

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN DEL  
EQUIPO ÓPTIMO DE BOMBEO EN MUSKARUMI - PUCYURA -  
CUSCO USANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,  
que presenta el bachiller:

**DANY FRANCO AUCCACUSI MONTEJO**

**ASESOR: Miguel Angel Hadzich Marín**

**Lima, Mayo del 2014**

## RESUMEN

La presente tesis es una iniciativa individual que está empeñada 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.

Por lo tanto se realizó el análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura – Cusco usando fuentes renovables de energía, para lo cual se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año, es de aproximadamente 3 l/s por lo que se necesitaría bombear un volumen de 282 m<sup>3</sup> al día; por otro lado se definió que el tipo de riego más adecuado para la zona es el de aspersión. Entonces eligiendo los aspersores a utilizar se determinó que se necesita en promedio de 3.5 bar de presión, lo cual nos da la referencia de la altura en la cual se debe ubicar el tanque de agua.

Se realizó el análisis económico con el fin de hallar la rentabilidad del proyecto tomando como tasa de interés mínima 11% anual según Agrobanco, por lo que se hallaron los costos fijos y variables de todas las bombas analizadas, así como el costo de producir vegetales en la zona, para luego realizar un análisis financiero mediante las técnicas de evaluación del valor actual neto y tasa interna de retorno determinando qué productos agrícolas harán factible el 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.

Aplicando el uso de la bomba solar, el costo aproximado del proyecto de bombeo y riego es de aproximadamente \$39 000 cuyo valor actual neto es de \$54 000 y tasa interna de retorno es de 58%, lo cual nos indica la rentabilidad y factibilidad del mismo.

## AGRACEDIMIENTOS

Quisiera agradecer a Dios por darme salud y vida. A mi papá y a mi mamá por su apoyo incondicional y amor, que me dieron el valor para asumir retos y no renunciar a mis sueños. A mis amigos de la universidad que con su alegría y dedicación me inspiraron a ser mejor persona cada día. A mis profesores por su talento, su confianza, su paciencia y por todos los momentos vividos, entre ellos los ingenieros: Jorge Rodríguez, Kurt Paulsen, Javier Tamashiro, Enrique Barrantes, Fernando Jiménez, Julio Acosta, Roberto Lazarte, Dante Elías, Gaetano Muscari, Víctor Girón, Estela Assureira, Freddy Rojas, Rosendo Franco. De forma muy especial al Ing. Quino Valverde que me apoyo en sacar adelante esta tesis y al Ing. Miguel Hadzich por demostrarme la importancia de compartir con los que menos tienen. Finalmente a la Sección Ingeniería Mecánica de la PUCP, 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. Gracias a todos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de contenido.....	iii
Lista de símbolos.....	v
Introducción.....	1
Capítulo 1: Análisis del problema.....	4
1.1.- Necesidades de bombeo.....	5
1.2.- Recursos naturales aprovechables.....	7
1.3.- Ubicación de estudio de caso en Perú.....	8
Capítulo 2: Descripción de tecnologías necesarias.....	11
2.1.- Tipos de energías Renovables.....	12
2.1.1.- Energía Solar.....	12
2.1.2.- Energía Eólica.....	13
2.1.3.- Energía Hidráulica.....	15
2.2.- Equipos de bombeo con tecnologías limpias.....	16
2.2.1.- Bombas solares.....	16
2.2.2.- Aerobombas.....	21
2.2.3.- Ruedas hidráulicas.....	26
2.2.4.- Bombas de ariete.....	28
Capítulo 3: Análisis de caudal necesario para riego.....	34
3.1.- Definiciones.....	34
3.1.1.- Evapotranspiración potencial.....	34
3.1.2.- Evapotranspiración real o Actual.....	37
3.1.3.- Precipitación efectiva.....	39
3.1.4.- Demanda de agua de los cultivos.....	40
3.2.- Ejemplo de aplicación para el caso de estudio.....	41
Capítulo 4: Análisis de presión necesaria para riego.....	48
4.1.- Aspersión como método preferido por campesinos.....	48
4.2.- Selección de aspersores de acuerdo al caso de estudio.....	50
4.3.- Diseño del sistema de aspersión de acuerdo al caso de estudio.....	52

Capítulo 5: Selección de equipos de bombeo.....	63
5.1.- Selección de motobomba.....	63
5.2.- Selección de electrobomba.....	66
5.3.- Selección de aerobomba.....	68
5.4.- Selección de bomba solar.....	72
5.5.- Selección de bomba de ariete.....	82
5.6.- Selección de río bomba o rueda hidráulica.....	84
Capítulo 6: Análisis económico.....	90
6.1.- Costo del sistema de riego.....	90
6.2.- Costos sobre los equipos de bombeo.....	90
6.2.1.- Motobomba.....	91
6.2.2.- Electrobomba.....	91
6.2.3.- Aerobomba.....	92
6.2.4.- Bomba Solar.....	93
6.2.5.- Bomba de ariete.....	94
6.2.6.- Río bomba o Rueda hidráulica.....	94
6.3.- Costos comparativos de equipos de bombeo pre-seleccionados.....	96
6.4.- Costos de producción en la zona.....	100
6.4.1.- Costo de siembra y cosecha en la zona.....	100
6.4.2.- Precio de venta de productos agrícolas en la zona.....	100
6.5.- Análisis financiero.....	101
Conclusiones.....	106
Recomendaciones y observaciones.....	109
Bibliografía.....	110
Anexos	

## LISTA DE SÍMBOLOS

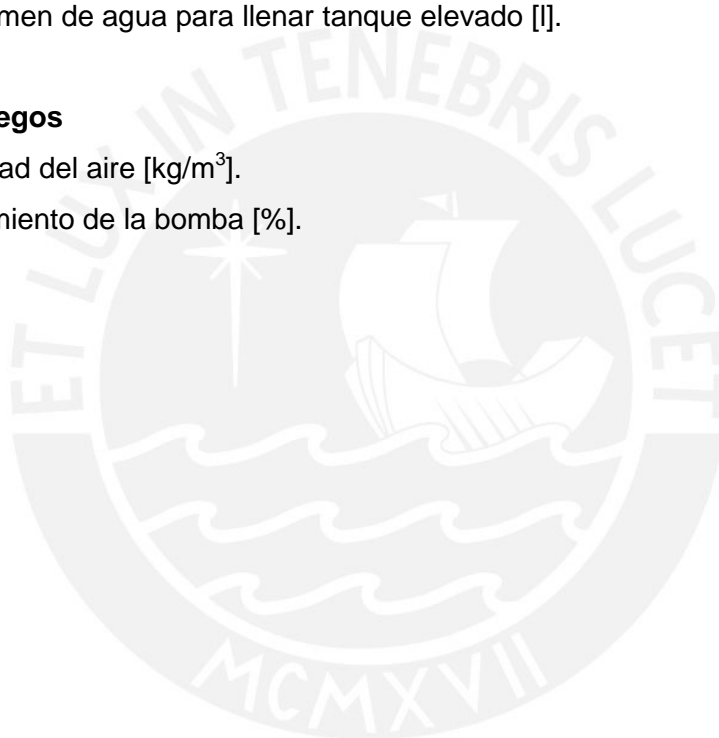
- A:** Área cubierta por el rotor eólico [ $m^2$ ].
- Ar:** Tamaño del Módulo Fotovoltaico [Wp].
- C:** Constante de rugosidad.
- CA:** Diferencia entre la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, inicial y final del periodo considerado [mm/mes].
- CE:** Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.
- CH:** Factor de corrección para la humedad relativa.
- CT<sub>e</sub>:** Costo de operación de la electrobomba [S/].
- Cs:** Consumo de combustible [l/h].
- CT<sub>M</sub>:** Costo de operación de la motobomba [S/].
- CU:** Coeficiente de uniformidad [%].
- D<sub>ip</sub>:** Diámetro interno de la tubería principal [mm].
- D<sub>il</sub>:** Diámetro interno de la tubería lateral [mm].
- DA:** Demanda de agua [mm/mes].
- E:** Altitud o Elevación del lugar [m.s.n.m].
- E<sub>H</sub>:** Energía hidráulica [ $m^4$ ].
- ETA:** Evapotranspiración real o actual de los cultivos [mm/mes].
- ETP:** Evapotranspiración potencial [mm/mes].
- F:** Factor de Christiansen.
- G<sub>D</sub>:** Radiación global diaria de la localidad [ $kW.h/m^2$ -día].
- H:** Presión o altura del tanque de alimentación de bomba de ariete [m.c.a].
- h:** Presión o altura deseada de salida de bomba de ariete [m.c.a].
- h<sub>fp</sub>:** Pérdidas de presión en tubería principal [m.c.a].
- h<sub>fe</sub>:** Pérdida de presión efectiva [m.c.a].
- h<sub>fl</sub>:** Pérdidas de presión en tubería lateral [m.c.a].
- H<sub>man</sub>:** Altura manométrica total [m.c.a].
- HR:** Humedad Relativa media mensual [%].
- MF:** Factor mensual de latitud.
- L<sub>p</sub>:** Longitud de la tubería Principal [m].

- $n_s$ : Número de salidas que tiene tubería lateral.
- $n_i$ : Número de aspersores por tubería lateral.
- Nf**: Aporte eventual del nivel freático [mm/mes].
- $N_i$ : Número de tuberías laterales.
- N<sub>MS</sub>**: cantidad de módulos solares.
- $L_i$ : Longitud de tubería lateral [m].
- k**: Coeficiente del efecto de la relación agua-suelo-planta.
- $k_c$ : Factor de cultivo.
- $k_h$ : Factor de humedad.
- $k_s$ : Factor de suelo.
- P**: Precipitación mensual [mm/mes].
- $P_c$ : Precio de combustible [S/. /gal].
- $P_e$ : Precio contratado del kW en la zona [S/./kW.h].
- PE**: Precipitación efectiva [mm/mes].
- $P_{fi}$ : Presión final de la tubería lateral [m.c.a].
- $P_{ii}$ : Presión inicial de la tubería lateral [m.c.a].
- $P_{max}$ : Máxima potencia de modulo solar [W].
- Pot**: Potencia de electrobomba [HP].
- Pres**: Presión atmosférica en la zona [kPa].
- $P_{SG}$ : Potencia necesaria en paneles solares [W.h/día].
- $P_T$ : Presión necesaria total [m.c.a].
- $P_V$ : Potencia teórica del viento [W].
- $q$ : caudal necesario de agua [l/s].
- $Q_a$ : Caudal de cada emisor o aspersor [l/s].
- $Q_{AA}$ : Caudal de alimentación necesario en la bomba de ariete [l/min].
- $Q_{BA}$ : Caudal de agua bombeada por bomba de ariete [l/min].
- $Q_{BE}$ : Caudal de agua bombeada por electrobomba [l/s].
- $Q_{BM}$ : Caudal de agua bombeada por motobomba [l/min].
- $Q_i$ : Caudal que circulará por tubería lateral [l/h].
- $Q_{ti}$ : Caudal requerido por todas las tuberías laterales [l/s].
- $Q_T$ : máximo caudal necesario [m<sup>3</sup>/día].
- R**: Constante específica del aire [J/kg\*K].

- Sr:** Superficie de riego [ $m^2$ ].  
**S<sub>i</sub>:** Separación entre tuberías laterales [m].  
**S<sub>a</sub>:** Separación entre aspersores [m].  
**T:** Temperatura ambiente promedio [K].  
**Tr:** Tiempo de riego [h].  
**TMF:** Temperatura media mensual [ $^{\circ}F$ ].  
**V:** Velocidad del aire [m/s].  
**Vol:** Volumen de agua para llenar tanque elevado [l].

### Símbolos griegos

- $\rho$ :** Densidad del aire [ $kg/m^3$ ].  
 **$\eta$ :** Rendimiento de la bomba [%].



## INTRODUCCIÓN

Las estadísticas del Ministerio de Agricultura (MINAG), indican que en el Perú alrededor de la tercera parte de la población vive en las zonas rurales, cuyos ingresos dependen del 50% de la agricultura, además se estima que el área de riego en el país está representado por un 70% bajo secano, 26.9% bajo riego por gravedad, 2% bajo riego tecnificado y 0,7% a través de la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos, bajo estas circunstancias alrededor de 10 millones de peruanos aplican una tecnología de bombeo y riego ineficiente que trae como consecuencia un bajo nivel de competitividad que se refleja en una baja productividad principalmente de la sierra y selva del Perú.

La topografía accidentada de la sierra hace que las comunidades rurales en el Perú sean de difícil acceso, además sus poblaciones y viviendas dispersas con bajo consumo eléctrico determina que los proyectos de electrificación sean poco rentables y por ende no tengan acceso a esta energía; por otro lado, debido al desconocimiento de otro tipo de fuente de energía, las comunidades agrícolas se ven obligadas a esperar la época de lluvia, que sucede una vez al año, para cultivar.

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 del Perú.

Por lo expuesto antes, en la presente tesis se analizará técnica y económicamente la selección de una bomba que usa, para su funcionamiento, energías renovables, en la localidad del sector de Muskarumi que se encuentra en el distrito de Pucyura, provincia de Anta, del departamento de Cusco, aprovechando la existencia de un pozo y un río cercano a la zona de análisis, de modo que satisfaga la necesidad de los pobladores agricultores.

Además, como objetivos específicos, se plantea:

1. Analizar el uso de la electrobomba y la motobomba para fines comparativos con los equipos de bombeo que usan energías renovables.
2. Determinar el volumen de agua necesario para los cultivos por mes, según el cambio climatológico de la zona. Así como la presión necesaria para el riego.
3. Seleccionar el tipo de riego adecuado, teniendo en cuenta, la racionalidad de los pobladores de la zona.
4. Demostrar cuál de las bombas que usan energías renovables es la más óptima para cumplir con los requerimientos de bombeo.
5. Analizar económicamente la rentabilidad y factibilidad del proyecto según los productos agrícolas cultivados.

La tesis desarrollada abarca el análisis técnico y económico para determinar y seleccionar el equipo de bombeo óptimo para el riego en 3 hectáreas de cultivo en el sector de Muskarumi, seleccionando el tipo de riego y determinando la necesidad hídrica de los diferentes cultivos de la zona.

La metodología a seguir consiste en determinar la necesidad de agua de los cultivos producidos en la zona para luego hallar el caudal diario, por otro lado se hallará la presión de acuerdo al tipo de riego más adecuado según la racionalidad de la población; teniendo los parámetros anteriormente establecidos se seleccionaran el o los equipos de bombeo óptimos. Finalmente se analizará la rentabilidad y la factibilidad del proyecto de acuerdo a los costos de inversión y de producción agrícola.

El desarrollo de la tesis seguirá la siguiente secuencia:

En el capítulo 1 se realiza un análisis del problema describiendo las necesidades de bombeo de los pobladores agricultores, también se describe la situación de la localidad y los recursos naturales aprovechables así como la ubicación del caso de estudio en el Perú.

En el capítulo 2 se realiza una breve descripción de las tecnologías necesarias es decir los tipos de energías renovables sus ventajas y desventajas; así como la descripción, el funcionamiento y esquemas de los equipos de bombeo aplicables para la zona de estudio, que usan tales energías.

En el capítulo 3 se realiza un análisis para determinar el caudal que necesitan los cultivos para crecer apropiadamente mediante método Hargreaves y sus factores correctivos, así mismo se presenta un ejemplo de cálculo para determinar el máximo caudal necesario de agua durante el mes más seco del año en la zona.

En el capítulo 4 se realiza un análisis para determinar la presión necesaria en el riego que depende directamente de la presión de trabajo del sistema y tipo de riego que se usará en la zona según la racionalidad de los pobladores.

En el capítulo 5 se realiza la selección del equipo de bombeo para el caso de estudio en Pucyura- Cusco, teniendo los parámetros de presión y caudal anteriormente hallados, analizando las tecnologías necesarias que usan fuentes de energía renovables, así como el de la electrobomba y la motobomba para fines comparativos.

Finalmente en el capítulo 6 se realiza el análisis económico de todos los equipos de bombeo estudiados, determinando su rentabilidad de cada uno, así como los productos agrícolas que deben ser cultivados para que sea factible el desarrollo del proyecto y de esta manera determinar qué equipo de bombeo es el óptimo para el sector de Muskarumi – Pucyura - Cusco. Además, la tesis contará con anexos para lograr una mejor comprensión del trabajo.

## CAPITULO 1

### ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Actualmente la zona poblada del distrito Pucyura, provincia de Anta, del departamento de Cusco, es una zona agricultora y ganadera por lo que necesita usar diversas fuentes de agua y debido a que su geografía no permite que todos los pobladores sean beneficiados igualmente con el recurso hídrico del río Hatunmayu que atraviesa este distrito; se ven en la necesidad de realizar viajes diarios desde los alrededores para conseguir agua.

Actualmente, las granjas y sembríos al lado del río Hatunmayu son productivos todo el año, debido a que tiene acceso a grandes cantidades de agua, mientras que las tierras más alejadas como es el sector de Muskarumi solo producen en época de lluvia, afectando su desarrollo y progreso.

En el caso del sector de Muskarumi, existe un pozo natural de agua de 1.5 x 1.5 metros durante el periodo de sequía y se encuentra a una altura de 3465 m.s.n.m. pero debido a sus dimensiones y al nivel de agua respecto del suelo, este no satisface la demanda de los pobladores del sector.



Figura 1.1: Vista satelital sector Muskarumi – Pucyura – Anta – Cusco.

Fuente: Google Earth.

### 1.1. Necesidades de bombeo.

En la zona se necesita bombear agua a un tanque elevado para después ser utilizado en los regadíos de la zona, por lo cual se seleccionará equipos de bombeo adecuados para elevar agua de modo que cumpla con los requerimientos de presión y caudal necesarios para el uso en regadío.

Se busca beneficiar a familias residentes de la zona, cada familia consta aproximadamente 5 personas, para un riego de 3 hectáreas de cultivo.

### Ubicaciones del tanque elevado:

Existen dos posibles ubicaciones del tanque se encontrarían a una altura aproximada de 45 metros sobre el nivel pozo o a 136 metros sobre el nivel del río.

- **Primera posible ubicación (Alternativa otras):** ver figura 1.2.  
**Altitud:** 3510 m.s.n.m. (a 46 metros de elevación respecto al pozo).  
**Distancia:** 100 metros de distancia aproximadamente sobre el terreno, del pozo al tanque.
- **Segunda posible ubicación (Alternativa río-bomba):** ver figura 1.2.  
**Altitud:** 3374 m.s.n.m. (a 136 metros de elevación respecto al río).  
**Distancia:** 518 metros de distancia aproximadamente sobre el terreno del río al tanque.

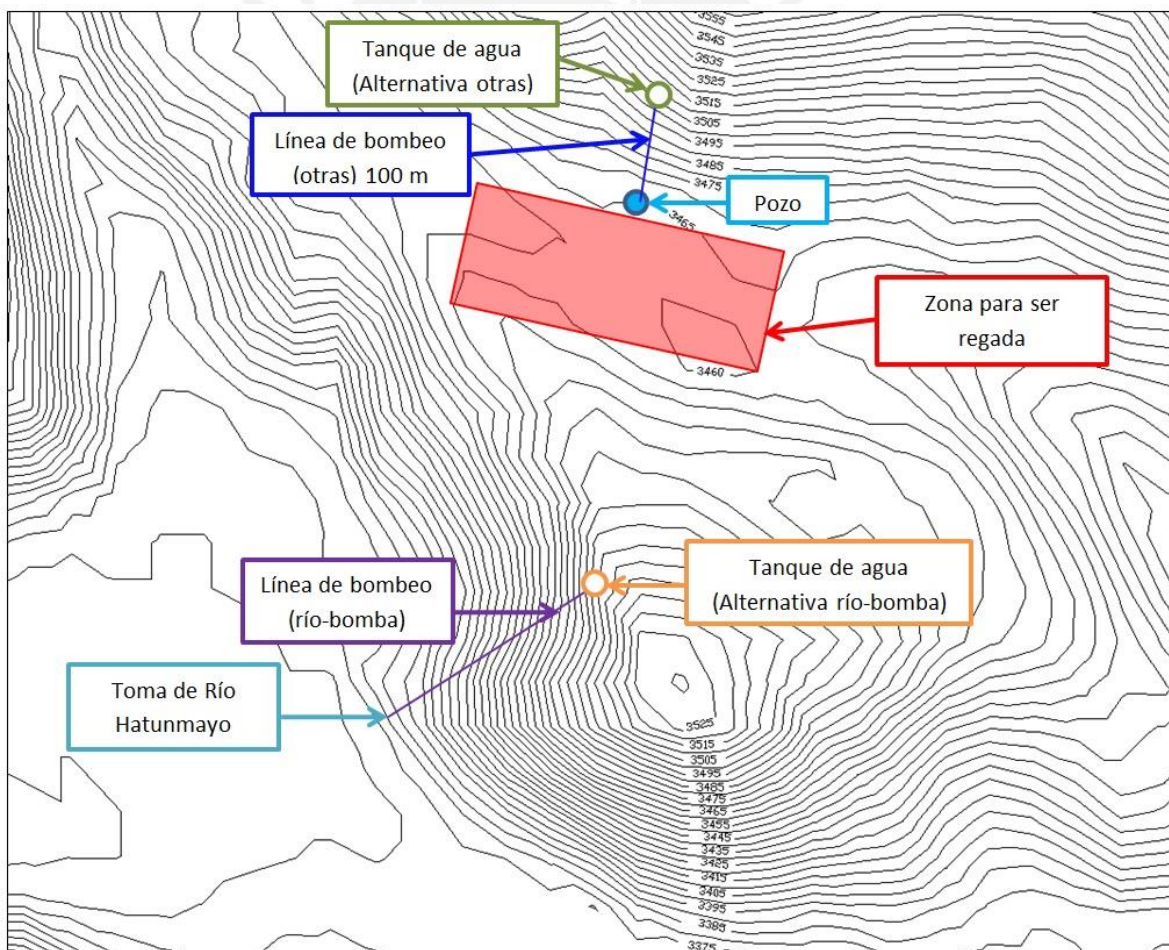


Figura 1.2: Vista Muskarumi – Pucyura – Cusco.

Fuente: Plano de Elevaciones de Urubamba (Anexos Pagina 21)

## 1.2. Recursos naturales aprovechables.

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

Febrero: 5.5 - 6 kW.h/m<sup>2</sup> día.  
Mayo: 5.5 - 6 kW.h/ m<sup>2</sup> día.  
Agosto: 4.5 - 5 kW.h/ m<sup>2</sup> día.  
Noviembre: 6 – 6.5 kW.h/ m<sup>2</sup> día.

**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 1.5 metros por 1.5 metros en época de secas (Abril - Octubre) con una profundidad de 8 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 12 metros por 12 metros con una profundidad de 0.6 metros
- **Respecto al río:** El río Hatunmayu o Cachimayo en la época de secas (Abril- Noviembre) posee las siguientes características:

Velocidad del río: 0.46 m/s.

Caudal aproximado del río: 0.5 m<sup>3</sup>/s.

**Recursos Eólicos:** Según los datos reportados por la estación meteorológica: 846860, con código OACI: SPZO del Aeropuerto Internacional Teniente Alejandro Velasco Astete del Cusco, para el año 2011 se obtuvo el promedio mensual de la velocidad del viento como se muestra en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1**  
**VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO DURANTE EL AÑO 2011 [1.1]**

<b>VELOCIDAD MENSUAL DEL VIENTO (m/s)</b>	
Enero	3.50
Febrero	3.17
Marzo	3.75
Abril	3.39
Mayo	3.03
Junio	3.22
Julio	3.28
Agosto	3.56
Septiembre	3.64
Octubre	3.83
Noviembre	3.81
Diciembre	3.50

### 1.3. Ubicación del estudio de caso en el Perú.

El análisis técnico para la selección del equipo óptimo de bombeo usando fuentes renovables de energía se realizará en el sector de Muskarumi de la comunidad campesina de Ayarmaca del distrito de Pucyura en la provincia de Anta del departamento de Cusco.

#### **Distrito de Pucyura:**

**Ubicación:** Se encuentra en la provincia de Anta del departamento del Cusco, en la sierra sur del Perú a 20 km de la ciudad del Cusco y a 5 km de la ciudad de Anta, entre los distritos de Poroy y Chinchero.

#### **Límites:**

Norte: Distrito de Chinchero de la provincia de Urubamba.

Sur: Distrito de Poroy de la provincia de Cusco.

Este: Distrito de Cusco de la provincia de Cusco.

Oeste: Distrito de Cachimayo de la provincia de Anta.

**Altitud:** Oscilan entre los 2670 m.s.n.m. en la parte más baja y entre los 3600 m.s.n.m. en las partes más altas, con una altitud promedio 3135 m.s.n.m.

**Clima:** El clima es seco presentando variaciones de temperatura y precipitaciones pluviales mensuales y anuales. La temperatura tiene un promedio anual de 12°C y oscila entre -5°C y 22°C, siendo los meses de menor temperatura de mayo a julio y los de mayor temperatura octubre a noviembre. Las precipitaciones pluviales tienen promedio anuales variados que oscilan entre 450 mm a 1100 mm para los últimos 30 años, siendo los meses de menor precipitación de mayo a julio y los de mayor precipitación de diciembre a marzo.

#### **Población (según censo nacional de 1995):**

La población en Pucyura es de 2628 habitantes que representa el 3.4% de la población de la provincia de Anta. De los cuales:

- 1 352 habitantes que es el 51% viven en comunidades campesinas y sectores.
- 1 332 habitantes que es el 49% viven en el centro poblado.

#### **Estructura poblacional:**

Niños de 1 a 9 años : 773.  
Jóvenes de 10 a 29 años : 990.  
Adultos de 30 a más : 885.

### Referencias Bibliográficas

- [1.1] “Velocidad mensual promedio del viento” (2011). [en línea]. Disponible en: <http://www.tutiempo.net> [2011, 18 de noviembre].
- [1.2] “Plan de desarrollo del distrito de Pucyura” (2000). [base de datos]. Cusco: Municipalidad Distrital de Pucyura. p.91.
- [1.3] “Plan estratégico del Sector Agrario Cusco” (2002). [base de datos]. Ministerio de Agricultura Cusco. p.71.
- [1.4] “Plan vial participativo de la provincia Anta” (2006). [base de datos]. Cusco: Municipalidad Provincial de Anta. p.194.
- [1.5] “Resultados censales” (2005). [base de datos]. Lima: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/> [2011, 10 de septiembre].
- [1.6] “Mapa Político de la Provincia de Anta” (2012). [en línea]. Disponible en: [http://www.munianta.gob.pe/mapa\\_de\\_la\\_provincia.php](http://www.munianta.gob.pe/mapa_de_la_provincia.php) [2012, 09 de diciembre].

## CAPITULO 2

### DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS NECESARIAS

A partir de la primera revolución industrial, la demanda masiva de energía ha obligado a buscar fuentes de energía capaces de mantener el crecimiento del desarrollo industrial y de nivel de bienestar. Durante los primeros años, este crecimiento se basó en la minería del carbón para pasar después al consumo de combustibles derivados del petróleo, del gas natural y finalmente de la energía nuclear.

En la actualidad, la estructura energética mundial se basa, en gran parte, en el consumo de la energía fósil como son carbón, petróleo y gas natural además de la nuclear, dejando aparte la energía hidráulica. Esta situación conduce la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de residuos sólidos y líquidos, el riesgo de accidentes graves y el agotamiento paulatino de los yacimientos existentes.

A fin de no llegar a una situación insostenible, es preciso acudir a fuentes de energía alternativas, desarrollando la tecnología, aumentando su eficiencia y creando instrumentos sociales y políticos que favorezcan su viabilidad económica.

## 2.1. Tipos de Energías Renovables.

### 2.1.1. Energía Solar.

Prácticamente toda la energía que existe en el planeta procede del Sol y solo una pequeña parte de ella se utiliza para mantener la vida orgánica en la biosfera y el resto, dejando aparte la acumulación debida al calentamiento global, se disipa al exterior. Por otro lado la diferencia de la radiación solar, entre las distintas zonas de la tierra a lo largo del año y la variación diaria para una zona determinada, provocan los fenómenos meteorológicos como vientos, lluvias, nevadas, etc., y estos a su vez, la formación de corrientes y almacenes de agua como lagos, ríos, mares, etc. Por lo tanto la mayor parte de las energías utilizables, exceptuando la nuclear y la geotérmica, provienen de una fuente única que es el Sol. Desde un punto de vista puramente conceptual, esta es una de las razones que hacen atractiva la energía solar.

La utilización práctica de la energía solar tiene un doble objetivo: contribuir a la reducción de la emisión de gases invernadero y ahorrar en energías no renovables. Los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de la energía solar se clasifican en dos grandes categorías: sistemas fototérmicos y sistemas fotovoltaicos.

En el caso de bombeo solar se usa con mayor frecuencia el sistema fotovoltaico, que convertirá la energía solar en energía eléctrica, la cual será aprovechada para hacer funcionar un equipo de bombeo.

Las principales ventajas de uso de energía solar son las siguientes:

- Es libre y muy abundante.
- No tiene un impacto ambiental significativo.
- Sus costes de operación son bajos
- No requieren grandes suministradores ni centrales, ni redes de distribución caras.

- Tiene aceptación pública como fuente de energía natural.

Los principales problemas asociados con la energía eólica son:

- Su disponibilidad es intermitente.
- Es una fuente de energía difusa y provee una energía de baja densidad por unidad de superficie de captación, con lo que se necesitan grandes áreas para captar energía.
- Para la construcción del captador de energía, se requieren elevados costes de capital; esto contrarresta la naturaleza “libre” de la misma energía durante varios años, hasta que la inversión se recupera.
- No recibe las facilidades económicas préstamos o créditos en la medida en el que el gobierno del país donde se instale reconozca el valor del bajo nivel de contaminación y de emisiones de gases invernadero que ocasiona respecto al uso de combustibles fósiles.

### **2.1.2. Energía Eólica.**

La energía eólica es una de las fuentes de energías renovables para la que se dispone de una tecnología madura, por lo que su explotación es técnica y económicamente viable, en algunas condiciones de producción y coste son competitivas con las fuentes de energía tradicionales como la hidráulica, térmica clásica o termonuclear.

Actualmente son varias las razones por las que se presta una especial atención a la energía eólica entre ellas debemos decir que:

- Se debe buscar fuentes de energía no convencionales, que permitan atender la gran demanda de energía de las sociedades humanas debido a que el planeta está cada

vez más poblado, y el consumo de energía per cápita aumenta a medida que las sociedades menos desarrolladas tienden a un mayor desarrollo.

- Se debe potenciar fuentes de energía que ahorren combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas; promoviendo un modelo de desarrollo sostenible, además de diversificar los suministros energéticos mediante el uso de fuentes propias de energía y lograr una mayor independencia energética de otros países.
- Se debe limitar la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero, acidificación de la atmósfera, destrucción de la capa de ozono, etc. así como los residuos sólidos y líquidos con un potencial de contaminación química y reactiva.

Las principales ventajas de la energía eólica son las siguientes:

- No hay emisión de gases contaminantes, afluentes líquidos, afluentes gaseosos, ni residuos sólidos y tampoco utiliza agua.
- Es una fuente de energía renovable, sin requerir procesos de extracción subterráneos o a cielo abierto como ocurre en la minería o geotermia.
- Su uso y posibles incidentes en su explotación no implica riesgos ambientales de gran impacto como derrames, explosiones, incendios, etc.
- Ahorra combustibles fósiles y diversifica el suministro energético.

Los principales problemas asociados con la energía eólica son:

- El viento es disperso y de gran variabilidad y fluctuación, tanto en velocidad como en dirección, por lo que no todos los lugares son adecuados para una explotación técnica y económicamente viable de la energía eólica.

- Produce un impacto ambiental a escala local, en el aumento del nivel de ruido, por ejemplo un aerogenerador, pero en el caso de una aerobomba el número de revoluciones del rotor es menor por lo que el ruido también lo será.

### 2.1.3. Energía Hidráulica.

La energía hidráulica es una fuente de energía renovable que se puede aprovechar mediante el uso de una caída de agua desde una cierta altura o por conservación de la cantidad de movimiento, esto se debe a que la energía potencial durante la caída se convierte en energía cinética, que a su vez es transmitida a un elemento o equipo mecánico que se usa para algún propósito.

Por lo general la mejor manera de aprovechar esta energía es una rueda hidráulica cuyo funcionamiento básico consiste en aprovechar la energía cinética del agua almacenada o en movimiento.

Las principales ventajas de la energía hidráulica son las siguientes

- El ciclo del agua lo convierte en un recurso inagotable.
- No emite gases "invernadero", ni provoca "lluvia ácida", ni produce emisiones tóxicas.
- Sus costos de explotación son bajos, y su mejora tecnológica hace que se aproveche de manera eficiente los recursos hidráulicos disponibles.
- No son necesarios sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía y en muchos casos contaminan.
- El almacenamiento de agua permite el suministro para regadíos o la realización de actividades de recreo.
- La regulación del caudal controla el riesgo de inundaciones y desastres de agua.

Los principales problemas asociados con la energía hidráulica son:

- El agua es un recurso muy condicionado por la climatología, por lo que la variabilidad de esta fuente de energía será determinada sobre todo por la pluviosidad estacional que es un claro ejemplo de la irregularidad de este recurso energético donde se alternan los periodos de sequía, a veces prolongados, con breves periodos de fuertes lluvias.
- El volumen de agua bombeada depende no solo del caudal sino de la topografía de la zona, lo que explicaría que áreas excesivamente llanas y con grandes caudales de agua no podrán ser debidamente aprovechados.
- El agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes y demás propiedades del agua que fluye por el río. Los sedimentos se acumulan en el embalse, por lo que el resto del río hasta la desembocadura se encuentra empobrecida de nutrientes. Asimismo, puede dejar sin caudal mínimo el tramo final de los ríos, especialmente en épocas de sequía.

## **2.2. Equipos de Bombeo con tecnología limpias.**

### **2.2.1. Bombas Solares.**

#### **Descripción de la tecnología:**

En el bombeo solar se usa un sistema fotovoltaico que convierte radiación solar en energía eléctrica. Los dispositivos de los sistemas fotovoltaico solares pueden ser muy distintos pero en general la disposición del sistema y los principios de funcionamiento son siempre los mismos.

Un sistema fotovoltaico consiste de un panel fotovoltaico o módulo, una unidad de control, una batería de almacenamiento y la carga eléctrica.

El sistema de bombeo solar aplicado a regadíos utiliza la corriente continua producida por los paneles con el objetivo de bombear agua a un tanque de almacenamiento para luego ser usado en el riego de los cultivos.

#### **Descripción de sus componentes característicos:**

- a) Panel Fotovoltaico: Convierte la radiación solar en corriente continua con un nivel de voltaje fijo. Muchos de los paneles surten potencia a un voltaje de 12V. La corriente depende de la intensidad de la irradiación solar.
- b) Unidad de control: La unidad de control está en el centro del sistema y dirige la corriente desde el panel fotovoltaico directamente a la carga eléctrica o a la batería de almacenamiento. Si hay una carga eléctrica cuando no hay sol, la unidad de control dirigirá energía desde las baterías a la carga.
- c) Baterías: Las baterías se necesitan para almacenar la energía que se utilizará después, por ejemplo durante la noche o en días nublados. El uso final de la electricidad puede ser cualquier aplicación eléctrica, desde una simple bombilla de luz hasta pequeñas máquinas o bombas.
- d) Inversor: Se usa para la conversión de corriente continua a corriente alterna. Esto se hace antes del uso final y después de las baterías porque no se puede almacenar electricidad en forma de corriente alterna.
- e) Cableado: Los cables que se utilizan en el transporte de electricidad desde los paneles a los controles, baterías y uso final deben diseñarse para corriente continua de bajo voltaje. Esto significa que, se deberán usar cables más gruesos de lo normal que generalmente se usan para 220 V.

**Funcionamiento:**

Como podemos observar en la Figura 2.1, en un sistema de bombeo solar es importante explicar cómo funcionan los paneles solares, los cuales están conformados de celdas fotovoltaicas que son conductores semiplanos que convierte la irradiación solar directamente a corriente eléctrica sin generar ruido o contaminación alguna y sin partes móviles. Las celdas fotovoltaicas constan de un semiconductor de silicio, contactos metálicos y usualmente un recubrimiento delgado que aumenta la eficiencia de la célula (reflexión reducida).

El silicio cristalino es un semiconductor que consta de un registro periódico de átomos y un cristal. En general, un átomo consiste de un núcleo positivo y electrones negativos que circulan en órbitas alrededor del núcleo. Los electrones en las órbitas exteriores son las más importantes pues determinan las características del átomo. En un metal, por ejemplo, los electrones exteriores circulan libremente y por lo tanto un metal conduce electricidad muy bien.

El principio básico del efecto fotovoltaico se trata de liberar electrones de sus átomos y en estos electrones libres hacer el material conductivo. La cantidad de energía mínima para liberar a un electrón de su posición fija se llama Band-gap. Cuando un fotón cae sobre un semiconductor puede suministrar suficiente energía para liberar a un electrón.

La célula fotovoltaica consiste en dos capas muy delgadas de semiconductores. La capa superior es un semiconductor del tipo negativo “n” y la capa inferior es un semiconductor del tipo positivo “p”. Un semiconductor del tipo n es un semiconductor con un exceso de electrones libres. Esto se logra impurificando el cristal de silicio con átomos que tienen electrones libres.

Un semiconductor del tipo p está impurificado con átomos que tienen una escasez de átomos libres, que también pueden catalogarse como átomos con huecos. Estos huecos también se mueven libremente a través del cristal a temperatura ambiente. El electrón

exterior de un átomo vecino tiene suficiente energía de vibración para saltar dentro del hueco, llenándolo pero dejando un hueco en el átomo original.

Cuando dos capas delgadas de materiales tipo p y tipo n se unen, los electrones libres de la capa tipo n fluirán hacia los huecos de la capa tipo p y llenarán estos huecos. Al hacer esto causan una carga positiva en la capa del tipo n porque los electrones negativos dejaron esta capa, al mismo tiempo en la capa del tipo p se da una carga negativa debido a la recepción de electrones de la capa tipo n. La diferencia de cargas crea un voltaje interno que impide a más electrones fluir de la capa del tipo n a la capa del tipo p.

Cuando la luz solar cae sobre las capas se crearán más electrones libres en la capa p y huecos en la capa n, alterando por tanto el equilibrio. Para reponer el equilibrio, fluirá una corriente eléctrica, creando un voltaje en los contactos externos de las dos capas. Si no se hace ninguna conexión externa entre las dos capas, este voltaje externo permanecerá tal como está porque no hay electrones que puedan fluir de la capa n a la capa p. de este modo se consigue energía eléctrica que puede ser usada directamente o almacenada en baterías.

En la zona de estudio se usará la energía solar para el funcionamiento de un equipo de bombeo que elevará el agua a un tanque de almacenamiento para luego ser usado en el riego como observamos en la Figura 2.2.

### Esquemas y Diagramas:

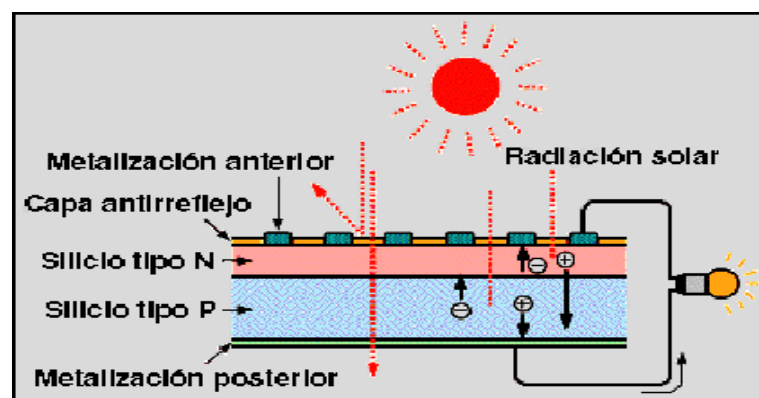


Figura 2.1: Diagrama de funcionamiento de panel solar [2.3].

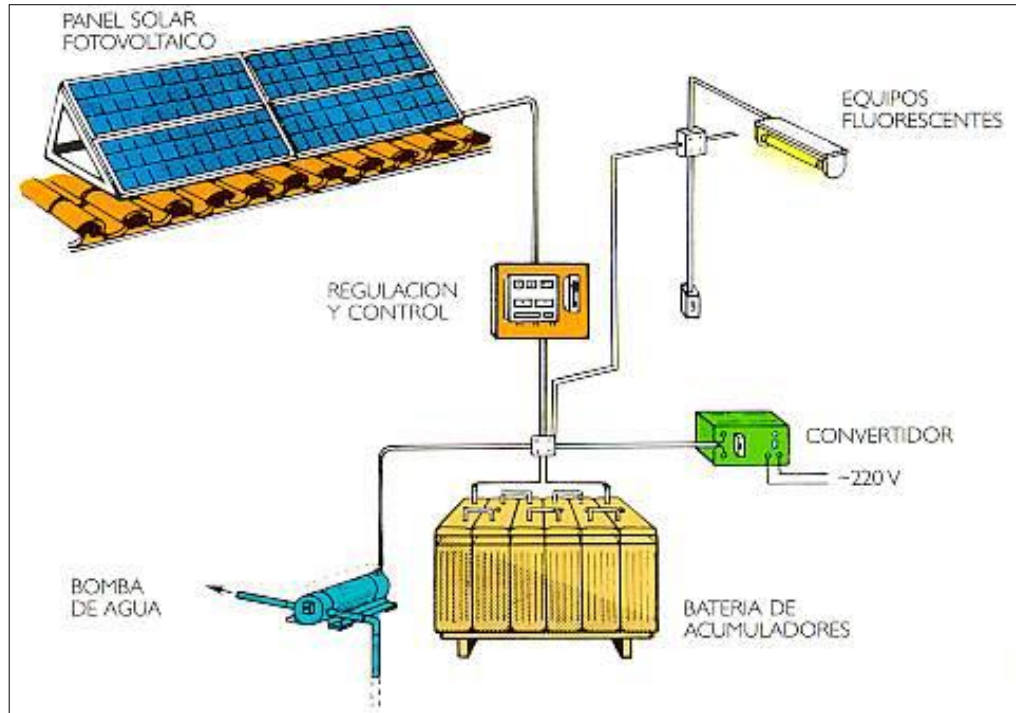


Figura 2.2: Esquema de sistema fotovoltaico [2.4].

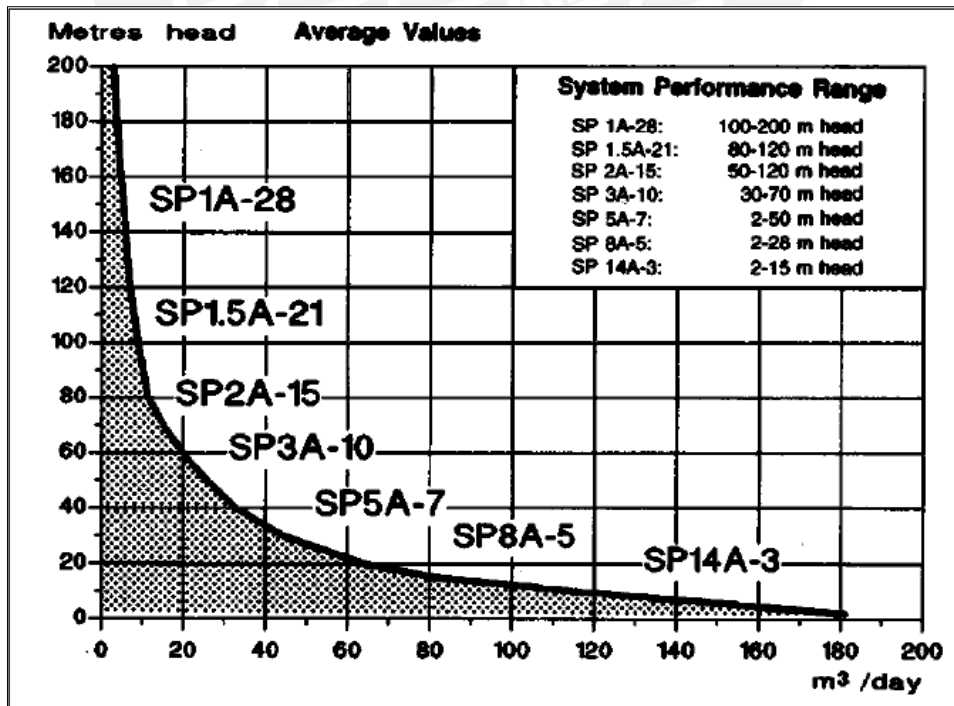


Figura 2.3: Características técnicas de bombas solar SA1500 [2.5]

### 2.2.2. Aerobombas.

#### Descripción de la tecnología:

El aerobombeo es una tecnología que principalmente depende del recurso eólico en la zona estudiada pero también depende de la disponibilidad del recurso hidráulico, ya que su localización determina la estrategia de bombeo. En este sentido se distinguen dos situaciones prácticas, a saber: aerobombeo directo y aerobombeo remoto.

La primera situación de bombeo ocurre cuando la fuente de agua es un pozo y la solución de aerobombeo es la aplicación de bombeo directo en el cual, el molino se coloca directamente sobre la fuente de agua. Este tipo de instalación es la más común de las aplicaciones de aerobombeo como se observa en la Figura 2.6. Una variante de esta aplicación puede ser cuando la bomba está extrayendo agua de un río y la bomba hidráulica puede ser localizada en la base de la torre y la acción de bombeo se realiza lateralmente.

La segunda opción, es decir el aerobombeo remoto, consiste en el tipo de solución en la cual la fuente de agua se encuentra apartada de la posible localización de la torre de la aerobomba. Esta situación es típica de regiones montañosas en las cuales el recurso eólico tiene mayor intensidad en la cima de las montañas y la fuente de agua es un río o un pozo que se encuentra a gran distancia, tanto lateral como vertical.

#### Descripción de sus componentes característicos:

- a) El rotor: el rotor es el aparato exterior del molino de viento, cuya función es transformar la energía eólica, en un movimiento rotatorio, compuesto de elementos denominados aspas, palas o hélices.
  - Rotor de eje horizontal.- Se clasifican según su emplazamiento en:

- Rotor a sotavento: Los rotores a sotavento son aquellos en que el viento actúa desde atrás. Estos rotores tienen la ventaja de la auto-orientación, debido al efecto que provoca el cono que describen las palas al rotar y lograr altas velocidades de giro.
- Rotor a barlovento: Los rotores a barlovento son los que reciben el viento de frente y necesitan un sistema independiente de orientación. Si el rotor es de reducidas dimensiones basta una cola que actúa como veleta la que se desplaza impulsada por la dirección del viento. Dicha pieza es por lo general de metal y de forma aerodinámica, que se coloca junto al rotor, para orientarlo contra el viento incidente, mediante el giro sobre un eje vertical.
- Rotor de eje vertical.- un rotor de eje vertical consta de palas curvadas longitudinalmente, existen muchos modelos.

En general la velocidad de giro de estos rotores es menor que los de eje horizontal, requiriendo sistemas de engranajes de multiplicación para aumentar la velocidad del equipo de bombeo. Sin embargo, tienen la ventaja de que no necesitan dispositivos de orientación en función de la dirección del viento, por lo que se simplifica su construcción.

Entre los rotores de eje vertical más usuales destacan los Savonius, cuyo nombre proviene de sus diseñadores, que se emplean sobre todo para bombeo y las Darrieus que consta de un rotor de alta velocidad que se asemeja a una batidora.

- b) Hélices: Son las palas que se construyen generalmente de chapa metálica, pero en modelos de tamaño elevado se utilizan preferentemente resinas plásticas y fibras sintéticas, de bajo peso, de formas aerodinámicas, de gran resistencia mecánica a los agentes climáticos. Además las palas deben ser adecuadamente calibradas a fin de evitar ruidos y vibraciones que pueden afectar a la estructura de soporte.

- c) Controlador: Debido a que el rotor es la pieza fundamental en la captación de la energía eólica, uno de los problemas fundamentales de su diseño es la prevención de la acción de los vientos fuertes. Por ello se han desarrollado diversos modelos que permiten proteger los rotores, como por ejemplo: la variación de la inclinación de las aspas que mediante el giro del rotor disminuye la intensidad máxima del viento así como la utilización de frenos generalmente de disco, que se accionan automáticamente cuando la velocidad del rotor es muy elevada. De esta manera se tiende a evitar y prevenir esfuerzos excesivos, altas vibraciones e incluso roturas como resultado de los vientos muy intensos.
- d) Estructura de soporte: La estructura de soporte generalmente es metálica, debiendo diseñarse especialmente para soportar la acción del viento más desfavorable, siendo sustentada por bases de hormigón. Deben contar con elementos de acceso para el mantenimiento del rotor así como a las distintas piezas y a la propia estructura.

Es conveniente que las torres de montaje estén instaladas por lo menos a 6 metros por arriba de obstáculos en 100 metros a la redonda para evitar turbulencias.

### **Funcionamiento:**

El equipo de bombeo eólico es parecido a un molino y cuenta con un elevado momento de torsión a baja velocidad, se usan con mayor frecuencia en las regiones rurales y sobre todo para drenar agua del subsuelo. Estas máquinas se valen de una pieza rotatoria, cuyo diámetro suele oscilar entre 2 y 5 metros, con varias aspas oblicuas que parten de un eje horizontal. La pieza rotatoria se instala sobre una torre lo bastante alta como para alcanzar el viento. Una larga veleta en forma de timón dirige la rueda hacia el viento. La rueda hace girar los engranajes que activan una bomba de pistón. Cuando los vientos soplan en exceso, unos mecanismos de seguridad detienen de forma automática la pieza rotatoria para evitar daños en el mecanismo.

En la zona de estudio se usará un sistema de bombeo mecánico que consiste en la utilización de una bomba a pistón provocando la aspiración en la tubería sumergida y la expulsión hacia un depósito de acumulación.

Es necesario para lograr este objetivo, conectar la bomba a un dispositivo o engranaje diseñado especialmente para la transmisión de movimiento. En general es preferible que el bombeo se efectúe en forma lenta a fin de reducir al mínimo la resistencia a la circulación del agua por las cañerías, debe contar con un alto par de arranque para vencer la inercia del equipo, los molinos convencionales tipo multipala cumplen con estas condiciones.

### Esquemas y Diagramas:

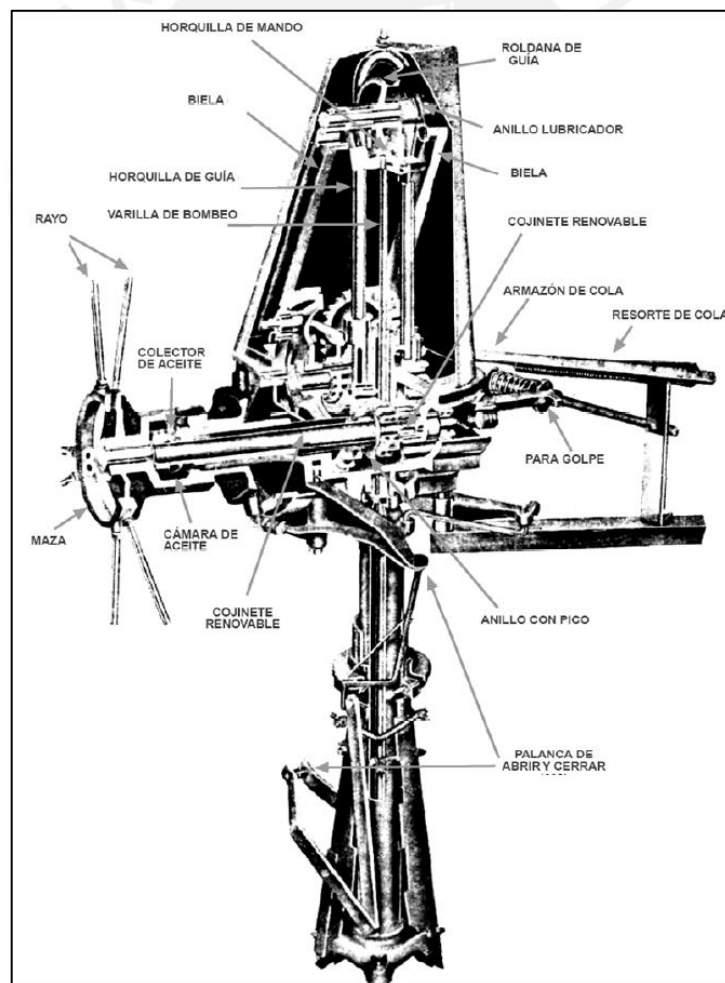


Figura 2.4: Características de construcción de molino de viento [2.6].

TABLA DE CAPACIDAD DE BOMBEO								
CAPACIDAD DE BOMBEO								
Diámetro del cuerpo de bomba en pulgadas	Capacidad en litros por hora		Altura en metros a que puede elevarse el agua					
			TAMAÑO DEL MOLINO DE VIENTO					
	6 pies	8 pies - 16 pies	6 pies	8 pies	10 pies	12 pies	14 pies	16 pies
2 1/4	680	1000	23	34	52	77	110	180
2 1/2	850	1230	20	29	43	65	92	150
2 3/4	1000	1460	17	25	37	55	80	130
3	1200	1780	14	21	31	47	67	110
3 1/4	.....	2075	...	...	27	40	57	93
3 1/2	1670	2420	11	15	23	35	49	82
3 3/4	.....	2750	...	...	20	30	44	70
4	2150	3150	8	12	18	26	38	61
4 1/2	2750	4000	7	9	14	21	30	49
5	3400	4900	5	8	11	17	24	40
6	.....	7100	...	5	8	11	17	26

Figura 2.5: Tabla de capacidad de bombeo según tamaño molino de viento [2.7].

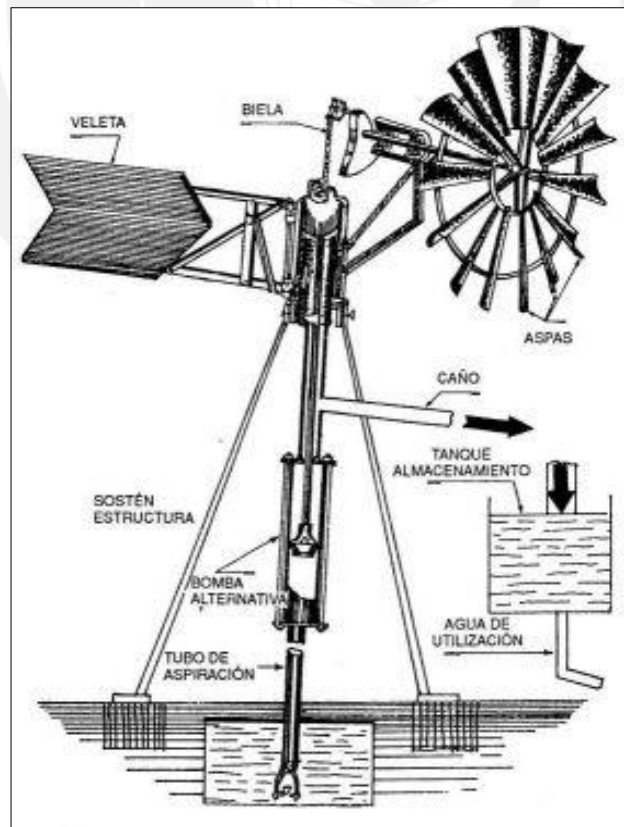


Figura 2.6: Esquema de bombeo mecánico en aerobomba [2.8].

### 2.2.3. Ruedas Hidráulicas.

#### Descripción de la tecnología:

La río bomba o también llamada rueda hidráulica, es una maquina robusta, de baja mantención y de alta eficiencia cuyo elemento motor es una rueda con diversas innovaciones constructivas que acciona una bomba de diafragma. La rueda aprovecha la energía hidráulica del agua por saltos de agua de 1 a 2 metros y con volúmenes de agua que fluctúa entre 1.5 a 60 litros por segundo que podría elevar a 200 metros de altura entre 3 000 a 50 000 litros de agua por día. La rueda hidráulica que formará parte de la río bomba se selecciona según el salto hidráulico a utilizar, existiendo 3 diámetros de rueda distintos que son de 1, 1.5 y 2 metros disponibles para su comercialización.

#### Descripción de sus componentes característicos:

- a) Rueda Hidráulica: Rueda o mecanismo que utiliza la misma energía hidráulica del río, del cual se alimenta, para producir trabajo. Es de fácil traslado y montaje, no se requiere gran inversión en obras civiles que se relacionan con la instalación de mecanismo en su lugar de trabajo. No genera residuos tóxicos, ni ruidos molestos en su funcionamiento.
- b) Bomba de diafragma: Equipo de bombeo que usando la energía mecánica de la rueda hidráulica abastece de agua de forma eficiente, practica, segura y económica ante un suministro de agua en forma continua. No posee costos de funcionamiento ni de mantención y no se requiere mano de obra calificada.

#### Funcionamiento:

La río bomba transforma la energía hidráulica del recurso hídrico en energía mecánica. Esto se logra utilizando como elemento motor una rueda hidráulica con diversas innovaciones constructivas y una bomba de desplazamiento dispositivo, dimensionada de acuerdo al salto hidráulico y el caudal disponible. La rueda hidráulica aprovecha la

energía cinética del agua que circula por el río, arroyo o canal de poca pendiente. Mediante un mecanismo de biela-manivela, el giro de la rueda se transforma en un movimiento lineal alternativo para accionar la bomba que eleva el agua desde el río hasta el nivel de descarga deseado como observamos en la Figura 2.7. Esta es una alternativa de solución al problema de elevación de agua cuando el agua que circula por el río, arroyo o canal, tiene poca pendiente y no permite la instalación de bombas de ariete o turbo-bombas.

### Esquemas y Diagramas:

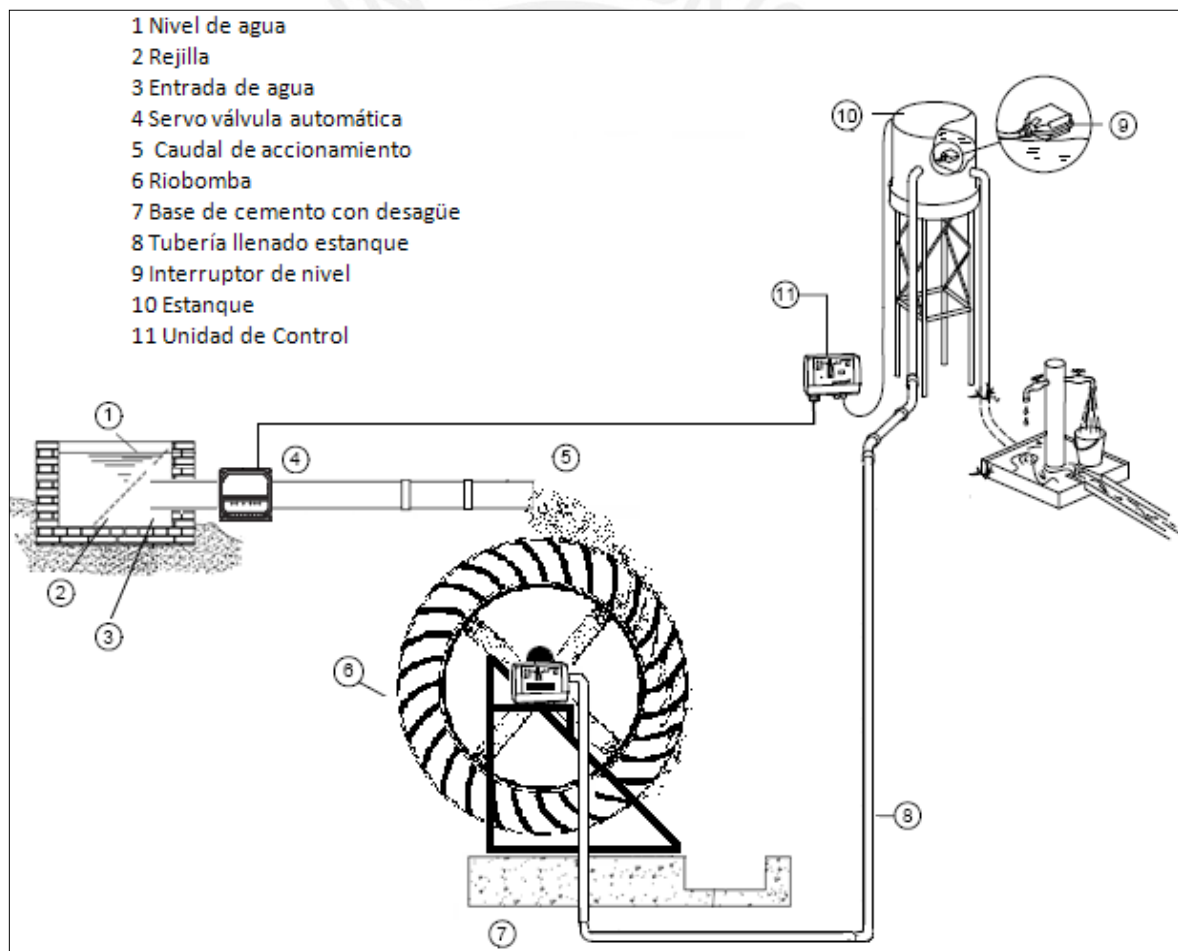


Figura 2.7: Esquema del sistema de río bomba [2.11].

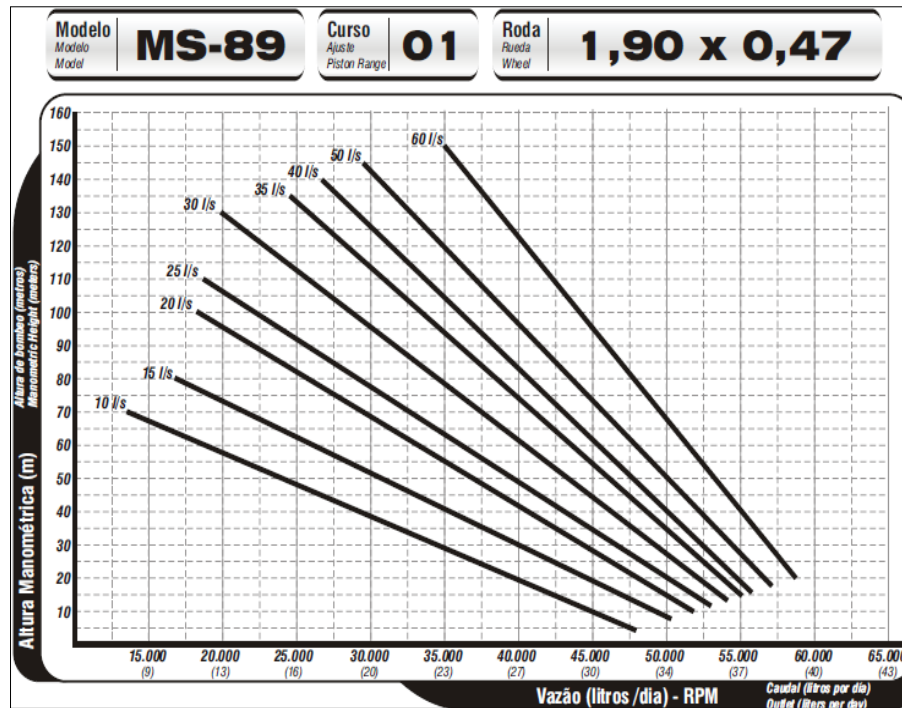


Figura 2.8: Curvas características de río bomba MS-89 [2.12]

#### 2.2.4. Bomba de ariete.

##### Descripción de la tecnología:

Las bombas de Ariete Hidráulico o “BAH” son equipos de bombeo sencillos, que no necesitan ningún tipo de combustible, ni de energía eléctrica; solo requieren de una caída, y su funcionamiento es completamente automático y continuo, ya que pueden trabajar día y noche ininterrumpidamente.

La bomba de ariete emplea la presión dinámica del agua que circula bajo una pequeña caída para impulsar parte de esta a una altura superior a la inicial. El principio de funcionamiento se basa en el “golpe de ariete”, que es un fenómeno que ocurre al producirse el cierre instantáneo de una válvula.

Las bombas de ariete reducen los costos del bombeo de agua al funcionar de manera automática, ante un suministro de agua constante proveniente de un río o tanque como

se observa en la Figura 2.11, es de fácil instalación y de mínima mantención que puede realizar el propio dueño y el costo de los repuestos es aproximadamente el 1% del costo del equipo anualmente. La inversión es amortizable entre 1 y 3 años. La bomba de ariete no genera ruidos molestos, por lo que tiene un bajo impacto ambiental.

#### **Descripción de sus componentes característicos:**

- a) Fuente de alimentación: Embalse o depósito, se encarga de suministrar el caudal de agua al equipo de bombeo.
- b) Tubería de alimentación: Conecta en su extremo superior a la fuente de alimentación.
- c) Caja de válvulas: Conectado en el extremo inferior de la tubería de alimentación, contiene dos válvulas automáticas que actuarán de apertura y clausura en el equipo de bombeo.
- d) Válvula de derrame: Se abre hacia abajo y está provista de un resorte helicoidal.
- e) Válvula de descarga: Se abre hacia arriba y está provista de un resorte helicoidal.
- f) Un acumulador: ubicado sobre la válvula de descarga.
- g) Una tubería de descarga: unida en su parte inferior al acumulador, empuja el agua hacia el tanque.
- h) Una válvula de aire: ubicada entre la caja de válvulas y el acumulador, siempre por debajo de la válvula de descarga para evitar esfuerzos de succión.

Funcionamiento.-

El equipo de bombeo tiene una tubería de alimentación por la que entra agua y una tubería de impulsión por la que se descarga agua. Su funcionamiento se debe a que el

agua que cae desde una cierta altura va adquiriendo velocidad hasta que es capaz de vencer la resistencia al cierre de la válvula anti retorno principal.

Cuando esto ocurre la columna de agua se para en seco y busca la única vía de expansión posible que es hacia la cámara de aire abriéndose la segunda válvula anti retorno y de allí el agua ingresa a la tubería de impulsión empujando toda la columna de agua existente hasta perder totalmente su energía, en este momento empieza una caída de la columna de agua bombeada que cierra la segunda válvula anti retorno manteniendo la altura adquirida. El resorte vuelve a abrir la válvula anti retorno principal y el agua en la tubería vuelve a circular a través de desagüe acelerándose poco a poco. Cuando nuevamente ha alcanzado la velocidad suficiente para arrastrar la válvula anti retorno principal al cierre, se vuelve a repetir el ciclo por lo que se puede decir que se bombea por pulsos. La cámara de aire sirve de amortiguador para disminuir la presión que soportan los elementos.

Vale explicar que no es posible explotar todo el caudal de una fuente por la naturaleza de la bomba de ariete, ya que gran parte se devuelve a través de la válvula de descarga mientras que la otra parte es bombeada a un tanque de acumulación.

### Esquemas y Diagramas:

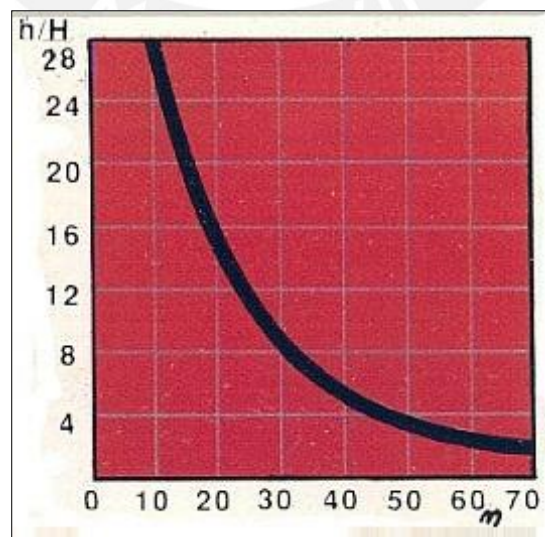


Figura 2.9: Gráfico de rendimiento de bomba de ariete [2.14].

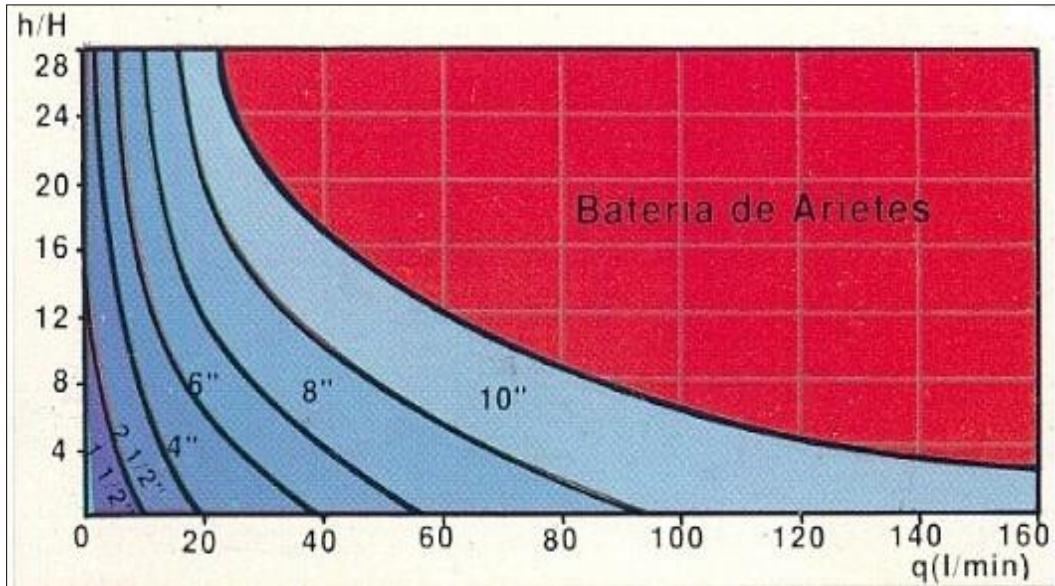


Figura 2.10: Gráfico de selección de tamaño de bomba de ariete [2.15].

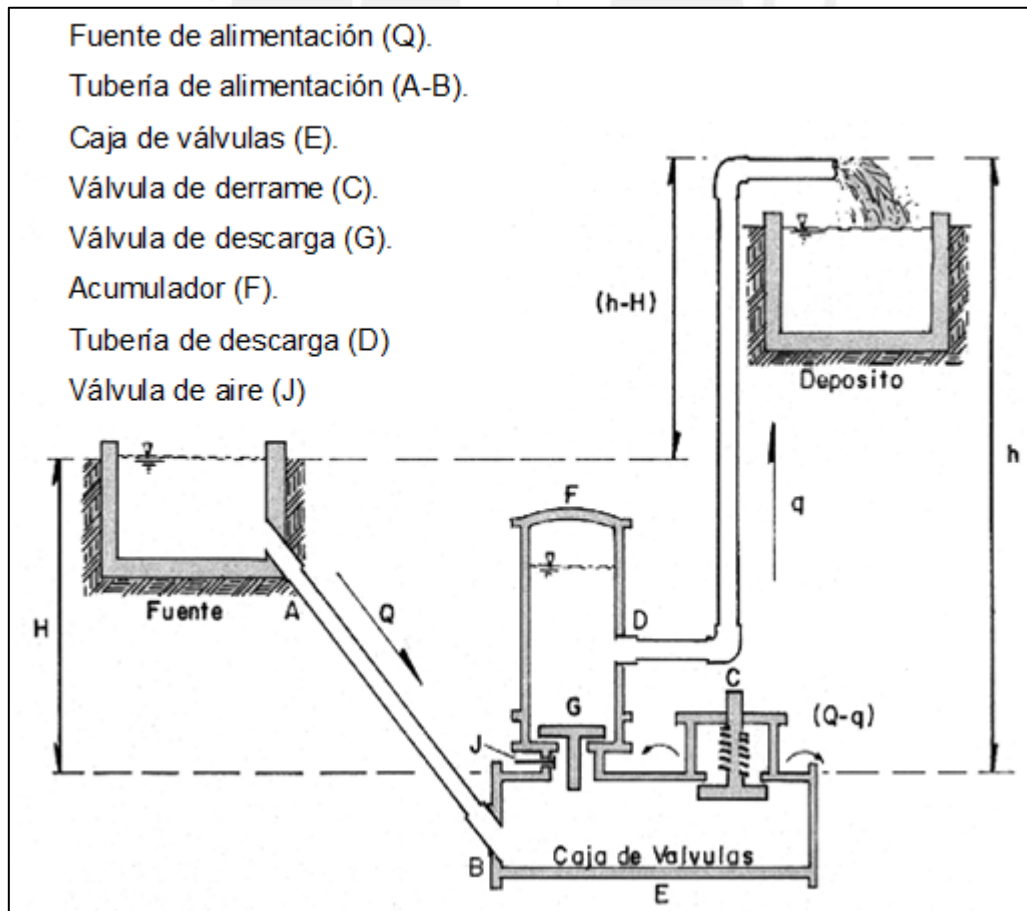


Figura 2.11: Esquema del sistema de una bomba de ariete y componentes [2.16].

## Referencias Bibliográficas

- [2.1] MEINEL, A. y MEINEL, M. (1982). *Aplicaciones de la energía Solar*. Barcelona: Reverté. p. 560. [en línea]. Disponible en: <http://books.google.com.pe> [2011, 12 de septiembre].
- [2.2] MENDEZ, J. y CUERVO, R. (2008). *Energía Solar Térmica*. Madrid: FC editorial, p.21. [en línea]. Disponible en: <http://books.google.com.pe> [2011, 15 de septiembre].
- [2.3] HADZICH, M. (2006). *Curso Virtual Fotovoltaico*. Sexta Edición, Lima: PUCP. p.63.
- [2.4] Ídem.
- [2.5] GRUNDFOS (2010). “Manual de bombas solares”. [en línea]. Disponible en: <http://www.grundfos.com> [2011, 20 de noviembre].
- [2.6] BORNAY (2008). “Como escoger el molino de viento”. [en línea]. Disponible en: <http://www.bornay.com/userfiles/descargas/aerobomba.pdf> [2011: 22 de noviembre].
- [2.7] ídem.
- [2.8] ESCUDERO, J. (2008). *Manual de energía eólica*. Madrid: Mundiprensa. p.471.
- [2.9] VILLARUBIA, M. (2004). *Energía eólica*. Barcelona: CEAC, p.12. [en línea]. Disponible en: <http://books.google.com.pe> [2011, 15 de septiembre].
- [2.10] JOBER (2010). “Características técnicas para la implementación de molinos de viento para bombeo de agua”. [en línea]. Disponible en: <http://www.jober.com> [2011: 22 de noviembre].
- [2.11] ELEMENTAL RENOVABLES (2011). “Ecobombas”. [en línea]. Disponible en: <http://www.Elemental-ltda.cl> [2011: 20 de noviembre].

[2.12] ROCHFER (2010) “Datos técnicos bomba MS-89”. [en línea]. Disponible en: <http://www.rochfer.com.br> [2011: 25 de Noviembre].

[2.13] AGUAMARKET (2011) “río bomba”. [en línea]. <http://www.aguamarket.com> [2011: 19 de noviembre].

[2.14] GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL. (2006). *Bomba de ariete*. Lima: PUCP. p.14.

[2.15] Ídem.

[2.16] Íbidem, p.10.

[2.17] ARNALICH, Santiago (2008). *Abastecimiento de agua por gravedad*. Madrid: Arnalich, p.150. [en línea]. Disponible en: <http://www.arnalich.com/es/libros.html> [2011, 25 de noviembre].

[2.18] BAIRD, Colin (2001). *Química ambiental*. Barcelona: Reverté, p. 625. [en línea]. Disponible en: <http://books.google.com.pe> [2011, 15 de septiembre].

## CAPITULO 3

### ANÁLISIS DE CAUDAL NECESARIO PARA RIEGO

Para poder analizar la necesidad de agua de los cultivos debemos tomar en cuenta la evapotranspiración de éstos, el cual es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración del correspondiente cultivo en activo crecimiento.

La transpiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al exterior.

#### 3.1. Definiciones.

##### 3.1.1. Evapotranspiración potencial (ETP).

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada por el cultivo de tamaño corto, como los pastos, que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua; para la “Sociedad Americana de Ingenieros Civiles” (ASCE) se utiliza a la alfalfa como pasto estándar para la evapotranspiración potencial con el

objetivo de hallar una relación cuantificada entre el pasto estándar y el cultivo real; existen diferentes métodos para poder determinar la ETP pero los más prácticos y conocidos son:

- Método del lisímetro.
- Método de tanque de evaporación.
- Métodos o Formulas empíricas.

Para efectos de investigación y disposición de datos de la zona se optó usar el método de fórmulas empíricas, debido a que es el más utilizado para proyectos en etapa de evaluación.

#### **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 formulas empíricas más conocidas son:

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

El método de mayor aplicación es el Método de Hargreaves y será usado para la evaluación de este proyecto.

### 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 cuyas ecuaciones se hace referencia en [3.3] de la bibliografía del presente capítulo.

- En base a la temperatura.- la ecuación es la siguiente:

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE \quad (3.1)$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

MF: Factor mensual de latitud, pagina 1 de los Anexos.

TMF: Temperatura media mensual [°F].

CH: Factor de corrección para la humedad relativa.

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

$$CH = 0.166 * \sqrt{100 - HR} \quad (3.2)$$

Dónde:

HR: Humedad Relativa media mensual [%].

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

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000} \quad (3.3)$$

Dónde:

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

### 3.1.2. Evapotranspiración real o actual (ETA):

La evapotranspiración real, actual o uso consuntivo de un cultivo es la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso de más de 1 hectárea y en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua, cuyas ecuaciones se hace referencia en [3.4] de la bibliografía del presente capítulo y su cálculo se efectúa mediante la relación:

$$ETA = k * ETP \quad (3.4)$$

Dónde:

ETA: Evapotranspiración real o actual de los cultivos [mm/mes].

k: Coeficiente del efecto de la relación agua-suelo-planta.

ETP: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

El factor k, está dado por la relación:

$$k = K_c * K_s * K_h \quad (3.5)$$

Dónde:

$K_c$ : Factor de cultivo.

$K_s$ : Factor de suelo.

$K_h$  : Factor de humedad.

Para suelos profundos con adecuadas condiciones físicas y de buena disponibilidad de elementos nutritivos el valor de  $K_s = 1$ , este mismo valor tiene  $K_h$  para condiciones de

óptimo abastecimiento de agua, en el caso de estudio estos valores son aplicables; por lo tanto, el coeficiente del efecto de la relación agua-suelo-planta “k” dependerá fundamentalmente de  $K_c$  es decir de la capacidad del cultivo para extraer agua del suelo durante el ciclo vegetativo, entonces la ecuación 3.4 será:

$$ETA = K_c * ETP \quad (3.6)$$

### Factor de Cultivo ( $K_c$ ):

Llamado también coeficiente de cultivo, es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se requiere evaluar su consumo de agua.

Los factores que afectan los valores de  $K_c$  son principalmente: las características de cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de crecimiento.

El coeficiente  $K_c$  de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, y que son las siguientes:

- a) Fase inicial: Fase 1: Comprende el período de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo. Hasta el 10% de cobertura vegetal.
- b) Fase de desarrollo del cultivo: Fase 2: Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden de 70 a 80% de cobertura vegetal.
- c) Fase de mediados del periodo (Maduración): Fase 3: Compreendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente la decoloración y caída de hojas.

- d) Fase final del periodo vegetativo (Cosecha): Fase 4: Comprende desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

Los cultivos en su mayoría tienen una curva del coeficiente semejante a la que se observa en la Figura 3.1.

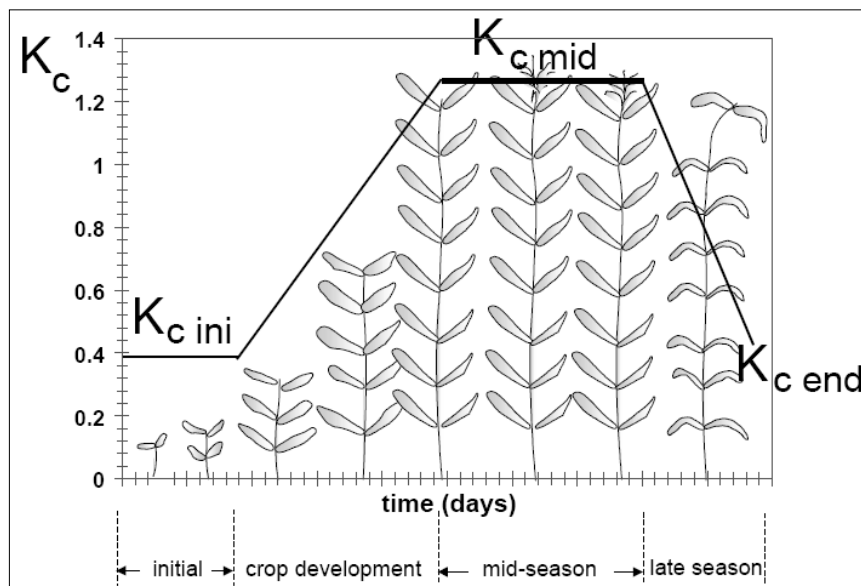


Figura 3.1: Curva característica de coeficiente de cultivo en general [3.1].

Como podemos observar en la figura anterior, 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 página 2 de los Anexos para hallar  $K_c$ .

### 3.1.3. 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.

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:

$$PE = 0.8 P - 25 \quad \text{Si: } P > 75 \text{ mm/mes} \quad (3.7)$$

$$PE = 0.6 P - 10 \quad \text{Si: } P < 75 \text{ mm/mes} \quad (3.8)$$

Dónde:

P: Precipitación mensual [mm/mes].

PE: Precipitación efectiva [mm/mes].

#### 3.1.4. Demanda de agua de los cultivos (DA).

La Evapotranspiración actual o real (ETA), 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 (ETA) cuyas ecuaciones se hace referencia en [3.5] de la bibliografía del presente capítulo indicando que el balance se sintetiza en:

$$DA = ETA - (PE + CA + N) \quad (3.9)$$

Dónde:

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

ETA: 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 (3.9), quedará expresada por la ecuación (3.10):

$$DA = ETA - PE \quad (3.10)$$

Todas las definiciones anteriores son necesarias con el objeto de hallar la demanda de agua para regar, en este caso específico, 3 hectáreas de cultivo y por lo tanto encontrar el caudal óptimo para sembrar y cosechar en la zona de investigación.

### 3.2. Ejemplo de aplicación para el caso de Pucyura - Anta - Cusco.

Para el análisis del caudal necesario de los cultivos en la zona, usaremos los datos brindados por la estación meteorológica "SPZO" del Aeropuerto Teniente Alejandro Velasco Astete – Cusco durante el año 2011.

Para hallar la demanda de agua analizaremos, el mes de Noviembre por ser el mes más seco del año 2011, para lo cual tenemos los siguientes datos expresados Tabla 3.1.

**Tabla 3.1**  
**DATOS BRINDADOS POR LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA "SPZO"**

DATOS METEREOLÓGICOS	
Mes	Noviembre
Cantidad de días	30
Latitud de la zona Muskarumi - Pucyura	-13° 27' 58.61"
Altura de la zona Muskarumi - Pucyura (E)	3465 m.s.n.m
Temperatura Promedio (TMF)	57.38 °F
Humedad Relativa Promedio (HR)	49.7%
Velocidad viento a 10 metros de altura (v)	3.81 m/s
Precipitación por mes (P)	32.77 mm/mes

- Hallamos el factor mensual de latitud (MF), mediante el cuadro que se encuentra en la página 1 de los Anexos, sabiendo que la latitud sur de la zona es de 13° y el mes es Noviembre, lo determinamos; en la Tabla 3.2 se indica los factores mensuales de latitud para la latitud sur 13°.

**Tabla 3.2**  
**FACTOR DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL [3.3]**

Latitud	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sur 13°	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.484	2.543	2.675

Hallamos:

$$MF = 2.543 \text{ mm/mes.}$$

- Hallamos el factor de corrección para la humedad relativa (CH), mediante la ecuación 3.2 que se emplea para valores de humedad relativa mayores de 64% pero como sabemos que la zona tiene una humedad relativa de 49.7% entonces:

$$CH = 1.$$

- Hallamos el factor de corrección para la altura (CE), mediante la ecuación 3.3, sabiendo que la zona se encuentra a una altitud de 3465 m.s.n.m.

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000}$$

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{3465}{2000}$$

$$CE = 1.06$$

- Hallamos la evapotranspiración potencial (ETP), mediante la ecuación 3.1, sabiendo que el factor mensual de latitud es de 2.54 mm/mes, la temperatura promedio es de 57.38 °F, el factor de corrección para la humedad relativa es de 1 y el factor de corrección para la altura es de 1.06.

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

$$ETP = 2.54 \times 57.38 \times 1 \times 1.06$$

$$ETP = 155.7 \text{ mm/mes.}$$

- Hallamos el factor de cultivo ( $K_c$ ), mediante el cuadro que se encuentra en la página 2 de los Anexos, sabiendo que los cultivos consumen más agua durante su fase de maduración o fase 3, además que la humedad relativa es de 49.7% y la velocidad del viento es de 1.81 m/s; en la Tabla 3.3 se indica los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para los cultivos producidos en la zona.

**Tabla 3.3**  
**COEFICIENTE DE CULTIVO EN ETAPA DE MADURACION FASE 3 [3.4]**

<b><math>K_c</math> PARA (RH min &lt; 20%), VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) de 0-5</b>	
Cebada	1.15
Maíz (Choclo)	1.15
Avena	1.15
Papa	1.15
Trigo	1.15
Alfalfa	0.95
Habas	1.15

De los datos obtenidos observamos que la mayoría de productos agrícolas tienen como coeficiente de cultivo 1.15, por lo que usaremos este valor en el cálculo para hallar la máxima demanda de agua de los cultivos de la siguiente manera:

- Hallamos la evapotranspiración real o actual (ETA), mediante la ecuación 3.6, sabiendo que el coeficiente de cultivo es de 1.15 y la evapotranspiración potencial es de 155.7 mm/mes.

$$ETA = K_c * ETP$$

$$ETA = 1.15 * 155.7$$

$$ETA = 179 \text{ mm/mes.}$$

- Hallamos la precipitación efectiva (PE), mediante la ecuación 3.7, sabiendo que la precipitación mensual es de 32.77 mm/mes.

$$PE = 0.6 * P - 10$$

$$PE = 0.6 * 32.77 - 10$$

$$PE = 9.6 \text{ mm/mes.}$$

- Hallamos la demanda de agua de los cultivos para el periodo considerado (DA), mediante la ecuación 3.10, sabiendo que la evapotranspiración real o actual es de 179 mm/mes y la precipitación efectiva es de 9.6 mm/mes.

$$DA = ETA - PE$$

$$DA = 179 - 9.6$$

$$DA = 164 \text{ mm/mes}$$

$$DA = 5.6 \text{ mm/día.}$$

- Convertimos 5.6 mm/día en l/s/ha y hallamos el caudal necesario de agua para 3 hectáreas (q).

$$5.64 \frac{\text{l}}{\text{día} * \text{m}^2} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ m}^2}{0.0001 \text{ ha}} = 0.653 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}}$$

$$q = 0.653 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}} * 3 \text{ ha}$$

$$q = 1.9 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Usando la menor de las eficiencias de los diferentes tipos de riego [3.6] mostrados en la Tabla 3.4, hallamos el caudal máximo.

**Tabla 3.4**

**EFICIENCIAS DE DISEÑO PARA DIFERENTES TIPOS DE RIEGO [3.5]**

Superficial por surco	Aspersión manual o portátil	Aspersión lateral sobre ruedas	Aspersión pivote central	Aspersión movimiento lineal	Aspersión conjunto solido o permanente	Goteo
0.8	0.65	0.6	0.75	0.75	0.75	0.9

Finalmente hallamos el máximo caudal necesario ( $Q_T$ ), usando la menor eficiencia de riego, mediante la ecuación 3.11, para 3 hectáreas de cultivo.

$$Q_T = \frac{q}{\eta} \tag{3.11}$$

$$Q_T = \frac{1.9 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{0.6}$$

$$Q_T = 11764.5 \frac{l}{h}$$

$$Q_T = 282.3 \frac{m^3}{día}$$

Siguiendo el mismo procedimiento del ejemplo anterior se halla los valores de demanda de agua (DA) para todos los meses del año que están expresados en la página 3 de los Anexos, así como todos los valores de caudal necesario de agua, según las eficiencias de riego y cantidad de bombas están expresados en la página 4 de los Anexos.



### Referencias Bibliográficas

[3.1] ALLEN, R. y Otros (1998). "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements". EN: Rev. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. N.56. Italia: FAO. [en línea]. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm> [2011: 11 de enero].

[3.2] DASTANE, N. (1978). "Effective rainfall in irrigated agriculture". EN: Rev. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. N.25. Italia: FAO. [en línea]. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm> [2011: 11 de enero].

[3.3] Absalon, V. y Lorenzo, L. (1988) *Principios básicos del Riego*. Lima: ONERN. p.87.

[3.4] Ídem. p.90 - 91.

[3.5] Ídem. p.101.

[3.6] MEGH, P. y Otros (2007). *Manejo de riego por goteo*. Segunda Edición. Puerto Rico: Universidad de Santa Rosa de Cabal. p.102-103.

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS DE PRESIÓN NECESARIA PARA RIEGO

#### 4.1. Aspersión como método preferido por campesinos.

Según el "Plan Meriss Inka" (PMI) el sistema de riego por aspersión surgió por las experiencias ventajosas que logro un campesino de la localidad de Pucartambo - Cusco, a partir de ello esta tecnología se expandió en la zona y es por medio del Plan Meriss Inka "PMI" a través de los intercambios de experiencias e instalación de pequeños módulos de aspersión en el año de 1991 es que algunos campesinos conocen esta tecnología.

La puesta en operación de los primeros sistemas de aspersión permitió verificar muchas deficiencias en la concepción, planteamiento hidráulico y diseño del equipo móvil. Las causas de las deficiencias fueron la escasa participación del usuario campesino en acciones y decisiones en todas las fases del proyecto, así como la poca adaptabilidad de los planteamientos y diseños hidráulicos al esquema tradicional de riego, pero posteriormente se fue superando estas deficiencias que permitieron alcanzar mayores ventajas respecto al sistema de riego tradicional.

El proceso de adaptación de los usuarios campesinos de un sistema de riego tradicional simple y flexible a un sistema de riego complejo y rígido fue lento porque se tuvo que adaptar la nueva tecnología a su racionalidad, es así que se determinó una analogía entre los componentes del sistema tradicional y el sistema por aspersión [4.1]; expresados en la Tabla 4.1 donde se indican los principales elementos de un sistema tradicional así como el de aspersión.

**Tabla 4.1**

**ANALOGÍA ENTRE EL SIST. TRADICIONAL Y EL SIST. POR ASPERSIÓN [4.1]**

COMPONENTE	ELEMENTO	
	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA ASPERSIÓN
<b>Almacenamiento</b>	Compuerta Principal	Válvula Principal
<b>Conducción</b>	Canal Principal	Tubería Principal
<b>Distribución</b>	Canal Lateral	Tubería Lateral
	Portillo Rústico	Hidrante
<b>Aplicación</b>	Canal Parcelario	Línea Móvil
	Surcos	Aspensor

De esta manera los campesinos tratan de adaptar el sistema tradicional al sistema de aspersión, una dificultad común durante la adaptación son los hidrantes y los aspensores. Los hidrantes por lo general están diseñados para proporcionar bajos caudales, lo cual restringe el uso de mayores caudales para regar por gravedad, que en cierto modo obliga a algunos usuarios, en su mayoría campesinos, a romper estos hidrantes.

Se observó que los aspensores pequeños generan alteraciones en la planificación de las tareas agrícolas del campesino; por esta razón, los aspensores que hasta la fecha tienen mayor aceptación son los de tipo cañón, aunque son los menos económicos son los que generan tiempos de riego cercanos al riego tradicional.

Los campesinos de Paucartambo - Cusco se convencieron de que el riego por aspersión es una alternativa viable; lo que generó su propagación y como consecuencia la aparición de un mercado de accesorios en la misma localidad, este proyecto se tomó como un

ejemplo a seguir para otras comunidades demostrando que, cuando los equipos de cañón demuestren su mayor ventaja, provocarán esta misma reacción en la localidad donde serán usadas.

Por lo tanto podemos señalar que los sistemas de aspersión con aspersores tipo cañón, además de obtener resultados favorables en la producción, es el método más adaptable para el campesino.

#### **4.2. Selección de aspersores de acuerdo al caso de estudio Pucyura – Anta – Cusco.**

En la zona de Pucyura los campesinos que tienen acceso al agua usan la inundación como método de riego, afirman que para regar 1 hectárea se usa un caudal de 8 l/s durante 6 horas, es decir para 3 hectáreas se necesitará un volumen de 518400 litros de agua aproximadamente, también mencionan que los riegos se realizan con intervalos de 15 días hasta el tiempo cosecha. Tomando como referencia el "Plan Meriss Inka" (PMI) sabemos que el método más adecuado para riego rural es el de aspersión.

Según lo hallado en el capítulo 3, si el área de riego son 3 hectáreas, se necesitará como un caudal total de 11 764.5 l/h durante 1 día, es decir 24 horas, por lo cual durante este tiempo se necesitará de un volumen de agua aproximadamente de 282.3 m<sup>3</sup> que al ser comparado con el volumen utilizado por el método de inundación se ahorraría hasta un 45% de agua utilizable. Para seleccionar el aspersor adecuado se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La presión de trabajo debe ser el menor posible para aminorar la altura de instalación del tanque de almacenamiento resultando en la selección de una bomba con menor potencia y costo.
- De preferencia deben ser aspersores de un medio o alto caudal de tipo cañón para que el tiempo de riego sea cercano o menor al tradicional.

- El aspersor debe ser de plástico para aminorar costos.
- Se debe buscar el menor tiempo de riego posible de modo que la suma de los caudales de cada aspersor deben resultar 282.3 m<sup>3</sup> en un día.
- La suma de las áreas de los marcos en los que serán instalados los aspersores deben resultar 3 hectáreas.
- Deben ser aspersores cuyo giro sea de círculo completo.

En el mercado local del Cusco, “VYRSA” es la marca más usada de aspersores, por lo que se tomará como referencia el catálogo de esta marca para su selección. Existen diferentes modelos de aspersores con diferentes aplicaciones pero se seleccionara solo los aspersores que puedan cubrir las necesidades de cultivos de trigo, cebada, maíz, alfalfa, remolacha, hortalizas de hoja robusta, legumbres y tubérculos, de los cuales los modelos más usados y recomendados se encuentran en la página 5 de los Anexos; de estos se seleccionó el modelo VYR-56 que cumple con los requisitos anteriormente descritos, cuyas especificaciones técnicas se encuentra en la página 6 de los Anexos; en la Tabla 4.2 se indican las características más importantes.

**Tabla 4.2**  
**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ASPERSOR VYR56-VYRSA [4.2]**

<b>INFORMACIÓN TÉCNICA Y CANTIDAD DE ASPERSOLES</b>					
<b>Modelo</b>	<b>Marco Rectangular Recomendado (m)</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (l/h)</b>	<b>Alcance (m)</b>	<b>CU (%)</b>
<b>VYR-56</b>	18 x 21	3.57	2 600	16.5	91

#### 4.3. Diseño del sistema de aspersión de acuerdo al caso de estudio Pucyura – Anta – Cusco.

Para el caso de estudio, el terreno analizado es de forma rectangular y tiene las siguientes características generales:

- Limite Norte y Sur: 100 m.
- Limite Este y Oeste: 300 m.
- Superficie de riego: 3 Hectáreas.
- Aspersor seleccionado: VYR56-VYRSA
  - Separación de aspersores: 18 m.
  - Separación de laterales: 21 m.
  - Presión Requerida: 3.57 bar.
  - Radio de mojado: 16.5 m.
  - Caudal: 0.72 l/s.
  - Velocidad de aplicación: 6.5 mm/h
  - Altura de operación: 2.3 m.

Además si sabemos que una de las condiciones de diseño, es que en el tramo de la tubería principal exista una variación de presión menor al 15% y en el tramo de las tuberías laterales exista una variación de presión menor al 20% [4.7].

Entonces hallamos el número de tuberías laterales ( $N_l$ ) que se requieren para regar la superficie de riego mediante la ecuación 4.1.

$$N_l = \frac{S_r}{L_l * S_l} \quad (4.1)$$

Dónde:

$N_l$ : Número de tuberías laterales.

$S_r$ : Superficie de riego 30 000 [m<sup>2</sup>].

$L_l$ : Longitud de tubería lateral 150 [m].

$S_l$ : Separación entre tuberías laterales 21 [m].

$$N_l = \frac{30000}{150 * 21}$$

$N_l = 10$  Tuberías laterales.

Hallamos el número de aspersores por lateral ( $n_l$ ) mediante la ecuación 4.2.

$$n_l = \frac{L_l}{S_a} + 1 \quad (4.2)$$

Dónde:

$n_l$ : Número de aspersores por lateral.

$L_l$ : Longitud de tubería lateral 150 [m].

$S_a$ : Separación entre aspersores 18 [m].

$$n_l = \frac{150}{18} + 1$$

$n_l = 10$  Aspersores/lateral.

Hallamos el caudal requerido por todas la tuberías laterales ( $Q_{tl}$ ) mediante la ecuación 4.3, considerando que cada tubería lateral tiene 10 aspersores, de los cuales 9 giran 360° y su caudal es de 0.72 l/s, mientras que el último aspersor de cada lateral únicamente gira 180° y su caudal es de 0.36 l/s entonces.

$$Q_{tl} = Q_a * N_l * n_l \quad (4.3)$$

Dónde:

$Q_{tl}$ : Caudal requerido por todas las tuberías laterales [l/s].

$Q_a$ : Caudal de cada emisor o aspersor (0.72\*9+0.36) [l/s].

$N_l$ : Número de tuberías laterales 10.

$n_l$ : Número de aspersores por tubería lateral 10.

$$Q_{tl} = (0.72 * 9 + 0.36) * 10$$

$$Q_{tl} = 68.4 \text{ l/s}$$

$$Q_{tl} = 246240 \text{ l/h}$$

$$Q_{tl} = 246.2 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Hallamos el tiempo de riego ( $T_r$ ) mediante la ecuación 4.4, considerando  $282.3 \text{ m}^3/\text{día}$  como el máximo caudal necesario ( $Q_T$ ) hallado mediante la ecuación 3.11 del capítulo 3.

$$T_r = \frac{Q_T}{Q_{tl}} \quad (4.4)$$

Dónde:

$T_r$ : Tiempo de riego [h].

$Q_T$ : Máximo caudal necesario  $282.3 \text{ [m}^3\text{]}$ .

$Q_{tl}$ : Caudal requerido por todas las tuberías laterales  $246.2 \text{ [m}^3/\text{h}\text{]}$ .

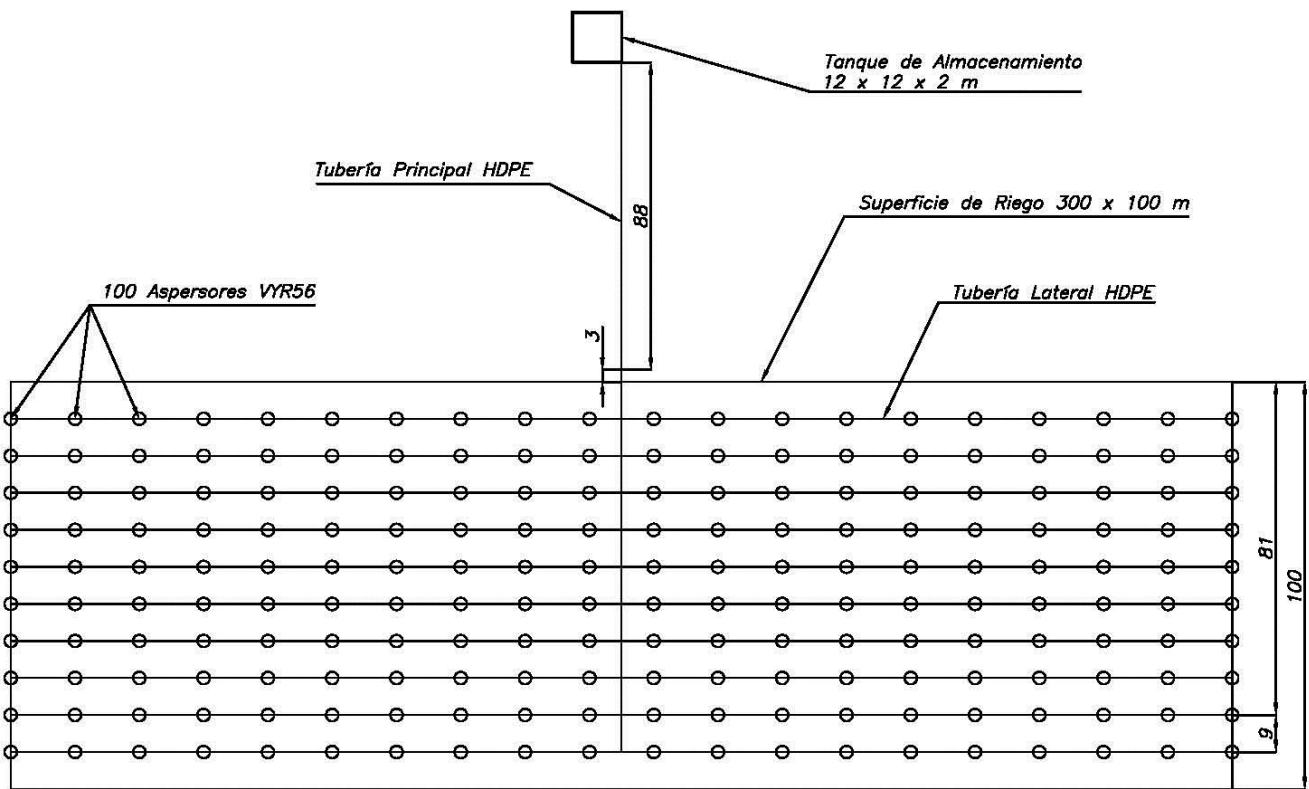
$$T_r = \frac{282.3}{246.2}$$

$$T_r = 1.14 \text{ h}$$

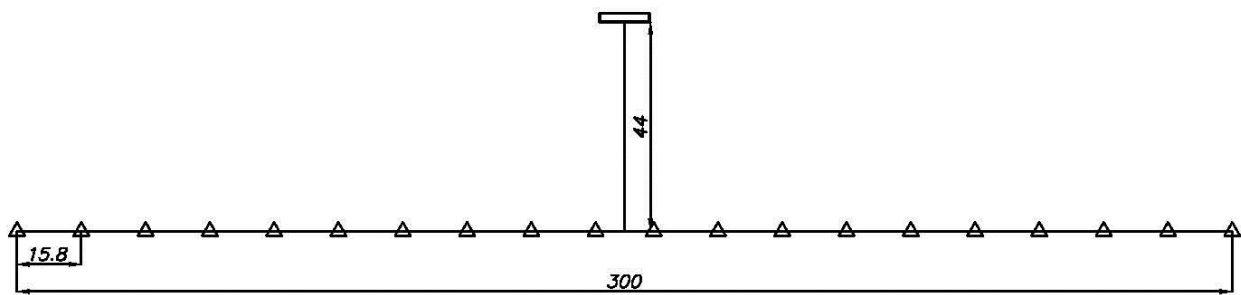
Seguidamente continuamos con el análisis hidráulico mediante el cual se debe elegir el diámetro óptimo dónde la pérdida de presión producida tiene que ser igual o menor que la máxima permitida. Para lo anterior, debe tenerse en cuenta:

- Si se eligen los menores diámetros posibles, entonces se aminorará el costo de las tuberías, pero será mayor el requerimiento de presión, requiriéndose de una mayor altura para la ubicación del tanque de almacenamiento.
- Si se eligen mayores diámetros, entonces serán menores los requerimientos de presión, pero serán mayores los costos de las tuberías usadas, ya que estas serán de mayor diámetro y, eventualmente, de mayor clase.

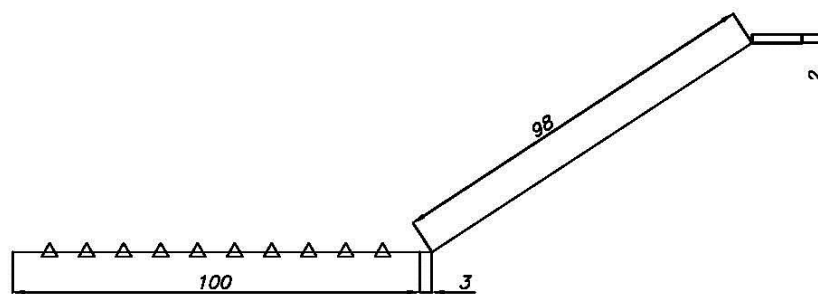
Entonces, dado a que el terreno presenta una pendiente a favor, esta se aprovechará permitiendo que la pérdida de presión sea igual lo más próxima a la diferencia de cota entre los puntos extremos de la tubería principal, de tal forma que se pueda eliminar las diferencias de presión entre un extremo y otro cuyo tramo comprende desde el tanque de almacenamiento hasta el extremo donde nace la última tubería lateral. Como se muestra en el siguiente esquema:



VISTA DE PLANTA



VISTA FRONTAL



VISTA DE PERFIL

ESQUEMA SISTEMA DE ASPERSIÓN

ESCALA:  
1:2000

Para el esquema del sistema de aspersión antes descrita, nos interesará conocer cuál será el diámetro de tubería que causará una pérdida de carga lo más cercana posible a la diferencia de cota entre los puntos extremos de la tubería principal, para esto, despejamos el término D (diámetro interno de la tubería principal) de la ecuación de Hazen Williams quedando como se muestra en la ecuación 4.5.

$$D_{ip} = \left[ \frac{3157 * Q_{tl}^{1.852} * L_p}{C^{1.852} * h_{fp}} \right]^{0.2053} \quad (4.5)$$

Dónde:

$h_{fp}$ : Pérdidas de presión en la tubería principal 44 [m.c.a].

$Q_{tl}$ : Caudal requerido por todas las tuberías laterales 246 240 [l/h].

$L_p$ : Longitud de la tubería Principal 191 [m].

C: Constante (C=150 para tubería HDPE)

$D_{ip}$ : Diámetro interno de la tubería principal [mm].

Considerando que las pérdidas de presión en la tubería principal ( $h_{fp}$ ) es igual o próxima a la diferencia de cota entre los puntos extremos de la misma tenemos:

$$D_{ip} = \left[ \frac{3157 * 246240^{1.852} * 191}{150^{1.852} * 44} \right]^{0.2053}$$

$$D_{ip} = 119 \text{ mm.}$$

Entonces para el tramo que comprende a la tubería principal el diámetro comercial más cercano es la de 125 mm y para una presión nominal de 5 bar, este tiene 115.4 mm de diámetro interno entonces utilizando este dato, recalculamos la pérdida de presión mediante la ecuación 4.6 de Hazen Williams.

$$h_{fp} = \frac{3157 * Q_{tl}^{1.852} * L_p}{C^{1.852} * D_{ip}^{4.869}} \tag{4.6}$$

Dónde:

$h_{fp}$ : Pérdidas de presión en la tubería principal [m.c.a].

$Q_{tl}$ : Caudal requerido por todas las tuberías laterales 246240 [l/h].

$L_p$ : Longitud de la tubería Principal 191 [m].

C: Constante (C=150 para tubería HDPE).

$D_{ip}$ : Diámetro interno de la tubería principal 115.4 [mm].

$$h_{fp} = \frac{3157 * 246240^{1.852} * 191}{150^{1.852} * 115.4^{4.869}}$$

$$h_{fp} = 49.7 \text{ m.c.a.}$$

Teniendo en cuenta que en el extremo más alejado de la tubería principal debiera haber una presión de 38.5 metros (35.7 metros que el aspersor requiere, más 2.3 metros de altura del aspersor), se calcularon los datos contenidos en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2**

**VARIACIÓN DE PRESIÓN ENTRE EXTREMOS DE TUBERÍA PRINCIPAL**

Pérdida de carga $h_{fp}$ (m.c.a)	Diferencia de cota entre los puntos extremos (m.c.a)	Variación de presión (m.c.a)	Presión en Tubería Principal (m.c.a)	
			Inicio	Fin
-49.7	+44	-5.7	38.5	32.8

Por lo tanto la variación de 5.7 m.c.a entre las presiones de inicio y fin implica un 14% de la presión de inicio por lo tanto está dentro de la variación permitida del 15% [4.7].

Luego hallamos la pérdida de presión en las tuberías laterales controlando que sean inferiores al 20% de la presión inicial según la referencia [4.7], es decir para 38.5 m.c.a se podría aceptar una diferencia de 7.7 m.c.a.

Teniendo en cuenta que existirá una variación del caudal en los laterales haciendo que varíe las pérdidas de presión, entonces se usará el coeficiente (F) de Christiansen mediante la ecuación 4.7.

$$F = 0.351 + \frac{1}{(2 * n_s)} + \frac{0.154}{n_s^2} \quad (4.7)$$

Dónde:

F: Factor de Christiansen.

$n_s$ : Número de salidas que tiene tubería lateral 10.

$$F = 0.351 + \frac{1}{(2 * 10)} + \frac{0.154}{10^2}$$

$$F = 0.4$$

Entonces corregimos el valor de  $h_f$  mediante la ecuación de pérdida de presión efectiva como se muestra en la ecuación 4.8.

$$h_{fl} = \frac{h_{fe}}{F} \quad (4.8)$$

Dónde:

$h_{fl}$ : Pérdidas de presión en tubería lateral [m.c.a].

$h_{fe}$ : Pérdida de presión efectiva 7.7 [m.c.a].

F: Factor de Christiansen 0.4.

$$h_{fl} = \frac{7.7}{0.4}$$

$$h_{fl} = 19.2 \text{ m.c.a.}$$

Es decir, se buscará una tubería cuyo diámetro produzca una pérdida de presión como máximo de 19.2 metros cuando por ella circulen 24624 l/h entonces de la misma forma que se realizó para la tubería principal utilizamos la ecuación 4.5.

$$D_{il} = \left[ \frac{3157 * Q_l^{1.852} * L_l}{C^{1.852} * h_{fl}} \right]^{0.2053} \quad (4.5)$$

Dónde:

$h_{fl}$ : Pérdidas de presión en tubería lateral 19.2 [m.c.a].

$Q_l$ : Caudal que circulará por tubería lateral 24624 [l/h].

$L_l$ : Longitud de tubería lateral 150 [m].

$C$ : Constante ( $C=150$  para tubería HDPE).

$D_{il}$ : Diámetro interno de la tubería lateral [mm].

$$D_{il} = \left[ \frac{3157 * 24624^{1.852} * 150}{150^{1.852} * 19.2} \right]^{0.2053}$$

$$D_{il} = 55.4 \text{ mm.}$$

Entonces para la tubería lateral el diámetro comercial más cercano es de 75 mm, que para una presión nominal de 5 bar tiene 69.2 mm de diámetro interno, entonces utilizando este dato recalculamos la pérdida de presión mediante la ecuación 4.6 de Hazen Williams.

$$h_{fl} = \frac{3157 * Q_l^{1.852} * L_l}{C^{1.852} * D_{il}^{4.869}} \quad (4.6)$$

Dónde:

$h_{fl}$ : Pérdidas de presión en tubería lateral [m.c.a].

$Q_l$ : Caudal que circulará por tubería lateral 24624 [l/h].

$L_l$ : Longitud de tubería lateral 150 [m].

C: Constante (C=150 para tubería HDPE).

$D_{il}$ : Diámetro interno de la tubería lateral 69.2 [mm].

$$h_{fl} = \frac{3157 * 24624^{1.852} * 150}{150^{1.852} * 69.2^{4.869}}$$

$$h_{fl} = 6.59 \text{ m.c.a.}$$

Seguidamente corregimos el valor de  $h_{fl}$  mediante la ecuación de pérdida de presión efectiva como se muestra en la ecuación 4.8.

$$hf_e = h_{fl} * F \tag{4.8}$$

Dónde:

$h_{fl}$ : Pérdidas de presión en tubería lateral 6.59 [m.c.a].

$hf_e$ : Pérdida de presión efectiva [m.c.a].

F: Factor de Christiansen 0.4.

$$hf_e = 6.59 * 0.4$$

$$hf_e = 2.6 \text{ m.c.a.}$$

Entonces la Presión en el extremo del lateral será:

$$P_{fl} = P_{li} - hf_e \tag{4.9}$$

Dónde:

$P_{fl}$ : Presión final de la tubería lateral [m.c.a].

$P_{li}$ : Presión inicial de la tubería lateral 38.5 [m.c.a].

$hf_e$ : Pérdida de presión efectiva 2.6 [m.c.a].

$$P_{fl} = 38.5 - 2.6$$

$$P_{fl} = 35.9 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto la variación de 2.6 m.c.a entre las presiones de inicio y fin implica un 6.8% estando dentro de la variación permitida del 20% [4.7].

Por lo hallado en el procedimiento anterior en los casos de la tubería principal y de las tuberías laterales la variación está por debajo del máximo permitido, por otro lado se demuestra que la presión necesaria para que el sistema funcione adecuadamente es de 38.5 m.c.a.

Entonces podemos indicar que se necesita aproximadamente 100 aspersores que trabajarán con una presión de 3.57 bar y con un caudal recomendado de 2 600 l/h, además se necesitara un depósito de agua con una capacidad de 282.3 m<sup>3</sup> para cubrir la demanda en un día. Por lo tanto el tanque de almacenamiento de agua debe de estar a una altura, tal que ejerza la presión necesaria para el adecuado funcionamiento de los aspersores, que en nuestro caso es como mínimo de 3.57 bar para aspersores VYR-56.

De lo anterior podemos decir que el sistema de aspersión funcionará adecuadamente con una presión mínima de 38.5 m.c.a. entonces queda demostrado que para efectos de estudio se puede asumir que las pérdidas de presión en la tubería de descarga desde la bomba hasta el tanque de almacenamiento pueden ser del 10% de su longitud que en este caso sería de 100 metros, ya que mediante la ecuación 4.10 hallamos que la presión necesaria total suministrada por las bombas seleccionadas es mayor que la necesaria para el sistema de aspersión, entonces.

$$P_T = \text{Presión del aspersor} + 10\% * \text{Longitud de tubería} \quad (4.10)$$

$$P_T = 35.7 + 0.1 * (100) \text{ m.c.a.}$$

$$P_T = 45.7 \text{ m.c.a.}$$

## Referencias Bibliográficas

- [4.1] SALCEDO, C. (1995). *Riego por aspersión en los Andes: Primera experiencias del plan Meriss Inka con proyectos de autoayuda*. Lima: ITACAB. p.30.
- [4.2] VYRSA (2011). “Riego campo agrícola 2011”. [en línea]. Disponible en: <http://www.vyrsa.com> [2012, 15 de abril].
- [4.3] VYRSA (2011). “VYR-56 Agrícolas circulares”. [en línea]. Disponible en: <http://www.vyrsa.com> [2012, 20 de abril].
- [4.4] INSTITUTO DE PROMOCION PARA LA GESTION DE AGUA. *Agua y Riego* N.23. 0. ed. Lima. ETC Andes. 2011. p.44.
- [4.5] VOS, Jeroen (2010). *Riego campesino en los Andes: Seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. Lima: IEP. p.112-120.
- [4.6] VAN, Humberto (2007). *Riego en la Sierra: La experiencia de PRODERM*. Cusco: DEXCEL. p.18-40. [en línea]. Disponible en: [http://www.pachamamaraymi.org/publicaciones/34\\_libro-huub.pdf](http://www.pachamamaraymi.org/publicaciones/34_libro-huub.pdf) [2012, 22 de abril].
- [4.7] LOPEZ, Jesús (2010). *Irrigación y Drenaje: Unidad V Diseño de Riego por Aspersión*. México.p 78-84. [en línea]. Disponible en: <http://irrigacion.weebly.com>. [2014,20 de abril].

## CAPITULO 5

### SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

Podemos seleccionar las diferentes tipos de bombas considerando los siguientes parámetros:

**Presión necesaria:** 45.7 m.c.a.

**Caudal a bombear:** 282.3 m<sup>3</sup> por día.

#### 5.1. Selección de Motobomba.

Considerando una presión de 45.7 m.c.a y notando que en la ciudad de Cusco la marca más conocida es HONDA, seleccionaremos los modelos de motobomba que se encuentran en la página 7 de los Anexos, cuyos motores también se encuentran en la página 8 de los mismos; de los cuales en la Tabla 5.1, mostramos los equipos que cumplen con el requerimiento de presión necesaria.

**Tabla 5.1**  
**MOTOBOMBAS DE 45.7 m.c.a [5.1]**

MODELO	CAUDAL (l/min)	MOTOR	CONSUMO (l/h)	PRECIO (S./gal)	GASOLINA(N.O.)
HJ/2/9MP	210	GX270T	2.4	14.5	90
HJ/3/9MP	340	GX270T	2.4	14.5	90
HJ/3/13MP	430	GX390T1	3.4	14.5	90

De las bombas descritas en la tabla anterior hallamos el costo de uso durante una jornada de trabajo diaria, usando la ecuación 5.1, donde se opera y combina las unidades hasta dar como resultado el costo de operación de la motobomba.

$$CT_m = \frac{Vol}{Q_{Bm} * 1000 * 60} * C_s * 0.2642 * P_c \tag{5.1}$$

Dónde:

CT<sub>m</sub>: Costo de operación de la motobomba [S/].

Vol: Volumen de tanque de 282.3 [m<sup>3</sup>].

Q<sub>Bm</sub>: Caudal de agua bombeada [l/min].

C<sub>s</sub>: Consumo de combustible [l/h].

P<sub>c</sub>: Precio de combustible [S./gal].

Por ejemplo, usando los datos de la tabla 5.1 respecto al modelo HJ/3/9MP y reemplazándolos en la ecuación 5.1 obtendríamos el costo de operación como mostramos a continuación:

$$CT_m = \frac{282.3 \text{ m}^3}{340 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{H}} * 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{l}}} * 2.4 \frac{\text{l}}{\text{H}} * 0.2642 \frac{\text{gal}}{\text{l}} * 14.50 \frac{\text{S/}}{\text{gal}}$$

$$CT_m = 127.2 \text{ S/}$$

De forma similar reemplazamos los datos de los otros dos modelos de motobombas en la ecuación 5.1 para hallar el costo de operación, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2**  
**COSTO DE OPERACIÓN DE MOTOBOMBAS DE 45.7 m.c.a**

MODELO	CAUDAL (l/min)	CONSUMO (l/h)	PRECIO (S./gal)	COSTO (S./.)
HJ/2/9MP	210	2.40	14.5	206.0
HJ/3/9MP	340	2.40	14.5	127.2
HJ/3/13MP	430	3.40	14.5	142.5

De la Tabla 5.2 seleccionamos el modelo HJ/3/9MP como la motobomba más adecuada para nuestro caso de estudio por ser la de costo de operación menor. La curva característica se encuentra en la Figura 5.1, en la cual se demuestra que puede operar a la magnitud de presión y caudal necesaria para el proyecto.

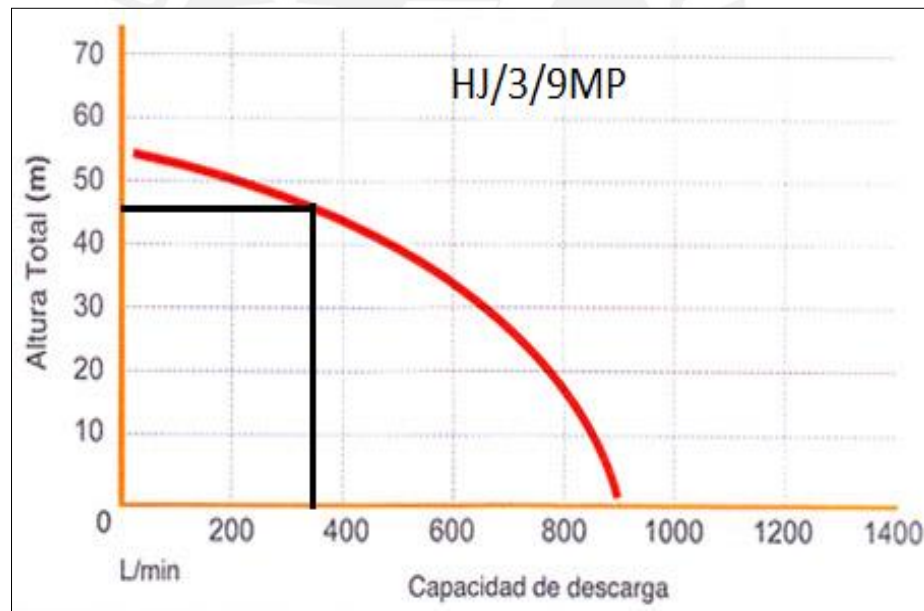


Figura 5.1: Curva característica de motobomba HJ/3/9MP.

Fuente: Catálogo de Motobomba HONDA serie HJ.

Como se observa en la figura anterior la motobomba seleccionada modelo HJ/3/9MP marca HONDA cumple con los parámetros de presión y caudal.

**5.2. Selección de Electrobomba.**

Sabiendo que la electrobomba trabajará a una presión de 45.7 m.c.a. y notando que las marcas más usadas en Cusco son Pedrollo, Salmson e Hidrostal, seleccionaremos la electrobomba más adecuada, por lo que escogeremos la marca Hidrostal para este fin, por ser la única que tiene su planta en Perú y que fabrica equipos a 60 Hz, entonces seleccionaremos de los modelos de electrobombas que se encuentra en la página 9 de los Anexos los equipos que cumplen con el requerimiento de presión, los cuales indicamos en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3**  
**ELECTROBOMBAS DE 45.7 m.c.a [5.3]**

MODELO	CAUDAL (l/s)	EFICIENCIA (%)	POTENCIA (HP)
A1I-0.8M	0.04	-	-
A1I-1.4M/1.9T	0.25	-	-
C1.1/2x2/5.7T	4.3	45	5.5
C1.1/2x2/8.6T	6.4	53	7.2
C1.1/2x2 1/2-11.5T	10.7	71	9.5

De las electrobombas descritas en la tabla anterior hallamos el costo de uso durante una jornada de trabajo, que debe ser menor de 24 horas, mediante la ecuación 5.2 donde se opera y combina las unidades hasta dar como resultado el costo de operación de la electrobomba.

$$CT_e = \frac{Vol [m^3]}{Q_{Be} [\frac{l}{s}] * 60 \frac{s}{min} * 60 \frac{min}{H} * 1000 \frac{m^3}{l}} * (Pot [HP] * 0.7457 \frac{kW}{HP}) * P_e [\frac{S/}{kW*H}] \tag{5.2}$$

Dónde:

CT<sub>e</sub>: Costo de operación de la electrobomba [S/].

Vol: Volumen de tanque de 282.3 [m<sup>3</sup>].

Q<sub>Be</sub>: Caudal de agua bombeada [l/s].

Pot: Potencia de electrobomba [HP].

P<sub>e</sub>: Precio contratado del kW en la zona de 0.3266 [S/./kW.h].

Por ejemplo, usando los datos de la Tabla 5.3 respecto al modelo C1.1/2x2 1/2-11.5T y reemplazándolos en la ecuación 5.2 obtendríamos el costo de operación como mostramos a continuación:

$$CT_e = \frac{282.3 \text{ m}^3}{10.7 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{H}} * 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{l}}} * \left( 9.5 \text{ HP} * 0.7457 \frac{\text{kW}}{\text{HP}} \right) * 0.3266 \frac{\text{S/}}{\text{kW} * \text{H}}$$

$$CT_e = 16.9 \text{ S/}.$$

De forma similar reemplazamos los datos de los otros modelos de electrobombas en la ecuación 5.2 para hallar su costo de operación, considerando que el costo del kW.h en la zona es de S/0.3266 como se muestra en la página 10 de los Anexos obtenemos los resultados que se indican en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4**  
**COSTO DE OPERACIÓN DE ELECTROBOMBAS DE 45.7 m.c.a**

MODELO	CAUDAL (l/s)	POTENCIA (kW)	PRECIO (S/./kW.h)	COSTO (S/.)
A1I-0.8M	0.04	-	-	-
A1I-1.4M/1.9T	0.25	-	-	-
C1.1/2x2/5.7T	4.30	4.10	0.3266	24.4
C1.1/2x2/8.6T	6.40	5.37	0.3266	21.5
C1.1/2x2 1/2-11.5T	10.70	7.08	0.3266	17.0

De la Tabla 5.4 Seleccionamos el modelo C1.1/2x2 1/2-11.5T como la electrobomba más adecuada para el caso de estudio por ser la de menor costo de operación. Sus curvas características se encuentran en la Figura 5.2 extraídas de sus especificaciones técnicas que se encuentran en la página 11 de los Anexos, en las cuales se demuestra que puede operar a la magnitud de presión y caudal necesaria para el proyecto.

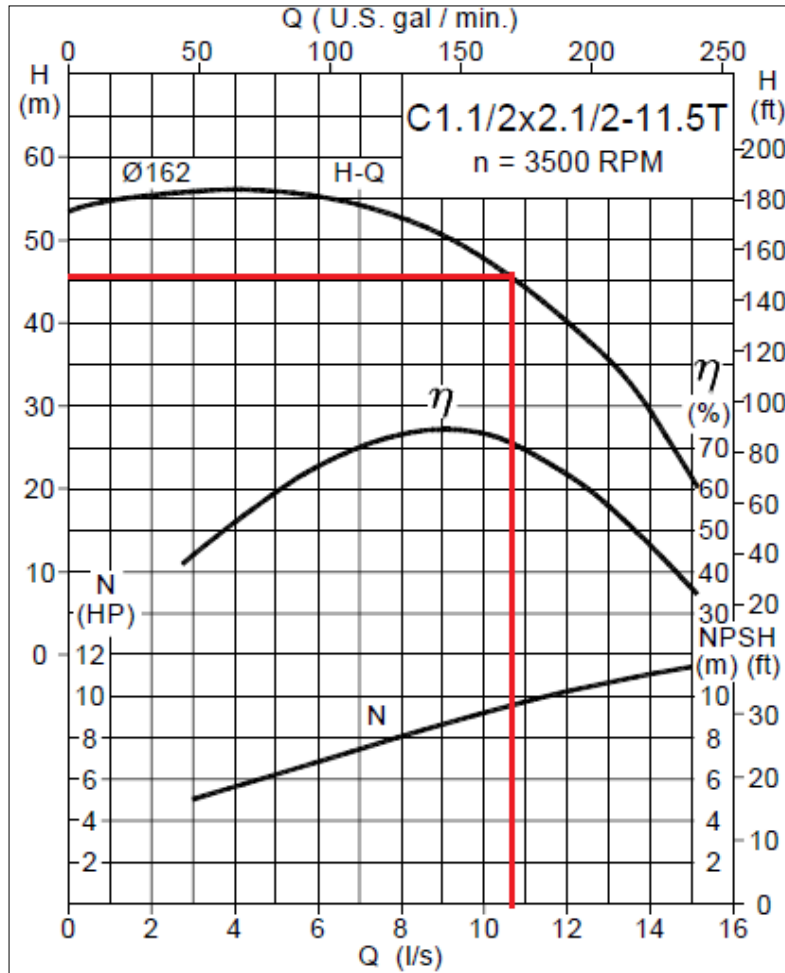


Figura 5.2: Curva característica de electrobomba serie C1.1/2x2 1/2-11.5T

Fuente: Catálogo de la electrobomba centrífuga monoblock B y C

Como se observa en la figura anterior la electrobomba seleccionada modelo C1.1/2x2 1/2-11.5T marca HIDROSTAL cumple con los parámetros de presión y caudal.

### 5.3. Selección de Aerobomba.

El viento es aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. La energía eólica es, entonces, la energía cinética de las masas de aire en movimiento. Este movimiento de las masas de aire se origina de un calentamiento desigual de la superficie terrestre, que junto a la rotación de la tierra, crean patrones globales de circulación de

aire. Existen tres componentes del viento que determinan su energía disponible, estos son: la velocidad del viento, su variación en el tiempo y, en menor grado, la densidad del aire. En Cusco, según el mapa del potencial disponible de energía eólica del Perú que se encuentra en la página 12 de los Anexos, la velocidad media del viento es de 3.5 m/s y la energía producible es de 750 kW.h/m<sup>2</sup>/año. Además la presión atmosférica en la zona (Pres) se puede hallar mediante la ecuación 5.3 [5.6], considerando que la altura de la zona sobre el nivel del mar (E) es de 3465m.s.n.m.

$$Pres = (-8 * 10^{-12} * E^3 + 5 * 10^{-7} * E^2 - 0.0119 * E + 101.22) \quad (5.3)$$

$$Pres = (-8 * 10^{-12} * 3465^3 + 5 * 10^{-7} * 3465^2 - 0.0119 * 3465 + 101.22)$$

$$Pres = 65.6 \text{ kPa.}$$

También hallamos la densidad del aire en la zona ( $\rho$ ) mediante la ecuación 5.4.

$$\rho = \frac{Pres}{R * T} \quad (5.4)$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>].

Pres: Presión atmosférica de la zona 65 656 [Pa].

R: Constante específica del aire 287.05 [J/kg\*K].

T: Temperatura ambiente promedio 12.15 °C + 273.15 = 285.3 [K].

$$\rho = \frac{65\ 656}{287.05 * 285.3}$$

$$\rho = 0.8 \text{ kg/m}^3.$$

Para la selección de la aerobomba asumimos el mayor diámetro del rotor que es de 4 metros según el catálogo de aerobombas marca "JOBBER" que se encuentra en la página

13 de los Anexos, seguidamente hallamos la potencia teórica o energía cinética del viento, que se puede expresar, según la ley de Betz, mediante la ecuación 5.5.

$$P_V = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A \quad (5.5)$$

Dónde:

$P_V$ : Potencia teórica del viento [W].

$\rho$ : Densidad del aire 0.81 [kg/m<sup>3</sup>].

$V$ : Velocidad del aire 3.5 [m/s].

$A$ : Área cubierta por el rotor de Ø4 metros es 12.56 [m<sup>2</sup>].

$$P_V = \frac{1}{2} * 0.8 * 3.5^3 * 12.56$$

$$P_V = 216 \text{ W.}$$

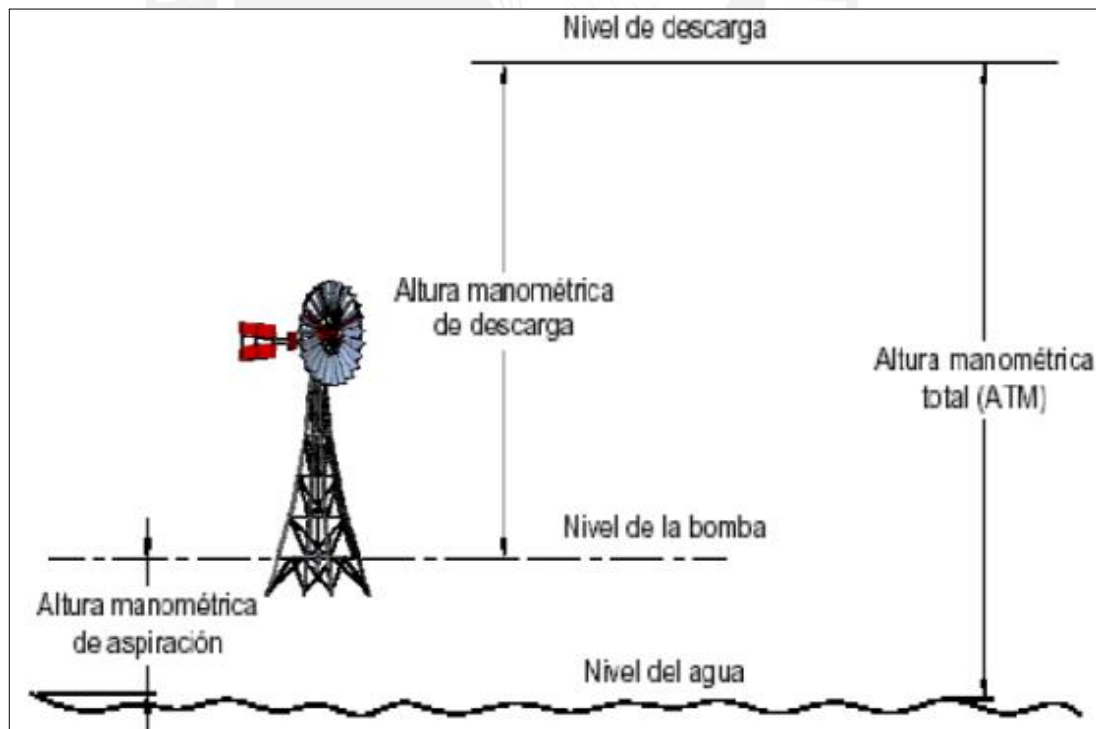


Figura 5.3: Identificación de condiciones de bombeo [5.7].

Hallamos la demanda de energía hidráulica del proyecto mediante la ecuación 5.6 extraída de “Características técnicas para la implementación de molinos de viento para bombeo de agua” [5.7].

$$E_H = Vol * Hman \quad (5.6)$$

Dónde:

$E_H$ : Energía hidráulica [ $m^4$ ].

Vol: Volumen de tanque de 282.3 [ $m^3$ ].

Hman: Altura manométrica total de 45.7 [m.c.a].

$$E_H = 282.3 * 45.7$$

$$E_H = 12.9 \times 10^3 \text{ m}^4.$$

La energía hidráulica es expresada en unidades de tiempo, según las especificaciones de los equipos, por lo tanto se requerirá de un equipo de bombeo con una energía hidráulica de  $12.9 \times 10^3 \text{ m}^4/\text{día}$ .

Analizando los resultados obtenidos de la ecuación 5.5 y de la ecuación 5.6 obtenemos que la potencia teórica proporcionada por el viento es de 0.216 kW mientras que la energía hidráulica necesaria es de  $12.9 \times 10^3 \text{ m}^4/\text{día}$ , es decir que la energía hidráulica necesaria para el bombeo es muy alta mientras que la potencia teórica que el viento proporcionaría es muy pequeña, siendo menos que 1 HP, en conclusión el uso del viento de la zona no es suficiente para cumplir con las exigencias de bombeo, esto se puede comprobar analizando las gráficas de selección que nos brinda el fabricante de molinos de viento para bombeo de agua JOBER que se encuentra en la página 14 de los Anexos, donde podemos observar que tanto el valor requerido de energía hidráulica de  $12.9 \times 10^3 \text{ m}^4/\text{día}$  y caudal diario de  $282.3 \text{ m}^3$ , se encuentran fuera de las gráficas por lo que podemos decir que el uso de una aerobomba en nuestro caso de estudio no es viable.

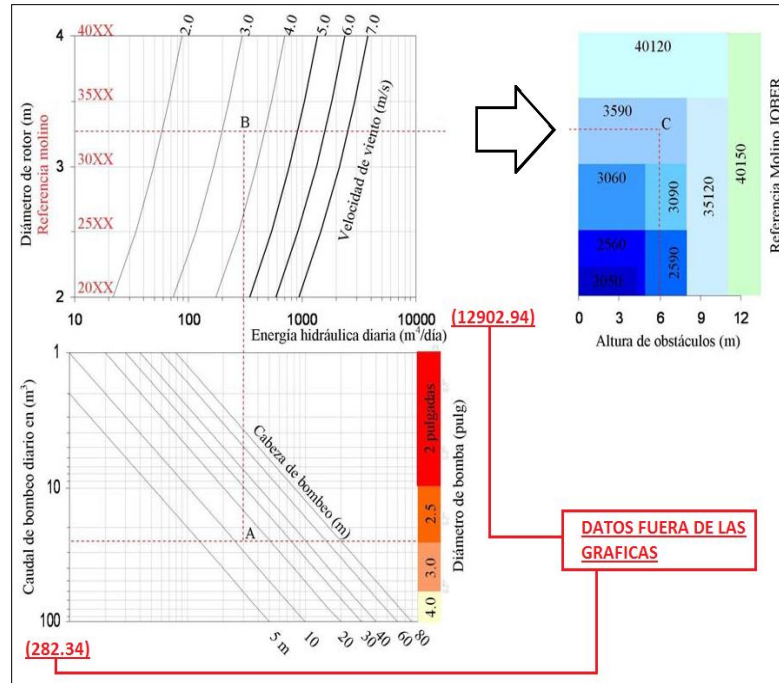


Figura 5.4: Diagrama de selección del molino de viento JOBER [5.8].

#### 5.4. Selección de bomba solar.

Usando una presión o altura dinámica total de 45.7 m.c.a y teniendo en cuenta que se necesita bombear un volumen diario de 282.3 m<sup>3</sup> de agua, seleccionamos la clase de bomba que se debe utilizar en el sistema, mediante la Figura 5.5.

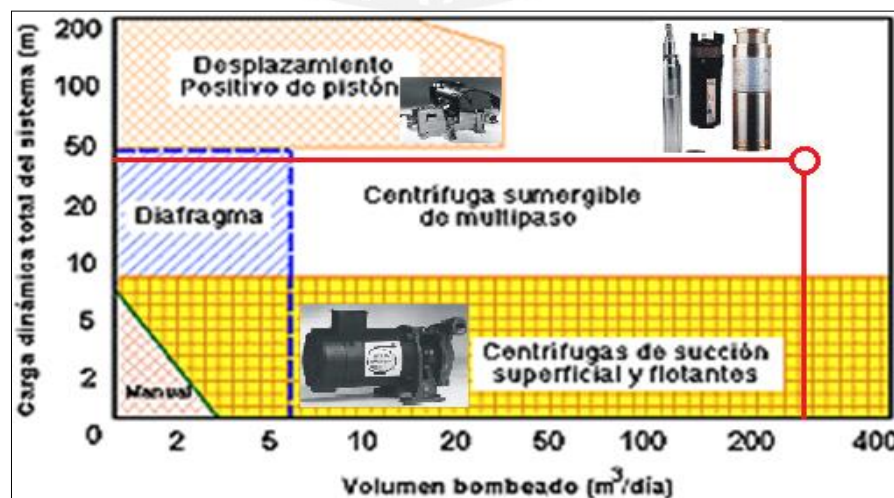


Figura 5.5: Diagrama de selección preliminar de bomba solar [5.9].

De la figura anterior obtenemos que se debe seleccionar una bomba centrífuga sumergible de multipaso, como podemos observar en la Figura 5.6, en este tipo de bomba se puede utilizar el agua como lubricante y cuentan con motores de corriente continua de velocidad variable o corriente alterna, además manejan altos flujos y operan a cargas dinámicas grandes, también tiene un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.

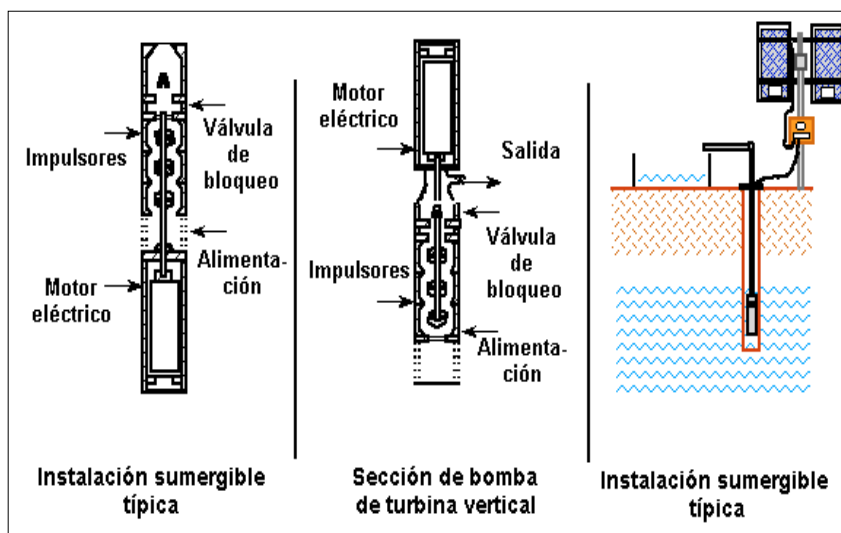


Figura 5.6: Esquema de bomba centrífuga sumergible, instalación y sección [5.10].

Para seleccionar una bomba centrífuga sumergible tomamos en cuenta que su tecnología debe ser adaptable a los paneles solares, porque a diferencia de las bombas con motores de inducción, estas no necesitan, durante el arranque, 2 a 7 veces su potencia para luego mantenerse en funcionamiento.

Ahora definimos los parámetros de caudal y presión para la selección de la bomba solar centrífuga sumergible.

#### a) Caudal necesario:

En cálculos anteriores, para la selección de otros tipos de bombas, se determinó que se necesitaría de un caudal de  $282.3 \text{ m}^3/\text{día}$ , en el caso de usar como fuente la

energía solar no se puede tomar en cuenta el funcionamiento durante 24 horas puesto que existen fluctuaciones de energía debido a la rotación de la tierra alrededor de su propio eje (fluctuación diaria) y alrededor del sol (fluctuación estacionaria), por lo que, durante los días claros, la energía solar está distribuida a lo largo del día en una especie de distribución de Gauss (forma de campana) como se muestra en la Figura 5.7 siguiente.

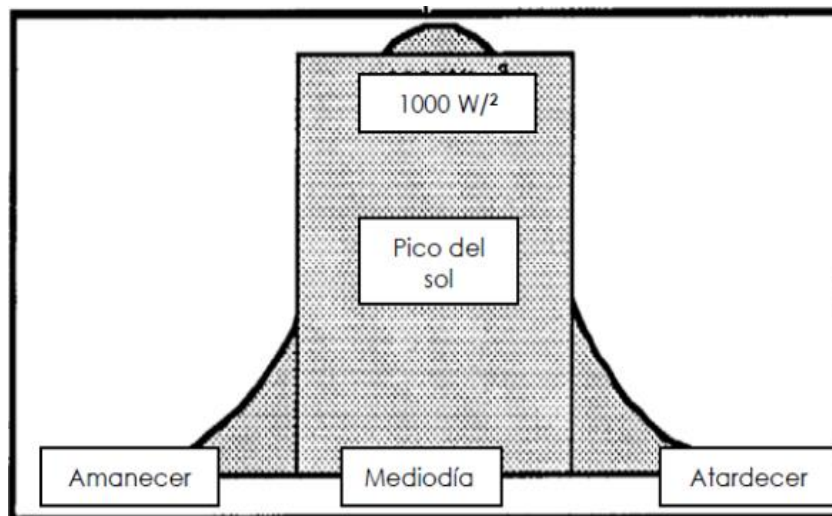


Figura 5.7: Diagrama de horas efectivas de irradiación solar diaria [5.11].

La anterior figura está referida a las horas efectivas de incidencia de irradiación solar por día (horas sol pico) en base a estudios de mediciones de horas de sol el cual nos ayuda a estimar las horas de trabajo de la bomba seleccionada.

Según el mapa de la energía solar incidente del Perú que se encuentra en la página 15 de los Anexos [5.12]; en la localidad de Pucyura - Cusco, la energía solar durante el mes de Noviembre es de 6 a 6.5 kW.h/m<sup>2</sup> por día, asumiendo el menor valor de 6 kW.h/m<sup>2</sup> por día podemos decir que se puede producir 1 000 W/m<sup>2</sup> por hora y que las horas útiles de radiación solar al día son 6 horas.

Entonces dividiendo el volumen de agua en el tanque de 282.3 m<sup>3</sup> entre 6 horas determinamos que el caudal que la bomba solar debe suministrar es de 47 m<sup>3</sup>/h.

**b) Altura dinámica:**

Este parámetro se mantendrá ya que la posición del tanque no variará por lo tanto la presión será de 45.7 m.c.a.

Con los parámetros establecidos seleccionamos la bomba solar centrífuga sumergible, marca LORENTZ cuyos modelos se encuentran en la página 16 de los Anexos; en la Figura 5.8 se indican los modelos más importantes.

pump system		PS150 C	PS600 C	PS1200 C	PS1800 C	PS4000 C
max. total dynamic head (TDH) [m]		20	30	40	100	160
max. flow rate [m <sup>3</sup> /h]		4.0	12	21	53	79
solar operation:						
max. power voltage (Vmp)* [VDC]		> 17	>68	>102	>102	> 238
open circuit voltage (Voc) [VDC]		max. 50	max. 150	max. 200	max. 200	max. 375
nominal voltage [VDC]		12–24	48–72	72–96	72–96	168–192
battery operation:						
nominal voltage [VDC]		12 & 24	48	96	96	n.a.
*) PV modules at standard test condition: AM = 1.5, E = 1,000W/m <sup>2</sup> , cell temperature: 25 °C						

Figura 5.8: Modelos de bombas solares centrífugas sumergibles LORENTZ [5.13].

Como se observa en la figura anterior existe 5 modelos de bombas, cada una con sus valores máximos de presión y de caudal, por lo que podemos hacer una selección preliminar usando el parámetro de 45.7 m.c.a, encontrando a las bombas PS1800 C y PS4000 C como apropiadas para el proyecto, debiendo ser analizadas.

Observando más detalladamente la información técnica del modelo PS1800 C, que se encuentra en la página 17 de los Anexos, y del modelo PS4000 C, que se encuentra en la página 18 de los Anexos, notamos que ninguna de estas bombas cumple con el parámetro de caudal de 47 m<sup>3</sup>/h, por lo cual debemos usar más de una bomba, ahora si

analizamos con el uso de 2 bombas, el nuevo parámetro de caudal sería de 23.5 m<sup>3</sup>/h que durante 6 horas de trabajo diario obtendríamos el nuevo caudal de 141.17 m<sup>3</sup>/día.

Ahora analizando la información técnica, de la página 18 de los Anexos, respecto a la bomba PS1800 C a 141.17 m<sup>3</sup>/día obtenemos como máximo 15 m.c.a. de presión por lo cual este modelo no cumple con el parámetro de 45.7 m.c.a, pero analizando la información técnica de la bomba PS4000 C observamos que los rotores de la bomba que cumplen con los parámetros de presión y caudal son los modelos C-SJ8-15 y C-SJ17-4 como se observa en la Figura 5.9.

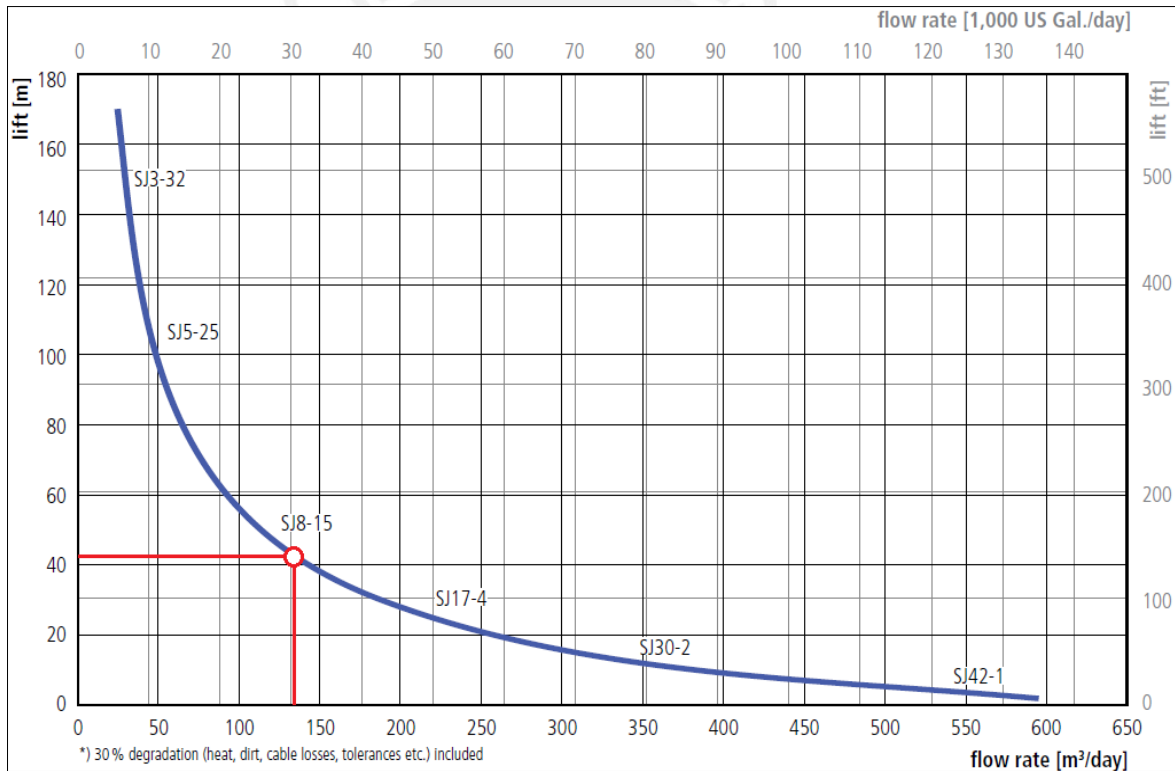


Figura 5.9: Curva característica de bomba solar centrífuga sumergible PS4000 C.

Fuente: Catálogo bombas solares LORENTZ.

Si analizamos los rotores con modelos C-SJ8-15 y C-SJ17-4 de la bomba PS4000 C, que se observa en la Figura 5.10, el modelo más adecuado para los requerimientos, es el rotor de modelo C-SJ17-4 puesto que cumple con los dos parámetros de presión (45.7 m.c.a) y de caudal (23.5 m<sup>3</sup>/h).

Performance				
Pump Head	Lift		Flow Rate	
	[m]	[ft]	[m³/h]	[US-Gal./h]
C-SJ3-32	130–170	430–560	3.3–3.8	800–1,000
C-SJ5-25	70–130	260–430	4.3–6.6	1,150–1,720
C-SJ8-15	30–80	100–260	6.9–12.2	1,700–3,200
C-SJ17-4	15–50	50–165	14.0–24.5	3,700–6,500
C-SJ30-2	12–22	40–70	33–44	8,500–11,000
C-SJ42-1	up to 12	up to 40	44–70	11,000–18,500
<b>Daily Flow Rate</b>   8.5 peak flow hours per day, PV generator* 5 kWp, Vmp > 230VDC, tracked, 6 kWh/m²/day				

Figura 5.10: Rango de Presión y Caudal según rotor de bomba PS4000 C LORENTZ [5.15]

También se debe realizar el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico por lo cual, hallamos la radiación global diaria del lugar de estudio ubicando la localidad de Pucyura en el mapa del Perú de energía solar incidente obtenida del “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” (SENAMHI), para el mes de Noviembre por ser el mes más seco y consecuentemente el de mayor necesidad de agua del año en Cusco.

Entonces teniendo los rangos de energía solar incidente mensual en la localidad de Pucyura, determinamos la radiación global para el mes de Noviembre, que se encuentra en la página 19 de los Anexos cuyo valor varía entre 6 a 6.5 kW.h/m<sup>2</sup>-día, por lo que usando el menor valor de 6 kW.h/m<sup>2</sup>-día para este proyecto, podemos estimar la potencia necesaria para el caso de estudio, según la ecuación 5.7 extraída de “Manual de selección de bombas solares” [5.16].

$$P_{SG} = \frac{11.6 * H_{man} * Vol}{G_D} \tag{5.7}$$

Dónde:

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

Vol: Volumen que se desea bombear 282.3 [m<sup>3</sup>].

$H_{man}$ : Altura manométrica total 45.7 [m.c.a].

$G_D$ : Radiación global diaria de la localidad [kW.h/m<sup>2</sup>-día].

$$P_{SG} = \frac{11.6 * 45.7 * 282.3}{6}$$

$$P_{SG} = 24\ 945.68 \text{ W.h/día.}$$

Hay que notar que la ecuación 5.7 sirve para estimar la potencia requerida por el sistema y debe tener un factor de seguridad alto, por lo que, si elegimos un arreglo fotovoltaico con una potencia menor, no generaría ningún problema. 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 ecuación 5.8 extraída de “Manual de selección de bombas solares” [5.17].

$$Ar = \frac{1200 * P_{SG}}{G_D} \quad (5.8)$$

Dónde:

$Ar$ : Tamaño del Módulo Fotovoltaico [Wp].

$P_{SG}$ : Potencia necesaria 24 945.68 [W.h/día].

$G_D$ : Radiación global diaria de la localidad 6 000 [W.h/m<sup>2</sup>-día].

$$Ar = \frac{1\ 200 * 24\ 945.68}{6\ 000}$$

$$Ar = 4\ 989 \text{ Wp.}$$

La ecuación 5.8 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/m<sup>2</sup> 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 precio como se muestra en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5**  
**PRECIOS Y EFICIENCIAS REFERENCIALES PARA TIPOS DE CÉLULA [5.18]**

TIPO DE CÉLULA	EFICIENCIA % (EN LA PRÁCTICA)	PRECIO (US\$/Wp)
Cristalina	10 – 12	6
Policristalina	8 – 9	5
Película delgada	15	2
Silicio Amorfo Policristalina	3 - 6	1 - 2

De la anterior tabla notamos que el tipo de célula con características intermedias en costo y eficiencia es la policristalina. Entonces para efectos de estudio seleccionamos módulos solares policristalinos marca SUNTECH por ser el mayor fabricante de paneles solares en el mundo.

Según el catálogo 2012 SUNTECH existen paneles cuyas potencias varían entre 190 a 295 W, pero para generar altas potencias se considera desde 250 a 295 W, sabiendo esto, se calcula la cantidad de módulos solares mediante la ecuación 5.9.

$$N_{MS} = \frac{Ar}{P_{max}} \quad (5.9)$$

Dónde:

$N_{MS}$ : cantidad de módulos solares.

Ar: Tamaño de Modulo Voltaico 4 989.13 [Wp].

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

Usando la ecuación 5.9, para diferentes potencias con sus respectivos precios unitarios dan como resultado los valores expresados en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6****CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES PARA DIFERENTES POTENCIAS**

POTENCIA DE MÓDULOS SOLARES (W)	PRECIO UNITARIO (\$)	NÚMERO DE MÓDULOS SOLARES
295	331.9	16.9
290	326.3	17.2
285	320.6	17.5
280	336.0	17.8
275	443.4	18.1
260	458.6	19.2
255	475.0	19.6
250	442.9	20.0

La Tabla 5.6 muestra que se necesita en promedio 18 paneles, teniendo en cuenta este valor, analizamos el arreglo y conexiones de los módulos fotovoltaicos, para esto observamos los datos de la Figura 5.8 sobre modelos de bombas solares centrífugas sumergibles LORENTZ, donde nos indica que se necesita un voltaje nominal de 168 a 192 V en los módulos solares y que no opera con baterías, entonces para hallar la cantidad de módulos que serán conectados en serie para cubrir la demanda de voltaje de la bomba solar, se debe dividir 168 y 192 V entre el voltaje que puede proporcionar cada módulo, dando como resultado los datos expresados en la Tabla 5.7.

**Tabla 5.7****CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES PARA DIFERENTES POTENCIAS**

POTENCIA DE MÓDULOS SOLARES (W)	VOLTAJE NOMINAL DEL MÓDULO SOLAR (V)	VOLTAJE NOMINAL DE BOMBA PS4000 C (V)		CANTIDAD MÁXIMA DE MÓDULOS SOLARES CONECTADOS EN SERIE
		168	192	
295	35.7	4.71	5.38	5
290	35.6	4.72	5.39	5
285	35.4	4.75	5.42	5
280	35.2	4.77	5.45	5
275	35.1	4.79	5.47	5

**Tabla 5.7**  
**CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES PARA DIFERENTES POTENCIAS**

POTENCIA DE MÓDULOS SOLARES (W)	VOLTAJE NOMINAL DEL MÓDULO SOLAR (V)	VOLTAJE NOMINAL DE BOMBA PS4000 C (V)		CANTIDAD MÁXIMA DE MÓDULOS SOLARES CONECTADOS EN SERIE
		168	192	
		260	30.9	
255	30.8	5.45	6.23	6
250	30.7	5.47	6.25	6

Por otro lado la Tabla 5.6 nos muestra que para paneles solares, cuyas potencias varían entre 250 y 295 W se necesita en promedio 18 paneles para cubrir la demanda de potencia, por lo tanto sabiendo que la cantidad total de módulos solares deben ser múltiplos de 5 o 6 como se muestra en la Tabla 5.7 podemos hallar la cantidad total de módulos solares de acuerdo a sus distintas potencias, así como su costo; los cuales se resumen en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8**  
**CANTIDAD Y COSTO TOTAL PARA MÓDULOS SOLARES DE DIFERENTES POTENCIAS**

POTENCIA DE MÓDULOS SOLARES (W)	CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
295	20	331.9	6 637.4
290	20	326.3	6 525.0
285	20	320.6	6 412.6
280	20	336.0	6 720.0
275	20	443.4	8 868.8
260	18	458.6	8 255.0
255	18	475.0	8 550.0
250	18	442.9	7 971.5

De la Tabla anterior seleccionamos el módulo de 285 Watts por ser el más económico, este módulo pertenece al modelo STP285-24/Vd marca SUNTECH, donde su precio por 20 módulos solares es de \$6 412.6 y trabajará a 177 Voltios, que a su vez se encuentra en el rango de trabajo, es decir entre 168 y 192 Voltios. El detalle de las especificaciones

técnicas del módulo solar se encuentra en la página 20 de los Anexo; cuyas características eléctricas son mostradas en la Figura 5.11.

STC	STP295-24/Vd	STP290-24/Vd	STP285-24/Vd
Tensión óptima de operación (Vmp)	35,7 V	35,6 V	35,4 V
Corriente óptima de operación (Imp)	8,27 A	8,15 A	8,06 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	45,1 V	45,0 V	44,9 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,57 A	8,42 A	8,37 A
Máxima potencia STC (Pmax)	295 W	290 W	285 W
Eficiencia del módulo	15,2%	14,9%	14,7%
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C		
Tensión máxima de sistema	1.000 V DC (IEC) / 600 V DC (UL)		
Corriente máxima de fusible en serie	20 A		
Tolerancia de potencia	0/+5 %		

STC: Irradiancia 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura del módulo 25 °C, AM=1,5;  
 Simulador solar AAA mejor de su clase (IEC 60904-9) utilizado, tolerancia de medición de potencia: +/- 3%

Figura 5.11: Características eléctricas de módulos solares SUNTECH [5.19]

Entonces para satisfacer la demanda de voltaje y potencia de las dos bombas, se necesitará que los módulos fotovoltaicos se conecten en series de cinco, para luego ser conectados en paralelo cada dos series, este arreglo suministrará la energía necesaria para una bomba solar, por lo tanto se necesitará 10 módulos para cada bomba y como se usará dos bombas se debe usar en total 20 módulos fotovoltaicos policristalinos.

### 5.5. Selección de Bomba de Ariete.

Analizando la geografía de la zona no es posible usar bombas de ariete para la elevación de agua del pozo pero, en cambio, es posible usarlo para aumentar la presión en los aspersores y de esta manera se pueda disminuir la altura del tanque, por lo tanto usando como parámetros de salida de la bomba de ariete una presión de 45.7 m.c.a y un caudal de 196 l/min, seleccionamos la bomba de ariete respectiva.

La Figura 5.12 muestra el gráfico de selección de bombas de ariete, donde, usando el parámetro caudal notamos que se necesita una batería de arietes. Por lo que dividimos el caudal hasta que el valor del caudal se ubique dentro de los arietes normalizados, entonces si dividimos, al caudal total de 196 l/min entre dos bombas de ariete, obtenemos

que el nuevo caudal será 98 l/min para cada bomba, luego usamos nuevamente la Figura 5.12 para su comprobación.

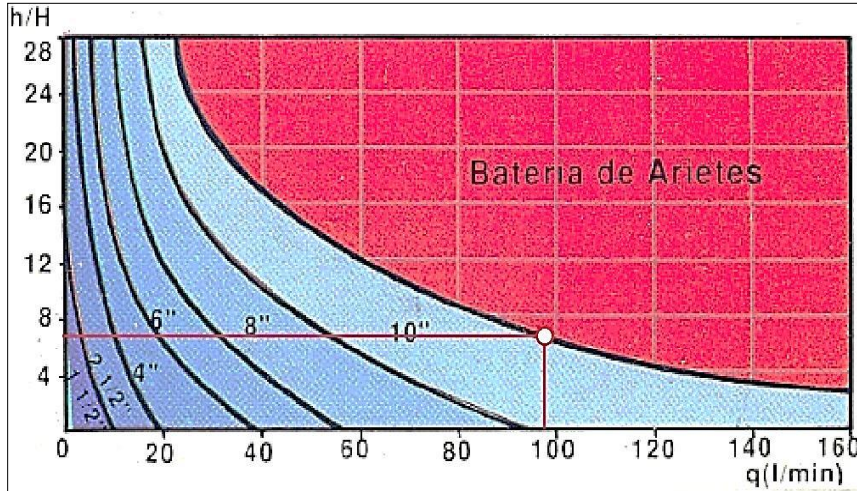


Figura 5.12: Curvas características para selección de bombas de ariete [5.20]

De la Figura 5.12 observamos que para el caudal deseado, se puede usar dos bombas de ariete de 10" con una relación de  $h/H$  de 7 aproximadamente, donde el termino  $h$  es la presión deseada en los aspersores que en nuestro caso es de 45.7 m.c.a; mientras que el termino  $H$  es la altura del tanque. Entonces considerando la relación  $h/H$  de 7 obtenemos  $H$  siendo 6.5 m.c.a, luego hallamos el valor del rendimiento " $\eta$ " usando la figura 5.13.

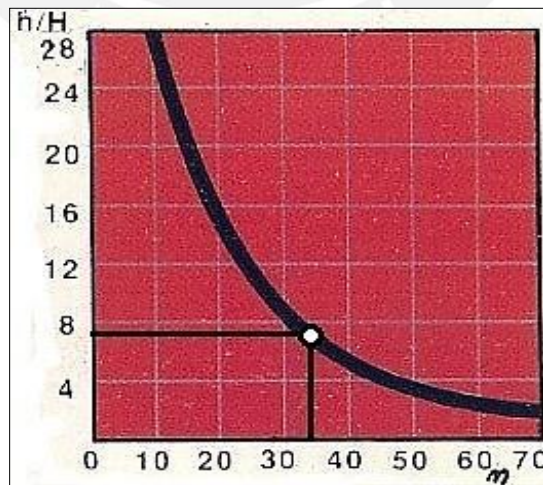


Figura 5.13: Curva de rendimiento de la bomba de ariete [5.21]

De la figura anterior considerando la relación  $h/H$  de 7 obtenemos un rendimiento de 34% aproximadamente, luego calculamos el mínimo caudal de alimentación necesario para el normal funcionamiento de la bomba, según la ecuación 5.10.

$$Q_{AA} = \frac{Q_{BA} * h}{\eta * H} \quad (5.10)$$

Dónde:

$Q_{AA}$ : Caudal de alimentación necesario en la bomba de ariete [l/min].

$Q_{BA}$ : Caudal de agua bombeada por bomba de ariete 98.03 [l/min].

$h$ : Presión o altura deseada de salida 45.7 [m.c.a].

$\eta$ : Rendimiento de la bomba 34 [%].

$H$ : Presión o altura del tanque de alimentación 6.5 [m.c.a].

$$Q_{AA} = \frac{98.03 * 45.7}{34 * 6.5}$$

$$Q_{AA} = 4\,036.9 \text{ l/min.}$$

Al analizar los resultados del uso de la batería de bombas de ariete mostramos las siguientes desventajas:

- El volumen de agua necesaria en un día de trabajo usando las dos bombas de ariete seleccionadas será de 331 m<sup>3</sup>, es decir 48.7 m<sup>3</sup> más de lo previsto en el tanque, aumentando el tamaño y costo de su construcción.
- El caudal en los aspersores, usando las dos bombas de ariete seleccionadas será muy irregular, debido a la naturaleza de la bomba, lo cual fatigará a los aspersores provocando su mal funcionamiento y posterior deterioro.

- Debido a la geografía de la zona se debe canalizar el agua que sale por la válvula de derrame de la bomba produciendo el aumento el costo del proyecto.

Notando estas desventajas podemos decir que no conviene usar bombas de ariete para la aspersión debido a que aumenta el costo del proyecto y disminuye el tiempo de vida de los aspersores e indirectamente el del proyecto.

### 5.6. Selección de Río bomba o Rueda Hidráulica.

Para la selección de la rueda hidráulica, sabemos que cerca de la zona de Muskarumi, pasa el río Hatunmayu o Cachimayo que en época de sequía (Abril–Noviembre) posee un caudal aproximado de  $0.5\text{m}^3/\text{s}$ , el cual proporcionará la energía para bombear agua hasta un tanque elevado.

Un parámetro que debemos analizar es la altura total de bombeo que según el mapa de Urubamba que se encuentra en la página 21 de los Anexos, la distancia horizontal comprendida entre el río y la ubicación del tanque es de 500 metros y se encuentra a una altura de 136 metros sobre el nivel del río por lo que se puede decir que la longitud de tubería para llevar agua desde el río hasta el tanque es de aproximadamente 518 metros, asumiendo que las pérdidas de presión por efecto de fricción en las tuberías es el 10% de la longitud de la tubería, se considerará que el equipo o los equipos de bombeo a seleccionar deberán suministrar agua a una presión de 188 m.c.a. Otro parámetro que se debe cumplir es que se debe bombear  $282.3\text{ m}^3$  al día.

Por lo tanto usando el catálogo de río bombas de la marca ROCHFER que se encuentra en la página 22 de los Anexos, seleccionamos la bomba modelo MS-89 por ser la más indicada para alcanzar grandes alturas con gran volumen de agua, como lo necesita este proyecto. También se debe seleccionar las dimensiones de la rueda con el que funcionará la bomba por lo que utilizando las curvas de desempeño notamos que no existe una rueda que eleve el agua a 188 m.c.a, por otro lado tampoco existe una rueda que suministre un caudal de  $282.3\text{ m}^3$  de agua por día.

Entonces notando los límites de las capacidades de las rio bombas se deberá usar más de una bomba por lo que después de un pre análisis se determinó que se usará 2 baterías de bombas conectadas en serie, de características semejantes para aumentar la presión en dos tiempos de 94 m.c.a cada vez y para el caso del caudal se debe analizar todas las posibles combinaciones de ruedas hidráulicas con la bomba MS-89, así como para sus diferentes ajustes o posiciones del pistón. Sabiendo que el volumen a bombear es de 282.3 m<sup>3</sup> al día analizaremos la Tabla 5.9 para la selección de las ruedas hidráulicas que conviene usar.

**Tabla 5.9**

**DISTINTAS RUEDAS HIDRÁULICAS PARA RÍO BOMBA MODELO MS-89 DE 94 m.c.a [5.22]**

AJUSTE O RANGO DEL PISTÓN	DIMENSIONES DE RUEDA (m)	CAUDAL (l/día)
01	1.65 x0.47	53 000
	1.90 x0.47	45 000
	2.20 x0.36	37 000
	2.20 x0.47	44 000
02	1.65 x0.47	50 000
	1.90 x0.47	52 000
	2.20 x0.36	40 000
	2.20 x0.47	51 000
03	1.65 x0.47	58 000
	1.90 x0.47	60 000
	2.20 x0.36	42 000
	2.20 x0.47	54 000

Como podemos observar en la Tabla 5.9, la rueda con las dimensiones de 1.90 x 0.47 metros en el ajuste 03, suministra 60 000 l/día, siendo el mayor caudal de todos los analizados, cuya curvas característica se encuentran en la página 23 de los Anexos, y que podemos observar en la Figura 5.14.

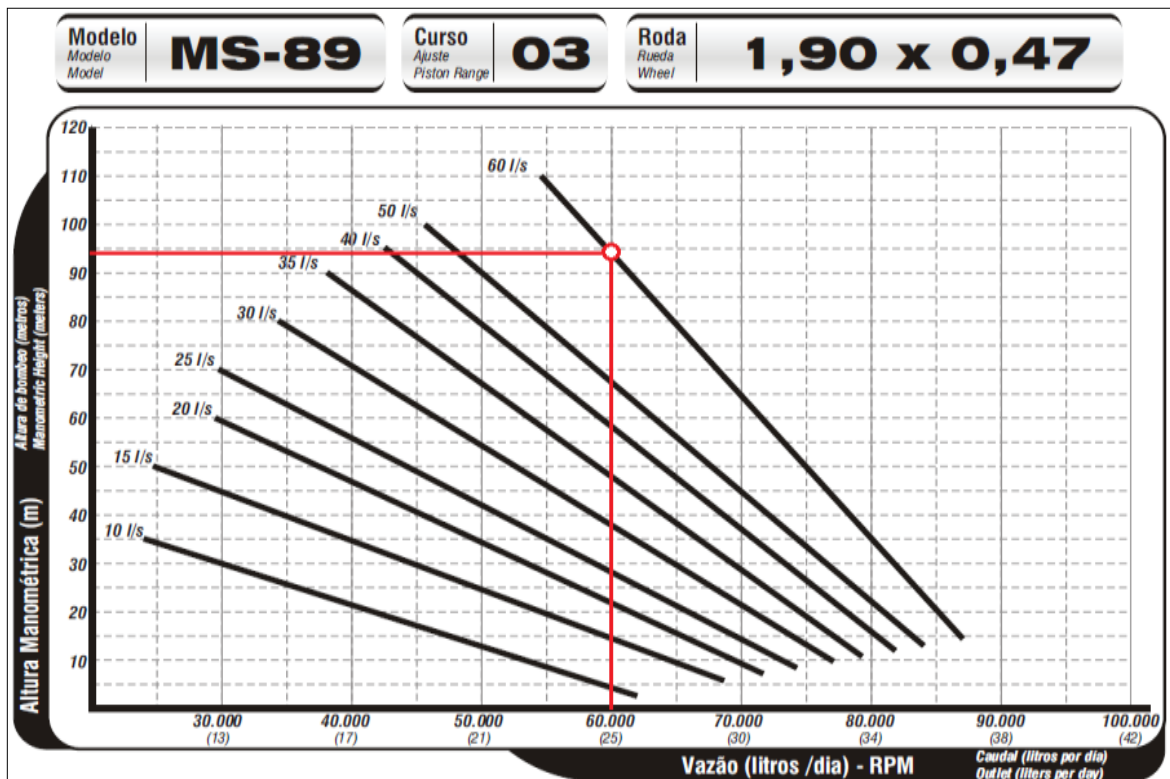


Figura 5.14: Curva característica de bomba pistón MS-89 (1.90 x 0.47) [5.23]

Por lo tanto 4 de estas ruedas serán utilizadas para operar en paralelo y formar parte de una batería de bombas, suministrando un total del 240 000 l/día. Para cubrir con la demanda de caudal se usará otra rueda que trabajará en paralelo con las anteriores cuyas dimensiones es de 2.20 m x 0.36 m aumentando 42 000 l/día, cuya curvas característica se encuentran en la página 23 de los Anexos, y que podemos observar en la Figura 5.15.

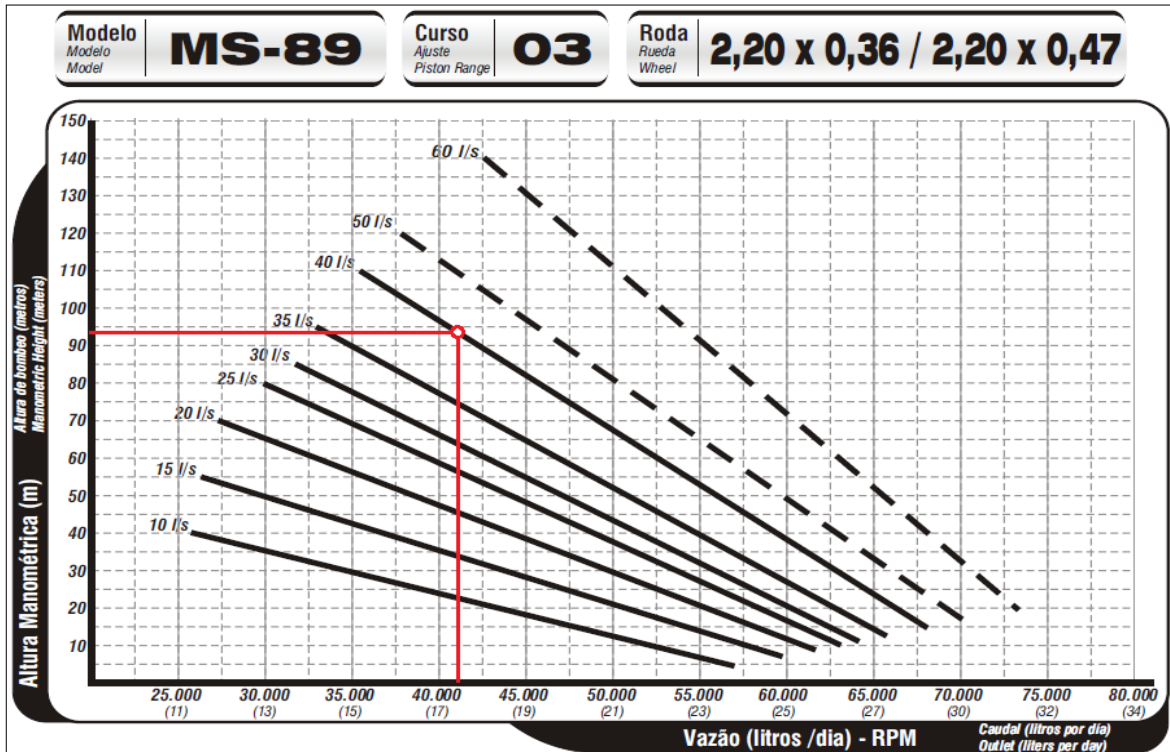


Figura 5.15: Curva característica de bomba pistón MS-89 (2.20 x 0.36 o 2.20 x 0.47) [5.24]

Finalmente determinamos que se debe usar 5 equipos de bombeo en paralelo que a su vez operaran en serie con otras 5 con características semejantes para aumentar la presión del agua, es decir serán un total de 10 ruedas hidráulicas entre las cuales 8 son de (1.90 x 0.47 metros) y 2 de (2.20 x 0.36 metros).

## Referencias Bibliográficas

- [5.1] HONDA (2011). *Catálogo de Motobombas serie HJ*. Argentina.
- [5.3] HIDROSTAL (2007). *Electrobomba centrífuga monoblock serie A*. Perú.
- [5.4] HIDROSTAL (2007). *Electrobomba centrífuga monoblock series B y C*. Perú.
- [5.5] DIRECCIONAL GENERAL DE MINERÍA (2001). *Potencial disponible de energía eólica*. Lima: MINEM. Escala 1: 6 000 000, 296.92 x 420.11 mm.
- [5.6] MOTT, Robert. (2006). *Mecánica de fluidos*. Sexta edición, México: Pearson Education. [en línea]. Disponible en: <http://books.google.com.pe> [2012,15 de marzo].
- [5.7] JOBER (2010). “Características técnicas para la implementación de molinos de viento para bombeo de agua”.p.18. [en línea]. Disponible en: <http://www.jober.com> [2011: 22 de noviembre].
- [5.8] JOBER, op.cit. p.28.
- [5.9] HADZICH, M. (2002). *Manual de selección de bombas solares*. Lima: PUCP. p.15.
- [5.10] *Ibíd*em, p.16.
- [5.11] HADZICH, M. (2006). *Curso Virtual Fotovoltaico: Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos*. Tema 2. Sexta Edición, Lima: PUCP. p.2.
- [5.12] SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (2002). *Energía solar incidente diaria*. Lima: SENAMHI. Escala 1: 6 250 000, 1022 x 1487.

[5.13] LORENTZ (2011). “Sistemas de bomba solares centrífugos PS”. [en línea]. Disponible en: [http://www.lorentz.de/pdf/lorentz\\_ps\\_c\\_general\\_es.pdf](http://www.lorentz.de/pdf/lorentz_ps_c_general_es.pdf) [2012, 25 de marzo].

[5.14] LORENTZ (2011). “PS1800C centrifugal pumping systems”. [en línea]. Disponible en: [http://www.cat.co.ke/PDF/lorentz\\_ps1800\\_c\\_en.pdf](http://www.cat.co.ke/PDF/lorentz_ps1800_c_en.pdf) [2012, 27 de marzo].

[5.15] LORENTZ (2011). “PS4000C solar-operated submersible pump system”. [en línea]. Disponible en: [http://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/edc\\_lorentz\\_\\_ps4000.PDF](http://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/edc_lorentz__ps4000.PDF) [2012, 27 de marzo].

[5.16] HADZICH, M. (2002). *Manual de selección de bombas solares*. Lima: PUCP. p.24.

[5.17] *Ibíd*em, p.25.

[5.18] HADZICH, M. (2006). *Curso Virtual Fotovoltaico: Introducción a la tecnología fotovoltaica*. Tema 1. Sexta Edición, Lima: PUCP. p.2.

[5.19] SUNTECH (2012). “Superpoly STP295 – 24/Vd”. [en línea]. Disponible en: <http://www.suntech-power.com> [2012, 2 de abril].

[5.20] GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL, *op.cit.* p.14.

[5.21] *Ídem*.

[5.22] ROCHFER (2011). “Manual de bombas MSG”. [en línea]. Disponible en: <http://www.rochfer.com.br> [2012, 20 de abril].

[5.23] ROCHFER. Datos técnicos bomba MS-89, *op. cit.* p.8.

[5.24] *Ibíd*em, p.9.

## CAPITULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 6.1. Costo del sistema de riego

Para la implementación del sistema de riego se necesitará un tanque acumulador, tubería HDPE de 5" para la tubería principal y de 3" para las tuberías laterales, además de aspersores y accesorios cuyos costos están expresados en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1

**COSTO DE SISTEMA DE RIEGO**

Tanque 12 x 12 x 2	Aspersores (100)	Accesorios	Total S/.	Tubería HDPE Ø 3" PE80 SDR26 PN5 3000 m	Tubería HDPE Ø 5" PE80 SDR26 PN5 191 m	Total \$
17595	6500	600	24695	7290	1461	18070

#### 6.2. Costos de los equipos de bombeo.

Al analizar los costos respecto a los equipos de bombeo consideramos como costos fijos el costo del equipo así como la tubería de succión y descarga hasta el tanque

acumulador, por otro lado consideramos como costo variable el costo producido por la operación y mantenimiento de cada equipo.

### 6.2.1. Motobomba:

Siendo la motobomba un equipo que no usa recursos renovables para su funcionamiento, se descartará esta alternativa por criterio técnico ya que esta tecnología no puede ser usada en el proyecto de estudio pero se realizará su análisis económico con fines comparativos.

- **Costo fijo:**

La motobomba seleccionada modelo HJ/3/9MP cuesta aproximadamente S/.2 550 en el mercado local de Cusco, según cotización telefónica en “COMERCIAL MAQUIMOTORS EIRL.” concesionario de productos de fuerza HONDA, además se necesitará de una manguera flexible de 3” de diámetro con una longitud de 100 metros que cuesta S/.250. Los costos fijos del uso de la motobomba son expresados en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2**  
**COSTO FIJO DEL USO DE MOTOBOMBA**

EQUIPO DE BOMBEO	MANGUERA Ø3" 100 m	TOTAL (S./)	TOTAL (\$)
2 550	250	2 800	1 057

- **Costo Variable:**

Mediante la Tabla 5.2 sabemos que el costo de operación de la motobomba seleccionada, durante una jornada de trabajo es de S/.127.2 o \$48, por otro lado se considera que su mantenimiento se realizará una vez al año como mínimo según el manual del propietario, cuyo costo será de \$200 según la referencia [6.1].

### 6.2.2. Electrobomba:

Siendo la electrobomba un equipo que no usa recursos renovables para su funcionamiento, se descartará esta alternativa por criterio técnico ya que esta tecnología

no puede ser usada en el proyecto de estudio pero se realizará su análisis económico con fines comparativos.

- **Costo fijo:**

La electrobomba seleccionada modelo C1.1/2x2 1/2-11.5T cuesta aproximadamente S/.1 863 en el mercado local de Cusco, según cotización telefónica con la empresa "AQUA SERVICE" vendedor de productos HIDROSTAL .Cuyos accesorios y cableado cuesta aproximadamente S/300, además se necesitará de una manguera flexible de 1" de diámetro con una longitud de 100 metros que cuesta S/120. Los costos fijos del uso de la electrobomba son expresados en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3**

**COSTO FIJO DEL USO DE ELECTROBOMBA**

EQUIPO DE BOMBEO	MANGUERA Ø1" 100 m	ACCESORIOS Y CABLEADO	TOTAL (S/.)	TOTAL (\$)
1 863	120	300	2 283	862

- **Costo Variable:**

Mediante la Tabla 5.4 sabemos que el costo de operación de la electrobomba seleccionada, durante una jornada de trabajo es de S/.17 o \$6, por otro lado se considera que su mantenimiento se realizará una vez al año como mínimo según el manual del propietario, cuyo costo será de \$150 según la referencia [6.1].

### 6.2.3. Aerobomba:

Como observamos en la sección 5.3 durante la selección de la aerobomba, sustentamos que la aplicación de este tipo de tecnología no es posible ya que la energía hidráulica necesaria para el bombeo es muy alta mientras que la potencia teórica que el viento proporcionaría es muy pequeña, siendo menor que 1 HP, por lo que el recurso eólico de la zona no es el suficiente para cumplir con las exigencias de bombeo, lo cual se comprueba usando la energía hidráulica y el caudal de bombeo diario en la Figura 5.4 de selección del molino de viento JOBER mostrado en el capítulo 5.

Por lo descrito en el párrafo anterior se descartará esta alternativa por criterio técnico no siendo necesario el análisis económico del uso de la aerobomba para el caso de estudio.

#### 6.2.4. Bomba Solar:

- **Costo fijo:**

Analizando los costos fijos más importantes, según cotización vía telefónica con la empresa “SUNTECH PERU SAC.” importador de módulos solares SUNTECH; y según cotización vía e-mail con la empresa “GREEN GT” socio comercial de bombas solares LORENTZ, obtenemos los precios de los componentes del sistema de bombeo solar seleccionado en la cual se incluye el costo de instalación, inversor, cableado y accesorios, expresados en la Tabla 6.4. Además de los equipos se necesitará de una tubería HDPE PE 80 SDR26 PN5 de 2 ½” con una longitud de 5 metros y otra de 5” de diámetro con una longitud de 99 metros que sumados cuesta \$767. Los costos fijos del uso de la bomba solar son expresados en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4**

**COSTO FIJO DEL USO DE BOMBA SOLAR**

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	SUMA TOTAL (\$)
Modulo solar policristalino STP285-24/Vd	20	321	6 413	
Bomba sumergible centrífuga solar PS4000 C	2	5 708	11 415	
Instalación, inversor, cableado y accesorios	-	-	2 500	21 095
Tubería HDPE PE 80 SDR26 PN5 Ø 2 1/2" (5m) y Ø 5" (99 m)	-	-	767	

- **Costo Variable:**

El costo de operación es mínima, mientras que el costo de mantenimiento del sistema es de 5% anual del costo de la bomba según la experiencia del “GRUPO PUCP”, teniendo en cuenta que los paneles solares tienen una expectativa de vida útil entre 30 y 40 años mientras que la bomba sumergible es de 20 a 25 años.

### 6.2.5. Bomba de ariete.

Como observamos en la sección 5.5 en el capítulo 3 durante la selección de la bomba de ariete, sustentamos que el uso de este tipo de bomba tiene las siguientes desventajas:

- Sabiendo que el volumen necesario de agua para riego en un día es de  $282.3 \text{ m}^3$  y la presión de 45.7 m.ca, en el capítulo 3 se halló que se debe de usar dos bombas de ariete las cuales necesitan de un volumen mayor de  $331 \text{ m}^3$  para cumplir con los parámetros de entrega de caudal y de presión anteriormente descritos; es decir se debería aumentar el volumen del tanque en  $48.6 \text{ m}^3$  incrementando, de esta manera, el costo del proyecto.
- Debido a la naturaleza de la bomba de ariete, el caudal y presión en los aspersores sería muy irregular, lo cual fatigará a los aspersores provocando su mal funcionamiento y posterior deterioro, disminuyendo el tiempo de vida de estos.
- Debido a la geografía de la zona se debe canalizar el agua que sale por la válvula de derrame de la bomba produciéndose un incremento en el costo del proyecto.

Notando estas desventajas podemos decir que no conviene usar bombas de ariete para la aspersión debido a que aumenta el costo del proyecto y disminuye el tiempo de vida de los aspersores e indirectamente el del proyecto. Por lo cual se descarta esta alternativa por criterio técnico no siendo necesario el análisis económico del uso de la bomba de ariete para el caso de estudio.

### 6.2.6. Río bomba o Rueda Hidráulica.

- **Costo fijo:**

Obtenemos los costos fijos más importantes según cotización vía e-mail con la empresa ROCHFER, además se necesitará de una tubería HDPE de 4" de diámetro con

una longitud de 518 metros que cuesta \$2 611. Los costos fijos los expresamos en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5**  
**PRECIO DE BOMBA DE PISTON Y RUEDAS HIDRÁULICAS SELECCIONADAS**

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	SUMA TOTAL (\$)
Bomba de pistón MS-89	10	3 978	39 776	
Rueda Hidráulica 1.90 x 0.47	8	1 178	9 425	
Rueda Hidráulica 2.20 x 0.36	2	1 120	2 240	54 052
Tubería HDPE PE 80 SDR26 PN5Ø 4" 518 m	-	-	2 611	

- **Costo Variable:**

El costo de operación es mínima, mientras que el costo de mantenimiento de la río bomba es de 5% anual del costo de la bomba según la experiencia del "GRUPO PUCP", asegurando el buen funcionamiento del equipo.

### 6.3. Costos comparativos de equipos de bombeo pre-seleccionados.

Por lo mencionado en la sección 6.2 en la cual se hace la pre-selección de los equipos de bombeo, se descartará la aerobomba y la bomba de ariete para el análisis económico respectivo, por otro lado cabe destacar que la electrobomba y la motobomba aunque no sean equipos que usan como fuente un tipo de energía renovable serán considerados en el análisis económico para efectos de comparación con los otros equipos de bombeo que sí usan este tipo de energía.

Entonces para el análisis económico expresamos sus precios en la Tabla 6.6 dónde se considera como costo fijo: el costo del equipo, complementos y sistema de riego; conjuntamente con el costo variable donde se considera: el costo operativo, que se produce cada vez que funciona la bomba; así como el costo de mantenimiento ya que este se realizará una vez al año.

**Tabla 6.6****COSTOS DE COMPARATIVOS DE EQUIPOS DE BOMBEO PRE-SELECCIONADOS**

BOMBAS PRE-SELECCIONADAS	COSTO VARIABLE (\$)		COSTO FIJO INICIAL (\$)		TOTAL INVERSIÓN (\$)
	COSTO OPERATIVO	COSTO MANTENIMIENTO	EQUIPO Y OTROS	SISTEMA DE RIEGO	
Electrobomba	6	150	862		18 932
Motobomba	48	200	1 057	18 070	19 127
Bomba Solar	0	1 055	21 095		39 166
Río bomba	0	2 703	54 052		72 122

Teniendo en cuenta los datos antes mencionados podemos comparar la inversión o el costo fijo inicial de cada equipo de bombeo mediante el Gráfico 6.1.

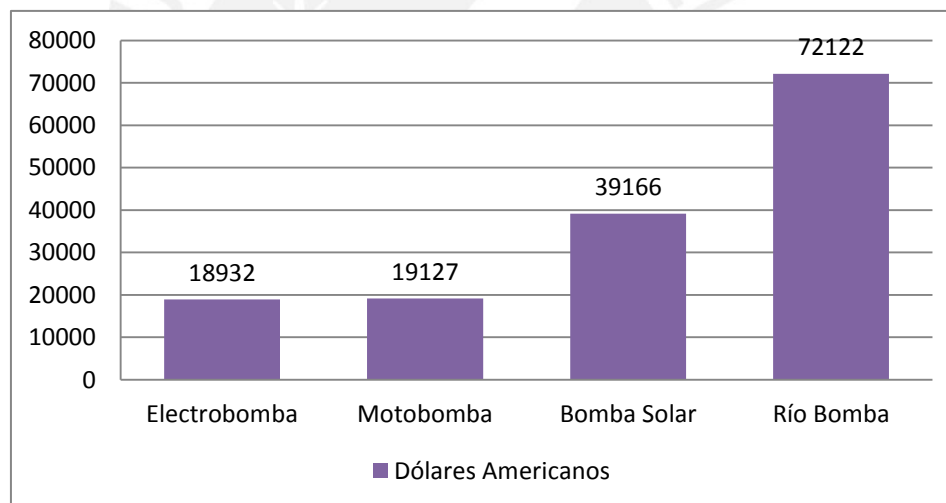
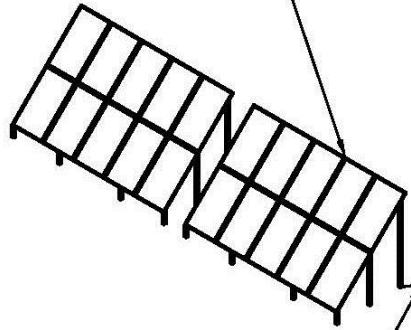


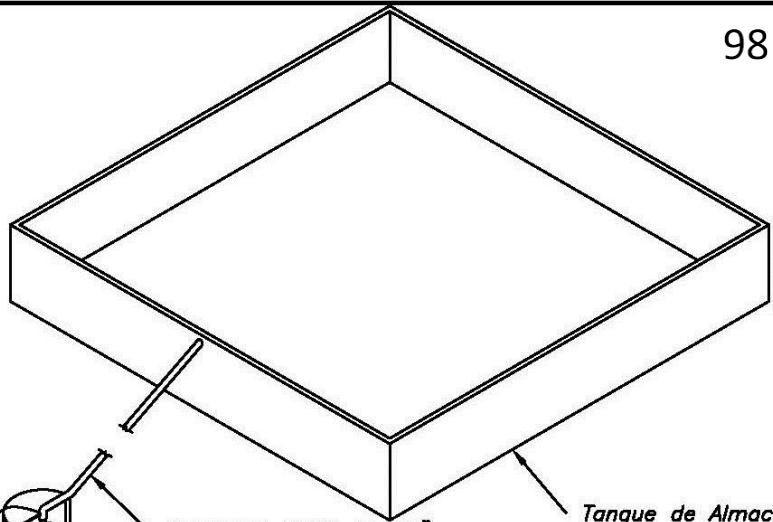
Gráfico 6.1: Comparación de costo inicial de los equipos de bombeo pre-seleccionados.

Del gráfico anterior observamos que el equipo más caro, para el caso de estudio, es la río bomba mientras que la electrobomba es la más económica, pero respecto a las bombas que usan energías renovables la bomba solar es la más adecuada para su uso en la zona. Entonces habiendo seleccionado a la bomba solar y la río bomba como los equipos de bombeo más óptimos para el caso de estudio, entonces podemos realizar sus respectivos esquemas de sistema de bombeo, como se muestra a continuación:

10 Paneles Solares por Bomba 0.992 x 1.956 m



Cable de alimentación de energía eléctrica  
Pozo/Manante  
2 Bombas Centrífugas Sumergibles Solares



Tanque de Almacenamiento 12 x 12 m

Manguera HDPE de Ø5"  
Reductor Concéntrico de Ø5"x Ø2 1/2"

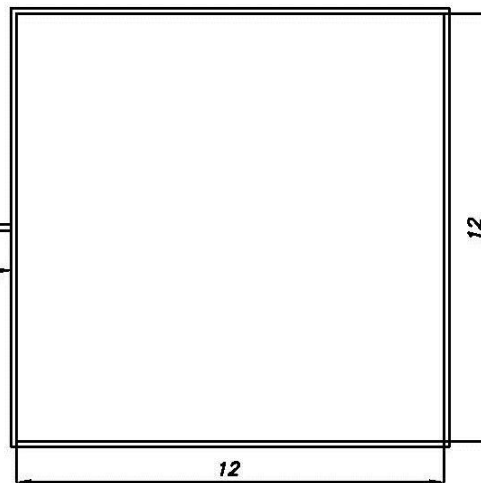
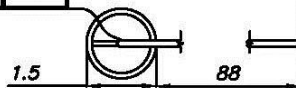
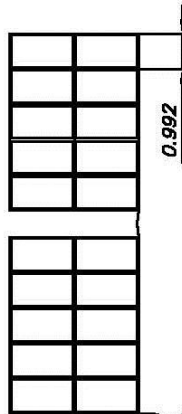
Manguera HDPE de Ø2 1/2"

Válvula Check Ø2 1/2"

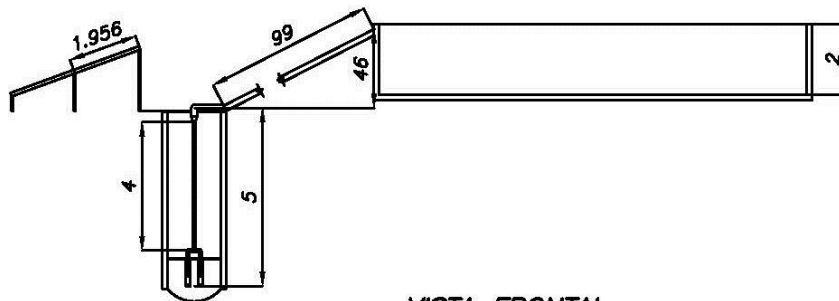
Tee de 2 1/2"x 2 1/2"

Platina de Soporte 1.5 x 0.14 x 0.254 m

VISTA ISOMÉTRICA



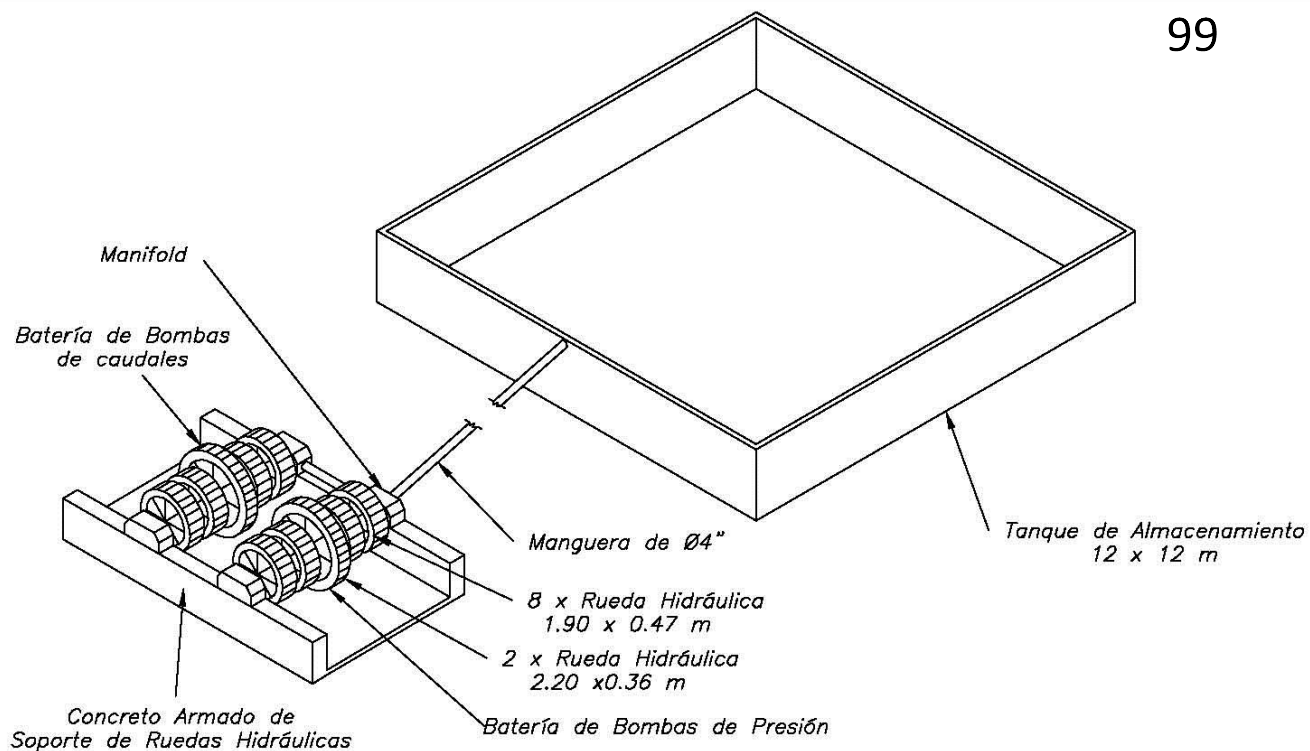
VISTA DE PLANTA



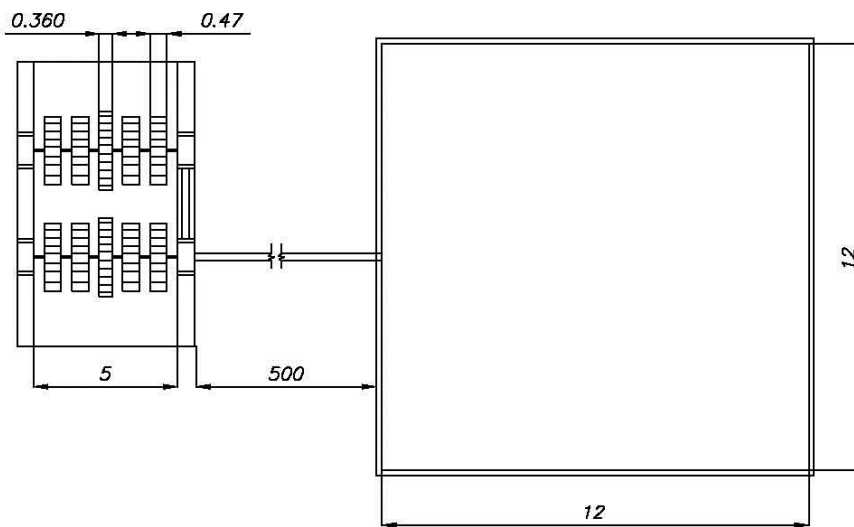
VISTA FRONTAL

ESQUEMA DE BOMBAS SOLARES

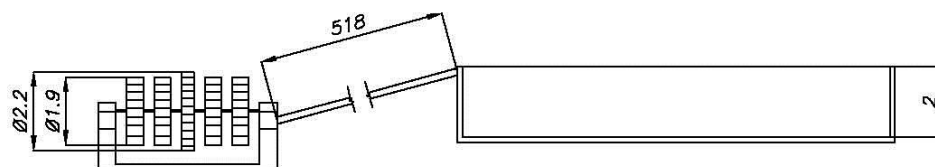
ESCALA 1:200



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA DE PLANTA



VISTA FRONTAL

ESQUEMA DE RÍO BOMBAS

ESCALA  
1:200

#### 6.4. Costo de producción en la zona.

##### 6.4.1. Costo de siembra y cosecha en la zona.

El costo de la mano de obra para sembrar y para cosechar 3 hectáreas en el sector de Muskarumi en Pucyura es de S/.25 por persona, por lo general se necesita de 5 personas, por lo que, el monto de la mano de obra es de S/.125 o \$47.

Durante la siembra en el sector de Muskarumi en Pucyura, el costo de las semillas o tubérculos para ser sembrados se observan en la Tabla 6.7 según la referencia [6.2].

**Tabla 6.7**  
**COSTO DE SIEMBRA DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS CULTIVADOS EN LA ZONA**

PRODUCTOS AGRÍCOLAS	arroba/topo	kg/ha	EN 3 HECTÁREAS (kg)	PRECIO UNITARIO (S/./kg)	PRECIO TOTAL (S/.)	PRECIO TOTAL (\$)
<b>Cebada</b>	4	138	414	1.1	455	172
<b>Trigo</b>	4	138	414	1.3	538	203
<b>Maíz amarillo</b>	2	69	207	2.9	600	227
<b>Avena</b>	4	138	414	1.7	704	266
<b>Haba</b>	4	138	414	2.2	911	344
<b>Alfalfa</b>	-	25	75	25	1 875	708
<b>Papa</b>	32	1 104	3 312	0.8	2 650	1 000
<b>Cebolla</b>	-	12	36	80	2 880	1 087
<b>Zanahoria</b>	-	8	24	120	2 880	1 087

Después de la cosecha el transporte de los productos agrícolas en un camión de 3 toneladas es de S/.50 o \$19 por viaje desde el sector de Muskarumi hasta la Feria Agropecuaria de Izcuchaca que es lugar de venta mayorista en la provincia de Anta.

##### 6.4.2. Precio de venta de productos agrícolas en la zona.

La producción de toneladas por hectárea de los principales productos agrícolas en el sector de Muskarumi lo podemos hallar mediante las estadísticas de producción de la provincia de Anta entre los años 2006 al 2011 que se encuentra en la página 24 de los

Anexos, mientras que los precios de venta de estos productos los obtenemos mediante una visita realizada el domingo 4 de Noviembre del 2012 al principal mercado de la zona que es la Feria Agropecuaria de Izcuchaca [6.3] y [6.4], entonces asumiendo que se realizará una cosecha promedio de un tipo de producto agrícola en 3 hectáreas de cultivo en el sector de Muskarumi que luego será vendida, obtenemos la ganancia total expresada en la Tabla 6.8 referenciado en [6.5] y [6.6], sin considerar los costos de producción.

**Tabla 6.8**

**LISTA DE PRECIOS DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS CULTIVADOS EN LA ZONA**

PRODUCTOS AGRÍCOLAS	ton/ha	kg/ha	EN 3 HECTÁREAS (kg)	PRECIO UNITARIO (S./kg)	PRECIO TOTAL (S./.)	PRECIO TOTAL (\$)
Cebada (pasto)	1.5	1 500	4 500	0.5	2 430	917
Cebada (grano seco)	1.1	1 100	3 300	1.1	3 730	1 408
Avena blanca (grano seco)	1.1	1 100	3 300	1.6	5 165	1 949
Avena negra (grano seco)	1.1	1 100	3 300	1.7	5 739	2 166
Haba verde	1.7	1 700	5 100	1.3	6 375	2 406
Haba (grano seco)	1	1 000	3 000	2.2	6 522	2 461
Trigo (grano seco)	1.8	1 800	5 400	1.3	7 043	2 658
Alfalfa (pasto)	6	6 000	18 000	0.5	9 720	3 668
Maíz amarillo (grano seco)	1.6	1 600	4 800	2.9	13 774	5 198
Papa Blanca	12	12 000	36 000	0.7	23 478	8 860
Papa Canchan	12	12 000	36 000	0.7	23 478	8 860
Papa Sica	12	12 000	36 000	0.7	25 043	9 450
Zanahoria	13.4	13 400	40 200	0.7	27 965	10 553
Papa Huayro	12	12 000	36 000	0.8	28 800	10 868
Cebolla	14.5	14 500	43 500	1.0	43 500	16 415

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

### 6.5 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 11% anual, para moneda extranjera (\$), según Agrobanco [6.7] que promueve la inclusión de productores agropecuarios al sistema financiero como se muestra en la página 25 de los Anexos.

Cabe resaltar que con este proyecto se incrementará en una cosecha más al año en el sector de Muskarumi siendo dos cosechas en total al año. Por lo tanto, si elegimos el equipo de bombeo solar como el más adecuado para la zona de estudio y se cosecha el producto agrícola con mayor precio de venta que es la cebolla entonces analizamos la rentabilidad de la inversión tecnológica con el sistema de bombeo presente en la zona y sin él para el año 1, 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.

$$\text{Inversión} = (- \text{Sistema de Bombeo Solar}) + (- \text{Sistema de Riego por Aspersión})$$

$$\text{Inversión} = - 21\,095 - 18\,070$$

$$\text{Inversión} = - 39\,165 \$.$$

- 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.

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

$$\text{Ingresos Incrementales} = 32\,830 - 16\,415$$

$$\text{Ingresos Incrementales} = 16\,415 \$.$$

- 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.

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

$$\text{Egresos Incrementales} = 2\,552 - 1\,276$$

$$\text{Egresos Incrementales} = 1\,276 \$.$$

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

Efecto Neto = Ingresos Incrementales – Egresos Incrementales

Efecto Neto = 16 415 – 1 276

Efecto Neto = 15 139 \$.

- Finalmente hallamos el flujo de caja nominal para el año 1 que es la suma del efecto neto más la inversión.

Flujo de caja Nominal = Inversión + Efecto Neto

Flujo de caja Nominal = - 39 165 + 15 139

Flujo de caja Nominal = - 24 026 \$.

Como sabemos el anterior procedimiento se realizó para el año 1 pero del año 2 al 10 el valor que se modificará es el de la inversión por mantenimiento del sistema de bombeo que para este lapso de tiempo es de -1 055 \$ anual.

Una vez hallado el flujo de caja nominal para 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 6.1 podemos desarrollar la Tabla 6.9.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (6.1)$$

Dónde:

VAN: Valor Actual Neto [\$].

I: Desembolso inicial de la inversión año 1 [\$].

N: Número de periodos considerados.

$Q_n$ : Representa los flujos de caja anuales.

r: Tasa de interés según Agrobanco 11 [%].

Tabla 6.9

## VAN, TIR Y FLUJO DE CAJA PARA PROYECTO DE RIEGO DE CEBOLLA USANDO BOMBA SOLAR

RUBROS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>I. INVERSIÓN (Expresados en "negativo")</b>	-39,165	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055
Sistema de Bombeo Solar	-21,095	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055	-1,055
Sistema de Riego por Aspersión	-18,070									
<b>II. EFECTO NETO (A - B)</b>	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139	15,139
<b>A. INGRESOS INCREMENTALES (a - b)</b>	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415
<b>(a) Ingresos con proyecto</b>	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830
Ventas de Cebolla (2 veces)	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830	32,830
<b>(b) Ingresos sin proyecto</b>	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415
Ventas de Cebolla (1 vez)	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415	16,415
<b>B. EGRESOS INCREMENTALES (c - d)</b>	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276
<b>(c) Costos y gastos operativos con proyecto</b>	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552	2,552
Costo Siembra 2 veces (semilla)	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174
Transporte 2 veces (5 viajes)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Mano de obra 2 veces al año en siembra y cosecha	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188
<b>(d) Costos y gastos operativos sin proyecto</b>	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276
Costo Siembra 1 vez (semilla)	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087	1,087
Transporte 1 vez (5 viajes)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Mano de obra 1 vez a la año en siembra y cosecha	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
<b>FLUJO DE CAJA NOMINAL ( I + II )</b>	-24,026	14,084	14,084	14,084	14,084	14,084	14,084	14,084	14,084	14,084
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>	-24,026	-9,942	4,142	18,226	32,310	46,394	60,478	74,562	88,646	102,730
<b>VALOR ACTUAL NETO ( VAN )</b>	\$53,957.78									
<b>TASA INTERNA DE RETORNO ( TIR )</b>	57.65%									
<b>TASA DE INTERÉS MÍNIMA</b>	11%									

Por lo tanto de la tabla anterior hallamos que si usamos el sistema de bombeo solar y cosechamos cebolla el proyecto tendrá un VAN de \$ 53 957.78 y una TIR de 57.65%, por lo tanto consideramos que el proyecto es aceptado ya que el indicador VAN es mayor a 0 y TIR es mayor a 11%, de igual forma analizamos para los demás productos agrícolas ya sea usando un sistema de bombeo solar o de río bomba hasta que el proyecto sea rechazado es decir que el VAN sea menor a 0 o TIR menor a 11%, cuyos resultados son expresados en la Tabla 6.10.

**Tabla 6.10**

**ANÁLISIS FINANCIERO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS CULTIVADOS EN LA ZONA**

PRODUCTOS AGRÍCOLAS	BOMBA SOLAR		RÍO BOMBA	
	TIR (%)	VAN (\$)	TIR (%)	VAN (\$)
<b>Cebada (pasto)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Cebada (grano seco)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Avena blanca (grano seco)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Avena negra (grano seco)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Haba verde</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Haba (grano seco)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Trigo (grano seco)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Alfalfa (pasto)</b>	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado
<b>Maíz amarillo (grano seco)</b>	-0.05	-13 249.61	Rechazado	Rechazado
<b>Papa Blanca</b>	15.16	5 263.31	Rechazado	Rechazado
<b>Papa Canchan</b>	15.16	5 263.31	Rechazado	Rechazado
<b>Papa Sica</b>	18.20	9 120.17	Rechazado	Rechazado
<b>Zanahoria</b>	23.33	15 613.72	Rechazado	Rechazado
<b>Papa Huayro</b>	25.55	18 389.70	0.17	-23 692.35
<b>Cebolla</b>	57.65	53 957.78	16.15	11 875.72

Como observamos en la Tabla 6.10, el sistema de bombeo y riego es rentable sólo para la producción de ciertos cultivos en la zona, de los cuales el uso de la bomba solar para el cultivo de la cebolla es la más viable.

## Referencias Bibliográficas

[6.1] SANTILLAN Chuqui, Nerlith <Nerlith.santillan@gym.com.pe>. "Mantenimiento de Electrobomba y Motobomba" [correo electrónico]. 27 mayo 2013. Enviado a: <dany.auccacusi@gym.com.pe>

[6.2] HUAMANGUILLAS, Maxi. Entrevista realizada el 4 de noviembre de 2012 en el sector de Muskarumi. Entrevistador: Dany Auccacusi.

[6.3] Comerciantes. Entrevista realizada el 4 de noviembre de 2012 en el Mercado Ferial de Izcuchaca, provincia de Anta, departamento del Cusco. Entrevistador: Dany Auccacusi.

[6.4] "Precio mayorista (Vinocanchon)" (2012). [en línea]. Cusco: DRAC (Dirección Regional de Agricultura del Cusco). Disponible en: <http://www.agroCUSCO.gob.pe> [2012, 13 de noviembre].

[6.5] "Producción por agencias agrarias" (2012). [en línea]. Cusco: DRAC (Dirección Regional de Agricultura del Cusco). Disponible en: <http://www.agroCUSCO.gob.pe> [2012, 13 de noviembre].

[6.6] "Cusco: producción agrícola, según principales cultivos, 2001 - 2011" (2011). [base de datos]. Lima: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0988/cusco.htm> [2012, 20 de noviembre].

[6.7] "Tarifario General" (2012). [en línea] Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe> [2012, 10 de noviembre].

## CONCLUSIONES

1. Al término de la presente tesis, se puede concluir que, mediante un sistema de bombeo que usa energía renovable se puede mejorar la producción del sector de Muskarumi en dos veces, en vez de una, al año, por otro lado se nota que las capacidades de este tipo de bombas son limitadas a comparación de las que usan energía eléctrica o diésel.
2. En el sector de Muskarumi – Pucyura – Cusco, el mes más seco del año es Noviembre y por lo tanto es el mes que tiene mayor demanda de agua, entonces asumiendo que se debe regar 3 hectáreas durante este mes, concluimos que es necesario un volumen de 282 m<sup>3</sup> de agua por día de riego y una presión 35.7 m.c.a. que es lo que sistema de aspersión necesita.
3. Se determinó que el equipo óptimo de bombeo usará energía solar como fuente de energía renovable ya que permite que el proyecto sea viable en una mayor diversidad de productos agrícolas que la río bomba, por lo que se seleccionó dos bombas solares centrífugas de multipaso modelo PS4000C con rotor modelo C-SJ17-4 cubriendo con la demanda de presión de 45.7 m.c.a en la cual se incluye las perdidas y la de caudal de 141 m<sup>3</sup>/día cada una.
4. La río bomba es un equipo de bombeo que cumple con los parámetros de caudal y presión pero no fue escogido como el equipo de bombeo óptimo porque hace que el proyecto sea viable con menos diversidad de productos agrícolas que la bomba solar, además su costo de inversión es mucho mayor respecto al bombeo solar con una diferencia aproximada de \$33 000 siendo más del el doble del costo de la inversión con bombeo solar.
5. Las demás bombas analizadas fueron descartadas en primer lugar por no usar energías renovables para su funcionamiento como son la motobomba y la electrobomba, la aerobomba no fue elegida porque la demanda de caudal y

presión requieren de una energía hidráulica diaria de  $12,902 \text{ m}^4$  que sobrepasa los rangos de funcionamiento y la capacidad del viento en la zona, por otro lado la bomba de ariete no es aplicable en la zona de estudio ya que necesita de una altura de alimentación inexistente; tampoco se puede usar para el riego por aspersión porque debido a la naturaleza fatigaría a los aspersores, provocando su mal funcionamiento.

6. El cultivo de cebolla es el producto agrícola que genera mayor rentabilidad ya que la inversión para el equipo de bombeo solar y del sistema de riego es de \$39 165 y al analizarlo durante un periodo de 10 años con una tasa de interés anual del 11% se obtiene un valor actual neto (VAN) de \$53 958 y una tasa interna de retorno (TIR) de 58% por otro lado la papa blanca es el producto agrícola que genera menor rentabilidad ya que se obtiene un valor actual neto (VAN) de \$5 263 y una tasa interna de retorno (TIR) de 15%, en ambos casos se demuestra que la rentabilidad de la implementación del proyecto generaría dos cosechas al año en vez de una.

## RECOMENDACIONES

1. 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.
2. Después de la instalación de la bomba solar se puede compartir las experiencias en cuanto al manejo y administración del agua, de esta manera extender los beneficios a otros.
3. Para que la implementación de un sistema de bombeo solar sea rentable se debe producir los siguientes productos agrícolas: maíz amarillo, papa, zanahoria y cebolla.

## OBSERVACIONES

1. En la zona de Pucyura cuando se usa la inundación como método de riego para 3 hectáreas de cultivo se necesita de un volumen de  $518.4 \text{ m}^3$ , pero usando el método de aspersión se usará de  $282.3 \text{ m}^3$  por lo que se ahorraría hasta un 45% de agua. Después del primer riego se volverá a regar el cultivo después de 15 días y así sucesivamente hasta la cosecha.
2. Se analizó la motobomba y electrobomba solo con fines comparativos respecto a lo económico ya que no puede ser aplicado en la zona porque no existe electrificación y la gasolinera más cercana se encuentra a 12 km de la zona.
3. Si se implementa el proyecto de riego y bombeo se podrá cosechar dos veces al año en vez de esperar la época de lluvia para sembrar, lo cual duplicaría los ingresos de los pobladores del sector.

## BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS E INFORMATICA, 2011. “Resultados censales 2005”. Lima. Consulta: 10 de septiembre 2011. <<http://www.inei.gob.pe>>

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ANTA, 2012. “Mapa Político de la Provincia de Anta”. Consulta: 09 de diciembre del 2012.  
<[http://www.munianta.gob.pe/mapa\\_de\\_la\\_provincia.php](http://www.munianta.gob.pe/mapa_de_la_provincia.php)>

MEINEL, A. y MEINEL, M., 1982. *Aplicaciones de la energía Solar*. Barcelona: Reverté.

MENDEZ, J. y CUERVO, R., 2008. *Energía Solar Térmica*. Madrid: FC editorial.

HADZICH, M., 2006, *Curso Virtual Fotovoltaico*. Sexta edición, Lima: PUCP.

GRUNDFOS, 2010. *Manual de bombas solares SQflex*.

BORNAY, 2008. “Como escoger el molino de viento”. Consulta: 22 de noviembre del 2011. <<http://www.bornay.com/userfiles/descargas/aerobomba.pdf>>

ESCUADERO, J., 2008. *Manual de energía eólica*. Madrid: Mundiprensa.

VILLARUBIA, M., 2004. *Energía eólica*. Barcelona: CEAC.

JOBER, 2010. *Características técnicas para la implementación de molinos de viento para bombeo de agua*. Colombia.

ELEMENTAL RENOVABLES, 2011. “Ecobombas”. Consulta: 20 de noviembre de 2011.  
<<http://www.Elemental-ltda.cl>>

ROCHFER, 2010. *Datos técnicos bomba MS-89*. Brasil.

AGUAMARKET, 2011. "río bomba". Consulta: 19 de noviembre del 2011.  
<<http://www.aguamarket.com>>

GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL., 2006. *Bomba de ariete*. Lima: PUCP.

ARNALICH, S., 2008. *Abastecimiento de agua por gravedad*. Madrid: Arnalich. Consulta: 25 de noviembre del 2011 <<http://www.arnalich.com/es/libros.html>>

BAIRD, C., 2001. *Química ambiental*. Barcelona: Reverté,

ALLEN, R. y Otros, 1998. "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements". Italia. Consulta: 11 de enero del 2011.  
<<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>

DASTANE, N., 1978. "Effective rainfall in irrigated agriculture". Italia. Consulta: 11 de enero del 2011. <<http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm>>

ABSALON, V. Y LORENZO, L., 1988. *Principios básicos del Riego*. Lima: ONERN.

MEGH, P. y Otros, 2007. *Manejo de riego por goteo*. Segunda Edición. Puerto Rico: Universidad de Santa Rosa de Cabal.

SALCEDO, C., 1995. *Riego por aspersión en los Andes: Primera experiencias del plan Meriss Inka con proyectos de autoayuda*. Lima: ITACAB.

VYRSA, 2011. *Riego campo agrícola 2011*. España.

VYRSA, 2011. *VYR-56 Agrícolas circulares*. España.

INSTITUTO DE PROMOCION PARA LA GESTION DE AGUA, 2011. *Agua y Riego N.23*. Lima: ETC Andes.

VOS, J., 2010. *Riego campesino en los Andes: Seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. Lima: IEP.

VAN, H., 2007. *Riego en la Sierra: La experiencia de PRODERM*. Cusco: DEXCEL.  
Consulta: 22 de abril del 2012.

<[http://www.pachamamaraymi.org/publicaciones/34\\_libro-huub.pdf](http://www.pachamamaraymi.org/publicaciones/34_libro-huub.pdf)>

HONDA, 2011. *Catálogo de Motobombas serie HJ*. Argentina.

HIDROSTAL, 2007. *Electrobomba centrífuga monoblock serie A*. Perú.

HIDROSTAL, 2007. *Electrobomba centrífuga monoblock series B y C*. Perú.

DIRECCIONAL GENERAL DE MINERÍA, 2001. *Potencial disponible de energía eólica*.  
Lima: MINEM. Escala 1: 6 000 000, 296.92 x 420.11 mm.

MOTT, R., 2006. *Mecánica de fluidos*. Sexta edición, México: Pearson Education.

JOBBER, 2010. *Carpeta de presentacion JOBBER*. Colombia.

HADZICH, M., 2002. *Manual de selección de bombas solares*. Lima: PUCP.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, 2002. *Energía solar incidente diaria*. Lima: SENAMHI. Escala 1: 6 250 000, 1022 x 1487.

LORENTZ, 2011. "Sistemas de bomba solares centrífugos PS". Consulta: 25 de marzo del 2012. <[http://www.lorenz.de/pdf/lorenz\\_ps\\_c\\_general\\_es.pdf](http://www.lorenz.de/pdf/lorenz_ps_c_general_es.pdf)>

LORENTZ, 2011. PS1800C centrifugal pumping systems. Alemania.

LORENTZ, 2011. PS4000C solar-operated submersible pump system. Alemania.

SUNTECH, 2012. *Superpoly STP295 – 24/Vd.* España.

ROCHFER, 2011. *Manual de bombas MSG.* Brasil.

HUAMANGUILLAS, Maxi. Entrevista realizada el 4 de noviembre de 2012 en el sector de Muskarumi. Entrevistador: Dany Auccacusi.

DIRECCION REGIONAL DE AGRICULTURA DE CUSCO, 2012. “Producción por agencias agrarias”. Cusco. Consulta: 13 de noviembre del 2012  
<<http://www.agroCUSCO.gob.pe>>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2011. Cusco: producción agrícola, según principales cultivos, 2001 - 2011 [base de datos]. Lima. 20 de noviembre del 2012 <<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0988/cusco.htm>>

Comerciantes. Entrevista realizada el 4 de noviembre de 2012 en el Mercado Ferial de Izcuchaca, provincia de Anta, departamento del Cusco. Entrevistador: Dany Auccacusi.

DIRECCIÓN REGIONAL DE AGRICULTURA DEL CUSCO, 2012. “Precio mayorista (Vinocanchon)”. Cusco. Consulta: 13 de noviembre del 2012.  
<<http://www.agroCUSCO.gob.pe/?q=PRECIOS>>

BANCO AGROPECUARIO, 2012. “Tarifario General”. Lima. Consulta: 10 de noviembre de 2012. <<http://www.agrobanco.com.pe>>