

**Variador de Frecuencia Aplicado al Bombeo Electro sumergible de Pozos
Acuíferos**

Bryan Alexis Flórez Jara

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios,

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Especialización Gestión de Proyectos

Enilsa Rebeca Madariaga Suárez

11 de diciembre de 2020

Contenido

Capítulo I. Introducción e información general.....	13
Introducción.....	13
Planteamiento del problema	14
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Justificación	16
Capítulo II. Desarrollo de la monografía.....	17
Estado del Arte	17
Glosario de términos y siglas.....	21
Marco teórico.....	22
Conceptos y generalidades	22
El variador de frecuencia	23
Configuración del variador de frecuencia.....	28
Equipo electrosumergible	35
Captación y zonas hidrológicas	44
Aspectos metodológicos	51
Aspectos metodológicos y tipo de investigación.....	51
Población y muestra.....	51
Recopilación de datos.	51
Procedimiento para el análisis de la información.	52
Capítulo III. Cierre de la monografía investigativa	53
Análisis de Resultados.....	53

Conclusiones.....	57
Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas.....	61

Lista de Tablas

Tabla 1 Parámetros de sensor.

Tabla 2 Acciones por Departamento.

Lista de Figuras

- Figura 1. Corriente AC - DC.
- Figura 2. Semiconductores.
- Figura 3. Etapas del variador de frecuencia.
- Figura 4. Variadores de frecuencia.
- Figura 5. Etapa rectificadora.
- Figura 6. Etapa de filtrado.
- Figura 7. Etapa inversora.
- Figura 8. Pantalla inicial.
- Figura 9. Ingreso.
- Figura 10. Visualización de datos.
- Figura 11. Protección sobre-subcarga.
- Figura 12. Presión de entrada.
- Figura 13. Protección temperatura motor.
- Figura 14. Protección temperatura entrada.
- Figura 15. Protección vibración.
- Figura 16. Arranque - Parada.
- Figura 17. Arranque escalonado.
- Figura 18. Identificación alarmas.
- Figura 19. Sensor electro sumergible.
- Figura 20. Componentes de motor electrosumergible.
- Figura 21. Pothead del motor electrosumergible.
- Figura 22. Componentes internos del sello electrosumergible.

Figura 23. Intake – Succión.

Figura 24. Etapa de la bomba electrosumergible.

Figura 25. Cable plano – Cable redondo.

Figura 26. Acuífero.

Figura 27. Tipos de acuíferos.

Figura 28. Pozo y equipo electrosumergible.

**RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO
RAE**

Título del texto	Variador de Frecuencia Aplicado al Bombeo Electro sumergible de Pozos Acuíferos
Nombres y Apellidos del Autor	Bryan Alexis Flórez Jara
Tipo de documento	Monografía
Director	Enilsa Rebeca Madariaga Suárez
Año de la publicación	2020
Resumen	
<p>El presente trabajo monográfico para optar al título de Especialización en Gestión de Proyectos se basa en la línea investigación del desarrollo económico sostenible y sustentable, en la presente investigación se muestra la importancia de una correcta configuración e implementación del variador de frecuencia en sistemas de bombeo electrosumergible de un pozo acuífero, se realiza una descripción del subsuelo, las fuentes hídricas, la construcción de un pozo captador de agua, el uso y mantenimiento del mismo, de igual manera se ilustra un sistema de bombeo artificial, describiendo cada componente esencial para la extracción del agua y finalmente el variador de frecuencia se establece como equipo primordial para todo el conjunto operativo.</p>	
Palabras Claves	Variador de frecuencia, bomba electrosumergible, pozo acuífero.
Descripción del Problema de Investigación	
La escasez del recurso hídrico origina en el hombre la necesidad de ejecutar	

acciones que permitan disponer de sistemas de captación de agua para suplir las necesidades referidas, por tal motivo se requiere de un proceso eficiente de captación de agua, lo que incluye sistemas de bombeo electrosumergible operado por variadores de frecuencia eficientes.

Muchas de las acciones cotidianas o de uso industrial utilizadas para crear productos de uso masivo, que confortan nuestro diario vivir, son desarrolladas gracias a la inclusión en el sistema de trabajo de un equipo electrónico, el cual, realiza el control de velocidad de un motor eléctrico por medio de diferentes etapas, hoy se conoce, comercialmente como el variador de frecuencia, lo que lleva a plantear el siguiente interrogante:

¿Cuál es la correcta configuración del variador de frecuencia para beneficio de los seres vivos en los ámbitos social, económico o industrial?

Objetivos del texto

Analizar la importancia de aplicar una correcta configuración del variador de frecuencia, en sistemas de bombeo electro sumergible de pozos acuíferos para zonas vulnerables por escasez del agua.

Objetivos Específicos

- Identificar conceptos teóricos de los acuíferos con bomba electro sumergible para la extracción de agua de un pozo captador.
- Determinar la importancia de un correcto funcionamiento del variador de frecuencia para un óptimo bombeo y extracción de agua en pozos acuíferos operados por bombas electrosumergibles.
- Promover la protección de la zona hidrológica y del equipo electrosumergible bajo la correcta configuración del variador de frecuencia, recomendando el uso del equipo de forma segura.

Justificación de la Investigación

El futuro cercano requerirá de la exploración y explotación de agua en pozos

subterráneos de alto potencial y producción pues la población mundial crece rápidamente y para suplir esta nueva demanda es necesario acudir a nuevos métodos para obtener el recurso hídrico, entre ellos el uso de equipos de alta tecnología, alta capacidad y buen desempeño para el sostenimiento humano y de seres vivos en nuestro sistema social.

En consecuencia, el variador de frecuencia tiene la capacidad de controlar el acuífero del pozo captador construido, previniendo posibles daños en las zonas hídricas en el subsuelo, además puede controlar la producción de finos o arena, la presión del yacimiento en el fondo del pozo y entre otras la producción total de agua requerida, otorgando años (de 3 a 20 años) de producción sin gastos adicionales o inversiones de mantenimiento mayor al pozo productor.

Análisis de Resultados

Tal como lo afirma Mulett 2018, las aplicaciones del variador de frecuencia son consideradas importantes para el manejo de la productividad del pozo en este caso, sin embargo, su uso se da también en otros sistemas utilizados como en: ascensores, montacargas, grúas, compresores, sopladores, cabrestantes, bombeo de fluidos, bombas solares, torres de enfriamiento, extrusoras, bandas transportadoras entre otros. La aplicación del variador en sus diferentes etapas debe contar con la protección adecuada para quien lo opere.

El uso del variador de velocidad para un sistema de levantamiento artificial, tal como el bombeo electro sumergible, tiene la necesidad imperativa de realizar una compleja configuración al software instalado en cada equipo, debe realizarse de una forma correcta e individual para cada uno de ellos ya que ellos controlan cada pozo, y cada uno de éstos constituye un desafío diferente por su construcción y zona acuífera de captación.

Aspectos Metodológicos y Tipo de Investigación

El enfoque investigativo realizado es de investigación cualitativa de tipo descriptiva, ya que las técnicas utilizadas para la recolección de información fueron la revisión documental y la observación principalmente, que ayudarán a recoger la información y como bien lo dicen (Bogdan, 1987) “es aquella que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable”. El tipo de investigación utilizado en este proyecto es no-experimental. De esta forma, con el estudio descriptivo buscamos Analizar la importancia de ejecutar o aplicar una correcta configuración u aplicación del variador de frecuencia, en unidades de bombeo. Es decir, solamente pretende identificar conceptos teóricos, determinar la importancia y hacer recomendaciones de uso recolectando información de forma independiente o conjunta de acuerdo con los conceptos y variables a las que hace referencia.

Conclusiones de la Investigación

El planteamiento en el presente trabajo monográfico diserta una mejora viable a la solución en regiones con escasez del recurso hídrico básico esencial.

El análisis realizado en el presente documento, nos ilustra sobre la importancia del variador de frecuencia en el sistema de bombeo electrosumergible, aplicando una serie de datos para el cuidado del yacimiento, del personal operativo y del equipo extractor del fluido, se identifican los conceptos teóricos de los acuíferos y de cada componente utilizado en el pozo captador.

Referencias Bibliográficas

Agencia Europea del Medio Ambiente. (2016). Si el pozo se seca – La adaptación al cambio climático y el agua. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/articles/si-el-pozo-se-seca-la-adaptacion-al-cambio-climatico-y-el-agua>

Otras.

Resumen

El presente trabajo monográfico para optar al título de Especialización en Gestión de Proyectos se basa en la línea investigación del desarrollo económico sostenible y sustentable, en la presente investigación se muestra la importancia de una correcta configuración e implementación del variador de frecuencia en sistemas de bombeo electrosumergible de un pozo acuífero, se realiza una descripción del subsuelo, las fuentes hídricas, la construcción de un pozo captador de agua, el uso y mantenimiento del mismo, de igual manera se ilustra un sistema de bombeo artificial, describiendo cada componente esencial para la extracción del agua y finalmente el variador de frecuencia se establece como equipo primordial para todo el conjunto operativo.

En la actualidad el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, menciona en el objetivo número seis la importancia del agua limpia y saneamiento de la siguiente manera:

La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2.100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes. (2020).

Del mismo modo, se describe en el ámbito nacional el abordaje y los esfuerzos desarrollados para luchar contra esta necesidad básica, apalancada por el uso y aprovechamiento de fuentes hídricas subterráneas por medio de pozos captadores con equipos especializados como el variador de frecuencia y la bomba electrosumergible.

Palabras claves: Variador de frecuencia, bomba electrosumergible, pozo acuífero.

Abstract

The present monographic work to opt for the title of Specialization in Project Management is based on the research line of sustainable and economic development, in the present investigation it is shown the importance of a correct configuration and implementation of the frequency variator in electro-submersible pumping systems of an aquifer well, a description of the subsoil is made, the water sources, the construction of a water collecting well, the use and maintenance of it, in the same way an artificial pumping system is illustrated, describing each essential component for the extraction of water and finally the frequency variator is established as the main equipment for the whole operative set.

At present, the United Nations Development Programme mentions the importance of clean water and sanitation in goal number six as follows:

Water scarcity affects more than 40 per cent of the world's population, an alarming figure that is likely to grow with the rise in global temperatures resulting from climate change. Although 2.1 billion people have gained access to better water and sanitation conditions since 1990, the declining availability of quality drinking water is a major problem that aquedes all continents. (2020)

In the same way, it is described in the national scope the approach and the efforts developed to fight against this basic need, leveraged by the use and exploitation of subway water sources by means of collector wells with specialized equipment such as the frequency variator and the electro-submersible pump.

Keywords: frequency variator, electro-submersible pumping systems, aquifer well.

Capítulo I. Introducción e información general

Introducción

Los pozos captadores de agua en áreas subterráneas son de suma importancia en la vida de los seres vivos cuando se materializa la escasez de este líquido vital.

Estos pozos cobran mayor importancia en zonas áridas, lugares geográficamente aislados sin acceso a acueductos y en épocas con fenómenos climatológicos adversos carentes de lluvias y con alta intensidad solar.

En la construcción de los pozos se realiza una conexión directa a los acuíferos someros, demandando una gran responsabilidad en la elección de una forma correcta para la extracción del agua, por tal motivo se decide profundizar en los tipos de sistemas secundarios, especialmente en el sistema de bombeo electrosumergible como forma segura de levantamiento artificial, controlado por un variador de frecuencia eficiente sin malograr el pozo perforado.

Con esta monografía, se pretende realizar una investigación enfocada al variador de frecuencia, detallando componentes, funcionamiento y configuración precisa para la extracción del fluido de los pozos captadores de agua, mencionando los tipos de pozos, usos, métodos de construcción, riesgos y cuidados, sin dejar a un lado el uso fundamental de los equipos de bombeo electro sumergible, todo ello con la necesidad imperativa del uso y correcta configuración del variador de frecuencia para extraer el líquido vital para los seres vivos que lo requieran.

Planteamiento del problema

La población mundial y todos los seres vivos en general, flora y fauna se ven afectados de forma negativa por la actualidad del cambio climático, por el desvanecimiento de los páramos, por las zonas de alta aridez anual, la alteración del cauce de arroyos, ríos y fuentes hídricas, estas situaciones han causado la falencia hídrica en muchos lugares del mundo y de Colombia, poniendo en riesgo de desnutrición, afectaciones psicosociales y hasta de muerte a los seres vivos incluyendo el ser humano, los animales y los cultivos. ¿Qué se puede desarrollar, implementar o aplicar para dar solución a la escasez del agua?

La escasez del recurso hídrico origina en el hombre la necesidad de ejecutar acciones que permitan disponer de sistemas de captación de agua para suplir las necesidades referidas, por tal motivo se requiere de un proceso eficiente de captación de agua, lo que incluye sistemas de bombeo electrosumergible operado por variadores de frecuencia eficientes.

Muchas de las acciones cotidianas o de uso industrial utilizadas para crear productos de uso masivo, que confortan nuestro diario vivir, son desarrolladas gracias a la inclusión en el sistema de trabajo de un equipo electrónico, el cual, realiza el control de velocidad de un motor eléctrico por medio de diferentes etapas, hoy se conoce, comercialmente como el variador de frecuencia, lo que lleva a plantear el siguiente interrogante:

¿Cuál es la correcta configuración del variador de frecuencia para beneficio de los seres vivos en los ámbitos social, económico o industrial?

Objetivos

Objetivo General

Analizar la importancia de aplicar una correcta configuración del variador de frecuencia, en sistemas de bombeo electro sumergible de pozos acuíferos para zonas vulnerables por escasez del agua.

Objetivos Específicos

- Identificar conceptos teóricos de los acuíferos con bomba electro sumergible para la extracción de agua de un pozo captador.
- Determinar la importancia de un correcto funcionamiento del variador de frecuencia para un óptimo bombeo y extracción de agua en pozos acuíferos operados por bombas electrosumergibles.
- Promover la protección de la zona hidrológica y del equipo electrosumergible bajo la correcta configuración del variador de frecuencia, recomendando el uso del equipo de forma segura.

Justificación

El mundo moderno requiere estar en movimiento constantemente, las personas se desplazan de forma individual, grupal y de forma masiva por medios aéreos, fluviales, marítimos, subterráneos y terrestres, los productos y servicios de igual forma se movilizan constantemente, las industrias químicas, farmacéuticas, textiles, cementeras, aéreas, navieras y otras más están ligadas al consumo de un producto en general.

Todo ser vivo a diario utiliza el recurso hídrico en algún porcentaje y aquí es donde se utiliza de forma masiva el uso del variador de frecuencia aplicado al bombeo electro sumergible en pozos acuíferos.

El futuro cercano requerirá de la exploración y explotación de agua en pozos subterráneos de alto potencial y producción pues la población mundial crece rápidamente y para suplir esta nueva demanda es necesario acudir a nuevos métodos para obtener el recurso hídrico, entre ellos el uso de equipos de alta tecnología, alta capacidad y buen desempeño para el sostenimiento humano y de seres vivos en nuestro sistema social.

En consecuencia, el variador de frecuencia tiene la capacidad de controlar el acuífero del pozo captador construido, previniendo posibles daños en las zonas hídricas en el subsuelo, además puede controlar la producción de finos o arena, la presión del yacimiento en el fondo del pozo y entre otras la producción total de agua requerida, otorgando años (de 3 a 20 años) de producción sin gastos adicionales o inversiones de mantenimiento mayor al pozo productor.

Capítulo II. Desarrollo de la monografía

Estado del Arte

El uso de los variadores de frecuencia se ha masificado a nivel mundial de forma exponencial para diversas actividades, conjuntamente los equipos electrosumergibles y los pozos acuíferos se unen como un solo sistema para constituir una posible solución a la necesidad básica del uso del agua.

Cevallos, C., Mesías, I. (2019) describe:

los variadores de frecuencia como los equipos que controlan la velocidad de un motor eléctrico mediante diferentes etapas, etapa rectificadora la cual mediante diferentes componentes electrónicos como diodos y tiristores convierte la tensión alterna en tensión continua, la etapa intermedia mejora el factor de potencia y reduce la generación de armónicos mediante la filtración del voltaje rectificado, la etapa inversora utiliza IGBT's para la generación de pulsos mediante los cuales se podrá obtener un manejo de frecuencia variable y la etapa de control regula, maneja los transistores (Insulated Gate Bipolar Transistor IGBT's) en la generación de pulsos en función variable del voltaje y la frecuencia al motor de AC.

El variador de frecuencia ejerce un trabajo específico de control del motor del equipo electrosumergible, el cual desarrolla toda su capacidad sobre el pozo captador de agua, estos pozos son mucho más complejos de lo que se espera pues en su construcción se tiene como objetivo lograr el máximo poder de extracción de agua desde el acuífero hasta el área del subsuelo perforada.

Carrascal menciona “El agua existente bajo la superficie del terreno, es aquella situada bajo el nivel freático y que está saturando completamente los poros y fisuras del terreno” (Gallupe, 2018).

Estas aguas subterráneas se clasifican en acuíferos que constituyen una parte importante del ciclo hidrológico, donde según estudios determinan que cerca del 30% del caudal de superficie proviene de aguas subterráneas. En segundo plano se encuentra el acuítardo, el cual hace referencia a una zona geológica semipermeable, la cual contiene grandes cantidades de agua pero que constituyen una gran dificultad para transmitir dicho fluido. En tercer lugar, se encuentra el acuicludo, siendo esta formación geológica de poca permeabilidad conteniendo el agua hasta su saturación y por último encontramos el acuífugo, la cual hace referencia a una formación geológica subterránea impermeable siendo incapaz de transmitir o absorber agua (Gallupe 2018).

Los acuíferos se clasifican en, acuíferos libres los cuales liberan el agua por saturación la cual se drena por sus poros. El acuífero cautivo o confinado, es aquel que libera el agua por método de expansión y descompresión de la estructura permeable vertical del subsuelo. El acuífero semiconfinado, este caso particular permite la circulación del agua de forma vertical entre sus muros siendo estos medianamente impermeables (Gallupe 2018).

La conductividad del agua permite conocer la velocidad de infiltración que se presenta en el subsuelo saturado y el potencial hidráulico permite conocer la energía que tiene el agua en un punto determinado de profundidad.

Al caracterizar el subsuelo evaluado, se determina la zona a perforar, los cuales surgen con diferentes tipos o modalidades, los cuales pueden variar según su aplicación en:

- Mecánico – Percusión: Rotopercusión.
- Térmicos: Congelación, plasma, fluido a temperatura.
- Hidráulicos: Erosión, cavitación.
- Sónicos: Vibraciones de altas frecuencias.

- Químicos: Disolución.
- Eléctricos: Inducción magnética.
- Sísmicos: Rayos láser.
- Nucleares: Fisión o fusión.

La perforación de pozos de agua se realiza con el fin de sustraer diferentes minerales o fluidos acumulados dentro de la corteza terrestre, finalizando en la obtención del líquido vital o agua (Gallupe 2018).

Al finalizar la perforación del pozo captador, se utiliza un sistema de levantamiento artificial de producción, el elemento más importante de las instalaciones hidráulicas es el grupo de bombeo, el cual tiene como función extraer el agua del interior del pozo hasta superficie, punto de entrega o disposición final. Los diferentes tipos de bomba como las de eje horizontal, eje vertical y grupo electrobomba sumergible; este tipo de bomba es la más utilizada para el equipamiento de pozos de captación de agua subterránea, ya que permite extraer agua desde mayores profundidades y a altos caudales. El grupo electrobomba sumergible está compuesto por un cuerpo de bomba centrífuga vertical de una o varias etapas, la cual funciona por medio de un motor eléctrico el cual posee una construcción especial para operar sumergido en fluido o agua. Los datos básicos para el dimensionamiento del equipo de bombeo se relacionan con el aforo del pozo, caudal máximo, nivel dinámico, estático y la calidad del líquido o agua extraída. Del pozo se requiere el diámetro interno y la profundidad total de cada filtro o malla instalada, finalmente es necesario los datos de pérdidas por conducción y presiones de entrega del fluido al punto final (Martin, 2016).

“El sistema de bombeo electrosumergible es un método de levantamiento artificial muy automatizable y propenso a mejorar, constituido por equipos complejos y de alto costo que requieren de herramientas efectivas para su análisis, control y supervisión” (Hernández, 2016).

El sistema electrosumergible se comprende de los siguientes componentes:

- **Sensor:** Herramienta de monitoreo en fondo, permitiendo el seguimiento del desempeño del sistema electrosumergible, mediante la transmisión de datos desde fondo del pozo a superficie, se puede observar variable como la temperatura del motor, la presión de fondo, la temperatura de fondo y vibraciones del sistema en fondo.
- **Motor:** Equipo trifásico de inducción tipo jaula de ardilla, con dos polos con rotación de 3600 rpm a frecuencia de operación de 60 Hz, el voltaje de operación varía de 230 a 4000 voltios y el requerimiento de corriente oscila de 17 a 110 amperios.
- **Sello:** Este componente transfiere energía mecánica del motor a la bomba, absorbe empujes descendentes y ascendentes de la bomba, mantiene igualdad de presiones internas y externas del motor, evita ingreso del fluido externo al motor.
- **Intake:** conocido como succión, el cual permite el ingreso de fluido del pozo a la bomba y transmite el movimiento del eje desde el sello a la bomba centrífuga.
- **Bomba centrífuga:** equipo que transforma la energía mecánica en energía hidráulica mediante el movimiento de las etapas, ejerciendo el movimiento al fluido hasta ponerlo en superficie por la tubería instalada desde la descarga de la bomba hasta el cabezal de producción en superficie.
- **Cable de potencia:** cable con tres líneas o fases conductoras de cobre, el cual transmite la potencia o energía eléctrica desde superficie hasta el motor en el pozo captador.

Glosario de términos y siglas

Acuífero: zona del suelo y subsuelo que contienen agua.

HP: Horse power – Potencia.

IGBT: Transistor bipolar de puerta aislada (conocido por la sigla IGBT, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor).

Inductor o Bobina: Componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

Intake: Succión.

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Pothead: Conector de cabeza

Roto Bearing: Rodamiento de rotor

SCR: Rectificador controlado de silicio.

Semiconductor: Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores.

Thrust bearing: Cojinete de empuje.

Variador de frecuencia: Equipo que regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación.

Workover: Mantenimiento mayor del pozo construido.

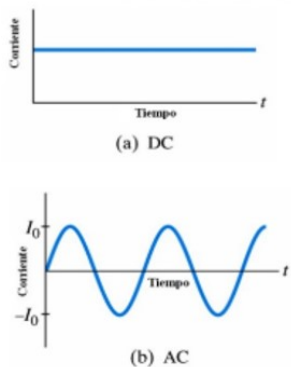
Marco teórico

Conceptos y generalidades

Corriente continua (DC) y corriente alterna (AC).

Figura 1

Corriente AC - DC.

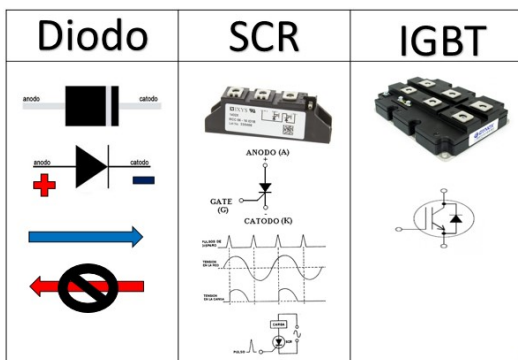


Nota. Dominguez, I. (2016).

Los semiconductores son parte esencial del variador de frecuencia pues la función de ellos es comportarse como conductores o aislantes por ejemplo del campo electromagnético (Raffino, 2020).

Figura 2

Semiconductores.



Nota. Dominguez, I. (2016).

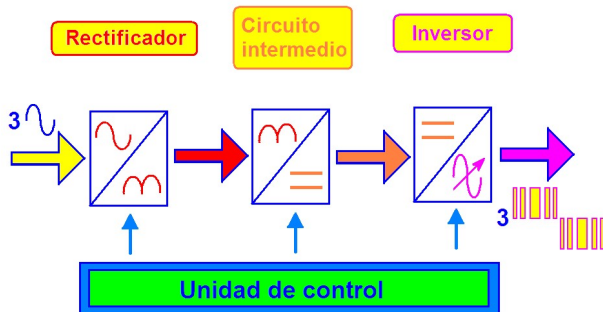
El variador de frecuencia

El variador de frecuencia (Variable Speed Drive) VSD o Variador de Velocidad transforma la frecuencia fija y el voltaje AC fijo en frecuencia variable, y a voltaje AC variable, lo que permite controlar la velocidad de un motor AC (Álzate, Yarce y Valencia, 2011).

El principio de operación de un variador de frecuencia se basa en una etapa rectificadora o convertora, una etapa de filtrado o intermedio, una etapa inversora y finalmente la unidad o etapa de control.

Figura 3

Etapas del variador de frecuencia.



Nota. Paco (2017)

La exhortación de Tedesco (2011) menciona que el VSD toma la corriente alterna y la transforma en corriente directa. El BUS DC suaviza la onda de esta corriente y la entrega al inversor el cual suministra al motor corriente alterna en la frecuencia requerida o deseada por medio de la etapa de control.

El variador de frecuencia es esencial en el manejo de equipos electro sumergibles, pues con él se logra suavizar la rampa de aceleración en el arranque del motor, reduce daños en la bomba previniendo mediante el cambio de velocidad la infiltración de arena en el pozo y el sistema, reduce los tiempos de parada y mantenimientos. Con una adecuada programación,

extiende la vida útil del sistema de fondo y superficie, mejora la eficiencia de la bomba y permite optimizar el conjunto motor – bomba a medida que las condiciones del pozo cambian.

La programación de un variador de frecuencia aplicada al bombeo electrosumergible de pozos captadores de agua, se centra en configurar las alarmas de operación mínimas y máximas según datos de placa del motor electrosumergible, se configuran los datos de suministro de energía mínimos - máximos para el variador de frecuencia, se programan las frecuencias mínimas - máximas para el arranque, operación y monitoreo estándar de los variadores de frecuencia utilizados para la extracción del agua.

El variador de frecuencia cumpliendo un papel esencial, debe integrar los sensores del fondo del pozo y los sensores (temperatura, presión, vibración, nivel) de protección de superficie, se debe de realizar una configuración especial en el variador de frecuencia para autoprotección de sub o sobretensiones eléctricas, entre los sensores subterráneos y de superficie para que los equipos trabajen en niveles operativos seguros, protegiendo el pozo captador, las instalaciones de almacenamiento o distribución del agua superficie y el equipo electrosumergible.

Aplicaciones del variador de frecuencia

El variador de frecuencia nos permite operar la bomba electrosumergible sobre un amplio rango de frecuencia en vez de estar limitado a la frecuencia de línea, aprovechando esta situación podemos seleccionar un tamaño de bomba y motor capaz de manejar un amplio rango de condiciones sobre el equipo electrosumergible, favoreciendo el manejo de la productividad del pozo, manejando constantemente la presión de entrada en la succión de la bomba, reduciendo los requerimientos y números de arranque del motor con opciones de cambios operacionales según condiciones internas del pozo captador de agua.

El variador de frecuencia el cual se describe como un regulador de voltaje industrial ubicado entre el suministro de potencia eléctrica (generador) y el motor, la energía ingresa al variador de frecuencia, este la regula según su programación y posteriormente se induce al motor eléctrico, los variadores de frecuencia son aplicables a diferentes equipos y tareas como en ascensores, montacargas, grúas, compresores, sopladores, cabrestantes, bombeo de fluidos, bombas solares, torres de enfriamiento, extrusoras, bandas transportadoras entre otros, también son funcionales para diferentes industrias como las cementeras, químicas, alimentación, bebidas, marina, HVAC, metales, minera, petróleo, gas, plástico, caucho, generación de energía, aguas, pasta y papel, la operatividad del variador siempre va de la mano con el uso correcto de los equipos de protección personal requeridos para la capacidad nominal de tensión que se maneja según el tipo de variador de frecuencia, se recomienda un uso adecuado de la protección eléctrica mientras se opera el variador (Mulett, R, 2018).

Figura 4.

Variadores de frecuencia.



Nota. Mulett, R (2018).

Los variadores de frecuencia generan grandes ventajas para su uso con la disminución de temperatura de los motores, reducción en sus planes de mantenimiento, ahorro energético, corrección de factor de potencia del motor, disminución de vibraciones o cavitaciones a bombas hidráulicas, facilidad en el control de ventiladores, motores y presiones a electrobombas.

Los variadores de frecuencia se clasifican en:

- Variadores de frecuencia de corriente alterna.
- Variadores de frecuencia de corriente directa.
- Variadores de frecuencia de voltaje de entrada.
- Variadores de frecuencia de fuentes de entrada.
- Variadores de frecuencia de ancho de pulso modulado.
- Variadores de frecuencia de vector de flujo de ancho de pulso modulado.

Los variadores de frecuencia de ancho de pulso modulado son los más indicados para el control del bombeo electrosumergible y se según necesidades operacionales se determina según su potencia (HP) y rectificación de onda de voltaje en su salida (Paredes, A. 2005).

Etapas de funcionamiento del variador de frecuencia

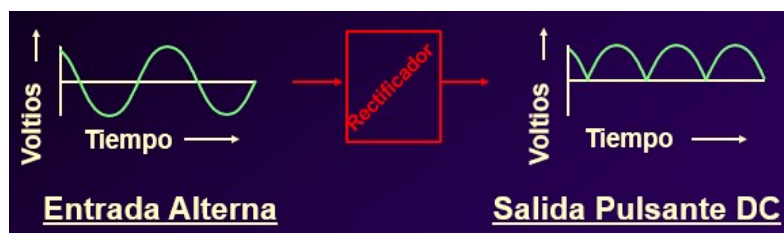
Se ingresa un voltaje al variador de 380v, 460v o 480v en tres fases a 50 Hz o 60 Hz

Etapas rectificadora o conversora

En la parte conversora se realiza una rectificación de onda completa de la señal trifásica de entrada a través de puente de diodos o SCR's (Rectificadores controlados). Los diodos conducen solamente en sentido directo y de esta manera se convierte AC en DC.

Figura 5.

Etapas rectificadora.



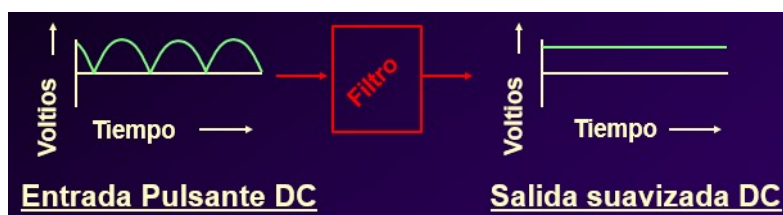
Nota. Paredes, A. (2005).

Etapa de filtrado

Aunque en la primera parte del variador se convierte AC en DC, esta señal no es totalmente continua y por lo tanto se requiere un filtro que asegure esta condición para el correcto funcionamiento de los IGBT's de la parte inversora. Esto se logra a través de un gran banco de capacitores que a menudo va acompañado de un inductor o bobina.

Figura 6.

Etapa de filtrado.



Nota. Paredes, A. (2005).

Etapa inversora

En la sección inversora se usan transistores de alta velocidad (IGBT's Transistores Bipolares de Compuerta Aislada) como interruptores para aplicar un pulso PWM al motor. El voltaje proveniente del BUS D.C. es aplicado en pulsos de ancho variable con el fin de lograr que la corriente en el motor se asemeje a una onda seno.

Figura 7.

Etapa inversora.



Nota. Paredes, A. (2005).

Configuración del variador de frecuencia

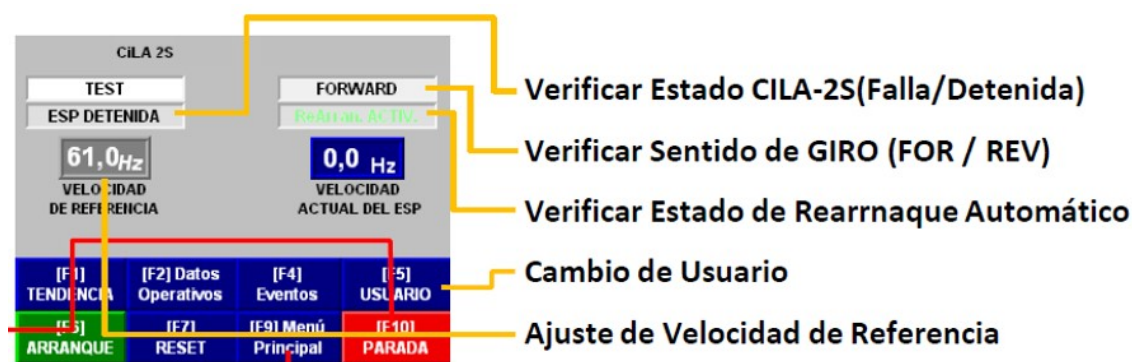
¿Cuál es la correcta configuración del variador de frecuencia para beneficio de los seres vivos en los ámbitos social, económico o industrial? En la industria de extracción de fluidos de pozos subterráneos se observa deficiencias en los procedimientos de configuración del variador por parte del personal y el fallo en el análisis del trabajo del equipo electro sumergible, pues es muy diferente configurar un variador para motores en superficie que configurar un equipo electro sumergible en un pozo acuífero, estas configuraciones incorrectas conlleva a daños prematuros, pérdidas de producción de fluido y sobre costos en los pozos.

Presentación inicial del variador de frecuencia CILA 2S

Pantalla de presentación y comunicación entre el usuario y el variador

Figura 8.

Pantalla inicial.



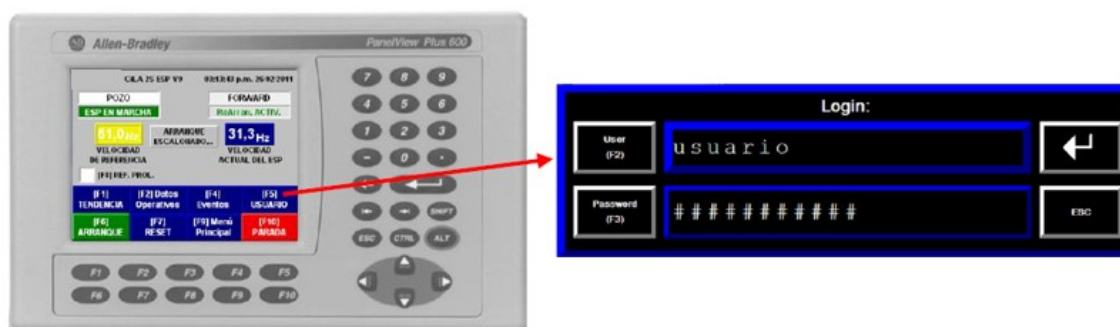
Nota. SLACOL (2019).

Acceso a monitoreo y configuración del variador de frecuencia

Ingreso de usuario y contraseña para acceder a los submenús del programa

Figura 9.

Ingreso.



Nota. SLACOL (2019).

Visualizar datos del variador de frecuencia y la bomba electrosumergible

Se ingresa por tecla operativos, visualizará desplazándose con las flechas F4 y F5 los datos de operación del variador de frecuencia y del equipo electro sumergible en tiempo real.

Figura 10.

Visualización de datos.



Nota. SLACOL (2019).

Protección de sobre carga y subcarga

Sobre carga: Se ingresa valor nominal de corriente de placa del motor electrosumergible (Over load).

Subcarga: Se ingresa el 75% del valor medido del motor electrosumergible (Under load).

Si en algún momento se sobrepasan estos valores máximos o mínimos el variador de frecuencia se apagará automáticamente y se preservará la integridad del pozo captador y del equipo electro sumergible.

Figura 11.

Protección sobre-subcarga.

PROTECCIÓN SOBRE Y SUB CARGA				
TABLA DE AJUSTES OVER / UNDER LOAD				
	AMP @ 480 V.	AMP @ 2140 V.	% AMP P.Motor	Tiempo Disparo
OVER LOAD	300 A	67 A	95,7 %	10 seg
UNDER LOAD	152 A	34 A	48,6 %	10 seg

[F1] Pantalla Principal [F2] Act/Des Protecci [F4] Ajuste Automá. [F5] ANTERIOR

Nota. SLACOL (2019).

Protección presión de entrada a la succión o intake

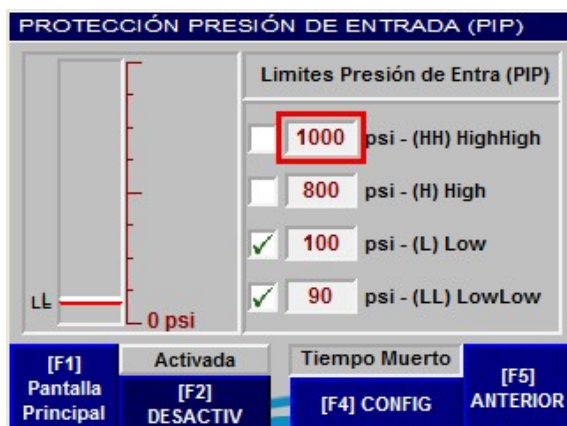
Se ingresa valor de presión bajo 100 Psi (Low), se ingresa valor de presión bajo-bajo 90 Psi (LL).

Se ingresa valor de presión alto 800 Psi (High), se ingresa valor de presión alto-alto 1000 Psi (HH)

Si en algún momento se sobrepasan estos valores Alto-alto (HH) o bajo-bajo (LL) el variador de frecuencia se apagará automáticamente y se preservará la integridad del pozo captador y del equipo electrosumergible.

Figura 12.

Presión de entrada.



Nota. SLACOL (2019)

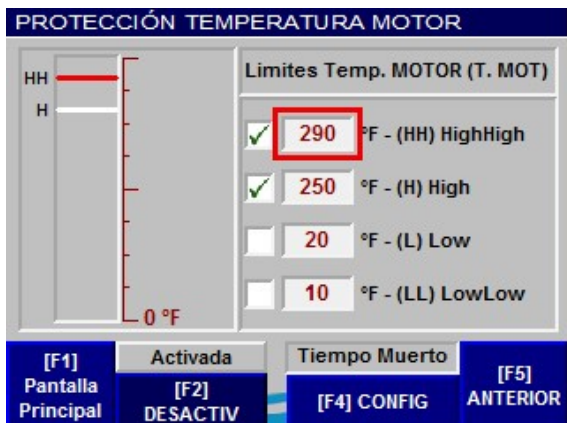
Protección temperatura motor

Se ingresa valor de temperatura alto 250 F (H), se ingresa valor de temperatura alto-alto 290 F (HH)

Si en algún momento se sobrepasa el valor alto-alto (HH) el variador de frecuencia se apagará automáticamente y se preservará la integridad del pozo captador y del equipo electro sumergible.

Figura 13.

Protección temperatura motor.



Nota. SLACOL (2019).

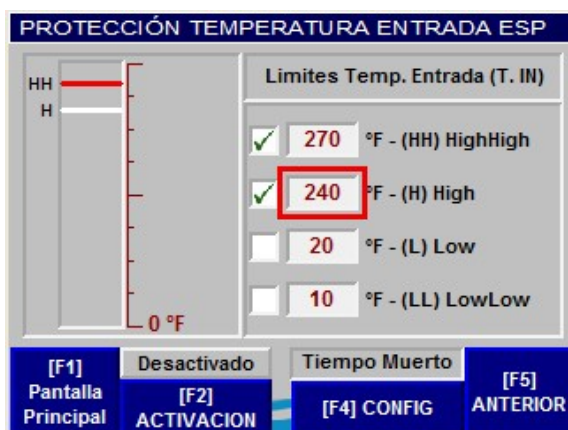
Protección de temperatura de entrada a la succión o intake

Se ingresa valor de temperatura alto 240 F (H), se ingresa valor de temperatura alto-alto 270 F (HH)

Si en algún momento se sobrepasa el valor alto-alto (HH) el variador de frecuencia se apagará automáticamente y se preservará la integridad del pozo captador y del equipo electro sumergible.

Figura 14.

Protección temperatura entrada.



Nota. SLACOL (2019).

Protección vibración general

Se ingresa valor de vibración alto 2,5 G (H), se ingresa valor de vibración alto-alto 3,5 G (HH)

Si en algún momento se sobrepasa el valor alto-alto (HH) el variador de frecuencia se apagará automáticamente y se preservará la integridad del pozo captador y del equipo electro sumergible.

Figura 15.

Protección vibración.



Nota. SLACOL (2019).

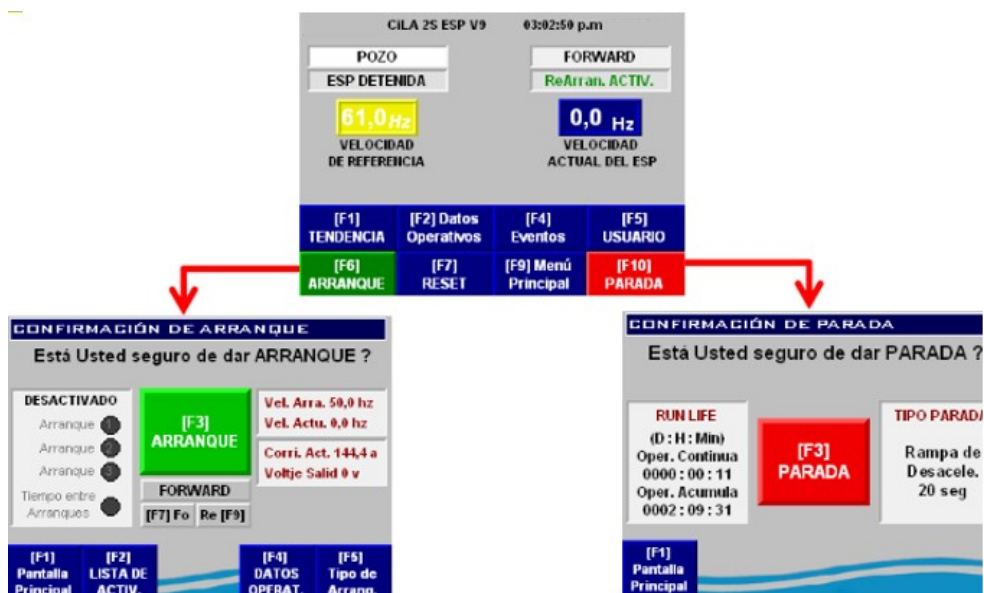
Arranque y parada local del variador de frecuencia

Para arranque oprima la tecla F6 (ARRANQUE).

Para parada oprima la tecla F10 (PARADA).

Figura 16.

Arranque - Parada.



Nota. SLACOL (2019).

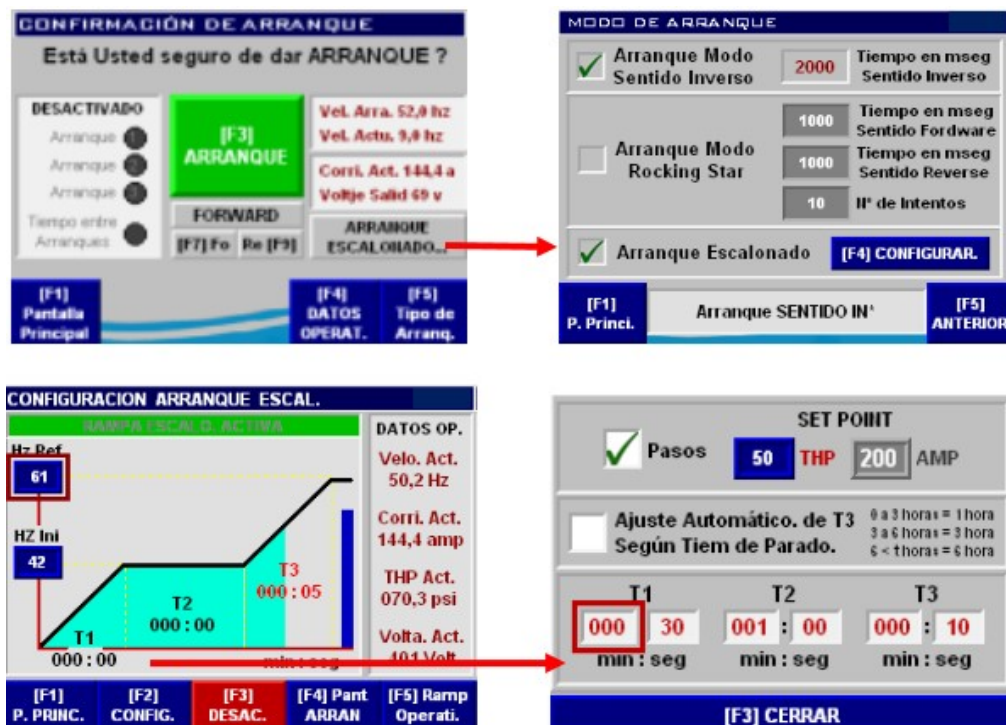
Arranque escalonado

Este tipo de configuración y arranque especial se sugiere de tal forma que se promueva la protección de la zona hidrológica o del subsuelo del cual se extrae el recurso hídrico y de igual manera se protege al equipo electrosumergible, cuidándolo de sobre tensiones y altas corriente en su operación.

En la sección arranque oprima arranque escalonado y configure T1 en 30 segundos – T2 en 1 minuto y T3 en 10 segundos.

Figura 17.

Arranque escalonado.



Nota. SLACOL (2019).

Identificación de alarmas

Al encontrarse un fallo activo, en la pantalla de estado del variador de frecuencia aparecerá la palabra “FALLO” intermitente y el mensaje indicador de alarma reciente “ATENCIÓN”

Antes de emitir un comando de RESET usando la tecla [F7] RESET debe investigar la causa de la falla, esto se puede lograr revisando el Secuenciador de Eventos del variador de frecuencia.

Figura 18.

Identificación alarmas.



SLACOL (2019).

Equipo electrosumergible

En la actualidad a nivel mundial la falta del líquido vital para los seres vivos escasea cada vez más, los abusos del ser humano en el consumo desmedido, el derroche y la contaminación de fuentes hídricas han aportado de gran manera para la escasez del agua, sin dejar a un lado la tala a gran escala de bosques, la destrucción de paramos y el incremento

exponencial de la polución y contaminación del aire con gases de efecto invernadero provocando fenómenos a nivel mundial como el “fenómeno del niño” donde en diferentes zonas del mundo se extienden por más del doble del tiempo regular las sequías provocando devastación, desplazamientos y hasta la muerte de un sinnúmero de seres vivos y ecosistemas. Arango (2013) menciona que la crisis del sistema hídrico alrededor del mundo, los lagos, ríos, canales y otros cuerpos de agua son contaminados por descargas industriales, por la actividad antropogénica o por procesos naturales. En los países en desarrollo, la mayor parte de los desechos industriales se vierten al agua sin tratamiento alguno, contaminando así el recurso hídrico disponible, mientras que los países industrializados generan grandes cantidades de desechos peligrosos que impactan los ecosistemas y deterioran el agua, el aire y el suelo.

Para el desarrollo oportuno de una solución a esta problemática de desabastecimiento del líquido vital, se observa en los pozos captadores de agua una solución viable, para ello se requiere el uso del sistema de bombeo electrosumergible, el cual emplea energía eléctrica convertida a energía mecánica y finalmente en energía potencial para levantar una columna de fluido, desde el nivel de fondo del pozo hasta la superficie terrestre con una presión determinada, los siguientes equipos componen el sistema electrosumergible:

- Sensor de fondo.
- Motor eléctrico trifásico.
- Sello o protector.
- Intake o succión.
- Bomba centrífuga multi etapas.
- Cable de potencia.
- Tubería de producción y cabezal del pozo.

Sensor de fondo

Figura 19.

Sensor electrosumergible.



Nota. Johnson, J. (2001).

Se realiza un monitoreo constante de potencia y telemetría a las condiciones del pozo captador y a la operación del equipo electrosumergible, se utiliza el sensor de fondo que permite llevar un registro de ciertas variables relevantes para poder realizar evaluaciones y efectuar diagnósticos concretos, esto conlleva a maximizar los costos operativos y a minimizar las fallas en el equipo electrosumergible, monitorea los siguientes parámetros en general:

Tabla 2

Parámetros de sensor.

PARÁMETRO	Sensor Tipo 0	Sensor Tipo 1	Sensor Tipo 2
Presión en el Intake (PIP)	X	X	X
Temperatura en el Intake	X	X	X
Temperatura del Motor	X	X	X
Vibración	X	X	X
Fugas de Corriente	X	X	X
Presión de Descarga		X	X
Flujo			X

Nota. Johnson, J. (2001).

Motor electro sumergible

Es un motor trifásico, tipo jaula de ardilla, de inducción de dos polos, el motor electrosumergible utiliza 3 fases, con un desfase de 120 grados, conectadas en estrella para establecer un punto neutral.

Harper G., (2003) menciona que los motores trifásicos se usan para accionar maquinas, bombas, herramientas, elevadores, sopladores y ventiladores entre otros equipos industriales según sus características y, su construcción se basa en tres partes fundamentales; el estator, el rotor y el housing.

Los motores de inducción están formados por el devanado del estator inductor y el rotor es el elemento inducido, el estator se conecta a la red de alimentación eléctrica y de esta forma se produce un consumo eléctrico equilibrado con un campo magnético giratorio induciendo en el rotor una fuerza magnetomotriz (Sotelo, 2016).

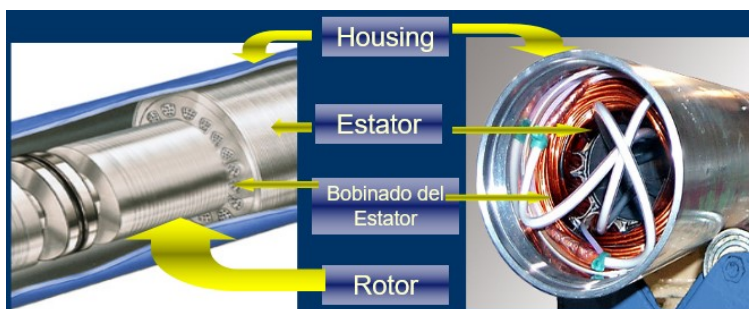
La capacidad del motor se determina bajo la fórmula:

Motor HP = Voltios x Amps x 1.732 x / 746 (WEG, 2020) y el porcentaje de carga del motor según fórmula: %Carga = HP bomba x 100 / HP Motor (Lukaszvzyk, 2012).

Componentes del motor

Figura 20.

Componentes de motor electrosumergible.



Nota. Cordoba, B., Erazo, P y Herrera, C. (2006).

Estator

Está compuesto de láminas ranuradas de acero o bronce compactadas a presión, bobinadas con tres alambres (uno por cada fase).

Rotor

Es un dispositivo que rota dentro del estator. Está formado de láminas ranuradas de menor diámetro que el estator, con barras de cobre en cada ranura.

Thrust bearing

Se ubica en la parte superior del motor, y su función es soportar el empuje generado por todos los rotores

Eje

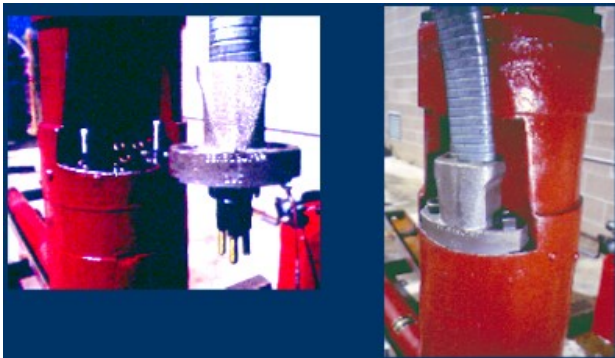
El eje del motor electrosumergible permite la circulación de aceite dieléctrico a través de él y del rotor bearing para asegurar la lubricación de sus partes móviles.

Conector de cabeza (Pothead)

Este elemento permite conectar el motor de fondo, mediante el cable de potencia, a la potencia suministrada en superficie.

Figura 21.

Pothead del motor electrosumergible.



Nota. Cordoba et al., (2006).

Sello o protector

Este componente evitar el ingreso de fluidos del pozo al motor (el protector está en contacto con el fluido del pozo en la cabeza, a través del intake), de igual manera soportar el empuje producido por el movimiento (hacia arriba y hacia abajo), tiene la capacidad de transmitir el torque generado por el motor hacia el eje de la bomba, iguala, ecualiza presiones internas y externas, sirve como reservorio de aceite del motor, existen varios tipos de protectores.

Figura 22.

Componentes internos del sello electrosumergible.



Nota. Cordoba et al., (2006).

Laberinto

Utiliza la diferencia de gravedad específica entre el fluido del pozo y el aceite del motor, para mantenerlos separados a pesar de que entran en contacto directo.

Sello Positivo (Bolsa)

Utiliza una barrera física para separar el fluido del pozo del aceite del motor, la bolsa de elastómero cambia de volumen según las condiciones y mantiene los fluidos separados.

Protectores Modulares

Es una combinación de protectores tipo laberinto y de sello positivo, utilizados para cubrir necesidades en aplicaciones específicas, el protector modular se denomina de acuerdo al número y tipo de cámaras que tenga y a la forma en la que estas estén conectadas

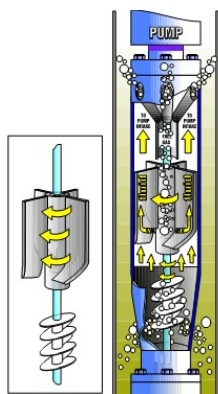
- Serie
- Paralelo

Entrada o intake

La función del intake es permitir la entrada del fluido del pozo hacia la bomba.

Figura 23.

Intake – Succión.



Nota. Johnson, J. (2001).

Bomba electrosumergible

Es una bomba centrífuga multietapa, imprime energía al fluido para alcanzar la superficie por medio de un impulsor y un difusor, el conjunto de impulsor y difusor conforman una etapa de la bomba.

Cuando se construye el pozo se determina el flujo directo y nivel del agua en la superficie freática coincidirá con el nivel del agua en su interior, el gradiente hidráulico inicia con el bombeo del pozo hacia la superficie, y como el flujo del agua se produce hacia el centro del pozo desde todos los puntos del acuífero se establece el flujo radial, para determinar el flujo radial del pozo se aplica la ley de Darcy (Victoria, 2011, pág. 174)

Según la formula $Q_0 = 7.08 \times 10^{-3} \times k_0 h (P_r - P_{wf}) / \mu_0 B_o ((\ln r_e / r_w) - 0.75)$, para encontrar la tasa de flujo de forma simple se puede establecer que la $(P_r - P_{wf})$ es la reducción de

presión por producción, y asumir que k_o , h , r_e , r_w , B_o y μ_0 son constantes, entonces la ecuación para el flujo radial se puede simplificar en $q_0 = K(P_r - P_{wf})$ y el índice de productividad del pozo se obtiene desde $IP = q_0 / (P_r - P_{wf})$ (Cordoba, B., Erazo, P y Herrera, C. 2006).

El impulsor toma el fluido y le imprime energía cinética. El difusor convierte esta energía cinética en energía potencial (Cabeza), la función de cada etapa es llevar el fluido de un nivel a otro, incrementando su energía, hasta alcanzar una presión de descarga que permita que el fluido llegue a superficie, la mecánica de fluidos para este punto se determina hallando la cabeza dinámica total o TDH, donde se caracterizan según los parámetros de funcionamiento, caudal de flujo volumétrico, presión requerida o altura neta, coeficiente de resistencia y pérdidas por fricción, con la cual se determinará la curva total del sistema de bombeo (Pillapa, 2016)

Componentes de la bomba

Impulsor (Impeller)

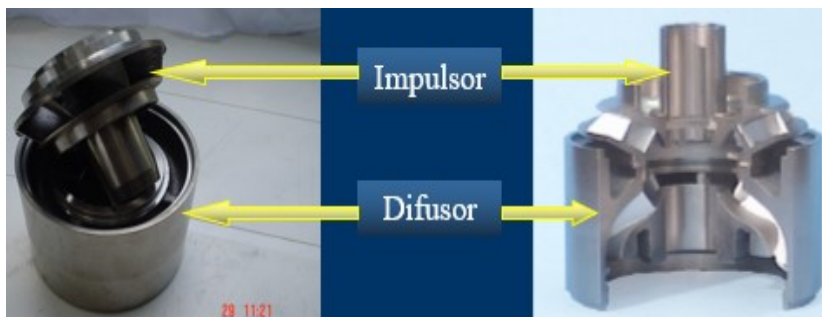
Imprime energía cinética (Velocidad) al fluido.

Difusor

Convierte la energía cinética en energía potencial (Cabeza).

Figura 24.

Etapa de la bomba electrosumergible.



Nota. Cordoba et al., (2006).

Eje y Housing

El número de etapas requeridas según el diseño, se ensamblan sobre un eje, y se alojan en un housing de un tamaño adecuado para este número específico de etapas.

Clasificación de bombas

Bomba Compresora

Todos los impulsores están fijos al eje, por lo tanto, se mueven como un solo cuerpo. Si un impulsor se mueve, el eje se mueve también.

Bomba Flotadora

Cada impulsor es libre de moverse hacia arriba o abajo sobre el eje (Flota sobre el eje).

Cable de potencia

El cable de potencia permite la alimentación eléctrica al motor de fondo, conecta el motor sumergible con la potencia generada en superficie, el cable de potencia se compone de:

Conductor

Hilo por el cual se transmite la potencia eléctrica desde superficie.

Sólido: Es de menor diámetro / menor costo.

Estriado: Es de mayor flexibilidad / mayor resistencia.

Compacto: Tiene hasta 10% menos diámetro que el estriado.

Tipos de cable de potencia

Figura 25.

Cable plano – Cable redondo.



Nota. Cordoba et al., (2006).

Captación y zonas hidrológicas

Los gobiernos a nivel mundial tratan de implementar nuevos programas para la gestión del medio ambiente y de los recursos hídricos pues el impacto del cambio climático, los episodios extremos de calor, sequía, lluvia e inundaciones están afectando a muchas partes de Europa. El pasado verano, mientras el periódico español El País publicaba fotografías de lechos fluviales secos, en el diario británico The Guardian aparecían alarmantes titulares sobre inundaciones. Mientras el Ayuntamiento de Barcelona elaboraba planes para importar agua en barcos, el Gobierno británico supervisaba las defensas contra inundaciones. Las causas son muchas, pero se cree que el cambio climático aumentará la frecuencia y la gravedad de estos fenómenos. Incluso si reducimos las emisiones de CO₂, la acumulación histórica de gases de efecto invernadero provocará cierto cambio climático, así que habrá repercusiones. Por tanto, tendremos que adaptarnos, es decir, evaluar nuestra vulnerabilidad y tomar medidas para reducir los riesgos. Este análisis de la adaptación al cambio climático se centra en problemas relacionados con el agua, principalmente la sequía (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2016).

El gobierno Nacional de Colombia a través de las administraciones ha desarrollado estrategias y proyectos para la prevención en el desabastecimiento del agua según lo informado por el ministro de vivienda, entre ellos las siguientes acciones adoptadas por departamento:

Tabla 2

Acciones por Departamento.

CIUDAD	CARRO TANQUES	TANQUES	CAPTACIÓN	NÚMERO DE POZOS	INVERSIÓN
Cundinamarca	30	0	Villeta y Nocaima,	3	\$1.616.259.582 millones.
Magdalena	15	0	Santa Marta	3	\$139.070.281.652 millones
Atlántico		0	Bombeo directo desde el Río Magdalena		\$64.664.528.051 millones
Valle del Cauca	21	0	La Unión, La Victoria, Obando, Toro, Roldanillo	5	\$14.283.045.139 millones.
Boyacá	0	0	Santa Rosa de Viterbo y Acerías Paz del Río	En construcción 2 pozos	N.I.
La Guajira	50	0	Intervención especial		\$ 162.742.086.452 millones
Quindío	11	60	Circasia, Montenegro y La Tebaida	3	N.I
Nariño	15	60	Municipios priorizados		N.I.
Huila	10	0	Municipios priorizados	0	\$96.467.879
Cauca	17	135	Valle del Patía	16	\$331.670.821 millones.
Caldas	14	178	Municipios priorizados y críticos	3	N.I.

Nota. Minvivianda (2015).

Pero ¿Qué se puede desarrollar, implementar o aplicar para dar solución a la escasez del agua? En Colombia y el mundo las naciones han determinado como solución al desabastecimiento de agua y a las sequías pronunciadas, la implementación y ejecución de planes de perforación, construcción y explotación de pozos captadores de agua en acuíferos subterráneos.

Figura 26.

Acuífero.



Nota. Ordoñez (2011).

Los pozos captadores de agua tienen su zona productora en los acuíferos del subsuelo terrestre, un acuífero son formaciones geológicas donde se encuentra agua y que según la zona y permeabilidad permite el almacenamiento del agua en espacios subterráneos, las profundidades pueden variar y es por ellos que se requiere realizar excavaciones o perforaciones en el subsuelo. Estos acuíferos pueden ser de tipo confinado o no confinado, los acuíferos no confinados tras realizar alguna excavación son de fácil acceso al ser humano, a diferencia de los acuíferos confinados que normalmente se encuentran a mayor profundidad y la roca de protección superior es de mayor densidad y dureza.

El funcionamiento del acuífero es como el de un embalse ya que estos tienen puntos de entrada y puntos de salida del agua, las zonas de recarga se deben a las filtraciones del agua de superficie, sean de lluvia, hielo, lagunas, ríos y la filtración subterránea de otros acuíferos

vecinos. Los acuíferos poseen salidas que se pueden dar de forma natural en manantiales, fuentes, acuíferos vecinos, ríos cercanos o al mar si son acuíferos costeros.

Los acuíferos pueden ser libres o freáticos, confinados o cautivos, colgado y fósiles con poca o nula recarga, se observa que los acuíferos subterráneos contienen más del 95% del agua dulce disponible del planeta y la mayoría de ellos son transfronterizos.

En las regiones áridas y semiáridas son a menudo la única fuente de agua.

En 2010, se han identificado 290 acuíferos en el mundo, de los cuales más de 70 están en el continente americano. (Martínez, C. 2010).

Figura 27.

Tipos de acuíferos.



Nota. Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación. (2016).

En Colombia el ciclo hidrológico está formado por las aguas subterráneas, estos se comportan según sus propios medios naturales, rocas fracturas, permeables y porosas, donde se decantan las reservas de este líquido vital. La exploración de aguas subterráneas en Colombia inicio en 1950 dando oportunidad de abastecimiento de agua a algunas poblaciones alejadas del país, estas actividades se llevaron a cabo en los departamentos de Antioquia, Huila, Córdoba, Cauca, Cundinamarca, Boyacá y Valle del Cauca.

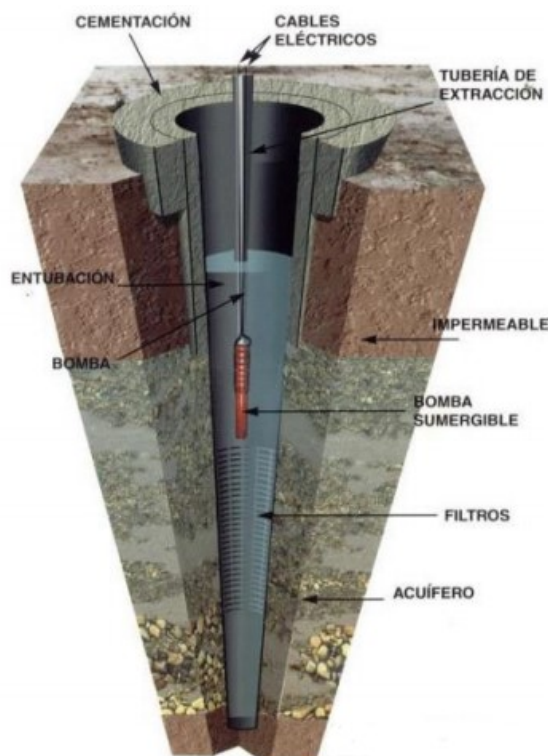
Posteriormente se continuaron con estudios enfocados al reconocimiento de las unidades acuíferas, flujos, calidad del agua y parametrización de características hidrológicas para conocer las condiciones de almacenamiento, caudal, capacidad específica de los acuíferos.

Rodríguez, Vargas, Jaramillo, Piñeros, Cañas, (2010), mencionan que El Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM realizó el estudio de las provincias hidrológicas de Colombia, agrupándolas en 16 cuencas sedimentarias de Colombia comunicando que el 74,5% del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas y solo el 25,5% (291.620,04 km²) por rocas ígneas, metamórficas o por ambientes con posibilidades hidrogeológicas desconocidas, limitadas o restringidas, lo cual indica por sí solo una riqueza de recurso hídrico subterráneo que no ha sido objeto de evaluación formal y se puede observar que el sector agrícola es el que mayor uso hace del agua subterránea (75%), seguido de lejos por el sector doméstico (9%) y el industrial (7%). El uso de agua subterránea más extendido en el sector agrícola se da en el Valle del Cauca, que consume el 58% del total consumido por el sector en todo el país.

El uso en el sector pecuario y de servicios apenas alcanza el 6% en total, al observar el mínimo uso y el alto beneficio de los pozos captadores se incrementa la importancia en la perforación y construcción de los pozos acuíferos para hacer frente a las épocas de sequías, de fenómenos climatológicos adversos como el fenómeno del niño y la implementación de estos pozos en zonas más áridas de Colombia para el uso y disfrute de un servicio básico para los seres vivos que lo requieran.

Figura 28.

Pozo y equipo electrosumergible.



Nota. Martin J. A. I, (2015-2016).

Los pozos de captación pueden ser cavados de forma manual, hincados o perforados y sus métodos de extracción se basan en métodos manuales, de tracción animal, con bombas de inyección, bombas de cavidades progresivas y equipo electrosumergible entre otros.

Los pozos captadores requieren unos cuidados básicos para mantener su operatividad, entre ellos se encuentran la toma de presiones manométricas, toma de nivel del fluido, toma de temperatura del agua, rata de flujo hora y diario, revoluciones de la bomba, frecuencia de operación del variador, temperatura del motor electrosumergible, si se llega a observar pérdida del nivel del fluido, decremento en la rata de flujo hora y diario, aumento en la temperatura del motor de la bomba, cambio de propiedades del agua captada, se recomienda apagar el variador de frecuencia, realizar el análisis de todos los datos recopilados, si se confirma la obstrucción parcial o total de las zonas de producción del pozo acuífero se recomienda realizar un

tratamiento químico de limpieza, este puede ser con ácido clorhídrico o manganoso depende del tipo de tubería de producción que se tenga, en caso observar limo u arcillas se puede implementar el tratamiento con agentes dispersantes como los fosfatos o los polifosfatos y finalizar con un tratamiento de cloro para eliminar el cultivo de bacterias, es de suma importancia ser rigurosos con los cuidados básicos para evitar el mantenimiento general del pozo pues este acarrearía la extracción del equipo electrosumergible y la pérdida de producción del pozo hasta su nuevo completamiento con el equipo captador de agua (Arévalo, M, 2017).

Aspectos metodológicos

Aspectos metodológicos y tipo de investigación

El enfoque investigativo realizado es de investigación cualitativa de tipo descriptiva, ya que las técnicas utilizadas para la recolección de información fueron la revisión documental y la observación principalmente, que ayudarán a recoger la información y como bien lo dicen (Bogdan, 1987) “es aquella que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable”. El tipo de investigación utilizado en este proyecto es no-experimental. De esta forma, con el estudio descriptivo buscamos Analizar la importancia de ejecutar o aplicar una correcta configuración u aplicación del variador de frecuencia, en unidades de bombeo. Es decir, solamente pretende identificar conceptos teóricos, determinar la importancia y hacer recomendaciones de uso recolectando información de forma independiente o conjunta de acuerdo con los conceptos y variables a las que hace referencia.

El diseño de investigación escogido es el transversal, porque el estudio que haremos no tendrá un seguimiento en el tiempo y se efectuará en un periodo determinado.

Población y muestra

El estudio obtenido a partir de la verificación de registros y contenidos en las fuentes de información consultadas. Esta fue depurada y organizada con la ayuda del procesador de texto Microsoft Word a través de cuadros de donde se tomaron los resultados del proceso de recolección.

Recopilación de datos.

Registro escrito se realizó a través de anotaciones relacionadas con los fenómenos observados y con diferentes registros documentales que sirven de soporte secundario en la identificación, el análisis de la importancia de ejecutar o aplicar una correcta configuración u

aplicación del variador de frecuencia en unidades de bombeo. Herramientas: Con el objetivo de obtener la información más veraz posible, se aplicaron instrumentos cuya finalidad consistió en la búsqueda de información requerida para el desarrollo de la monografía:

- Libreta de campo y Diario
- Computador y software asociado (Word)

Procedimiento para el análisis de la información.

De acuerdo con la recolección de datos e información documental, se procedió a analizar los datos, buscando diferentes acciones que generen la facilidad de codificación, análisis e interpretación de los datos recolectados: Observar significa establecer categorías, organizadas, analizadas y resumida de los datos, Se elaboraron cuadros y mapas conceptuales que sintetizaron la información obtenida a través de las diferentes técnicas de recolección utilizadas. Por tanto, la información recopilada se convirtió en el insumo para el análisis de la investigación, además de la experiencia de 12 años con el uso del variador de frecuencia.

Capítulo III. Cierre de la monografía investigativa

Análisis de Resultados

Es indispensable conocer el funcionamiento del variador de frecuencia para garantizar el uso adecuado del mismo ya que este cumple un papel esencial integrando los diferentes sensores cuyo propósito radica en la autoprotección de sub o sobretensiones eléctricas, lo que a su vez permite niveles operativos seguros de protección tanto del pozo captador como de las instalaciones de almacenamiento y distribución de agua y por supuesto del equipo electrosumergible.

Tal como lo afirma Mulett 2018, las aplicaciones del variador de frecuencia son consideradas importantes para el manejo de la productividad del pozo en este caso, sin embargo, su uso se da también en otros sistemas utilizados como en: ascensores, montacargas, grúas, compresores, sopladores, cabrestantes, bombeo de fluidos, bombas solares, torres de enfriamiento, extrusoras, bandas transportadoras entre otros. La aplicación del variador en sus diferentes etapas debe contar con la protección adecuada para quien lo opere.

Ahora bien, en la configuración del variador de frecuencia se debe diferenciar dicha configuración pues esta cambia según el tipo de motor es decir la configuración cambia cuando se trata de motores electro sumergibles en un pozo acuífero, sin embargo, según lo evidenciado en los pozos se provocan daños prematuros, pérdidas de producción de fluido y sobre costos en los pozos, por las deficiencias en los procedimientos que realiza el personal encargado.

Rodríguez., *et al* 2010, menciona que en Colombia existe una riqueza de recurso hídrico subterráneo que no ha sido objeto de evaluación formal y, que posee un 74,5% del territorio nacional cubierto por provincias hidrogeológicas, que a futuro se convierten en recursos hídricos

de agua dulce necesarias para los seres vivos y para el desarrollo de las poblaciones en ámbitos como el social, económico, ambiental, industrial, político, entre otros.

Martínez, C. 2010, por su parte afirma que las provincias hidrológicas o acuíferos se comportan como un embalse, contienen más del 95% del agua dulce disponible del planeta y los equipos electrosumergibles son ideales para extraer del subsuelo este recurso hídrico. Sin embargo, es preocupante que un recurso como el agua pueda llegar a determinar la riqueza de una nación, situación parecida dada en el siglo XX por el petróleo.

El uso del variador de velocidad para un sistema de levantamiento artificial, tal como el bombeo electro sumergible, tiene la necesidad imperativa de realizar una compleja configuración al software instalado en cada equipo, debe realizarse de una forma correcta e individual para cada uno de ellos ya que ellos controlan cada pozo, y cada uno de éstos constituye un desafío diferente por su construcción y zona acuífera de captación.

Si no se realiza una correcta configuración en el variador de frecuencia se pueden ejercer graves daños al yacimiento, a veces irreparables u otros que posteriormente requerirán de un servicio de workover o mantenimiento mayor de las zonas productoras del pozo para tratar de recuperar la producción de agua, añadiendo costos a la perforación de este.

En este sentido, también se puede ejercer torques excesivos, inducción de voltajes altos, producción de armónicos, picos de corriente que pueden quemar el motor, cable o sensor del equipo electro sumergible, ocasionando un gasto adicional por un servicio de workover y una pérdida de producción del fluido captado por la detención no programada del pozo.

Una configuración en el variador de frecuencia carente del límite máximo y mínimo de frecuencia podría ocasionar daño a la formación del subsuelo, obstruyendo los canales de comunicación del yacimiento al pozo causando la pérdida de captación de agua. Si el variador de

frecuencia carece en su configuración del límite máximo de corriente del motor, podría ocasionar una falla eléctrica en el mismo, inhabilitando el equipo electrosumergible y por consiguiente la oportunidad de captación del agua desde el pozo.

Debido a las situaciones mencionadas, con esta monografía se espera realizar una contribución a la solución de los problemas que puedan presentarse en los sistemas de bombeo electrosumergible, con la experiencia de 12 años adquirida profesionalmente en diversos campos de producción de hidrocarburos, captación de agua e inyección de fluidos, se ha observado la falencia en la formación integral del personal para atender, mantener y operar los sistemas eléctricos, los equipos de superficie (Variador de frecuencia, transformador elevador, grupo electrógeno) y el sistema de producción o levantamiento artificial en los campos operativos, en la presente monografía se dio a conocer los parámetros básicos para el funcionamiento integral del sistema de alimentación eléctrico, variador de frecuencia, equipo electrosumergible y yacimiento o acuífero subterráneo, con el cual se contribuirá a suplir la falencia de agua en sitios que la necesiten, priorizando el cuidado del yacimiento para prolongar en el tiempo la operatividad de la inversión económica y el suministro constante de agua.

De igual manera se busca hacer una revisión actualizada de las soluciones a la problemática de la sequía, por esta razón en el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo podemos observar que todos los miembros aceptaron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible integrados para avanzar en el progreso conjunto de los países y regiones más atrasadas, con la finalidad de cambiar la vida de millones de personas, donde se incluye cero hambre, cero pobreza, cero sida, y cero discriminación contra las mujeres y niñas.

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el objetivo 6, Agua Limpia y Saneamiento, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2020), describe la

necesidad de garantizar el acceso universal al agua potable de forma segura y asequible para todos en 2030, y solicita realizar inversiones adecuadas de infraestructura e instalaciones sanitarias a su vez de fomentar prácticas de higiene. Por otra parte, los datos estadísticos son alarmantes, con un 80% de aguas residuales vertidas a vías fluviales sin realizar algún tratamiento adecuado, también 844 millones de personas carecían de agua potable básica y 2,3 mil millones de personas carecían del saneamiento básico, además el 70% de zonas húmedas que se han perdido durante el último siglo tiene una afectación de estrés hídrico a más de dos mil millones de personas con proyecciones de aumento significativo en los siguientes años, en conclusión cumplir con el objetivo número seis de Desarrollo Sostenible es todo un reto para las naciones del mundo entero. (PDUD, 2020)

Conclusiones

El planteamiento en el presente trabajo monográfico diserta una mejora viable a la solución en regiones con escasez del recurso hídrico básico esencial.

En Colombia el Ministerio de Vivienda ha desarrollado estrategias e implementado planes de mitigación, debido a los cambios climáticos producidos por las prolongadas sequías, condición anormal del medio ambiente, con estadísticas impactantes causadas por fenómenos como el del “*niño*”, siendo esta la época en la cual se registraron mayores índices de sequía. Sin embargo, de los 312 municipios vulnerables, 113 no reportaron problemas de desabastecimiento hídrico, gracias a las estrategias implementadas entre las que se encuentran los pozos acuíferos.

La productividad desde lo económico, social e industrial de un pozo acuífero se garantiza con la construcción, operación, mantenimiento y uso adecuado por parte de operarios capacitados en temas específicos como la configuración de variadores de frecuencia y sistemas de bombeo electrosumergibles con programaciones exigentes y confiables, mejorando la vida útil de estos, pero sobre todo permite que los seres vivos cuenten con un servicio vital como el agua.

Mediante el análisis, proyección y observación del personal en campo, se puede precisar, que se requiere ejecutar una programación específica al variador de frecuencia, la cual constituye parte fundamental del sistema de extracción de agua, pues este componente permite controlar la velocidad de un motor AC, según requerimientos propios de la operación, asegurando el uso y aplicación correcta.

La configuración del variador descrita en el capítulo II, ha sido probada en varias oportunidades, otorgando grandes beneficios a diferentes equipos industriales, como a los motores trifásicos usados para accionar maquinas, bombas, herramientas, elevadores, sopladores y ventiladores.

El análisis realizado en el presente documento, nos ilustra sobre la importancia del variador de frecuencia en el sistema de bombeo electrosumergible, aplicando una serie de datos para el cuidado del yacimiento, del personal operativo y del equipo extractor del fluido, se identifican los conceptos teóricos de los acuíferos y de cada componente utilizado en el pozo captador.

Es importante indicar que de las fuentes de información consultadas (bases de datos, google scholar, repositorios de diferentes instituciones), se encuentra abundante información sobre la configuración de variadores de frecuencia para motores de superficie, sin embargo, de la temática específica de configuración de variadores de frecuencia para motores sumergibles de pozos acuíferos, es escasa la información o reportes de estudio en dichas fuentes.

Recomendaciones

Al desarrollar la presente monografía analiza la forma en la que desde nuestras capacidades y posiciones podemos ayudar a nuestra sociedad, con impactos pequeños o grandes, con nuestras acciones diarias o decisiones globales, encaminándonos en la sostenibilidad y la integración de diferentes metodologías para un bien común, ya sea con el cuidado medioambiental, con las necesidades humanas y de los seres vivos que complementan el planeta tierra.

Para la escasez del agua, se insta a la utilización masiva del aprovechamiento de forma responsable de pozos acuíferos, la implementación de los variadores de frecuencia, minimizando el daño al yacimiento y prolongando la vida útil de todo el sistema operativo, para mantener un suministro constante del agua a todos los seres vivos que lo requieran en las zonas de necesidad.

La principal recomendación es la capacitación que se debe realizar al personal encargado sobre la configuración de variadores de frecuencia para pozos acuíferos electrosumergibles, ya que llegan con vacíos en el manejo de motores sumergibles ya que estos difieren de los motores de superficie, situación que redundará en mayor productividad, vida útil y suministro de agua para los seres vivos y a su vez para las empresas que administran los pozos acuíferos en las diferentes regiones del país.

La masificación de la tecnología planteada, del uso de variadores de velocidad en sistemas de levantamiento artificial, serán esenciales para cubrir la alta demanda del agua que se requiere a nivel mundial y nacional, siendo un activo tasable en bolsa de valores de New York donde se demuestra que, en el futuro cercano, el agua podrá ser el recurso natural más valioso.

Para la aplicación del variador de velocidad, como componente fundamental del sistema, que suplirá en los lugares vulnerables la escasez del agua, se recomienda una

programación base, estandarizada y efectiva para mantener una operación de bajo costo económico, de fácil seguimiento operativo, fundamentada en seguridad eléctrica, diseñada en el control constante del flujo hidráulico según necesidad, pero con amplio control para evitar arenamiento u obstrucción del pozo.

Se hace necesario continuar con este tipo de investigación por la escasa información que se encuentra en las diferentes fuentes de información a las que se tiene acceso.

Una línea de investigación a partir de esta monografía en la se podría investigar son las Provincias hidrogeológicas teniendo en cuenta la importancia de estas y sobre todo el porcentaje con la cual cuanta Colombia comparada con otros países.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2016). Si el pozo se seca – La adaptación al cambio climático y el agua. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/articles/si-el-pozo-se-seca-la-adaptacion-al-cambio-climatico-y-el-agua>
- Álzate, A., Yarce, D. M., & Valencia, M. G. (2011). Control de velocidad mediante relación voltaje frecuencia. *Scientia et technica*, volumen 3 (49), 19-24
- Arango A, (2013,07,12) Crisis Mundial del Agua, *Producción + Limpia*. Recuperado http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000200001
- Arévalo, M. (2017). *Propuesta de Diseño de Construcción, Acondicionamiento de un Pozo de Agua y su Incidencia en la Vulnerabilidad del Acuífero Costero en Manglaralto* (Tesis de maestría). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/128068/D-CD102917.pdf>
- Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación. (2016). *Clasificación de los acuíferos*. Aquabook. Mendoza. Recuperado de http://aquabook.agua.gob.ar/407_0
- Bogdan, S. T. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.
- Carrascal, R. (2008). *Cartografía Hidrogeológica*, (Tesis maestría). Escuela Geológica FIGMM – UNI, Lima, Perú.
- Cevallos, C., Mesías, I. (2019). *Análisis de los efectos que causan los armónicos en los motores a inducción cuando usan los variadores de frecuencia* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

- Cordoba, B., Erazo, P y Herrera, C. (2006). Bombeo Electro Sumergible. Well Completions and Productivity – ALS - Schlumberger. Conferencia llevada a cabo en Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Dominguez, I. (2016). Introducción a los Variadores de Velocidad. Conferencia llevada a cabo en la Gerencia Regional Oriente. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.
- Gallupe, J. L. (2018). *Consideraciones técnicas que influyen en la construcción de pozos de agua y piezómetros en la minera Barrick Misquichilca SAC. 2014* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Recuperado de http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2135/T033_44219608_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Harper, G. E. (2011). *Fundamentos De Control De Motores Eléctricos En La Industria*. Limusa Noriega.
- Hernández, J. E. (2016). *Elaboración de un Portafolio de Servicios Técnicos y Administrativos para Bombas Electrosumergibles* (Tesis de grado Doctoral). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander.
- Johnson, J. (2001). El sistema electrosumergible. Conferencia llevada a cabo en el congreso Centrilift Equipment Presentation, Neiva, Colombia.
- Lukaszvzyk, M. (19 de 07 de 2012). Automatización en la industria 4.0. Obtenido de Determinar la carga de un motor eléctrico es esencial para el rendimiento energético: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/98865-Determinar-la-carga-de-un-motor-electrico-es-esencial-para-el-rendimiento-energetico.html>

Martín, J. A. I. (2015-2016). *Captaciones subterráneas/Perforación y equipamiento de sondeos para captación de aguas subterráneas* (Master en Ingeniería y Gestión del Agua).

Recuperado de

https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:uCxhk4zGMfQJ:scholar.google.com/+Captaciones+subterr%C3%A1neas/Perforaci%C3%B3n+y+equipamiento+de+sondeos+para+captaci%C3%B3n+de+aguas+subterr%C3%A1neas&hl=es&as_sdt=0,5

Martínez, C. (2010). La importancia de los acuíferos subterráneos. *Noticias ONU*. Recuperado de <https://news.un.org/es/audio/2010/12/1391261>

Minvivienda. (2015). *Con inversiones por más de \$766 mil millones se previene desabastecimiento de agua en el país: Minvivienda*. Recuperado de

<http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/octubre/con-inversiones-por-mas-de-766-mil-millones-se-previene-desabastecimiento-de-agua-en-el-pais-minvivienda>

Mulett, R (2018). Centro de Entrenamiento Artificial Lift Systems CEALS. Conferencia llevada a cabo en la Gerencia Regional Oriente. Campo Rubiales, Meta, Colombia.

Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas – Acuíferos, Lima, Perú. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf)

[sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf)

Paco (10 de septiembre de 2017). Máquina de velocidad ajustable con motor de corriente alterna [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://coparoman.blogspot.com/2017/09/>.

Paredes, A. (2005). REDA. Aplicaciones de los Variadores de Frecuencia. Conferencia llevada a cabo en el Work Shop Variadores de Frecuencia Metapetroleum, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

- Pillapa, A. G. (2016). Repositorio digital UTA. Adquisición de datos de parámetros hidráulicos y su efecto en el ajuste de las curvas de funcionamiento teóricas en el banco de bombas centrífugas del Laboratorio de Energía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/20279>
- PNUD (2020). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Raffino, M., (2020), Semiconductores. Recuperado en <https://concepto.de/semiconductores/>
- Rodríguez C., Vargas N., Jaramillo O., Piñeros A., Cañas H., (2010), Oferta y Uso de Agua Subterránea en Colombia, documentación. Ideam.gov.co, 4(162-163-164).
- Slacol, (2019), Control inteligente de levantamiento artificial, Aplicación: Bombas Electro sumergible (ESP) Versión 9.0.
- Sotelo, A. F. (2016). *Repositorio UNCP*. Obtenido de Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3928>
- Tedesco, C. F. (2011). *Ascensores electrónicos y variadores de velocidad en Buenos Aires*. Alsina Tecnibook Ediciones. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=38SWDwAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Victoria, V. O. (2011). Hidráulica de aguas subterráneas. Medellín, Topográficas Ltda.
- WEG. (2020). Grupo WEG - Unidad Motores. Obtenido de Motores Eléctricos - Guía de Especificación.: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h82/WEG-motores-electricos-guia-de-especificacion-50039910-brochure-spanish-web.pdf>