

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**“EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO Y
MEJORAMIENTO PARA RIEGO PRESURIZADO
DE LA COMUNIDAD TANAPACA - ILAVE”**

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. ALEX ALAN ARO ARO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERU

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA

TITULO: "EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO Y MEJORAMIENTO
PARA RIEGO PRESURIZADO DE LA COMUNIDAD TANAPACA - ILAVE"

TÉSIS

PRESENTADO A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA, COMO REQUISITO PARA OPTAR
EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE DEL JURADO : 
DR. JOSE JUSTINIANO VERA SANTAMARIA

PRIMER JURADO : 
DR. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

SEGUNDO JURADO : 
ING. JOSE ALBERTO LIMACHE RIVAS

DIRECTOR DE TESIS : 
ING. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

ASESOR : 
ING. MARCO ANTONIO RODRIGUEZ MENDOZA

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Gestión de sistema de riego

LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

A toda mi familia, en especial a mi esposa Celia y a mis hijas Heidy y Gimena gracias a ellos mi vida siempre ha encontrado sentido y he pedido tener la fuerza y voluntad que se necesita para enfrentarse el día a día.

AGRADICIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno y en particular a la Facultad de Ingeniería Agrícola a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Agrícola por sus valiosas enseñanzas y consejos.

A mi familia por su comprensión y apoyo.

Estos agradecimientos sinceros, gracias a todos aquellos que de alguna forma han contribuido en mi formación profesional y en la finalización del presente.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	5
1.3. JUSTIFICACION.....	6
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	8
2.1 CONCEPTOS GENERALES.....	8
2.1.1. SISTEMA DE BOMBEO.....	8
2.1.2. BOMBAS.....	8
2.1.3. ESTACIONES DE BOMBEO.....	9
2.1.4. BOMBAS SUMERGIBLES.....	10
2.1.5. PROBLEMAS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DEL SISTEMAS DE BOMBEO.....	11
2.1.6. COMPONENTES DE LA RED DE IMPULSION.....	12
2.1.6.1. Tubería.....	12
2.1.6.2. Válvulas y accesorios.....	12
2.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA.....	14
2.2.1. CAUDAL DE BOMBEO.....	14
2.2.2. DIÁMETRO ECONÓMICO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	15
2.2.3. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.....	17
2.2.4. ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA: TEOREMA DE BERNOULLI.....	18
2.2.5. TIPOS DE FLUJO EN TUBERIAS.....	20
2.2.5.1. Flujo Laminar.....	20
2.2.5.2. Flujo Turbulento.....	20
2.2.6. FRICCIÓN EN TUBERIAS.....	21
2.2.7. PERDIDAS DE CARGA.....	21
2.2.7.1. Pérdidas Primarias.....	21
2.2.7.2. Pérdidas Secundarias.....	24
2.2.8. CARGA DINÁMICA TOTAL (CDT).....	26
2.2.9. SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	26
2.2.9.1. Curva Característica de la Bomba.....	26
2.2.9.2. Curva del sistema.....	27
2.2.9.3. Potencia de la Bomba.....	27
2.2.9.4. Sobrepresión o golpe de ariete.....	28
2.2.9.5. Cavitación.....	29

2.3. FACTORES PARA LA EVALUACIÓN ECONOMICA.....	30
2.3.1. TÉCNICA DE MUESTREO COMO BASE PARA LA TOMA DE DECISIONES.....	30
2.3.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS EN ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	31
III. MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
3.1.1. UBICACIÓN.....	33
3.1.2. FISIOGRAFÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	34
3.1.2.1. Temperatura.....	34
3.1.2.2. Precipitación.....	34
3.1.2.3. Evaporación.....	34
3.1.2.4. Humedad.....	34
3.1.2.5. Viento.....	34
3.1.3. RECURSO AGUA Y SUELO.....	35
3.1.3.1. Recurso agua.....	35
3.1.3.2. Recurso suelo.....	35
3.1.4. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.....	35
3.1.4.1. Población.....	35
3.1.4.2. Población Económicamente Activa.....	35
3.1.5. SERVICIOS PÚBLICOS.....	36
3.1.5.1. Salud.....	36
3.1.5.2. Educación.....	36
3.1.5.3. Electrificación.....	36
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	37
3.2.1. MATERIALES Y EQUIPOS DE GABINETE.....	37
3.2.2. MATERIALES Y EQUIPO DE CAMPO.....	37
3.2.3. MATERIALES CARTOGRÁFICO Y AFINES.....	37
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACION.....	38
3.3.1. DESARROLLO DEL ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN	
TÉCNICO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	40
3.3.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO INSTALADA.....	40
3.3.1.2. INVENTARIO CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO INSTALADA	40
3.3.1.3. PUESTA EN PRUEBA E IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS.....	40
3.3.1.4. PROPUESTA DE EVALUACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO Y PUESTA EN	
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	41
3.3.1.5. FACTORES DETERMINANTES EN LA EVALUACIÓN.....	41
3.3.1.5.1. FACTORES TECNICOS.....	41
3.3.1.5.2. FACTORES ECONOMICOS.....	49
3.3.1.5.2.1. Costos de instalación.....	49
3.3.1.5.2.2. Propuesta tarifaria.....	49

3.3.1.5.2.3. Análisis tarifaria por familia.....	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. DATOS DISPONIBLES Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS.....	53
4.1.1 LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO.....	53
4.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO INSTALADO.....	53
4.1.2.1. Características del sistema de riego instalado.....	53
4.1.2.2. Características del sistema de bombeo.....	54
4.1.3. PRUEBA DE BOMBEO.....	54
4.1.4. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS E IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS.....	55
4.1.5. EVALUACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	56
4.1.5.1 FACTORES TECNICOS.....	56
4.1.5.2 FACTORES ECONOMICOS.....	65
4.1.5.2.1. COSTOS DE INSTALACION.....	65
4.1.5.2.2. PROPUESTA DE TARIFA.....	66
4.1.5.2.3. ANÁLISIS TARIFARIA POR FAMILIA.....	66
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1 CONCLUSIONES.....	74
5.2 RECOMENDACIONES.....	75
VI. BIBLIOGRAFIA.....	76
VII. ANEXOS.....	78
ANEXO 01 Propiedades de los fluidos, materiales y la presión atmosférica.	
ANEXO 02 Estudio realizado en la perforación de pozo de la localidad de Camicachi - llave.	
ANEXO 03 Selección y características de la bomba sumergible modelo S05SL de la empresa HIDROSTAL.	
ANEXO 04 Datos de la encuesta realizada.	
ANEXO 05 Panel fotográfico.	

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Pág.
<i>Figura 2.1</i> Altura de elevación de una bomba.....	9
<i>Figura 2.2</i> Estación de bombeo.....	10
<i>Figura 2.3</i> Bomba sumergible.....	11
<i>Figura 2.4.</i> Tubería.....	12
<i>Figura 2.5.</i> Válvula check.....	13
<i>Figura. 2.6</i> Válvula de compuerta.....	13
<i>Figura. 2.7</i> Válvula de Aire.....	13
<i>Figura. 2.8</i> Válvula de Alivio.....	14
<i>Figura. 2.9</i> Ecuación de continuidad.....	17
<i>Figura. 2.10</i> Ecuación de Bernoulli.....	18
<i>Figura. 2.11</i> Ecuación general de energía.....	19
<i>Figura. 2.12</i> Flujo laminar.....	20
<i>Figura. 2.13</i> Flujo turbulento.....	20
<i>Figura. 2.14</i> Punto de Operación de una bomba.....	27
<i>Figura. 3.1</i> Esquema Metodológico Básico para la Evaluación del Sistema de Bombeo.....	39
<i>Figura. 3.2</i> Curva característica de la bomba.....	46
<i>Figura. 4.1</i> Curva característica de la bomba HIDROSTAL Modelo SO5S.....	62

ÍNDICE DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro N° 3.1 Vías de acceso a la comunidad de Tanapaca.....	33
Cuadro N° 4.1 Características del sistema de distribución.....	53
Cuadro N° 4.2 Características hidráulicas:.....	54
Cuadro N° 4.3 Características del sistema de bombeo.....	54
Cuadro N° 4.4 Prueba de bombeo.....	55
Cuadro N° 4.5 Análisis del sistema de bombeo.....	61
Cuadro N° 4.6 Presupuesto de instalación.....	65
Cuadro N° 4.7 Determinación de media y varianza.....	67
Cuadro N° 4.8 Necesidad de riego.....	68
Cuadro N° 4.9 Disponibilidad de pago por servicio de riego.....	69
Cuadro N° 4.10 Nivel de Estudios.....	70
Cuadro N° 4.11 Necesidad de riego con respecto a disponibilidad de pago.....	70
Cuadro N° 4.12 Estimación de Media, Varianza y desviación Estándar.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

	Pág.
Grafico N° 4.1 Necesidad de Riego.....	69
Grafico N° 4.2 Disponibilidad de pago por servicio de riego.....	69
Grafico N° 4.3 Relación entre monto máximo a pagar y tenencia de tierra en área de riego..	71

RESUMEN

El presente trabajo comprende la evaluación del sistema de bombeo en el riego presurizado de la Comunidad de Tanapaca – llave, con lo cual pretendemos contribuir en la eficiencia, mejora y puesta en operatividad de la infraestructura de riego instalada.

En la actualidad la gran mayoría de las infraestructuras de riego instalados por bombeo se encuentran inoperativos por problemas técnicos y/o económicos, por lo que muchos de estos se van deteriorando día a día hasta quedar obsoletos o sin reparación. Frente a esta situación se plantea la necesidad de tener a través de la metodología planteada para la evaluación del sistema de bombeo y habiendo considerado todos los variables lo que dará una satisfacción técnica, así mismo contribuirá la bibliografía sobre la temática.

La metodología propuesta para la evaluación se ha considerado los siguientes pasos estratégicos: Identificación de la infraestructura de riego instalado, Inventario y caracterización de la infraestructura de riego instalada, puesta en prueba e identificación de deficiencias, propuesta de evaluación para el mejoramiento y puesta en operatividad del sistema de bombeo.

Con la evaluación técnica se tiene resultados encontradas en el sistema de bombeo instalada tales como: la altura dinámica total es de 69.71 m, el tipo de bomba sumergible que satisface la demanda de agua por los cultivos es el Modelo SO5SL-7-10hp de la empresa HIDROSTAL la cual bombeara el agua a 6 l/seg y la profundidad de instalación de la misma es de 45.5m, también se tiene el costo de instalación asciende a la suma de S/ 19,235.00 nuevos soles, y con la evaluación económica se determinó a través de las encuestas realizadas que mayoría de las familias están dispuestos a pagar para los costos de operación y mantenimiento.

Consideramos que el aporte del presente estudio está en el empleo de una metodología para la evaluación del sistema de bombeo que contribuirá con la eficiencia, mejora y puesta en operatividad de la infraestructura de riego, satisfaciendo con la demanda de agua requerida por los cultivos.

I. INTRODUCCIÓN

En la concepción y la operatividad de los sistemas de bombeo en el riego presurizado por aspersión de un proyecto es de vital importancia para satisfacer la demanda de agua requerida por los cultivos, porque este es determinante en el rendimiento, la cantidad y la calidad de la producción. La evaluación del sistema de bombeo influye los factores técnicos y económicos a la vez en la eficiencia y mejora del mismo, aumentando la rentabilidad de la producción y contribuyendo en la mejora de la calidad de vida del poblador rural.

La evaluación del sistema de bombeo es un proceso integral en la que concurren un número significativo de variables cuantitativas y cualitativas, que difieren total o parcialmente para cada situación específica y de las características particulares de la zona del proyecto instalado.

En los proyectos de riego por bombeo, generalmente se ha realizado manejando algunos criterios y la lógica según el lugar donde se le ha identificado, además de las deficiencias en estudios hidrogeológicos, esto especialmente en los proyectos de inversión pública, esta es una de las causas por la que encontramos proyectos de riego total o parcialmente abandonados.

Actualmente en la Comunidad de Tanapaca – llave, se tiene instalado una infraestructura de riego presurizado por bombeo, por problemas técnicos en

el sistema de bombeo y por falta de apoyo para dar una solución a la fecha no se encuentra operativa, perjudicando en la producción de los cultivos.

En este sentido, el presente trabajo de investigación constituye una evaluación del sistema de bombeo instalado para riego presurizado en la Comunidad de Tanapaca, con el fin de contribuir en la eficiencia y que coadyube en la puesta en operatividad de la infraestructura de riego presurizado.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El riego es uno de los factores más importantes en la producción agrícola y a la vez uno de los más difíciles de gestionar por constituir un bien de uso común entre una o más comunidades y entre agricultores individuales, constituyéndose en un desafío permanente para el desarrollo agrícola. Ello es así especialmente en la sierra, donde la agricultura está determinada por la estacionalidad del clima, la configuración topográfica, la escasez de variable agua, el bajo nivel organizativo de los usuarios, los limitados conocimientos técnicos, los patrones culturales e incluso las intromisiones de carácter político.

Durante las tres últimas décadas, en el Altiplano del Sur del Perú se han desarrollado proyectos de riego, específicamente en las Comunidades Campesinas del Norte y Sur del departamento de Puno, pero la mayoría de estos no prosperó más allá de lo esperado ya que se encuentran en mal estado, inoperativos, muchos de ellos abandonados, entre otros. La razón de esta problemática radica en los diferentes factores tales como: Disponibilidad de agua para riego, Deterioro de las obras hidráulicas existentes, Debilidad en la organización y uso de agua, problemas a nivel de riego parcelario, entre otros.

En la actualidad en la Comunidad de Tanapaca de la Provincia de El Collao - Ilave, existe una infraestructura de riego presurizado por bombeo, que consta de 01 caseta de bombeo, 01 caseta de válvulas para el reservorio, 01 reservorio de 70m³, pozo tubular profundo de 6" x 50 m, tubería de impulsión

L = 134.95 ml, tubería de distribución L=3,457 ml, 07 cajas de válvulas de control, 06 cajas de válvulas de purga, 65 hidrantes y 24 equipo móvil de riego presurizado (tubería de polietileno con respectivos accesorios); que es para beneficiar a 65 familias con riego presurizado la cantidad de 25.74 has de cultivo para la comunidad de Tanapaca.

La infraestructura de riego consta de un sistema de bombeo donde debe ser bombeado el agua desde el pozo profundo a través de una bomba sumergible instalada de 3 HP y con un caudal de bombeo mínimo de 4 l/seg hasta el reservorio de 70m³, en donde tiene que satisfacer la demanda de agua requerida por los cultivos en especial alfalfa, según el proyecto de riego instalada con una frecuencia de riego cada 12 días y con tiempo de aplicación de 9 horas por día, también se tiene instalado un módulo de riego con seis laterales cada uno con cuatro aspersores donde debe suministrar el agua al cultivo con un caudal total de 4 l/seg.

El proyecto de riego presurizado por bombeo, es elaborado por la Municipalidad Provincial de El Collao-llave a través de la oficina de estudios y proyectos, y es ejecutado con mucho anhelo por los beneficiarios de la comunidad de Tanapaca con el presupuesto participativo de la municipalidad de llave en el año 2009, en la actualidad se encuentra inoperativo por problemas técnicos en el sistema de bombeo, según pobladores de la Comunidad de Tanapaca indican, que solo dura 30 minutos el tiempo del bombeo desde el pozo al reservorio agotándose el agua en el pozo y tiempo de recarga o recuperación al nivel estático demora una hora aproximadamente donde tiene que bombearse nuevamente, la cual no satisface con la demanda de agua requerida por los cultivos, como consecuencia se tiene abandono de esta infraestructura de riego presurizado, sin que hasta la fecha se dé una solución para poner en operatividad, a causa de este problema los pobladores se encuentran afectadas en su desarrollo social y productivo con bajos ingresos económicos, hecho que da lugar a que la población económicamente activa migre a otras ciudades de los departamentos vecinos como: Tacna, Arequipa, Mina Rinconada, Puno, Juliaca en busca de mejores condiciones de vida

originando una tasa de migración mayor comparado a cada año anterior y produciendo el abandono de sus actividades productivas.

Frente a esta problemática el presente trabajo de investigación mediante la evaluación técnico económico del sistema de bombeo, pretende plantear una solución que permita rehabilitar y poner en operatividad el sistema de riego presurizado en la comunidad de Tanapaca, razones que me ha motivado a realizar el presente investigación esperando contribuir con una alternativa que permita dar solución a este problema del sistema de bombeo.

Por lo tanto el presente trabajo de investigación responde al siguiente problema central:

¿En qué medida la evaluación del sistema de bombeo instalada en la comunidad de Tanapaca – Ilave, permite la puesta en operatividad de la infraestructura de riego presurizado?

De este problema se desprenden los siguientes problemas específicos:

¿En qué medida la evaluación técnica a realizarse del sistema de bombeo instalada en la comunidad de Tanapaca – Ilave, permite justificar el diseño técnico realizado por el área de estudios y proyectos de la Municipalidad Provincial de El Collao – Ilave?

¿En qué proporción la evaluación económica permite determinar la disponibilidad de pago para los costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo?

1.6. ANTECEDENTES

En relación a los estudios vinculados a la evaluación del sistema de bombeo de agua, se tiene como referencia manual de eficiencia energética “Evaluación de sistemas del bombeo de agua”, que pertenece a Banco Interamericano de desarrollo - 2011, donde propone una secuencia metodológica ordenada de actividades necesarias para la Auditoria Energética las cuales son: Investigación previa, actividades de campo, procesamiento y análisis de la información, elaboración de una propuesta de medidas de ahorro dentro de esto destacan: Ahorro en tarifas de suministro, reducción de pérdidas en las instalaciones eléctricas, mejoras de la eficiencia en motores eléctricos, mejoras de la eficiencia en bombas, reducción de las perdidas mecánicas, reducción de las fugas de agua y perdidas de carga, mejoras en la operación, mejoras en el mantenimiento, sustitución del suministro de energía y cambio de tecnología, que sugiere considerar medidas para implementar a mediano y a largo plazo, finalmente se tiene la evaluación de las medidas como parte final de esta metodología.

Por otro lado se tiene el estudio realizado de la “optimización de sistemas de bombeo” por Moreno A. Neftaly – 2004, donde concluye que el empleo de una tubería de mayor diámetro implica un menor costo de operación pero a su vez un mayor costo inicial, además indica que la decisión de utilizar un mayor o menor diámetro de tubería, debe incluir los costos/ahorros asociados a los soportes requeridos por la tubería en cada caso. Para la utilización de tubería de mayor diámetro debe tomarse en cuenta que la velocidad del fluido en la tubería será menor y por ende –en el caso en que el producto contenga sólidos en exceso – la sedimentación es un factor a considerar. Por otro lado, la velocidad del fluido en tubería de menor diámetro es mayor y por ende la erosión y en consecuencia la pérdida de espesor de la tubería durante la vida del proyecto, debe ser otro factor a evaluar.

El proyecto Especial Plan MERISS Inka inicia sus acciones en 1978, en la parte alta de la cuenca del río Vilcanota, evaluando los sistemas de riego existentes y proyecto de construcciones nuevos donde concluyeron que el

funcionamiento y la operatividad de las infraestructuras de riego están a cargo de las organizaciones de regantes. En aquellos lugares donde la organización es sólida, el mantenimiento de los sistemas de captación, canales y sistemas de distribución es óptimo, mientras que en aquellos lugares donde la organización muestra debilidades, existen deficiencias de operación.

1.7. JUSTIFICACIÓN

El riego es una de las prácticas más importantes para el manejo de un cultivo, que permite abastecer las cantidades de agua necesarias para el crecimiento y desarrollo vegetativo. En general todas las aguas que se disponen para el riego tienen origen en las precipitaciones; sin embargo estas son muy variables y dependen de la latitud, altitud, vientos, entre otros, para ello se buscan otras fuentes de abastecimiento de la demanda de agua ya sean superficiales o subterráneos.

La evaluación del sistema de bombeo es de gran utilidad desde el punto de vista analítico, conceptual y práctico de cómo funcionan los diferentes componentes del sistemas de bombeo, permitiendo el uso eficiente y mejoramiento en la demanda de agua requerida por los cultivos, lográndose una mejor producción y por lo tanto se tiene una mejora en la calidad de vida del poblador rural.

La Comunidad Campesina de Tanapaca cuenta con suelos con aptitud para el riego, recursos hídricos de régimen permanente, estos condicionantes justifican la instalación de un sistema de riego presurizado por bombeo que permitirá mejorar la eficiencia de riego al 75% y que a la vez permitirá una aplicación localizada, frecuente y con intensidades que no permitan la erosión de las laderas.

1.8. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar las evaluaciones Técnico y Económico del sistema de bombeo instalada en la comunidad de Tanapaca – Ilave, con el fin de poner en operatividad la infraestructura de riego presurizado.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la evaluación técnica del sistema de bombeo mediante los parámetros determinantes para el diseño técnico e hidráulico, que permita justificar el diseño realizado por el área de estudios y proyectos de la Municipalidad Provincial de El Collao – Ilave.

Realizar la evaluación económica a través de la disponibilidad de pago, para los costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. SISTEMA DE BOMBEO

Blanco, E. et al (1994:1), Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

2.1.2. BOMBAS

Díaz, N. (2007:6), Una Bomba de manera sencilla es una máquina que nos sirve para elevar agua de un lugar a otro.

En la práctica necesitamos dos informaciones básicas para la selección de una bomba: El caudal y la altura total o la presión necesaria en un punto determinado.

Según el Manual de Curso de Bombas (2005:4), Una bomba es un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido.

Existen infinidad de formas de clasificación de bombas pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos:

- *Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo*: entre las que se encuentran por ejemplo las alternativas, rotativas y las neumáticas, pudiendo decir a modo de síntesis que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago.

• *Bombas dinámicas o de energía cinética*: fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes, las *centrífugas*.

Blanco, E. et al (1994:9), Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de alturas entre dos puntos. Fuerzan al fluido a circular en un determinado sentido.

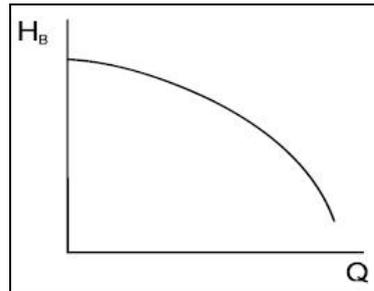


Figura 2.1 Altura de elevación de una bomba.

Las bombas más utilizadas en los sistemas de bombeo convencionales son las centrífugas y las axiales. Estas bombas pueden impulsar un caudal mayor a medida que disminuye la resistencia o diferencia de altura que deben vencer.

2.1.3. ESTACIONES DE BOMBEO

Según Organización Panamericana de Salud (2005:3), Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

Elementos de las estaciones de bombeo

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:

- Caseta de bombeo.
- Cisterna o pozo de bombeo.
- Equipo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.

- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- Área para el personal de operación.
- Cerco de protección para la caseta de bombeo.

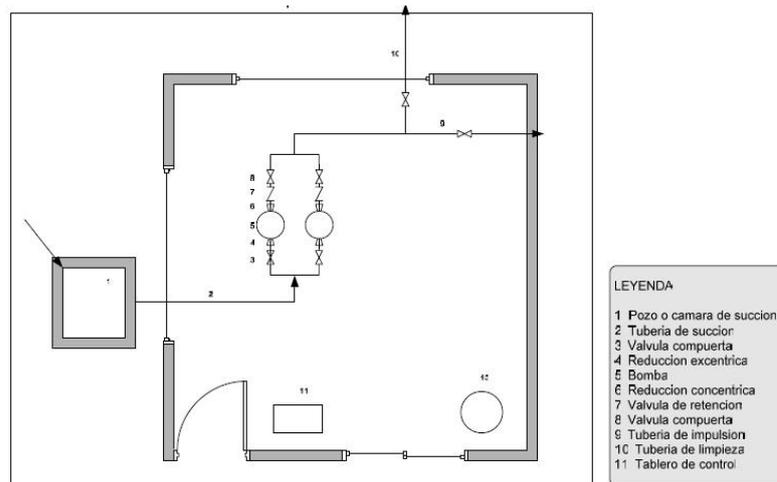


Figura 2.2 Estación de bombeo.

2.1.4. BOMBAS SUMERGIBLES

Rondón, G. et al (2007:1), Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

Las bombas sumergibles se encuentran en muchos usos, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles de la etapa múltiple se bajan típicamente abajo de una perforación y se utilizan para la abstracción del agua en pozos.



Figura 2.3 Bomba Sumergible.

Según Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua (2003:41), Las ventajas y desventajas de las bombas sumergibles son:

Ventajas

- Comúnmente disponibles.
- Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.
- Pueden utilizar el agua como lubricante.
- Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.
- Manejan flujos altos.
- Operan a cargas dinámicas grandes.

Desventajas

- Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.
- Se dañan si trabajan en seco.
- Deben extraerse para darles mantenimiento.
- Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.

2.1.5. PROBLEMAS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DEL SISTEMAS DE BOMBEO

Blanco, E. et al (1994:2,3), La especificación básica que debe satisfacer un sistema de bombeo es el transporte de un caudal de un determinado fluido de un lugar a otro. Además, suele ser necesario que el fluido llegue al lugar de destino con una cierta presión, y que el sistema permita un rango de variación tanto del caudal como de la presión.

El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y/o selección de las tuberías, bombas, entre otros, que permitan cumplir las especificaciones de la forma más económica posible.

De todas formas, aunque el dinero suele ser una parte muy importante al final de un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos como la seguridad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, impacto ambiental y otros factores humanos, que en muchos casos quedan fuera del ámbito del presente estudio.

En cuanto a la operación de un sistema de bombeo, hay que tener en cuenta los sistemas de regulación y control que permitan obtener el caudal y la presión deseados, así como los problemas de cavitación, inestabilidades y transitorios que se puedan producir.

2.1.6. COMPONENTES DE LA RED DE IMPULSIÓN

2.1.6.1. Tubería

A menos que se indique específicamente, la palabra tubería se refiere siempre a un conducto de sección circular y diámetro interior constante.

[Crane: 1990].

Las tuberías (Figura 2.4) representan uno de los componentes más importantes en un sistema de bombeo de agua, ya que éstas facilitan el traslado del agua sobre todo si existe un desnivel en el cual hay que llevar el agua de un nivel inferior a uno superior.



Figura 2.4. Tubería.

2.1.6.2. Válvulas y accesorios

Las válvulas y accesorios tienen como función principal controlar las presiones y caudales en la red de tuberías, cambiar la dirección del líquido, conectar las tuberías en diferentes configuraciones etc. Para poder así llevar el líquido (agua) a los diferentes puntos de abastecimiento, A continuación se

muestran algunos tipos de válvulas y conexiones que se utilizarán en el sistema de abastecimiento de agua:

Válvula de Check: Las válvulas de retención, también llamadas check y de no retorno, tienen el fin de evitar la descarga del agua en dirección a la bomba como se aprecia en la Figura 2.5, esto evita daños por la rotación inversa de la bomba, además de impedir el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha del sistema sea más rápida y segura.

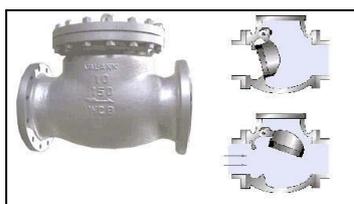


Figura 2.5. Válvula check.

Válvulas de Compuerta: En las válvulas de compuerta el cierre se produce con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento (ver Figura 2.6), Deben permanecer durante el período de operación, totalmente abierto o totalmente cerrado, no se recomiendan para la regulación de caudales en la red o equipo.

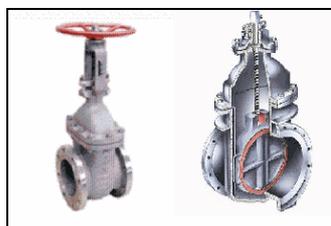


Figura. 2.6 Válvula de compuerta.

Válvulas de aire: Las válvulas de aire o ventosas, tienen la finalidad de extraer el aire que puede disminuir considerablemente el caudal cuando se producen bolsas de aire, también permiten la entrada de aire cuando se crean presiones de vacío, como ocurre con la parada repentina de una bomba o cuando se cierra una válvula; en la figura 2.7 se puede apreciar una ventosa.



Figura. 2.7 Válvula de Aire.

Válvulas de alivio: Las válvulas de alivio también llamadas de seguridad, tienen la función de abrir el sistema a la atmósfera cuando la presión supera ciertos límites preestablecidos, reduciendo de esta forma las sobrepresiones subsiguiente.

En la figura 2.8 se puede apreciar una válvula de alivio. Éstas son de gran utilidad ya que protegen las tuberías y equipos de la red de una operación anormal del sistema o una avería.



Figura. 2.8 Válvula de Alivio.

Conexiones: las conexiones son accesorios que permiten unir las tuberías entre sí también unir tuberías con válvulas, etc. y desviar el flujo de agua para donde se requiera; entre tantas conexiones se pueden nombrar los codos, tees, contracciones, expansiones, anillos etc.

Todos estos componentes se tienen que escoger según el resultado de los cálculos y la experiencia que se tenga en el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua ya que así se podría alcanzar la mayor eficiencia del sistema y reducir en lo posible las pérdidas que se generan en todos los componentes y tuberías que conforman dicho sistema.

2.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA

2.2.1. CAUDAL DE BOMBEO

Flores, M. (2009:38), Es aquel caudal requerido para abastecer al reservorio y que es producido por el pozo con un cierto descenso en el nivel de agua respecto del nivel estático cuando se realiza la extracción del acuífero.

A este nivel de descenso se le denomina nivel dinámico y se obtiene de las pruebas de bombeo que se realiza al pozo antes de la puesta en operación.

López, R. (2009:30), En el caso de estaciones de bombeo, el caudal de bombeo a considerar debe ser el correspondiente al consumo máximo diario, pero en virtud de que ahora interviene una nueva variable, que es el tiempo

de bombeo, es conveniente y justificado hacer un análisis considerando los gastos máximos y mínimos, como consecuencia de las demandas en los consumos actual y futuro, así como los incrementos durante el período de diseño.

Casi siempre resulta más ventajoso el seleccionar los equipos de bombeo para un gasto correspondiente a:

$$Q_b = \frac{Q_m \cdot 86400s}{N}$$

Dónde:

Q_b = Caudal de bombeo (m³/s).

Q_m = Caudal medio (m³/s).

N = Tiempo de bombeo (s).

Según Organización Panamericana de Salud (2007:10), Para seleccionar equipos de bombeo, se deben determinar el caudal o los diversos caudales con que trabajarán estos equipos durante su vida útil. En proyectos de saneamiento, los caudales correspondientes a la vida útil de los equipos son los caudales del proyecto. Para la mayoría de las bombas el periodo de diseño es 10 años.

En proyectos de agua potable, el caudal que se utiliza para la selección de bombas es una proporción del caudal máximo diario en función del número de horas de bombeo, así:

$$Q_b = Q_{max.d} \frac{24}{N}$$

Dónde:

Q_b = Caudal de bombeo (l/s).

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario (l/s).

N = Número de horas de bombeo.

2.2.2. DIÁMETRO ECONÓMICO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

López, W. (2007:25,26), Es preciso determinar el diámetro de tubería a utilizar ya que de éste dependerá en mucho la potencia de la bomba; si se adopta un diámetro relativamente grande, resultarán pérdidas de carga pequeñas y en consecuencia la potencia del sistema de bombeo será

reducida; por tanto las bombas serán de menor costo, pero el costo de la tubería de descarga será elevado y si el diámetro de la tubería es pequeño, la tubería será de menor costo pero la bomba será costosa y consumirá más energía.

Existe un diámetro conveniente para el cual el costo total de las instalaciones es mínimo, así como su operación, a éste se le designa “diámetro económico (De)” y es el diámetro que permite conducir el caudal requerido a un mínimo costo total entre tubería y operación de bombeo. El diámetro económico (De) puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$De = 1.8675\sqrt{Qb}$$

Donde:

De = Diámetro económico.

Qb = Caudal de bombeo.

De la expresión anterior se obtendrá una aproximación del diámetro requerido, el cual debe ser analizado con los diámetros comerciales; se puede analizar el diámetro superior y el diámetro inferior y se utilizará el que presente mejores condiciones de funcionamiento y economía.

López C. (1999:127,128), El diámetro de la tubería de aspiración e impulsión se calcula por la ecuación de BRESSE, el de mayor diámetro corresponde a la tubería de succión, con la intención de disminuir pérdida de carga. Se redondea al diámetro inmediato superior comercial.

Para instalaciones que sean operadas de manera continua, se tiene:

$$D = K\sqrt{Qb}$$

$$K \Rightarrow 0.7 \text{ a } 1.6$$

$$K = 1.3$$

$$D = 1.3\sqrt{Qb}$$

Para instalaciones no operadas de manera continua, se tiene:

$$D = 1.3X^{0.25}\sqrt{Qb}$$

Dónde:

D = Diámetro económico de la tuberías de impulsión y/o succión (m).

K = Coeficiente de K es usado de acuerdo a cada región, en nuestro medio se ha tomado un valor promedio de 1.3.

Q_b = Caudal de bombeo (m³/s).

X = Número de horas bombeo, de manera continua (Horas).

$$\rightarrow X = \frac{\text{No.horasdebombeopordia}}{24}$$

En este caso el valor obtenido corresponde al diámetro interior de la tubería comercial.

2.2.3. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.

La ecuación de continuidad es una consecuencia del PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA, el cual expresa que, para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de un conducto por unidad de tiempo es constante.

Rocha, A. (2002:132), Para los fluidos compresibles la ley de conservación de la materia exige que la cantidad de fluido que pasa por cada sección en la unidad de tiempo sea constante.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \rho_3 A_3 V_3 = \text{constante (Kg/seg)}$$

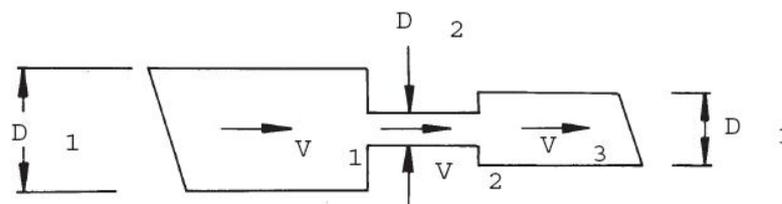


Figura. 2.9 Ecuación de continuidad.

Para fluidos incompresibles la densidad es constante $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ y la ecuación de continuidad es:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 = Q = \text{constante (m}^3\text{/seg)}$$

A la relación entre el gasto y el área de una sección se le denomina velocidad media:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Lo que nos da para tuberías circulares:

$$Q = AV = \frac{\pi D^2 V}{4}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/seg).

A = Área de la sección transversal del tubo (m²).

D = Diámetro interno del tubo (m).

P = Densidad del fluido (kg/m³).

V = Velocidad media de la corriente (m/seg).

2.2.4. ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA: TEOREMA DE BERNOULLI

Rocha, A. (2002:133), El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la energía al flujo de fluidos en tubería.

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante} = H$$

La suma de los tres términos es constante a lo largo de una línea de corriente en un movimiento permanente e irrotacional (para un flujo ideal).

Cada uno de los tres términos tiene las dimensiones de una energía por unidad de peso del fluido.

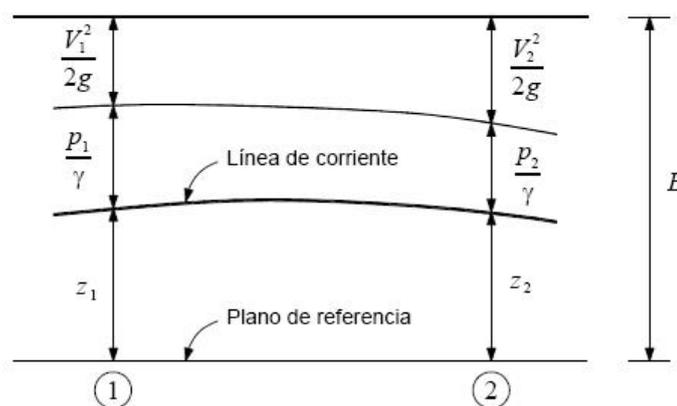


Figura. 2.10 Ecuación de Bernoulli.

Al primer término $\frac{V^2}{2g}$, se le conoce con el nombre de energía de velocidad o energía cinética y representa la altura desde la que debe caer libremente un cuerpo, que parte del reposo, para adquirir la velocidad (V).

Los otros dos términos son la altura de presión y la elevación. Su suma representa la energía potencial y constituye la cota piezométrica.

El teorema de Bernoulli significa que para una línea de corriente la suma de la energía cinética y la potencial es constante.

En un fluido ideal, (es decir sin viscosidad), la energía E en 1 es igual a la energía en 2.

Para un fluido real habría una pérdida de energía entre 1 y 2. En realidad no es energía perdida, sino transformada en calor debido a la fricción, es decir a que existen perdidas y/o incrementos de energía, estos se deben incluir en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos de fluido (ver figura N° 2) puede escribirse, considerando las pérdidas (hf) de la siguiente manera:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_{f_{1-2}}$$

O bien.

$$E_1 = E_2 + h_{f_{1-2}}$$

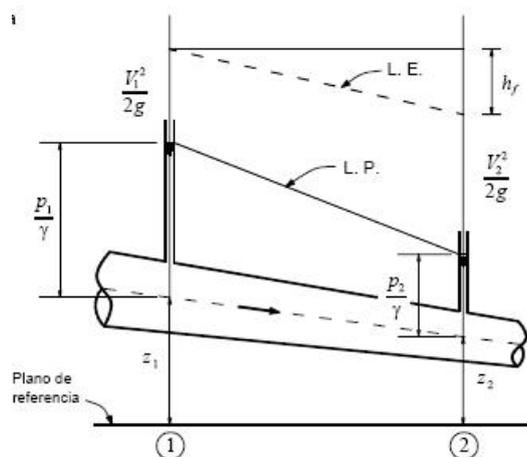


Figura. 2.11 Ecuación general de energía.

Donde:

- V = Velocidad de la corriente (m/seg).
- P = Es la presión (N/m²).
- Z = Es la elevación con respecto a un plano horizontal de referencia (m).
- γ = Es el peso específico del fluido (agua=1000kg/m³).
- g = Es la aceleración de la gravedad (9.81m/seg²).
- E = es la energía total.
- $h_{f_{1-2}}$ = es la pérdida de energía entre las secciones 1 y 2.

2.2.5. TIPOS DE FLUJO EN TUBERÍAS

Existen dos tipos de flujos dentro de una tubería:

2.2.5.1. Flujo Laminar

Es aquel en que sus partículas se deslizan unas sobre otras en forma de láminas formando un perfil de velocidades simétrico y en forma de parábola.

Sotelo, G. (1998:12), Régimen laminar se consigue con la baja velocidad del agua en la tubería y en tuberías de diámetro muy chico, no se da normalmente en riego.



Figura. 2.12 Flujo laminar.

2.2.5.2. Flujo Turbulento

Es aquel cuyas partículas se deslizan en forma desordenada.

Sotelo, G. (1998:13), Las partículas de agua no siguen trayectorias definidas, hay gran rozamiento de las moléculas de agua contra las paredes del tubo.



Figura. 2.13 Flujo turbulento.

En ambos casos la velocidad en el perfil de velocidades, varía de una máxima (en la zona central) a una mínima (en la zona de contacto con las paredes del tubo).

El investigador científico Osborne Reynolds, dedujo que el régimen de flujo en tuberías depende de los cuatro factores siguientes:

- Diámetro de la tubería ($D=m$).
- Densidad del fluido ($\rho= \text{grs/cm}^3$).
- Viscosidad (absoluta (μ) en centipoise o cinemática (ν) en m^2/seg).
- Velocidad del flujo ($V=\text{m}/\text{seg}$).

Combinando estos cuatro valores Reynolds obtuvo la ecuación siguiente:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{VD}{\nu}$$

Si:

- NR < 2000 → Flujo laminar.
 NR > 4000 → Flujo turbulento.
 2000 < NR < 4000 → Flujo indeterminado.

2.2.6. FRICCIÓN EN TUBERÍAS

Las pérdidas de energía que sufre un fluido, en su trayectoria dentro de una tubería debido a la fricción de este con las paredes de la misma, así como también, las pérdidas causadas por los cambios de dirección, contracciones y expansiones a todo lo largo de una red de distribución.

La pérdida de energía de un fluido dentro de una tubería, se expresa como pérdida de presión o pérdida de carga en el mismo.

2.2.7. PERDIDAS DE CARGA

Mataix, C. (1993:203), La pérdida de carga en una tubería o canal, es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos tipos: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

2.2.7.1. Pérdidas Primarias

Son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otras (régimen laminar) o las de partículas de fluido entre sí (régimen turbulento).

En este trabajo se hablará de las dos fórmulas más utilizados para calcular las pérdidas primarias. Dichas fórmulas se mencionan a continuación:

Primer Método: Como primer método se tiene la ecuación de Hazen & Williams, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$H_f = \frac{10.67 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

Donde:

H_f = Pérdidas por fricción (m).

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente C.

D = Diámetro (m).

L = Longitud (m).

Mott, R. (2006:198), La ecuación de Hazen-Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas de agua. Su uso está limitado al flujo de agua en conductos mayores de 2.0 pulg y menores de 6.0 pies de diámetro. La velocidad de flujo no debe exceder los 10.0 pies/seg. Se tiene también que fue desarrollada para agua a 60 °F, el tratamiento a temperaturas mucho menores o mayores podría dar como resultado algún error.

Segundo Método: Como segundo método de tiene la ecuación de Darcy Weisbach, que se puede utilizar para calcular las pérdidas por fricción.

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

En función del caudal:

$$H_f = 0.0826 * f * L * \frac{Q^2}{D^5}$$

Donde:

H_f = Pérdidas por fricción (m).

V = Velocidad promedio del fluido (m/s).

f = Factor de fricción (adimencional).

D = Diámetro del conducto (m).

L = Longitud de la corriente de flujo (m).

g = Gravedad (9.81 m/s²).

Q = Caudal (m³/s).

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería. Sin embargo, puede suceder que debido a

velocidades extremas la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a igualar la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales obtenidos por cálculo serán inexactos. **[Crane: 1990]**.

Para el cálculo de coeficiente del factor de fricción se puede utilizar el Diagrama de Moody (ver anexo N° 01), para flujo turbulento, deben conocerse los valores del número de Reynolds y la rugosidad relativa, es un medio y lo suficientemente preciso para determinar el factor de fricción (f) cuando se resuelve problemas mediante cálculos manuales **[Mott: 2006]**.

El coeficiente de fricción (f) es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ_r):

$$f = f(\text{Re}, \epsilon_r);$$

$$\epsilon_r = \frac{D}{\epsilon}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (mm).

ϵ = Rugosidad absoluta (mm).

ϵ_r = Coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa (adimensional).

Sin embargo en nuestro caso se utilizará ecuaciones para el cálculo de factor de fricción (f) en tuberías, que han sido estudiados por los diversos investigadores, uno de ellos es la ecuación de C. E. Colebrook que desarrolló la relación para el factor de fricción para flujo turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

Mott, R. (2006:202), La fórmula anterior es de tipo implícita por lo que debe iterarse. Alternativamente, P. K. Swamee y A. K. Jain, (1976), redujo la siguiente ecuación, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción, se puede utilizar la siguiente fórmula que es explícita (sin necesidad de iterar) y utiliza los mismos parámetros.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

Donde:

- f** = Factor de fricción (adimensional).
- D/ ϵ** = Rugosidad relativa (adimensional).
- Re** = Numero de Reynolds (adimensional).

Esta ecuación produce valores para (f) que se encuentran entre $\pm 1.0\%$ del valor de los correspondientes a la ecuación de Colebrook, y trabaja en la zona de turbulencia completa de diagrama de Moody.

2.2.7.2. Pérdidas Secundarias

Cuando el fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del fluido y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo de tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional llamada pérdida secundaria [Arocha: 1978]. Las pérdidas secundarias en válvulas y accesorios que conforman un sistema de tuberías se pueden calcular por dos métodos que se explican a continuación:

Primer método:

Utilizando la siguiente ecuación y un coeficiente K adimensional de pérdidas secundarias, que depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad de la tubería y de hasta la configuración antes del accesorio [Mataix: 1993].

$$Hrs = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

En función del caudal:

$$Hrs = K * Q^2 * \frac{0.0826}{D^4}$$

Donde:

Hrs = Pérdidas de carga secundarias (m).

K = Coeficiente de pérdida de conexiones (adimensional).

V = Velocidad del fluido dentro del accesorio (m/s).

Q = Caudal (m³/s).

D = Diámetro del accesorios (m).

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor.

Segundo método:

Consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir, longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión [Mataix: 1993]. Estas se calculan por las mismas fórmulas de las pérdidas primarias a la cual sólo se le agrega el término de longitud equivalente como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$H_f = \frac{10.67 \cdot (L + L_e) \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}}$$

Donde:

Le = Longitud equivalente de tubería.

La longitud equivalente (Le) se puede determinar ya sea por diagramas establecidos o por la ecuación siguiente.

$$L_e = \frac{d_i \Sigma K_i}{f_i}$$

Donde la ΣK representa la sumatoria de los coeficientes de pérdida de cada uno de los accesorios que estén instalados en toda la tubería.

Si la conducción es larga como en el caso de esta línea de impulsión las pérdidas secundarias tienen poca importancia, pudiendo a veces despreciarse o se tienen en cuenta al final, sumando un 5 o 10 por ciento de las pérdidas principales halladas. Si la conducción es corta y complicada (tramos cortos de tubería y muchos accesorios) las pérdidas secundarias pueden jugar un papel preponderante y las pérdidas primarias pueden incluso llegar a ser despreciables.

2.2.8. CARGA DINÁMICA TOTAL (CDT)

López, W. (2007:26), La carga dinámica total, también llamada altura dinámica total, es la carga que debe suministrar la bomba para mover el caudal requerido, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CDT = H_i + H_f + h_m$$

Donde:

CDT = Carga dinámica total (m).

H_i = Altura de descarga (m).

H_f = Pérdida de carga debido a la fricción en la línea (m).

h_m = Pérdidas menores (m).

2.2.9. SELECCIÓN DE LA BOMBA

2.2.9.1. Curva Característica de la Bomba

Según manual de Hidrostat. (2011:1,2), Antes de hablar sobre las curvas de bombeo, repasemos algunos datos técnicos sobre las bombas. Las bombas se utilizan para movilizar el agua (u otros fluidos, pero aquí estamos limitando nuestra discusión a las bombas centrífugas de agua) y para aumentar la presión disponible. Mientras que eso parece lo suficientemente sencillo, hay algunos puntos importantes que hay que mencionar.

El tamaño de las bombas es determinado por el volumen de impulso, el número de caballos de fuerza del motor y el número de etapas. La mayoría de las bombas domésticas funcionan a 3,450 rpm—revoluciones por minuto— a 60 Hertz (Hz), y cada revolución de la bomba contiene un volumen medido de agua. Algunas bombas funcionan a 3,500 rpm o 1,700 rpm. El número de rpm representa el punto más eficiente de rendimiento del motor. El flujo transmitido por la bomba por minuto es el número de revoluciones en un minuto multiplicado por el volumen del impulsor. Naturalmente, los impulsores de mayor volumen requieren motores de bomba de mayor tamaño; pero las revoluciones seguirán siendo iguales, y la presión será fija para un impulsor de una sola etapa.

Cuando una bomba tiene varias etapas—es decir, varios impulsores ligados en un solo eje—el flujo de la bomba no aumenta, ya que cada impulsor tiene el mismo volumen; pero el motor le proporciona energía (presión) adicional al agua, de tal manera que la eleva más alto (o la empuja más lejos). La suma

de la elevación del agua al punto de almacenamiento (o a la presión en un tanque de presión), con cualquier pérdida de energía que ocurre en la tubería, se conoce como presión dinámica.

Los fabricantes diseñan una bomba que es capaz de aguantar una variedad de flujos con el aumento de presión—lo cual requiere motores cada vez más potentes. Una curva de bombeo es la representación gráfica de una característica específica del rendimiento de una bomba. Interpretar estas gráficas puede ser útil, tanto para especificar las bombas para una aplicación, como para determinar si una bomba que ya ha sido instalada está rindiendo al nivel de su capacidad. Para las aplicaciones de bombeo de agua, las varias curvas que se ilustran son muy similares, simplemente ofreciendo información adicional.

2.2.9.2. Curva del sistema

Si la bomba opera a una determinada velocidad, el caudal que puede suministrar en determinadas condiciones o punto de operación, puede determinarse superponiendo la curva del sistema sobre el gráfico de la curva característica de la bomba.

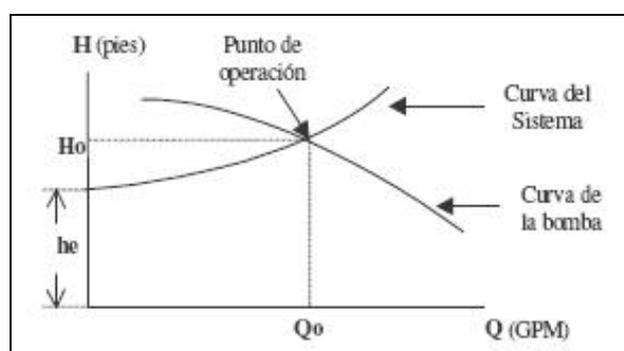


Figura 2.14. Punto de operación de una bomba

La intersección de estas dos curvas será el punto de operación de la bomba, tal como se muestra en la figura 2.14.

2.2.9.3. Potencia de la Bomba.

López, R. (2009:44), La potencia de la bomba es la energía que requiere ésta para vencer todas las pérdidas presentes en un sistema y poder abastecer con suficiente presión y caudal dicho sistema, se determina por la siguiente ecuación:

$$Pb = \frac{H(m) * Q \left(\frac{m^3}{seg} \right) * \gamma \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{76 * Eb}$$

Donde:

Pb = Potencia de bomba y del motor (HP).

H = Altura dinámica total (m).

Q = Caudal de bombeo en (m³/seg).

γ = peso específico del líquido (kg/m³).

Eb = Eficiencia de bomba (%).

2.2.9.4. Sobrepresión o golpe de ariete.

López, W. (2007:28), Cuando se producen fluctuaciones rápidas por el encendido o apagado del equipo de bombeo o por cierre o apertura repentina de una válvula, se produce una sobrepresión que es provocada por la energía cinética, en donde se da un trabajo de compresión en el agua y un trabajo de expansión de la tubería. Cuando se iguala la energía cinética con la suma de los trabajos realizados, se encuentra el valor de la sobrepresión máxima, debida al golpe de ariete ante cierre brusco, el golpe de ariete máximo se obtiene mediante la fórmula de N. Jaukovsky, así:

Velocidad de propagación de la onda:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\rho * \left(\frac{1}{Ea} + \frac{D}{e * Et} \right)}}$$

Donde:

α = Velocidad de propagación de onda (m/s).

ρ = Densidad del agua (kg/m³).

Ea = Módulo de elasticidad del agua (kg/m²).

D = Diámetro Interno (m.).

Et = Módulo de elasticidad del material de la tubería (kg/m²).

e = Espesor de la tubería (m).

El tiempo de propagación de la onda igual al tiempo de cierre instantáneo se calcula como sigue:

$$T_c = \frac{2 * L}{a}$$

$$\Delta H_a = \frac{V * a}{g}$$

Donde:

T_c = Tiempo de cierre instantáneo (s).

L = Longitud de la Tubería (m).

A = Velocidad de propagación de onda (m/s).

V = Velocidad (m/s).

g = Gravedad (m/s²).

ΔH_a = Sobrepresión (m).

2.2.9.5. Cavitación

López C. (1999:123), El fenómeno de cavitación se presenta cuando la presión en la succión está cercana a la presión de vapor del fluido. En este caso se crean burbujas de aire que al entrar en zonas de mayor presión se rompen de manera abrupta. Este continuo rompimiento de las burbujas es causa de daños en el eje del rotor por lo que se debe evitar este fenómeno.

Existe un parámetro de control de la cavitación llamado Altura Neta Positiva de succión Requerida (CNPSr) y Disponible (CNPSd).

Carga neta de succión positiva requerida (CNPSr):

Es función del diseño de la bomba y por lo tanto suministrado por el fabricante. Representa la mínima diferencia requerida entre la presión de succión y la presión de vapor a una capacidad dada, sin que se corran riesgos de cavitación.

Carga neta de succión positiva disponible (CNPSd):

Es función del diseño de bombeo y representa la diferencia entre la altura absoluta y la presión de vapor del líquido. Esta se representa por:

$$CNPS_{disp} = H_{atm} - (H_{vap} + H_s + \Delta H_s)$$

Donde:

$CNPS_{disp}$ = Carga neta de succión positiva (m).

H_{atm} = Presión atmosférica (m).

H_{vap} = Presión de vapor (m).

H_s = Altura estática de succión (m).

ΔH_S = Perdida de carga por fricción de tuberías y accesorios.

Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$CNPS_d > CNPS_r$$

Otra de las causas de cavitación en bombas son las excesivas revoluciones del rotor. En este caso se debe verificar que la velocidad específica de operación no sobrepase la máxima dada por el fabricante.

En caso de bombeo mediante bombas sumergibles no existe cavitación debido a que no se crean la diferencia de presión, por estar sumergido la bomba y el motor en su totalidad, en la cual no se crean entradas de aire.

2.3. FACTORES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

2.3.1. TÉCNICA DE MUESTREO COMO BASE PARA LA TOMA DE DECISIONES

Las encuestas por muestreo se están utilizando cada vez más con mayor frecuencia, ante la ausencia de información o la baja calidad de lo disponible. La información que esta proporciona es bastante confiable y ofrece flexibilidad para obtener información de cualquier característica de la población.

Según Charles A. Lininger, Donald P. Warwick. (1986:13), Nos dicen que para bien o para mal la encuesta por muestreo ha pasado a constituir un elemento familiar del panorama social. Desde América Urbana hasta Australia rural los equipos de entrevistadores se dirigen a fábricas, escuelas y hogares, para recoger información sobre una amplia gama de temas.

Duque R. y Collazos H. (1990:5), La unidad de muestreo puede ser; personas tomadas aisladamente, los miembros de una familia, las personas que viven en una cuadra, en una manzana, etc. Sin embargo, es mucho más conveniente tomar como unidad a todas las personas que habitan una vivienda, por ser éste el elemento al cual, en primera instancia, se presta el servicio, esto no excluye la posibilidad de manejar otro tipo de unidad. Todo depende de los recursos y facilidades disponibles.

2.3.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS EN ESTADÍSTICA INFERENCIAL

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (1994), define:

Parámetro: Es una medida resumen de la variable, característica o atributo medido sobre la población objetivo.

Estadístico o estimador: Es una formulación algebraica del parámetro aplicable a la muestra.

Estimación: Es el resultado de aplicar el estadístico o estimador a toda la información que provee la muestra seleccionada

Población: Colección de todas las posibles observaciones de interés (personas, animales, viviendas, instituciones, empresas u otros objetos animados o inanimados con identidad física).

Varianza: Es una medida de variabilidad debido a que si muchas de las diferencias son grandes (o pequeñas) entonces el valor de la varianza será grande (o pequeño), el valor de la varianza puede sufrir un cambio muy desproporcionado, aún más que la media, por la existencia de algunos valores extremos en el conjunto.

Media: Es el promedio aritmético de todos los valores de la Muestra.

Encuesta: Es un método para recoger información sobre una población humana. En el que el contacto directo se hace con una unidad de estudio (individuos, organizaciones, comunidades, etc.) a través de medios tan sistemáticos como cuestionarios y programas de entrevista.

Análisis: Es la distinción o separación de las partes de un problema presentado por el usuario, hasta llegar a conocer sus principios o elementos.

Muestreo: Es el acto, proceso o técnica que permite seleccionar una muestra, o una parte representativa de la población. No se interesa en las unidades que están siendo estudiadas en sí mismas sino en su combinación o agregación.

Marco Muestral: Lista de los elementos o grupo de elementos desde la cual la muestra es seleccionada, ejemplo: Guía telefónica, listado de Hospitales, lista de empresas o locales productivos, listado de viviendas, etc.

Muestra: Una muestra es un subconjunto de unidades del marco muestral que serán encuestadas (objeto de "mediciones") sobre las características de interés para el estudio de la población objetivo y con base a los resultados de

tales encuestas se establecerán inferencias (pronósticos o predicciones, estimaciones etc. Sobre características o propiedades de interés de la población.

Unidad de muestreo: Una unidad de muestreo es un elemento o elementos que se encuentran disponibles para su selección en alguna etapa del proceso de muestreo. En el tipo de muestreo más sencillo, el muestreo de una sola etapa, las unidades y los elementos de muestreo son los mismos.

Muestreo Probabilístico: Muestreo en la que se conoce la probabilidad de elección de cada unidad de las que forman la población.

Error de Muestreo: Es la parte de la diferencia entre un valor poblacional y una estimación del mismo, derivada de una muestra aleatoria, que debido al hecho que solamente una muestra de valor es observada, a diferencia de los errores debidos a una selección imperfecta, sesgo es la respuesta o estimación, error de observación o registro.

Muestreo Aleatorio Estratificado

Martínez B. (2002:34), El muestreo Aleatorio Estratificado, denominado muestreo aleatorio restringido, es un método que permite una selección más eficiente que el obtenido mediante el muestreo aleatorio simple, en especial cuando la característica que se investiga es de gran variabilidad, lo cual, implica un tamaño muestral relativamente grande en comparación al obtenido mediante el muestreo aleatorio estratificado.

En una muestra aleatoria estratificada la población a investigar se divide en grupos relativamente homogéneos con relación a la característica en estudio. Estos grupos se denominan estratos, donde la unidad o el elemento investigado presentan una característica tal, que sólo le permite pertenecer a un estrato.

El INEI (1994), define:

Comunidad campesina, Es una organización de interés público, con existencia legal y personería jurídica, integrada por familiares que habitan y controlan determinados territorios, ligados por vínculos ancestrales, sociales, económicos y culturales, expresados en la propiedad comunal de la tierra, el trabajo comunal, la ayuda mutua, el gobierno democrático y el desarrollo de las actividades multisectoriales, cuyos fines se orientan a la realización plena de sus miembros y del país.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN

El área de estudio para el presente trabajo de investigación se ubica en la siguiente posición:

Políticamente.

Región : Puno.
 Provincia : El Collao.
 Distrito : Ilave.
 Comunidad : Tanapaca.

Geográficamente.

Latitud Sur : 16° 07' 56"
 Longitud Este : 69° 40' 26"
 Altitud : 3855.00 m.s.n.m. (área del proyecto)

Vías de comunicación y acceso.

Para llegar a la zona del proyecto, se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 3.1 vías de acceso a la comunidad de Tanapaca.

De	A	Distanc.	Tiempo	Tipo de Vía	Frec.	Transp.
Puno	Ilave	54 Km.	60 min.	Carretera Asfaltada	Diario	Motorizado
Ilave	Tanapaca	5 Km.	12 min.	Carretera Asfal./Afirm.	Interdiario	Motorizado

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. FISIOGRAFÍA Y CLIMATOLOGÍA

Fisiográficamente el área de estudio se presenta en una zona alta con una plataforma ligeramente inclinada de donde se divisa gran parte de la zona agrícola.

Presenta el aspecto típico de los andes de la sierra peruana, con una topografía empinada y variada y buen drenaje.

3.1.2.1. Temperatura

Dentro del área de estudio la temperatura varía entre 4.6°C. (Junio-Julio) a 9.5°C. (Enero) siendo el promedio mensual de 7.6°C. La temperatura media máxima varía de 13.5°C. (Junio) a 16.1°C. (Noviembre) con una máxima absoluta de 21.2°C. La temperatura media mínima varía de -10°C. (Mayo) a 5.6°C. (Enero) con una mínima absoluta de -13.8°C.

3.1.2.2. Precipitación

Dentro del área de estudio se tiene según los registros la precipitación anual promedio es de 642 mm. Considerándose como precipitación normal de la zona. Los meses más secos son junio y julio.

3.1.2.3. Evaporación

La evaporación en la zona de estudio fluctúa entre 163.5 en enero y 122.12 en el mes de junio, estos datos son tomados en la isla de Taquile. Como se aprecia la evaporación es alta en el lago Titicaca.

3.1.2.4. Humedad

Dentro del área de estudio La humedad relativa mensual varía entre 47.6 % en Julio a 71.8 % en Enero con un promedio anual de 55.9%. Los promedios de los valores extremos varían de 31% en julio a 95% en marzo. La mayor humedad relativa se presenta en abril, coincidente con las lluvias. La zona es seca, existe poca saturación, lo que favorece una evaporación alta.

3.1.2.5. Viento

Los vientos en la zona de estudio se aprecian en la escala de Beaufort, son suaves, las velocidades van de 2.1 a 3.1 m/seg. Se presentan máximas de hasta 6.6 m/seg., que se clasifican como brisa ligera. Los vientos locales o brisas del lago soplan en ambos sentidos durante el día. En la época de lluvias se presentan vientos que soplan del este y en los meses de estiaje del sur y del oeste. Es muy importante clasificar el viento cuando se construyen estructuras esbeltas.

3.1.3. RECURSO AGUA Y SUELO

3.1.3.1. Recurso agua

Nivel freático: Al este de la comunidad de Tanapaca, el nivel freático del agua subterránea se encuentra a profundidades mayores a 30 metros en época de estiaje; a medida que se distancia del lago en dirección a llave va descendiendo con respecto al nivel del suelo; en época de lluvia sube rápidamente debido a la presencia de suelos granulares y la recarga de los acuíferos.

Aguas superficiales: Al norte de la comunidad de Tanapaca se encuentra el río llave es uno de los principales afluentes del lago Titicaca, se forma por la unión de los ríos Huenque y Aguas Calientes a 17kilómetros al Oeste de llave a 3,835 msnm, después de recorrer 45kilómetros en dirección oeste – este, desemboca en el lago Titicaca en la comunidad de Santa Rosa de Huayllata. La cuenca tiene una superficie total de 7,622kilómetros cuadrados, se extiende desde el nivel del lago hasta los 5,400 msnmm.

3.1.3.2. Recurso suelo

Calidad de los Suelos: La erosión de los suelos en la zona de estudio predomina la erosión laminar en diferentes magnitudes leves se encuentra afectados en los terrenos, donde se tiene instalado el sistema de riego.

3.1.4. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.

3.1.4.1. Población

La población actual de la Comunidad Campesina de Tanapaca, es de 65 familias directos asentadas, en sector parte alta y más cercanos a las obras de infraestructura, teniendo una población total de 220 habitantes.

3.1.4.2. Población Económicamente Activa

La población económicamente activa en la Localidad, se considera a partir de los seis años, en la que los niños realizan actividades de menor esfuerzo como el cuidado de ganado ovino y mandatos de la familia, posteriormente se integra a las labores agrícolas más especializadas a partir de los doce años en el caso de los varones y diez años en el caso de la mujeres.

La población anciana sigue realizando sus actividades productivas que demandan menor esfuerzo hasta que sus propias limitaciones se lo impidan.

La población adulta dedica el 90% de su esfuerzo a laboral a las actividades agropecuarias de sus predios, de acuerdo a los calendarios agrícolas y pecuarios, antes descritos. Solamente el 10% del esfuerzo es destinado a labores extra-prediales, generalmente desempeñando la labor de peones u obreros de construcción civil o también en la elaboración de adobes.

3.1.5. SERVICIOS PÚBLICOS

3.1.5.1. Salud

En la Comunidad de Tanapaca no cuenta con alguna infraestructura que preste servicios de Salud, los campesinos tienen que trasladarse a la capital del Distrito de Ilave ubicado a 20 Km. por trocha carrozable y camino de herradura.

3.1.5.2. Educación

Dentro de la localidad cuenta con centros de educación: Pronoei, mas no con nivel primario y secundario.

Esta formación de nivel primario y secundario lo realizan en la población de Chijichaya o Ilave; desplazándose a diario.

3.1.5.3. Electrificación

La Comunidad Campesina de Tanapaca, si cuenta a la fecha con servicios de energía eléctrica domiciliaria.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. MATERIALES Y EQUIPOS DE GABINETE

- Equipo de cómputo.
- Equipo de impresión Impresora y Plotter.
- Escáner.
- Materiales y equipo de dibujo.
- Útiles de escritorio.
- Software
 - ✓ Microsoft office.
 - ✓ Auto Cad.
 - ✓ SIG.
 - ✓ Auto Cad Civil 3D.
 - ✓ S10.
- Otros.

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPO DE CAMPO

- Equipo topográfico.
 - ✓ GPS.
- Cámara fotográfica.
- Cronometro.
- Flexómetro.
- Libreta d campo.
- Calculadora.
- Herramientas manuales.
 - ✓ Picos.
 - ✓ Pala.
- Recipientes plásticos (muestreos).
- Otros.

3.2.3. MATERIALES CARTOGRÁFICO Y AFINES

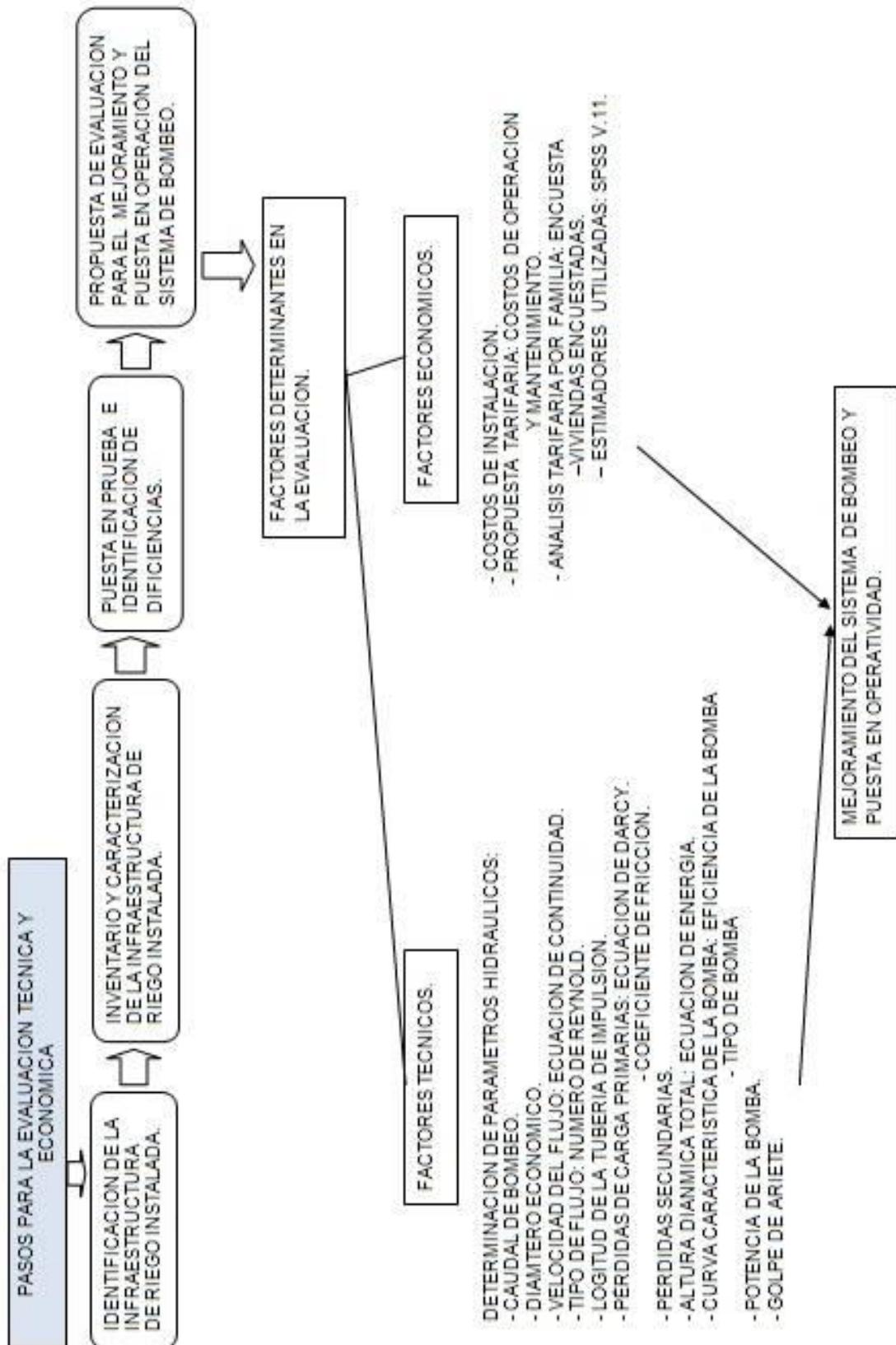
- Cartas Nacionales (1:25,000).
- Bibliografía especializada.
- Otros.

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se utiliza en la presente investigación es el método análisis- síntesis que consiste en la separación de los componentes de un todo para estudiarlas en forma individual (análisis), y la reunión de los elementos para estudiarlos en su totalidad (síntesis).

Para el desarrollo de la evaluación técnica y económica del sistema de bombeo instalada en la comunidad de Tanapaca – Ilave. Se plantea la siguiente Metodología.

FIGURA: 3.1 ESQUEMA METODOLOGICO BASICO PARA LA EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO



3.3.1. DESARROLLO DEL ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE BOMBEO

3.3.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO INSTALADO

- Localización de la infraestructura de riego presurizado, ubicación política, geográfica y vías de comunicación.
- Identificar la iniciativa de los pobladores en el mejoramiento y puesta en operación de la infraestructura de riego.

3.3.1.2. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO INSTALADO

- En función de la infraestructura de riego instalada y en las condiciones que se encuentra.
- Contar con la información adecuada para la evaluación técnica y económica, en la zona de estudio, coordinación con las autoridades para levantar información necesaria del campo.
- Inventario y caracterización de la infraestructura de riego instalada:
 - Sistema de riego: tubería de distribución, válvulas de control, válvulas de purga, hidrantes, módulo de riego, terreno de riego, tipo de cultivo, frecuencia de riego, tipo de aspersor, diámetro de alcance de chorro, tiempo de aplicación, caudal por aspersor, caudal total requerido.
 - Sistema de bombeo: capacidad del reservorio, Tubería de impulsión, Accesorios (codo de 90°, codo de 45°, tees, unión universal, válvula de chek, válvula de compuerta), Bomba sumergible, Profundidad total del pozo, Diámetro entubado del pozo, Profundidad de instalación de la bomba, Profundidad al nivel estático.

3.3.1.3. PUESTA EN PRUEBA E IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS

La puesta en prueba en el sistema de bombeo, consiste en determinar el caudal del bombeo con las características instaladas de la línea de impulsión y el tipo de bomba, comprende las siguientes mediciones:

- Tiempo de descarga en el reservorio.
- Volumen descargado en el reservorio.

- Tiempo de recuperación o recarga al nivel estático en el pozo.
- Número de pruebas.
- Consumo de energía eléctrica kw/hr.

Una vez realizada la prueba se procede a la identificación de las deficiencias:

- Altura dinámica total.
- Profundidad al nivel estático.
- Profundidad al nivel dinámico.
- Profundidad de instalación de la bomba.
- Tipo de bomba instalada.

De las deficiencias encontradas se realiza el análisis de los parámetros hidráulicos para la evaluación técnica.

3.3.1.4. PROPUESTA DE EVALUACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.

Para el mejoramiento y puesta en operación se debe:

- Identificación de la demanda de agua (caudal requerido), para el tipo de cultivo instalado de acuerdo al número de aspersores existentes en el proyecto.
- Identificación de las características instaladas del sistema de bombeo: tipo de bomba, tubería de impulsión, válvulas y accesorios.
- Determinar el diámetro de la tubería, caudal de bombeo, tipo de bomba sumergible, profundidad de instalación de la bomba, altura dinámica total de acuerdo a las características instaladas.
- Determinar el costo de instalación, operación y mantenimiento de acuerdo a la disponibilidad de pago.

3.3.1.5. FACTORES DETERMINANTES EN LA EVALUACIÓN

3.3.1.5.1. FACTORES TÉCNICOS

Para la evaluación técnica se realiza el siguiente procedimiento para la obtención de parámetros hidráulicos en el sistema de bombeo:

a). Caudal de Diseño

Para el cálculo del caudal de bombeo, teniendo en consideración que no es práctico bombear continuamente las 24 horas del día, se consideró un tiempo de bombeo de 10 horas diarias, por lo tanto aumentará el caudal de bombeo. El caudal medio se obtiene a través de pruebas realizadas en la etapa de perforación del pozo durante 24 horas, que está contemplada en el expediente técnico del proyecto de riego instalado. Se determinó por la siguiente ecuación:

$$Qb = \frac{Qm \cdot 86400s}{N} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

- Qb = Caudal de bombeo (l/s).
- Qm = Caudal medio (l/s).
- N = Tiempo de bombeo (s).

b). Selección del diámetro económico

Para la selección del diámetro de la tubería de impulsión se determinó por la ecuación de **BREESSE**, en la que se obtuvo una aproximación del diámetro requerido, el cual se analizó con los diámetros comerciales en el mercado.

Para instalaciones no operadas de manera continua, se tiene:

$$X = \frac{No. horas de bombeo por día}{24}$$

$$D = 1.3X^{0.25} \sqrt{Qb} \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

- D = Diámetro económico de la tuberías de impulsión (m).
- Qb = Caudal de bombeo (m3/s).
- X = Numero de horas bombeo, de manera continua (Horas).

En este caso el valor obtenido corresponde al diámetro interior de la tubería comercial.

c). Velocidad del Flujo

Para la verificación de la velocidad de flujo en la tubería de impulsión se determinó por la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q_b}{A} = \frac{4 \cdot Q_b}{\pi \cdot D^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

Donde:

- D = Diámetro de la tuberías de impulsión (m).
- Q_b = Caudal de bombeo (m³/s).
- V = Velocidad del flujo (m/s).

d). Tipo de flujo

Para la determinación del tipo de flujo o régimen de flujo que circula en la tubería de impulsión se analizó por la ecuación de Número de Reynolds que depende de los tres factores siguientes:

- Diámetro de la tubería (D = m).
- Viscosidad cinemática (ν = m²/seg).
- Velocidad del flujo (V = m/seg).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots \dots \dots (3.4)$$

El valor de la viscosidad cinemática se observa en el Anexo N° 01.

Si:

- Re < 2000 → Flujo laminar.
- Re > 4000 → Flujo turbulento.
- 2000 < Re < 4000 → Flujo indeterminado.

e). Longitud de la tubería de impulsión.

La longitud total de la tubería de impulsión se determinó en base al análisis de la profundidad de instalación de la bomba sumergible en el pozo, según el estudio realizado en el pozo perforado en la localidad de Camicachi (Anexo N° 02), a 4 kilómetros de la ciudad de Ilave, donde recomienda la instalación de la bomba sumergible desde 20 hasta 35 metros de profundidad.

También según el texto "Selección comercial y práctica de equipos de bombeo" elaborado por: Díaz N., Tabare - 2007, recomienda la profundidad

de instalación de la bomba 10 pies mínimos bajo ND y 10 pies distancia mínimo al fondo (Anexo N° 02).

$$L_{tub} = L_{Instalada} + L_{tendido}$$

f). Pérdidas de carga por fricción en la tubería de impulsión

Para la determinación de las pérdidas de carga por fricción en la tubería de impulsión o pérdidas primarias se utilizó la ecuación de Darcy que es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier tipo de líquido en una tubería.

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.5)$$

Donde:

- Hf = Pérdidas por fricción (m).
- V = Velocidad promedio del fluido (m/s).
- f = Factor de fricción (adimensional).
- D = Diámetro del conducto (m).
- L = Longitud de la corriente de flujo (m).
- g = Fuerza de gravedad (m/s²).

Para el cálculo del factor de fricción (f), se utilizó la ecuación de C. E. Colebrook debido a que es más preciso para determinar el factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\epsilon}\right)} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \dots\dots\dots(3.6)$$

Para ello se calculó la Rugosidad Relativa (D/ε).

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{D}{\epsilon}$$

Donde:

- D = Diámetro de la tubería (mm).
- ε = Rugosidad absoluta (mm), Ver Anexo N° 01.

Sin embargo la ecuación de C. E. Colebrook es de tipo implícita por lo que debe iterarse. Alternativamente, P. K. Swamee y A. K. Jain, (1976), redujo la siguiente ecuación, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción, se puede utilizar la siguiente fórmula que es explícita (sin necesidad de iterar) y utiliza los mismos parámetros.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{5.74\left(\frac{D}{\epsilon}\right)^{0.9}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

g). Pérdidas de carga localizadas

Para la determinación de las pérdidas de carga por accesorios, localizada o secundaria se utilizó la siguiente ecuación:

$$H_s = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(3.8)$$

Donde:

- Hs: Pérdidas de carga secundarias (m).
- K: Coeficiente de pérdida de conexiones (adimensional).
- V: Velocidad del fluido dentro del accesorio (m/s).
- g: Fuerza de gravedad (m2/s).

El coeficiente (K) está dado en las tablas o cuadros existentes en bibliografías a causa pruebas realizadas para diferentes tipos de accesorios existentes como se puede apreciar en (Anexo N°01).

h). Pérdidas de carga total

Las pérdidas de carga total se obtuvo sumando las pérdidas de carga primaria (hf) y las pérdidas de carga secundarias (hs).

$$H_t = H_f + H_s$$

i). Carga dinámica total

Para analizar y determinar la carga dinámica total se utilizó la ecuación de la energía.

$$E_1 + h_A - h_T - h_R = E_2$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_T - h_R = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_A = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - Z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} + h_T + h_R \dots\dots\dots(3.9)$$

Donde:

- h_A=Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico como puede ser una bomba.

h_T =Perdidas de energía por parte del sistema, debidas a la fricción en los conductos, o perdidas menores debidas a la presencia de válvulas o conectores.

h_R =Es la energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico, como podría ser un motor de fluido.

j). Curva del Sistema

Se determinó por la ecuación de conservación de energía para el sistema bomba tubería.

$$H = (Z_2 - Z_1) + h_f * h_m$$

$$H = (Z_2 - Z_1) + \left(\sum f_i \frac{L_i}{d_i} + \sum k_i \right) * \frac{Q^2}{2gA^2} \dots \dots \dots (3.10)$$

k). Curva característica de la bomba

Para determinar el tipo de bomba, se busca las curvas características de una bomba que trabaje en un rango de altura (ADT) y caudal (Qb) lo más parecido posible y así obtener la eficiencia de la bomba seleccionada como se aprecia en la figura 3.2.

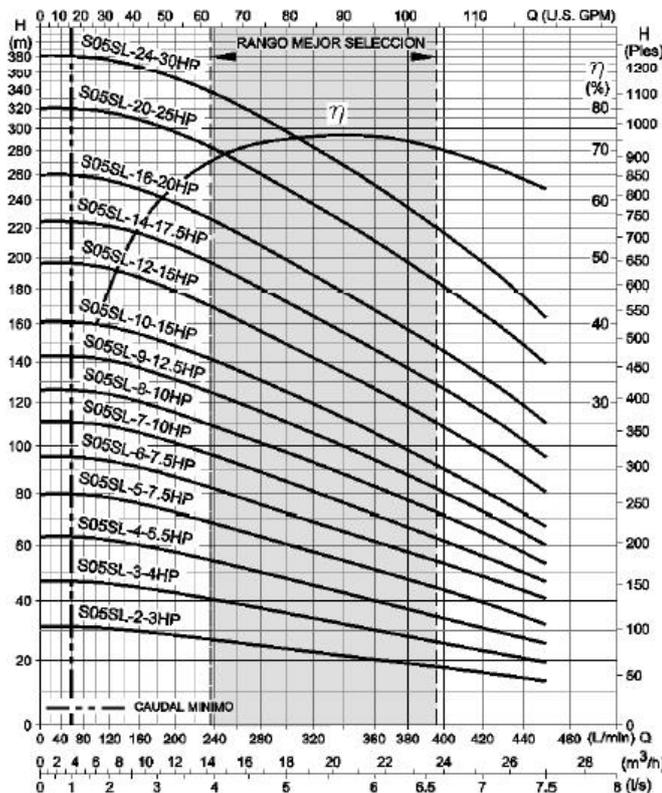


Figura. 3.2 curva característica de la bomba

I). Potencia de la bomba

Determinación de la potencia añadida al fluido

Se determinó la potencia añadida al fluido por la siguiente fórmula:

$$P_A = \gamma * h_A * Q \dots \dots \dots (3.11)$$

Donde:

- P_A =Potencia añadida al fluido (Watt).
- γ =Peso específico del fluido que fluye por la bomba(N/m³).
- Q =Rapidez de flujo de volumen del fluido (m³/s).
- h_A = Altura dinámica total (m).

Determinación de la potencia puesta a la bomba

Se determinó la potencia puesta a la bomba por la siguiente fórmula:

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia puesta a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I}$$

Se tiene la siguiente fórmula para la determinación de la eficiencia de la bomba:

$$e_M = \frac{BHD}{HPa} = \frac{\text{Potencia en el eje}}{\text{Potencia Hidraulica}}$$

$$e_M = \frac{M * \omega}{\gamma * Q * H} = \frac{2 * \pi * n * M}{\gamma * Q * H * 60}$$

Donde:

- n = revoluciones por minuto del motor (rpm).
- M = momento (m-N).

$$P_I = \frac{P_A}{e_M} \dots \dots \dots (3.12)$$

Donde:

- e_M = Eficiencia mecánica de la bomba $e_M < 1$
- P_I = Potencia puesta a la bomba (Watt). $1hP = 747.5 \text{ watt}$

Para el caso del equipo sumergible existen motores monofásicos hasta 15 HP. Mientras que para el caso de sumergibles trifásicos las potencias varían de ½ HP hasta 250 HP.

Los niveles de voltaje pueden ser monofásicos 110 voltios ó 220 voltios y en su efecto trifásicos 230 voltios, 460 voltios ó 575 voltios.

m) Sobrepresión o Golpe de Ariete

La sobrepresión se determinó mediante la fórmula de N. Jaukovsky:

Velocidad de propagación de la onda:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\rho * (\frac{1}{Ea} + \frac{D}{e * Et})}} \dots\dots\dots(3.13)$$

Donde:

- α = Velocidad de propagación de onda (m/s).
- ρ = Densidad del agua (kg/m3.).
- Ea = Módulo de elasticidad del agua (kg/m2).
- D = Diámetro Interno (m.).
- Et = Módulo de elasticidad del material de la tubería (kg/m2).
- e = Espesor de la tubería (m).

El tiempo de propagación de la onda igual al tiempo de cierre instantáneo se calcula como sigue:

$$Tc = \frac{2 * L}{\alpha}$$

$$\Delta Ha = \frac{V * \alpha}{g} \dots\dots\dots(3.14)$$

Donde:

- Tc = Tiempo de cierre instantáneo (s).
- L = Longitud de la Tubería (m).
- α = Velocidad de propagación de onda (m/s).
- V = Velocidad (m/s).
- g = Gravedad (m/s2).
- ΔHa = Sobrepresión (m).

3.3.1.5.2. FACTORES ECONÓMICOS

3.3.1.5.2.1. Costos de instalación

Los costos de instalación se determinaron a partir de la evaluación técnica de acuerdo a las deficiencias encontradas.

Para la puesta en operatividad del sistema de bombeo, se necesita de la adquisición y la instalación de nuevos materiales según la evaluación técnica.

3.3.1.5.2.2. Propuesta tarifaria

Para la propuesta tarifaria de cada familia se planteó a través de costos de operación y mantenimiento.

Costo de energía eléctrica.- El costo del consumo energía eléctrica se determinó de acuerdo al tipo de bomba seleccionada y el procedimiento para calcular el gasto mensual es mediante la siguiente expresión:

$$G.E. = (C_{KW/HR})(0.7475 \text{ KW/HR/HP})(Pot)(H_B)(30)$$

Donde:

G.E. = Gastos por el consumo de energía eléctrica (S/.).

Pot = Potencia de la bomba en (HP).

$C_{KW/HR}$ = Costo de kilovatios por hora (S/.).

H_B = Horas diarias de operación de la bomba.

Costo de mantenimiento.- Para determinar el costo de obtención de mantenimiento debemos considerar el período de vida útil del sistema ya que se ha estimado que, mensualmente, se requerirá un monto equivalente al 0.75% del costo total de la bomba.

3.3.1.5.2.3. Análisis tarifaria por familia

El análisis tarifaria se realizó a través de encuestas, de la disponibilidad de pago por servicio de riego presurizado para costos de operación y mantenimiento.

Se desarrolló de la siguiente manera:

a). Población.

Identificamos como población todas las familias que se encuentran en la comunidad de Tanapaca conformantes por cada vivienda, la misma que a la fecha de inicio del estudio no cuentan con el servicio de riego por aspersión.

Se considera que una familia tiene servicio de riego por aspersión cuando tiene instalación los hidrante de acuerdo al área de riego en su terreno.

b). Muestra.

La determinación del tamaño de muestra implicó la realización de un pre-muestreo para hallar los valores de la media y la varianza.

Para efectos estadísticos de esta investigación se determinó el tamaño de muestra con los datos que se tiene en el (Anexo 04) y la encuesta preliminar aplicada a la población objetivo.

La estimación del tamaño de muestra se hizo en función a la tenencia de terreno de cada familia, para lo cual se tuvo que proceder a tomar un tamaño de muestra que proporcione estimadores eficientes al menor costo posible, y se tomó un error máximo de $e = 0.050$ y a un nivel de confianza del 95%.

El Tamaño de muestra total de familias a encuestar se determinó por la siguiente fórmula de Martínez Bencardino:

$$n_o = \frac{\sum W_h S_h^2}{(E/Z)^2} \dots \dots \dots (3.15)$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \dots \dots \dots (3.16)$$

Donde:

- no: Tamaño de muestra.
- n: Tamaño de muestra ajustado.
- Z: Es el valor asociado al nivel de confianza. ($Z=1.96$).
- S_h^2 : Varianza.
- Wh: Es la proporción de elemento en cada estrato. $Wh = Nh / N$

- E: Es el margen de error permisible, el que se utilizó es de $e=0.050$, siendo el máximo error que se permite para este tipo de estudios.
- N: Total de número de familias.

c). Método de Muestreo Y Recopilación de Datos Usados

Para el presente estudio de estimación de la disponibilidad de pago por servicio de riego por aspersión, se formuló la encuesta como se observa en el (Anexo N° 04), los datos se recopilaron por muestreo con encuestas directas a las familias de cada vivienda que serán seleccionadas de la población por la técnica de muestreo aleatorio estratificado la encuesta tendrá un seguimiento de 02 (dos) días.

Donde se diseñó una muestra probabilística. Que consiste en un solo estrato en forma homogénea. El método de selección para esta etapa es aleatorio. De los (02) dos días de encuesta en algunas unidades de muestreo faltaron datos de un día el que tuvo que completarse al día siguiente subsanando la falta de datos. Previa coordinación con las autoridades de la zona el primer día se dio con el comienzo de la encuesta por cada familia por vivienda, donde se le hizo preguntas al jefe de hogar acerca del grado de instrucción, estado civil, edad, miembros conformantes de la familia ingreso y egreso mensual aproximado, hectáreas de terreno total, hectáreas de terreno en el área de riego y disponibilidad de pago por servicio de riego.

La principal dificultad encontrada fue convencer al jefe de hogar, pero cuando se le explicó que no era una simple encuesta, sino que se quería saber si está dispuesto en pagar por el servicio de riego para los costos de operación y mantenimiento del sistema de bombo para poder servirle con eficiencia, estuvieron prestos a colaborar e incluso daban sugerencias de cómo debería ser el servicio, lo que se anotó pero no se tabuló porque no era de interés.

d). Método de Estimación Utilizado

Para la estimación de las medias de la disponibilidad de pago por servicio de riego por aspersión, así como sus respectivas varianzas de acuerdo a la

muestra seleccionada del número total de familias de la comunidad de Tanapaca, se utilizó el software estadístico SPSSV.11., que está en función de las fórmulas siguientes:

Media Muestral

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots(3.17)$$

Estimación de la varianza.

$$S_h^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1} \dots\dots\dots(3.18)$$

La desviación típica muestral.

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}} \dots\dots\dots(3.19)$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS DISPONIBLES Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS.

La información con que se cuenta para la realización de este trabajo es la siguiente:

4.1.1. LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO.

El proyecto de riego instalado es localizado en el capítulo anterior, lo cual cuenta con sistema de bombeo, reservorio de almacenamiento, líneas de distribución y sistema de aspersores.

Al sistema de bombeo instalado se identifica de acuerdo a las características instaladas.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO INSTALADO

Se ha identificado de acuerdo a las condiciones instaladas in-situ de la infraestructura de riego en coordinación con las autoridades de la zona y con personal obrero que ejecutó esta obra.

4.1.2.1. Características del sistema de riego instalado

Cuadro N° 4.1 Características del sistema de distribución

TIPO	CANTIDAD	UNIDAD
Tubería de distribución:	3457.0	m
Válvulas de control:	7.0	und
Válvulas de purga:	6.0	und
Hidrantes:	65.0	und
Módulo de riego:	1.0	und
-Laterales/Modulo:	6.0	und
-Aspersores/Lateral:	4.0	und

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.2 Características hidráulicas:

TIPO	CARACTERÍSTICAS	
Terreno de riego:	25.74	hectáreas
Tipo de cultivo:	alfalfa	
Frecuencia de riego:	12.00	días
Tipo de aspersor:	NAAN 427	
Diámetro de alcance de chorro:	22.00	m
Tiempo de aplicación:	9.00	horas
Caudal por aspersor:	0.60	m3/h
Caudal total requerido:	14.40	m3/h

Fuente: “Expediente Técnico Construcción del sistema de riego por aspersión Tanapaca”.

4.1.2.2. Características del sistema de bombeo

Cuadro N°4.3 Características del sistema de bombeo

TIPO	CANTIDAD	UNIDAD
Reservorio:	70.00	m3
Tubería de impulsión:	134.95	m
Accesorios:		
Codo de 90° F°G°=3":	2.00	und
Unión simple de F°G° D=3"	1.00	und
Tee de F°G° D=3" (alivio de presión):	2.00	und
Unión universal de F°G° D=3":	1.00	und
Válvula de Chek D=3":	1.00	und
Tee de F°G° D=3" (sistema de purga):	1.00	und
Válvula de compuerta D=3":	1.00	und
Codo de 45° F°G°=3":	5.00	und
Bomba sumergible de 3hp:	1.00	und
Profundidad total del pozo:	50.00	m
Diámetro entubado del pozo:	6.00	pulg
Profundidad de instalación de la bomba:	22.00	m
Profundidad al nivel estático:	19.00	m

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. PRUEBA DE BOMBEO

Se ha realizado la prueba de bombeo desde el pozo al reservorio para determinar el caudal de descarga al reservorio, volumen de agua bombeado, tiempo de bombeo al reservorio, tiempo de recarga o recuperación al nivel estático y consumo de energía eléctrica kw/hr.

Para ello se realizó 6 pruebas de acuerdo con la sugerencia de los pobladores de la misma zona, se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 4.4 Prueba de bombeo.

PRUEBA	TIEMPO DE ESPERA (Horas)	TIEMPO DE BOMBEO		VOLUMEN BOMBEADO AL RESERVORIO		CAUDAL DE BOMBEO (L/Seg)
		Horas	Segundos	m3	Litros	
1	0	00:36:24	2184	5.85	5852.00	2.68
2	01:20:00	00:33:56	2036	5.47	5470.00	2.69
3	01:15:00	00:32:33	1953	5.22	5220.00	2.67
4	01:10:00	00:31:45	1905	5.09	5090.00	2.67
5	01:00:00	00:31:28	1888	5.03	5030.00	2.66
6	00:55:00	00:31:31	1891	5.06	5060.00	2.68
PROMEDIO	01:08:00	00:32:56	1976	5.29	5287.00	2.68

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS E IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS

Los datos son analizados de acuerdo a las pruebas realizadas y con las características de instalación del sistema de bombeo.

Del cuadro N° 4.4, se deduce que el tiempo de recarga o recuperación del pozo al nivel estático es de 01:08:00 horas, también el tiempo de bombeo es de 00:32:56 horas hasta que se apaga la bomba (sin sumergido), el volumen promedio bombeado al reservorio de acuerdo al tiempo de bombeo promedio es de 5.29m³ y por otro lado se tiene el caudal promedio de bombeo es de 2.68 l/seg.

La deficiencia principal se encuentra en la profundidad instalada de la bomba sumergible de acuerdo a los datos en el Cuadro N° 4.3, se tiene altura al Nivel Estático 19 metro, y la profundidad instalada de la bomba 22 metros, indicándonos de que la sumergencia total de bomba es solamente de 3 metros.

Cuando se realiza la prueba de bombeo, esto se queda colgado y se apaga, dificultando con la demanda de agua requerida para el riego, para ello se realiza la evaluación técnica.

4.1.5. EVALUACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.

De acuerdo a la demanda de agua (caudal requerido), del Cuadro N° 4.2, se tiene 14.4m³/hr del total de aspersores en operación.

También del Cuadro N° 4.3, se tiene las características instaladas del sistema de bombeo, con ello se determina los parámetros hidráulicos tales como: el diámetro de la tubería, caudal de bombeo, tipo de bomba sumergible, profundidad de instalación de la bomba, altura dinámica total de acuerdo a las características instaladas.

Se determina los costos de operación y mantenimiento de acuerdo a la característica de la bomba obtenida por el fabricante y la disponibilidad de pago por parte del usuario.

4.1.5.1. FACTORES TÉCNICOS

Dentro de factores técnicos se tiene la determinación de los parámetros dentro de la evaluación técnica:

a) Determinación del caudal de bombeo.

El caudal de bombeo se ha determinado en consideración, que no es práctico bombear continuamente las 24 horas del día, se consideró un tiempo de bombeo máximo de 10 horas diarias, en base a caudal medio (Anexo N° 05), por la Ecuación N° 3.1:

$$Q_m = 2.5 \text{ l/s}$$

$$N = 10 \text{ hr} = 36000 \text{ seg.}$$

$$Q_b = \frac{2.5 \text{ l/s} * 86400s}{36000s}$$

$$Q_b = 6 \text{ l/s}$$

Se puede observar que bombeando en forma continua durante 10 horas el caudal de bombeo es 6 l/s.

b) Determinación del diámetro económico de la Línea de Impulsión.

El diámetro de La tubería de impulsión se obtuvo por la ecuación de BRESSE, que está en función del caudal de bombeo y en función del número de horas de bombeo, de la ecuación N° 3.2:

$$Q_b = 0.006 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$X = \frac{10}{24} = 0.4167.$$

$$D = 1.3 * 0.4167^{0.25} \sqrt{0.006}$$

$$D = 0.0809\text{m} \approx 3.18'' \approx 3''$$

Se adopta el diámetro comercial más próximo esto es $D = 3''$, que corresponde al diámetro interior de la tubería comercial para línea de impulsión.

c) Determinación de la velocidad del flujo

La verificación de la velocidad en la tubería de descarga se determinó por la ecuación de continuidad que está en función del caudal de bombeo y la sección de la tubería de impulsión, por la ecuación N° 3.3:

$$D = 0.0762 \text{ m}.$$

$$Q_b = 0.006 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$V = \frac{4 * 0.006 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0.0762\text{m})^2}$$

$$V = 1.3157\text{m}/\text{s}$$

La velocidad de flujo que circula a través de la tubería de impulsión es de 1.3 m/s, este dato es necesario para determinación del tipo de flujo que circula en la tubería de impulsión.

d) Determinación del tipo de flujo

El tipo de flujo se determinó por la ecuación de Número de Reynolds, que está en función de directa de la velocidad de flujo y diámetro de la tubería y en función inversa de la viscosidad cinemática, ecuación N° 3.4:

$$D = 0.0762 \text{ m.}$$

$$v = 0.000001562 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$V = 1.3157 \text{ m/seg.}$$

$$Re = \frac{1.3157 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.0762 \text{m}}{0.000001562 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 64,184.5967$$

De acuerdo a los límites del tipo de flujo ($NR > 4000$), corresponde al Flujo Turbulento que circula en el interior de la tubería de impulsión.

e) Determinación de la longitud de tubería de impulsión.

La longitud total de la tubería de impulsión, se determinó de la sumatoria de profundidad de instalación de la bomba sumergible (45.5m) más longitud desde la salida del pozo hasta el reservorio (112.95).

$$L_t = 45.5\text{m} + 112.95\text{m}$$

$$L_t = 158.45 \text{ m.}$$

f) Determinación de pérdidas de carga por fricción en la tubería de impulsión.

Se obtuvo las pérdidas de carga por fricción en la tubería de impulsión por la ecuación de Darcy para flujo turbulento, que está en función directa de coeficiente del factor de fricción (f) para ello se determinó por la ecuación de P. K. Swamee y A. K. Jain, derivado de la ecuación de C. E. Colebrook, que está en función de la rugosidad absoluta de acuerdo al tipo de material de la tubería de impulsión, ecuación N° 3.7:

$$D = 0.0762\text{m} = 76.2\text{mm.}$$

$$= 0.15 \text{ mm.}$$

$$Re = 64184.5967.$$

$$V = 1.3157 \text{ m/s.}$$

$$L = 158.45 \text{ m.}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{76.2\text{mm}}{0.15\text{mm}} \right)} + \frac{5.74}{64184.5967^{0.9}} \right)\right)^2}$$

$$f = 0.02608991$$

$$H_f = 0.02608991 * \frac{158.45\text{m}}{0.0762\text{m}} * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2}$$

$$H_f = 4.7865 \text{ m}$$

Se tiene 4.7865 m de pérdida de carga debido a la fricción en la tubería de impulsión.

g) Determinación de pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de carga localizada se determinó por la ecuación N° 3.8, de acuerdo al tipo de accesorio conformante en la línea de impulsión, que está en función del coeficiente de pérdidas por conexiones (k) según (Anexo N° 01) y velocidad del flujo.

De acuerdo al cuadro N° se tiene los siguientes accesorios:

-Para 02 codo de 90° F°G° K=0.85

$$H_l = 0.85 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0749\text{m}$$

$$H_l = 2 * 0.0749 = 0.1499\text{m}$$

-Para 05 codos de 45° F°G° K=0.30

$$H_l = 0.30 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0265\text{m}$$

$$H_l = 5 * 0.0265 = 0.1323\text{m}$$

-Para 01 Unión Simple de F°G° K=0.045

$$H_l = 0.045 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0039\text{m}$$

$$H_l = 0.0039\text{m}$$

-Para 03 Tee de F°G° K=0.36

$$H_l = 0.36 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0318\text{m}$$

$$H_l = 3 * 0.0318 = 0.0953\text{m}$$

-Para 01 Unión Universal de F°G° K=0.045

$$H_l = 0.045 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0039\text{m}$$

$$H_l = 0.0039\text{m}$$

-Para 01 Válvula de compuerta Abierta de F°G° K=0.32

$$H_l = 0.32 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0282\text{m}$$

$$H_l = 0.0282\text{m}$$

-Para 01 Válvula de retención horizontal chek de F°G° K=0.18

$$H_l = 0.18 * \frac{(1.3157\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0159\text{m}$$

$$H_l = 0.0159\text{ m}$$

$$H_{lt} = 0.0159 + 0.0282 + 0.0039 + 0.0953 + 0.0039 + 0.1499 + 0.1323$$

$$H_{lt} = 0.4294\text{ m}$$

Se tiene perdida de carga total en los accesorios 0.4294 m, en la línea de impulsión.

h) Determinación de pérdidas de carga total en sistema de impulsión

Se obtiene de la suma de pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios.

$$H_t = 4.7865 \text{ m} + 0.4294 \text{ m}$$

$$H_t = 5.2159 \text{ m}$$

i) Determinación de la Carga Dinámica Total

Se determinó por la ecuación de energía (ecuación N° 3.9), que está en función de energía de presión, energía cinética y energía potencial.

$$0 + 0 + 0 + h_A - 5.2159 \text{ m} - 0 = 64.4910 \text{ m} + 0 + 0$$

$$h_A = 64.4910 \text{ m} + 5.2159 \text{ m}$$

$$h_A = 69.7069 \text{ m}$$

j) Curva del sistema

Se utiliza la (ecuación 3.10), para determinar la curva del sistema indicándonos que el caudal crece con la raíz cuadrada de H, esta fórmula depende de las características físicas de la tubería (longitud, accesorios, diámetro, rugosidad absoluta).

$$H = (Z_2 - Z_1) + \left(\sum f_i \frac{l_i}{d_i} + \sum k_i \right) * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$H = (64.49\text{m} - 0\text{m}) + \left(0.0260899 \frac{158.45\text{m}}{0.0762\text{m}} + 4.87 \right) * \frac{16 * Q^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2 (3.1416 * (0.0762\text{m})^2)^2}$$

$$H = 64.49\text{m} + 144891.537 * Q^2$$

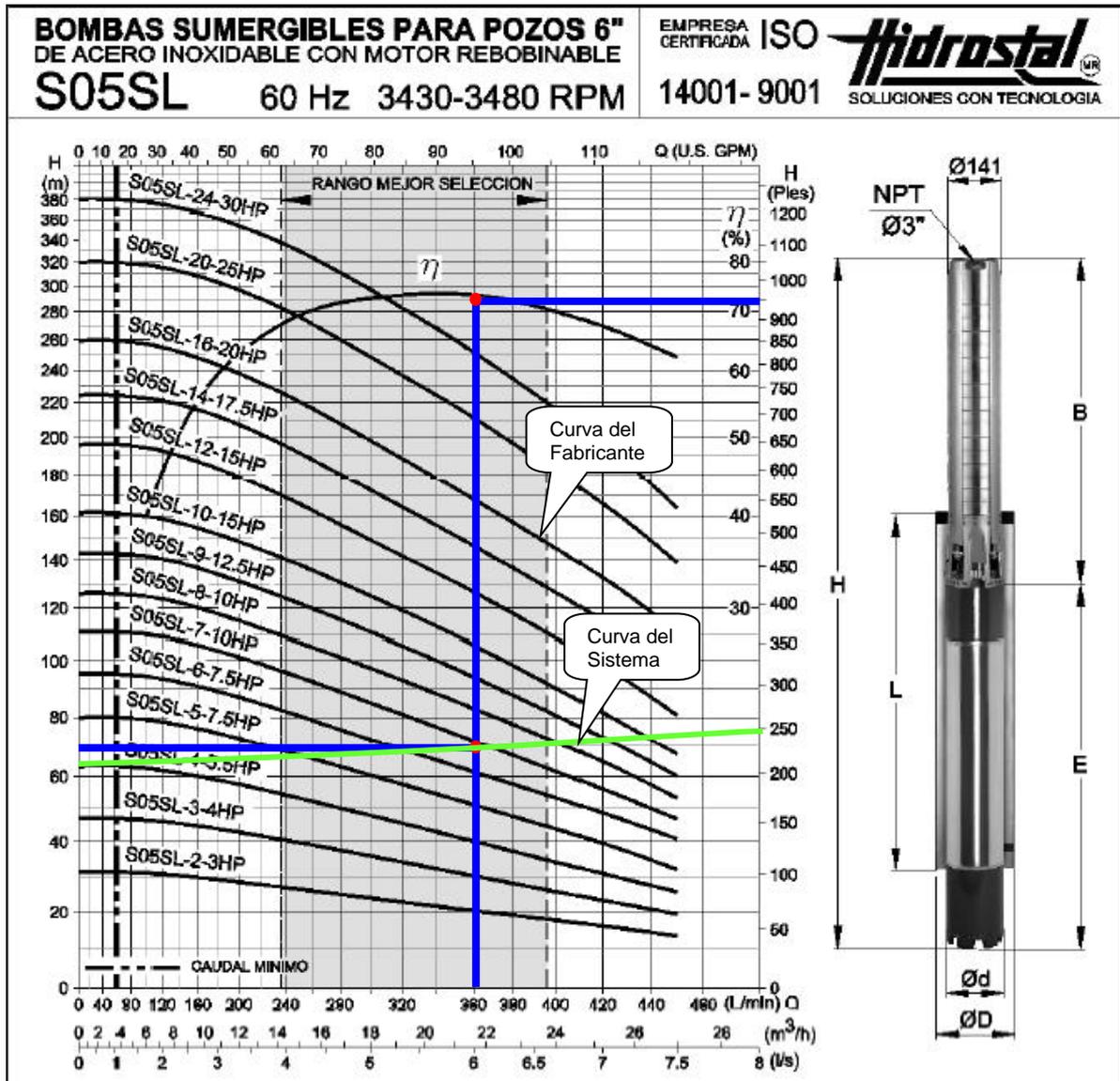
Cuadro N° 4.5. Análisis de Curva del Sistema

N°	Q (m3/s)	Hinst (m)
1	0.000	64.490
2	0.001	64.635
3	0.002	65.070
4	0.003	65.794
5	0.004	66.808
6	0.005	68.112
7	0.006	69.706
8	0.007	71.590
9	0.008	73.763
10	0.009	76.226
11	0.010	78.979

k) Curva característica de la bomba seleccionada

Teniendo la altura que debe vencer la bomba ($h_A = 69.7069m$) y el caudal que debe suministrar la misma ($Q_b = 6 \text{ l/s}$), se seleccionó el tipo de bomba, Modelo SO5SL, según catálogo de Hidrostral como se observa en el Anexo N° 03.

Figura N° 4.1, Curva característica de la bomba HIDROSTAL Modelo SO5S.



En la figura 4.1, se puede ver las líneas de color azul. Éstas líneas representan la altura a vencer (línea horizontal) y el caudal a suministrar (línea vertical). Donde se cruzan las líneas, se encuentra un punto rojo el cual representa el tipo de la bomba modelo SO5SL-7-10HP, y la eficiencia con la que trabajará la bomba es de aproximadamente 72.5 %, según catalogo HIDROSTAL.

l) Determinación de la Potencia de Bomba

Determinación de la potencia añadida al fluido

La potencia añadida al fluido está en función directa del peso específico del fluido, caudal de bombeo y altura dinámica total, y se determinó por la ecuación N° 3.11:

$$\gamma = 62.4 \text{ lb/pie}^3.$$

$$h_A = 228.6972 \text{ pie.}$$

$$Q_b = 0.2118803 \text{ pie}^3/\text{s.}$$

$$P_A = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} * 228.6872 \text{ pie} * 0.2119 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}}$$

$$P_A = 3023.8302 \frac{\text{lb} - \text{pie}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Hp}}{550 \frac{\text{lb} - \text{pie}}{\text{s}}}$$

$$P_A = 5.4979 \text{ Hp}$$

Se requiere 5.4979 Hp de la potencia añadida al fluido.

Determinación de la potencia puesta a la bomba

La potencia puesta a la bomba está en función inversa de la eficiencia de bomba 72.5% y se determinó por la ecuación N° 3.12:

$$P_1 = \frac{5.4979 \text{ HP}}{0.725}$$

$$P_1 = 7.58 \text{ Hp} = 10 \text{ HP} = 7.475 \text{ kwatt}$$

Por no existir en el mercado una bomba con esta potencia se opta por una de 10 HP tipo sumergible Hidrostal de 07 etapas, se detalla las características en el Anexo N° 4.

Analizando, para el sistema de bombeo que va desde pozo hasta el reservorio se eligió una bomba sumergible de acero inoxidable con motor rebobinable de la empresa HIDROSTAL, modelo SO5S-7-10hp que suministrando un caudal de 6 (l/s) genera una altura de carga de 69.7069 m trabajando a 3430 revoluciones por minuto (rpm) y una potencia al freno igual a 10 HP (7.475 KW) con una eficiencia de 72.5%.

m) Determinación del Golpe de Ariete o sobrepresión

La sobrepresión se determinó mediante la fórmula de N. Jaukovsky: (ecuación N° 3.13).

Por otro lado se tiene la resistencia máxima a la presión de agua del material de tubería fierro galvanizado = 2220 psi = 1694.53 m.c.a.

Velocidad de propagación de la onda:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3.$$

$$E_a = 2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2.$$

$$D = 0.0762 \text{ m.}$$

$$E_t = 165 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2.$$

$$E = 0.00405 \text{ m.}$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{1000 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 10^9} + \frac{0.0762}{0.00405 \cdot 165 \cdot 10^9} \right)}}$$

$$a = 1276.16 \text{ m/s}$$

Se tiene el tiempo de propagación de la onda igual al tiempo de cierre instantáneo (T_c).

$$L = 158.45 \text{ m.}$$

$$V = 1.3157 \text{ m/s.}$$

$$T_c = \frac{2 \cdot 158.45}{1276.16}$$

$$T_c = 0.25 \text{ s}$$

Lo que nos indica que el tiempo de cierre (T_c) mínimo es de 0.25 seg.

La sobrepresión es:

$$\Delta H_a = \frac{1.3157 \cdot 1276.16}{9.81}$$

$$\Delta H_a = 171.16 \text{ m}$$

Entonces la presión máxima en el punto más bajo del eje de la tubería será:

$$P_{max} = 64.49 \text{ m} + 171.16 \text{ m}$$

$$P_{max} = 235.65 \text{ m. c. a.}$$

Con lo que podemos concluir que la tubería instalada de fierro galvanizado, para las condiciones de trabajo es la correcta, ya que la máxima presión de agua no superará los 1,694.53 m.c.a., como se observa en los resultados de sobrepresión por efecto de golpe de ariete.

4.1.5.2. FACTORES ECONÓMICOS

Los factores económicos se han evaluado los costos de instalación, operación y mantenimiento:

4.1.5.2.1. COSTOS DE INSTALACIÓN.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación técnica se realizó la estimación de los costos para su implementación en el sistema de bombeo, se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 4.6 Presupuesto de instalación.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PU (S/.)	TOTAL (S/.)
MATERIALES				9,115.00
Tubo de F°G° de 4mm x 3" x 6m	und	4.00	320.00	1,280.00
Válvula de Alivio de bronce 3"	und	1.00	85.00	85.00
Bomba Sumergible de 10 hp Modelo SO5S-7-10HP HIDROSTAL	und	2.00	7,500.00	15,000.00
Manómetro	und	1.00	250.00	250.00
SERVICIOS				2,620.00
Montaje y Desmontaje de la bomba	Glb	1.00	420.00	420.00
Instalación de Bomba Sumergible	Glb	1.00	850.00	850.00
Prueba hidráulica de bombeo	Glb	1.00	250.00	350.00
Capacitación para operación y mantenimiento	Glb	1.00	500.00	1000.00
TOTAL				19,235.00

Fuente: Elaboración propia.

Indicando que para su mejoramiento y puesta en operación del sistema de bombeo se necesita S/. 19,235.00 nuevos soles.

4.1.5.2.2. PROPUESTA DE TARIFA

En la propuesta de tarifa se contemplan los costos de mantenimiento y operación

CALCULO DE LA ENERGÍA

Para el cálculo de energía, se han determinado a partir de la evaluación técnica, del tipo de bomba determinada de acuerdo a las horas de bombeo diarios en función de la demanda de agua, multiplicados al mes se obtiene consumo de energía mensual (S/.).

De acuerdo a las características de la bomba sumergible seleccionada de la empresa Hidrostral Modelo SOSL-7-10Hp equivalente 7.475KWatts:

Consumo diario de energía = 7.475KWatts*6 horas = 44.85KWatts.

Costo del consumo diario = 44.85KWatts*S/. 0.5233 por cada KWatts= S/.23.4700

Costo del consumo mensual = 30días*S/.23.47 = S/.704.10/mes.

COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Consumo de energía mensual = S/. 704.10

Mantenimiento del sistema = S/. 50.00

MONTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO = **S/. 754.10/Mes**

4.1.5.2.3. ANÁLISIS TARIFARIA POR FAMILIA

Se desarrolló de acuerdo al análisis estadístico de las encuestas realizadas de la disponibilidad de pago por servicio de riego por aspersión, utilizando la técnica de muestreo como un instrumento para obtención de estimados de la disponibilidad de pago en la comunidad de Tanapaca - llave, medidos en la relación soles/mes.

Los resultados que se presentan de encuestas realizadas en el mes de Setiembre del 2012, servirán de base para futuros estudios de seguimiento en otras localidades de la región, para de esta forma eliminar el efecto de la variable tiempo y realizar proyecciones a varios años, contando con el conocimiento del crecimiento demográfico.

a) Tamaño de la Muestra

Se realizó un pre encuesta en forma aleatoria el 10% del total de familias beneficiadas en el ámbito de la comunidad de Tanapaca obteniéndose 07 encuestas diligenciadas en un solo día del mes de setiembre, de las que se hallaron la media y la varianza, lo que se observan en el cuadro N°4.6, encontrándose los valores de media de 2.9 y la varianza de 0.141.

Cuadro N° 4.7 Determinación de media y varianza.

Estrato	Nh	Wh	nh	Xh	(sh)^2	Xst	Wh(sh)^2
Familiar	65	1.00	7.00	2.90	0.14	2.90000	0.14083
Total	65	1.00	7.00			2.90000	0.14083

Fuente: Elaboración propia

El Tamaño de muestra total de familias a encuestar se determinó por la siguiente fórmula de Martínez Bencardino (3):

E = 0.05

Z= 1.96

N= 65

$$n_o = \frac{0.14083}{(0.05/1.96)^2}$$

$$n_o = 25.7325$$

Tamaño de muestra ajustado:

$$n = \frac{25.7325}{1 + \frac{25.7325}{65}}$$

$$n = 18$$

b) Viviendas Encuestadas

El total del tamaño de muestra realizada fue de 18 familias, para un error de $e = 0.050$, analizando el tamaño de muestra estimada para la realización de la encuesta se tiene:

De la experiencia obtenida en las encuestas, se puede afirmar que la mayoría de las personas están dispuestas a colaborar con las encuestas siempre y cuando estas no involucren preguntas de tipo socio-económica, especialmente niveles de ingreso. La colaboración es más notoria en las familias más humildes.

c) Estimadores Utilizados

Para el cálculo de los estimadores, los datos se procesaron en un software de computación estadístico SPSSV.11, donde se almacenaron los datos obtenidos de las encuestas, una vez almacenados los datos en el programador. Se procedió a la estimación del promedio. En el desarrollo de los casos de estimación para la disponibilidad de pago por servicio de riego, se especificará para algunos casos con ejemplos numéricos el procedimiento de cálculo.

A través del software SPSSV.11 se analizó la necesidad de riego con los datos obtenidos de la encuesta.

Cuadro N°4.8 Necesidad de riego.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	15	83.3	83.3	83.3
	No	3	16.7	16.7	100.0
	Total	18	100.0	100.0	

Fuente: elaboración propia.

NECESIDAD DE RIEGO

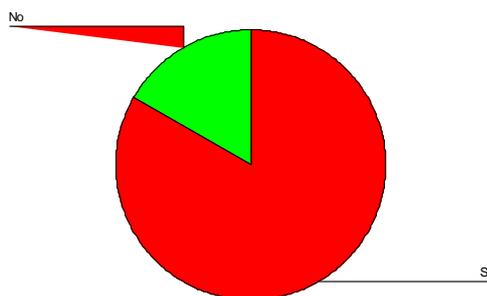


Grafico N° 4.1 Necesidad de Riego.

El grafico N° 4.1, indica, necesitan riego 15 familias que representa el 83.3 %, del total de la muestra seleccionada concluyendo que la mayoría de las familias necesitan riego.

Por otro lado se tiene el análisis de la disponibilidad de pago por servicio de riego para costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo de igual manera se analizó de la encuesta obtenida.

Cuadro N° 4.9 Disponibilidad de pago por servicio de riego

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	11	61.1	61.1	61.1
	No	3	16.7	16.7	77.8
	A través de instituciones	4	22.2	22.2	100.0
Total		18	100.0	100.0	

Fuente: elaboración propia.

DISPONIBILIDAD DE PAGO POR SERVICIO DE RIEGO

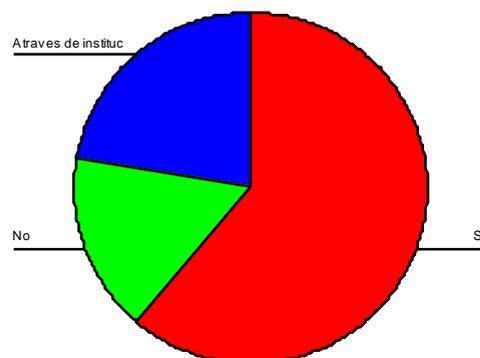


Grafico N° 4.2 Disponibilidad de pago por servicio de riego.

El grafico N° 4.2, indica, están dispuesto a pagar 11 familias que representa el 61.10%, otros 4 familias piden apoyo a las instituciones como la municipalidad para que pague y representa el 22.20%, concluyendo la mayoría de las familias están dispuesto a pagar por servicio de riego.

Por otro lado se tiene el análisis del nivel de educación de las familias que viven en la Comunidad de tanapaca y se analiza en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 4.10 Nivel de Estudios

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Analfabeto	6	33.3	33.3	33.3
	Primaria incompleto	1	5.6	5.6	38.9
	Primaria completo	6	33.3	33.3	72.2
	Secundaria incompleto	2	11.1	11.1	83.3
	Secundaria completo	3	16.7	16.7	100.0
	Total	18	100.0	100.0	

Del cuadro N° 4.10 se deduce que la mayor parte de pobladores tiene estudios de primaria completa y analfabeto, que representan el 66.6%, por otro lado se tiene que el 16.7%, tienen estudios de secundaria completa, concluyendo que hay conciencia para el pago del servicio de riego.

Cuadro N° 4.11 Necesidad de riego con respecto a disponibilidad de pago.

		DISPONIBILIDAD DE PAGO POR SERVICIO DE RIEGO						Total	
		Si		No		A través de instituciones		Recuento	% tabla
		Recuento	% tabla	Recuento	% tabla	Recuento	% tabla		
NECESIDAD DE RIEGO	Si	11	61.1%			4	22.2%	15	83.3%
	No			3	16.7%			3	16.7%
Total		11	61.1%	3	16.7%	4	22.2%	18	100.0%

Fuente: elaboración propia.

Del cuadro N° 4.11, se tiene como interpretación los que necesitan riego en un 61.1% están dispuesto pagar por servicio de riego y un 22.2% piden apoyo a otros instituciones con el apoyo de pago.

Grafico entre la tenencia de tierras y monto máximo a pagar para costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo.

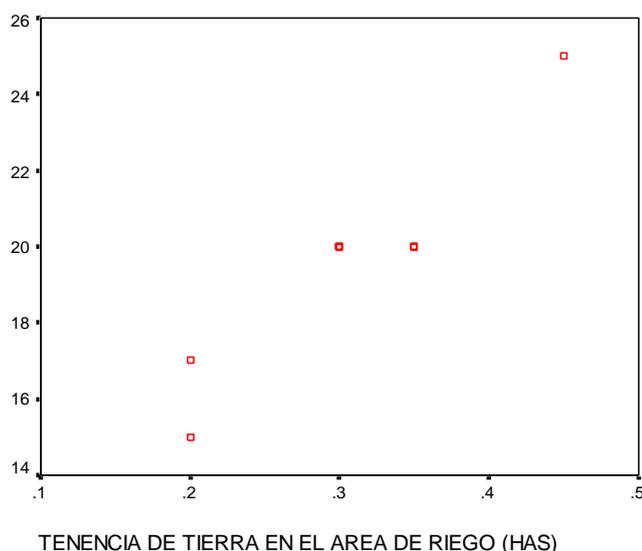


Grafico N° 4.3 Relación entre monto máximo a pagar y tenencia de tierra en área de riego

Según el grafico N° 4.3, se puede analizar que hay relación entre tenencia de tierras y monto máximo a pagar. Cuando más terreno posee una familia en el área de riego más está disponible a pagar.

La estimación de media, varianza y desviación estándar de monto máximo que puede pagar la familia y la tenencia de tierras con respecto a disponibilidad de pago por servicio de riego de analiza en el Cuadro N° 4.12.

Cuadro N° 4.12 Estimación de Media, Varianza y desviación Estándar.

			Recuento	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación típ.	Varianza
DISPONIBILIDAD DE PAGO POR SERVICIO DE RIEGO	Si	MONTO MAXIMO QUE PUEDE PAGAR	11	20	20	25	15	2	6
		TENENCIA DE TIERRA EN EL AREA DE RIEGO	11	.31	.30	.45	.20	.07	.01
	No	MONTO MAXIMO QUE PUEDE PAGAR	3	0	0	0	0	0	0
		TENENCIA DE TIERRA EN EL AREA DE RIEGO	3	.15	.15	.15	.15	.00	.00
A través de instituciones		MONTO MAXIMO QUE PUEDE PAGAR	4	750	750	750	750	0	0
		TENENCIA DE TIERRA EN EL AREA DE RIEGO	4	.26	.25	.35	.20	.07	.01

Fuente: elaboración propia.

Se tiene como interpretación para el análisis económico de las familias los que están dispuestos a pagar por servicio de riego representan el 61.10% con un monto promedio de S/ 20.00 nuevos soles mensuales, y tienen un promedio de 0.31 hectáreas de terreno en el área de riego.

Analizando el alcance de riego por aspersion es de 380.13 m² equivalente a 0.0380 hectáreas por 24 aspersores en operación por día se tiene 0.9123 hectáreas regadas/día, según análisis anterior se tiene 0.31 hectáreas promedio por familia, por lo que aproximadamente beneficiara por día a 3 familias con sistema de riego

Esto se cumple con frecuencia de riego para alfalfa cada 12 días, el 61.10% representa aproximadamente 40 familias divididas por 3 familias por día con beneficio de riego, en 13 días se termina con el riego, regando aproximadamente 2.5 veces por mes para cada familia,

La disponibilidad de pago promedio es de S/. 20.00 nuevos soles al mes, multiplicados por 40 familias S/. 800.00 nuevos soles al mes, satisfaciendo la demanda de costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo que es de S/. 754.00 nuevos soles.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Para la evaluación técnica y económica del sistema de bombeo a la que se ha llegado en el presente investigación comprende los siguientes componentes: Localización e identificación del proyecto de riego, Caracterización de la infraestructura de riego instalado (sistema de riego y sistema de bombeo), Prueba de bombeo, análisis de datos obtenidos, evaluación para el mejoramiento y puesta en operación del sistema de bombeo.

Con la evaluación técnica se determinó las pérdidas de carga por fricción en tubería y accesorios de 5.22 m, altura dinámica total de 69.71m y la instalación de bomba sumergible a una profundidad de 45.50 m Modelo SO5SL-7-10HP de la empresa HIDROSTAL, con un caudal de bombeo de 6 l/s, en comparación con instalado in-situ la bomba sumergible de 3HP a una profundidad de 22 m, con un caudal de bombeo de 2.68 l/s, indicándonos que no justifica el diseño técnico realizado por Área de Estudios y Proyectos de la Municipalidad Provincial de El Collao – Ilave.

El costo de implementación del sistema de bombeo de acuerdo a la evaluación técnica se tiene S/. S/. 19,235.00 nuevos soles, para su mejoramiento y puesta en operatividad.

De la evaluación económica se tiene, el costo de operación y mantenimiento del sistema de bombeo es S/. 754.10/mes.

De acuerdo del análisis de la disponibilidad de pago por servicio de riego presurizado por aspersión se tiene el tamaño de la muestra de 18 familias encuestadas de los cuales el 83.3 % necesitan servicio de riego y los que están dispuesto a pagar el 61.1 %, indicándonos la mayoría de las familias necesitan el servicio de riego, el monto promedio a pagar es de S/. 20 soles por familia y al mes S/. 800.00 nuevos soles del total de familias, satisfaciendo la demanda de costos de operación y mantenimiento del sistema de bombeo y por lo tanto se garantiza la operatividad de la infraestructura de riego presurizado.

5.2 RECOMENDACIONES

Deberá controlarse minuciosamente el caudal y tiempo de descarga en el reservorio, determinando las posibles pérdidas de carga en la línea de impulsión o deficiencias en la bomba sumergible.

Se debe realizar un mantenimiento cada 3 meses en el sistema de bombeo para evitar posibles deterioros.

Se recomienda la implementación de un comité de gestión de riego, conformado por la población beneficiaria para un manejo eficiente y productivo.

Desde el punto de vista académico se sugiere que esta metodología de la evaluación del sistema de bombeo, sea considerada como parte del curso de riegos, pues da al estudiante una visión más amplia de los proyectos de riego por bombeo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Arocha, S., “Abastecimientos de agua”, Primera Edición, Editorial VEGA S.R.L. España - 1978.
2. Banco Interamericano de Desarrollo, “Evaluación para Sistemas de Bombeo de Agua”, Manual de Eficiencia Energética, Primera Edición, Washington – 2011.
3. CRANE, División de Ingenieros, Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías, Editorial McGraw – Hill/Interamericana de México S.A. -1990.
4. Duque Ramón – Collazos Héctor., “Muestreo”. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Universidad de Colombia. Colombia – 1990.
5. Eduardo Blanco Marigorta, Sandra Velarde Suárez, Joaquín Fernández Francos. “Sistemas de Bombeo”, Universidad de Oviedo, Departamento de Energía, Gijón - 1994.
6. Flores Calisaya, Maribel, Trabajo Profesional, “Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el Centro Poblado de Chucaraya del Distrito de Ilave”, UNA-2009.
7. Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua, Volumen 1 libro de consulta, México - 2003.
8. INEI; “Resultados Definitivos Dpto de Puno, Censos Nacionales 1993, IX de Población y IV de Vivienda”, Lima, Noviembre 1994.
9. Lininger Charles A. - Ph. Darwick Donald, “La Encuesta por Muestreo”: Teoría y Práctica. Compañía Editorial Continental, S.A. México – 1986.
10. López Alva, Walter Antulio, Tesis, “Diseño de Sistema de Abastecimiento de Agua Potable por Bombeo del Caserío Ojo de Agua El Sabino Y Salón de Usos Múltiples para la Aldea la Nueva Esperanza, Municipio de la Democracia, Departamento de Huehuetenango”, Guatemala, Agosto del 2007.
11. López Cualla, Ricardo Alfredo, “Diseño de Acueductos y Alcantarillados”, Editorial ALFAOMEGA, Segunda Edición, 1999.

12. López Malavé, Raúl José, Tesis, “Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para las Comunidades Santa Fe y Capachal, Píritu, Estado Anzoátegui”, Puerto La Cruz, Enero - 2009.
13. López – UZHCA, Universidad Politécnica Salesiana.
14. “Manual de Curso de Bombas “, Master en Ingeniería del Agua.
15. Manual de HIDROSTAL – 2011.
16. Martínez B. “Estadística y Muestreo”. Compañía Editorial Continental. Bogotá. (2002).
17. Mataix, C. “Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas”, Segunda Edición, Ediciones del Castillo S. A., Madrid - 1993.
18. Mott L., Robert., “Mecánica de Fluidos”, Sexta Edición, Mexico-2006.
19. Organización Panamericana de Salud, “Guías para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable”, Lima - 2005.
20. Organización Panamericana de la Salud, “Guía para la Selección de Equipos de Bombeo para Sistemas de Abastecimiento de Agua y Saneamiento para el Medio Rural, Lima – 2007.
21. Pedro Fernández Díez, “Mecánica de Fluidos”, Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
22. Rocha, A. “Hidráulica de Tuberías y Canales”, Segunda edición, Lima – 2002.
23. Ronald V. Giles, “Mecánica de los fluidos e hidráulica”, Editorial McGraw –Hill de México, México - 1980.
24. Rondón G., Jhony E., Eduardo F. Suarez Q., Artículo, “Acueductos y Cloacas”. Junio del 2007.
25. Saldarriaga, Juan, “Hidráulica de Tuberías (Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos)”, Editorial Alfaomega, México – 2007.
26. Sotelo, G., “Hidráulica General”, Editorial Limusa, México - 1998.
27. Tabaré Díaz, Nieto. “Selección Comercial y Práctica de Equipos de Bombeo”, Universidad Tecnológica de Santiago, Santiago - 2007.

VII. ANEXOS.

- ANEXO 01 Propiedades de los fluidos, materiales y la presión atmosférica.
- ANEXO 02 Estudio realizado en la perforación de pozo de la localidad de Camicachi - Ilave.
- ANEXO 03 Selección y características de la bomba sumergible modelo S05SL de la empresa HIDROSTAL.
- ANEXO 04 Datos de la encuesta realizada.
- ANEXO 05 Datos del diseño hidráulico del sistema de riego presurizado de la Comunidad de Tanapaca - Ilave.
- ANEXO 06 Panel fotográfico.

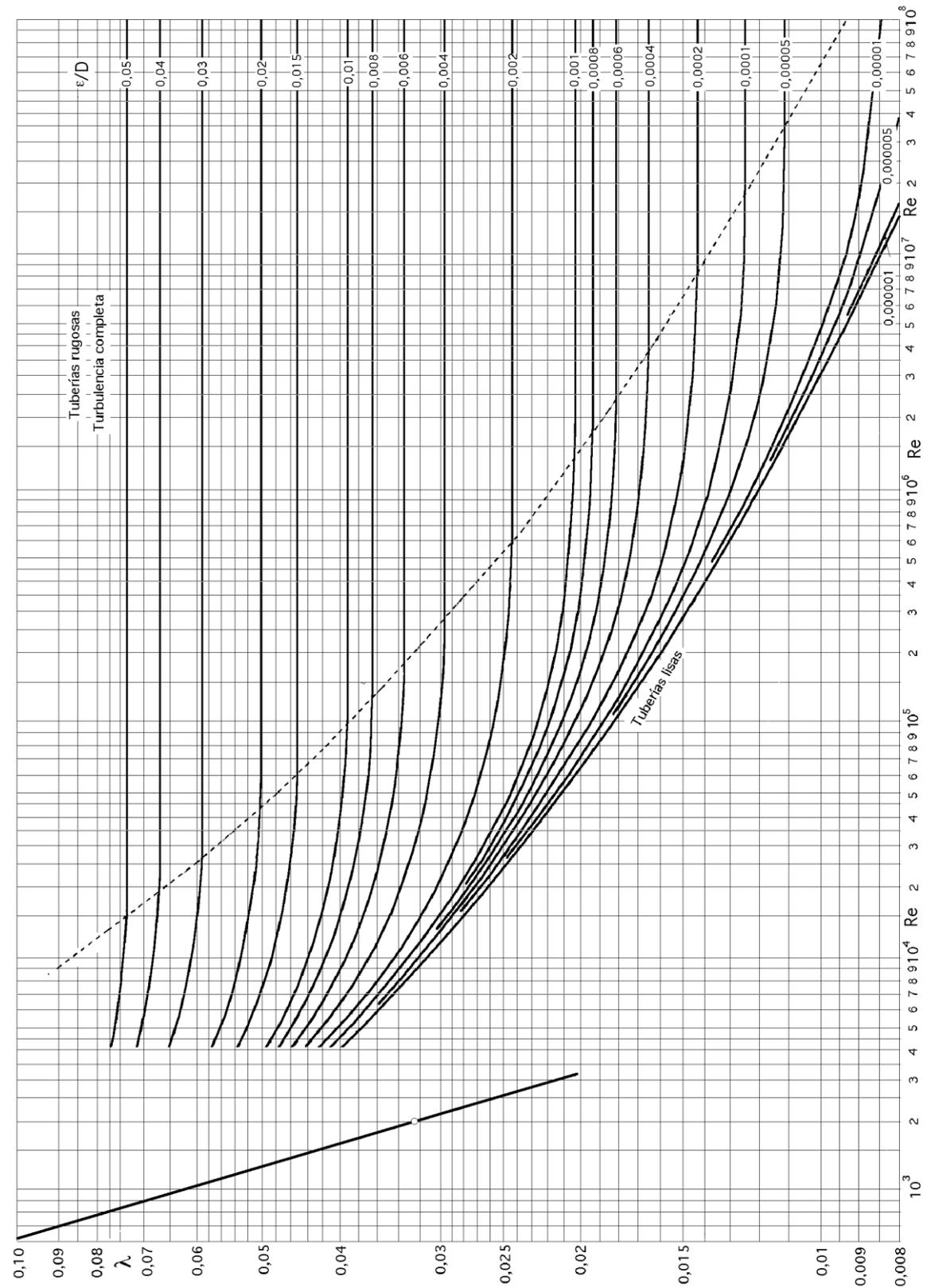
ANEXO N° 01

DENSIDAD, VISCOSIDAD DINAMICA Y CINEMATICA DEL AGUA EN
FUNCION DE LA TEMPERATURA

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Densidad</i> (kg/m ³)	<i>Viscosidad</i> <i>dinámica</i> η (10 ⁵ kg/m · s)	<i>Viscosidad</i> <i>cinemática</i> ν $10^6 \frac{m^2}{s} = cSt$
0	999,8	178,7	1,787
2	999,9	167,1	1,671
4	1.000	156,2	1,562
6	999,9	146,4	1,464
8	999,8	137,6	1,375
10	999,7	130,5	1,307
12	999,4	122,6	1,227
14	999,2	116,1	1,163
16	998,9	110,4	1,106
18	998,5	105,2	1,053
20	998,2	100,2	1,0038
22	997,7	95,5	0,957
24	997,2	91,1	0,914
26	996,6	87,2	0,875
28	996,1	83,4	0,837
30	995,7	79,7	0,801
32	994,9	76,4	0,768
34	994,2	74,1	0,745
36	993,4	70	0,705
38	992,8	68	0,685
40	992,2	65,3	0,658
45	990,2	59,8	0,604
50	988	54,8	0,554
55	985,7	50,5	0,512
60	983,2	46,7	0,475
65	980,6	43,4	0,443
70	977,8	40,4	0,413
75	974,8	37,8	0,388
80	971,8	35,5	0,365
85	968,6	33,4	0,345
90	965,3	31,5	0,326
95	961,8	29,8	0,310
100	958,4	28,2	0,295
150	916,9	18,6	0,205
200	864,6	13,6	0,161
250	799,2	10,9	0,14
300	712,4	8,91	0,132

FUENTE: MATAIX, C.

DIAGRAMA DE MOODY



FUENTE: FERNANDEZ, P.

RUGOSIDAD ABSOLUTA (K), PARA DIFERENTES MATERIALES UTILIZADOS EN TUBERÍA.

Rugosidad del material	K (mm)
Vidrio	0.0003
PVC	0.0015
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla Vitrificado	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9.0

FUENTE: SALDARRIAGA, J.

COEFICIENTE DE HAZEN – WILLIAMS (C)

Tipo de conducto	Promedio para conductos limpios y nuevos	Valor de Diseño
Acero, hierro dúctil o hierro fundido con cemento aplicado centrífugamente o revestimiento bituminoso	150	140
Plástico, cobre, latón, vidrio	140	130
Acero o hierro fundido	130	100
Concreto	120	100
Acero corrugado	60	60

FUENTE: MOTT, R.

PRUEBAS REALIZADAS EN TUBO DE FIERRO GALVANIZADO PARA DETERMINAR COEFICIENTE (K) EN ACCESORIOS

Accesorios	Coficiente de Resistencia (k)	Diámetro
Válvula de Compuerta	0.320	3"
Tee	0.360	3"
Codo estándar	0.530	2.5"
Unión Simple	0.045	2.5"
Codo de 45°	0.300	2.5"
Codo de 90°	0.850	2.5"
Unión Universal	0.045	2.5"
Válvula de Chek	0.180	3"

FUNTE: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, LÓPEZ- UZHCA
PROPIEDADES MECANICAS DEL AGUA A LA PRESION ATMOSFERICA

Temp. °C	Densidad UTM/m ³	Peso específico kg/m ³	Viscosidad dinámica kg seg/m ²	Tensión superficial kg/m	Presión de vapor kg/cm ² (ab)	Módulo de elasticidad volumétrico kg/cm ²
0	101,96	999,87	18,27 × 10 ⁻⁵	0,00771	0,0056	20200
5	101,97	999,99	15,50	0,00764	0,0088	20900
10	101,95	999,73	13,34	0,00756	0,0120	21500
15	101,88	999,12	11,63	0,00751	0,0176	22000
20	101,79	998,23	10,25	0,00738	0,0239	22400
25	101,67	997,07	9,12	0,00735	0,0327	22800
30	101,53	995,68	8,17	0,00728	0,0439	23100
35	101,37	994,11	7,37	0,00718	0,0401	23200
40	101,18	992,25	6,69	0,00711	0,0780	23300
50	100,76	988,07	5,60 × 10 ⁻⁵	0,00693	0,1249	23400

FUENTE: RONALD V. GILES.

MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON DE DIFERENTES
MATERIALES

Material	Módulo de elasticidad E (Pa)	Relación de Poisson
Acero	206 10 ⁹	0.30
Hierro fundido	165 "	0.28
Cobre	110 "	0.30
Latón	103 "	0.34
Aluminio	72 "	0.33
Fibrocemento	23 "	0.30
PVC	2.75 "	0.45

BLANCO, E., ET AL.

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA DE ACERO, SIN SOLDADURA.

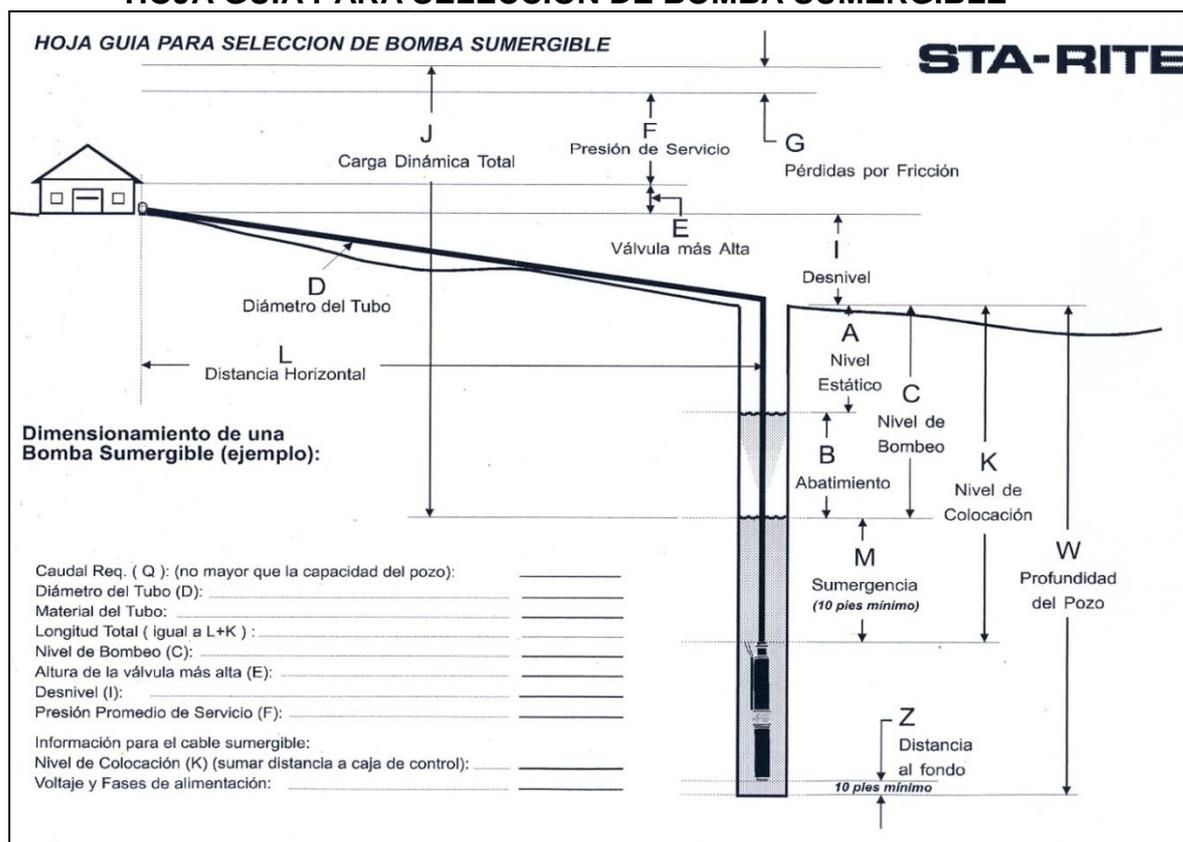
Normas: DIN 2440/61
 AFNOR 29025/59
 B.S. 1387/57- Medium
 ISO / R-65- Medium

Paso nominal		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Peso Kg/m
pulgadas	mm			
1/8	6	10.2	2	0.407
1/4	8	13.5	2.35	0.650
3/8	10	17.2	2.35	0.852
1/2	15	21.3	2.65	1.22
3/4	20	26.9	2.65	1.58
1	25	33.7	3.25	2.44
1-1/4	32	42.4	3.25	3.14
1-1/2	40	48.3	3.25	3.61
2	50	60.3	3.65	5.10
2-1/2	65	76.1	3.65	6.51
3	80	88.9	4.05	8.47
3-1/2	90	101.6	4.05	9.72
4	100	114.3	4.50	12.1
5	125	139.7	4.85	16.2
6	150	165.1	4.85	19.2

Material: Acero St-00 o St-35, según DIN 1629.
 Prueba: Se someten en fábrica a un ensayo de presión interna con agua a 50 kg/cm².

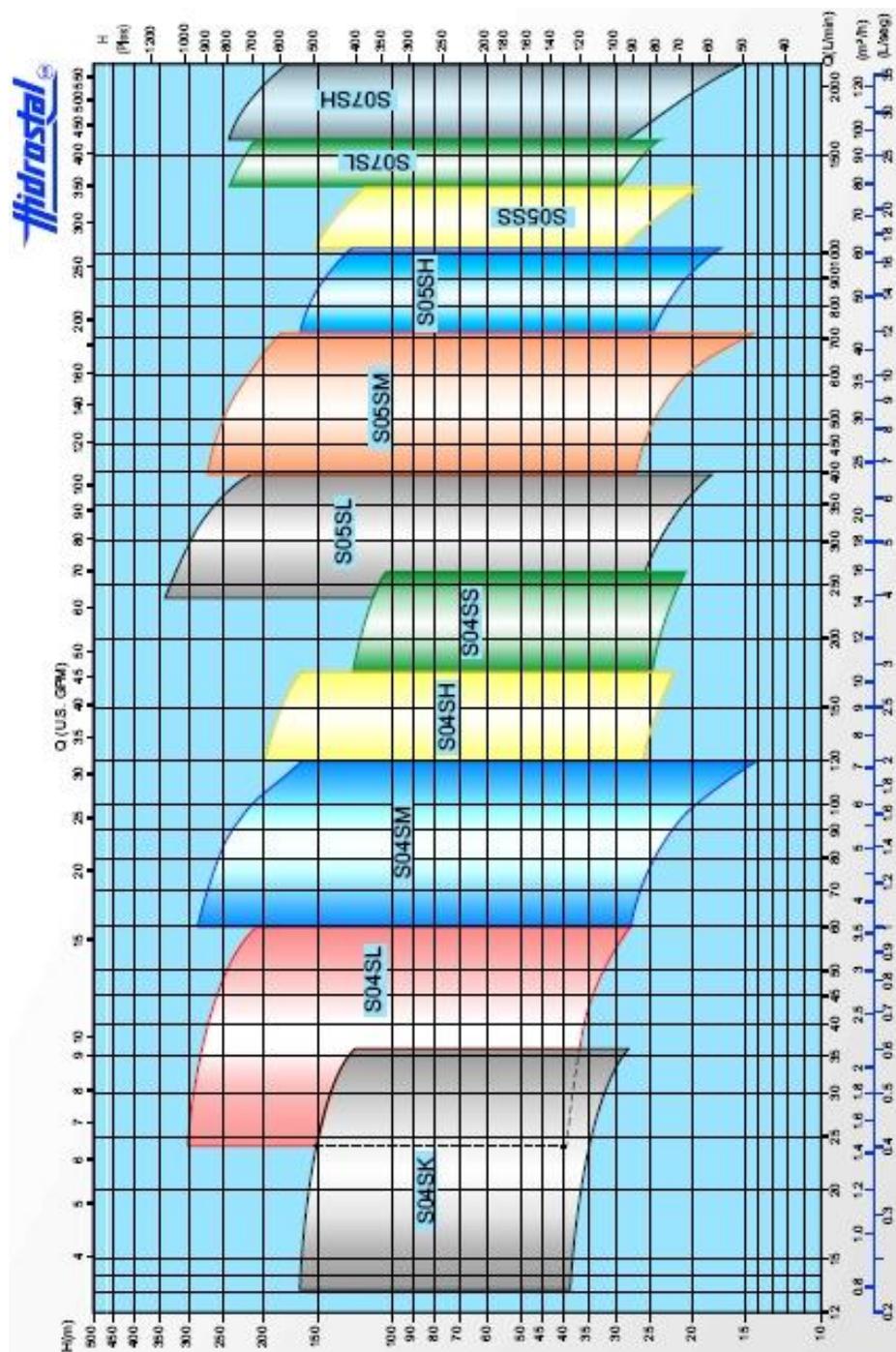
ANEXO N° 02
ESTUDIO REALIZADO EN LA PERFORACION DE POZO DE LA
LOCALIDAD DE CAMICACHI.

HOJA GUIA PARA SELECCIÓN DE BOMBA SUMERGIBLE



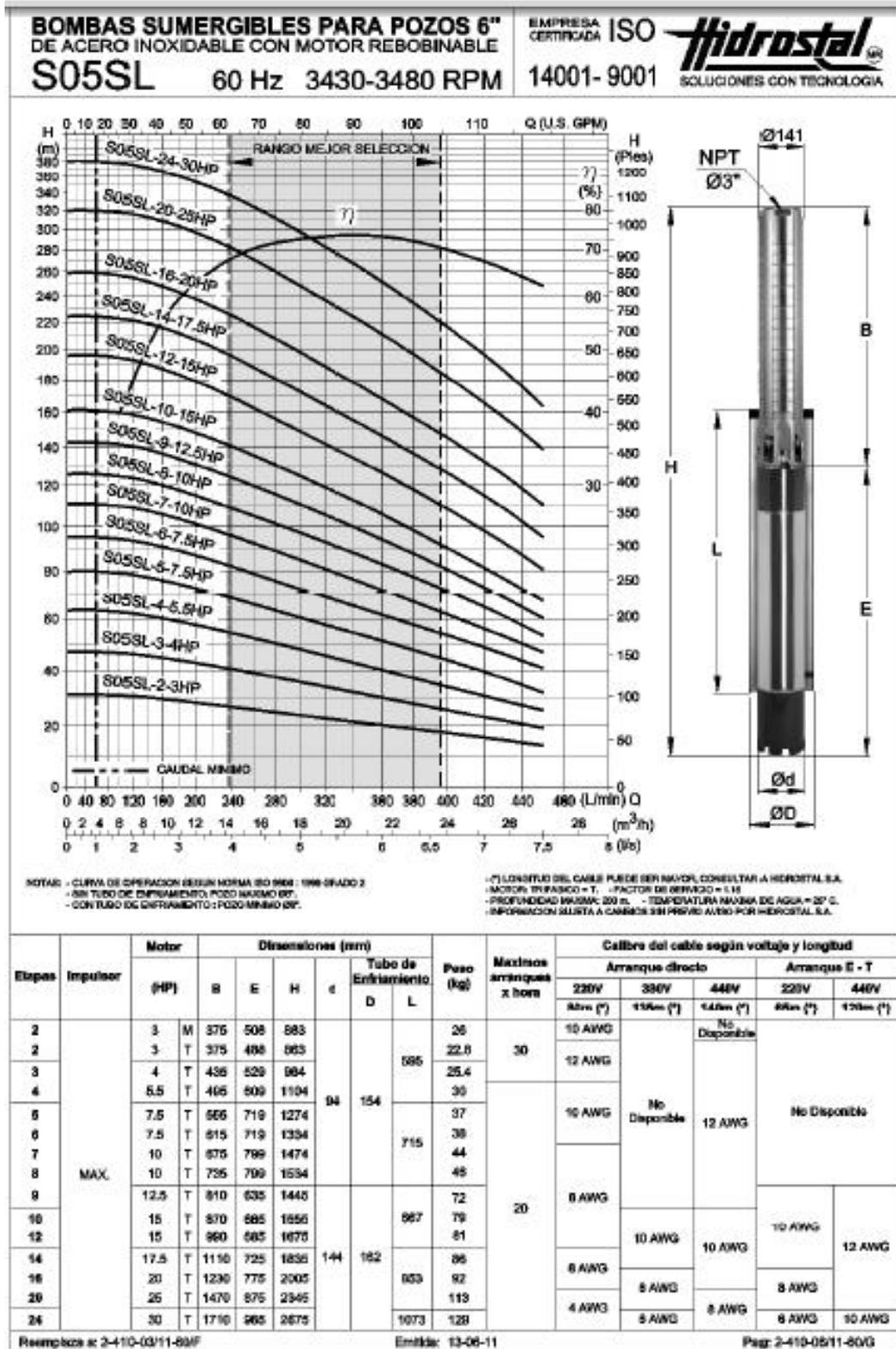
Fuente: Díaz Nieto, Tabare, Santiago – 2007.

ANEXO N° 03 SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA



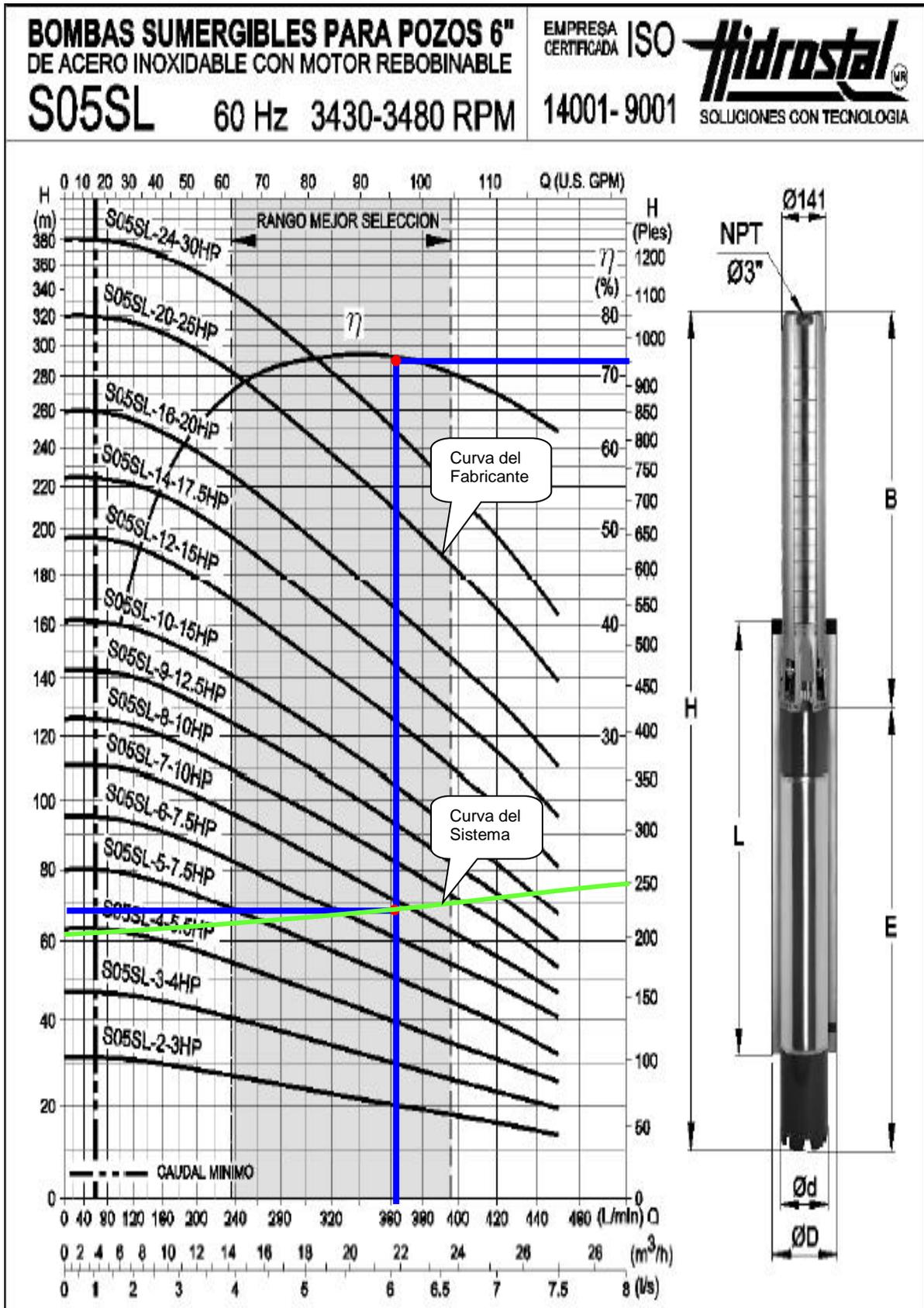
FUENTE: HIDROSTAT

CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA MODELO SO5SL



FUENTE: HIDROSTAT.

CURVA DEL FABRICANTE Y LA CURVA DEL SISTEMA



ANEXO N° 04

PRE ENCUESTA DE LAS FAMILIAS SOBRE TENENCIA DE TIERRAS

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	SEXO	EDAD	TENENCIA DE TIERRAS (Hectáreas)	
					Xi	Xi ²
1	Apaza Apaza, Rodolfo	01834375	M	54	3.00	9.00
2	Mamani Choque, Efrain	42562677	M	46	2.80	7.84
3	Ccallomamani de Apaza, Martina	01299417	F	72	2.50	6.25
4	Contreras Ticona, Rogelio	40282164	M	43	3.50	12.25
5	Condori Mamani, Juan	80063055	M	62	2.50	6.25
6	Condori Mamani, Lino	01313833	M	56	3.25	10.56
7	Ticona Quispe, Mario	00441533	M	46	2.75	7.56
TOTAL					20.30	59.72

MEDIA ARITMETICA = 2.900

VARIANZA = 0.141

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

FAMILIAS ENCUESTADAS

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	DNI
1	Mamani Ccallomamani, Alfredo	42488625
2	Apaza Apaza, Rodolfo	01834375
3	Condori Mamani, Vicente	01786998
4	Mamani Apaza, Facundo	01285226
5	Mamani Choque, Efraín	42562677
6	Contreras Ticona, Martin	01872300
7	Condori Apaza, Hugo Nelson	40881627
8	Ccallomamani de Apaza, Martina	01299417
9	Chambi Apaza, Modesto	01311135
10	Mamani Ccallomamani, Eduardo	017875798
11	Contreras Ticona, Rogelio	40282164
12	Machaca Quispe, Edwin Fredy	43204947
13	Mamani Mamani, Nolberto	01860623
14	Ccallomamani Ticona, Lucia	01795860
15	Ticona Quispe, Mario	00441533
16	Condori Mamani, Lino	01313833
17	Condori Mamani, Juan	80063055
18	Apaza Cutipa, Julián	01246822

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

DESCRIPCION DE CARACTERISTICAS ENCUESTADAS

FA MI LIA	ED A D	SE XO	EST CIVIL	GRADO DE INSTRUCCI ÓN	TIPO DE TRABAJO	TENECIA DE TIERRA (HECTA REAS)	TIPO DE CULTIV O	NECE SIDAD DE RIEG O	DISPONIBIL IDAD DE PAGO	MONTO MAXIMO A PAGAR (S/.)
1	35	M	Casa do	Secundaria completo	Agricultura y ganadería	0.3	Alfalfa	Si	Si	15
2	54	M	Casa do	Primaria completo	Ganadería	0.35	Alfalfa	Si	Si	20
3	68	M	Viud o	Analfabeto	Agricultura y ganadería	0.2	Avena	Si	A través de institucion es	600
4	73	M	Casa do	Analfabeto	Agricultura	0.15	Papa	No	No	0
5	46	M	Casa do	Secundaria incompleto	Ganadería	0.3	Alfalfa	Si	Si	12
6	57	M	Casa do	Primaria completo	Agricultura y ganadería	0.35	Alfalfa	Si	Si	20
7	38	M	Casa do	Secundaria completo	Ganadería	0.2	Alfalfa	Si	Si	10
8	72	F	Viud o	Analfabeto	Agricultura	0.15	Habas	No	No	0
9	67	M	Casa do	Analfabeto	Agricultura y ganadería	0.3	Alfalfa	Si	A través de institucion es	600
10	45	M	Casa do	Primaria completo	Ganadería	0.35	Alfalfa	Si	Si	15
11	43	M	Casa do	Primaria completo	Ganadería	0.45	Alfalfa	Si	Si	20
12	37	M	Casa do	Secundaria completo	Agricultura y ganadería	0.3	Alfalfa	Si	Si	10
13	68	M	Casa do	Analfabeto	Agricultura	0.15	Papa	No	No	0
14	51	F	Viud o	Primaria incompleto	Agricultura y ganadería	0.2	Alfalfa	Si	A través de institucion es	600
15	46	M	Casa do	Secundaria incompleto	Agricultura y ganadería	0.35	Alfalfa	Si	Si	20
16	56	M	Casa do	Primaria completo	Ganadería	0.3	Alfalfa	Si	Si	20
17	62	M	Casa do	Analfabeto	Agricultura y ganadería	0.35	Alfalfa	Si	A través de institucion es	600
18	54	M	Casa do	Primaria completo	Ganadería	0.2	Alfalfa	Si	Si	10

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

ENCUESTA**DISPONIBILIDAD DE PAGO POR LOS SERVICIOS DE RIEGO****PRESURIZADO POR BOMBEO****A. INFORMACION BASICA DE LA LOCALIDAD**

Encuestador(a): _____

Fecha de Entrevista: ____/____/____ Hora _____ Cuestionario N. ° _____

Departamento: **PUNO** Provincia: **EL COLLAO** Distrito: **ILAVE** Comunidad:
TANAPACA

Dirección: _____

Persona Entrevistada (jefe del hogar): () Padre () Madre () otro _____

Sexo: _____

Grado de Instrucción: _____

Estado Civil: _____

Edad: _____

B. INFORMACION SOBRE LA FAMILIA

1. Cuantos miembros tiene su familia? _____

2. Cuanto es el ingreso de su familia? S/. _____ () mensual () Diario

3. Qué tipo de actividad económica realiza el jefe de hogar (en qué trabaja)?

—

4. Cuánto es el egreso o gasta su familia S/. _____ () mensual () Diario

C. INFORMACION SOBRE RIEGO POR ASPERSION5. Cuantas hectáreas de terreno tiene su familia en total:
_____6. Cuantas hectáreas de terreno tiene su familia en el área de riego:
_____7. Qué tipo de forrajes o tubérculos siembra su familia en el área de riego:

8. Si se pone en operatividad el sistema de riego por aspersión instalada, con fin de mejorar y/o ampliar la frontera agrícola y pastizal, que es accionado el agua desde un pozo profundo mediante bomba sumergible, usted estaría dispuesto a utilizar este servicio?

() Si () no () apoyo de otros instituciones

Si es si, hasta cuanto pagaría al mes? _____ Nuevos soles

9. Si es no, porque no quisiera tener el servicio de riego por aspersión?
- () Estoy satisfecho con la forma de producción de mi cultivo y pastizal.
 - () No tengo dinero o tiempo para pagar por el riego,
 - () No tengo dinero para pagar cuota mensual
 - () Otro especificar _____

ANEXO N° 05
DATOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO
PRESURIZADO DE LA COMUNIDAD DE TANAPACA - ILAVE.

ANEXO N° 06

CASETA DE BOMBEO



ACCESORIOS CONFORMANTES EN LA LINEA DE IMPULSION



CASETA DE BOMBEO Y RESERVORIO



PRUEBAS REALIZADAS DE LA DESCARGA EN CASETA DE BOMBEO



PRUEBAS REALIZADAS DE LA DESCARGA EN RESERVORIO



HIDRANTES ABANDONADOS

