

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**UNS**

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGIA

"EFECTO DE LOS PARAMETROS DE  
FUNCIONAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL  
SISTEMA BOMBEO DE AGUA A 3960 M.S.N.M EN UNA  
ZONA RURAL EN PUNO"

---

AUTOR

Bach JHONNY MIGUEL DELGADO LUJÁN

ASESOR:

Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN

NUEVO CHIMBOTE, FEBRERO DEL 2019



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los tres días del mes de enero del año dos mil diecinueve, siendo las once horas de la mañana, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 679-2018-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. HECTOR DOMINGO BENITES VILLEGAS** : **PRESIDENTE**
- **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE** : **ACCESITARIO**


Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **"EFECTO DE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA A 3960 M.S.N.M EN UNA ZONA RURAL EN PUNO"**, elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN** con código de matrícula 200511041, teniendo como asesor al docente **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN**

Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN	BUENO	DIESCETE (7)

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Héctor D. Benites Villegas  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
INTEGRANTE



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dirección E.A.P. de Ingeniería en Energía

Teléfono: 310445 - Anexo 1035

## CONSOLIDADO DE NOTAS DE SUSTENTACION DE TESIS

Bachiller : JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN

### NOTA FINAL DE LA SUSTENTACIÓN

Nº	JURADO EVALUADOR	NOTA
1	Mg. HECTOR DOMINGO BENITES VILLEGAS	17
2	Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN	17
3	M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO	17
PROMEDIO		17

CALIFICATIVO DE : ..... *DIECISIETE* .....

Nuevo Chimbote, 03 de enero de 2019

  
Mg. Héctor D. Benites Villegas  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

**Bachiller : JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN**

**JURADO EVALUADOR: Mg. HECTOR DOMINGO BENITES VILLEGAS**

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN				SUB TOTAL
	0	1	2	3	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>					
1. Contiene los puntos en forma ordenada				X	3
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.				X	3
3. Respeta las normas de redacción del informe.				X	3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>					
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada			X		2
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral			X		2
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales			X		2
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas			X		2
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>					
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas				X	3
9. Posibilidad de aplicación y objetividad				X	3
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>					
10. Responde con precisión y objetividad.				X	3
<b>TOTAL</b>					26


**ESCALA DE CALIFICACIÓN**

EXCELENTE : 28 - 30  
BUENO : 25 - 27  
REGULAR : 21 - 24  
DESAPROBADO : 00 - 20

Nuevo Chimbote, 03 de enero de 2019

NOTA VIGESIMAL: 17

  
Mg. Héctor D. Benites Villegas  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bachiller : JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN

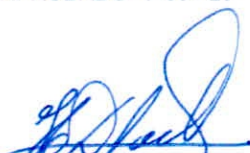
JURADO EVALUADOR: Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN				SUB TOTAL
	0	1	2	3	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>					
1. Contiene los puntos en forma ordenada				X	3
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.				X	3
3. Respeta las normas de redacción del informe.				X	3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>					
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada			X		2
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral			X		2
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales			X		2
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas			X		2
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>					
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas				X	3
9. Posibilidad de aplicación y objetividad				X	3
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>					
10. Responde con precisión y objetividad.				X	3
<b>TOTAL</b>					<b>26</b>

ESCALA DE  
EXCELENTE : 28 - 30  
BUENO : 25 - 27  
REGULAR : 21 - 24  
DESAPROBADO : 00 - 20

Nuevo Chimbote, 03 de enero de 2019

NOTA VIGESIMAL: 17

  
Mg. Hector D. Benites Villegas  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bachiller : JHONNY MIGUEL DELGADO LUJAN

JURADO EVALUADOR: M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN				SUB TOTAL
	0	1	2	3	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>					
1. Contiene los puntos en forma ordenada				X	3
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.				X	3
3. Respeta las normas de redacción del informe.				X	3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>					
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada			X		2
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral			X		2
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales			X		2
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas			X		2
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>					
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas				X	3
9. Posibilidad de aplicación y objetividad				X	3
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>					
10. Responde con precisión y objetividad.				X	3
<b>TOTAL</b>					26

**ESCALA DE CALIFICACIÓN**

EXCELENTE : 28 - 30  
BUENO : 25 - 27  
REGULAR : 21 - 24  
DESAPROBADO : 00 - 20

Nuevo Chimbote, 03 de enero de 2019

NOTA VIGESIMAL: 17

Mg. Héctor D. Benites Villegas  
PRESIDENTE

Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
INTEGRANTE

## **DEDICATORIA**

### ***A mis padres.***

Por el esfuerzo, comprensión, ayuda en los momentos difíciles  
y su afán de siempre querer lo mejor para mí.

Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, principios, carácter, mi  
empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

**Para mi hijo**, para que algún día tome este trabajo  
Como ejemplo

### ***A Dios.***

Por su apoyo infinito y por ser nuestro guía  
En nuestra carrera y por ser la luz en nuestra vida.

## RECONOCIMIENTO

Al Mg. Robert Guevara Chinchayan  
Por sus sabios consejos, enseñanzas  
Durante nuestra estancia en nuestra alma mater la  
Universidad Nacional del Santa

A los Profesores de la  
EAP de Ingeniería en Energía  
Por el apoyo desinteresado  
Y sus enseñanzas durante  
Nuestra vida universitaria.



## INDICE

INDICE	IV
RESUMEN	VII
CAPITULO I: INTRODUCCION	9
1.1 Realidad Problemática	10
1.2 Antecedentes	12
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado la tesis	15
1.4 Justificación	18
1.5 Hipótesis	18
1.6 Objetivos	18
CAPITULO II: MARCO TEORICO	20
2.1 Bombas hidráulicas	21
2.2 Parámetros de operación de bombas centrifugas	33
2.3 Componentes sistemas de bombeo	46
CAPITULO III: MATERIALES Y METODO	56
3.1 Materiales	57
3.2 Método de Investigación	63
CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS	66
4.1 Diseño del sistema de bombeo sumergible	67
4.2 Diseño del sistema de bombeo con bomba turbina vertical	75
4.3 Determinación de los NPSH de los sistemas de bombeo	82
4.4 Pruebas en la bomba de agua sumergible	84
4.5 Discusión de Resultados	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
Conclusiones	89
Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	91

## FIGURAS

Figura N° 1 Clasificación de las bombas	22
Figura N° 2 Bomba centrífuga convencional	24
Figura N° 3 Bombas compactas sumergibles	28
Figura N° 4 Partes de una Bomba compacta sumergible	31
Figura N° 5 Partes de una Bomba compacta sumergible de pozo profundo	33
Figura N° 6 Curva característica para una bomba sumergible altura manométrica vs Capacidad	39
Figura N° 7 Curva Potencia vs caudal para una bomba sumergible	40
Figura N° 8 Punto óptimo de operación de una bomba	42
Figura N° 9 Regulación de la velocidad de una bomba	43
Figura N° 10 Disposición del pozo de bombeo	46
Figura N° 11 Mantenimiento anual de reservorio típico para bombas sumergibles en zonas alto andinas.	51
Figura N° 12 Disposición de Bomba sumergible	50
Figura N° 13 Grafico Q vs H para Bomba sumergible SERIE 4SR33	56
Figura N° 14 Disposición de Bomba turbina vertical	58
Figura N° 15 Curvas características de Bomba turbina vertical GOULDS	59
Figura N° 16 Detalles del pozo de bombeo de agua	61
Figura N° 17 Comportamiento de la potencia para la bomba sumergible de 2 HP	62

## TABLAS

Tabla N° 1 Temperaturas máximas y minas en la comunidad campesina de Ccacca-Año 2,016-2,017

Tabla N° 2 Especificaciones técnicas de Bombas sumergibles	57
Tabla N° 3 Especificaciones técnicas de Bomba sumergible	58
Tabla N° 4 Especificaciones técnicas de Bomba turbina vertical	61
Tabla N° 5 Características del agua de pozo localidad de Ccacca	62
Tabla N° 6 Dimensiones comerciales de bomba sumergible vertical	67
Tabla N° 7 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión	68
Tabla N° 8 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión	68
Tabla N° 9 Parámetros relevantes para perdidas impulsión bomba sumergible	70
Tabla N°10 Parámetros relevantes para perdidas en tubería de fierro galvanizado	71
Tabla N°11 Parámetros relevantes para perdidas en tubería de PVC	71
Tabla N°12 Longitud total equivalente tren de bombeo sumergible	71
Tabla N°13 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego de tubería de impulsión-bomba sumergible	72
Tabla N° 14 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego del tren de impulsión-bomba sumergible	72
Tabla N° 15 Parámetros para la determinación de la aceleración de la onda-bomba sumergible	74
Tabla N°16 Dimensiones comerciales de bomba turbina vertical	75
Tabla N°17 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión bomba turbina vertical	76
Tabla N° 18 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión BTV	76
Tabla N° 19 Parámetros relevantes para perdidas en tren de impulsión BTV	78
Tabla N° 20 Parámetros relevantes para perdidas en tubería de PVC-BTV	78
Tabla N° 21 Longitud total equivalente tren de bombeo turbina vertical	79
Tabla N° 22 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego del tren de impulsión-BTV	79
Tabla N° 23 Parámetros para la determinación de la aceleración de la onda-BTV	81
Tabla N° 24 Corriente consumida según tipo de bombas sumergibles	84
Tabla N°25 Corriente consumida según bombas de tipo turbina vertical	85

## **RESUMEN**

Los sistemas de bombeo de pozos profundo están diseminados a lo largo de nuestro territorio cubriendo la demanda de agua de muchos peruanos. En función a la ubicación geográfica , se tiene un efecto de la presión y la temperatura, debido a la altitud sobre las instalaciones de bombeo. En la localidad de Ccacca en el departamento de Puno, ubicado a una altitud de 3,960 msnm, se presenta el requerimiento de suministro de agua con un caudal de bombeo de 0.7 l/s para una demanda diaria de 5,040 l/día.

Dos tecnologías de sistemas de bombeo se discuten en el presente informe , la tecnología de bombas sumergibles ( completamente encapsuladas y sumergidas en el pozo de agua , con la características de no tener altura de succión) y las bombas de tipo turbina vertical ( montadas exteriormente a los pozos con elevadas alturas de succión). Se determinan las alturas dinámicas totales de carga y las potencias eléctricas de los sistemas de bombeo para cada caso , así como los valores de NPSH.

Así mismo se presentan resultados para la verificación del consumo real de energía eléctrica.

Para este estudio las bombas sumergibles son técnicamente mas viables para ser instaladas en alturas de 3,960 msnm , a una presión atmosférica 0.96 Bar y -5°C , mediante una bomba de 2 HP.

**PALABRA CLAVE:** Bombas de agua sumergibles, Presión y Altitud

## ABSTRACT

The deep well pumping systems are scattered throughout our territory covering the water demand of many Peruvians. Depending on the geographical location, there is an effect of pressure and temperature, due to the altitude above the pumping facilities. In the town of Ccacca in the department of Puno, located at an altitude of 3,960 meters above sea level, the water supply requirement is presented with a pumping flow of 0.7 l / s for a daily demand of 5,040 l / day.

Two technologies of pumping systems are discussed in this report, the technology of submersible pumps (completely encapsulated and submerged in the water well, with the characteristics of having no suction height) and vertical turbine type pumps (mounted externally to the wells with high suction heights).

The total dynamic load heights and the electrical power of the pumping systems are determined for each case, as well as the NPSH values.

Likewise, results are presented for the verification of the actual consumption of electric energy.

For this study the submersible pumps are technically more viable to be installed at heights of 3,960 meters above sea level, at an atmospheric pressure of 0.96 Bar and -5 ° C, by means of a 2 HP pump.

**KEYWORD:** Submersible water pumps, Pressure and Altitude

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

## 1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las zonas rurales de países en desarrollo afrontan el problema del abastecimiento de agua, tanto en cantidad como en calidad. Dicho abastecimiento queda generalmente supeditado a las condiciones de vida de la zona. Según el Informe Anual 2,017 de OSINERGMIN referente al Sector Eléctrico, en el Perú un 24% no tienen acceso al servicio eléctrico mediante la red convencional, concentrándose este valor en las zonas de la sierra y selva , así mismo el 55% del sector rural no tienen servicio eléctrico , siendo el departamento de Piura el de mayor valor con 48%. En zonas aisladas de la red hay dos opciones para la puesta en funcionamiento del sistema de bombeo: Energías convencionales (motobombas a gasolina o diesel) y Energías Renovables (Solar o Eólica).

La topografía accidentada de la sierra , mas aun las zonas alto andinas ( sobre los 3500 msnm) hace que las comunidades rurales en el Perú sean de difícil acceso, además sus poblaciones y viviendas dispersas con bajo consumo eléctrico determina que los proyectos de electrificación sean poco rentables y por ende no tengan acceso a esta energía; por otro lado, debido al desconocimiento de otro tipo de fuente de energía, las comunidades agrícolas se ven obligadas a esperar la época de lluvia, que sucede una vez al año, para cultivar. El problema del suministro y disponibilidad de agua en la población rural de nuestro país y la región una preocupación latente y cada vez más complicado, el crecimiento demográfico desordenado del medio rural hace que el consumo de agua potable sea cada vez mayor, motivo por el cual se debe suministrar de manera adecuada y racional.

Por factores climáticos y geográficos las localidades Rurales en el departamento de Puno el suministro de sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua resulta anti económico, por lo tanto los costos de bombeo son función de los costos operativos en relación directa al precio del combustible, puesto en la localidad. Así mismo la inversión es función del costos de la instalación afectados notablemente por la temperatura (promedio 5 °C ) y la altitud o altura geodésica que afecta al desempeño del

sistema de bombeo, para lo cual las ecuaciones de continuidad y la ecuación de Bernoulli juegan un papel preponderante.

El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del agua para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garantice en todo momento que el fluido permanece en estado líquido y que no hay vaporización.

La selección de las bombas a emplear, el número de bombas, e incluso el sistema de refrigeración del sello mecánico son aspectos muy delicados que hay que estudiar meticulosamente durante el diseño de la planta o sistema de bombeo. La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire atmosférico sobre la superficie terrestre. Cuanto mayor sea la altura de la superficie terrestre respecto al nivel del mar, menor es la presión del aire. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que pudiera expresarse la variación de la densidad del aire en función de la altitud o de la presión, por lo que no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie.

Los sistemas de bombeo en las zonas alto andinas presentan otro inconveniente, el cual está relacionado a la disposición de los sistemas de bombeo, los cuales deben ir ubicados en posición vertical debido a que la fuente de agua se encuentran en pozos artesanales con profundidades entre 20 a 40 metros de profundidad, para lo cual, las bombas de agua deben estar dispuestas verticalmente y sumergidas, lo que presenta un nuevo problema adicional a la funcionalidad de los sistemas de bombeo.

Teniendo en cuenta lo enunciado se plantea el siguiente problema:

**¿CUAL ES EL EFECTO DE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA A 3,960 M.S.N.M UNA ZONA RURAL EN PUNO?**



## 1.2 ANTECEDENTES:

Se tienen los siguientes estudios que sirven como antecedente al presente informe de tesis:

En la tesis de Cutzal Muz ( 2,007) en su tesis titulada DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE POR BOMBEO PARA LA COLONIA ROMEC Y DISEÑO DEL INSTITUTO DE SAN JOSÉ CHACAYÁ, SOLOLÁ para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala concluye que en la proyección de instalación de una bomba, es necesario considerar dos tipos de altura neta de succión positiva o NPSH: la disponible, y la requerida por la bomba que será instalada; de ambas es necesario que la primera sea mayor que la segunda para evitar el fenómeno de cavitación, el cual puede dañar rápidamente la bomba. Cuando existe presión atmosférica actuando en la superficie del agua que será succionada y la presión disminuye en el ojo del impulsor de una bomba centrífuga hasta ser menor que la atmosférica, entonces inicia la elevación del agua por la tubería de succión pero si la presión disminuye hasta corresponder con la presión de vapor de agua, y se origina el fenómeno de cavitación, lo cual se puede evitar disminuyendo la altura del ojo del impulsor sobre el nivel de succión; si de esta manera persiste aún debajo de la presión de vapor de agua, entonces el nivel de la superficie de succión debe diseñarse a la misma altura del ojo del impulsor y si fuese necesario, arriba de éste.

Así mismo Auccacusi Montejo , Dany Franco (2,014) en su tesis titulada ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO ÓPTIMO DE BOMBEO EN MUSKARUMI - PUCYURA - CUSCO USANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Pontificia Universidad Católica en Perú, concluye que usando una presión o altura dinámica total de 45.7 m.c.a y teniendo en cuenta que se necesita bombear un volumen diario de 282.3 m<sup>3</sup> de agua, seleccionamos la clase de bomba que se debe utilizar en el sistema, en este caso es una bomba centrífuga sumergible de multipaso, en este tipo de bomba se puede utilizar el agua como lubricante y cuentan con motores de corriente continua de

velocidad variable o corriente alterna, además manejan altos flujos y operan a cargas dinámicas grandes.

Del mismo modo Llanqui Coila , Armando (2,013 ) , en su tesis titulada ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR Y ENERGIA A DIESEL EN LAS COMUNIDADES DE SANCAYUNI Y VILLA ORINOJON - ISLA AMANTANI para optar el título de Ingeniero en la Universidad del Altiplano de Puno, Perú, resume lo siguiente : el número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación. Por razones económicas y operativas, es conveniente adoptar un periodo de bombeo de ocho horas diarias, que serán distribuidas en el horario más ventajoso. En situaciones excepcionales se adoptará un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas. 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. 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.

Por lo consiguiente Rosas Mamani , Roberto Carlos( 2,017) en su tesis titulada DETERMINACION DE LAS VARIABLES HIDRODINAMICAS Y ENERGETICAS EN LA INTERACCION ENTRE MOTOR –BOMBA CENTRIFUGA , para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú , concluye que a través de la aplicación del Teorema de Bernoulli, se ha demostrado matemáticamente el desarrollo de las ecuaciones que determinan las alturas manométricas de succión, de descarga y total, en un sistema de bombeo común y de bomba ahogada. Los desarrollos matemáticos efectuados mostraron que la ecuación que determina la altura manométrica total es la misma para los dos tipos de sistema. Prosiguiendo con el estudio, se desarrollaron las ecuaciones de las alturas representativas de las presiones

existentes en la entrada y en la salida de la bomba, también para el sistema de bombeo común y el de bomba ahogada. A través de estas ecuaciones se ha demostrado matemáticamente que es posible determinar la altura manométrica total de un sistema de bombeo a través de instrumentos que miden presiones (vacuómetros y manómetros), instalados en la entrada y en la salida de la bomba. El dominio de este método de determinación de la altura manométrica total permite construir la curva característica de la bomba, altura manométrica en función del caudal, para el fluido que está siendo bombeado

Así mismo Rodríguez Ayala , Yover (2,013) en su Tesis titulada MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EVACUACIÓN EFICIENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - UNIDAD SAN CRISTOBAL para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Centro de Huancayo, Perú, concluye que el resultado de la potencia de una bomba es dato inicial para la seleccionar la misma, porque en el catálogo de los fabricantes y proveedores se tiene una gama de marcas y modelos. Además en el gráfico de las curvas características nos ayudan a definir la selección de la bomba. En este caso entrando al gráfico con caudal de  $612 \text{ m}^3/\text{h}$  y altura de  $72,858 \text{ m}$  se encontró un punto de intersección; el cual por su ubicación nos da información de la eficiencia de  $73,5$  y potencia de la bomba  $190 \text{ Kw}$ . La línea de tuberías también resultó eficiente porque solo llegó a presentar una sumatoria total de pérdidas de energía de  $4,897$  metros de columna de agua, comparado con los  $200$  metros de altura geodésica.

Del mismo modo Dragustinovis Ruiz, Edgar ( 2,014) , en su tesis titulada . AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN SISTEMAS DE BOMBEO -CASO DE ESTUDIO HOTELES PYMES para optar el Título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Autónoma de México, concluye que un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten almacenar temporalmente a los fluidos y los transportan a través de tuberías, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y

procesos. Para que estos requerimientos del sistema de bombeo en cuestión se conciban se debe tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos de diseño: Caudal requerido, Cabezal requerido (éste aspecto está fuertemente influenciado por las características del sistema), Fluido a bombear Y la Temperatura del fluido. Estas variables aunque son particularmente las más importantes para el diseño de un sistema de bombeo, se correlacionan con el sistema de bombeo a través de la mecánica de fluidos que conlleva a un estudio más detallado y minucioso que el de solamente considerarlas y que no es prioridad de éste trabajo.

### **1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR EN DONDE SE HA DESARROLLADO LA TESIS**

#### **a. CARACTERISTICAS FISICAS.**

La comunidad campesina de Ccacca se ubica en el Distrito de Acora, Provincia de Puno , entre las coordenadas 15°57'12" latitud sur y 69°45'11" longitud oeste. La comunidad campesina está ubicada a una altitud de 3,960 m.s.n.m .Presenta los siguientes límites:

Por el norte: Localidad de Pallalla

Por el sur: localidad de Chancahi

Por el este: Localidad de Santa Rosa Llascaque

Por el oeste: Localidad de Acora.

#### **b. CLIMA Y TEMPERATURA:**

El clima en la zona es frio y templado. En la zona alto andina y cordillera predomina un clima frio intenso y seco, y en la zona del lago Cccacca se tiene un clima húmedo frio , presentando zonas micro climáticas muy favorables para el desarrollo de las actividades agrícolas semi-intensiva y actividad pecuaria complementaria.

La temperatura ambiental oscila entre los 15.23°C y los -1.81 °C ,con un promedio anual de 8.67 °C.

Tabla N° 1 Temperaturas máximas y minas en la comunidad campesina de  
Ccacca-Año 2,016-2,017

Mes	Temperatura Maxima(°)	Temperatura mínima(°C)
Noviembre-2,016	15.23	4.75
Diciembre-2,016	15.11	4.75
Enero-2,017	14.52	4.85
Febrero -2,017	13.82	5.02
Marzo-2,017	13.82	4.89
Abril-2,017	14.18	3.71
Mayo-2,017	13.99	-0.54
Junio-2,017	13.67	-0.66
Julio-2,017	14.29	-1.81
Agosto-2,017	14.85	-0.24
Setiembre-2,017	15.76	1.71
Octubre-2,017	16.96	3.63
Promedio	14.85	2.50
Promedio anual	8.67	

Fuente: Estación Meteorológica RINCON DE LA CRUZ-ACORA SENAMHI PUNO

**c. HIDROLOGICA:**

La precipitación anual del distrito de Acora es de 1,042 mm , la cual presenta un régimen pluvial irregular con dos periodos bien definidos, el húmedo que ocurre entre diciembre y abril , siendo el mes de febrero el mas lluvioso y el periodo seco es entre los meses de mayo a noviembre.

#### **d. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA:**

- **FORMACION GEOLOGICA.**

La zona a ubicar las estaciones de bombeo cercanas a la comunidad de Ccacca, se encuentra ubicado en las laderas de los cerros, con algunas afloraciones rocosas, que son parte de la cadena montañosa que atraviesa gran parte del distrito de Acora, con una topografía con pendientes suaves y una escasa planicie altiplánica donde se encuentra la mayor parte de la población.

- **GEOMORFOLOGIA.**

En el área de estudio se han definido dos unidades morfológicas claramente diferenciadas: la cadena montañosa y el altiplano, zona con escasa planicie lomadas y elevaciones pequeñas, que son la características en todo el distrito de Acora.

En los cerros circundantes y laderas aflora las rocas como boloneria , en las laderas con pendiente suave se visualiza depósitos aluviales, como prolongaciones y resultantes de la erosion fluvial y acarreo en medio fluido. Los depósitos de esta naturaleza son muy notorios en la zona de estudio, la planicie es conformada en su mayor parte por suelo fino conformado por limo arenoso y arcilla con escasa presencia de grava.

- **ESTRATOGRAFIA.**

Las zonas designadas para las estaciones de bombeo cercanas a la localidad de Ccacca se encuentra ubicada en laderas con pendientes suaves cuyo suelo presenta afloraciones rocosa y boloneria, en las laderas como el pie de los taludes de los cerros y en las zonas planas la presencia de arcillas , limos, suelos orgánicos y turbas , no habiendo presencia de nivel freático y ausencia de bofedales.

Según registro de calicatas realizadas y evaluación de cortes de las quebradas no se registra freático a una profundidad de 4.50 metros.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La justificación es la siguiente:

La determinación de las condiciones de funcionamiento de un sistema de bombeo bajo las condiciones climáticas y geográficas de la comunidad de Ccacca permitirá un mejor dimensionamiento de los sistemas de bombeo en las zonas alto andinas, carentes de agua en su mayoría. Permite conocer las características del sistema motriz que se adapta a las condiciones de operación (básicamente de presión y temperatura), así mismo permitiendo optimizar el consumo de energía eléctrica generado por grupos electrógenos asociados a los sistemas de bombeo de agua desde pozos a alturas entre 20 a 40 metros de profundidad.

Con esto ,los proyectos de saneamiento y agua potable tendrán una mejor opción técnica en su disposición y confiabilidad en el suministro de agua.

En la Comunidad campesina de Ccacca, las viviendas no cuentan con unidad básica de saneamiento sanitario y agua potable. Con Lo cual, el buen funcionamiento del sistema de bombeo permite mejorar la calidad de vida de los pobladores

#### **1.4 HIPÓTESIS**

Se plantea la siguiente hipótesis: LA PRESION Y LA TEMPERATURA SON LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO QUE TIENEN UN EFECTO PREPONDERANTE EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA A 3,960 MSNM EN UNA ZONA RURAL EN PUNO.

#### **1.5 OBJETIVOS:**

##### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de los parámetros de funcionamiento en el dimensionamiento del sistema de bombeo de agua en una zona rural en Puno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la altura dinámica total en un sistema de bombeo con bombas sumergibles.
- Determinar la altura dinámica total en un sistema de bombeo con bombas de tipo turbina vertical
- Determinar los valores NPSH requerido para los sistemas de bombeo para pozos profundos.
- Determinar los efectos de la presión y temperatura en el dimensionamiento del sistema de bombeo a 3,960 msnm.



# **CAPITULO II**

## **MARCO TEORICO**

## **2.1 BOMBAS HIDRAULICAS.**

### **2.1.1 GENERALIDADES**

Una bomba hidráulica es una máquina que sirve como medio para el transporte de un fluido al convertir energía mecánica en energía fluida o hidráulica, es decir las bombas agregan energía al fluido. (Rodríguez Ayala, 2014)

Una bomba es una turbomáquina generada para líquidos. La bomba absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas se emplean para bombear toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.). También para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, cemento, melazas, desperdicios, etc. (Mataix, 2014)

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática. (Rodríguez Ayala ,2014)

Una bomba hidráulica es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a un fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía. La rotación del impulsor en el interior de la bomba crea un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada del fluido en la bomba; dentro de la bomba se incrementa la velocidad del fluido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor o en la voluta de la bomba transformando la energía cinética en energía de presión al reducirse la velocidad del líquido. (Ramírez Pozo,2012)

Las bombas se clasifican según la siguiente figura:

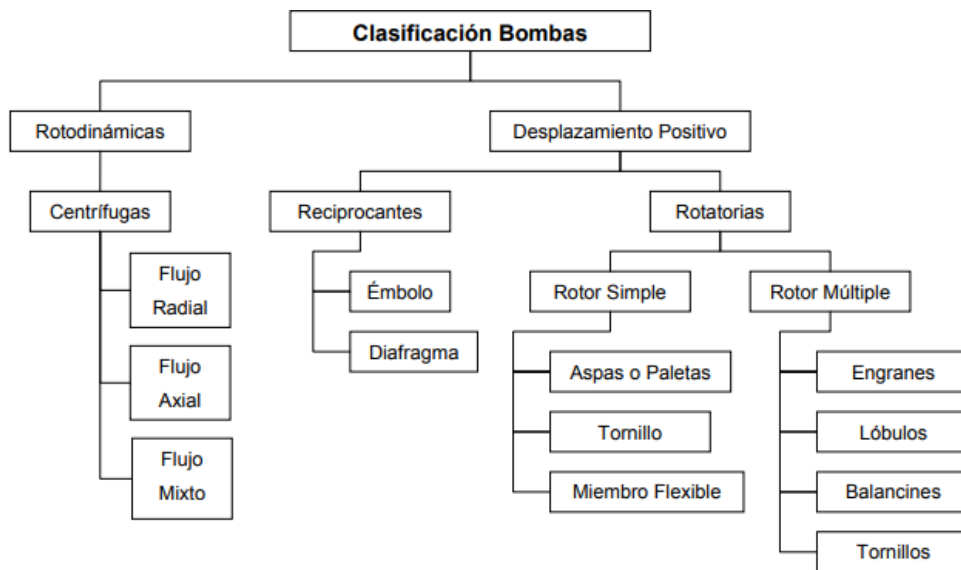


Figura N° 1 Clasificación de las bombas

Fuente: Turbomaquinas (Mataix,2014)

## 2.1.2 CLASIFICACION

### a. SEGÚN EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

- **BOMBAS ROTODINAMICAS:**

Las bombas centrífugas son turbomáquinas de tipo radial y se utiliza para producir una ganancia en carga estática en un fluido, imprimiendo una energía a un fluido procedente de una energía mecánica que se ha puesto en su eje por medio de un motor, impulsando el fluido a través de una tubería de descarga.(Diaz Chavez,2013)

La bomba está constituida por partes principales: un elemento giratorio llamado rodete o impulsor, el mismo que está conformado por un grupo de alabes donde se da la transferencia de energía y un elemento estacionario llamada cubierta o carcasa la cual forma un todo con la voluta o difusor que tiene forma cónica.En este tipo de bombas se aumenta la energía cinética del líquido mediante un rodete giratorio, que todavía en el interior de la bomba se transforma en energía de presión. En ellas el líquido sí puede circular libremente a su través, pues recibe la energía por acción de giro que le comunica un disco giratorio a gran velocidad, sin necesidad de ser confinado en espacios interiores. En las bombas centrífugas, el líquido es introducido por el centro del rodete, y este se desplaza dentro del mismo en dirección radial al eje de giro del rodete. (Martin y Salcedo,2011)

Como se ha mencionado, están formadas por un disco rotatorio denominado rodete, provisto de unas nervaduras o álabes dispuestos, que gira a gran velocidad dentro de una carcasa metálica (1500-3000 r.p.m.). El giro es proporcionado por un motor eléctrico, que va acoplado al eje de giro del rodete. El líquido entra a la bomba por el eje hueco del rodete, aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen sus álabes al girar. A continuación, este líquido es proyectado radialmente a lo largo de los álabes por la acción de la fuerza centrífuga, aumentando considerablemente su energía cinética. A la salida del rodete, esta energía cinética adquirida se transforma en energía de presión, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli, a costa de un ensanchamiento paulatino de la sección de paso. Este ensanchamiento progresivo se puede conseguir dándole a la carcasa una forma de espiral, denominada voluta, o mediante otra pieza dotada de álabes, fija, denominada difusor, muy utilizado en bombas más complejas de etapas múltiples. (Martin y Salcedo,2011)

Los rodetes pueden ser cerrados, semiabiertos, abiertos o de flujo mezclado. Los primeros están formados por dos discos paralelos, entre los que se encuentran los álabes soldados a sus caras; los rodetes semiabiertos constan de un solo disco con los álabes en una de sus caras; los rodetes abiertos están formados por los álabes y el soporte imprescindible para su sujeción, y los de flujo mezclado disponen de unos álabes especiales que proporcionan además del flujo radial, un flujo axial (bombas helicocentrífugas). Los rodetes cerrados son los más corrientes y se utilizan para líquidos poco viscosos y sin sólidos en suspensión. A su vez los rodetes abiertos son los más indicados cuando se ha de bombear un líquido con sólidos abrasivos en suspensión. En cuanto a la aspiración de la bomba centrífuga, ésta puede ser sencilla o doble, según que se produzca por una de las caras del rodete o por las dos, respectivamente. (Martin y Salcedo,2011)

A las bombas centrífugas que constan de más de un rodete se denomina a cada rodete como etapa de la bomba. Las etapas están conectadas en serie de manera que la descarga de una etapa entra en la succión de la siguiente etapa y la descarga de esta entra en la succión de la siguiente. En cada una de las etapas se incrementa una cierta cantidad de energía, siendo la energía total la sumatoria de los incrementos de las energías de todas las etapas. (Diaz Chavez,2013)

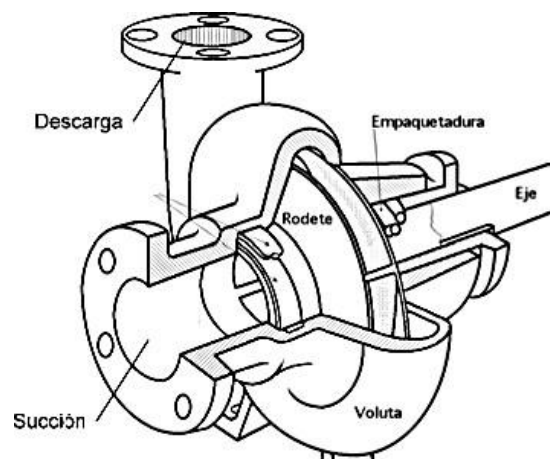


Figura N° 2 Bomba centrífuga convencional

Fuente: Arias Cáceres (Texto : Maquinas Hidraulicas,2010)

- **BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO:**

En este tipo maquinas, el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane o un aspa, y la carcasa o el cilindro; de manera que mueva un volumen fijo por revolución excepto por las fugas entre las partes que confinan al fluido. En las bombas de desplazamiento positivo el intercambio de energía de fluido se efectúa siempre con variación de presión, mientras que en las bombas fotodinámicas se realiza con intercambio de energía cinética. En una bomba de desplazamiento positivo, el gasto teórico no depende de la carga del sistema sino que del desplazamiento y de la velocidad. Además, prácticamente la única restricción en la presión que puede alcanzar este tipo de bombas es la robustez de sus componentes. (Pineda Campos, 2009)

**b. SEGÚN SU UBICACIÓN:**

- **BOMBAS VERTICALES:**

Son la denominación dada a aquellas bombas ubicadas verticalmente , se clasifican en sumergidas y no sumergidas .Entre las bombas sumergidas, las más importantes son las llamadas de pozo profundo, de sondeo o vertical tipo turbina, que fueron desarrolladas para la explotación de pozos, perforaciones y sondeos de diámetro reducido. Esta circunstancia limita forzosamente la altura por etapa, lo que conduce al concepto de bombas multicelulares para reducir el espacio. El impulsor de aspiración simple, puede

ser radial o diagonal, según las condiciones de servicio y su construcción cerrada o semi abierta. Los impulsores semi abiertos requieren un ajuste vertical más cuidadoso durante el montaje. (Rojas Pérez, 2017)

Las bombas de agua sumergidas, tienen el cuerpo de impulsión sumergido totalmente en el agua, el motor que transmite potencia se encuentra en el exterior del pozo, en la mayor parte de los casos. La transmisión de potencia se hace mediante un eje o una flecha que une a ambos elementos y esta ubicada dentro del mismo tubo de succión de agua. Una de las ventajas fundamentales de este tipo de bombas es la facilidad de acoplar cualquier sistema de accionamiento motor por lo mismo que se encuentra al extremo del eje de transmisión de potencia de la bomba se encuentra en el exterior del pozo. Para este tipo de sistema se encuentran las siguientes desventajas:

- El eje demanda una frecuente revisión, en especial si existe desalajo de arena fina o fango.
- En caso de que el nivel de agua disminuya , la prolongación del eje de transmisión de potencia es de cierto grado de complejidad para dar una mayor profundidad.
- La profundidad de extracción de agua esta limitada por las posibilidades mecánicas del eje de transmisión. (Rojas Pérez, 2017)

Una bomba sumergible es una bomba que puede ser totalmente sumergida en agua. El motor se cierra herméticamente y se acopla con el cuerpo de la bomba. Una bomba sumergible empuja el agua a la superficie convirtiendo la energía rotatoria en energía cinética y energía de presión. Esto se hace por el agua que se tira en la bomba: primero en la toma, donde la rotación del impulsor empuja el agua a través del difusor. De allí, va a la superficie. .(Portal bombas de agua [www.bombasdaagua.es](http://www.bombasdaagua.es) ,2018)

- **BOMBAS SUMERGIDAS CON MOTOR ELECTRICO DIRETAMENTE ACOPLADO.**

La seguridad obtenida actualmente para la construcción de motores y cables que pueden operar totalmente sumergidos en agua , ha logrado la comercialización de dichas bombas para pozos que puedan alcanzar a cubrir las necesidades de cierta forma que es más simple y segura. Su única limitación aparente es que el motor tiene que ser necesariamente eléctrico, ya que se encuentra acoplado al cuerpo de impulsores en la parte más profunda del pozo. La bomba se encuentra sumergida al nivel mas

conveniente del diseño y el tubo de descarga y conducción del agua es al mismo tiempo el elemento mecánico de sujeción y que se une con el exterior. Si el nivel del agua baja, de forma que el nivel de la boca de aspiración de la bomba quede descubierta simplemente se añade algunos tramos mas de tubería comercial por la parte de arriba, haciendo descender rápidamente la posición del equipo a un nivel mas profundo.(Espinoza Palma,2012)

Las bombas sumergibles son máquinas capaces de impulsar líquidos estando sumergidas en agua o en cualquier líquido, incluso a grandes profundidades. Se caracterizan por ser la unión del cuerpo de la bomba y el motor. Ambos son sumergidos juntos, ya que están dentro de la misma estructura. A diferencia de otros tipos de bombas, las sumergibles no dependen de la presión del aire que las rodea, así que pueden impulsar los líquidos a alturas considerables. En términos generales, el funcionamiento de las bombas sumergibles es igual al del resto de las bombas, ya que también pueden convertir la energía mecánica en energía hidráulica. La diferencia es que aquí el motor está sumergido y se acopla directamente a la flecha de la bomba.(Quiminet,2012)

Tanto el motor como la flecha están sellados herméticamente. Esta situación podría provocar la elevación en la temperatura de la bomba. Para solucionar este inconveniente, el propio líquido que fluye por la bomba funciona como enfriador. Para llevar a cabo sus funciones, las bombas sumergibles cuentan con un cuerpo interno formado por difusores e impulsores que pueden fabricarse con acero o termoplásticos. Tanto los difusores como los impulsores serán los encargados de aplicar la presión al líquido y, con esto, conseguir su elevación. (Quiminet,2012)

La sencillez de realizar un montaje sin transmisiones mecánicas permite la instalación prácticamente sin limitación a mayores profundidades. El motor eta directamente acoplado a los impulsores por medio de una flecha que transmite potencia inmediatamente sin tener tantas perdidas por potencia a comparación de las bombas de eje vertical. Este ensamblaje compacto esta suspendido desde la superficie por medio de cualquier sistema de sujeción el cual está soportando todo el peso del sistema que sería el caso de la tubería de descarga, la bomba y el motor. El cable de suministro de energía que cuenta tiene un aislamiento a prueba de agua tanto en el forro de los cables como a la entrada del motor para evitar filtraciones de agua y provocar cualquier avería. Generalmente el cable sumergido con el que viene la bomba es solo un tramo de unos

cuantos metros ,puede ser desde 20 a 40 metros o un poco más , y está limitado por los niveles de agua tanto desde el punto de carga dinámica como el punto estático. (Espinoza Palma,2012)

Una bomba de agua sumergible tiene un impulsor sellado a la carcasa, y se sumerge en el propio líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede ofrecer una fuerza de elevación significativa, ya que no depende de la presión de aire externa para hacer que suba el líquido. La bomba de agua sumergible es una electrobomba, y se usa principalmente para extraer agua de pozos, reservorios, fuentes o cisternas a profundidades de hasta más de 30 metros. Para su conservación, están diseñadas con una carcasa especial que las protege de la oxidación y corrosión, y para funcionar no dependen de la presión del aire para impulsar el líquido, ya que pueden transportarlo a mayores distancias al estar sumergidas.(Bextox,2017)

Las ventajas de contar con un sistema de bombeo de este tipo son las siguientes:

- Fácil instalación: la bomba esta acoplada directamente con el motor sumergible, al momento de la instalación se ensambla todo en partes y se va descendiendo conforme se va llegando al armado, la unión de los tubos puede ser por bridas o por roscas y acoplamientos mecánicos entre cada sección del tubo a insertar en el pozo.
- Eficiencia: a través de la eliminación de la flecha de transmisión de potencia y los rodamientos por lo menos se está eliminando el 50 % de las partes móviles de la bomba (generado por la fricción de la flecha de transmisión) , además se elimina la obstrucción que se hace con el sistema de flecha larga para la entrega de agua o de cualquier líquido a través de la tubería.
- No requiere caseta o guardamotor, dado que el sistema se encuentra debajo de la tierra. El sistema de arranque es el único que podría necesitar una pequeña caseta si se desea. No se requieren hacer ajustes en campo , en este caso no es necesario ya que el equipo es compacto y ya viene ajustado y calibrado , tan solo para su instalación. (Espinoza Palma,2012)



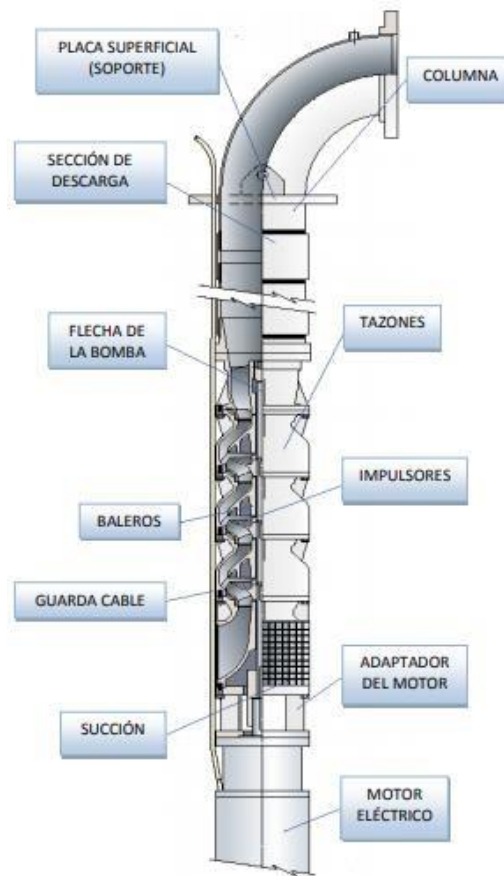


Figura N° 3 Bombas compactas sumergibles

Fuente: Sulzer Pumps(2018)

Una bomba sumergible no succiona el agua, sino que la empuja hacia arriba y, puesto que esta acción requiere menos energía, por lo general es más eficiente para usar en pozos profundos. Tiene un solo tubo procedente del pozo que puede conectarse o no a un tanque de almacenamiento. Este tipo de bomba se instala en las proximidades del fondo del pozo y bombea agua solo cuando se necesita. Precisamente por estar permanentemente sumergida en el agua, esta bomba es autocebante y no susceptible al problema de cavitación, común en las bombas de chorro. Una bomba sumergible colocada en agua de bajo sedimento puede llegar a los 15 años, aunque la presencia de mayor cantidad de sedimento puede acortar ese período. (Portal maquinas y Herramientas,2014)

- **BOMBAS HORIZONTALES :**

Las bombas centrífugas con el eje de giro horizontal tienen el motor a la misma altura. Éste tipo de bombas se utiliza para el funcionamiento en seco. El líquido llega siempre a la bomba por medio de una tubería de aspiración. Como no son auto aspirantes

requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en carga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (aspiración), y los distintos sistemas de cebado.(Díaz Chavez,2013)

### **2.1.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA SUMERGIBLE:**

Un bomba sumergible es un sistema que incluye un número de rodetes giratorios que se instalan en serie para aumentar la presión. La energía que se usa para girar la bomba se obtiene de una red eléctrica de baja tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 °C. En la mayoría de los usos se utilizan motores asíncronos de corriente alterna que accionan una bomba centrífuga radial, que puede ser de varias etapas conectadas en serie. Las bombas sumergibles pueden trabajar también con tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito. Sin embargo, para funcionar tienen que estar cebadas con agua, de forma que la columna de agua comunique la bomba con el depósito. La tubería de aspiración no puede ser excesivamente alta para que no disminuya excesivamente la presión en la bomba y evitar su cavitación. (Bextox,2017)

El líquido bombeado, como circula alrededor del motor, también se encarga de refrigerarlo. Además, si la bomba está situada fuera del depósito, hay la posibilidad de que se produzcan fugas de gasolina y pueda causar un incendio. De hecho, algunos tipos de bomba no están preparados para ciertas aplicaciones, como el bombeo de agua caliente o líquidos inflamables. (Bextox,2017)

La principal ventaja de una bomba sumergible es que nunca tiene que ser cebada, porque ya está sumergida en el fluido. Las bombas sumergibles también son muy eficientes porque realmente no tienen que gastar mucha energía en movimiento de agua. La presión del agua empuja el agua hacia una bomba sumergible, ahorrando así una gran parte de la energía de la bomba. Además, aunque las bombas en sí no son versátiles, la selección sí lo es. Algunas bombas sumergibles pueden manejar fácilmente sólidos, mientras que algunas son mejores sólo para líquidos. Las bombas sumergibles son silenciosas, porque están bajo el agua, y la cavitación nunca es un problema.(Portal bombas de agua [www.bombasdaagua.es](http://www.bombasdaagua.es) ,2018)

Hay algunas desventajas con este tipo de bombas. Los sellos pueden corroerse con el tiempo. Cuando eso sucede, el agua se filtra en el motor, haciéndolo inútil hasta que se repare. Además, ese sello hace que la bomba sumergible sea un poco difícil de conseguir para las reparaciones. La otra desventaja principal es que este tipo de bombas no encaja en todos los usos. Las bombas de una sola etapa se utilizan para la mayoría de los bombeos industriales caseros y ligeros. Esto incluye filtros de acuario, bombeo de aguas residuales, o bombas de sumidero para drenaje. Las bombas de múltiples etapas se utilizan para cualquier cosa subterránea, como pozos de agua o pozos de petróleo. Además, pueden trabajar con líquidos finos como el agua, o gruesos como aguas residuales. Se debe tener cuidado con las bombas sumergibles; Deben estar completamente sumergidas. El agua alrededor de una bomba sumergible realmente ayuda a enfriar el motor. Si se utiliza fuera del agua, puede sobrecalentarse. Portal bombas de agua [www.bombasdaagua.es](http://www.bombasdaagua.es) ,2018)

#### **2.1.4 COMPONENTES DE UNA BOMBA SUMERGIBLE.**

La bomba sumergible es un artefacto que funcionan hundidas debajo del líquido a bombear ya que esta permite crear una fuerza de salida, son muy utilizadas para bombear agua de las piscinas, pozos o depósito; se puede instalar de manera fija. Esta bomba es muy fácil de usar ya que solo se debe colocar debajo del agua lo más profundo que se pueda quedando por fuera solo el cable y la tubería de evacuación, esta bomba tiene un tamaño pequeño y muy flexible, la bomba sumergible es más económica que otro tipo de bombas. (Dakxim, 2018)

Por lo general este tipo de bomba es mayormente utiliza para el drenaje tanto de aguas residuales, el bombeo de mezclas y el bombeo industrial en general se tiene que tener presente que para que esta bomba funcione correctamente es necesario que sus partes estén en buen estado.

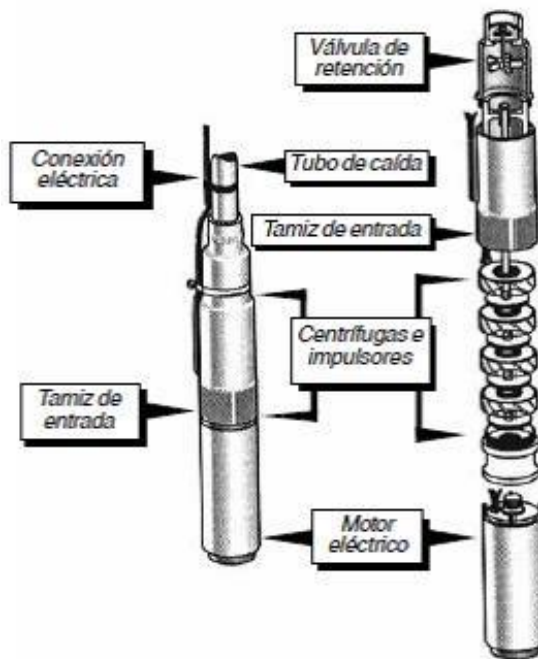


Figura N° 4 Partes de una Bomba compacta sumergible

Fuente: Franklin Electric, 2012

- **Motor:** este se encuentra sellado para evitar que el líquido entre en la parte eléctrica y cause un corto circuito, por lo general este motor suele ser asíncronos de corriente alterna monofásicos..
- **Adaptador de acoplamiento:** este tiene como función la conexión de una parte con la otra.
- **Cable de alimentación:** estos son de gran resistencia, un alto grado de flexibilidad y una fácil instalación. Su función es alimentar los motores eléctricos, cuenta con conductores de cobre electrolítico con un temple suave y con un aislamiento individual de polietileno que se encuentran reunidos en paralelos y están identificados en colores negro, rojo y amarillo (Dakxim, 2018)

Las bombas incluyen rodamientos, impulsores (o paletas rotativas), motores eléctricos, rodamientos del motor, válvulas e interruptores de control. De estos, hay una serie de componentes, tanto de la bomba como adicionales, en los que tenemos que prestar especial atención en cuanto a su presencia y calidad. Tenemos los principales.

- **Válvula de pie y válvula de retención:** las bombas se ceban más rápido si la línea de succión incorpora una válvula de pie y una válvula de retención. Estas posibilitan la regulación del caudal y, por lo tanto, del consumo del motor,

evitando así la sobrecarga. Ambas válvulas permiten el flujo en una sola dirección hacia la bomba y mantienen el agua dentro de la línea de succión, reteniendo el cebado para el próximo ciclo de la bomba. La válvula de pie viene con filtro y brida en un extremo, mientras que las válvulas de retención vienen con brida en ambos extremos, lo que permite su ubicación dentro de la línea. (Portal máquinas y Herramientas,2014)

- Conos difusores: es recomendable que la longitud del cono difusor excéntrico situado en la aspiración sea siete veces la diferencia de sección, o diámetro, entre los orificios interiores de la tubería de aspiración y la boca de entrada de la bomba. En cuanto a la longitud del cono difusor concéntrico situado en la impulsión, es conveniente que sea siete veces la diferencia de sección, o diámetro, entre los orificios interiores de la tubería de impulsión o descarga y el orificio de salida del cuerpo de la bomba. (Portal máquinas y Herramientas,2014)
- Interruptor de presión: este componente abre y cierra automáticamente el paso de agua, dependiendo de la configuración de presión. Cuando la presión alcanza un valor entre 2,5 y 4 bares, el interruptor de presión apaga la bomba. Cuando la presión disminuye gradualmente debido al uso del agua, el interruptor de presión enciende nuevamente la bomba, repitiendo el ciclo. Si la bomba no se apaga, podría indicar un problema con la configuración del interruptor de presión. Una bomba tampoco se apagará si el agua de pozo está demasiado baja o si hay una pérdida en la tubería. (Portal máquinas y Herramientas,2014)
- Relé de arranque: los interruptores de flotador, los temporizadores de 24 horas y los controladores son dispositivos de uso común que envían una señal para arrancar la bomba, la cual es recibida por el relé de arranque. Este relé debe ser específico para el voltaje de la bobina, de acuerdo con el dispositivo de señal, permitiendo el cierre de un contactor y el flujo de electricidad entre la fuente de energía y el motor de la bomba. (Portal máquinas y Herramientas,2014)

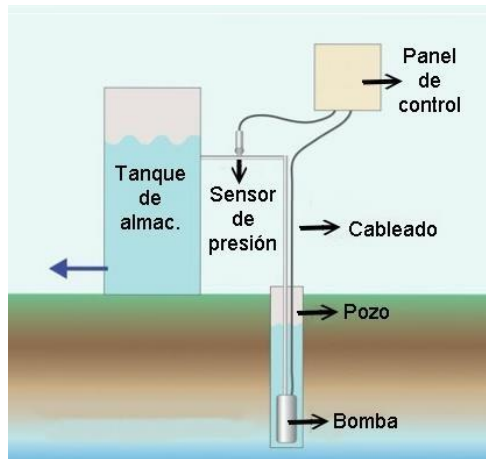


Figura N° 5 Partes de una Bomba compacta sumergible de pozo profundo

Fuente: Portal máquinas y Herramientas,2014

## 2.2 PARAMETROS DE OPERACIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

### 2.2.1 CAUDAL.

#### a. CAUDAL DE BOMBEO.

Cuando el sistema exige ser diseñado por bombeo, se requiere considerar un caudal de bombeo suficiente para abastecer el consumo máximo diario en un determinado período de bombeo. Para determinar el caudal de bombeo es importante definir antes el período de bombeo, el cual se obtiene en función del caudal que proporciona la fuente; en este caso se determina por medio del que se necesita para abastecer a todas las viviendas en este proyecto. Dicho período afecta directamente el diámetro de la tubería de descarga, la potencia de la bomba y las dimensiones del tanque de alimentación. Se recomienda que el período de bombeo sea de 8 a 12 hrs. (Cutzal Muz,2007)

### 2.2.2 PARAMETROS DE OPERACIÓN.

#### b. CARGA NETA DE SUCCION POSITIVA:

La bomba centrífuga necesita una presión positiva para que el agua fluya hacia el impulsor. Si se diera una presión negativa el agua fluiría de la entrada de succión (hacia afuera) en vez de hacia ella (hacia adentro). Por eso decimos que se requiere una presión de succión positiva para operar la bomba NPSHR (Net Positive Suction Head Required). La carga neta de succión positiva requerida, es la cantidad de presión positiva que se necesita para que la bomba opere sin cavitación. NPSHA (Net Positive Suction Head Available) Es la carga neta de succión positiva disponible. NPSHR nos indica lo que necesitamos. NPSHA es el cálculo de la presión de succión disponible. Si esta es mayor

que la requerida, el sistema no cavitará. NPSHA es la suma de todas las presiones positivas, tales como la presión atmosférica o la elevación del agua sobre la entrada de la bomba, menos las presiones negativas, tales como la de succión, pérdida por fricción y los requerimientos de presión de vapor causados por una temperatura elevada del líquido(Ortega Zelada,2005)

La presión existente en el interior de una bomba varía desde la entrada en el lado de aspiración a la conexión de descarga en el lado de descarga. En la primera parte de la bomba, la presión disminuye antes de aumentar en el lado de la descarga a un valor superior a la de la presión de admisión. (Grundfos,2017)

La diferencia que existe entre la presión de entrada y el nivel inferior de presión dentro de la bomba se denomina NPSH: Altura de aspiración positiva neta. Por lo tanto, NPSH es una expresión de la pérdida de presión que tiene lugar en el interior de la primera parte de la carcasa de la bomba. El valor de NPSH se muestra en la figura de la derecha. Si la presión de entrada es demasiado pequeña, la NPSH hará que la presión existente en el interior de la bomba disminuya por debajo de la presión de evaporación del líquido bombeado. Como consecuencia, en la bomba se produce el efecto denominado cavitación, provocando ruido y produciendo roturas. La NPSHR (altura de aspiración positiva neta requerida) se indica en la documentación de todas las bombas. NPSHR indica el menor valor de la presión en la entrada que la bomba especificada necesita para un caudal dado para evitar el efecto de la cavitación.(Grundfos,2017)

El NPSH disponible es función del sistema de succión de la bomba, se calcula en metros de agua, mediante la siguiente fórmula:

$$NPSH_{disponible} = H_{atm} - (H_v + H_s + \Delta H_p) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$NPSH_{disponible}$  = Carga neta de succión positiva

$H_{atm}$  = Presión atmosférica en unidades de columna de agua

$H_{vap}$  = Presión de vapor

$H_s$  = Carga estática de succión

$\Delta H_p$  = Pérdidas de carga primarias y secundarias

Para el cálculo del NPSH se debe fijar un nivel de referencia con respecto a la bomba. En las bombas que trabajan horizontalmente (eje horizontal) el plano de referencia se localiza a través del centro del eje y en las bombas verticales (eje vertical) a través del plano que atraviesa la parte mas inferior de los alabes del impulsor, en caso de tener mas de un impulsor se considerara la ubicación del inferior . Otras 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. (Organización panamericana de salud, 2012)

### **c. CAVITACION:**

La cavitación es una condición destructiva que puede reducir significativamente el rendimiento de la bomba y dañar seriamente los componentes. Es una condición predecible y en la mayoría de los casos evitable. Toda materia puede existir en tres formas: como sólido, como un líquido, o como un gas. El agua se puede ver en forma de hielo, líquida y como vapor de agua, que comúnmente conocemos como vapor. Los factores que determinan el estado del agua son la temperatura y la presión El agua hervirá a una temperatura alta si se aplica más presión a su superficie. Reducir de forma conversa la presión externa reducirá el punto de ebullición. La cavitación ocurre cuando la presión sobre un líquido es reducida a un valor menor que su presión de vapor, y este se transforma de su forma líquida a vapor. Pequeñas bolsas de este aparecen como burbujas diminutas (que no son burbujas de aire, ni están asociadas con fugas en la bomba o en la tubería), que se convierten de nuevo a líquido al incrementar la presión. En una bomba centrífuga esto sucede en los alabes del impulsor, normalmente a  $\frac{1}{4}$  de distancia del eje. Este cambio físico suelta la energía absorbida al formar las bolsas de vapor causando una "implosión", que es lo opuesto de una explosión. (Ortega Zelada,2005)

La cavitación es un fenómeno muy común, pero es el menos comprendido de todos los problemas de bombeo. Tiene distintos significados para diferentes personas. Algunos la definen como el ruido de golpeteo o traqueteo que se produce en una bomba. Otros la llaman "patinaje" debido a que la presión de la bomba decrece y el caudal se torna errático. Cuando se produce cavitación, la bomba no solamente no cumple con su servicio básico de bombear un líquido sino que también experimenta daños internos, fallas de los sellos, rodamientos, etc. En resumen, la cavitación es una condición



anormal que puede producir pérdidas de producción, daños al equipo y lo peor de todo, lesiones al personal.(Rodríguez Ayala,)

Para que una bomba centrífuga produzca cavitación deben existir las siguientes condiciones:

- Un aumento en la altura de succión estática.
- Una reducción en la presión atmosférica causada por un aumento en la elevación.
- Un aumento en la temperatura del líquido que se está bombeando.
- Un cambio en el patrón del flujo del líquido causado por una obstrucción o un giro.

La cavitación no es incorregible. Si se presenta, se pueden tomar medidas correctivas para eliminar el problema:

- Aumentar el tamaño de la tubería de succión.
- Reducir el largo total de dicha tubería.
- Reducir la altura de succión estática, colocar la bomba más cerca de la fuente. Eliminar giros en la tubería, especialmente los que se encuentran justamente alrededor de la conexión de succión de la bomba.
- Reemplazar la bomba. (Ortega Zelada,2005)

#### **d. CARGA DE BOMBEO:**

La carga de una bomba es la distancia a la que puede elevar un líquido y se mide en metros de columna del líquido bombeado. La carga necesaria para vencer las pérdidas que se producen en las conducciones de un sistema a un caudal dado es la altura del sistema.

- **CARGA ESTÁTICA O GEODESICA:**

Es la diferencia entre las cotas de los niveles del líquido en la descarga y aspiración. ( $H_e$ )

Carga geométrica de aspiración ( $z_s$ ): Es la diferencia de cotas existentes entre el nivel del líquido en la aspiración y el eje del rodete de la bomba. Las bombas sumergidas para sistemas de bombeo se suelen instalar con elevada altura estática de aspiración positiva y para lo cual no es necesario incluir un dispositivo de cebado que podría obturarse por los sólidos presentes sedimentados en los pozos de captación.

Carga estática de elevación ( $z_d$ ): Es la diferencia de cotas existente entre el nivel del líquido en la descarga y el eje del rodete de la bomba. (Basurto Hernández, 2012)

$$H_s = z_d \pm z_s + \frac{P_d - P_s}{\gamma} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$P_d$  = Presión en el punto de descarga

$P_s$  = Presión en el punto de succión

$\gamma$  = Peso específico

- **CARGA DINAMICA:**

Es la energía cinética contenida en el líquido bombeado en cualquier punto del sistema y se expresa de la siguiente manera:

$$H_v = \frac{v^2}{2 * g} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

$v^2$  = velocidad del fluido en el punto de descarga

$g$  = aceleración de la gravedad

- **PERDIDAS DE CARGA:**

La carga de una bomba o de un sistema de bombeo debe ser suficiente para vencer las pérdidas que se producen en la tubería, ya sean debidas a la fricción del flujo con las paredes de la conducción o por los accesorios y dispositivos con los que cuenta un sistema de este tipo, denominando estas últimas como pérdidas locales o singulares. Las pérdidas de carga locales serán consideradas en el análisis del tramo de aspiración y de impulsión como una fracción de la carga de velocidad. Las pérdidas por fricción en ambos tramos se pueden calcular mediante la fórmula de Darcy-Weisbach o la de Hazen-Williams. (Basurto Hernández, 2012)

**e. CARGA MANOMETRICA TOTAL**

La carga manométrica total es aquella contra la que trabaja la bomba durante su funcionamiento. Se determina considerando la carga geométrica de aspiración y 9 elevación, las pérdidas por fricción y las pérdidas locales. Para la determinación de la carga manométrica total podemos hacer uso de la siguiente ecuación :

$$H_T = H_d - H_s + \frac{v_d^2}{g} - \frac{v_s^2}{g} \dots \dots \dots (3)$$

#### f. EFICIENCIA:

La eficiencia de una bomba se determina en base al caudal que descarga contra una carga dada y con un rendimiento determinado. La eficiencia de la bomba se puede expresar como el cociente entre la potencia útil y la absorbida por la bomba. La eficiencia de las bombas puede verse afectada por tres tipos de pérdidas que se presentan en el interior de una bomba; las pérdidas volumétricas se deben a la existencia de fugas entre la carcasa y el rotor, las pérdidas mecánicas son originadas por fricciones mecánicas en los empaques, cojinetes, discos internos y esfuerzos cortantes creados por el líquido, y las pérdidas por fricción producidas por el flujo. Estas pérdidas pueden disminuir hasta en un 40% la eficiencia de las bombas. (Basurto Hernández, 2012)

$$\eta = \frac{\rho * g * Q * H_T}{P_s} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$P_s$  = Potencia suministrada por el motor eléctrico de accionamiento.

$\rho$  = Densidad del agua

$Q$  = Caudal del agua

#### 2.2.3 CURVAS CARACTERISTICAS

- a. Curva Altura manométrica vs Capacidad : La curva característica de una bomba describe la relación entre la altura manométrica (caída de presión) y el caudal, datos que permiten escoger la bomba más adecuada para cada instalación. La altura manométrica de una bomba es una magnitud, expresable también como presión, que permite valorar la energía suministrada al fluido, es decir, se trata de la caída de presión que debe vencer la bomba para que el fluido circule según condiciones de diseño. Como puede observarse en la figura siguiente , para cada velocidad de rotación  $n$ , hay una curva característica. Nótese también que si la velocidad se reduce, también disminuye la altura manométrica máxima y el caudal máximo. Esta tipo de curva es normalmente decreciente, ya que a medida que aumenta el caudal, disminuye la altura manométrica, además si el diámetro del impulsor es mayor cambia la forma de la curva.

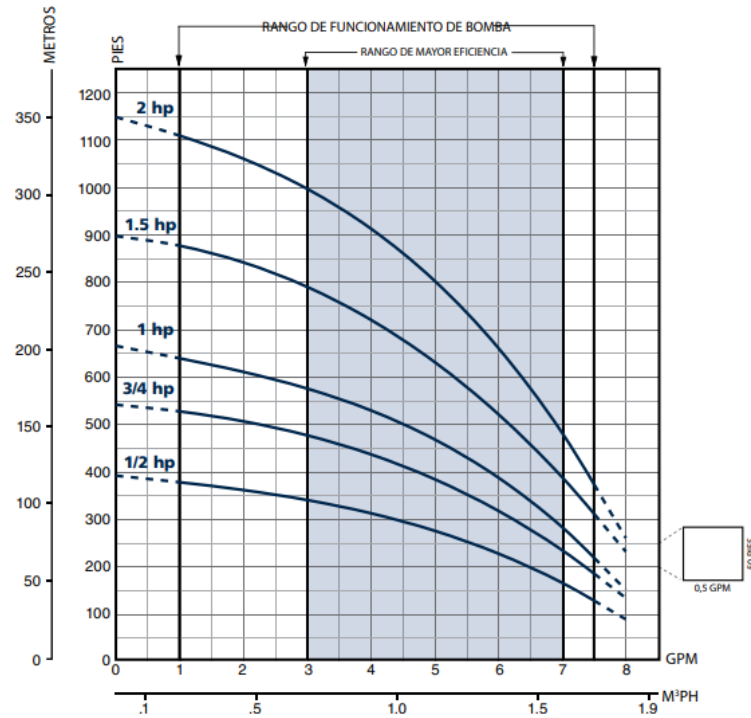


Figura N° 6 Curva característica para una bomba sumergible altura manométrica vs capacidad

Fuente: Catálogo de bombas sumergibles Franlin Electric, 2018

**b. Curva de Potencia:**

En este tipo de curva se aprecia que al aumentar el caudal, la potencia que es necesaria aplicar a la bomba debe aumentar

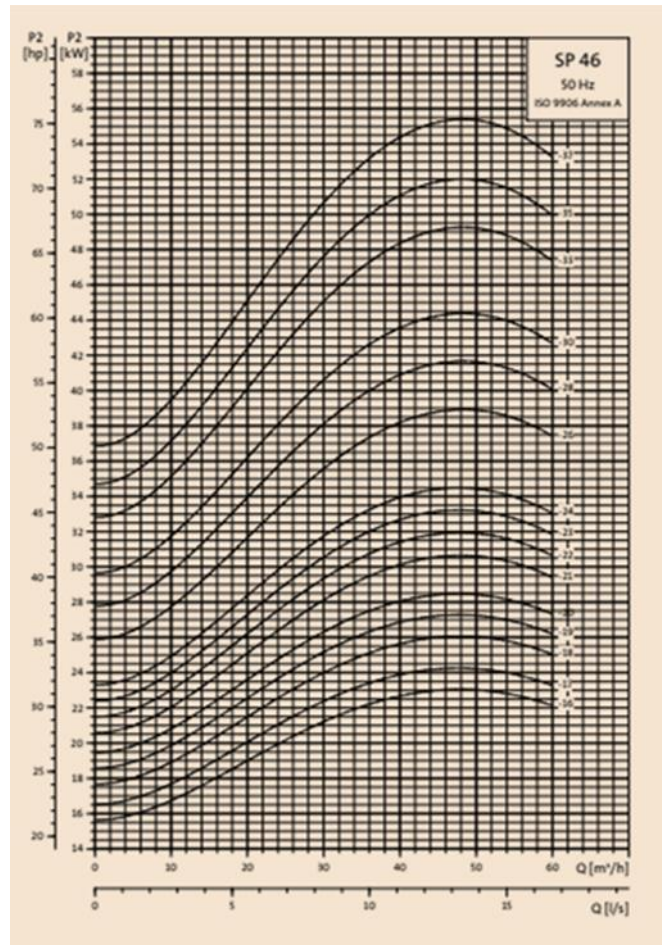


Figura N° 7 Curva Potencia vs caudal para una bomba sumergible

Fuente: catálogo de bombas GRUNDFOS,2017

c. Curva de Rendimiento: Es una curva cóncava que alcanza su máximo valor mas halla del caudal medio de la bomba. Tiene mucha importancia en la selección del punto óptimo de funcionamiento.

d. Punto óptimo de funcionamiento: Las bombas tienen una curva característica de funcionamiento que expresa la relación entre el caudal y la altura manométrica. El fabricante determina estas curvas de forma experimental, midiendo la altura manométrica para diferentes caudales. Las variaciones de caudal se obtienen modificando la resistencia ejercida sobre el rodete de la bomba.

El punto de trabajo se encuentra en la intersección entre la curva Q-H y las características del sistema.

Con el fin de seleccionar una bomba en general , resulta necesario conocer las características del sistema y la curva de la bomba. La bomba ha sido diseñada para

proporcionar un rendimiento apropiado cuando el sistema se encuentre sometido a la máxima carga.

El punto de funcionamiento o de operación de una bomba centrífuga se define como el flujo volumétrico de fluido que esta enviara cuando se instale en un sistema dado. El régimen de trabajo se determina por el punto de intersección de las características de la bomba y de la tubería, y por eso, al ser la característica de la conducción (tubería) invariable, salvo que se actúe sobre la válvula de impulsión, el cambio del número de revoluciones de la bomba provocará el desplazamiento del punto de trabajo a lo largo de la característica de la tubería. Si ésta corta a una parábola de regímenes semejantes, al cambiar el número de revoluciones y pasar a otra curva característica, la semejanza se conservará, pudiéndose considerar en este caso que el cambio del número de revoluciones de la bomba no alterará la semejanza de los regímenes de trabajo.(Yepes Piqueras,2017)

Para determinar la carga requerida por una bomba, o grupo de bombas, para descargar gastos dados a través de un sistema de tuberías determinado, hay que desarrollar la curva de carga del sistema. Esta curva se obtiene graficando los puntos correspondientes a la altura manométrica total para una gama de caudales que varíe desde cero al valor máximo esperado. Si se dibuja la curva de la bomba en el mismo plano que la del sistema de bombeo, la intersección entre ambas curvas proporciona el punto de funcionamiento de la bomba, tal como se muestra en la figura diguiente (Tchobanoglous, 1996)

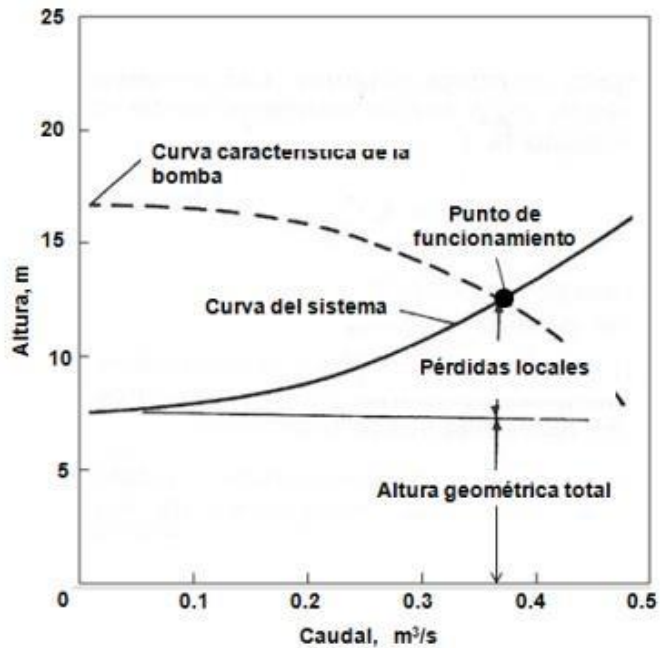


Figura N° 8 Punto óptimo de operación de una bomba

Fuente: Basurto Hernandez,2012

e. Regulación de una bomba.

Es a veces necesario en una instalación variar el caudal de una bomba para adaptarlo a las exigencias de un servicio. Esta regulación de caudal puede realizarse de varias formas.

Regulación a velocidad variable.

Regulación a velocidad constante.

La regulación de caudal a velocidad variable es la más económica. Con ella adaptamos una bomba centrífuga a unos datos de servicio determinados. Es una de las formas más profusamente adoptada en la práctica, pues el rendimiento apenas sufre modificación al variar la velocidad de funcionamiento. Un grupo convencional de bombeo controlado por presostatos o fujostatos incrementa la presión hasta situarse en el punto de trabajo (2) cuando la demanda cambia de un caudal inicial  $Q_1$  a otro  $Q_2$  funcionando a velocidad nominal. Con un variador de velocidad se pasa a suministrar el caudal  $Q_2$  reduciendo la velocidad de la bomba, situándola en el punto de trabajo (2'), manteniendo la presión constante y reduciendo la potencia consumida.

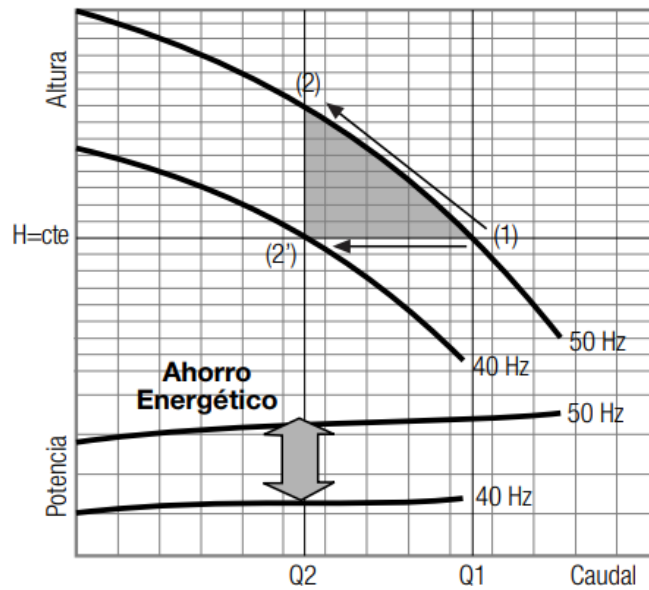


Figura N° 9 Regulación de la velocidad de una bomba

Fuente: Texto de Bombas Hidráulicas, 2014.

### 2.2.3 ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN SELECCION DE BOMBAS VERTICALES :

Tal vez, el mayor problema con que se encuentra un ingeniero, al diseñar un sistema de bombeo, es la elección de la clase, tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba o bombas que habrán de usarse en un sistema. Existe variedad de bombas útiles y tantas aplicaciones posibles para cada una de ellas, que generalmente es difícil reducir el grupo de elección a una unidad específica. Esta sección de la tesis, tiene como objetivo, reducir muchas de las dificultades que se encuentran al seleccionar una bomba. En primer lugar el profesional valorará las condiciones hidráulicas que deberá poseer la bomba; posteriormente se tomará en cuenta las condiciones del líquido; después usando un análisis económico, se podrá llegar a la unidad más económica y adecuada para la planta. (Rodríguez Ayala, 2014)

Los aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

**Temperatura del fluido:** Es importante saber la temperatura del fluido ya que ésta podría provocar que alguno de los materiales de la bomba se dilatase, dando por resultado un funcionamiento deficiente de la misma. En ciertos casos, para los elementos que giran se debe tener cuidado de no seleccionar materiales con coeficientes de dilatación mayores que el de la carcasa.



Elementos que estarán sujetos a fricción: Se debe tener conciencia que existirán elementos en contacto los cuales estarán sujetos a fricción. Esto puede provocar un desgaste en los mismos o incluso que estos se adhieran; como en el caso de los aceros cuando poseen la misma estructura.

Propiedades del fluido: Es necesario conocer las propiedades del fluido que moverá la bomba, ya que éste podría reaccionar con alguno de los materiales utilizados en la bomba y desde luego, la viscosidad es una propiedad determinante en la selección o diseño de una bomba. (Pineda Campos, 2009)

La vorticidad es un concepto matemático usado en dinámica de fluidos que se puede relacionar con la cantidad de circulación o rotación de un fluido. La vorticidad se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo.

Las recomendaciones existentes son las siguientes:

- El orificio del fondo de la cámara desde donde aspira la bomba debe estar situado, a contar desde los paramentos de la cámara, entre 1,5 y 2 veces el diámetro del orificio.
- Las dimensiones de la cámara de bombeo debe ser tal que el área de la sección transversal (altura por anchura) debe tener como mínimo, un valor de 10 veces el área del orificio del fondo desde donde se aspira.
- Si la velocidad de aporte de fluido a la cámara de bombeo es baja (menos de 1,5 m/sg) la altura de la superficie libre de bombeo puede bajarse a un valor de 2 veces el diámetro del orificio.(Tecnoindustria,2017)

El mismo fenómeno de formación de vórtice se puede producir cuando en una poza de agua se introducen bombas verticales de aspiración. Para evitar problemas, las dimensiones y situación de las bombas en la cántara deben adaptarse a las recomendaciones dadas por el Hydraulic Institute Standars (H.I.S). En las bombas verticales, tiene, más prioridad que el NPSH, la sugerencia de la bomba, de tal forma que se evite la formación de vórtices y entrada de aire. El dato de sugerencia mínima de una bomba lo dan los fabricantes de acuerdo con los ensayos que realizan. La teoría de modelos maneja dos números adimensionales: el N° de Reynolds (relación de fuerzas de inercia a fuerzas de viscosidad del fluido) y el N° de Froude (relación de fuerzas de inercia a fuerzas de gravedad del fluido). Los N° de Reynolds y de Froude deben de ser iguales en el modelo y en la realidad. No obstante, las velocidades en el modelo deben de reducirse, de forma directa a su tamaño comparativo. .(Tecnoindustria,2017)

### 2.2.3 MANTENIMIENTO DE BOMBAS

Para la mantenibilidad de las bombas sumergibles de pozo profundo se deben tener en cuenta los siguientes aspectos que pueden afectar a su operación:

#### a. REFRIGERACION.

- REFRIGERADO POR AGUA: Los materiales son seleccionados por propiedades dieléctricas y mecánicas. Pueden estar pre llenados por aditivos para protección congelamiento y corrosión, el material de los impulsores y de la cubierta dependerán fuertemente de las aplicaciones y del lugar de instalación.
- REFRIGERADO POR ACEITE: El motor se encuentra lleno de aceite, el cual cuenta con un sistema interno de circulación a presión, filtrado y refrigeración de aceite. Los cuerpos de los impulsores pueden ser para servicio pesado y de muy alta eficiencia. Las bombas sumergibles refrigeradas y lubricadas por aceite se fabrican y seleccionan para las operaciones y condiciones más exigentes de un pozo profundo. Estas máquinas son robustas, seguras, de larga vida útil. (Espinoza Palma,2012)

#### b. MANTENIMIENTO AUTONOMO:

- Cada mes se debe limpiar el terreno alrededor del pozo, eliminando la maleza, desechos y fuentes de contaminación.
- Revisar la protección sanitaria del pozo (contorno de la boca de pozo), observando que no existan fisuras por donde ingrese agua contaminada.
- Cada tres meses, se debe medir la cantidad de agua que sale del pozo por segundo o minuto (aforar el caudal) para observar si hay variaciones en el caudal. En caso que disminuya después de uno a dos años de funcionamiento, puede ser necesaria una limpieza de pozo, que debe ser efectuada por la empresa que perforó esta estructura.
- Cuando se limpia el pozo, se deben controlar los niveles estático y dinámico, pues puede que la disminución de agua se deba a que el nivel dinámico bajó por otros factores. En tal caso, se tendría que sumergir la bomba a mayor profundidad, según el informe de perforación y perfil del pozo. (GTZ,2006)

## 2.3 COMPONENTES DE SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA.

### 2.3.1 DEFINICION.

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, desde interior mina hasta la superficie, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos

### 2.3.2 COMPONENTES.

#### a. DIMENSIONAMIENTO DEL POZO DE BOMBEO.

Es la infraestructura subterránea que permite captar el agua del subsuelo y determina el tamaño y el costo de las posteriores obras. Para detectar los acuíferos se realizan estudios geofísicos, luego el pozo es perforado por empresas que se dedican a ese rubro. El material del entubado depende del presupuesto disponible, se utiliza plástico PVC para disminuir costos y fierro galvanizado para hacerlo más resistente a movimientos sísmicos. La profundidad y el grosor dependen de la cantidad de agua que se quiera extraer y el uso que se desee dar. (GTZ, 2006)

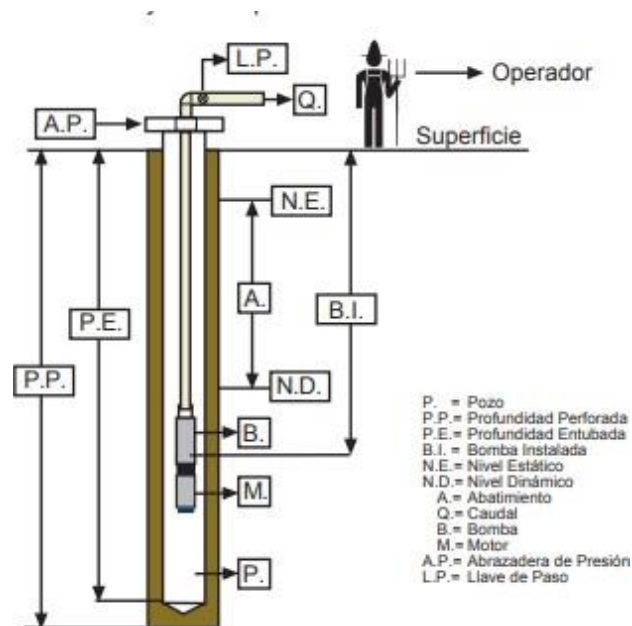


Figura N° 10 Disposición del pozo de bombeo

Fuente: GTZ, 2006

Los datos básicos para la determinación del volumen útil del pozo de bombeo son el caudal de diseño y la frecuencia de arranque de las bombas. Una vez determinado el

volumen útil se tendrá en cuenta los requerimientos y condicionantes de distribución de las bombas, que nos haya facilitado el fabricante de las bombas elegidas, para garantizar su funcionamiento. Por seguridad, el volumen útil del pozo de bombeo se dimensiona suponiendo un esquema de funcionamiento con arranque – parada secuencial de cada una de las bombas que integran la estación de bombeo. Este sistema proporciona un caudal de salida uniforme en el tiempo, aunque requiere de un volumen útil de pozo mayor. Esto nos permitirá trabajar con la estación de bombeo con un esquema de arranque secuencial y parada única que necesita un volumen útil menor. (Asuncion Gutierrez, 2014)

De acuerdo a lo expresado en el Metcalf-Eddy, el volumen útil del pozo de bombeo se determinará por medio de la expresión:

$$V_{util} = 0.9 * \frac{Q}{z}$$

Dónde:

Z = Numero de arranques

Q = Caudal en litros/sg

Para el diámetro de la tubería de impulsión se hace uso de la fórmula de Breese:

$$D = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{0.25} * Qb^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots$$

Donde :

D = Diametro de la tubería de impulsión

N = Numero de horas de bombeo

Qb = Caudal de bombeo (litros/sg).

Para la protección del equipo de bombeo y de la tubería de conducción, se deben considerar los efectos producidos por el fenómeno denominado golpe de ariete. Se denomina golpe de ariete a la variación de presión en una tubería, por encima o por debajo de la presión normal de operación; ocasionada por rápidas fluctuaciones en el caudal, producidas por la apertura o cierre repentino de una válvula o por el paro o arranque de las bombas. Este fenómeno puede provocar ruptura de la presión (presión positiva) o aplastamiento (presión negativa). (Cutzal Muz, 2007)

**b. ESTACIONES DE BOMBEO.**

Las estaciones de bombeo son necesarias para la impulsión de aguas residuales, aguas pluviales, lodos producto del proceso de tratamiento de las mismas y efluentes tratados. Aparte de las instalaciones de bombeo de las plantas de tratamiento, las principales condiciones y factores que afectan a la necesidad de recurrir al uso de estaciones de bombeo en las redes de saneamiento son los siguientes:

- Cuando la cota de la zona a servir es demasiado baja para que sus aguas residuales puedan ser evacuadas por gravedad a los colectores existentes o de proyecto.
- Cuando se requiere dar servicio a zonas situadas en el exterior de la cuenca vertiente, pero perteneciente al término a sanear.
- Cuando la omisión de un bombeo supone un costo de construcción excesivo debido a la necesidad de efectuar grandes excavaciones para la construcción de la alcantarilla que dé servicio a una zona determinada. (Basurto Hernandez, 2012)

Las estaciones de bombeo han sido clasificadas de varias maneras, aunque ninguna de ellas es satisfactoria. Algunos de los sistemas normales de clasificación son los siguientes:

Por capacidad (metros cúbicos por segundo, metros cúbicos por día o litros por segundo).

Según la fuente de energía (electricidad, motores diesel, etc.).

Por el método de construcción empleado (in situ, prefabricadas, etc.).

Por su función u objeto específico

La capacidad de las estaciones de bombeo convencionales suelen oscilar entre 0.02 y 0.65 m<sup>3</sup> /s. Se emplean cuando las condiciones locales impiden el uso de estaciones prefabricadas y la magnitud o variación del caudal es tal que excede a las capacidades disponibles de las instalaciones prefabricadas. Cada estación convencional se proyecta para adecuarla a las condiciones locales. El dimensionamiento final de la estación de bombeo requiere la realización de una evaluación de la relación entre el coste de instalación y el coste de mantenimiento, para llegar a conseguir una instalación lo más óptima posible. (Basurto Hernandez, 2012)

Es importante aclarar que el equipo de bombeo es el que debe preverse para un período de 10 años, más no el resto de los componentes del sistema; por lo que la tubería de descarga debe diseñarse de tal manera que sea suficiente para abastecer a una

población futura de 20 años, como en este caso es , el sistema de bombeo de agua sumergida de pozo profundo. (Cutzal, Muz,2007)

**b. SISTEMA DE TUBERIAS.**

La línea de impulsión es el tramo de tubería que conduce el agua desde el pozo profundo, pasando por la caseta de bombeo, hasta el estanque de almacenamiento. Se conecta en la parte superior de la bomba, por medio de una rosca del mismo diámetro. Cuando la temperatura del ambiente baja a menos de 0°C, el agua se congela, convirtiéndose en hielo. Esto hace que su volumen aumente, ocasionando que las tuberías revienten en climas fríos. En éste sentido, se recomienda siempre proteger la tubería para evitar problemas. Dependiendo de la ubicación de los estanques de almacenamiento, la línea de impulsión (que consiste normalmente en tubería plástica PVC o metálica) debe protegerse de la siguiente manera:

- Cuando el estanque se encuentra sobre una loma a una larga distancia de la fuente de agua, la tubería debe enterrarse, para evitar que la temperatura del agua baje demasiado.
- Cuando el estanque se encuentra al lado de la fuente (estanque elevado), la tubería debe cubrirse con tela polar (o frazadas), paja, goma, etc.(GTZ,2006)

Algunas recomendaciones para la zona de aspiración de la bomba con objeto de maximizar sus prestaciones. En general, y como regla de buena práctica se recomienda que:

- Limitar en lo posible en el tramo de aspiración la presencia de codos, cambios de dirección, válvulas y accesorios.
- Realizar la impulsión hacia arriba que facilite la salida del aire;
- Colocar uniones flexibles para evitar la propagación de vibraciones;
- Disponer de válvula de retención o válvula de pie en la tubería de aspiración para evitar su vaciado cuando se detenga la bomba.

Un importante aspecto es evitar a toda costa la formación de turbulencias y torbellinos cercanos a la aspiración de la bomba, dado que pueden desencadenar la entrada de burbujas de aire por la aspiración. Para asegurar que esto se cumpla se recomienda respetar las profundidades mínimas, indicadas en la tabla siguiente, a la que debe estar sumergida la boca de entrada de la tubería de aspiración respecto a la superficie del

agua, según la velocidad que toma el agua por el conducto de aspiración.(Portal de Ingemeánica,2017)

La elección del diámetro de las tuberías de la instalación debe realizarse con el objetivo de limitar en lo posible las pérdidas de carga originadas por el rozamiento del flujo de agua con las paredes interiores de la tubería. No obstante, debe llegarse a una solución de compromiso que haga económicamente rentable la instalación, dado que a mayor diámetro mayor es también el costo de la tubería. Por otro lado, los diámetros de embocadura de las bridas en los orificios de aspiración e impulsión de la bomba, sólo determinan el diámetro mínimo que ha de tener las tuberías de la instalación, pudiéndose emplear accesorios (conos difusores) que acoplen el agarre a la bomba con el diámetro que finalmente resulte de la tubería. (Portal de Ingemeánica,2017)

El dimensionado final de los diámetros de las tuberías debe ser tal que las velocidades alcanzadas por el agua en el interior de las tuberías sean como máximo:

- Tubería de aspiración: 1,8 m/s.
- Tubería de impulsión: 2,5 m/s.

Velocidades del agua por el interior de los conductos inferiores a 0,5 m/s podría originar problemas de sedimentación, mientras que velocidades superiores a los 5 m/s podría originar fenómenos abrasivos en las paredes interiores de las tuberías que afectarían a su durabilidad. (Portal de Ingemeánica,2017)

La expresión que relaciona la velocidad del fluido (v) con el gasto o caudal (Q) es la siguiente:

$$Q = v * A \dots \dots \dots$$

Donde :

v = es la velocidad del agua en el interior de la tubería;

A = es el área de la sección interna de la tubería ( $\pi \cdot D^2 / 4$ ), siendo D el diámetro interior de la tubería.

**c. RESERVORIO:**

Es una estructura de concreto (cemento y fierro) que almacena agua, para luego distribuirla a la comunidad de forma controlada. Su capacidad depende principalmente del número de usuarios. Puede tener forma cilíndrica o cúbica. Las partes del reservorio son:

- Estanque: es el cuerpo del reservorio donde se almacena el agua.

- Tapa sanitaria: Es la vía de ingreso al interior del estanque.
- Tubo de rebalse: Deja que el agua fluya cuando sobrepasa cierto nivel.
- Cámara de llaves: Es una separación externa que permite controlar mediante válvulas, el flujo de entrada y salida del agua del estanque.(GTZ,2006)

El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrado en las 24 horas del día. Ante la eventualidad que en la línea de conducción pueda ocurrir daños que mantengan una situación de déficit en el suministro de agua, mientras se hagan las reparaciones pertinentes, es aconsejable un volumen adicional para dar oportunidad de restablecer la conducción de agua hasta el reservorio. (Lossio Aricoche,2012)



Figura N° 11 Mantenimiento anual de reservorio típico para bombas sumergibles en zonas alto andinas.

Fuente: Guía de operación de bombas de agua ,2006.

Los reservorios o depósitos de almacenamiento de agua para zonas rurales son proyectados de forma circular tipo INTZE Se recomienda que las alturas de agua en los reservorios de almacenamiento estarán de acuerdo con el volumen y no deberán ser inferiores a 2.5 m. ni superiores a 8.0 m. Los reservorios se determinan de la manera siguiente: (Olivares Feijoo, 2008)

- Estimaremos una altura o tirante de agua (h)
- El diámetro (D) se determinara de la siguiente formula



$$V = h * A \dots \dots \dots$$

Donde: V= Volumen de almacenamiento (m<sup>3</sup>)

A= Área Circular (m<sup>2</sup>)

h = Altura o tirante máximo de agua (m)

**d. RED DE DISTRIBUCION DE AGUA**

Es la parte del sistema que facilita la conducción del agua desde el estanque hasta las conexiones domiciliarias o productivas.

En el diseño de la red de distribución, se consideran los siguientes factores:

- Dotación: La dotación promedio diaria anual por habitante, se fijará en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas. Si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución, se considerará por lo menos para sistemas con conexiones domiciliarias una dotación de 200 l/hab/d, en clima frío y de 250 l/hab/d, en clima templado y cálido. Para sistemas de abastecimiento indirecto por surtidores para camión cisterna o piletas públicas, se considerará una dotación entre 30 y 50 l/hab/d respectivamente. (Lossio Aricoche,2012)
- Fuente: Es indispensable identificar el tipo y procedencia de las fuentes existentes para analizar cuál de todas es la más conveniente.
- Rendimiento de la fuente: Determina la cantidad y disponibilidad de agua que puede ser destinada al abastecimiento de agua, y permite definir el nivel de servicio al que puede acceder la comunidad a ser beneficiada.
- Ubicación de la fuente: La fuente de agua puede estar ubicada por encima o por debajo de la localidad y permite definir si el abastecimiento es por gravedad o por bombeo. (Lossio Aricoche,2012)

Las cantidades de agua estarán definidas por los consumos estimados en base a las dotaciones de agua. Sin embargo, el análisis de la red debe contemplar las condiciones más 71 desfavorables, para las condiciones de consumo máximo horario y las estimaciones de la demanda de incendio, dependiendo de la zona en estudio. Las presiones en la red deben satisfacer ciertas condiciones mínimas y máximas para las diferentes situaciones de análisis que pueden ocurrir. En tal sentido la red debe mantener presiones de servicio mínimas y presiones máximas, tales que no provoquen

daños en las conexiones y que permitan el servicio sin mayores inconvenientes de uso.  
(Lossio Aricoche,2012)

La presión estática dentro de una tubería ,se produce cuando todo el líquido de la tubería y del recipiente que la alimenta está en reposo. Es igual al peso específico del agua multiplicado por la altura a que se encuentra la superficie libre del agua en el recipiente. La máxima presión estática que soportan las tuberías de 160 PSI = 90 mca, teóricamente puede soportar más, pero por efectos de seguridad, si hay presiones mayores que la presente, es necesario colocar una caja rompe presión o tubería de 250 PSI o HG. En la línea de distribución, la máxima presión estática permitida es de 80 mca, ya que a mayores presiones fallan los empaques de válvulas y grifería, a menos que sea necesario utilizar presiones mayores por necesidad de salvar puntos altos.(Cutzal Muz, 2006)

Con referencia a la presión dinámica, cuando hay movimiento de agua, la presión estática modifica su valor, que se disminuye por la resistencia o fricción de las paredes de la tubería; lo que era altura de carga estática, ahora se convierte en altura de presión más pequeña, debido al consumo de presión, conocida como pérdida de carga. La energía consumida o pérdida de carga varía, respecto de la velocidad del agua y en proporción inversa al diámetro de la tubería. La presión en un punto A es la diferencia entre la cota piezométrica del punto A y la cota de terreno de ese punto. La menor presión dinámica que puede haber en la red de distribución es de 10 mca., que es la necesaria, para que el agua pueda subir con cierta presión a las llaves de chorro. Se pueden tener presiones hasta 7 mca., siempre que sea debidamente justificado. La presión máxima sugerida es de 40 mca., pudiendo exceder este límite siempre y cuando se tengan razones justificadas para hacerlo.(Cutzal Muz,2006)

La diferencia de energía de punto a punto o cota a cota se verifica según la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_F$$

Mientras que el valor de  $H_F$  es la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias. En este caso las pérdidas primarias son función de la ecuación de Darcy Weisbach.

$$H_{pp} = f * \frac{L * v^2}{2 * D * g}$$

Las pérdidas de tuberías se denominan pérdidas mayores y se obtienen mediante el factor de fricción  $f$ , el mismo que depende de si el flujo dentro del sistema es laminar o turbulento.

Para determinar el factor de fricción primeramente se encuentra la rugosidad relativa de la tubería ( $D/\epsilon$ ), obteniendo la rugosidad ( $\epsilon$ ) de tablas, dependiendo del material y tipo de fabricación de la tubería. Una vez encontrada la rugosidad relativa y el número de Reynolds, se obtiene el factor de fricción  $f$  utilizando el diagrama de Moody o mediante las siguientes ecuaciones (Mott, 2006)

Mientras que el cálculo de pérdidas secundarias estas son función del tipo de accesorio, material y su diámetro.

$$H_{ps} = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

**CAPITULO III:**  
**MATERIALES Y METODO**

### 3.1 MATERIALES

Dentro del Material utilizado se tiene lo siguiente:

**3.1.1 BOMBAS DE AGUA VERTICALES SUMERGIBLE:** 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. Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Las bombas sumergibles funcionan a través de un motor eléctrico cerrado que hace girar una fila de impulsores. Cada impulsor empuja el agua a través de un difusor que se encuentra por encima de ella. En las bombas típicas de 4 pulgadas (10,2 cm), cada impulsor genera 9 psi (0,062 MPa) de presión. Si una bomba tiene 10 etapas o 10 impulsores, entonces en el punto extremo o a la salida, habrán 90 psi (0,62 MPa) de presión. La capacidad de la bomba se determina por el ancho de las paletas del impulsor y el número de impulsores que determinan la presión. Cualquier incremento en la profundidad o en la presión del pozo de descarga se reduce al mínimo la capacidad.



Figura N° 12 Disposición de Bomba sumergible

Fuente: PEDROLLO S.A

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a 150 g/m<sup>3</sup>. Debido al alto rendimiento y fiabilidad, Son aptas para usos en el campo doméstico, civil e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, riegos, instalaciones de lavado, aumento de presión para instalaciones antiincendios, etc.

#### PRESTACIONES DE SERVICIO:

- Caudal hasta 450 l/min (27 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta 425 m

#### LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta +35 °C
- Contenido de arena máximo 150 g/m<sup>3</sup>
- Profundidad de utilizo hasta 100 m bajo el nivel del agua con cable de alimentación de longitud adecuada.
- Funcionamiento: :en vertical
- Arranques/hora: 20 a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento motor mínimo 8 cm/s.
- Funcionamiento continuo.

Tabla N° 2 Especificaciones técnicas de Bombas sumergibles

MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	m <sup>3</sup> /h												
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	12		
4SR33Gm/5	4SR33G/5	0.37	0.50	H metros	0	40	60	80	100	120	140	160	180	200			
4SR33Gm/7	4SR33G/7	0.55	0.75		30	28	27	25	23.5	21.5	19	16	12.5	7			
4SR33Gm/10	4SR33G/10	0.75	1		41	38	36	34.5	32.5	30	25.5	21.5	16.5	10			
4SR33Gm/15	4SR33G/15	1.1	1.5		50	47	45	43	41.5	38	33	28	21	14			
4SR33Gm/20	4SR33G/20	1.5	2		60	56	54	51.5	49	45	40	33	25	17			
4SR33Gm/30	4SR33G/30	2.2	3		79	76	73	70.5	65.5	59.5	52	43	33	22			
-	4SR33G/50	3.7	5		110	105	101	97	90	83	73	60	46	29			
-	4SR33G/75	5.5	7.5		177	170	165	158	147	135	118	98	76	48			
-	4SR33G/100	7.5	10		265	257	248	236	222	204	179	148	112	75			
-					335	322	312	297	280	254	224	185	142	96			

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Fuente: PEDROLLO S.A

Se presentan las curvas de comportamiento para las bombas sumergibles PEDROLLO 4SR33G, donde:

4 : Diámetro del pozo en pulgadas

SR : Serie

33G : Caudal en US g.p.m. en el punto de máximo rendimiento

Los siguientes números letras detallan si es monofásico o trifásico el motor y su potencia en HP.

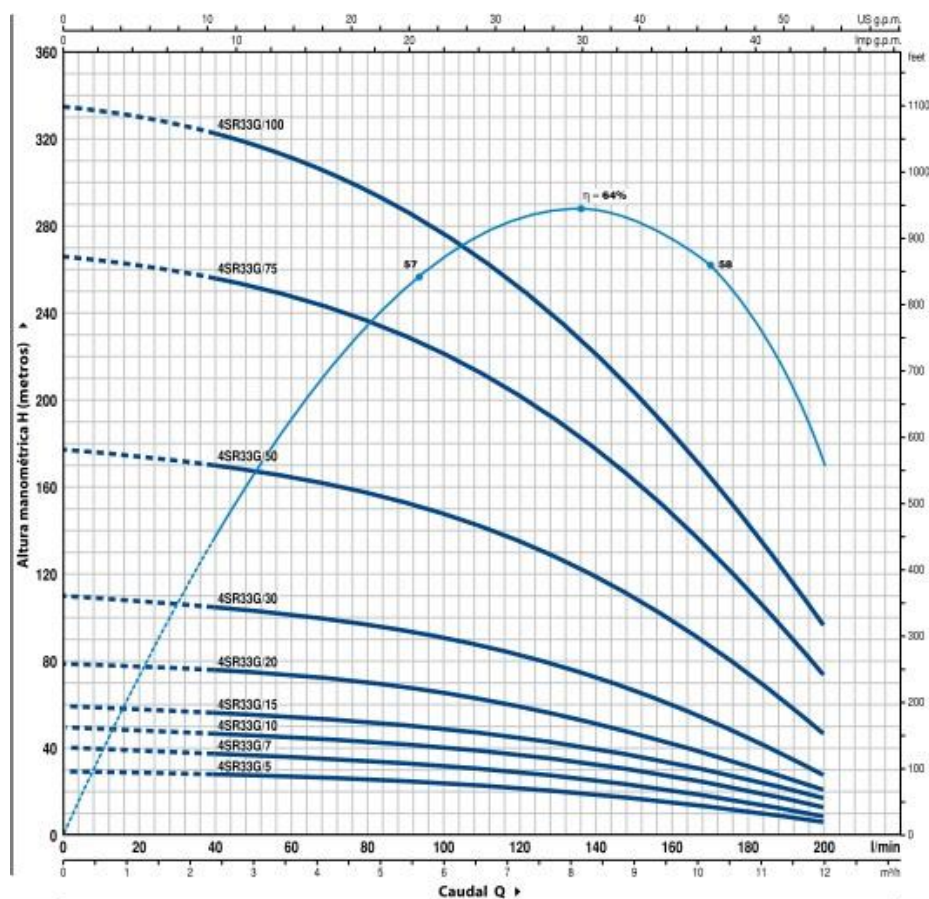


Figura N° 13 Grafico Q vs H para Bomba sumergible SERIE 4SR33

Fuente: PEDROLLO S.A

Se presentan las características técnicas de la electrobomba sumergible 4SR33Gm2

Tabla N° 3 Especificaciones técnicas de Bomba sumergible

N°	DETALLE	VALOR	UNIDAD
1	SERIE	4SR33G	
2	Conexión	Monofásico	
3	Tensión	220	Voltios

4	Potencia	2	HP
5	Caudal	0.75	Litrs/sg
6	Altura de bombeo	76	m

Fuente: PEDROLLO S,A

**3.12 BOMBA TURBINA VERTICAL.** La bomba turbina vertical VLT es una unidad de bombeo diseñada para operar en pozos profundos, cisternas o encapsulada en un barril como elevadora de presión (booster) capaz de soportar una gran fuerza axial (thrust elevado). La construcción vertical reduce el espacio requerido de instalación y permite el uso de una cimentación sencilla. Existen dos tipos de bombas turbina vertical de acuerdo al sistema de lubricación empleado: bombas lubricadas por aceite y bombas lubricadas por agua (o autolubricadas). Para nuestro caso y debido a la profundidad de del pozo 40 metros se realiza las pruebas con bombas turbina vertical lubricadas por agua. Sus componentes son:

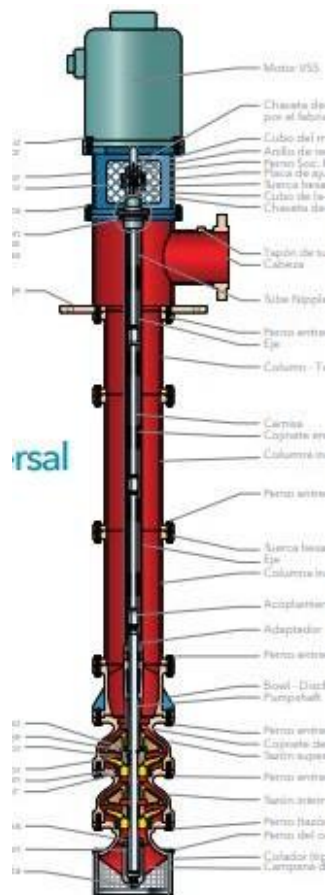


Figura N° 14 Disposición de Bomba turbina vertical



- Eje de transmisión: El eje de la bomba turbina vertical se divide en varios tramos. Estos son de abajo hacia arriba:
  - Primer tramo: Eje de la bomba. Una sola sección sobre la cual están fijos los 3 a 5 impulsores.
  - Segundo tramo: Eje de la columna. Compuesto por varias secciones de 10 pies de longitud.
  - Tercer tramo: Eje motor. Todas las secciones del eje se unen entre sí por medio de acoples
- Cuerpo de la bomba: El cuerpo de la bomba de una o varias etapas es el conjunto de tazones e impulsores. El número de etapas depende del ADT, caudal y velocidad (rpm) requeridos. Los impulsores están fijados al eje por medio de cuñas cónicas o collets. Los impulsores están equipados con bocinas reemplazables. Los impulsores varían según la aplicación.
- Columna: La columna está formada por la columna interior y la columna exterior. La columna exterior comprende los tubos exteriores que se conectan entre sí por medio de uniones roscadas. La columna interior, formada por el eje de transmisión y la funda (sólo en el caso de las lubricadas por aceite), está centrada en la columna exterior por medio de los separadores de jebe (arañas).
- Linterna de descarga: A la linterna de descarga se une a la columna de descarga mediante una brida roscada para el lado columna. La descarga lateral se une a la tubería de descarga mediante una brida estándar ASA 125. La linterna de descarga puede ser de fierro fundido o de fierro soldado, y en su parte inferior existe una brida que sirve como base para soportar el peso total de la unidad completa o como brida de montaje para un tanque o instalación en barril.
- Conjunto VLT-RATCHET : Conjunto VLT, comprende un paquete de rodajes de contacto angular diseñados para absorber el thrust (empuje axial) de la bomba, de esta manera aliviar el esfuerzo axial en el eje del motor. El Ratchet es una pieza unida al conjunto VLT y diseñado para evitar el giro inverso que podría soltar partes giratorias. El conjunto VLT-RACHET se apoya sobre la brida de la linterna

- **Linterna motor:** La linterna motor es montada sobre la linterna de descarga encapsulado al conjunto VLTRACHET, el cual es montado también sobre la brida de la linterna de descarga. La linterna motor protege al acople y puede ser acoplada a motores eléctricos verticales, a cabezales de engranajes o a cabezales mixtos, todos construidos con base standard NEMA

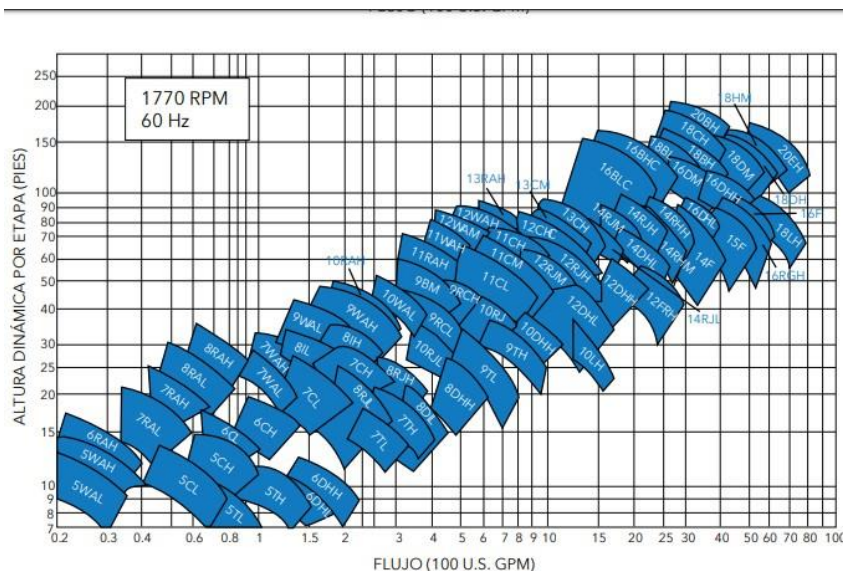


Figura N° 15 Curvas características de Bomba turbina vertical GOULDS

Fuente: GOULDS WATER TECHNOLOGY

Tabla N° 4 Especificaciones técnicas de Bomba turbina vertical

N°	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	SERIE	11CL	
2	Conexión	Trifásica	
3	Tensión	220	Voltios
4	Potencia	5	HP
5	Caudal	0.63	l/sg
6	Altura de bombeo	60	m

Fuente: HIDROSTAL S.A

### 3.13 CALIDAD DEL AGUA DE BOMBEO

Se tiene la siguiente tabla donde se detallan las características del agua de los pozos.

Tabla N° 5 Características del agua de pozo localidad de Ccacca

N°	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Temperatura	5-15	°C
2	Turbidez máxima	100	g/m <sup>3</sup>
3	pH	6	
4	Dureza	150	ppm

Fuente: Autoridad Nacional del Agua-PUNO (2017)

### 3.14 DIMENSIONES DEL POZO DE BOMBEO.

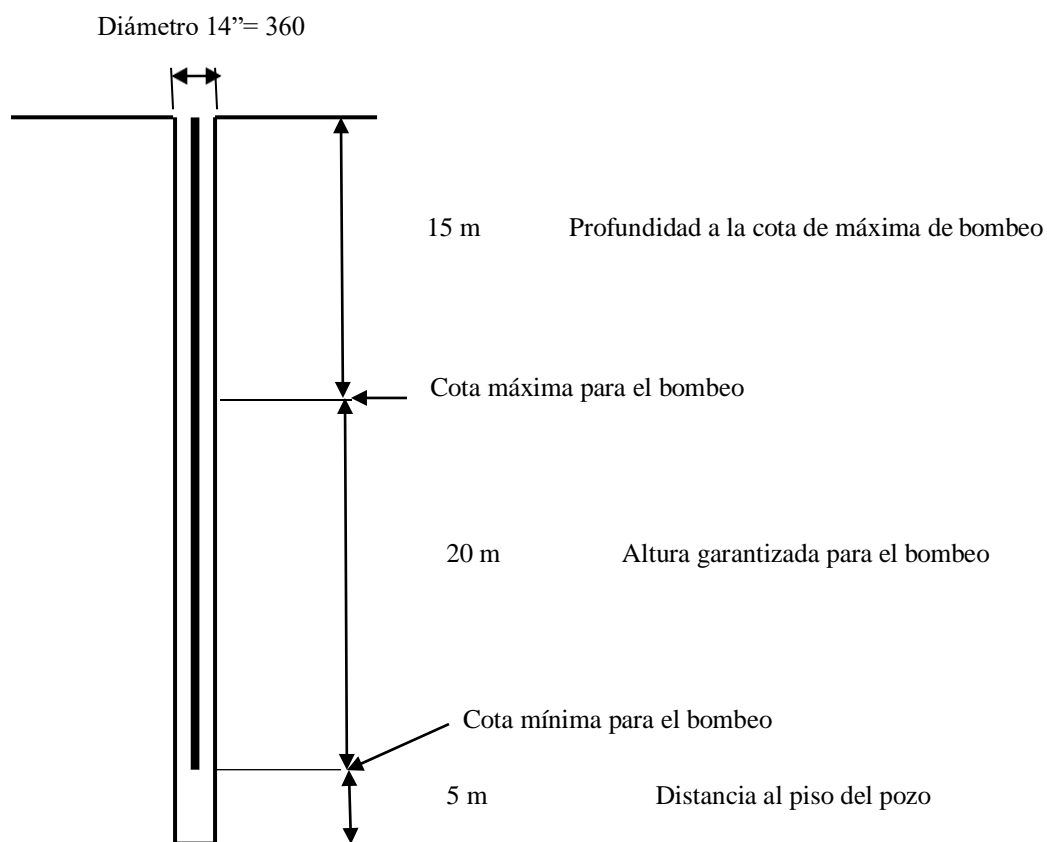


Figura N° 16 Detalles del pozo de bombeo de agua

Fuente: Elaboración propia

### 3.15 VOLUMEN GARANTIZADO DE AGUA.

Se tiene un total en volumen de agua de :

Altura garantizada = 20 metros

Diámetro de pozo = 14" = 0.36 m

Diámetro cuerpo de bomba = 2 " = 0.0508 m

Tiempo tentativo de operación = 15 minutos

$$Volumen = \frac{20 * (0.36^2 - 0.0508^2)}{4} = 0.635 \text{ m}^3 = 635 \text{ litros}$$

$$Q_{md} = \frac{635}{900} = 0.70 \text{ l/sg}$$

### **3.2 METODO DE INVESTIGACION:**

#### **321 DISEÑO:**

El presente trabajo realiza uso del método cuantitativo

Analítico: es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos. Al referirnos a diversos saberes en los que la aplicación del método analítico es posible, vemos una gradación que va desde las aplicaciones más empíricas y concretas hasta las más abstractas y simbólicas.

Sintético: Es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis, se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades.

Deductivo, es la formulación o enunciación de sistemas de axiomas o conjunto de tesis de partida en una determinada Teoría. Es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas: cuando las premisas resultan verdaderas y el razonamiento deductivo tiene validez, no hay forma de que la conclusión no sea verdadera. En todos los casos, los investigadores que apelan al método deductivo empiezan su trabajo planteando supuestos (coherentes entre sí) que se limitan a incorporar las características principales de los fenómenos. El trabajo sigue con un

procedimiento de deducción lógica que finaliza en el enunciado de las leyes de carácter general.

El diseño de estudio es pre experimental, longitudinal y transeccional con medición antes y después de un caso único.( el análisis del comportamiento y reducción de la tarifa eléctrica en función a un determinado centro de consumo de energía eléctrica en función a la venta de este servicio por parte de un comercializador de energía).

El diseño que se utiliza será el pre experimental, considerando la naturaleza de las dos variables.

### **322 METODOLOGIA DE CÁLCULO:**

#### **a. PARA EL SISTEMA DE BOMBEO:**

Se tiene la siguiente metodología de cálculo teniendo en cuenta el Reglamento Nacional de edificaciones

- Las estaciones deberán planificarse en función del período de diseño (Norma OS.040)
- Caudal de diseño: El caudal de los equipos deberá satisfacer como mínimo la demanda máxima diaria de la zona de influencia del reservorio. En caso de bombeo discontinuo, dicho caudal deberá incrementarse en función del número de horas de bombeo diario. (Norma OS.040)
- Cantidad de bombas: En toda estación deberá considerarse como mínimo una bomba de reserva, a excepción del caso de pozos tubulares (Norma OS.040)
- Potencia de la bomba: Debe ser tal que garantice el suministro para la capacidad requerida del sistema.
- Altura de succión: Deberá evitarse la cavitación, para lo cual la diferencia entre el NPSH requerido y el disponible será como mínimo 0,50 m. (Norma OS.040)
- Tubería de impulsión: Para la tubería de impulsión, debe considerarse:

Velocidad: Se recomienda entre 0,6 y 2,0 m/s (CEPIS: Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento rural)

Relación entre impulsión y succión: La tubería de succión deberá ser como mínimo un diámetro comercial superior a la tubería de impulsión. (Norma OS.040)"

- Golpe de ariete: De ser necesario la estación deberá contar con dispositivos de protección contra el golpe de ariete, previa evaluación. (Norma OS.040)
- Válvulas y accesorios: Las válvulas y accesorios ubicados en la sala de máquinas de la estación, permitirán la fácil labor de operación y mantenimiento. (Norma OS.040)
- Conducción por bombeo: para el cálculo de las líneas de conducción por bombeo. Se recomienda el uso de la fórmula de Hazen y William

# **CAPITULO IV**

## **CALCULOS Y RESULTADOS**

#### 4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO SUMERGIBLE:

##### 4.1.1 CAUDAL DE DISEÑO DE BOMBEO:

Se tiene el caudal de bombeo:

$$Q_b = 0.70 \text{ l/s}$$

##### 4.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA LINEA DE SUCCION:

Se tienen las dimensiones comerciales de las bombas sumergibles en donde no existe tubería de impulsión, ya que el cuerpo de la bomba se encuentra dentro de ella:

Tabla N° 6 Dimensiones comerciales de bomba sumergible vertical

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Caudal unitario de bombeo, $Q_b$	0,7	L/s
Diámetro tubería de succión, $\phi_s$	2,0	pulg
Diámetro interno tubería de succión, $\phi_s$	59,6	mm

Fuente; Elaboración propia

Para hallar el área de la tubería de succión se tiene el siguiente calculo:

$$A_s = \frac{\pi * \phi_s^2}{4} = 0.0027 \text{ m}^2$$

Así mismo se determina la velocidad en la tubería de impulsión:

$$v_s = \frac{Q_b}{A_s} = 0.259 \text{ m/s}$$

Por lo tanto el diámetro del cuerpo de la bomba, que coincide con tubería de impulsión es de 2" , por donde fluye 0.7 l/s a una velocidad de 0.259 m/s.

Para el cálculo de la altura dinámica de la succión se tiene el siguiente procedimiento:

Ante todo, se debe tener en cuenta que por la geometría de la bomba sumergible, esta no tiene altura estática de succión.

$$h_s = 0$$

Se presenta la siguiente tabla con los respectivos para metros de diseño para el cálculo de la altura dinámica de succión:



Tabla N° 7 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Caudal de succión ; Q <sub>b</sub> =	0,49	L/s
Diámetro de la tubería de succión ; φ <sub>s</sub> =	59,6	mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	100	(Tubería de Hierro Fundido)

Fuente; Elaboración propia

$$J = \left( \frac{Q_b}{0.2785 * C * \phi_s^{2.63}} \right)^{1/0.54} = 0.0028 \text{ m/m}$$

Seguidamente se determinan las pérdidas totales en línea de succión:

Tabla N° 8 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,s = (m) <sup>(2)</sup>
Entrada	2	1	1,2
Válvula de pie con coladera	2	1	18,4
Long. total equivalente = S Le,s			19,6

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Luego las pérdidas totales en las tuberías de succión son:

$$\text{Perdidas totales linea de succion} = J * L e . s = 0.0549 \text{ m}$$

Así mismo se determinan las perdidas por fricción en la tubería de succión: Estas pérdidas se relacionan con la fricción del líquido contra las paredes de la tubería. Como el agua está en contacto directo con la bomba, se asume que no existe perdidas por fricción, por lo tanto:

$$K_s = 0$$

Finalmente la altura dinámica de la succión es igual a :

$$Hd_s = h_s + (J * L e . s) + K_s$$

$$Hd_s = 0.0549 \text{ m}$$

#### 4.1.3 VERIFICACION DE LA TUBERIA DE IMPULSION:

- **PARA UNA TUBERIA DE IMPULSION DE UNA BOMBA:**

Se tienen los siguientes datos para la determinación de la velocidad del agua dentro de la tubería de impulsión:

Caudal de bombeo unitario:

$$Q_b = 0.7 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de impulsión 1" = 26.4 mm

$$v_i = \frac{Q_b}{A_i} = 1.28 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua dentro de la línea de impulsión esta dentro del rango técnico de velocidades para el agua en tuberías ( $0.6 < v_i < 2 \text{ m/s}$ )

Verificamos la relación de diámetros:

$$R = \frac{\phi_s}{\phi_i} > 1$$

$$R = \frac{59.6}{25.4} = 2.26 \text{ Se acepta el calculo ya que cumple con la Norma OS.040}$$

- **VERIFICACION EN LA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO DE IMPULSION HACIA LA CASETA DE BOMBEO.**

Se tienen los siguientes datos para la determinación de la velocidad del agua dentro de la tubería de impulsión. Caudal de bombeo total:

$$Q_b = 0.7 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de impulsión 1 1/2" = 38.6 mm

$$v_i = \frac{Q_b}{A_i} = 0.6 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua dentro de la línea de impulsión está dentro del rango técnico de velocidades para el agua en tuberías ( $0.6 < v_i < 2 \text{ m/s}$ )

Verificamos la relación de diámetros:

$$R = \frac{59.6}{38.6} = 1.54 \text{ Se acepta el calculo ya que cumple con la Norma OS.040}$$

- **VERIFICACION EN LA TUBERIA DE PVC DE IMPULSION A LA SALIDA DE LA CASETA DE BOMBEO LUEGO DE LA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO.**

Se tienen los siguientes datos para la determinación de la velocidad del agua dentro de la tubería de impulsión, luego de salir el caudal total de la tubería de fierro galvanizado;

Caudal de bombeo total:

$$Q_b = 0.7 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de impulsión 1 1/2" = 38.6 mm

$$v_i = \frac{Q_b}{A_i} = 0.6 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua dentro de la línea de impulsión está dentro del rango técnico de velocidades para el agua en tuberías ( $0.6 < v_i < 2 \text{ m/s}$ )

Verificamos la relación de diámetros:

$$R = \frac{59.6}{38.6} = 1.54 \text{ Se acepta el calculo ya que cumple con la Norma OS.040}$$

#### 4.1.4 CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA DE IMPULSION:

- Altura estática de impulsión;  $h_i = 40 \text{ m}$ , medido entre el punto de instalación de la bomba hasta el final de la tubería de impulsión ingresante a la cisterna.
- Pérdidas en la tubería de Fierro Galvanizado, para un caudal unitario de 0.7 l/s

Tabla N° 9 Parámetros relevantes para pérdidas impulsión bomba sumergible

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR
Diámetro de la tubería de impulsión ; $\phi_i =$	25,40 mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	100 /Tubería Fe Galv,
Pérdida unitaria de carga ; J =	0,148 m/m

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

- Pérdidas después de la salida de tubería de impulsión hacia la caseta de bombeo, con tubería de fierro galvanizado.

Tabla Nº 10 Parámetros relevantes para pérdidas en tubería de fierro galvanizado

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR
Diámetro de la tubería de impulsión ; $\varnothing_i =$	38.6 mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	100
Pérdida unitaria de carga ; J =	0,090 m/m

Fuente: Elaboración propia

- Pérdidas en las tuberías de PVC luego de la caseta de bombeo.

Tabla Nº11 Parámetros relevantes para pérdidas en tubería de PVC

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR
Diámetro de la tubería de impulsión ; $\varnothing_i =$	38.6 mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	140 (PVC)
Pérdida unitaria de carga ; J =	0,048 m/m

Fuente: Elaboración propia

- Pérdidas totales en la impulsión en el tren de bombeo tubería de fierro galvanizado.

Tabla Nº12 Longitud total equivalente tren de bombeo sumergible

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	$Le,i = (m)^{(2)}$
Codo de 90º de radio medio	1/2	1	0,8
Válvula Check cierre rápido	1/2	1	3,4
Válvula Compuerta	1/2	1	0,2
Codo de 45º	1/2	1	0,4
Yee DN 26,4mm F°G°	1/2	1	0,6
Longitud recta de tubería	1/2		35
<b>Longitud total equivalente ; <math>SL_{e,i} =</math></b>			<b>40.49</b>

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Pérdidas totales en el tren de impulsión;  $J \times S_{Le,i} = 0.148 \times 40.49 = 5.98 \text{ m}$

- **Pérdidas totales en la impulsión después de la salida en paralelo, tubería de fierro galvanizado.**

Tabla N° 13 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego de tubería de impulsión-bomba sumergible

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,i = (m) <sup>(2)</sup>
Reducción 3/4 x 1 1/2	3/4	1	0,3
Válvula Check cierre rápido	3/4	1	6,8
Tee paso directo normal	3/4	2	2,3
Válvula Compuerta	3/4	1	0,4
Codo de 45° de radio medio	3/4	2	1,7
Longitud recta de tubería	3/4	6,7	6,7
<b>Longitud total equivalente ; SLe,i =</b>			<b>18,20</b>

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Pérdidas totales en la impulsión de Acero;  $J \times S_{Le,i} = 0.09 \times 18.20 = 1.64 \text{ m}$

- **Pérdidas totales en la impulsión después de la salida de la caseta de bombeo (Q total) en tubería de PVC**

Tabla N° 14 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego del tren de impulsión-bomba sumergible

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,i = (m) <sup>(2)</sup>
Codo de 45° de radio medio	¾	1	0,8
Longitud recta de tubería	3/4	10	10
Long. total equivalente = S Le,i			10.8

Fuente: Elaboración propia

Pérdidas totales en la impulsión de PVC;  $J \times S_{Le,i} = 0.048 \times 10.8 = 0.52 \text{ m}$

- **Perdidas por fricción en la descarga.**

Velocidad en la tubería de descarga;  $V_i = 0.6 \text{ m/s}$

Pérdidas por fricción en la descarga ;  $K_i =$

$$K_i = \frac{v_i^2}{2 * g} = 0.02 \text{ m}$$

- Para hallar la Altura dinámica en la impulsión;  $H_{d,i} =$

$$H_{d_i} = h_i + \sum J * S L e_i + K_i$$

Reemplazando valores tenemos el siguiente resultado:

$$H_{d_i} = 48.16 \text{ m}$$

#### 4.1.5 OBTENCIÓN DE LA ALTURA DINÁMICA TOTAL, HDT.

Se tiene la siguiente ecuación, en el cual reemplazamos los valores obtenidos en la altura dinámica de succión y de impulsión:

$$H_d = H_{d_i} + H_{d_s}$$

$$H_d = 48.66 \text{ m}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 (tomado del texto de Evaluación para sistemas de bombeo de agua , eficiencia energética de Manuel Pedraza) para sistemas d bombeo verticales sumergidos.

Altura dinámica total, TDH,  $(H_d+F) = 48.66 * 1.5 = 73 \text{ m}$

#### 4.1.6 REQUERIMIENTOS ELECTRICOS.

Se tienen las siguientes condiciones de suministro de agua:

Caudal de bombeo;  $Q_b = 0.7 \text{ l/s} = 0.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sg}$

Altura dinámica total TDH = 73 m

Densidad del agua a 10 °C  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$

Aceleración de la gravedad  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Aplicando la siguiente ecuación:

$$P_b = \frac{1000 * 9.81 * 0.7 * 10^{-3} * 73}{1000} = 0.501 \text{ KW}$$

Teniendo en cuenta que la eficiencia para los sistemas de bombeo sumergible vertical según catálogo del fabricante es de 60 % a un ritmo de potencia constante, el valor de la potencia electrica requerida es:

$$P_e = \frac{0.501}{0.60} = 0.838 \text{ KW} = 1.12 \text{ HP} = 1 \frac{1}{2} \text{ HP}$$

#### 4.1.7 VERIFICACION DEL GOLPE DE ARIETE HIDRAULICO.

Un efecto que comúnmente se presenta en los sistemas de bombeo es el conocido como "Golpe de Ariete", el cual es una sobrepresión que se genera en la tubería de impulsión, debido principalmente a los eventuales cortes de energía eléctrica o a la suspensión del flujo. Por lo anterior, se procederá a continuación a calcular el efecto, con el ánimo de conocer la resistencia que debe tener la tubería en los puntos críticos donde se presente dicho fenómeno de sobrepresión.

Para determinar la velocidad de aceleración de la onda calculado (a) :

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho - (1 + \frac{K_v * d}{E * e})}}$$

Tabla Nº 15 Parámetros para la determinación de la aceleración de la onda-  
bomba sumergible

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Módulo de Bulk del agua a la temperatura del sitio; Kv=	2.20E+09	Pa
Diámetro interior de la tubería; d=	38.6	mm
Módulo de Elasticidad; E=	2.75E+09	Pa
Espesor del tubo; e=	4.6	mm

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Reemplazando valores en la ecuacion anterior, tenemos que la celeracion de la conduccion o de la onda es :

$$a = 534 \frac{m}{sg}$$

## 4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO CON BOMBA TURBINA VERTICAL:

### 4.2.1 CAUDAL DE DISEÑO DE BOMBEO:

Se tiene el caudal de bombeo:

$$Q_b = 0.70 \text{ l/s}$$

#### 4.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA LINEA DE SUCCION:

Se tienen las dimensiones comerciales de las bombas sumergibles en donde no existe tubería de impulsión, ya que el cuerpo de la bomba se encuentra dentro de ella:

Tabla N°16 Dimensiones comerciales de bomba turbina vertical

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Caudal unitario de bombeo, Q <sub>b</sub>	0,7	L/s
Diámetro tubería de succión, Ø <sub>s</sub>	2	pulg
Diámetro interno tubería de succión, Ø <sub>s</sub>	59.6	mm

Fuente; Elaboración propia

Para hallar el área de la tubería de succión se tiene el siguiente cálculo:

$$A_s = \frac{\pi * \phi_s^2}{4} = 0.003 \text{ m}^2$$

Así mismo se determina la velocidad en la tubería de impulsión:

$$v_s = \frac{Q_b}{A_s} = 0.3 \text{ m/s}$$

Por lo tanto el diámetro del cuerpo de la bomba, que coincide con tubería de impulsión es de 2" , por donde fluye 0.7 l/s a una velocidad de 0.3 m/s.

Ante todo, se debe tener en cuenta que por la geometría de la bomba del tipo turbina vertical su altura estática de succión, en función a la profundidad del pozo.

$$h_s = 40 \text{ m}$$

Para el cálculo de la altura dinámica de la succión se tiene de manera análoga al cálculo anterior del ítem 4.1 los siguientes resultados:



Se presenta la siguiente tabla con los respectivos para metros de diseño para el cálculo de la altura dinámica de succión:

Tabla N°17 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión bomba turbina vertical

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Caudal de succión ; Q <sub>b</sub> =	0,7	L/s
Diámetro de la tubería de succión ; Ø <sub>s</sub> =	59,6	mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	100	(Tubería de Hierro Fundido)

Fuente; Elaboración propia

$$J = \left( \frac{Q_b}{0.2785 * C * \phi_s^{2.63}} \right)^{1/0.54} = 0.028 \text{ m/m}$$

Seguidamente se determinan las pérdidas totales en línea de succión:

Tabla N°18 Parámetros relevantes para calculo altura dinámica de succión BTV

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,s = (m) <sup>(2)</sup>
Entrada	2	1	4
Válvula de pie con coladera	2	1	20.2
Turbinas	2	8	32.0
Long. total equivalente = S Le,s			53.2

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Luego las pérdidas totales en las tuberías de succión son:

$$\text{Pérdidas totales linea de succion} = J * L e . s = 0.1496 \text{ m}$$

Así mismo se determinan las perdidas por fricción en la tubería de succión:

$$K_s = \frac{v^2}{2 * g} = 0.005 \text{ m}$$

$$K_s = 0.005$$

Finalmente la altura dinámica de la succión es igual a :

$$Hd_s = h_s + (J * L e.s) + K_s$$

$$Hd_s = 40.15 \text{ m}$$

#### 4.2.3 VERIFICACION DE LA TUBERIA DE IMPULSION:

- **PARA UNA TUBERIA DE IMPULSION DE UNA BOMBA:**

Se tienen los siguientes datos para la determinación de la velocidad del agua dentro de la tubería de impulsión:

Caudal de bombeo unitario:

$$Q_b = 0.7 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de impulsión 1 1/2" = 38.6 mm

$$v_i = \frac{Q_b}{A_i} = 0.6 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua dentro de la línea de impulsión esta dentro del rango técnico de velocidades para el agua en tuberías (  $0.6 < v_i < 2$  m/s)

Verificamos la relación de diámetros:

$$R = \frac{\phi_s}{\phi_i} > 1$$

$$R = \frac{59.6}{38.6} = 1.87 \text{ Se acepta el calculo ya que cumple con la Norma OS.040}$$

- **VERIFICACION EN LA TUBERIA DE PVC DE IMPULSION A LA SALIDA DE LA CASETA DE BOMBEO LUEGO DE LA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO.**

Se tienen los siguientes datos para la determinación de la velocidad del agua dentro de la tubería de impulsión, luego de salir el caudal total de la tubería de fierro galvanizado;

Caudal de bombeo total:

$$Q_b = 0.7 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de impulsión 1 1/2" = 38.6 mm

$$v_i = \frac{Q_b}{A_i} = 0.6 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua dentro de la línea de impulsión está dentro del rango técnico de velocidades para el agua en tuberías ( $0.6 < v_i < 2 \text{ m/s}$ )

Verificamos la relación de diámetros:

$$R = \frac{59.6}{38.6} = 1.54 \text{ Se acepta el calculo ya que cumple con la Norma OS.040}$$

#### 4.2.4 CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA DE IMPULSION:

- Altura estática de impulsión;  $h_i = 5 \text{ m}$ , debido a que la instalación de bombeo se ubica en la misma cota de la tubería de impulsión.
- Pérdidas en la tubería de Fierro Galvanizado, para un caudal unitario de 0.7 l/s

Tabla Nº 19 Parámetros relevantes para perdidas en tren de impulsión BTV

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR
Diámetro de la tubería de impulsión ; $\phi_i =$	38.6 mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	100 /Tubería Fe Galv,
Pérdida unitaria de carga ; J =	0,023 m/m

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

- Perdidas en las tuberías de PVC luego de la caseta de bombeo.

Tabla Nº 20 Parámetros relevantes para perdidas en tubería de PVC-BTV

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR
Diámetro de la tubería de impulsión ; $\phi_i =$	38.6 mm
Coefficiente de Hazen - Williams ; C =	140 (PVC)
Pérdida unitaria de carga ; J =	0,048 m/m

Fuente: Elaboración propia

- Pérdidas totales en la impulsión en el tren de bombeo tubería de fierro galvanizado.

Tabla N°21 Longitud total equivalente tren de bombeo turbina vertical

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,i = (m) <sup>(2)</sup>
Codo de 90° de radio medio	1 1/2	1	6.0
Válvula Check cierre rápido	1 1/2	1	4.0
Válvula Compuerta	1 1/2	1	0,4
Codo de 45°	1 1/2	1	0,5
Yee DN 26,4mm F°G°	1 1/2	1	0,8
Longitud recta de tubería	1 1/2	12	12
<b>Longitud total equivalente ; SLe,i =</b>			<b>23.66</b>

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Pérdidas totales en el tren de impulsión;  $J \times S_{Le,i} = 0.023 \times 23.66 = 0.55 \text{ m}$

- **Pérdidas totales en la impulsión después de la salida de la caseta de bombeo (Q total) en tubería de PVC**

Tabla N° 22 Longitud total equivalente Tubería de fierro galvanizado luego del tren de impulsión-BTV

Accesorio	Diámetro (pulg)	Cantidad (unidad)	Le,i = (m) <sup>(2)</sup>
Codo de 45° de radio medio	1 1/2	1	4
Longitud recta de tubería	1 1/2	10	10
Long. total equivalente = S Le,i			14

Fuente: Elaboración propia

Pérdidas totales en la impulsión de PVC;  $J \times S_{Le,i} = 0.048 \times 14 = 0.68 \text{ m}$

- **Perdidas por fricción en la descarga.**

Velocidad en la tubería de descarga;  $V_i = 0.6 \text{ m/s}$

Pérdidas por fricción en la descarga ;  $K_i =$

$$K_i = \frac{v_i^2}{2 * g} = 0.02 \text{ m}$$

- Para hallar la Altura dinámica en la impulsión;  $Hd_i =$

$$Hd_i = h_i + \sum J * S L e_i + K_i$$

Reemplazando valores tenemos el siguiente resultado:

$$Hd_i = 1.25 \text{ m}$$

#### 4.2.5 OBTENCIÓN DE LA ALTURA DINÁMICA TOTAL, HDT.

Se tiene la siguiente ecuación, en el cual reemplazamos los valores obtenidos en la altura dinámica de succión y de impulsión:

$$H_d = Hd_i + Hd_s$$

$$H_d = 1.25 + 45.15 = 46.4 \text{ m}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 (tomado del texto de Evaluación para sistemas de bombeo de agua , eficiencia energética de Manuel Pedraza) para sistemas de bombeo verticales con turbinas sumergidas .

Altura dinámica total, TDH,  $(Hd+F) = 46.4 * 1.5 = 69.6 \text{ m}$

#### 4.2.6 REQUERIMIENTOS ELECTRICOS.

Se tienen las siguientes condiciones de suministro de agua:

Caudal de bombeo;  $Q_b = 0.7 \text{ l/s} = 0.7 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sg}$

Altura dinámica total TDH = 69.6 m

Densidad del agua a 10 °C  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$

Aceleración de la gravedad  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Aplicando la siguiente ecuación:

$$P_b = \frac{1000 * 9.81 * 0.7 * 10^{-3} * 69.6}{1000} = 0.477 \text{ KW}$$

Teniendo en cuenta una eficiencia del 60 % global para un sistema de bombeo sumergible vertical a un ritmo de potencia constante , el valor de la potencia electrica requerida es:

$$P_e = \frac{0.477}{0.60} = 0.796 \text{ KW} = 1.06 \text{ HP} = 1\frac{1}{2} \text{ HP}$$

#### 4.2.7 VERIFICACION DEL GOLPE DE ARIETE HIDRAULICO.

Un efecto que comúnmente se presenta en los sistemas de bombeo es el conocido como "Golpe de Ariete", el cual es una sobrepresión que se genera en la tubería de impulsión, debido principalmente a los eventuales cortes de energía eléctrica o a la suspensión del flujo. Por lo anterior, se procederá a continuación a calcular el efecto, con el ánimo de conocer la resistencia que debe tener la tubería en los puntos críticos donde se presente dicho fenómeno de sobrepresión.

Para determinar la velocidad de aceleración de la onda calculado (a) :

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho - (1 + \frac{K_v * d}{E * e})}}$$

Tabla N° 23 Parámetros para la determinación de la aceleración de la onda-BTV

PARAMETROS RELEVANTES	VALOR	UNIDAD
Módulo de Bulk del agua a la temperatura del sitio; Kv=	2.20E+09	Pa
Diámetro interior de la tubería; d=	59.6	mm
Módulo de Elasticidad; E=	2.75E+09	Pa
Espesor del tubo; e=	8	mm

Fuente: Mott –Texto de Mecánica de fluidos

Reemplazando valores en la ecuación anterior, tenemos que la aceleración de la conducción o de la onda es :

$$a = 1,488 \frac{m}{sg}$$

#### 4.3 DETERMINACION DEL NPSH DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.

El valor NPSH<sub>req.</sub> solamente depende de las características de la bomba y no de las de la instalación. Es variable para cada bomba en función del caudal y del número de

revoluciones y es siempre positivo. El valor  $NPSH_{req.}$  es independiente de la naturaleza del fluido trasegado. Los valores  $NPSH_{req.}$  indicados en las curvas características de cada bomba son resultado de mediciones efectuadas con agua fría como fluido trasegado. Se obtienen en bancos de pruebas especialmente diseñados para mediciones de los valores NPSH y pueden ser verificados en cualquier momento. El valor  $NPSH_{req.}$  da una indicación acerca de la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de la curva característica: cuanto menor es el valor  $NPSH_{req.}$ , tanto mayor es su capacidad de aspiración.

#### 4.3.1 CASO BOMBA SUMERGIBLE:

Las bombas sumergibles tienen las turbinas sumergidas en el pozo de agua ,por lo tanto no tienen altura de succión, y no están afectadas por los fenómenos y esfuerzos durante la aspiración de agua por la bomba.

Temperatura del agua 5 °C

Altura geodésica de aspiración o altura estática de succión = 0.054 metros

Presión atmosférica = 960 kPa =0.96 Bar

Presión de vapor a 5 °C = 0.0087 Bar

Densidad del agua 990 kg/m<sup>3</sup>

Las pérdidas de carga dinámica en la línea de succión es de = 0.1496 m

Se calcula el valor de  $NPSH_{disp.}$

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{P_{at.} - P_v}{\rho * g} - h_s - h_{pd}$$

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{0.96 - 0.0087}{990 * 9.81} - 0 - 0.054 = 9.74 \text{ m}$$

$$NPSH_{REQ} + 0.5 \leq NPSH_{disp}$$

$$NPSH_{REQ} \leq 9.24 \text{ m}$$

DE catálogos se obtiene que el  $NPSH_{REQ}$  es 5.5 m, es aceptable las condiciones de operación de las bombas sumergibles.

Para determinar el valor de  $NPSH_{disp}$ . en el cual el sistema de bombeo no cumple con las condiciones favorables de bombeo , se tiene el siguiente calculo:

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{0.96 - 0.0087}{990 * 9.81} - 0 - h_{pd} = 5.5 \text{ m}$$

$$h_{pd} = 4.295 \text{ m}$$

Hasta un valor de una altura geodésica de aspiración o altura estática de succión de 4.295 m, las condiciones de  $NPSH_{disp}$ . son favorables , debido a que los valores de la presión atmosférica y su correspondiente presión de vapor a la temperatura de 5°C es constante, así como el valor de la aceleración de la gravedad. Esto presenta un problema para este tipo de bombas debido a que estas operan y están instaladas con los impulsores sumergidos en agua y la altura geodésica de succión máxima es de 0.054 m.

#### 4.3.2 CASO BOMBA TURBINA VERTICAL: Tenemos el siguiente calculo:

Temperatura del agua 5 °C

Altura geodésica de aspiración o altura estática de succión = 40 metros

Presión atmosférica = 960 kPa = 0.96 Bar

Presión de vapor a 5 °C = 0.0087 Bar

Densidad del agua 990 kg/m<sup>3</sup>

Las pérdidas de carga dinámica en la línea de succión es de = 0.1496 m

Se calcula el valor de  $NPSH_{disp}$ .

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{P_{at.} - P_v}{\rho * g} - h_s - h_{pd}$$

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{0.96 - 0.0087}{990 * 9.81} - 40 - 0.1496 = - 30.35 \text{ m}$$

El valor obtenido del  $NPSH$  disponible es negativo, por lo cual una bomba del tipo turbina vertical no se adapta a estas condiciones de trabajo.



#### 4.4 PRUEBAS LA BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE :

- Se presenta la siguiente tabla para bombas sumergibles verticales de 1.5 a 2 HP , las cuales fueron sometidas a operación a diversos regímenes de carga , reguladas con diversas posiciones de abertura de válvula de descarga , mantenimiento constante la altura dinámica total igual a 73 m. Para el caso de las bombas sumergibles de 1.5 HP instaladas consiguen un máximo caudal de impulso de 0.6 l/s cuando se consume un total de 5 amperios , lo que da como resultado una potencia máxima consumida de 1,100 W (1.47 HP) , mientras que para una bomba sumergible de 2 HP se consigue alcanzar el caudal de bombeo de 0.7 l/s con una corriente de 5.8 amperios con una potencia de 1276 W ( 1.7 HP a un 85 % del porcentaje de carga de la máxima potencia de la bomba sumergible)

Tabla Nº 24 Corriente consumida según tipo de bombas sumergibles

Caudal (l/s)	CORRIENTE (Amp)	
	Potencia 1.5 HP BS	Potencia 2 HP BS
0.7	5	5.8
0.6	5	5.5
0.5	4.7	5.1
0.4	4.5	4.7

Fuente: Elaboración propia

- Del mismo modo se presenta el comportamiento de las bombas turbina vertical de 1.5 a 2 HP , las cuales fueron sometidas a operación a diversos regímenes de carga , reguladas con diversas posiciones de abertura de válvula de descarga , mantenimiento constante la altura dinámica total igual a 69.6 m. Para el caso de las bombas turbina vertical de 1.5 HP instaladas consiguen un máximo caudal de impulso de 0.4 l/s cuando se consume un total de 4.8 amperios , lo que da como resultado una potencia máxima consumida de 1,056 W (1.41 HP) , esto representa 0.5 l/s menos en relación al caudal máximo impulsado por una bomba sumergible de 1.5 HP (50 % menos de capacidad de bombeo). Del mismo modo para una bomba turbina vertical de 2 HP se consigue alcanzar el caudal de bombeo de 0.5 l/s con una corriente de 6.2 amperios con una potencia de 1,408 W ( 1.89 HP a un 94.5 % del porcentaje de carga de la máxima potencia de la bomba sumergible)

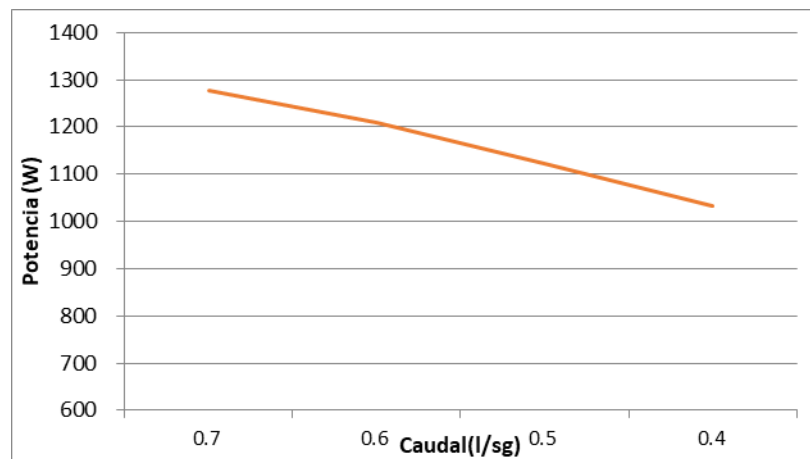
Tabla N°25 Corriente consumida según bombas de tipo turbina vertical

Caudal (l/s)	CORRIENTE (Amp)	
	Potencia 1.5 HP BTV	Potencia 2 HP BTV
0.7	0	0
0.6	0	0
0.5	0	6.2
0.4	4.8	5.8

Fuente: Elaboración propia

- Se presenta el gráfico comparativo entre las potencias consumidas para la bomba sumergible, para el caso del caudal de bombeo de 0.7 l/s , se tiene una potencia de 1,276 W. En términos de consumo de energía para un total de 15 minutos de operación y 8 arranques diarios se tiene un consumo de (para 2 horas) 76.56 kWh mensuales.

Figura N° 17 Comportamiento de la potencia para la bomba sumergible de 2 HP



Fuente : Elaboración propia

#### 4.5 DISCUSION DE RESULTADOS:

- En relación a la tesis de Cutzal Muz ( 2,007) en su informe titulado DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE POR BOMBEO PARA LA COLONIA ROMEC Y DISEÑO DEL INSTITUTO DE SAN JOSÉ CHACAYÁ, SOLOLÁ concluye que es necesario considerar dos tipos de altura neta de succión positiva o NPSH: la disponible, y la requerida por la bomba que será instalada; de ambas es necesario que la primera sea mayor que la segunda para evitar el fenómeno de cavitación, el cual puede dañar rápidamente la bomba. Se demuestra para nuestro estudio que en el caso de las bombas del tipo turbina vertical el  $NPSH_{disp.}$  es negativo con el consiguiente resultado de que no son factibles a instalar en pozos de succión profunda a 3,960 msnm.
- Del mismo modo Auccacusi Montejo , Dany Franco (2,014) en su tesis titulada ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO ÓPTIMO DE BOMBEO EN MUSKARUMI - PUCYURA - CUSCO USANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA concluye que usando una presión o altura dinámica total de 45.7 metros y para bombear un volumen diario de 282.3 m<sup>3</sup> de agua se selecciono una bomba centrífuga sumergible de multipaso, para nuestro caso para una altura dinámica total de 73 metros se selecciona una bomba sumergible de 2 HP del tipo 4SR33G con el cual se impulsa un caudal de 0.7 l/sg o 5.040 litros/diarios.
- Con respecto a la tesis de Llanqui Coila , Armando (2,013 ) , titulada ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR Y ENERGIA A DIESEL EN LAS COMUNIDADES DE SANCAUNI Y VILLA ORINOJON - ISLA AMANTANI manifiesta que el número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación. Para nuestro caso se operara con 8 arranques de 15 minutos sumando un total de 2 horas de operación al día.
- Por lo consiguiente comparando con Rosas Mamani, Roberto Carlos( 2,017) y su tesis titulada DETERMINACION DE LAS VARIABLES HIDRODINAMICAS Y ENERGETICAS EN LA INTERACCION ENTRE MOTOR –BOMBA CENTRIFUGA concluye que las alturas manométricas de succión, de descarga y total, en un

sistema de bombeo común permiten la determinación de la altura dinámica de bombeo. Así mismo coincidimos con nuestra tesis al informe citado ya que se pudo determinar la altura dinámica total para el caso de la bomba sumergible un valor de 73 m y de 69.6 m para las bombas de tipo turbina vertical.

- Así mismo Rodríguez Ayala, Yover (2,013) en su Tesis titulada MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EVACUACIÓN EFICIENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - UNIDAD SAN CRISTOBAL, concluye que el resultado de la potencia de una bomba es dato inicial para la seleccionar la misma, porque en el catálogo de los fabricantes y proveedores se tiene una gama de marcas y modelos. Del mismo modo coincidimos con lo anterior detallado, según el caudal de bombeo y la altura de dinámica se seleccionó bomba sumergible de 2 HP del tipo 4SR33G con un NPSH menor de 9.24 m.
- Finalmente coincidimos con Dragustinovis Ruiz, Edgar ( 2,014) , en su tesis titulada . AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN SISTEMAS DE BOMBEO -CASO DE ESTUDIO HOTELES PYMES quien concluye que un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. Para nuestro caso se demuestra que las bombas sumergibles son mas eficaces para operar a 3,960 msnm que las bombas de tipo turbina vertical, al margen que en el cálculo la altura dinámica total es menor en el último caso con respecto a la bomba sumergible.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Se determinó la altura dinámica total para instalación de bombeo con bomba sumergible de pozo profundo para una localidad a 3,960 msnm, el cual es igual a 73 m . Para un caudal de bombeo de 0.7 l/s , diámetro de tubería de succión de 2” de fiero galvanizado, altura dinámica de succión de 0.0549 m. Diámetro de impulsión de 1” en su tramo de aspiración dentro del pozo de agua y una altura dinámica de impulsión de 48.16 m. Con el cual se requiere de una bomba sumergible accionada por un motor eléctrico de 1 ½ HP. Además de una aceleración de onda para golpe de ariete de 534 m/sg. En este caso no cuenta con altura estática de succión.
- Se determinó la altura dinámica total para instalación de bombeo de pozo profundo on bomba de tipo turbina vertical sumergida para una localidad a 3,960 msnm, el cual es igual a 69.6 m . Para un caudal de bombeo de 0.7 l/s , diámetro de tubería de succión de 2” de fiero galvanizado, altura dinámica de succión de 40.15 m. Diámetro de impulsión de 1 ½ ” en su tramo de aspiración fuera del pozo de agua y una altura dinámica de impulsión de 1.25 m. Con el cual se requiere de una bomba sumergible accionada por un motor eléctrico de 1 ½ HP. Además de una aceleración de onda para golpe de ariete de 1,488 m/sg.
- Se determinó los  $NPSH_{REQ}$  para cada uno de los sistemas de bombeo propuesto determinándose que para el sistema de bombeo sumergible este valor es igual a 9.24 m , mientras que para una bomba de tipo turbina vertical es de -30.35 m. Siendo este último valor determinante para que las bombas de tipo vertical no sean factibles técnicamente a instalar en pozos profundos a 3,960 msnm. Básicamente la altura de sección afecta notablemente a valor final del NPSH , así mismo como la presión de vapor a 5°C , de la misma manera el valor de la presión atmosférica en el lugar de diseño.
- Se determinó que los efectos de la presión y la temperatura afectan significativamente en la selección de un sistema de bombeo a una localidad de 3,960 msnm, siendo la de mejor propuesta instalar una bomba sumergible de 2 HP.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un estudio similar para determinar los efectos de la altura , presión y temperatura en la misma zona rural cuando la bomba tipo turbina vertical opera con alturas de succión de menor valor , comparándolas con las bombas del tipo sumergida.
- Es necesario realizar y promover estudios puntuales para instalación de bombas de agua y analizar su efecto para cada caso.
- En la selección de las bombas es relevante utilizar los manuales de los fabricantes, pues con ellos se asegura una correcta selección y en menor tiempo. Además es importante capacitar al personal de la planta sobre el manejo de las estaciones bombeo, con la finalidad de asegurar la vida útil de estas máquinas..
- Es importante realizar mejoras en los sistemas de bombeo instalados, porque actualizando el diseño y tecnología empleados, se logra tener mejores condiciones de funcionamiento y costos.
- En el cálculo del coeficiente de pérdidas “k” es recomendable el uso de ecuaciones, tablas y ábacos actualizados, para obtener valores con mayor exactitud.

Es importante evaluar las pérdidas de carga en una instalación de tuberías, porque es un indicador que sirve para conocer si el consumo de energía es lo necesario o en exceso, es decir, podemos controlar el costo de operación registrando como antecedente histórico el consumo de dicha energía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### TESIS

AUCCACUSI MONTEJO, Dany Franco. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO ÓPTIMO DE BOMBEO EN MUSKARUMI - PUCYURA - CUSCO USANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica. Perú. 2,004. 191 p.

CUTZAL MUZ, Jose Amner . DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE POR BOMBEO PARA LA COLONIA ROMEC Y DISEÑO DEL INSTITUTO DE SAN JOSÉ CHACAYÁ, SOLOLÁ Tesis para optar el título de Ingeniero Civil San Carlos de Guatemala. 2,007. 219 p.

DRAGUSTINOVIS RUIZ , Edgar . AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN SISTEMAS DE BOMBEO -CASO DE ESTUDIO HOTELES PYMES. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional Autónoma de México. 2,014. 84 p.

LLANQUI COILA, Armando . ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR Y ENERGIA A DIESEL EN LAS COMUNIDADES DE SANCAYUNI Y VILLA ORINOJON - ISLA AMANTANI. Tesis para optar el Título de Ingeniero en la Universidad del Altiplano de Puno, Perú. 2,013. 197 p.

RODRIGUEZ AYALA, Llover. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EVACUACIÓN EFICIENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A - UNIDAD SAN CRISTOBAL. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional del Centro de Huancayo, Perú. 2,014.79 p.



ROSAS MAMANI, Roberto Carlos. DETERMINACION DE LAS VARIABLES HIDRODINAMICAS Y ENERGETICAS EN LA INTERACCION ENTRE MOTOR – BOMBA CENTRIFUGA. Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. 2,017. 197 p.

### **TEXTOS**

CENGEL, Yunus. Mecánica de Fluidos: Fundamentos y aplicaciones. Editorial Mc Graw Hill. México. 1° Edición. 2,007. 997 p.  
ISBN 970-10-5612-4

DE LAS HERAS JIMENEZ, Salvador. Mecánica de Fluidos aplicado a la Ingeniería. Editorial Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. España. 1° Edición. 2,012. 382 p.  
ISBN 8476539363

MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. Editorial Pearson Educación. México. 6° Edición. 2,006. 626 p.  
ISBN 9702608058

SANCHEZ CALVO, Raúl. “Montaje de sistemas de distribución de agua”. Editorial Paraninfo. España. 1° Edición. 2,014. 124 p.  
ISBN 8428334471

ZAMORA, David. 2,012. Optimizar la Rehabilitación de Redes de Distribución de Agua Potable. Editorial EAE. España. 1° Edición. 2,012. 292 p.  
ISBN 3848474395

## **LINKOGRAFIA**

CEPES. Sistemas de almacenamiento. CEPES. España. 2,014. . [Consulta: 15 de abril del 2,018]. Disponible en:

[http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua\\_potable/agua\\_potable6.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable6.pdf)

SALCEDO . Mecánica de Fluidos. Impulsión de fluidos . Universidad de Alicante. 2,016.

[Consulta: 25 de junio del 2,018]. Disponible en:

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2\\_impulsion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf)

FONCODES-MEF. Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales. Gobierno del Perú. 2,016.

[Consulta: 25 de abril del 2,018]. Disponible en:

[https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/saneamiento/\\_3\\_Parametros\\_de\\_dise\\_de\\_infraestructura\\_de\\_agua\\_y\\_saneamiento\\_CC\\_PP\\_rurales.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/saneamiento/_3_Parametros_de_dise_de_infraestructura_de_agua_y_saneamiento_CC_PP_rurales.pdf)

**TIXE, Salvador.** Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural. Organización Panamericana para la salud. [Consulta: 02 de Mayo del 2,018]. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/e105-04disenoimpuls.pdf>

**DIRECCIÓN GENERAL DE APOYOS PARA EL DESARROLLO RURAL.** Líneas de conducción por gravedad. Gobierno de México. [Consulta: 03 de Mayo del 2,018]. Disponible en:

[http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA\\_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf)

**INSTITUTO COSTARICENSE DE ELECTRICIDAD.** Buenas prácticas de eficiencia energética en sistemas de bombeo. ICE-Gobierno de Costa Rica. [Consulta: 03 de Mayo del 2,018]. Disponible en:

<https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/a43ab925-1eda-4b24-94d5-2e7be28cbb69/Bombeo+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1Ijc&CVID=IZQ1Ijc&CVID=IZQ1Ijc&CVID=IZQ1Ijc>

**APRISABAC.** Manual de Procedimientos Técnicos en Saneamiento. Gobierno Regional de Cajamarca. [Consulta: 07 de Mayo del 2,018]. Disponible en:

<http://www.minsa.gob.pe/publicaciones/aprisabac/44.pdf>