

DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA – 2019

DESIGN OF AUTOMATED PUMPING STATION FOR THE EXPLOITATION OF UNDERGROUND WATER RESOURCES IN THE TACNA REGION – 2019

Gianmario Kelvin Jesús Manchego Gil¹

Aceptada: 08-12-2019.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal realizar el diseño de una estación de bombeo automatizada para mejorar la explotación de recurso hídrico subterráneo en la región de Tacna. Para el cumplimiento del objetivo, se desarrolló una metodología de diseño para el sistema de captación o el pozo profundo, para el sistema de perforación que realizará el pozo profundo, para el sistema hidráulico, eléctrico y del control automatizado del sistema de bombeo; diseñados para la explotación continua de un caudal máximo de 30 L/s de agua subterránea, el cual no afectará al equilibrio natural del acuífero y prolongará la vida útil de la estación de bombeo, generando un volumen diario de 2 592 000 litros de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.

Palabras clave: *Diseño, estación de bombeo automatizada, explotación, recurso hídrico subterráneo.*

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to design an automated pumping station to improve the exploitation of underground water resources in the Tacna region. To achieve the objective, a design methodology was developed for the collection system or the deep well, for the drilling system that will perform the deep well, for the hydraulic, electrical and automated control system of the pumping system; designed for the continuous exploitation of a maximum flow of 30 L/s of groundwater, which will not affect the natural balance of the aquifer and prolong the life of the pumping station, generating a daily volume of 2 592 000 liters of water resources underground for population use.

Keywords: *Design, automated pumping station, exploitation, underground water resource.*

¹ Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. g.manchego@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable, ya que es el elemento vital para la conservación y desarrollo de todos los seres vivos que habitan el planeta; y el problema principal por el que atraviesa actualmente la región de Tacna, es la escasez del recurso en mención, existiendo actualmente un déficit de 300 L/s para abastecer la demanda. El recurso hídrico subterráneo, representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra; en las últimas décadas, la explotación de este recurso se ha convertido en una excelente alternativa para suplir las necesidades de abastecimiento de agua potable en muchas regiones y sectores económicos del país; sin embargo, en los antecedentes, el mal diseño y la mala aplicación de métodos con equipos rudimentarios para la construcción de las estaciones de bombeo, ha ocasionado que estos no rindan lo proyectado, generando grandes pérdidas económicas, el prematuro abandono de las instalaciones y la contaminación del recurso hídrico subterráneo. Por ello, el presente trabajo titulado “Diseño de estación de bombeo automatizada para la explotación de recurso hídrico subterráneo en la Región de Tacna”, se desarrolla como solución a la problemática mencionada. Para este estudio se preguntó ¿Cuál es el diseño de estaciones de bombeo automatizada para mejorar la explotación de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la Región de Tacna?

El departamento de Tacna, cuenta con un área de 14 766,63 km² y albergó en el año 2015 una población de 341 838 habitantes; teniendo como principal problema, la escasez de recurso hídrico por estar ubicada en la zona de la vertiente del Pacífico (1,8 % de los recursos hídricos) y en la cabecera del desierto de Atacama, actualmente existiendo un déficit de 300 L/s para abastecer la demanda.

De acuerdo al ANA (Administración Nacional del Agua), el agua subterránea en el Perú, es una fuente de suministro para uso agrícola, doméstico, industrial y pecuario; existiendo el peligro de sobreexplotación en los valles de Ica, Pisco, Chincha, La Yarada en Tacna y La Leche en Lambayeque. El ANA viene realizando una serie de investigaciones a través de los inventarios de fuentes de aguas subterráneas, monitoreos, estudios hidrogeológicos y modelamiento de los principales acuíferos.

El resultado de los inventarios de agua subterránea realizados desde el 2003, muestran un total de 46 392 pozos en 48 acuíferos a nivel nacional. De las fuentes de agua subterránea inventariadas en los 48 acuíferos a nivel nacional, destacan los sistemas de Chancay Huaral (4 069 pozos) y Pucallpa (3 388 pozos) con el mayor número de pozos inventariados. Los sistemas que presentan menor número de pozos inventariados son Yauca y Sama con 52 y 49 pozos respectivamente.

Por otro lado, la distribución de las fuentes de agua subterránea según el estado que se encontraban en el momento que fueron inventariadas, se clasifican de la siguiente manera:

- Pozos utilizados, son aquellos que se encuentran operativos, cuyas aguas extraídas son utilizadas en sus diferentes usos y hacen un total de 31 899.
- Pozos utilizables, son aquellos que se encuentran sin equipo de bombeo, abandonados por bajo rendimiento, sellado en reserva, con el equipo malogrado y/o en perforación; a nivel nacional se presentan 12 428 pozos.
- Pozos no utilizables, son aquellos que se encuentran derrumbados, desviado la tubería, enterrados y secos permanentemente; son un total de 4 358 pozos.

El inventario de las estaciones de bombeo de recurso hídrico subterráneo para la Región Tacna, fue realizado por Hydrogeological y Geotechnical Services Perú S.A. [2], en los meses de setiembre del 2011 y setiembre del 2012, para ello fue necesario contar con personal técnico y especializado, cuya función fue la recolección "in situ" de datos de los pozos, indispensables para el presente estudio, evaluando la información técnica de los pozos. En dicho estudio, se identificó 20 pozos tubulares distribuidos en los distritos: Pocollay, Ciudad Nueva, Tacna cercado y Coronel Albarracín.

Las causas más extendidas del abandono de estaciones de bombeo de recurso hídrico subterráneo en la región Tacna, es atribuible al uso de una tecnología inadecuada en su diseño y construcción en las partes que conforman la instalación, siendo los principales casos, los siguientes:

- La máquina perforada utilizada no es la adecuada, impidiendo ubicar y llegar al acuífero a explotar.
- Al no realizar en la construcción del pozo profundo un sello sanitario adecuado en su parte superior, ocasiona la rápida corrosión de la camisa (tuberías) y la contaminación del agua extraída.
- El ingreso de arena en el interior del pozo profundo que erosiona los rodetes de las electrobombas y contamina la fuente de agua, debido a una mala selección de la abertura de los filtros y de la granulometría del macizo de gravas, y/o la falta de desarrollo en los pozos.
- El sobredimensionamiento en el diseño y la selección del equipo de bombeo utilizado en la estación de bombeo, termina por secar el pozo profundo, esto es porque no permite su recarga.
- La mala instalación del equipo de bombeo en el pozo profundo, al sumergirlos a profundidades inadecuadas o no incorporarles los accesorios necesarios para la protección del motor eléctrico, ha conllevado que los equipos presenten fallas constantemente.

En la mayoría de los casos, se opta por la construcción de un nuevo pozo como solución al problema, con lo cual el pozo anterior se abandona; en pocas ocasiones, una construcción deficiente provoca la oclusión de gran parte de la superficie abierta de las rejillas, con la consiguiente pérdida de productividad del recurso hídrico, ya sea por crecimientos bacterianos, por ausencia de desarrollo, etc.

Cuando una estación de bombeo de recurso hídrico subterráneo se abandona por cualquiera de los motivos antes expuestos, o por otros, en muchas ocasiones se abandona con la bomba incluida; en otros casos se saca la bomba y se coloca una tapa de madera o de metal en la emboquilladura (ésta última a veces soldada o a veces no), aunque muchas veces se queda abierto. En muy contadas ocasiones el pozo se rellena de arena. Todos éstos son débiles intentos de asegurar que el pozo profundo perforado y la estación de bombeo no suponga un peligro público; desafortunadamente tales procedimientos fallan puesto que la mera existencia de un pozo abandonado de forma incontrolada, supone una vía directa de inyección de contaminantes en el acuífero (bien por el interior del entubado, bien a través del anular si el sello sanitario es deficiente o está ausente) al permitir la entrada de aguas superficiales contaminadas y facilitar el flujo entre la parte más superficial del acuífero (contaminada, sobre todo en la zona del casco urbano) y la parte profunda (en principio exenta de contaminación). Además, un pozo abandonado llega a ser con frecuencia un receptáculo para el vertido esporádico de basuras y otros residuos (se introducirá en el pozo todo aquello que estorbe y pueda caber en él, incluyendo animales muertos, baterías de coches, etc.) o de vertido más o menos continuo, de tal modo que lo que acostumbraba a ser un pozo de abastecimiento pasa

a ser un pozo negro con vertido de residuos domésticos, industriales, aceites del motor de vehículos, etc. Por otro lado, parte de los pozos abandonados no son accesibles actualmente al estar cubiertos por cimientos de otras estructuras, con el correspondiente riesgo de que se conviertan en focos de contaminación al acuífero ya imposible de controlar.

La realización de un pozo de bajo costo y deficiente, no sólo pone en peligro el futuro rendimiento del mismo (por entrada de arenas en el sondeo o aumento de las pérdidas de carga), sino, que además potencia el riesgo de contaminación del acuífero natural, para el caso de la región de Tacna sería el acuífero del río Caplina.

Asimismo, para realizar estudios, exploraciones, explotaciones u otras obras, alguna persona natural o jurídica descubriese agua, está obligada a informar a la autoridad nacional y a brindar la información técnica correspondiente al hallazgo. Y el derecho a utilizar dichos recursos, deberá ser parte de un permiso específico, otorgado por la autoridad correspondiente.

Finalmente, es importante destacar, que es competencia de la autoridad nacional de establecer zonas de veda y zonas de restricción respecto de la exploración y uso de aguas subterráneas, en casos donde la situación de la cuenca así lo amerite. Con la finalidad de prevenir estos fenómenos, desde el año 1966, se viene declarando zonas de veda en aquellos acuíferos donde la extracción del agua es superior a su recarga, Decreto Supremo N° 065-2006-AG, de fecha 06 de noviembre de 2006. Declara de necesidad pública y preferente interés nacional la conservación y preservación del recurso hídrico del valle del río Caplina, el cual se encuentra ubicado en la provincia y departamento de Tacna, distritos de Tacna, Pocollay, Calana y Pachía; para ello decreta establecer veda en la zona indicada, quedando prohibido ejecutar todo tipo de obra destinada a la explotación de recursos hídricos, así como el incremento de los volúmenes actuales de explotación.

El principal problema en la investigación, es el alto costo para el desarrollo de la investigación propuesta y de los ensayos o pruebas que se pueden realizar en estaciones similares en la misma región, debido a que se requiere utilizar equipos especiales y personal capacitado, por lo que sería necesario contar con patrocinio de entidad pública o privada que se implemente con los mismos; para corregir esta falencia y ratificar los procedimientos, se realizó la investigación documental de archivos corroborados en la práctica, con recomendaciones de autores y fabricantes de los equipos; además de realizar la simulación digital para el funcionamiento del sistema de control automatizado y visitas a las estaciones de bombeo operativas en la región de Tacna.

El problema principal y actual que enfrenta la Región de Tacna es la escasez del recurso hídrico superficial potable debido a razones de carácter geográfico, político y social; como solución para cubrir la demanda poblacional se inicia la explotación del recurso hídrico subterráneo, sin embargo, de manera ineficiente, generando múltiples estaciones de bombeo abandonadas por: altos costos por desperfectos en la construcción por realizarlas con maquinaria y herramientas de perforación inadecuados; altos costos de funcionamiento por reparaciones constantes del equipo de bombeo a causa de una mala instalación y mantenimientos; además, del secado del pozo profundo de agua de la estación de bombeo, por sobrexplotación y mal diseño del sistemas de bombeo.

Dada la amplitud del tema y el requerimiento de estudios multidisciplinarios que se exige para un desarrollo adecuado, esta investigación fue realizada principalmente para solucionar problemas pertenecientes a la especialidad de Ingeniería Mecánica, en donde se han identificado las principales causas de cierre de las estaciones de bombeo en la región, como: altos costos por el diseño y construcción inadecuada de las estaciones de bombeo para

explotación de recurso hídrico subterráneo, en la selección de las partes que la conforman, selección de maquinaria y herramientas de perforación inadecuados, selección e instalación inadecuada del sistema de bombeo, remplazos recurrentes del equipo de bombeo, plan y programa de mantenimiento deficiente.

En consideración, que la investigación se centra principalmente en resolver problemas de origen mecánico, no se ignoran los problemas concernientes a otras especialidades, ya que estos repercuten significativamente en la integridad de toda la estación de bombeo, por lo que se hará mención de estos en el desarrollo y se enfatizará en la solución adecuada de los mismo.

El estudio presentado, se desarrolla para la región de Tacna y su población, en donde el recurso hídrico se está volviendo escaso y es el principal problema que la aqueja, por consiguiente, la investigación se desarrolla considerando las características hidrogeológicas de la zona; sin embargo, la metodología de diseño y los procedimientos desarrollados son aplicables en otros entornos o regiones. Además, en los cálculos de costo, de mano.

OBJETIVO

Diseñar una estación de bombeo automatizada para mejorar la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la región de Tacna.

Diseñar el pozo profundo para explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional y el sistema de perforación para su realización.

Diseñar el sistema electromecánico de bombeo para la estación de bombeo para la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.

Establecer los procedimientos y estándares de funcionamiento, como el plan y programa de mantenimiento para la estación de bombeo de explotación de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.

METODOLOGÍA

Esta investigación es del tipo técnico-aplicativo; ya que se realiza sobre hechos concretos y específicos, de carácter netamente utilitarios; corresponde al diseño no-experimental transversal, ya que no se controlan las variables y se utiliza el método de análisis deductivo por cálculo.

Debido a que en esta investigación se analiza un caso específico, entonces, la población es unitaria (la estación de bombeo automatizada), realizando el análisis en función de la población y no basado en una muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

A. Ubicación de los pozos profundos

En consideración de la necesidad de basarse en datos reales de la hidrogeología natural de la zona, se consideran los resultados obtenidos por Hydrogeological and Geotechnical Services PERÚ S.A. [2] en su "Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional" solicitado y preparado para la EPS Tacna S.A., con autorización de la Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos de la ANA, por

medio de Resolución Directoral N° 0096-2010-ANA-DCPRH. En dicho estudio, se identifican 4 zonas favorables para la explotación de agua subterránea en el acuífero del río Caplina, perteneciente a la región de Tacna, ubicadas en el área urbana, especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 1
Ubicación proyectada para los pozos de explotación PEEPS

ZONA FAVORABLE	POZO DE EXPLOTACIÓN	COORDENADAS UTM WGS 84-19S	
		ESTE (m)	NORTE (m)
ZONA A	PEEPS - 01	368,512	8 008,103
ZONA B	PEEPS - 02	369,790	8 009,388
ZONA C	PEEPS - 03	370,699	8 009,153
ZONA D	PEEPS - 05	366,638	8 006,727

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

De los pozos propuestos, se selecciona el PEEPS-02 para realizar el diseño de las partes que lo conforman.

B. Caudal y tiempo de explotación proyectado del pozo profundo

Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012) afirma: “El caudal de explotación máximo diario será de 30 L/s para cada uno de los pozos proyectados PEEPS-01, PEEPS-02, PEEPS-03 y PEEPS-05 ubicados en las zonas favorables”. Caudal que no afectará al equilibrio natural del acuífero y prolongará la vida útil de la estación de bombeo, pudiendo ser el caudal explotado por 24 horas diarias.

C. Diámetro del ademe o entubado del pozo profundo

Para un caudal de 30 L/s, el entubado debe tener un diámetro nominal de 300 mm (12 in). (Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia 1999) [3]

D. Diámetro de perforación para la instalación del entubado

Dado que el diámetro nominal de entubamiento es de 300 mm (12 in), para lograr una buena cementación es necesario perforar un diámetro mayor en 101,6 mm (4 in) al diámetro de la camisa, considerando factor de seguridad de 1,5; resultando un diámetro de perforación de 457,2 mm (18 in).

E. Diseño del pozo profundo

Considerando los espesores de los estratos identificados en el estudio hidrogeológico, se establecen las profundidades de instalación de los elementos que conforman un pozo de captación. Profundidad de Tubería 0-98 m, filtro 98-194 y tubería tapón 194-200, profundidad de cementación 0-50 m, sello bentónico de 50-5 y prefiltro 51-200m.

F. Diseño del ademe o entubado del pozo profundo

Se selecciona el acero inoxidable AISI 304 como material de fabricación del entubado. Mediante el siguiente esquema se determina las presiones en los puntos A, B y C para determinar el espesor del entubado.

Si la máxima presión es en el punto C y el diámetro exterior de la tubería de 300 mm es 323,8 mm, reemplazando los datos en la ecuación resulta 3,47 mm, el estándar de espesor cercano es de 4,57 mm del ANSI Cédula 10; sin embargo, según la norma API, para un diámetro de 300 mm a una profundidad de 210 m, corresponde un espesor de entubado de 6,35 mm del ANSI Cédula 20 el cual se selecciona.

G. Diseño del filtro

Si el caudal es igual a la velocidad por área, resulta un área de infiltración de 13 000 cm²; por lo tanto, se selecciona de catálogo de fabricante la tubería tipo filtro de ranura maquinada longitudinalmente de tipo II, para una tubería de 324 mm de diámetro y 6,35 mm de espesor, con un ancho de ranura de 3,97 mm, para lo cual corresponde un área de infiltración de 228 cm²/m, considerando que la longitud total de las tuberías filtro es de 96 m, el área de infiltración resultante es 21 888 cm².

H. Diseño de las uniones de las tuberías

Se determina que las tuberías se deben unir con soldadura por arco metálico con electrodos revestidos (SMAW) por ser de menos costos, los extremos de las tuberías deben ser biselados a 32°, dejando un espesor liso de 1,59 mm (1/16 in), el electrodo empleado INOX AW código E308L-16, diámetro de 3,97 mm (5/32 in), resistencia máxima a la tracción de 650 Mpa, el amperaje para soldar debe ser de 100 a 130 amperios, y debe realizarlo un técnico soldador con homologación en posición 2G.

I. Selección de la abrazadera y accesorios para la instalación

Considerando que los fabricantes de tuberías de acero inoxidable establecen que el peso teórico por unidad de longitud, está dado por la siguiente expresión: $\text{kg/m} = (\text{DE} * e) * 0,025132$, reemplazando los valores se obtiene: $\text{kg/m} = 51,6747$. Para una longitud de 200 metros de tubería, resulta una masa de 10 334,93 kg. Del catálogo de fabricantes se selecciona la abrazadera para diámetro de 323,85 mm (12 3/4 in) y para capacidad máxima de 16 toneladas fabricada de acero estructural ASTM A36. Se selecciona dos eslingas planas de poliéster, con capacidad para 12 toneladas con largo comercial de 10 m.

J. Especificaciones de la cementación para la cubierta

El encofrado se inicia después de vaciar los muros, se coloca varillas de acero de refuerzo, se realiza una cubierta cilíndrica de diámetro de 635 mm (25 in) y altura de 0,1 m utilizando un concreto simple de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$; el acabado exterior se realiza con una capa de mortero colocada sobre el concreto fresco.

K. Especificaciones de la cementación para la losa de fondo

Losa de diámetro de 311,2 mm y altura de 0,1 m, concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

L. Especificaciones de la cementación para el entubado del pozo

Se debe soldar al final del entubado 4 aletas de forma triángulo rectángulo de 177,8 mm (7 in) de ancho y 304,8 mm (12 in) de largo, fabricado de plancha de acero de 12,7 mm (1/2 in) de espesor, espacio anular vaciado con concreto simple de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, se instala entre el espacio anular una tubería de PVC de diámetro 38,1 mm (1 1/2 in) desde la superficie hasta el inicio del pre-filtro con la finalidad de aumentar grava.

M. Especificaciones del sello bentónico

Para un espacio anular estrecho de 76,2 mm, del catálogo de fabricantes se selecciona tabletas bentónicas de 9,53 mm (3/8 in).

N. Especificaciones del pre-filtro

Para ancho de ranura del filtro de 3,97 mm, según catálogo de proveedores de grava se selecciona del número 4, cuyos diámetros están entre 5 a 9 mm, en la práctica, el diámetro comercial es de 6,35 mm (1/4 in).

O. Diseño del pre-pozo para el sello sanitario

Se debe realizar inicialmente una excavación manual con profundidad de 5 m, para la camisa se selecciona una tubería de acero negro A 53 grado A, rolado para diámetro

nominal de 500 mm (20 in), longitud de 5 m, diámetro exterior de 508,0 mm y espesor de 6,35 mm (1/4 in) (cédula 10, según norma ANSI), en consideración, el diámetro de excavación será de 1 m y cualquier sobre-excavación mayor tiene que ser rellenada, se tiene que vaciar con concreto de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2 + 25\%$ con piedra mediana.

P. Diseño del procedimiento de perforación del pozo profundo

El trabajo de perforación se inicia con la perforación de un pozo piloto (exploratorio) de diámetro de 203,2 (8 in), desde los 5 m hasta los 200 m de profundidad tentativa, se tiene que realizar muestreo del material perforado del pozo cada 2 metros de avance, colocándolos en bolsas de plástico de 2 kg para su estudio y midiendo la velocidad de avance de la broca de perforación, además, se deberá realizar un perfilaje eléctrico del pozo piloto con diagrfias de potencial espontaneo y resistividad eléctrica, para evaluar las profundidades de los puntos más productivos (mayor permeabilidad). Luego se realiza el rimado del pozo, con diámetro establecido de 457,2 mm (18 in), desde los 5 m hasta los 200 m de profundidad tentativa.

Q. Diseño del desarrollo del pozo profundo

Aplicación de agua a presión, con la bomba de lodos del equipo de perforación, en frente de cada filtro para extraer el lodo de perforación, pistoneo e inyección simultánea de aire comprimido en frente de cada filtro, aplicación de dispersantes químicos de lodo bentónico, para disolver y remover la costra de bentonita, presente en las paredes y alrededor del pozo, segundo y último pistoneo con inyección simultánea de aire comprimido en frente de cada filtro, agitación y sobrebombeo con la bomba de prueba.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN

En consideración que los estratos están formados por materiales fragmentados, depositados de orígenes diversos, pudiendo estar disgregados o cementados, tienen una resistencia a la compresión que varía de 5 hasta 350 kg/cm^2 ; y considerando una porosidad del 20 %, la resistencia a la compresión calculada del terreno es de 280 kg/cm^2 que pertenece al tipo de roca muy blando, que equivale a 27,47 Mpa.

A. Velocidad de rotación

Para una roca muy blanda de 280 kg/cm^2 , corresponde una velocidad de rotación igual a 105 rpm. [4]

B. Diámetro de perforación

Según catálogo de fabricantes el diámetro del tricono más próximo es de 444,5 mm (17 1/2 in), que es el máximo diámetro estándar de fabricación.

C. Fuerza de empuje

Si la Fuerza máxima de empuje es igual al doble de la fuerza mínima, resulta 121 919,93 N (27 407,59 lbf).

D. Velocidad y caudal del aire de barrido

- a. **Velocidad del fluido.** Se estima la velocidad del fluido; considerando que el terreno es del tipo grava, el diámetro promedio es de 5 mm y densidad de 1,6 gr/cm^3 ; en 926,15 m/min.
- b. **Caudal del fluido.** Se estima el caudal del fluido en 66,38 m^3/min .
- c. **Presión del fluido.** Ortiz (2003) afirma: Los resultados de las investigaciones realizadas por los fabricantes, indican que la caída de presión (AP) del aire al pasar por el tricono requerida para una adecuada refrigeración de sus rodamientos se ubica en un rango de 30 a 50 psi, lo que equivale a 2,1 y 3,5 bar respectivamente.

E. Fuerza de tracción

En la práctica, se determina que el peso mayor es del entubado el cual sería de 101 385,68 N

F. Selección de la máquina perforadora

Con la finalidad de cumplir con los requisitos mínimos de operación se selecciona la máquina perforadora de pozos de agua marca Atlas Copco modelo T3W.

G. Selección de la herramienta y la sarta de perforación

Se selecciona herramientas de la marca Atlas Copco, tricono de diámetro de 444,5 mm (17 1/2 in) H2R, código IADC de 3-2-1, 60 a 80 rpm, 31 751 a 55 565 kg (70 000 a 122 500 lb), para rosca con diámetro de 168,275 mm (6 5/8 in) tipo API REG; tricono de diámetro de 158,75 mm (6 1/4 in) H1R, código IADC de 3-1-1, 60 a 80 rpm, 11 339 a 19 844 kg (25 000 a 43 750 lb), para rosca con diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG. Barras de perforación con diámetro exterior de 114,3 mm (4 1/2 in) y 6,10 metros de longitud, código de producto 58160912, conexión rosca de diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG y un adaptador estabilizador superior de rosca interna hembra con diámetro de 168,28 mm (6 5/8 in) tipo API REG y rosca externa macho con diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG.

3. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO**A. Ensayo de bombeo para el pozo profundo**

El Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca [5] indica:

El ensayo de bombeo, es una prueba que se realiza luego de finalizada la obra. Permite determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento) y es imprescindible para conocer el nivel de trabajo y el caudal real de explotación del pozo. (p.48)

Se tiene que realizar cuando concluya la construcción del pozo profundo.

B. Selección del tipo de bomba

Para el pozo profundo se selecciona del tipo bomba sumergible y para la cisterna se selecciona del tipo bomba centrífuga horizontal.

C. Selección de la cantidad de bombas

Para el pozo profundo se selecciona una unidad que trabaje por 24 horas diarias y para la cisterna se selecciona dos unidades que trabajan de forma alternada por 12 horas diarias

D. Caudal de bombeo

Para el pozo profundo Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. [2] afirma: "El caudal de explotación máximo diario será de 30 L/s para cada uno de los pozos proyectados PEEPS-01, PEEPS-02, PEEPS-03 y PEEPS-05 ubicados en las zonas favorables" (pp.120-121). Para la cisterna se considera que se va a alimentar de una segunda vertiente en hora punta proveniente del PEEPS-03 para duplicar el caudal de bombeo utilizando las dos unidades de bombeo.

E. Diseño de las tuberías

Se selecciona el acero que cumple con la norma ASTM A-53, con recubrimiento epóxico interior y exterior, por consideración de sus propiedades mecánicas.

Para la tubería de impulsión del pozo profundo, y considerando una velocidad máxima de 2,5 m/s para un caudal de 30 L/s, resulta 123,6 mm, el diámetro interior próximo es

de 128,2 mm, que corresponde a una tubería de diámetro nominal de 125 mm (5 in) y espesor de 6,55 mm para el ANSI Cédula 40. Para la parte superior donde tienen que instalarse accesorios, se selecciona el diámetro nominal próximo de 150 mm (6 in) y espesor de 7,11 mm para el ANSI Cédula 40.

F. Selección del equipo de bombeo

Se desarrolla el esquema de instalación del sistema de bombeo para el pozo profundo. Hidrostal [6] afirma: “El nivel dinámico debe estar siempre por encima de la bomba (recomendamos: mínimo 3 m)” (p.14).

Se determina que la bomba sumergible S07SH-7R1-70HP cumple con los requisitos para el pozo proyectado PEEPS-02 a una eficiencia de 77%, es una bomba de 7 etapas e impulsor R1, equipada con un motor eléctrico para corriente alterna, tipo asíncrono trifásico, rebobinable con grado de protección IP68, potencia de 70 hp, velocidades de 3 470 a 3 510 rpm para frecuencia de 60 Hz.

Se desarrolla el esquema de instalación del sistema de bombeo para la cisterna. La profundidad está definida por la longitud de la válvula de pie que se debe instalar directo al codo de 90°, considerando que se adquiere accesorios de la marca FUMOSAC, la altura total es de 621 mm. Del esquema se determina las pérdidas de altura en el sistema.

Para determinar la longitud de la tubería de diámetro nominal de 200 mm, de la estación de bombeo hacia el reservorio.

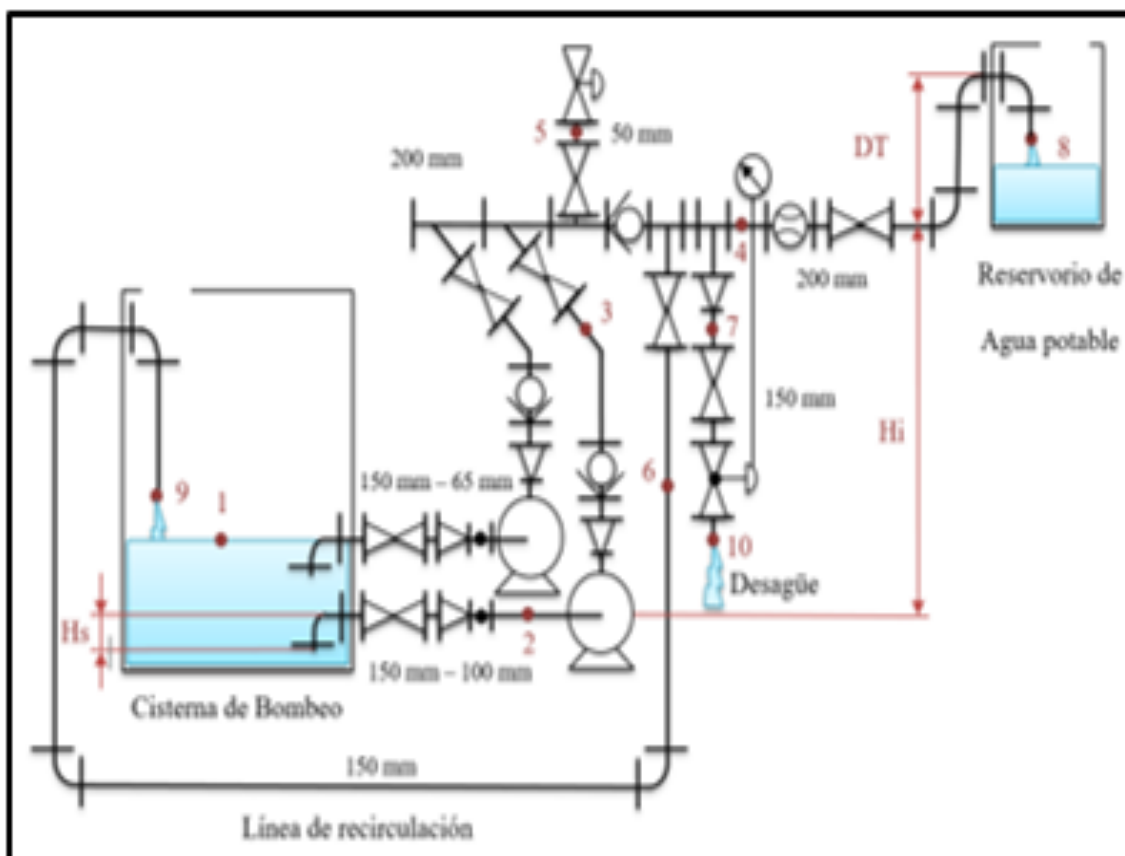


Figura 1. Esquema de instalación del sistema de bombeo para la cisterna

Corresponderá una longitud de entubado de 385 m, considerando 17 m de diferencia de altura por el desnivel topográfico y la altura de elevación al reservorio R-4, y

considerando un promedio de 5 m de longitud de la tubería de diámetro nominal de 200 mm para el montaje de accesorios dentro de la estación de bombeo, se obtiene una longitud total de 407 m. y resulta una altura de bombeo total de 33,04 m.

Del manual del usuario de instalación operación y funcionamiento de bombas sumergibles de la compañía Hidrostal S.A. [6], para un caudal de 30 L/s y una altura de bombeo de 33,04 m, el modelo de bomba centrífuga 65-160 será el equipo que trabaje a mayor eficiencia.

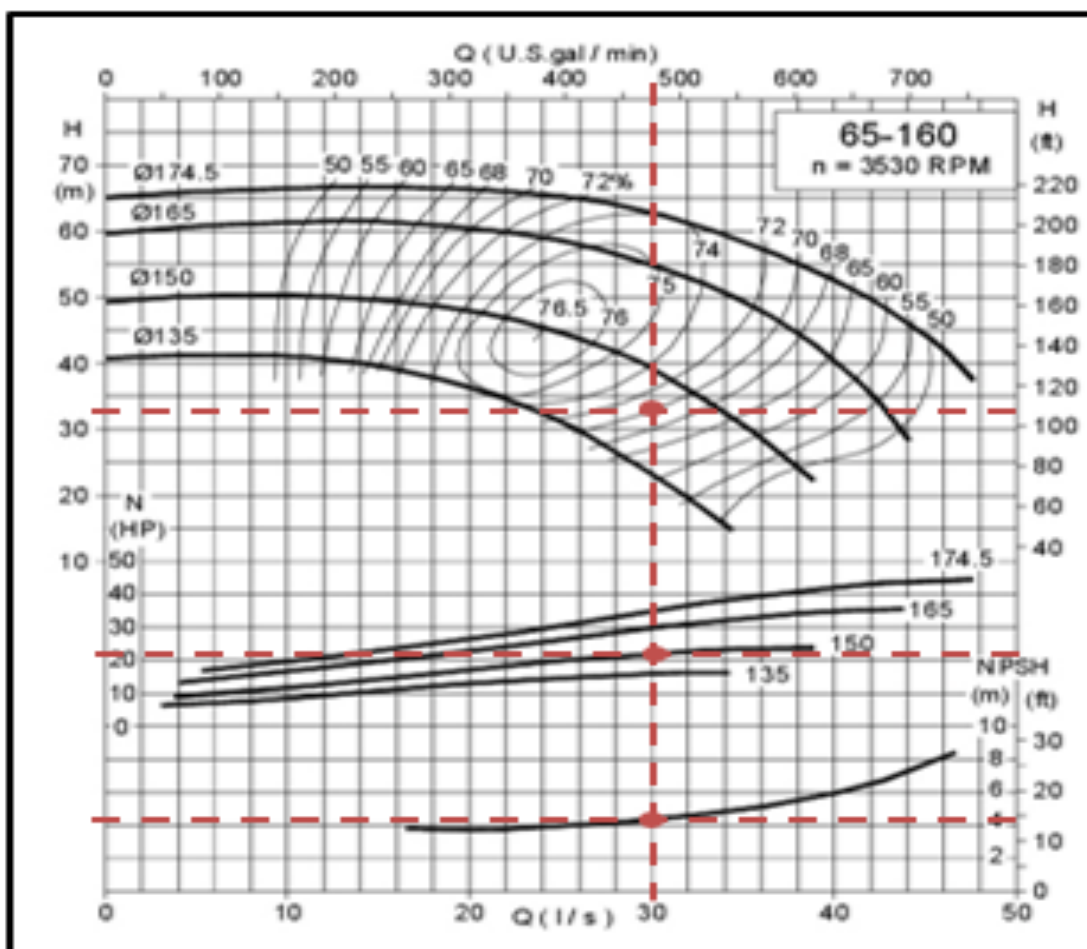


Figura 2. Curvas características de la bomba centrífuga 65-160. (fuente Hidrostal S.A. 2012)

Considerando una eficiencia del 70 %, resulta una potencia de 18,63 hp, en la figura 6, se determina que el motor eléctrico debe tener una potencia mayor a 20 hp. Por lo tanto, se selecciona un motor eléctrico para corriente alterna, tipo asíncrono trifásico, rebobinable con grado de protección IP55, potencia de 18,5 kW (24,81 hp), marca WEG modelo W22, carcasa de fundición de hierro de alta eficiencia, de 2 polos para que pueda trabajar a velocidad de 3 600 rpm; armado en carcasa 180M. En la figura 6, se determina que el NPSH requerido es de 4,2 m; considerando que la presión atmosférica promedio en la región de Tacna es de 9,57 metros de columna de agua, y la presión de vapor a 20 °C es de 0,25 metros de columna de agua, las pérdidas de fricción en la tubería de succión son de 2,25 m y la altura de succión es de 0,62 m.

Se determina que el NPSH disponible es 6,45 y es mayor al NPSH requerido de 4,2, por lo tanto, no habrá cavitación en el sistema.

G. Cálculo de las presiones nominales para la selección de accesorios

Aplicando el principio de conservación de la energía en el punto inicial de succión hasta el punto de salida del agua. Para el pozo profundo, si la presión en el punto 4 es cero, despejando la presión en el punto 2 y reemplazando los datos resulta 11,33 bar, según la norma DIN la presión nominal es PN-16; en el punto 3 es 0,19 bar la presión nominal es PN-10.

Para la cisterna, si la presión en el punto 8 es cero, despejando la presión en el punto 4 y reemplazando los datos resulta 2,31 bar, según la norma DIN la presión nominal es PN-10; en el punto 3 es 2,77 bar la presión nominal es PN-10; en el punto 2 es 2,95 bar la presión nominal es PN-10; en el punto 6 es 2,11 bar la presión nominal es PN-10; en el punto 7 es 2,3 bar la presión nominal es PN-10.

4. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

A. Cálculo para el alumbrado interior de la caseta de bombeo

Las medidas de la caseta de bombeo para el pozo profundo son de 3,5 m de largo y 3,5 m de ancho, la superficie total es de 12,25 m² y su altura total tiene que ser de 2,6 m. Considerando que la tubería tiene que elevarse a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 2,2 m.

Las medidas de la caseta de bombeo para la cisterna son de 9,85 m de largo y 4,7 m de ancho; la cual está compuesta por una sala de bombas de 7,3 m de largo y 3,2 m de ancho, la superficie total es de 23,36 m² y una altura total de 4 m; dos divisiones de pasadizos de 4,7 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 5,64 m²; una división de pasadizo de 7,3 m largo y 1,5 m de ancho, la superficie total es de 10,95 m²; y una división de pasadizo de 3,8 m largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 4,56 m²; y la altura total para todos los pasadizos es de 2,6 m. Para la sala de bombas, considerando que la tubería debe estar elevada a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 3,6 m; y para los pasadizos, considerando que la tubería debe estar elevada a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 2,2 m.

El trabajo que se desarrolla en las instalaciones corresponde a una tarea visual de calidad "B" el tipo de trabajo normal para la industria liviana, corresponde una iluminación de servicio de 500 luxes. Considerando un factor de mantenimiento de 0,75; el factor de reflexión del techo es de 50 % y las paredes de 50 %, y para el índice local K, se determina un coeficiente de utilización para la sala de bombas de 0,534; para el pasadizo 1 será de 0,551; para el pasadizo 2 será de 0,54; y para el pasadizo 3 será de 0,554; reemplazando los datos en la ecuación [61] resulta para la sala de bombas es 29 163,55 lúmenes; para el pasadizo 1 es 6 823,96 lúmenes; para el pasadizo 2 es 13 518,52 lúmenes y para el pasadizo 3 es 5 487,36 lúmenes. Se selecciona el equipo fluorescente TCW060 2xTL-D36W, para instalar dos lámparas fluorescentes tubulares de 36 W modelo TL-D Super 80 36W/840 marca PHILIPS, produce un flujo luminoso de 3 350 lúmenes, dividiendo se obtiene para la sala de bombas es 4 unidades; para el pasadizo 1 es 1 unidad; para el pasadizo 2 es 2 unidades y para el pasadizo 3 es 1 unidad.

Las medidas de la caseta del operador son de 2 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 2,4 m²; del servicio higiénico son de 1,2 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 1,44 m²; y la altura total es de 2,4 m. Considerando que el plano trabajo está a una altura de 0,8 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 1,6 m.

El trabajo que se desarrolla en las instalaciones corresponde a una tarea visual de calidad "B" el tipo de trabajo normal para la industria liviana, corresponde una iluminación de servicio de 500 luxes. El flujo luminoso total se determina con la siguiente ecuación. Considerando un factor de mantenimiento de 0,75; el factor de reflexión del techo es de 50 % y las paredes de 50 %, y para el índice local K, se determina un coeficiente de utilización para la caseta del operador de 0,6; para el servicio higiénico es de 0,62; resulta para la caseta es 2 667,67 lúmenes y para el servicio higiénico es 309,68 lúmenes. Se selecciona focos ahorradores de 32 W E27 de luz blanca marca PHILIPS, produce un flujo luminoso de 2 000 lúmenes, dividiendo se obtiene que se requiere 1 unidad para cada ambiente.

B. Cálculo para el alumbrado exterior de la caseta de bombeo

Se selecciona el equipo fluorescente TCW060 2xTL-D36W, para instalar dos lámparas fluorescentes tubulares de 36 W modelo TL-D Súper 80 36W/840 marca PHILIPS, se instalan 11 unidades ubicadas en los siguientes puntos: 1 unidad en la entrada de la caseta del operador y del servicio higiénico, 6 unidades a lo largo de la caseta de bombeo del pozo profundo y cisterna (4 unidades instaladas en la parte superior de la puerta de ingreso) y 3 unidades en el cerco perimétrico en la salida del entubado.

C. Cálculo de tomacorrientes

Se debe instalar las siguientes cantidades de tomacorrientes en las siguientes ubicaciones: 1 tomacorriente doble en la caseta del operador, 1 tomacorriente simple en el servicio higiénico, 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de luz de emergencia, 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de señal de salida, 1 tomacorriente doble para conectar equipos varios en la caseta de bombeo del pozo profundo, 2 tomacorrientes simple para instalar dos equipos de luz de emergencia, 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de señal de salida, 1 tomacorriente doble para conectar equipos varios en la caseta de bombeo de la cisterna.

D. Cálculo de la potencia de instalación para el tablero de control de los equipos de bombeo

La potencia de instalación para el equipo de bombeo del pozo profundo es de 52,199 kW (70 hp), para el pozo profundo es 18,5 kW (24,81 hp) considerando que son 2 unidades la potencia es de 37 kW.

E. Cálculo de la máxima demanda y circuitos en el tablero general

Se determina que la máxima demanda total de todo el sistema en la instalación eléctrica es de 91,45 kW, con voltaje de 380 V para circuitos trifásicos y de 220 V para circuitos monofásica.

F. Cálculo para determinar el tipo de conductor, entubado y accesorios

Para los circuitos C-1, C-2 y C-3 del alumbrado y tomacorrientes, corresponde secciones de cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo THW para fase y neutro, para los circuitos C-

4 y C-5 de los tableros de control para las electrobombas corresponde secciones de cable de 50 y 35 mm² (calibre 1 y 2 AWG) tipo NYY triple para las tres fases, y para el tablero de distribución general corresponde secciones de cable de 150 mm² tipo NYY triple para las tres fases

Castillo [7] precisa: "El máximo porcentaje de caída de tensión permisible en el alimentador general es 2,5 %" (p.187). Por lo tanto, el conductor del alimentador general, pasará la sección de cobre a un calibre mayor, cuando esté por debajo del valor indicado.

Los interruptores serán automáticos de disparo magnético, bipolares y tripolares de intensidad nominal, adicionalmente se instala uno de 2 x 20 A para circuito C-6 de reserva y para el circuito C-3 un interruptor diferencial de 2 x 25 A.

G. Cálculo de la resistencia del pozo a tierra

El valor de la resistencia de puesta a tierra, debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no deben ser mayor a 25 ohm, indicado en el Código Nacional de Electricidad y NTP 370.310, 2005, según el estándar se tiene que L es igual a 2,4 m, d es igual a 0,0185 m, h es igual a 2,3 m y la resistividad eléctrica del terreno de 22,1 ohmios-metros. Reemplazando los datos se obtiene una resistencia de 11,5026 ohmios que cumple la medida, el conductor comercial hacia el pozo a tierra debe ser de 1 x 25 mm² cable CPT instalado en interior de tubería de PVC de 15 mm \varnothing L.

H. Diseño de la subestación eléctrica

Para el cálculo de la potencia, resulta 163,31 KVA, se recomienda que los transformadores trabajen al 75% de su capacidad, por lo tanto, se selecciona un transformador de 200 KVA para voltaje de 380 V y 220 V, que cumple con la normativa de fabricación y prueba (NTP 370.002), el transformador debe instalarse externamente, sobre una base de concreto entre dos postes de soporte, según las especificaciones y requerimientos de la empresa suministradora del servicio eléctrico Electrosur S.A., la cual también está encargada de la instalación y de brindar la conexión eléctrica hasta el medidor eléctrico.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO

Se desea que el equipo de bombeo para el pozo profundo este automatizado, y proteger el motor eléctrico por fallos de secuencia de fase, sobretensión y subtensión; tener control para seleccionar parada, arranque manual y automático, según los requerimientos de llenado máximo y mínimo del pozo, además debe contar con indicadores de arranque, falla y energizado en espera de llenado del pozo.

Se desea que el equipo de bombeo para el pozo profundo este automatizado, y proteger el motor por secuencia de fases, fallos de fase, sobretensión y subtensión; tener control para seleccionar parada, arranque manual y automático, según los requerimientos de llenado máximo y mínimo de la cisterna, además debe tener indicadores de arranque, falla y energizado en espera de llenado de la cisterna. También se debe implementar un sistema automático de arranque de la bomba centrifuga por falla del otro equipo. Para ello se desarrolla el siguiente diagrama y selección de sus componentes.

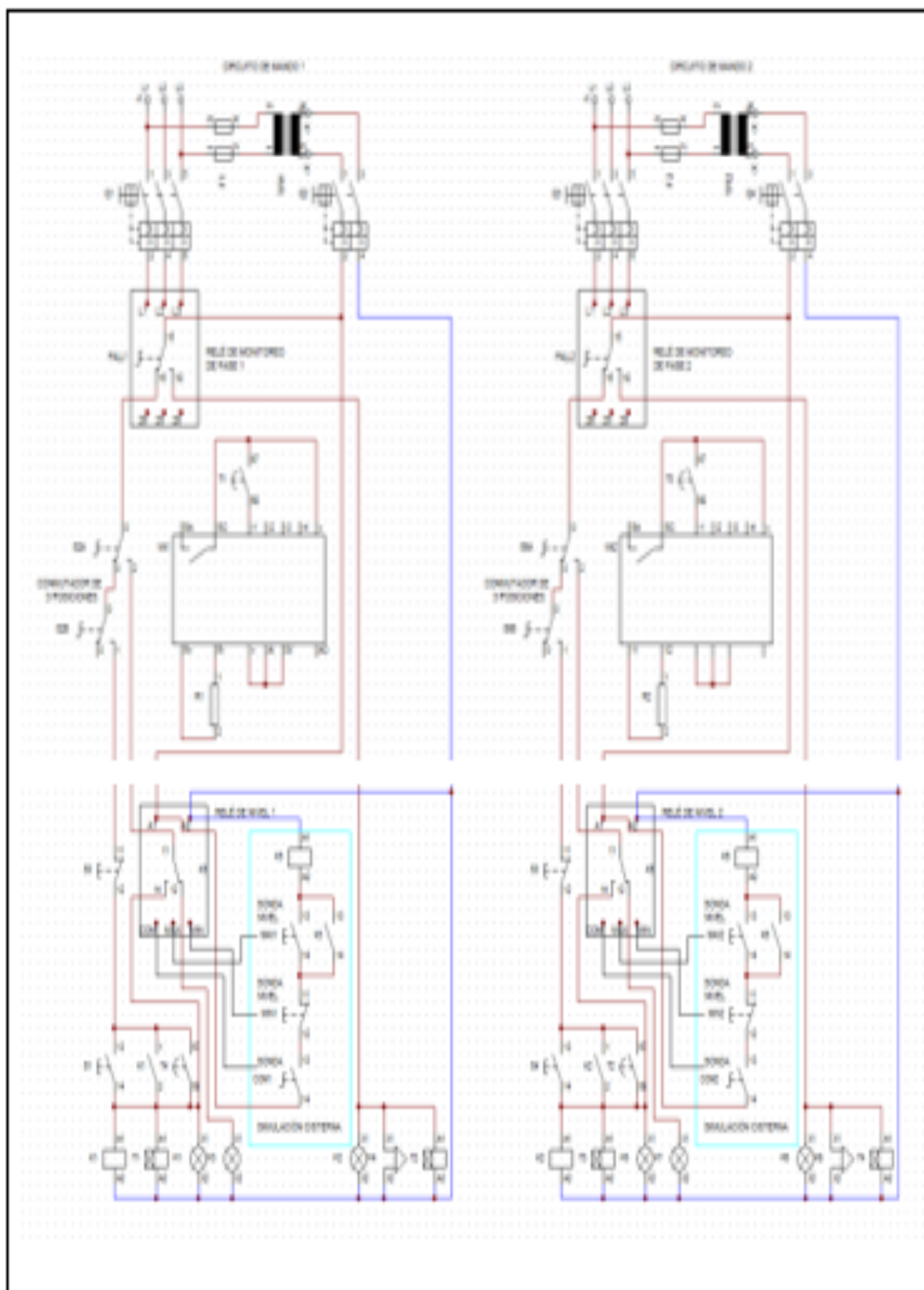


Figura 3. Esquema de conexión del circuito de mando para las electrobombas centrífugas horizontales.

6. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Se desarrolla una hoja de reporte diario para la operación de la estación de bombeo en donde el operador debe registrar todas las medidas y observaciones realizadas; y realizar procedimientos para la operación del pozo profundo y de la cisterna en las siguientes partes: Antes de dar marcha al equipo de bombeo, para dar marcha al equipo de bombeo, durante el funcionamiento del equipo de bombeo y para parar el equipo de bombeo.

7. MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

En la estación de bombeo se tiene un total de 3 tipos de equipos que son el: el transformador, la bomba sumergible tipo lápiz y la bomba centrífuga horizontal; siendo el de mayor criticidad el transformador y el de menor criticidad la bomba centrífuga horizontal, en consideración a ello, se desarrolla el plan de mantenimiento de las actividades recomendadas por el fabricante de los equipos,

Se desarrolla el programa de mantenimiento a base de realizar el ajuste del calendario según las frecuencias de las actividades a desarrollar, en el programa resulta que la estación de bombeo parará por completo una vez anualmente. Se desarrolla una hoja de reporte de mantenimiento del equipo de bombeo y del pozo profundo, donde el operador debe registrar todas las medidas y observaciones realizadas durante el mantenimiento de los equipos, que es adicional a los informes de mantenimiento que se deben de presentar al culminar el trabajo y se desarrolla el procedimiento para realizar la limpieza del pozo profundo, por ser la actividad de mantenimiento que tome mayor tiempo de realizar (3 días) y de mayor criticidad

8. NORMATIVAS DE CUMPLIMIENTO

En la operación y mantenimiento de la estación de bombeo, el empleador debe garantizar, se establezcan los medios y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, y de aquellos que se encuentran dentro del centro de labores; por ende, el empleador debe dar cumplimiento a la Ley N° 29783 “Ley de seguridad y salud en el trabajo”. De igual manera, el empleador debe garantizar no causar un impacto negativo al ambiente durante las actividades del centro de labores; por ende, el empleador debe dar cumplimiento a la Ley N° 28611 “Ley general del ambiente”. Para garantizar la calidad en las instalaciones, los equipos, materiales y accesorios que la conforman, deben ser comprados a empresas certificadas con la norma ISO 9001:2015; y los trabajos de soldadura deben ser realizados por un técnico soldador homologado según requerimiento.

9. ANÁLISIS FINANCIERO

Se desarrolla el cronograma para la ejecución del proyecto por medio del diagrama Gantt, identificando un total de 60 actividades que toman un total de 164 días en jornada de 8 horas para el desarrollo del proyecto.

El trabajo realizado es un Proyecto de Inversión Pública, debido a que se enfoca en mejorar la calidad de vida de la población, por lo tanto, debe ser financiado por entidades del Estado (Región Tacna por medio del Proyecto Especial Tacna y la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A.) para su desarrollo; teniendo como fuentes de financiamiento del proyecto: recursos ordinarios, canon y sobrecanon, regalías y otros [8].

Considerando que solo se construya la estación de bombeo PEEPS-02, la cual extraerá agua subterránea a un caudal de 30 L/s, brindando un volumen diario de 2 592 000 litros de agua

hacia el reservorio R-4 ubicado para la zona céntrica de la ciudad y que el suministro es para uso doméstico, comercial y otros, corresponde una tarifa de 2,023 S/./m³, por lo tanto, el proyecto generará un ingreso diario de 5 243,62 nuevos soles y un ingreso anual de 1 887 701,76 nuevos soles.

Considerando que la estación de bombeo debe funcionar por 24 horas, se requiere que el personal operador rote en 3 turnos de 8 horas, se debe contratar un operador por turno, con sueldo mensual de 1 800 nuevos soles, haciendo un total anual de 64 800 nuevos soles para el pago de 3 operadores diarios.

Considerando que solo funciona el PEEPS-02, el consumo de energía eléctrica va estar determinado por el consumo de la bomba sumergible y de una bomba centrífuga, que es un total de 70,7 kW, considerando que la tarifa de energía activa en horas punta para media tensión es de 0,22 S/./kWh y por lo general es de 5 horas diarias; y la tarifa de energía activa en horas fuera de punta para media tensión es de 0,17 S/./kWh, se tiene un costo total diario de 310,04 nuevos soles, considerando 15 % por costo de energía reactiva y otros no contemplados, se tiene un costo anual de 128 357,97 nuevos soles

Considerando que los costos de reparaciones futuras no se pueden calcular con precisión, para determinar el costo de mantenimiento anual, se considera como el 15 % del costo total de inversión, por lo tanto, es de 344 131,71 nuevos soles.

Para determinar la rentabilidad del proyecto se debe evaluar los indicadores del valor actual neto (VAN) y la tasa Interna de retorno (TIR) en base al análisis del flujo neto efectivo del año y la estimación de una tasa de inflación que compense el precio al riesgo de la inversión (TMAR).

Para un periodo de 5 años y si la TMAR es igual al 20 %, se determina que el valor neto actual (VAN) es igual a 1 744 347,39 nuevos soles, al ser el resultado positivo, significa que hay ganancias más allá de haber recobrado el dinero invertido en el proyecto y debe aceptarse la inversión. La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de referencia cuando el valor neto actual (VAN) es igual a cero, por lo tanto, se determina que la tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto es de 0,5148226 que es de 51,48 % y es mayor a la tasa de interés máxima capitalizable anual, por lo tanto, debe aceptarse la inversión.

CONCLUSIONES

La ejecución del proyecto, es un aporte directo para la población de la Región de Tacna, ya que soluciona el problema principal de escasez del recurso hídrico, brindando un volumen diario de 2 592 000 litros de agua para uso poblacional y generando un beneficio anual de 1 887 701,76 nuevos soles, considerando que el costo de inversión del proyecto es de S/. 2 294 211,39 nuevos soles que es realizado en 60 actividades que toman un total de 164 días en jornada de 8 horas y debe ser financiado por el Estado por ser un proyecto de inversión pública, y se demuestra por medio de cálculo del valor actual neto y de la tasa de interés de retorno, que la inversión del proyecto es viable.

Se ha determinado el diseño de una estación de bombeo automatizada con la finalidad de mejorar la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la región de Tacna, centrándose en establecer los métodos de diseño para mantener la vida útil y los tiempos de operación, que dependen de explotar un caudal máximo de 30 L/s y de establecer los procedimientos, planes, y programas de mantenimiento, para asegurar tiempos continuos

de operación. Y se determina que la metodología de diseño desarrollada, es aplicable para elaborar proyectos similares de diferentes capacidades y zonas de implementación.

El diseño óptimo del pozo profundo para la explotación de 30 L/s de recurso hídrico subterráneo, debe ser de diámetro nominal de entubado de 300 mm y una profundidad de 200 m, respaldado por estudios hidrogeológicos de la zona y del acuífero a explotar, y para extender su vida útil se debe utilizar acero inoxidable AISI 304 como material del entubado.

Se determina que el método de perforación óptimo para el desarrollo del pozo profundo, es el rotativo por circulación directa, para el cual se diseña el procedimiento de perforación y se selecciona la máquina perforadora de marca Atlas Copco modelo T3W, la sarta de perforación y sus triconos de 444,5 mm (17 1/2 in), y de 158,75 mm (6 1/4 in).

Se diseñó el sistema electromecánico para explotar un caudal de 30 L/s, que está compuesto por una bomba sumergible de 70 hp de potencia para el pozo profundo y dos bombas centrífugas horizontales de 24,8 hp de potencia para la cisterna, las cuales deben funcionar de forma rotativa y con respaldo de emergencia, para ello, se establece las tuberías para la línea de succión e impulsión, los accesorios hidráulicos necesarios, el diseño de las instalaciones eléctricas, y la selección de componentes para fabricar los tableros de control con sistema automático para el funcionamiento de los equipos de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. , *Expediente técnico: Reubicación del pozo Sobraya II del distrito de Pocollay - Tacna.*, Tacna, Perú: EPSS-TACNA, 2013.
- [2] Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A., *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional.*, Lima, Perú, 2012.
- [3] Ministerio de Desarrollo Económico, *Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos.*, Cali, Valle del cauca: Sena Publicaciones, 1999.
- [4] J. Ortiz, *Apuntes de curso de explotación de minas.*, Santiago de Chile, 2003.
- [5] Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, *Manual de Aguas Subterránea.*, Montevideo, 2012.
- [6] Hidrostal S.A., *Manual del usuario de bombas sumergibles.*, Lima, Perú, 2014.
- [7] P. Castillo, *Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones.* Tacna, Tacna, Perú, 2000.
- [8] Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A., *Expediente técnico: Reubicación del pozo Sobraya IV del distrito de Pocollay - Tacna.*, Tacna, Perú: EPSS-TACNA, 2013.