



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“ANÁLISIS DE FALLAS Y CONFIABILIDAD DE
SELLOS MECÁNICOS EN BOMBAS DE LODOS”:
Una revisión sistemática.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Ingeniería Industrial

Autores:

Carmen Irene De la Rosa Saldaña.

Silver Donal Torres Hidalgo.

Asesor:

MBA. Ing. Mylena Karen Vílchez Torres.

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mi amado esposo y gran padre, Donal y a mis hijos que desde un inicio nos incentivaron y apoyaron a seguir en esta nueva etapa a Perlita, Claudette, Jhensy y Alexis.

Irene De La Rosa.

Esta investigación se la dedico a mi esposa que es la mujer que amo, a mis amados hijos Perlita, Claudette, Jhensy y Alexis, gracias por su apoyo y comprensión, por su ayuda en mi superación diaria.

Donal Torres.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y la salud, a mi madre por sus palabras de apoyo a los profesores que nos apoyaron incondicionalmente y guiaron hasta el final.

Irene De La Rosa.

Agradezco a Dios por todo o que me da día a día, a mi madre que desde el cielo me cuida y protege, a cada uno de los profesores y amigos que colaboraron conmigo en esta etapa de mi carrera.

Donal Torres.

Tabla de contenido

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO III. RESULTADOS	11
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	15
REFERENCIAS	16
ANEXOS	19

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Análisis de información científica.	11

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cantidad de estudios científicos publicados por año.....	12
Figura 2. Cantidad de tipo de investigación de los estudios científicos.	13
Figura 3. Cantidad de tipo de documentos referentes al tema.	13
Figura 4. Cantidad de tipo de documentos referentes al tema.	14
Figura 5. Nacionalidad de los documentos analizados.	14
Figura 6. Provincia de los documentos analizados.	15

RESUMEN

Para la optimización del sistema de bombeo es necesario analizar las fallas en los sellos mecánicos; es ahí donde se presenta la mayor cantidad de problemas en las bombas de lodos. Las fallas se presentan constantemente en los sellos mecánicos y afectan a los equipos empleados en el sistema de bombeo, generando reducción de producción y pérdida de tiempo, lo cual se traduce en pérdidas económicas, pero con un adecuado análisis de fallas se evitarían dichas pérdidas generando mayor rentabilidad. El objetivo fue analizar teóricamente la optimización del sistema de bombeo mediante el análisis de fallas en sellos mecánicos en bombas de lodos, en los últimos 5 años: se usó las bases de datos Redalyc y Ebsco. Los términos de inclusión fueron optimización del sistema de bombeo, reducción de fallas y rendimiento de sellos mecánicos. Se sintetizaron 21 estudios centrados en optimización de sistema de bombeo en plantas mineras. En los estudios teóricos se especificó que las fallas están en la instalación, en el diseño de los sellos y/o en la contaminación del líquido. Los documentos encontrados mayormente pertenecen al 2017. Los estudios encontrados fuera del país se enfocaron en el diseño de sellos mecánicos descritas por las empresas fabricantes.

PALABRAS CLAVES: .Optimización, fallas, sellos mecánicos, sistema de bombeo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La industria minera, cuenta con plantas de procesamiento del mineral, en la cual la bomba descarga lodos/pulpa desde el molino, estas bombas constantemente presentan fugas, por ello es necesario escoger en sistema de sellado tomando en cuenta la productividad de la planta, las prácticas operativas y de mantenimiento, las políticas medioambientales y de seguridad de cada empresa. Con el avance tecnológico, actualmente existen dos sistemas de sellado en bombas que son la empaquetadura mecánica de compresión y el sello mecánico (Figuroa, 2014).

En las plantas de procesamiento de mineral, las fugas de fluidos son un problema frecuente y grave, ya que acarrear como resultado pérdidas de materia prima y de producto terminado, averías en los equipos, entre otros; lo que también implica como resultado las pérdidas económicas para la empresa (Caperva, 2013).

Actualmente las fallas de los sellos mecánicos han sido más frecuentes, originando paradas de planta y de equipos, fugas de los fluidos del proceso, reducción de producción y pérdida de tiempo, lo cual se traduce en altos costos de mantenimiento ya que se tiene que reparar los equipos dañados, comprar repuestos dañados y gastar en la mano de obra que solucionara las fallas. Este problema le puede causar a las empresas minera una pérdida económica de decenas de millones de dólares anuales (Almosny, 2014).

Los sellos mecánicos de las bombas de lodos en la planta de procesamiento mineral fallan, por tres razones, el primero por la inadecuada instalación, el segundo por los problemas que tiene diseño básico del sello mecánico y el tercero es por la contaminación del líquido en el prensaestopas (Barreto, 2017).

Un apropiado sistema de sellos mecánicos darán seguridad de funcionamiento a la bomba, con esta implementación se evitarían pérdidas económicas para la empresa, de recursos materiales, de tiempo y accidentes en la planta (Barboza, 2013).

La función principal de los sellos mecánicos es sellar el eje de rotación del agitador que pasa por la pared del depósito. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento ya sea presión, temperatura, velocidad del agitador, densidad del lodo, etc; se utilizan diferentes tipos de sellos dependiendo del material y al tipo de bomba (Caperva, 2013).

Los sellos mecánicos son indispensables cuando se están mezclando sustancias peligrosas o explosivas, un sello mecánico es obligatorio, asimismo son considerados como componentes mecánicos de ingeniería, y se utilizan en bombas, como un componente de sellado (Caperva, 2013).

La formulación del problema de esta investigación, es, ¿Qué se conoce de la optimización del sistema de bombeo mediante el análisis de fallas en sellos mecánicos, en los últimos 5 años?

El objetivo de esta revisión sistemática es, analizar teóricamente la optimización del sistema de bombeo mediante el análisis de fallas en sellos mecánicos, en los últimos 5 años, principalmente en las plantas de procesamiento mineral.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Este estudio corresponde a una revisión sistemática, porque se procura recopilar todo el conocimiento de un tema determinado, rescatando lo que se sabe acerca de un tema específico, mediante los resultados obtenidos en diferentes estudios y ofrecer así sugerencias para la práctica e investigación futura (Hickson, Morata, y Wong, 2017). En la revisión sistemática presentada en este estudio, se analizaron y resumieron los antecedentes teóricos

encontrados en torno a optimización del sistema de bombeo y análisis de fallas en sellos mecánicos.

La pregunta de investigación de esta revisión sistemática fue: ¿Qué se conoce de la optimización del sistema de bombeo mediante el análisis de fallas en sellos mecánicos, en los últimos 5 años?

Para elaborar la revisión sistemática se realizó la búsqueda de documentos en la base de datos electrónica Redalyc y Ebsco, estos documentos se resumieron en una tabla donde se especificó autor, año, tipo de documento, tipo de investigación y un breve resumen. Posteriormente se clasificó los resultados por año, por tipo de investigación, por tipo de documento, por tema de estudio abordado, por nacionalidad y por estudios publicados en las provincias de Perú, esta clasificación se realizó mediante figuras y tablas descritas en el capítulo de resultados.

Para la selección de documentos se emplearon los términos de inclusión que fueron optimización del sistema de bombeo, reducción de fallas y rendimiento de sellos mecánicos.

Se seleccionaron los artículos publicados entre los años 2013 y 2018, y se consideraron los estudios de análisis de fallas en sellos mecánicos que tienen aplicaciones en diferentes industrias ya sea en fábricas de lácteos, fabricas cerveceras, plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y en plantas metalúrgicas mineras. Esta revisión sistemática se enfocó en los sellos mecánicos utilizados en la industria minera. Dentro de los documentos analizados se evaluaron artículos científicos, tesis de pregrado, blogs de internet, catálogos de venta de sellos mecánicos, brochures y cursos de capacitación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Recopilación de antecedentes concernientes a fallas de sellos mecánicos y a confiabilidad de sellos en las bombas de lodos en la industria minera.

De acuerdo a la tabla 1, se analizó 21 documentos referentes a optimización del sistema de bombeo y análisis de fallas de sellos mecánicos, donde se ha resumido cada estudio y también se detalla la fuente, el tipo de documento y el tipo de investigación.

Tabla 1
Análisis de información científica.

Autor/año	Tipo de documento	Tipo de investigación	Breve Resumen
ABEL Pumps, 2017	Artículo de revista	No precisa	Determinó que el transporte de lodos de minería puede desgastar las bombas de lodos de muy distintas formas.
Acosta, J., 2015	Tesis de pregrado	Cuantitativa	Diseñó sellos mecánicos para bombas, mediante un software CAD, los cuales son reparables y reemplazables.
Barboza, A., 2013	Tesis de pregrado	Descriptiva	Demostó que las fallas que ocurren en los sellos mecánicos son por el alineamiento y el estado en que se encuentran.
Barreto, C., 2017	Tesis de pregrado	Aplicativa	Diseñó un nuevo sistema de bombeo que optimiza la extracción del agua acumulada en el fondo del tajo Antapaccay.
Almosny, D., 2014	Artículo de revista	No precisa	Afirmó que los sellos mecánicos fallan por: Errores en la instalación, problemas por el diseño básico y contaminación del líquido en el prensaestopas.
CAPERVA, 2013	Artículo de revista	No precisa	Explicó que el funcionamiento fiable del cierre mecánico de sellos depende de la vigilancia y control de los sistemas de suministro de líquido de sellado.
(CHESTERTON, 2018)	Blog	No precisa	Escogió el sistema de sellado para una bomba de lodos/pulpas de acuerdo a las metas productivas, recursos materiales, operatividad y de mantenimiento.
(COEBSA, 2017)	Catálogo de productos	No precisa	Expusieron sus sellos HA-BA, que son sellos mecánicos para uso en bombas centrífugas y de turbina para manejo de agua y aguas residuales.
(DRAGFLOW, 2017)	Artículo de revista	No precisa	Presentó las bombas de suspensión que se pueden usar en bombeo de lodos con una concentración muy alta de sólidos.
Figuroa, A., 2014	Proyecto de tesis	Descriptiva	Determinó que las fallas son por 1) errores de instalación, 2) problemas por el diseño del sello mecánico y 3) contaminación del líquido.
GOULDS PUMPS., 2015	Catálogo de ventas	No precisa	Explicó que las bombas metálicas son resistentes a la corrosión/abrasión y revestidas con goma, sumergibles para procesamiento de minerales

METSO., 2013	Brochure	No precisa	Concluyó que los sellos mecánicos se usan en bombas de lodos cuando se requiere que no tenga fugas.
Muñoz F., 2017	Tesis de pregrado	Descriptiva	Explicó que las bombas sufren modos de fallo generalmente con desgastes excesivos, que restringen la entrada a su proceso.
Muñoz, A., 2016	Tesis de pregrado	Aplicativa	Presentó problemas de fallas y averías constantes en sellos mecánicos, generando sobre costos y retrasos en la producción.
Pioneer Pump., 2017	Brochure	No precisa	Presentó bombas diseñadas para mover más desagüe de minas o inundación de canteras.
PROCASE LTDA., 2016	Curso de capacitación	No precisa	Determinó que los defectos, están en la instalación, en el diseño de los sellos o en la contaminación del líquido en el prensaestopas.
Rodríguez, Y., 2014	Tesis de pregrado	Aplicativo	Propuso reemplazar tres bombas en paralelo por tres bombas instaladas en serie, para ahorrar el consumo de energía eléctrica.
Salazar, O., 2016	Tesis de pregrado	Descriptiva	Comparó el costo de la confiabilidad con sellos mecánicos con los del prensaestopas. Los sellos mecánicos generan menor consumo de agua para refrigeración que el prensa estopas.
SEALCO., 2013	Catálogo de ventas	No precisa	Mostraron 35 tipos de sellos mecánicos, entre ellos uno de los más usados en minería es el tipo 771.
TECNOpeg., 2018	Blog	No precisa	Explicó que los sellos mecánicos tienen ventajas como la inexistencia de fugas, evita el desgaste del eje y la disminuye la pérdida de potencia.
FORUM., 2018	Artículo de revista	Descriptiva	Se enfocó en mejorar el rendimiento de la bomba centrífuga para lodos mineros.



Figura 1. Cantidad de estudios científicos publicados por año.

En la figura 1, se clasificó los estudios científicos publicados por año, siendo el 2017 el año donde se produjo mayor información referente a este tema de estudio.



Figura 2. Cantidad de tipo de investigación de los estudios científicos.

En la figura 2, se clasificó la información científica encontrada por el tipo de investigación, se pudo observar que la mayoría de autores no precisa su tipo de investigación en sus estudios, pero la mayor cantidad de estudios que sí precisan son descriptivos.



Figura 3. Cantidad de tipo de documentos.

En la figura 3, se clasificó la información científica encontrada por el tipo de documento, se encontró mayormente tesis de pregrado que analizan fallas en sellos mecánicos para optimizar el sistema de bombeo.



Figura 4. Cantidad de tipo de documentos referentes al tema.

En la figura 4, se clasificó la información científica de acuerdo al tema abordado, la mayoría de los estudios científicos encontrados se enfocaron en las fallas de sellos mecánicos y en las fugas en las bombas de lodos.

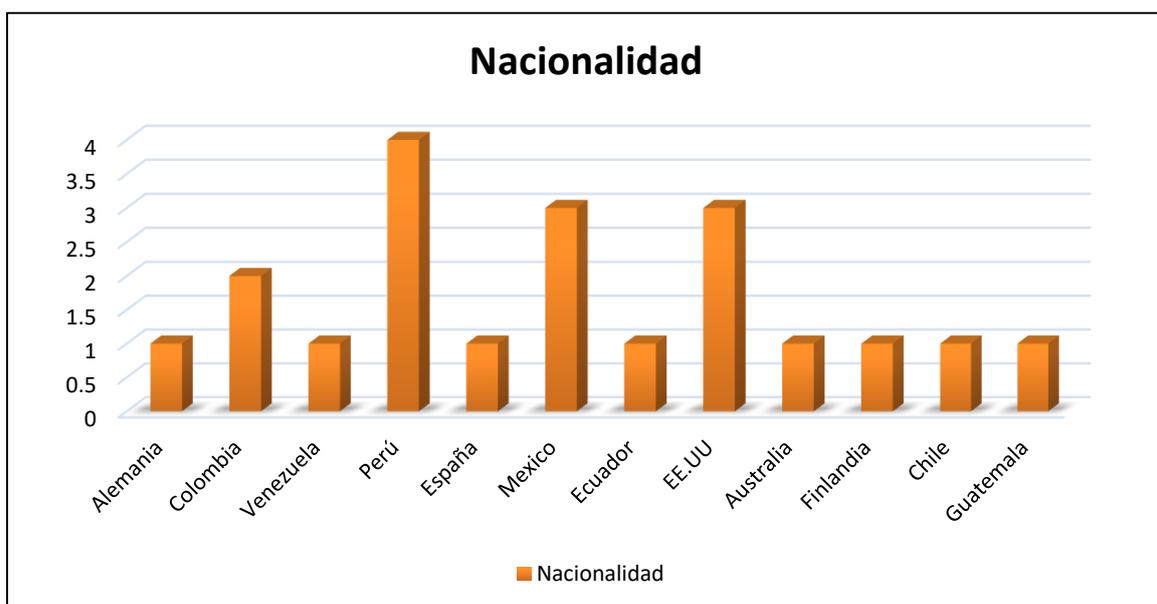


Figura 5. Nacionalidad de los documentos analizados.

En la figura 5, se clasificó la información científica de acuerdo al país donde se realizó el estudio, los estudios de Perú, México y Estados Unidos. Los países de Sudamérica generalmente, se interesaron más en este tema por la gran ocurrencia de minas.

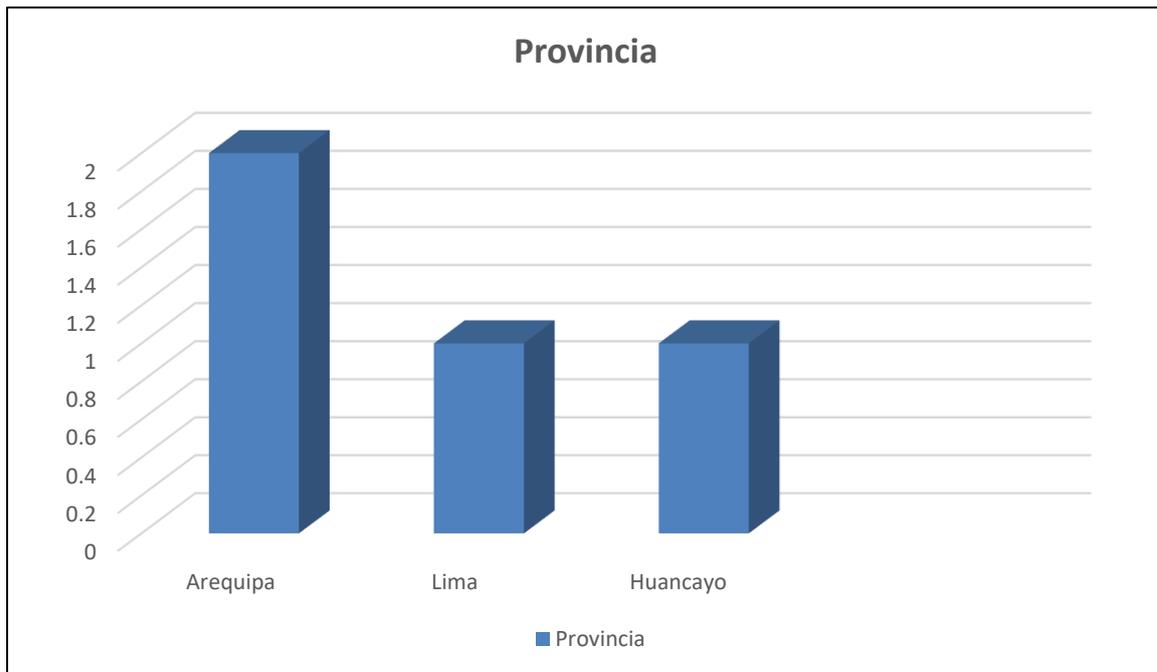


Figura 6. Provincia de los documentos analizados.

En la figura 6, se clasificó la información científica peruana de acuerdo a la provincia donde se realizó el estudio, en Arequipa se realizaron, luego se realizaron en Lima y Huancayo. En Cajamarca aún no se han realizado estudios acerca de sellos mecánicos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta revisión sistemática, Barboza (2013), Almosny (2014), Procace Ltda (2016) y Figueroa (2014), se ha logrado conocer, que las principales fallas que se presentan en los sellos mecánicos son la mala instalación de la bomba, el inadecuado diseño de los sellos, y la contaminación del líquido en el prensaestopas. Las fallas en los sellos mecánicos tienen como consecuencia paradas de planta, retrasos en operación y tiempos muertos, lo cual se refleja en gastos económicos altos para la empresa.

En cuanto a la confiabilidad Salazar (2016), dio a conocer que el uso de sellos mecánicos es mejor que el uso de prensaestopas, por el bajo consumo de agua en su refrigeración, esto implica que se van a ahorrar costos de la operación en el proceso.

Las empresas COEBSA (2017), DRAGFLOW (2017), Goulds Pumps (2015), Metso (2013), Pioneer Pump (2017), y Sealco (2013); presentan sus propuestas de mejoramiento de sellos según el fluido a bombear para incrementar la confiabilidad y el rendimiento del equipo.

Mediante el estudio que realizó Acosta (2015), se entendió que es mejor diseñar los sellos para evitar la ocurrencia de fallas y gastos en reparación.

Barboza (2013) y Muñoz (2016), concuerdan que las fallas de los sellos mecánicos se producen en gran parte por el mal alineamiento de estos y por su desgaste prematuro, lo cual genera sobre costos y retrasos en la producción.

Conclusiones

Las fallas en sellos mecánicos deben ser analizadas, ya que constantemente provocan pérdidas en los costos operativos de la empresa, pero si son analizadas con frecuencia, todo el sistema de bombeo será optimizado.

REFERENCIAS

- ABEL Pumps. (2017). Bombas Robustas para Minería. *Artículo de revista*. Büchen, Alemania: Pump Technology. Obtenido de <https://www.abelpumps.com/es/PDF/ABEL-Miningprospekt-ES.pdf?m=1510641>
- Acosta, J. (2015). Herramienta software para diseño de sellos mecánicos. (*Tesis de pregrado*). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7164/1.pdf>

- Almosny, D. (2014). Fallas en sellos mecánicos. (*Artículo de revista*). Caracas, Venezuela: Nardal. Obtenido de http://www.mardal.com.ve/ve/descargas/sellosm_fallas.pdf
- Barboza, A. (2013). Sistema de detección de fallas para una bomba centrífuga. (*Tesis de pregrado*). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/478.pdf>
- Barreto, C. (2017). Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - Unidad Minera Antapaccay. (*Tesis de pregrado*). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA.pdf
- Caperva. (2013). ¿Cómo seleccionar el sello mecánico correcto en aplicaciones de agitación y mezcla? (*Artículo de revista*). Barcelona, España: EKATO Ruhr. Obtenido de <http://caperva.com/mediablog/wp-content/uploads/C%C3%9.pdf>
- CHESTERTON. (2018). ¿Cuál es la Tecnología más Adecuada para Sellar Lodos en la Industria Minera? *Blog web*. México: Global Solutions. Obtenido de <http://www.chesterton.com.mx/cual-es-la-tecnologia-mas-adecuada-para-sellar->
- COEBSA. (2017). Sellos Mecánicos. (*Catálogo de ventas*). DF, México: HANS. Obtenido de <http://www.coebsa.com/assets/sellos-hans.pdf>
- DRAGFLOW. (2017). Fundamentos de Bombas para Lodo. *Artículo de revista*. México: Ultimate Efficiency. Obtenido de <http://www.dragflowpumps.com/fundamentos>
- Figueroa, A. (2014). Implementación de sellos mecánicos para evitar fuga de fluidos industriales. (*Proyecto de tesis*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789.pdf>
- FORUM. (2018). Centrifugal Pumps. (*revista electrónica*). New York, EE.UU: Energy Technologics. Obtenido de <https://www.f-e-t.com/images/uploads/Centrifugal.pdf>
- GOULDS PUMPS. (2015). Guía de selección de bombas. *Catálogo*. New York, USA: ITT Corporation. Obtenido de <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary.pdf>
- Hickson, L., Morata, T., & Wong, L. (2017). The IJA System for Systematic Reviews: “The Whys and Hows”. (*artículo científico*). Queensland, Australia: The University of Queensland. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5506803>

- METSO. (2013). Sellos mecánicos para lodos: Sencillo, doble y baja dilución. *Brochure*. Helsinki, Finlandia: Metso Corporation. Obtenido de <http://valveproducts.metso.com/documents/pumps/Brochures.pdf>
- Muñoz, A. (2016). Optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, operada por carbonos San Fernando SAS, vereda paso nivel, Amaga-Antioquia. (*Tesis de pregrado*). Boyacá, Sugamuxi, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1613/1.pdf>
- Muñoz, F. (2017). Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipo crítico en área zona intermedia ENAP refinерías Aconcagua. (*Tesis de pregrado*). Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/39962/356090106.pdf>
- Pioneer Pump. (2017). Minería soluciones de bombeo. (*Brochure*). Oregón, EE.UU: Franklin Electric. Obtenido de <http://www.pioneerpump.com/media/220563.pdf>
- PROCASE LTDA. (2016). ¿Por qué Fallan los Sellos Mecánicos? (*Curso de capacitación*). Santiago, Chile: Borg Warner. Obtenido de <http://www.procace.cl/docs/200725.pdf>
- Rodríguez, Y. (2014). Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad San Cristóbal. (*Tesis de pregrado*). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3215.pdf>
- Salazar, O. (2016). Análisis y selección de un sistema de sellado para una bomba de impulsión de lodos basada en la metodología de análisis de costo de ciclo de vida. (*Tesis de pregrado*). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3245.pdf>
- SEALCO. (2013). Sellos mecánicos. *Catálogo de ventas*. Guatemala: ProIndesa. Obtenido de <http://www.proindesa.com/assets/catalogo-sellos-mecanicos.pdf>
- TECNOpeg. (2018). Tipos de sellos mecánicos. (*Blog*). DF, México: Gómez Sellados. Obtenido de <http://www.tecnopeg.com/sellos-mecanicos/>