,183	6,640	54,462	102,285	150,107	197,930	245,752	293,575	341,397	389,220
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	121,431.5									
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	50%									
TASA DE INTERES MINIMA	15%									

Elaboración propia.

Tabla 26: VAN, TIR y flujo de caja para proyecto de riego de alfalfa (materia seca) usando bomba solar.

VAN, TIR Y FLUJO DE CAJA PARA PROYECTO DE RIEGO DE ALFALFA USANDO BOMBA SOLAR										
RUBROS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. INVERSIÓN (Expresados en "negativo")	-41,183	-1,467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467
Sistema de bombeo solar	-29,350	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467	-1467
Sistema de riego por Aspersión	-11,833									
II. EFECTO NETO (A-B)	-	21,165	21,165	21,165	21,165	21,165	21,165	21,165	21,165	21,165
A. INGRESOS INCREMENTALES (a-b)	-	24,300	24,300	24,300	24,300	24,300	24,300	24,300	24,300	24,300
(a) Ingresos con proyecto	16,200	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500
Venta de alfalfa paca (MS) (4 veces)	16,200	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500	40,500
(b) Ingresos sin proyecto	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200
Venta de alfalfa paca (MS) (2 veces)	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200	16,200
B. EGRESOS INCREMENTALES (c-d)	-	3,135	3,135	3,135	3,135	3,135	3,135	3,135	3,135	3,135
(c) Costos y gastos operativos con proyecto	5,568	5,225	5,225	5,225	5,225	5,225	5,225	5,225	5,225	5,225
Costo de siembra alfalfa (solo primer año)	3,478									
Cosecha con tractor agrícola (4 veces al año)	1,050	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625
Mano de obra cosecha (4 veces al año)	240	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Transporte 4 veces (5 viajes)	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
(d) Costos y gastos operativos sin proyecto	5,568	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090
Costo de siembra alfalfa (solo primer año)	3,478									
Cosecha con tractor agrícola (2 veces al año)	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050
Mano de obra cosecha (2 veces al año)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Transporte 2 veces (5 viajes)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
FLUJO DE CAJA NOMINAL (I+II)	-41,183	19,698	19,698	19,698	19,698	19,698	19,698	19,698	19,698	19,698
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-41,183	-21,485	-1,788	17,910	37,607	57,305	77,002	96,700	116,397	136,095
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	4,735.1									
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	18%									
TASA DE INTERES MINIMA	15%									

Elaboración propia

De lo expresado en las tablas 25 y 26, si usamos el sistema de bombeo solar para el ensilado de alfalfa el proyecto tendrá un VAN de S/. 121,431.5 y una TIR de 50%, y para las pacas de alfalfa el proyecto tendrá un VAN de S/. 4,735.11 y una TIR de 18%, por lo tanto consideramos que el proyecto es aceptado en los dos casos ya que el indicador VAN es mayor a 0 y TIR es mayor a 15%.

Por lo tanto el sistema de bombeo solar y riego es rentable para la producción de alfalfa.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Diseño agronómico

4.1.1.1. Necesidad de agua de los cultivos y la demanda del proyecto.

La tabla 27 describe que el mes con mayor evapotranspiración es el mes de octubre siendo su valor de 104mm. La determinación de la precipitación efectiva se muestra también en la tabla 27, estos resultados indican que en los meses de junio, julio, agosto y setiembre no presenta precipitación y en el mes de febrero se obtiene un máximo de 145.2mm. Para determinar las necesidades de agua y la demanda del proyecto para la producción del cultivo de alfalfa se ha considerado como datos de partida un coeficiente de cultivo para la alfalfa de 1 (ver tabla B.2, anexo B) y una eficiencia de aplicación del 75%, con lo cual se obtiene el mes de máxima necesidad, octubre, con una necesidad de agua de cultivo de 95.12mm y una demanda del proyecto de 126.8mm. Estos resultados se muestran en la tabla 28.

4.1.1.2. El agua en el suelo.

Según los estudios analizados, el suelo posee una textura franco arcillosa Arenosa, con un pH entre 5.5 y 6.5, con respecto a contenido de sales reportan bajos en todo el perfil (inferior a 0.43 mmhos/cm), napa freática a partir de 1.60m, capacidad de campo y punto de marchites permanente promedio de 16.28% y 7.78% respectivamente (ver anexo B).

Para el cálculo de la lámina neta y la dosis bruta se ha considerado como datos de partida, un porcentaje de agotamiento de 60%, una eficiencia de aplicación del 75% y una profundidad radicular de 90 cm (ver tabla B.4)

obteniéndose así, una lámina neta de 66.6 mm y una lámina bruta de 88.7 mm, siendo esta la cantidad de lámina de agua que se necesita aplicar al cultivo de alfalfa

Tabla 27: Determinación de la evapotranspiración potencial y precipitación efectiva.

Variable	Unidad	Meses											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Número de días del mes	DM	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Temperatura media °C (TMC)	°C	10.42	10.31	10.16	9.78	8.52	7.11	6.71	8.21	9.365	10.48	10.92	10.8
Temperatura media °F (TMF)	°F	50.75	50.56	50.28	49.6	47.34	44.8	44.08	46.78	48.86	50.86	51.65	49.28
Humedad relativa media mensual (HR)	%	78	80	81	83	82	80	77	81	81	79	77	76
Factor de corrección para humedad relativa (CH)	-	0.78	0.74	0.72	0.68	0.7	0.74	0.8	0.72	0.72	0.76	0.72	0.71
Factor de corrección para la elevación del lugar (CE)	-	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Factor mensual de latitud (MF)	-	2.68	2.32	2.34	1.96	1.73	1.54	1.65	1.9	2.14	2.49	2.54	2.71
Evapotranspiración potencial (E _{tp})	mm/mes	114	93.8	91.9	71.8	62.3	55.1	62.4	69.2	81.8	104	102	102
Precipitación efectiva (PE)	mm/mes	138	145	63.9	22.2	1.34	0	0	0	0	8.84	67.4	88.2

Elaboración propia

Tabla 28: Calculo de la necesidad de agua de los cultivos (Da) y la demanda del proyecto (Dp).

Variable	Unidad	Unidad	Meses											
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Número de días del mes	DM	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evapotranspiración potencial	ETp	mm/mes	114.3	93.83	91.86	71.76	62.34	55.12	62.4	69.21	81.78	104	102	102.2
Coefficiente de cultivo	Kc	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Evapotranspiración del cultivo de ref.	ETc	mm/mes	114.3	93.83	91.86	71.76	62.34	55.12	62.4	69.21	81.78	104	102	102.2
Precipitación efectiva	Pe	mm/mes	138	145.2	63.88	22.16	1.34	0	0	0	0	8.84	67.4	88.2
Necesidad de agua de los cultivos	Da	mm/mes	-23.8	-51.4	27.98	49.6	61	65.12	72.4	79.21	88.48	95.12	45.42	33.92
Eficiencia de riego	Er	%	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Demanda de agua del proyecto	Dp	mm/mes	-31.7	-68.5	37.3	66.14	81.33	86.82	96.53	105.6	118	126.8	60.56	45.23
Módulo de riego	Mr	l/seg/ha	-0.12	-0.26	0.139	0.247	0.304	0.324	0.36	0.394	0.44	0.473	0.226	0.169

Elaboración propia

4.1.1.3. Infiltración en el suelo.

La infiltración para este tipo de suelo la velocidad de infiltración básica es de 1.6cm/h, estos datos se muestran la tabla 16 (velocidad de infiltración básica en los suelos según su textura).

4.1.1.4. Marco de riego y tipo de aspersor.

De una serie de marcos de riego se seleccionó un marco adecuado de riego siendo esta de 18x18 m² y para la selección del tipo de aspersor se recurrió a los catálogos VYRSA, donde se seleccionó un aspersor de impacto agrícola de medio

caudal de sector circular, siendo sus especificaciones técnicas: aspensor con dos boquillas de 4.8x3.2mm, presión de trabajo del aspensor igual a 3.5bar, caudal de trabajo (q) = 2600 l/h, radio de mojado de 15m y una pluviometría de 8 mm/h. Estos resultados se muestran en la tabla 29.

Tabla 29: Elección del marco de riego y el tipo de aspensor.

Marco de riego $S=exl$	Pluviometría del aspensor (condición inicial) $p=i$	Caudal máximo del sistema de cada aspensor ($q_{max Asp}$)	Elección del aspensor (catalogo VYRSA)
18X18 m2	16mm/h	5184 l/h	presión de trabajo = 3.5bar caudal de trabajo (q) = 2600 l/h Alcance (D) = 30 m Pluviometría (P) = 8 mm/h $q < Q_{max Asp}$, Entonces: 2600 < 5184
Comprobación	El caudal de trabajo sea inferior al caudal máximo del Aspensor		OK

Elaboración propia.

4.1.1.5. Parámetros de riego.

Para el cálculo de los parámetros de riego se tuvo en cuenta un tiempo de riego (T_{dr}) de 8 hora/día. En el mes de máximas demandas se obtuvo una frecuencia de 2 riegos por mes, una dosis real de 63.41 mm, un tiempo de riego de 8 horas, un turno de riego como máximo de 15 días y una postura por día. Estos resultados se muestran en la tabla 4.5.

4.1.1.6. Caudal del sistema

Teniendo en cuenta una área a irrigar de 2.49 ha, un marco de riego de 18x18 m2, un caudal unitario del aspensor de 2600 l/h, el tiempo de riego por postura es de 8 horas y el turno de riego de 15 días como máximo, se determinó el número de aspersores que debe haber en la parcela y el número de aspersores que funcionan simultáneamente siendo estas 77 aspersores y 7 aspersores respectivamente y con un ángulo de giro en función del viento de 22° y 26°.

Conociendo el número de aspersores que funcionan simultáneamente y el caudal unitario del aspersor se determinó un caudal de sistema (Qs) igual a 5 l/s. estos resultados se muestran en la tabla c.4.

Tabla 30: Calculo de los parámetros de riego.

Lamina bruta de riego (LBR)	=	8.87 cm
Pluviometría del aspersor (p)	=	8 mm/h
Marco de riego	=	18X18 m ²
tiempo disponible de riego al día	=	8.00 H/día

Variable	Und	Unidad	Meses											
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Número de días del mes	DM	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Demanda de agua del proyecto	DP	mm/mes	-31.71	-68.54	37.3	66.14	81.33	86.82	96.53	105.6	118	126.8	60.56	45.23
Frecuencia de riego	Fr	riego/mes	-0.36	-0.77	0.42	0.75	0.92	0.98	1.09	1.19	1.33	1.43	0.68	0.51
Dosis real	Dr	mm	-15.85	-34.27	18.65	33.07	40.67	43.41	48.27	52.81	58.99	63.41	30.28	22.61
Tiempo de riego	Tr	h	-1.98	-4.28	2.33	4.13	5.08	5.43	6.03	6.6	7.37	7.93	3.78	2.83
Turno (como máximo)	T	días	31	28	31	31	15	15	15	15	15	15	15	31
Postura	Pst	post/día	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Elaboración propia

Tabla 31: Calculo del caudal del sistema.

Área del proyecto	=	2.49 ha	
Postura	=	1 / día	
Turno	=	13 días	
Caudal de cada aspersor (q)	=	0.72 l/s	
Marco de riego (s=exl)	=	18x18 m ²	
Número de aspersores	=	77	En el mes de octubre, cada vez que hago una postura de riego arrancho de manera simultánea 7 aspersores, doy una postura por día al cabo de 11 días abre regado (2.49ha) y empezare a dar el siguiente riego.
Número de aspersores f.m.t	=	7	
Bloques de riego	=	11	
Caudal necesario	=	5 l/s	

Elaboración propia

4.1.2. Diseño hidráulico

Se instalará una línea de conducción de diámetro variable de tubería PVC la que conducirá un caudal de 18,000 l/h desde la zona de bombeo, hasta la parcela en estudio y cuya pérdida de carga total es de 59.47m.

Respecto a los laterales de riego, se instalaran 11 alas de riego con 7 aspersores en cada una, lo que implicaría 77 aspersores en todo el área, pero considerando la clasificación de aspersores esta será del tipo: sistema estacionario semifijos, de tubería



fija, es decir las tuberías principales y alas de riego estarán enterradas y al cambiar de postura solo se moverán los porta aspersores y aspersores.

4.1.3. Energía solar fotovoltaica

La radiación global diaria del lugar se obtuvo en base a el mapa del Perú de energía solar incidente obtenida del “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” (SENAMHI), datos obtenidos de la nasa, el cual varía entre 5 a 6.5 kW.h/m-día, de esto se tomó como referencia el menor valor 5 kW.h/m.

Se obtuvo que se requieren un total de 18 paneles solares, cada una de 320W, que trabajara con un inversor de corriente o controlador de bombeo solar de una capacidad de 7.5Kw.

4.4.4. Análisis económico

El cultivo más rentable es la alfalfa, si usamos el sistema de bombeo solar para el ensilado de alfalfa el proyecto tendrá un VAN de S/. 121,431.5 y una TIR de 50%, y en las pacas de alfalfa el proyecto tendrá un VAN de S/. 4,735.11 y una TIR de 18%, por lo tanto consideramos que el proyecto es aceptado en los dos casos ya que el indicador VAN es mayor a 0 y TIR es mayor a 15%.

Por lo tanto el sistema de bombeo solar y riego es rentable para la producción de alfalfa.

4.1.5. Comparación de resultados con otras investigaciones

Dany f. Auccacusi Montejo, en su tesis “Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi -Pucyura - Cusco usando fuentes renovables de energía. Realiza un estudio para mejorar la calidad de vida de la población rural, donde pretende regar un área de 3 hectáreas usando fuentes de energía renovable “paneles solares”, donde determina que el caudal de agua necesario para esta parcela es de 3l/s por lo que requiere bombear un volumen de agua de 282m³ al día, el tipo de riego



es por aspersión, y la presión en los aspersores será de 3.5 bares, con una pedida de carga de 45.7 m.

Se utilizará un promedio de 18 paneles solares con una potencia de 285 Watts, según el estudio utilizará dos bombas sumergibles de la marca LORENTZ PS4000 modelo C C-SJ17- con un caudal de 23.5 m³/h.

En el análisis económico, el cultivo más apropiado para esta zona es la cebolla que genera mayor rentabilidad el costo aproximado del proyecto de bombeo y riego es de aproximadamente \$39 000 analizando para un periodo de 10 años con una tasa interna anual del 11% se obtiene un valor actual neto (VAN) neto es de \$54 000 y tasa interna de retorno es de 58%, lo cual lo hace viable a este proyecto.

De esto se puede decir, los resultados y el tipo de cultivo que se requiere implementar variara según la zona donde se realice el proyecto, tienen mayor influencia, clima, altura sobre el nivel del mar, geografía, etc.



4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Diseño agronómico

4.2.1.1. Necesidad de agua en los cultivos y la demandada del proyecto.

El cultivo a instalar es la alfalfa, para el diseño se tuvo en cuenta el mes más crítico que es octubre. La estación meteorológica más cercana y con los datos climatológicos necesarios es la estación de Chuquibambilla, con estos datos y para el mes más crítico octubre se determinó la evapotranspiración potencial de 103.85mm/mes, una precipitación efectiva de 8.84 mm/mes, una necesidad de agua de los cultivos de 95.12mm/mes y una demanda de agua del proyecto de 126.8mm/mes.

4.2.1.2. Del agua en el suelo.

Según la recolección de información indica que la textura del suelo es franca arcillosa arenosa, los suelos con textura franca en términos generales, son los más adecuados para la práctica de la agricultura, con Ph de 5.5 a 6.5, con respecto a sales reportan bajos en todo el perfil (inferior a 0.43 mmhos/cm.), presenta una densidad aparente de 1.45g/cm³. Agronómicamente, estos suelos presentan entre buena a moderada capacidad para producir cosechas. Recomendándose llevar a cabo prácticas conservacionistas a fin de que las tierras no pierdan su nivel de producción; para ello se deben realizar rotaciones de cultivos, aplicación de enmiendas orgánicas e incorporación de abonos y fertilizantes sintéticos.

En cuanto al contenido de humedad, el suelo presenta una capacidad de campo promedio de 16.28 % y un punto de marchitamiento promedio del 7.78 % como se observa en el anexo B.



Los resultados me indican que la lámina neta es 66.6mm de agua, que sería la lámina de agua que se requiere dar al suelo cuando en cultivo ha extraído el criterio de riego de sus zonas de raíces.

La lámina bruta relaciona a la lámina neta con la eficiencia de aplicación, esta eficiencia de aplicación se obtiene a partir de la tabla B.3 de los anexos, consideramos para el diseño una eficiencia del 75%, esta lamina bruta es igual a 88.7mm, esta lamina deberá ser asegurada por los aspersores y es mayor que la lámina neta, porque parte de la lámina de riego aplicado es perdida como consecuencia de la disformidad de la lámina aplicada y otros factores.

4.2.1.3. De la velocidad de infiltración básica.

La infiltración en el suelo se determinó mediante la tabla 16. La infiltración básica es de 16.mm/h, el cual asegura trabajar con normalidad ya que es mayor que la pluviometría del aspersor que es de 8mm/h., esto permite que no exista encharcamiento en los suelos.

4.2.1.4. Del marco de riego y tipo de aspersor.

Se seleccionó un marco de riego de 18x18 m², para un aspersor que tiene un caudal de trabajo de 2600 l/h con una presión de trabajo de 3.5 bares y un diámetro de alcance de 30 m, estos resultados son aceptables pues satisfacen las condiciones siguientes: el caudal de trabajo es inferior al caudal máximo de cada aspersor (5184. l/h) y la pluviometría es menor que la permeabilidad.

4.2.1.5. De los parámetros de riego.

Los parámetros de riego indican que el me de máxima demanda es octubre, se regara cada 15 días como máximo, dándose 2 riegos al mes a razón de 8 horas cada vez, con 1 postura por día, así se aportara en cada riego 63.41 mm de agua y se cubrirá la necesidad de 104mm.



4.2.2. Diseño hidráulico

4.2.2.1. De la línea de conducción.

Para su dimensionamiento se ha verificado que las velocidades límites máximas en la tubería principal estén dentro del rango entre 0,6 a 3,0 m/s y que las pérdidas de carga por tramos calculados deben ser menores o iguales a la carga disponible.

4.2.2.2. De las tuberías secundarias y laterales de riego.

El diseño que se realizó para una parcela de forma rectangular el cual consta de 11 posiciones de ala, y 77 aspersores para este proyecto se considerara solamente 7 aspersores las cuales se instalaran en cada postura de riego. Se consideró el terreno uniforme.

Para el diseño de tuberías se consideró tuberías de PVC de diámetros variables como se indicó anteriormente.

Para su dimensionamiento tanto de las tuberías secundarias como los laterales de riego, se tuvo en cuenta que las pérdidas en las tuberías no sobrepasen del 20% de la presión de operación de los aspersores.

4.2.3. Energía solar fotovoltaica

Se calculó que se requieren un total de 15 paneles solares, por un tema de seguridad y garantizar el trabajo de la bomba finalmente se consideró que trabajaran 18 paneles de forma eficiente.

4.2.4. Análisis económico

Si bien es cierto la alfalfa es el producto más rentable pero se requiere que se realice un buen control y cuidado (plagas, granizadas, heladas) las cuales pueden ser perjudiciales y esto puede repercutir en pérdidas de producción.



V. CONCLUSIONES

- La utilización de energías alternativas, como en este caso la solar para el bombeo de agua, es un elemento rentable dentro de la producción de alfalfa, esto ayudara a solucionar los problemas de carencia de agua y las sequias, pudiendo aumentar la capacidad productiva de 2 cosechas al año a 5 cosechas, elevando drásticamente la producción, entonces se concluye que las características del sector como son: clima, recursos naturales, tipo de terreno, cumplen con los objetivos propuestos.
- Respecto al diseño agronómico e hidráulico, el estudio planteado garantiza el riego de 2.49 ha de alfalfa usando energía solar, cuyo sistema de riego es por aspersión fijo con aspersores móviles, donde se utilizará 7 aspersores móviles simultáneamente, dando 1 posturas por día con lo cual al cabo de 11 días se habrá regado todo el predio y se empezará a dar el siguiente riego, con un caudal de 5 l/s. Se diseñaron un total de 11 ramales o laterales de riego que abarcan de forma uniforme todo el terreno siendo sus diámetros de 40mm, 63mm 75mm de tubería.
- La radiación global diaria del lugar varía entre 5 a 6.5 kW.h/m-día, de esto se tomó como referencia el menor valor 5 kW.h/m, se obtuvo que se requieren un total de 18 paneles solares, cada una de 320W, que trabajara con un inversor de corriente o controlador de bombeo solar de una capacidad de 7.5Kw.
- Con el cultivo de alfalfa se generara mayor rentabilidad ya que la inversión para el equipo de bombeo solar y del sistema de riego es de S/. 41,183 y al analizarlo durante un periodo de 10 años con una tasa de interés anual del 15% se obtiene para el ensilado de alfalfa un VAN de S/. 121,431.5 y una TIR de 50%, y para las pacas de alfalfa se obtiene un VAN de S/. 4,735.11 y una TIR



de 18%, en ambos casos se demuestra que la rentabilidad de la implementación del proyecto generaría cinco cosechas al año en vez de dos.



VI. RECOMENDACIONES

- En la etapa de la operación del riego se debe fortalecer las capacidades de los usuarios para que estén técnicamente aptos para operar y manejar el riego por aspersión, el personal técnico debe enseñar al usuario durante un periodo moderado, hasta que tenga la capacidad de instalar los equipos móviles, laterales de riego y de maniobrar correctamente las válvulas, maniobras básicas de los controladores eléctricos y láminas fotovoltaicas.
- Se recomienda la aplicación de este tipo de proyecto de generación de energía eléctrica con sistemas de generación no convencionales en zonas rurales aisladas de la región de Puno ya que la energía eléctrica generada es totalmente limpia y que su uso en las actividades agrícolas, ganaderas y electrificación rural trae mayor progreso económico y social a zonas de escasos recursos económicos.
- A los futuros proyectistas se recomienda buscar alternativas de solución para nuevos sistemas almacenamiento de energía eléctrica y el agua. Y para una adecuada integración de la generación distribuida; y un mejor aprovechamiento óptimo de la energía solar, desarrollar investigaciones con sistemas de riego automatizado para mejorar más este sistema.
- Para una mejor toma de datos se sugiere realizar muestreos y toma de datos insitu, como por ejemplo velocidad del viento usando un anemómetro, la pluviometría, medir la radiación solar en el lugar, etc. Esto con el fin de obtener valores más exactos y precisos.
- Para mejorar la eficiencia de la bomba solar los paneles solares deben ser limpiados una vez al mes para mejorar la captación de la radiación solar.



VII. REFERENCIAS

- Instituto Tecnológico de Canarias (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*.
- Roldán, J. (2008). “*Fuentes de Energía*” Parainfo – Madrid, España.
- Perú económico, (2006). *Los retos energéticos del Perú*, Vol. (XXIX). 10-11.
- Vázquez, A. (2014). *Medición de parámetros indicadores de actividad solar* (tesis de pre grado). Universidad Autónoma de Puebla, Puebla.
- Proyecto Per/98/G31: *Electrificación Rural A Base De Energía Fotovoltaica En El Perú*. (2003). Atlas de Energía Solar del Perú.
- Abella, M. A. (2005). *Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. Segunda Edición, pp70.
- Méndez, J. & Cuervo, F. (2011). *Energía Solar Térmica*. . España. Fundación Confermotal.
- González, H. (2012). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en xalapa*. Maestría en ingeniería energética. Universidad Veracruzana. México, 172.
- Arhuire, I. y Hanco L. (2020). *Caracterización de la radiación solar en Puno para el diseño de un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas*. [Tesis de pre grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, Perú.
- Keane, John (2014). “*Pico-Solar Electric Systems, The Earthscan Expert Guide to the Technology and Emerging Market*”. New York, USA –Routledge.
- Alonso, M & Chenlo, F. (2014). *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. Departamento De Energías Renovables-Ciemat*. España.
- Méndez, J. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España.



- Godoy, E. (2016). *Diseño de sistema de regadío en zona rural con energía solar fotovoltaica*. (Tesis de pre grado). Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción.
- Garcés, Gurrola y Saldaña, (2005). *Energía solar para bombeo de agua*, 70.
- Sandia National Laboratories, (2005). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con Energía Fotovoltaica*. vol.1. México.
- Arricibita, D. (2015) “*Estudio de factibilidad y viabilidad de un sistema híbrido de generación eléctrica aislado con energías renovables en Bolivia*”. [Universidad Pública de Navarra]. Pamplona España.
- Sagua, W. (2017). *Análisis y modelamiento para un módulo fotovoltaico, basado en un sistema de generación de energía renovable Microgrid en la ciudad de Puno*. [Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, Perú.
- Jara R. J. y Ramos C. S. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica* [tesis de grado, universidad nacional del altiplano]. Puno, Perú.
- Componente de una instalación solar fotovoltaica*. (s.f).
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.
- White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos* (quinta edición).
- Soto, F. (2002). "*Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas*". Cuzco: Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación – COSUDE.
- Rafael F. G. (2010). *Manual de Riego para Agricultores. (Módulo 3. Riego por aspersión)*, Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. Sevilla, España.



- Alfaro, M. P. y Castañón S. (2006). *Fundamentos de hidrogeología*. Madrid-España. Mundí Prensa.
- Tarjuelo, M. B. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología* (3ra edición). Editorial aedos, S.A. Barcelona España.
- Fuentes, J. y García, G. (1999). *Técnicas de riego*". Madrid-España: Mundi-prensa, Cuarta edición.
- FAO. (s.f.). *Evapotranspiración del cultivo*. [Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos].
- Auccacusi, D. (2014). *Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura - cusco usando fuentes renovables de energía*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Acebedo, E. (1979). *Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas*. Fac. Agron. Univ. Chile 44, (1979): 17- 25. Consultado 06 de junio de 2014. <https://accounts.google.com/Logi?star>.
- Rondan, E. (2016). *Diseño de un sistema de riego para el cultivo de alfalfa en la localidad de Cotaparaco, provincia de Recuay, región Áncash*. [Tesis de grado, universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
- Instituto nacional de ampliación de la frontera agrícola, INAF. (1986). *Proyecto Chuquibambilla estudio agrologico detallado*. [Ministerio de agricultura, autoridad nacional del agua].
- Paredes, J. (2016). *Avena forrajera: rendimiento, valor nutricional, ventaja comparativa y competitiva en la región Puno*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano].
- VYR. (2010). *Recomendaciones técnicas en diseños de riego*. Burgos España. www.vyrsa.com.



Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2002). *Energía solar incidente diaria*.

Lima: SENAMHI. Escala 1: 6 250 000, 1022 x 1487.

Autosolar Peru (s.f.). *Kit solares fotovoltaicos*. Consultado el 15 de junio del 2020.

<https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-330w-24v-policristalino-era>



ANEXOS

ANEXO A: Cuadros de datos meteorológicos de la estación Chuquibambilla.

Tabla A.1: Humedad relativa media mensual en % de los años 2018- 2019.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
HUMEDAD RELATIVA EN %												
ESTACION: CP. 114035		LATITUD		14°47'05,2"		DEPARTAMENTO		PUNO				
		LONGITUD		70°42'56.5"		PROVINCIA		MELGAR				
CHUQUIBAMBILLA		ALTITUD		3971		DISTRITO		UMACHIRI				
AÑOS	MESES											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2018	74	74	76	71	76	77	79	80	80	78	76	80
2019	78	80	81	83	82	80	77	81	81	79	77	76

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.2: Precipitación media mensual en mm de los años 2018-2019.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN MM												
ESTACION: CP. 114035		LATITUD		14°47'05,2"		DEPARTAMENTO		PUNO				
		LONGITUD		70°42'56.5"		PROVINCIA		MELGAR				
CHUQUIBAMBILLA		ALTITUD		3971		DISTRITO		UMACHIRI				
AÑOS	MESES											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2018	131.1	147.4	167.8	22.1	0.0	41.0	27.4	41.3	11.7	78.3	99.8	53.3
2019	203.8	212.8	111.1	53.6	18.9	0.0	0.0	0.0	5.5	31.4	115.5	141.5

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.3: Velocidad del viento en m/s de los años 2017-2018.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
VELOCIDAD DEL VIENTO EN M/S												
ESTACION: CP. 114035		LATITUD		14°47'05,2"		DEPARTAMENTO			PUNO			
		LONGITUD		70°42'56.5"		PROVINCIA			MELGAR			
CHUQUIBAMBILLA		ALTITUD		3971		DISTRITO			UMACHIRI			
AÑOS	MESES											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2017	6.6	5.9	6.1	5.8	6.0	5.3	6.3	7.4	6.5	6.1	6.8	6.5
2018	5.9	5.5	7.4	7.2	8.3	8.4	6.8	6.1	5.1	5.4	4.9	5.1

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.4: Promedio mensual de horas y decimas de sol años 2014-2019.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
HORAS Y DECIMAS DE SOL												
ESTACION: CP. 114035		LATITUD		14°47'05,2"		DEPARTAMENTO			PUNO			
		LONGITUD		70°42'56.5"		PROVINCIA			MELGAR			
CHUQUIBAMBILLA		ALTITUD		3971		DISTRITO			UMACHIRI			
AÑOS	MESES											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2014	142.1	148.3	175.7	185.0	245.5	251.4	267.2	242.2	165.0	236.9	233.0	165.0
2015	110.9	142.5	181.2	154.3	262.7	301.7	310.8	302.2	233.4	217.4	222.2	182.1
2016	216.0	162.7	254.0	214.8	310.2	263.9	283.5	305.5	250.7	225.3	278.4	188.4
2017	151.3	125.7	140.5	183.3	231.4	303.2	326.6	319.6	238.7	245.8	197.7	142.9
2018	159.4	120.0	168.0	232.8	288.1	278.2	307.0	254.2	282.0	184.2	218.9	185.3

Fuente: SENAMHI.



TABLA A.5: Temperatura promedio mensual en °C de los años 2000 – 2019.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN °C													
ESTACION: CP. 114035				LATITUD 14°47'05,2"				DEPARTAMENTO PUNO					
				LONGITUD 70°42'56.5"				PROVINCIA MELGAR					
CHUQUIBAMBILLA				ALTITUD 3971				DISTRITO UMACHIRI					
AÑOS	MESES												PROM
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2000	9.6	9.7	9.8	9.6	8.1	6.2	7.2	7	9.3	10	10.7	10.9	9.01
2001	9.6	9.5	9	9.1	8	6.1	6.2	6.9	8.6	9.8	10.9	10.2	8.66
2002	10.6	10.7	9.7	9.6	8.1	7	6	9.9	10.3	12	11.8	10.4	9.68
2003	10.4	10.1	10.8	10.2	8.8	7	6.2	8.5	9.5	11.1	10.2	10.2	9.42
2004	9.8	9.6	9.2	8.4	8	7.6	7.1	9	9.6	10.9	11.3	12.6	9.43
2005	12.3	12.7	12.3	11.2	9.1	8.1	7.5	9.4	10.3	11.4	11.4	12	10.64
2006	10.8	10.1	10.2	9.3	8.8	7.1	7.3	8	8.9	9.5	10.9	11.5	9.37
2007	10.2	9.8	10.3	9.6	8.8	7.4	6.4	8.2	9.7	9.6	11	10.2	9.27
2008	10	10	10	10	9	7	7	8	9	10	11	10	9.25
2009	11	11	10	10	9	7	6	8	9	10	10	10	9.25
2010	10.9	11	10.2	9.8	8.9	6.5	7.2	7.8	8.9	10.6	11.5	11.9	9.6
2011	10.4	10.7	11.2	10.4	8.8	7	6.9	7.6	9.8	11.5	12.2	12.2	9.89
2012	11.6	10.4	11.1	10.7	8.8	7	8	7.9	9.6	10.5	10.3	10.8	9.73
2013	10	10	10	10	8	7	7	8	9	10	11	10	9.17
2014	10	10.7	9.9	9.7	9.5	8.3	7.3	9.8	9	10.7	10.7	10.6	9.68
2015	9.8	10.1	9.5	9.8	7.8	7.6	6.8	8.2	9.5	10.7	11.6	10.5	9.33
2016	10.3	10.1	9.9	9.2	8.9	7.3	5.1	8	10.3	11.3	11.8	11.9	9.51
2017	11	10	10	9	8	7	6	8	9	10	10	10	9
2018	10	10	10	10	8	7	6	7	9	10	10	10	8.92
2019	10	10	10	10	8	7	7	9	9	10	10	10	9.17
PROM	10.42	10.31	10.16	9.78	8.52	7.11	6.71	8.21	9.37	10.48	10.92	10.80	9.40

Fuente: SENAMHI.

ANEXO B: Cuadros de datos diseño agronómico.

Tabla B.1: Factor de evapotranspiración potencial (mf) en mm por mes.

Lat. Sur	MESES											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Die.
1	2.788	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.215	2.255	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.05	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.36	2.157	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.29	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.05	1.888	1.995	2.15	2.24	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.02	1.854	1.96	2.196	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.05	2.363	2.117	1.98	1.82	1.986	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.081	1.927	1.75	1.858	2.054	2.21	2.443	2.423	2.51
9	2.538	2.251	2.36	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.559	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	1.976	2.180	2.470	2.493	2.610
12	2.625	2.292	2.35	2.002	1.799	1.608	1.719	1.95	2.169	2.477	2.497	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.464	2.52	2.675
14	2.68	2.317	2.34	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.49	2.543	2.706
15	2.707	2.326	2.334	2.937	1.7	1.5	1.612	1.867	2.131	2.496	2.566	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.660	1.464	1.576	1.834	2.117	2.500	2.588	2.769
17	2.76	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.54	1.809	2.103	2.504	2.31	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.78	2.068	2.508	2.631	2.83
19	2.811	2.368	2.301	1.843	1.564	1.354	1.467	1.75	2.072	2.51	2.671	2.859

Fuente: Estudio agro climatológico de la zona andina, informe técnico FAO/UNESCO/OMM.

Tabla B.2: Kc de los cultivos considerados para el cálculo de la demanda agrícola.

CULTIVO	AREA (Has)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Quinua	10.1	0.9	0.8	0.7	0.4					0.5	0.8	0.9	0.9
Cañihua	10.1	1.1	1	1	0.8						0.6	0.8	0.9
Avena forrajera	15.1	1.2	1	0.6	0.4						0.5	0.9	1.2
Cebada forrajera	15.1	1.2	1	0.9	0.6						0.6	0.9	1
Alfalfa, Cultivados	Pastos 955.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kc total ponderado		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Estudio edafológico y agrologico del Proyecto “Mejoramiento y Ampliación del sistema de riego Llallimayo, Distrito de Llalli Cupi, Provincia de Melgar, Región de Puno”

Tabla B.3: eficiencia de aplicación para diferentes sistemas de riego.

Sistema de Riego	Eficiencia de Aplicación
riego por surcos	0.50-0.70
riego por inundación	0.60-0.80
riego por inundación permanente	0.30-0.40
riego por aspersión	0.65-0.85
riego por goteo	0.75-0.90

Fuente: Tarjuelo, M. (2005).

Tabla B.4: Profundidad de raíces (cm).

Cultivo	Z(cm)	Cultivo	Z(cm)
Alfalfa	90 -180	Judía	50 - 90
Alverja	45 - 60	Lechuga	15 - 45
Algodón	75 - 170	Leguminosas	50 - 125
Berenjena	75 - 120	Maíz	75 - 160
Caña de azúcar	75 - 180	Olivo	100 - 150
Cártamo	90 - 180	Pastos	60 - 150
Cebada	1.25	Patata	30 - 75
Cebolla	30- 75	Pimiento	40 - 100
Cereales	60 - 150	Remolacha azucarera	60 - 125
Cítricos	120 - 150	Soja	60 - 125
Crucíferas	30 - 60	Tabaco	45 - 90
Cucurbitáceas	75 - 125	Tomate	40 - 100
Fresa	20 - 30	Trigo	75 - 105
Frijol	45 - 60	Vid	75 - 100
Hortalizas	30 - 60	Zanahoria	45 - 60

Fuente: FAO.



Tabla B.5: Características hídricas promedios de los grupos de suelos.

grupo suelos	unidad riego	unidad suelo	horizonte cm.	Textura	C.C. %	P.M.P. %	D.a.
I	R1	CP, Lla, y QUE	0-26	FA a FArA	13.68	7.33	1.25
			26-45	FA a Far	19.89	10.3	1.34
			45-90	FA a FArA gravoso	16.28	7.78	1.45
II	R2	UCH, SA, AM, PA Y RI	0-20	FA a FArL	30.62	14.63	1.2
			20-45	FA a Far	32.1	15.82	1.28
			45-90	FA a Far	30.7	15.21	1.28

Fuente: INAF. (1986).

ANEXO C: Cuadros y figuras diseño hidráulico.

Fig. C.1: Modelos de aspersores recomendados.

Presión	3,5 BAR				3,5 BAR				4 BAR				4,5 BAR				4,5 BAR			
Marcos	VYR-35				VYR-60				VYR-70				VYR-70V				VYR-65			
	Boq mm	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %
14x14 Triang.	4,4 x 2,4	1800	15	83	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14x14 Rectang.	4,4 x 2,4	1800	15	84	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15x18 Triang.	4,4 x 2,4	1800	15	92	4,4 x 2,4	1800	15,5	90	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15x18 Rectang	4,4 x 2,4	1800	15	93	4,4 x 2,4	1800	15,5	91	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18x18 Triang.	4,4 x 2,4	1800	15	91	4,4 x 2,4	1800	15,5	92	4,8X3,2	2600	16,5	91	---	---	---	---	---	---	---	---
18x18 Rectang	4,4 x 2,4	1800	15	88	4,4 x 2,4	1800	15,5	89	4,8X3,2	2600	16,5	92	---	---	---	---	---	---	---	---
20x20 Triang.	4,8x 2,4	2150	16	89	4,8x 2,4	2150	16	90	4,8X3,2	2600	16,5	90	6,4 X 4,8	5150	21,5	89	---	---	---	---
18X21 Rectang	4,8 x 2,4	2150	16	91	4,8 x 2,4	2150	16	89	4,8X3,2	2600	16,5	89	6,4 X 4,8	5150	21,5	90	---	---	---	---
22x22 Triang.	4,8 x 2,4	2150	16	86	4,8 x 2,4	2150	16	88	5,2X3,2	2900	17	89	6,4 X 4,8	5150	21,5	86	6,4 x 3,2	4200	19	88
22x22 Rectang	4,8 x 2,4	2150	16	84	4,8 x 2,4	2150	16	85	5,2X3,2	2900	17	86	6,4 X 4,8	5150	21,5	89	6,4 x 3,2	4200	19	89
24x24 Triang.									5,2X3,2	2900	17	84	7,2X4,8	5950	22,5	88	6,4X3,2	4200	19	90
24x24 Rectang									5,2X3,2	2900	17	81	7,2X4,8	5950	22,5	89	6,4X3,2	4200	19	92
26x26 Triang.													7,2X4,8	5950	22,5	84	7,2X3,2	5000	20	84
26x26 Rectang													7,2X4,8	5950	22,5	86	7,2X3,2	5000	20	88

Presión	3,5 BAR				3,5 BAR				3,5 BAR				4 BAR				4 BAR			
Marcos	VYR-36				VYR-66				VYR-56				VYR-86				VYR-166			
	Boq mm	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %	Boq	Q l/h	D m	CU %
14x14 Triang.	4 x 2,4	1560	15	89	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14x14 Rectang.	4 x 2,4	1560	15	86	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15x18 Triang.	4 x 2,4	1560	15	92	4 x 2,4	1560	13,5	89	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15x18 Rectang	4 x 2,4	1560	15	91	4 x 2,4	1560	13,5	85	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18x18 Triang.	4 x 2,4	1560	15	90	4 x 2,4	1560	13,5	94	4 x 2,4	1670	15,15	90	---	---	---	---	---	---	---	---
18x18 Rectang	4 x 2,4	1560	15	89	4 x 2,4	1560	13,5	90	4 x 2,4	1670	15,5	92	---	---	---	---	---	---	---	---
20x20 Triang.	4,4 x 2,4	1800	16	87	4,4 x 2,4	1800	14	84	4 x 2,4	1670	15,5	89	6,4 X 4,8	5150	21,5	89	---	---	---	---
18X21 Rectang	4,4 x 2,4	1800	16	88	4,4 x 2,4	1800	14	86	4 x 2,4	1670	15,5	91	6,4 X 4,8	5150	21,5	90	---	---	---	---
22x22 Triang.	4,4 x 2,4	1800	16	82	4,4 x 2,4	1800	14	81	4,4 x 2,4	1920	16,5	88	6,4 X 4,8	5150	21,5	87	5,5 x 3,2	2900	18	90
22x22 Rectang	4,4 x 2,4	1800	16	81	4,4 x 2,4	1800	14	80	4,4 x 2,4	1920	16,5	84	6,4 X 4,8	5150	21,5	90	5,5 x 3,2	2900	18	89
24x24 Triang.									4,4 x 2,4	1920	16,5	80	7,2X4,8	5950	22,5	87	5,5 x 3,2	2900	18	86
24x24 Rectang									4,4 x 2,4	1920	16,5	81	7,2X4,8	5950	22,5	89	5,5 x 3,2	2900	18	89
26x26 Triang.													7,2X4,8	5950	22,5	82	6,3 x 2,1	3700	19	80
26x26 Rectang													7,2X4,8	5950	22,5	85	6,3 x 2,1	3700	19	82

Fuente: VYRSA (2018). “VYR-56 Agrícolas circulares”

Fig. C.2: Modelo VYR-70.

ASPERSORES AGRÍCOLAS

VYR-70



VYR-70 · Agrícolas circulares

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Aspersor de impacto agrícola de medio caudal.
- Conexión macho o hembra de 3/4"
- Fabricado en latón y acero inox.
- Juntas de rotación de alta resistencia.
- Ángulos de las boquillas de 26° y 22°
- Diseño especial para largo alcance.
- Utilizado en riegos de cobertura con caudales medio-altos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Alcance: 13 - 18 m. / 43 - 59 ft.
- Caudal: 660 - 3270 L/H / 175-864 GPH
- Presión de trabajo: 1,75 - 4,5 BAR / 25-65 PSI.
- Sector: Circular.
- Boquillas: Dos boquillas, una principal y otra secundaria deflectora o tapón.
- Ángulos de trayectoria: 26° y 22°
- Altura máxima de chorro: 4,3 m / 14 ft.
- Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo.
- Coeficiente de Uniformidad superior al 90% en marcos de 18x18R, 20x18T y 20x20T (metros).

APLICACIONES:

- Plantaciones hortícolas, cereales, tuberculosas, leguminosas, y frutales.
- Utilizado en todo tipo de riego agrícola en general con caudales medio-altos. Plantaciones hortícolas, cereales, tuberculosas, leguminosas y frutales.

DIMENSIONES:

- Altura: 15 cm / 5,9 in.
- Ancho: 20 cm / 7,9 in.
- Peso: 548 g / 1,2 Lbs.
- Unidades por caja: 50

OPCIONES:

- Boquilla secundaria con ranura deflectora o tapón.
- Montaje sobre regulador de presión para la autocompensación de la presión y caudal.

MODELOS:

- Ref. 007001: 3/4" macho.
- Ref. 007020: 3/4" hembra.

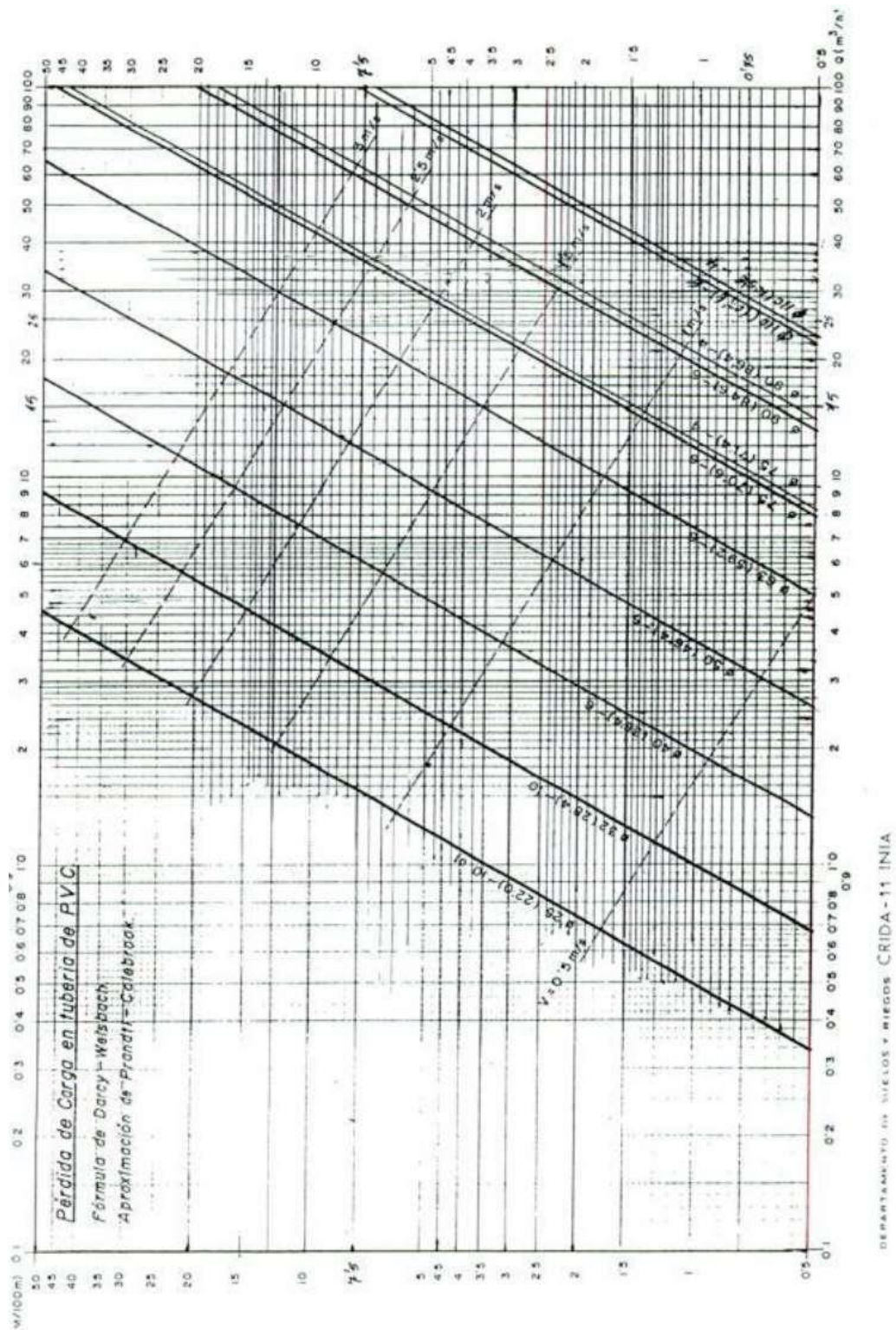
Fuente: VYRSA (2018). "VYR-56 Agrícolas circulares"

Fig. C.3: Coeficientes de Christiansen (F).

n	$1_0 \approx 1$				
	$\approx 1,75$	$\approx 1,80$	$\approx 1,85$	$\approx 1,90$	$\approx 2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350
35	0,378	0,371	0,365	0,359	0,347
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343

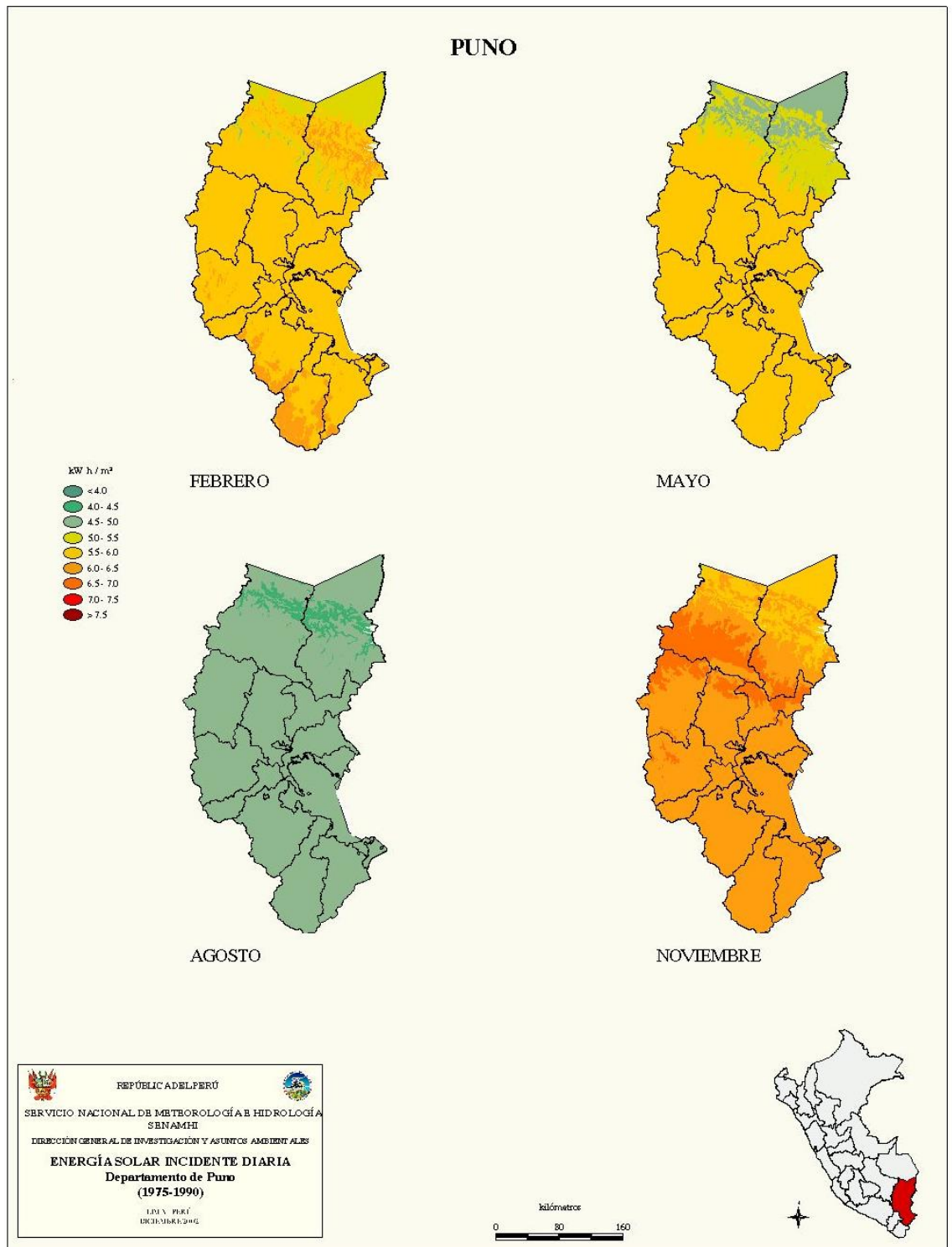
Fuente: Tarjuelo, M. (2005).

Fig. C.4: Perdida de carga en tubería de PVC.



Fuente: Tarjuelo, M. (2005).

ANEXO D: Mapa de energía solar incidente diaria – Puno.



Fuente: Senamhi. (2002).

ANEXO E: Bomba solar sumergible Pedrollo.

Fig. E.1: Sistema de bombeo solar “electrobomba sumergible Pedrollo”

4SR

Electrobombas sumergidas de 4”

- Agua limpia
(Contenido de arena máximo 150 g/m³)
- Utilizo doméstico
- Utilizo civil
- Utilizo industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **450 l/min** (27 m³/h)
- Altura manométrica hasta **425 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **150 g/m³**
- Profundidad de utilizo hasta **100 m** bajo el nivel del agua con cable de alimentación de longitud adecuada
- Funcionamiento:
 - en vertical
 - en horizontal con los siguientes límites:
 - 4SR7G - 4SR10G - 4SR13G - 4SR25G **18 etapas**
 - 4SR33G - 4SR45G - 4SR60G - 4SR75G - 4SR90G **10 etapas**
- Arranques/hora: **20** a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento motor mínimo **8 cm/s**
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

MOTOR ELECTRICO

- Monofásica 220 V - 60 Hz
- Trifásica 380 V - 60 Hz

Cable de alimentación de:

- **1.7 m** para potencias de 0.37 a 3 kW
- **2.7 m** para potencias de 4 a 7.5 kW

- Las versiones monofásicas **4SR-PD** incluyen el condensador en el interior del embalaje.

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE



UTILIZOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a **150 g/m³**. Debido al alto rendimiento y fiabilidad, son aptas para usos en el campo doméstico, civil e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, riegos, instalaciones de lavado, aumento de presión para instalaciones anti-incendio, etc.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Patente n° EP09781276.2

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- **Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes**



GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

Fuente: Catalogo general Pedrollo.

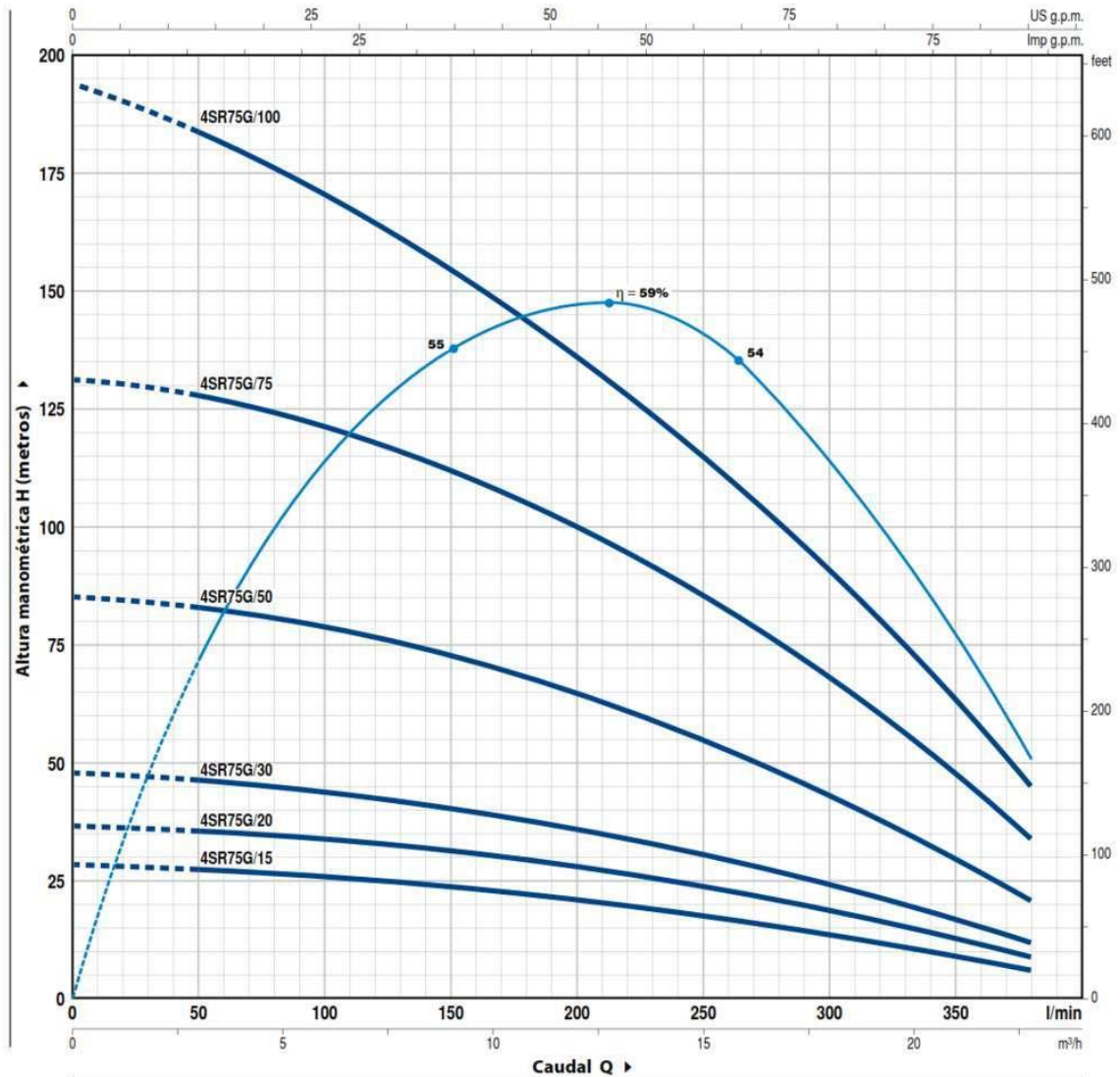
Fig. E.2: curvas y datos bomba sumergible 4SR75G,

4SR75G



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 rpm



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros											
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m ³ /h	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	22.8		
				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	380			
4SR75Gm/15	4SR75G/15	1.1	1.5	H metros	28	27	25.5	23.5	21	18	14	9	6			
4SR75Gm/20	4SR75G/20	1.5	2		36	36	34	32	28	23	18	12.5	9			
4SR75Gm/30	4SR75G/30	2.2	3		47	46	44	40	35	30	22.5	17	12			
-	4SR75G/50	3.7	5		85	83	79	72	64.5	54	42	28.5	21			
-	4SR75G/75	5.5	7.5		130	127	122	113	102	85	66	46	34			
-	4SR75G/100	7.5	10		192	185	173	156	135	112	87	61	46			

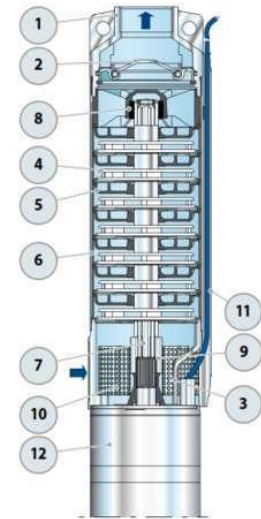
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Fuente: Catalogo general Pedrollo.

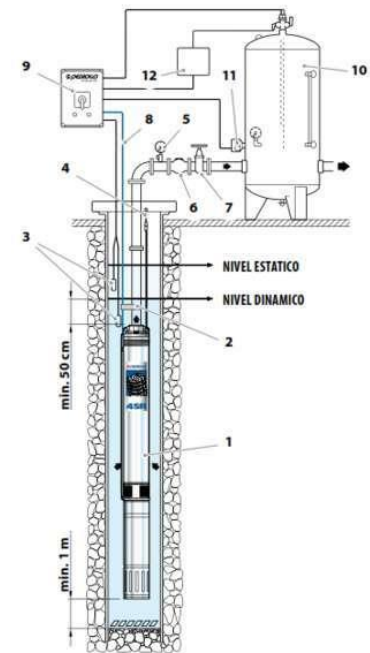
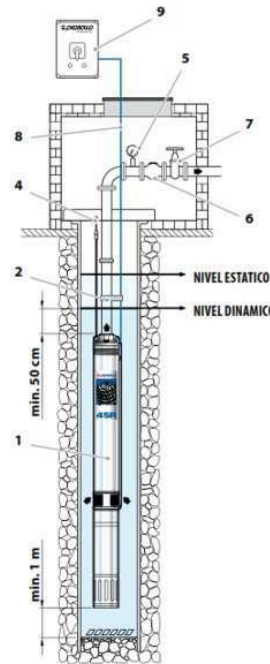
Fig. E.3: Ejemplo de instalación bomba sumergible 4SR75G.

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Acero inoxidable micro fundido AISI 304 dotado de boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VALVULA DE RETENCION	Acero inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Acero inoxidable AISI 304, dimensiones según norma NEMA
4 RODETE	Lexan 141-R
5 DIFUSOR	Noryl FE1520PW
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en tecnopolímero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 316L hasta 2.2 kW; Acero inoxidable AISI 304 para potencias superiores
10 FILTRO	Acero inoxidable AISI 304.
11 PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12 MOTOR 4"	4PD = motor en baño de aceite "PEDROLLO"



EJEMPLO DE INSTALACION

- 1) Electrobomba sumergida
- 2) Cintas para fijar el cable de alimentación
- 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco
- 4) Soporte y cable de anclaje
- 5) Manómetro
- 6) Válvula de retención
- 7) Válvula de compuerta del caudal
- 8) Cable de alimentación eléctrica
- 9) Cuadro eléctrico
- 10) Depósito autoclave
- 11) Presóstato
- 12) Electro-válvula/electro-compresor




➔ La instalación de las electrobombas 4SR es apta para pozos con un diámetro no inferior a 4" (100 mm). La electrobomba sumergida se baja al pozo mediante el tubo de impulsión hasta una profundidad tal que garantice su total inmersión (min, 50 cm y por lo menos 1 metro desde el fondo del pozo) incluso mientras funciona, cuando se aprecia una disminución del líquido en el pozo. Cuando la electrobomba sumergida se instala en un pozo, se aconseja asegurarla con un cable de acero inoxidable para conectarla a los específicos enganches de la boca de impulsión.

Fuente: Catalogo general Pedrollo.

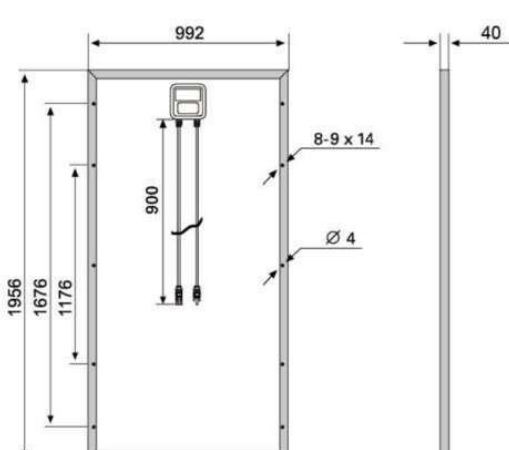
ANEXO F: Módulo solar fotovoltaico ERA SOLAR.

Fig. F.1: Panel solar modelo ESPMC, “era solar”.



ESPMC

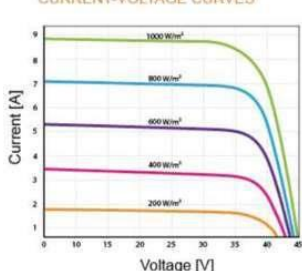
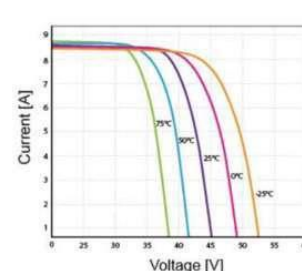
Polycrystalline Solar Module



SPECIFICATIONS

Dimensions	1956 x 992 x 35 mm 1956 x 992 x 40 mm 1956 x 992 x 45 mm
Weight	20.9 kg
Frame	Aluminium hollow-chamber frame on each side
Glass	Low-iron and tempered glass 3.2 mm
Cells	72 pcs multi-crystalline Si-cells (156 x 156 mm)
Cell Embedding	EVA
Back-Foil	FEVE / PET/ FEVE
Junction Box	
Cable	4 mm ² solar cable 2 x 900 mm
Temperature Range	-40°C ... +85°C
Load Capacity	5400 Pa
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C
Product Warranty	10 years
Power Guarantee	10 years 90% 25 years 80%

CURRENT-VOLTAGE CURVES

Module characteristics at constant module temperatures (25°C) and different levels of irradiance.

Module characteristics at different module temperatures and constant module irradiance (1.000 W/m²).

ESPMC TYPE	300	305	310	315	320	325
Power Class	300W	305W	310W	315W	320W	325W
Max. Power Voltage (V _{mpp})* at STC**	37V	37.15V	37.3V	37.5V	37.65V	37.8V
Max. Power Current (I _{mpp}) at STC	8.1A	8.21A	8.31A	8.4A	8.5A	8.6A
Open Circuit Voltage (V _{oc}) at STC	44.8V	44.95V	45.1V	45.3V	45.45V	45.6V
Short Circuit Current (I _{sc}) at STC	8.7A	8.8A	8.9A	9A	9.1A	9.2A
Module Efficiency	15.5 %	15.7 %	16 %	16.2 %	16.5 %	16.8 %

* MPP: Maximum Power Point
** STC (Standard Test Conditions): 1000W/m², 25°C, AM 1.5
*** Normal Operating Cell Temperature

CHARACTERISTICS


Max. System Voltage	1000V/DC
Temperature- V _{oc}	+0.08558%/°K
Temperature- V _{mpp}	-0.29506%/°K
Temperature- I _{mpp}	-0.38001%/°K
NOCT***	45°C

CERTIFICATES

IEC 61215 edition 2 (TUV Nord)
IEC 61730 MCS INMETRO
CE CEC SALT-MIST
PID Resistant

INSURANCE

Chubb



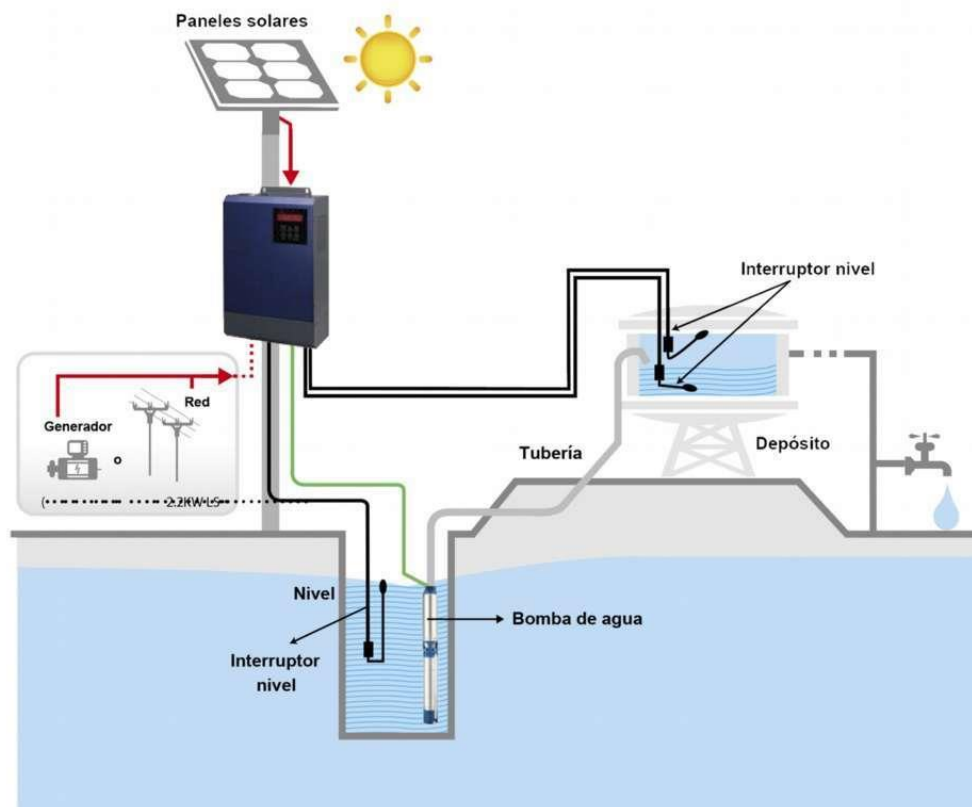
ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation.
© March 2015 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Fuente: Autosolar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

Fig. F.2: Inversor de corriente o controlador de bombeo solar 7.5Kw.



This solar inverter is built-in with MPPT solar charger to maximize solar power. Besides, it is easy to install with low maintenance cost. It becomes an eco-friendly solution for the rural areas where grid power is expensive and unreliable.



Fuente: Autosolar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

ANEXO G: Inversor de corriente.

Fig. G.3: Características controlador de bombeo solar 7.5Kw.

Water Pump Solar Inverter Selection Guide				
MODEL	2.2 KW LS	2.2 KW	7.5 KW	11 KW
RATED OUTPUT POWER	2200 W(3HP) (supports 0.75~3HP water pump)	2200 W(3HP) (supports 0.75~3HP water pump)	7500 W(10HP) (supports 3~10HP water pump)	11000 W(15HP) (supports 10~15HP water pump)
PV INPUT (DC)				
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	320 VDC / 450 VDC		540 VDC / 800 VDC	
Start-up Voltage	120 VDC		250 VDC	
MPPT Voltage Range	120 VDC ~ 420 VDC		250 VDC ~ 780VDC	
Number of MPP Trackers	1			
AC INPUT				
Input Voltage	220/230/240 VAC (-15% ~ +10%)		N/A	
Input Frequency	47 Hz ~ 63 Hz			
OUTPUT				
Nominal Voltage	220/230/240 VAC		3 x 380/400/415/440 VAC	
Efficiency	> 97%		> 97%	
Nominal Output Current	14 A	10 A	5.0 A	22 A
Motor Type	Single-phase motor	Three-phase asynchronous motor	Three-phase asynchronous motor	
Frequency Precision	±0.2%			
PROTECTION				
Full Protection	Phase lost, dry pumping, motor locked, weak sunlight, over-voltage, under-voltage, over-current, surge, over-temperature and short circuit protection			
PHYSICAL				
Dimension, D X W X H (mm)	110 x 230 x 342			
Net Weight (kgs)	5	5.5	6	6.5
IP Protection	IP20			
INTERACE				
Communication Port	RS-232/RS-485			
ENVIRONMENT				
Humidity	< 95% RH (Non-condensing)			
Operating Temperature	-20°C~45°C at 100% full load, 46°C~60°C power derating			

Product specifications are subject to change without further notice.

WATER PUMP INVERTER

Fuente: Autosolar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

Fig. G.4: Cotización en el mercado controlador de bombeo solar 7.5Kw.

☰ Controlador Bombeo Solar 7,5kW 400V QUADRO



S/ 4.720,00 SIN IGV S/ 4.000,00 ☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: Recójalos el lunes 15 de junio en agencia Marvisur de provincias

Fabricante: QUADRO | Cod. Artículo: 5501602

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO
COMPRAR

2 años de garantía
14 días de devolución
100% pago seguro
Secured by GeoTrust

Fuente: Autosolar Perú (s.f.). Kit solares fotovoltaicos.

ANEXO H: Rendimiento del cultivo de forrajes Puno.

Tabla H1: Rendimiento de materia verde (kg/ha MV) del cultivo de avena forrajera.

Unidad de producción	rendimiento de materia verde (ton/ha)					Promedio	
	Azángaro	Huancané	Melgar	Puno	San Román	General	Por Unidad
Pequeña	16,000.00	23,900.00	16,000.00	21,000.00	18,800.00	19,140.00	19,640.00
	16,000.00	23,900.00	19,000.00	21,000.00	19,500.00	19,880.00	
	23,000.00	21,000.00	18,000.00	19,000.00	18,500.00	19,900.00	
Mediana	37,000.00	22,000.00	19,000.00	19,000.00	22,000.00	23,800.00	22,996.67
	19,500.00	21,000.00	21,500.00	24,500.00	22,000.00	21,700.00	
	18,000.00	26,350.00	22,000.00	24,100.00	27,000.00	23,490.00	
Grande	19,000.00	22,000.00	28,000.00	20,000.00	22,400.00	22,280.00	26,473.33
	26,000.00	30,000.00	33,000.00	20,000.00	18,000.00	25,400.00	
	25,000.00	27,700.00	23,000.00	43,000.00	40,000.00	31,740.00	
Promedio	22,166.67	24,205.56	22,166.67	23,511.11	23,133.33	23,036.67	23,036.67
Desv. Est.	6,652.07	3,179.08	5,338.54	7,575.53	6,913.21	3,864.39	3,416.84

Fuente: Paredes, J. (2016).

Tabla H2: Rendimiento de materia seca (kg/ha MV) del cultivo de avena forrajera.

Rendimiento de materia seca (kg/ha MV) del cultivo de avena forrajera

Unidad de producción	Rendimiento de MS (ton/ha) por provincia					Promedio	
	Azángaro	Huancané	Melgar	Puno	San Román	General	Por Unidad
Pequeña	5,662.40	5,308.19	4,032.00	5,061.00	5,741.52	5,161.02	5,598.87
	4,558.40	9,416.60	5,352.30	6,428.10	5,202.60	6,191.60	
	6,580.30	4,628.40	3,985.20	6,575.90	5,450.10	5,443.98	
Mediana	10,611.60	5,420.80	5,593.60	4,012.80	6,375.60	6,402.88	6,332.06
	6,994.65	5,000.10	7,183.15	6,002.50	6,331.60	6,302.40	
	6,274.80	5,665.25	6,661.60	6,118.99	6,733.80	6,290.89	
Grande	4,765.20	5,643.00	8,237.60	5,350.00	5,295.36	5,858.23	7,333.22
	9,107.80	8,673.00	6,755.10	5,586.00	3,945.60	6,813.50	
	7,770.00	11,689.40	5,126.70	9,253.60	12,800.00	9,327.94	
Promedio	6,925.02	6,827.19	5,880.81	6,043.21	6,430.69	6,421.38	6,421.38
Desv. Est.	1,983.55	2,473.96	1,439.03	1,437.13	2,526.91	1,201.41	870.62


Fuente: Paredes, J. (2016).

Tabla H.3: Costos de instalación de 1 hectárea de Alfalfa en Nuevos soles.

Descripción	Unidad	Cantidad	Sub Total S/.
Limpieza del terreno	Jornal	1	30
Fertilización o abonamiento	Jornal	1	30
Control de siembra	Jornal	2	60
Arado	Hrs. Máq	4	232
Rastrado	Hrs. Máq	3	160
Siembra y compactado	Hrs. Máq	2	120
Semilla de alfalfa	Kilos	26	650
Semilla de avena	Kilos	20	36
Inoculante	Bolsita	2	20
Urea	Bolsa	1	40
Semillas	Fletes	1	5
Fertilizantes	Fletes	1	8
COSTO TOTAL			1391
por 2.5 hectáreas de siembra			3477.5

Fuente: Elaboración propia.

Fig. H1: rendimiento Kg/ha de alfalfa.

		Ficha técnico-económica Alfalfa, siembra Región de O'Higgins	
Parámetros generales A			
1 hectárea agosto 2017		Variedad: Super Lechera WL	
Tecnología de riego: tendido		Destino de producción: consumo fresco	
Densidad (Plantas/ha) ⁽¹⁾		Tecnología: media	
Fecha de siembra: mayo-septiembre		Fecha de cosecha: noviembre-marzo	
Parámetros generales B		Resumen contable:	
Rendimiento (Kg/ha):	14.400	Ingreso por hectárea (e)	1.440.000
Precio de venta a productor (\$/Kg): ⁽²⁾	100	Costos directos por hectárea (a+b+c)	1.329.115
Costo jornada hombre (\$/JH)	15.000	Costos totales por hectárea (a+b+c+d)	1.386.077
Tasa interés mensual (%):	1,50%	Margen bruto por hectárea (e - (a+b+c))	110.885
Meses de financiamiento:	6	Margen neto por hectárea (e - (a+b+c+d))	53.923
		Costo unitario	\$ 96

Ministerio de agricultura. Gobierno del Chile.

Fig. H.2: Afectaciones y pérdidas de principales productos agrícolas campaña agrícola 2015-2016

REGION PUNO: EVALUACION DE AREAS PERDIDAS Y/O AFECTADOS SEGÚN CULTIVOS, CAMPAÑA AGRICOLA 2015-16										
REGION AGRARIA: PUNO						Fecha	Puno:	Al 21 Abril 2016		
N°	PRINCIPALES CULTIVOS	Ejecución ha.	ha.	Perdida t.	\$/.	ha.	t.	\$/.	Tipo de Fenomeno	Fase Fenologica, % daño
1	Alfalfa	55,414	22	468	144,986	1,596	33,079	10,254,491	helada, sequia, inundación	floracion, maduración
2	Arveja grano seco	1,180	2	2	4,032	40	40	80,632	helada, sequia, granizo, inundación	macolaje, botón floral, fructificación
3	Avena forrajera	64,157	9,441	235,591	70,677,214	31,094	775,478	232,677,540	Sequia, heladas, granizo, inundación	ramificación, macolaje, espiga
4	Avena Grano	8,199	122	120	199,077	1,753	1,725	2,863,774	Sequia, heladas, inundación, granizo	encañado, grano lechoso
5	Café	10,967	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Camote	204	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Cañihua	5,523	27	21	112,047	1,139	906	4,726,736	helada, sequia	emergencia, brotes laterales, panoja, floración
8	Cebada forrajera	18,371	330	6,932	2,010,274	7,691	161,683	46,888,123	Granizada, sequia, helada, inundación	emergencia, encañado, espiga
9	Cebada grano	27,750	624	704	929,935	13,019	14,694	19,395,994	helada, sequia, granizo, inundación	hoja, encañado, espiga, grano lechoso
10	Chochó o Tarhui	1,321	-	-	-	531	698	2,925,772	helada, granizada, sequia	1ª hoja verdadera, botón floral, floración
11	Frijol grano seco	473	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Haba Grano Seco	10,846	300	377	992,562	5,433	6,820	17,935,595	helada, granizo, sequia, inundación	macolaje, botón floral, floración, fructificación
13	Maíz a. duro	2,435	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Maíz amiláceo	3,984	-	-	-	5	8	17,555	sequia, heladas	panoja
15	Mashua o Izaño	952	-	-	-	159	1,364	1,582,245	sequia, helada	botón floral
16	Oca	3,939	10	85	105,140	993	8,488	10,440,442	helada, granizada, sequia	botón floral, floración
17	Olluco	2,872	10	67	97,846	309	2,085	3,023,441	sequia, helada	botón floral
18	Pastos Asociados	10,661	-	-	-	475	8,505	2,466,414	sequia	macolaje
19	Papa	58,406	2,380	28,948	37,632,322	33,027	401,134	520,798,553	helada, granizada, sequia, inundación	ramificación, botón floral, floración, tuberización
20	Quinua	36,430	3,141	3,512	19,630,056	17,681	20,058	110,797,212	helada, granizo, sequia, inundación	ramificación, panoja, grano lechoso
21	Trigo	1,501	2	2	3,419	141	163	5,811,041	helada, sequia, inundación, granizo	encañado, grano lechoso
22	Otros cultivos	12,858	-	-	-	-	-	-	-	-
Total siembra + instalada		338,443	16,411	276,830.51	132,538,911.16	115,046	1,436,927.56	992,685,559.67		
Nota: Información Preliminar										
Fuente: Agencias Agrarias										
Nota: porcentaje de afectaciones y pérdidas al total sembrada e instalada: 38.84 %										
Superficie Afectada 33.99 %										
Superficie Perdida 4.85 %										
Nota: Alfalfa, Avena forrajera, cebada forrajera y pastos asociados, serán modificados cuando las siembras concluyan en el mes de enero										
Heladas: 13 y 14 Diciembre 2015; 2,3,4,6, 22 y 23 Enero 2016, 5-03-16,										
Sequia: Segunda quincena de Diciembre 2015, y de 1 al 6; 21,22,23,-01-2016, inhiviendo el normal crecimiento de las plántulas										
Granizada: 12 Diciembre 2015; 06,10 enero 2016; febrero 11-16; marzo 02,09,13 -2016; abril 16-2016										
Siembras e instaladas: actualizadas al mes de enero del 2016 con el incremento de alfalfa y forrajes.										
Inundación ríos y riachuelo, crecida del lago: 24,25, 26 febrero 2016										
Rancho: evaluado al 04-03-16										
Nota 1: Con las últimas precipitaciones hubo recuperación de áreas afectadas en algunos sectores estadísticos.										

Fuente: Gobierno regional de Puno-Dirección estadística agraria e informática.

ANEXO I: Recursos naturales de la zona

Fig. I.1: medición de pozo de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. I.2: medición de pozo de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. I.3: Plantaciones de alfalfa en el sector Rosaspata.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. I.4: Plantaciones de alfalfa en el sector Rosaspata.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. I.5: Apertura de silo de alfalfa en el sector Rosaspata.



Fuente: Elaboración propia.