

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS EN PLANTA DE BENEFICIO

Data de aceite: 03/06/2024

Isidro Amaro Rodríguez

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Durango, Departamento
de Ingeniería Industrial, Docente,
Durango, Durango
<https://orcid.org/0000-0001-7502-2894>

Aurora Gurrola Rodríguez

Universidad Juárez del Estado de
Durango, Escuela de Ciencias y
Tecnologías, Docente, Durango, Durango
<https://orcid.org/0009-0003-7985-3814>

Israel Iván Gutiérrez Muñoz

Universidad Tecnológica de Durango,
Departamento de Operaciones
Comerciales Internacionales y Logística
Internacional, Alumno, Durango, Durango
<https://orcid.org/0000-0002-8496-8849>

Alexa Suzette Rodríguez Navarro

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Durango, Departamento
de Ingeniería Industrial, Alumna, Durango,
Durango

económicas significativas por cada hora de inactividad. El mantenimiento desempeña un papel fundamental al garantizar el rendimiento óptimo y la integridad de los equipos. En una planta minera, donde el proceso de producción opera de manera interconectada, una avería en un área puede tener un efecto dominó en otras áreas. Por ello, el departamento de mantenimiento de la planta se encarga de prevenir tales situaciones. Actualmente, el enfoque del mantenimiento es principalmente correctivo, es decir, se interviene en un equipo solo cuando presenta una falla. Sin embargo, la empresa busca adoptar un enfoque más proactivo, centrándose en la prevención de paradas no planificadas. La implementación de un programa de mantenimiento preventivo en este proyecto tiene como objetivo evitar paros inesperados en la planta y garantizar la confiabilidad y durabilidad de los equipos. Este programa define la frecuencia y el tipo de mantenimiento que se llevará a cabo, así como las actividades específicas para cada intervención. Las gamas de mantenimiento, elaboradas en base a la información recopilada durante años y la experiencia del personal de mantenimiento, establecen una serie de acciones que van desde inspecciones visuales hasta intervenciones

RESUMEN: En la industria minera, el funcionamiento eficiente de los equipos es crucial, ya que estas operaciones son continuas las 24 horas del día, y cualquier paro debido a una avería resulta en pérdidas

más complejas en los equipos. Este enfoque preventivo busca maximizar la eficiencia operativa y minimizar el riesgo de fallas en la planta.

PALABRAS-CLAVE: Industria minera, mantenimiento preventivo, eficiencia operativa.

DEVELOPMENT OF PREVENTIVE MAINTENANCE STRATEGIES FOR EQUIPMENT IN BENEFICIATION PLANT

ABSTRACT: In the mining industry, the efficient operation of equipment is crucial, as these operations run continuously 24 hours a day, and any downtime due to a breakdown result in significant economic losses for each hour of inactivity. Maintenance plays a fundamental role in ensuring optimal performance and integrity of the equipment. In a mining plant, where the production process operates interconnectedly, a breakdown in one area can have a domino effect on other areas. Therefore, the plant maintenance department is responsible for preventing such situations. Currently, the maintenance approach is mainly corrective, meaning intervention occurs only when equipment fails. However, the company aims to adopt a more proactive approach, focusing on preventing unplanned shutdowns. The implementation of a preventive maintenance program in this project aims to prevent unexpected shutdowns in the plant and ensure the reliability and durability of the equipment. This program defines the frequency and type of maintenance to be carried out, as well as specific activities for each intervention. Maintenance schedules, developed based on information collected over the years and the experience of maintenance personnel, establish a series of actions ranging from visual inspections to more complex interventions in the equipment. This preventive approach aims to maximize operational efficiency and minimize the risk of failures in the plant.

KEYWORDS: Mining industry, Preventive maintenance, Operational efficiency.

INTRODUCCIÓN

La mina Refinadora, en su constante búsqueda de mejora continua, está enfocada en optimizar sus prácticas de mantenimiento. Con este fin, se ha decidido llevar a cabo un proyecto para desarrollar gamas de mantenimiento preventivo y un programa anual de mantenimiento preventivo. Este proyecto tiene como objetivo primordial sustituir el enfoque predominante de mantenimiento correctivo por uno más proactivo y preventivo.

En un periodo de seis meses, se llevaron a cabo diversas actividades clave, incluyendo la revisión y corrección del listado de equipos, el desarrollo de gamas de mantenimiento y la creación del programa anual de mantenimiento. Estas acciones son fundamentales para garantizar un mantenimiento efectivo y eficiente de los equipos en la planta de beneficio.

La implementación de las gamas de mantenimiento y el programa anual preventivo conllevará numerosos beneficios para la empresa, tanto en términos económicos como en la confiabilidad de los equipos y la planificación de intervenciones. Se espera reducir significativamente los paros inesperados de la planta y minimizar el tiempo perdido debido a averías.

El mantenimiento efectivo no es magia, ni depende de tecnologías exóticas o instrumentos o sistemas costosos. En cambio, depende de realizar tareas simples y básicas que resultarán en sistemas de planta confiables. (Moblely, 2014)

El mantenimiento es restaurar, prevenir o evitar daños y dejarlos siempre a su estado operativo Park, C., Moon, D., Do, N., y Bae, S. (2016), esto quiere decir que se encarga de estabilizar y evitar pérdidas en la empresa causadas por fallos de las máquinas.

Es importante destacar que este proyecto se alinea con la implementación del software SAP, programada para iniciar en agosto de este año. El uso de SAP facilitará la programación de las actividades de mantenimiento preventivo y generará órdenes de trabajo para llevar a cabo las gamas de mantenimiento de acuerdo con lo planificado. Esta solución ofrecerá muchos beneficios, sobre todo ofrecer una ventaja competitiva sobre su competencia ya que a través los tableros SAP se podrán visualizar el comportamiento de sus operaciones y así proponer actividades de mejora para los servicios que ofrecen. Para Jara Muñoz (2015), el análisis e interpretación de los datos de empresas es muy importante para cualquier empresa que pretenda ser competitiva, optimizando para ello sus procesos y reaccionando rápidamente y de forma estratégica ante los cambios del mercado.

También el proyecto va alineado a la sustentabilidad, concepto, vinculado al de desarrollo sostenible, que según Chávez y Meller (2020), corresponde a la capacidad de satisfacer las necesidades de las personas de hoy, sin comprometer los recursos de las generaciones futuras, lo cual engloba tres pilares asociados a este concepto: crecimiento económico, protección ambiental y desarrollo social.

Con este proyecto se espera resolver la falta planificación del mantenimiento preventivo, al igual que la falta de recursos tanto humanos como materiales para poder realizar el mantenimiento de una manera eficaz, y de esta manera obtener como resultado menos paros de equipos de manera espontánea, por lo tanto, disminuir el mantenimiento correctivo y tratar que sea en su mayoría preventivo y planificado.

De igual forma se espera agilizar el procesamiento de las órdenes de trabajo para realizar el mantenimiento y poder incluir en estas el material necesario según el tipo de mantenimiento preventivo que se vaya a realizar, y un checklist de las actividades que se realizarán de manera concisa.

DESARROLLO

Las plantas de beneficio son complejos industriales que incluyen equipos de trituración y procesamiento de minerales metálicos, operados por empresas privadas. En estas instalaciones, los pequeños mineros pueden acceder al mineral atrapado dentro de las rocas extraídas por ellos mismos, a cambio de una tarifa. Según Gutiérrez Cortés (2019), son aquellas cuya finalidad es la de someter los recursos procedentes de yacimientos naturales o no naturales, o los productos resultantes de las operaciones anteriores,

al correspondiente tratamiento para la obtención o recuperación de los elementos o compuestos que sean útiles.

Uno de los aspectos más relevantes que cuidan las empresas es la calidad, en donde invierten recursos considerables para incrementar la confiabilidad de sus procesos, se sabe que el control de calidad siempre es un elemento importante para el proceso de fabricación y es considerado un requisito como tarea en la producción tanto en el inicio, el proceso de transformación y en la salida del producto He, Y., Gu, C., Chen, Z., Mobley y Han, X. (2017)

Para llevar a cabo todo un proceso de producción se necesita máquinas industriales, las cuales son diversas para cada industria, por lo tanto, estas son muy importantes para la calidad de la producción y para la efectividad de sus procesos, es por esto que nuestra preocupación empieza por las máquinas, las paradas inesperadas causadas por dichas equipos o máquinas afectan la capacidad de procesamiento del equipo He et al. (2017), esto tiende a disminuir la productividad, puede llegar a pérdidas significativas para la empresa tanto económicas y de prestigio, y es ahí donde entra el mantenimiento.

El mantenimiento industrial se ha utilizado en todos los sectores académicos e industriales dentro de un plan de mantenimiento, lo que permite fortalecer el entorno de trabajo para obtener resultados en la aplicación de este mismo, por ello es por lo que constantemente se buscan alternativas para la evaluación de éste como parte del desarrollo y éxito en los departamentos correspondientes. (González, Loyo y López, 2018)

Estas plantas, requieren de un proceso de mantenimiento minucioso y programado para que se logren la eficiencia en su producción. Según García (2003), el mantenimiento se define como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y el máximo rendimiento. Para lograr una buena gestión del mantenimiento, es esencial definir las políticas de trabajo, los objetivos y evaluar el cumplimiento. Esta gestión establece una estrecha relación entre el departamento de operación y mantenimiento, así como con otros departamentos como compras, calidad y administración, ya que la comunicación activa y el apoyo mutuo son fundamentales para el buen funcionamiento de la organización en todas sus áreas. Existen distintitos tipos de mantenimiento, dentro de los cuales destacan 5 de ellos al ser los más utilizados: correctivo, preventivo, predictivo, hard time o cero horas y en uso.

Según Mora (2009), la gestión de mantenimiento contribuye para alcanzar la producción total mediante la dotación de capacidades y la fiabilidad del equipo, esta se plasma al maximizar la disponibilidad de los equipos. La gestión de mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas es en la gestión que realiza mantenimiento con los demás departamentos enmarcado en los objetivos de la empresa y el segundo nivel en la gestión integral e interna, propia del departamento.

Dentro de este sistema de gestión de la información se encuentran las órdenes de trabajo, las cuales son un documento en donde el departamento de mantenimiento informa al técnico de mantenimiento sobre la tarea que tiene que realizar. En estas órdenes se recoge la información relevante de cada intervención de equipo. Las órdenes de trabajo preventivas o gamas de mantenimiento, son diferentes a las órdenes de trabajo cotidianas, en las gamas se conoce con precisión el trabajo que va a realizarse ya que es una orden que se planifica con información previa de otras intervenciones.

La Planta Beneficio de la Refinadora realiza un proceso de lixiviación (el cual es un proceso químico en el cual el mineral se mezcla con una solución que actúa como solvente, en este caso se usa una solución de cianuro de sodio) para la extracción del mineral. En el cual intervienen 9 etapas, donde existe un listado de equipos críticos en el cual se incluyen los equipos principales y después sus componentes necesarios para ese equipo principal, es decir se tiene el equipo padre y sus equipos hijos. Dentro de este listado de equipos se agrega la criticidad del equipo y componente, para saber la prioridad que se le da y cómo puede afectar a todo el proceso si este llegara a fallar. En el listado también se le agrega a cada equipo un código o nombre con el que se identificara específicamente a cada uno de los equipos existentes, a este código se le denomina Tag.

A partir del listado de equipos se va revisando cuantos equipos se tienen, que tipo de mantenimiento necesita cada uno de ellos, la frecuencia con la que se va a realizar y las refacciones necesarias que va a necesitar.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La empresa actualmente se encuentra en un proceso de cambio, ya que hasta hace poco no se tenía una gestión del mantenimiento como tal, desde que empezó a implementarse se han hecho mejoras dentro de los programas de mantenimiento para poder mantener los equipos en buenas condiciones y de esta manera evitando paros repentinos en los programas. Lo que busca la gestión del mantenimiento es realizar más mantenimiento preventivo y tratar de eliminar el correctivo, ya que si se realiza de esta manera se evitan los fallos inesperados de los equipos y por lo tanto la producción no para.

Con el inicio de la gestión del mantenimiento se realizaron distintas mejoras en el proceso dentro de las cuales se pueden destacar los siguientes: la creación de un listado de equipos, la codificación de los equipos, la elaboración de programas de mantenimiento, la implementación de órdenes de trabajo, la elaboración de checklist de los equipos, la gestión de las paradas de planta, entre otros.

Con todos estos cambios la empresa se ha visto con la necesidad de implementar un ERP que ayude a que todo se realice de una manera más eficaz, a eliminar el retrabajo y a conectar todas las áreas para agilizar el proceso de la realización de los trabajos.

De esta manera se decide utilizar el software SAP el cual es uno de los ERP más usados en todas las industrias para la gestión de los procesos productivos, este software está conectado a distintas áreas de la empresa lo cual permite la agilización de las actividades.

Para la implementación del SAP en el área de mantenimiento es necesario tener toda la información importante de los equipos y revisar que sea la información correcta ya que a partir de eso será los resultados que arroje el programa. Es entonces que para llegar a la implementación del SAP es necesario pasar por un proceso exhaustivo de recopilación de información.

El área de mantenimiento actualmente cuenta con la mayoría de información necesaria para alimentar al programa, sin embargo, se busca revisar que todo esté en orden y que la información no tenga errores y de la misma manera agregar la información faltante.

RESULTADOS

Se realizan las gamas de mantenimiento, se entregan documentos de Excel para el listado de equipos, y el programa anual de mantenimiento preventivo.

Fue necesario conocer bien el proceso que se lleva a cabo en la empresa para poder conocer los equipos que participan en el proceso, es entonces en donde la revisión y corrección del listado tomó un papel importante, ya que el listado ayudó a conocer la ubicación del equipo, el tipo de equipo, que tan crítico es y que subcomponentes puede afectar.

Como resultado de la actualización y corrección del listado de equipos se obtiene un listado con alrededor de 780 equipos, los cuales incluyen en su mayoría sus datos técnicos, es decir, su modelo, número de serie, marca, entre otros datos, lo cual facilita la búsqueda de refacciones al tener toda la información en este documento.

Este listado de equipos se usó para subirse a la plataforma de SAP, los cuales se usan como datos maestros que forman parte de la información crítica para la implementación del SAP y del módulo de mantenimiento, este listado se dio de alta para saber cuáles son los activos fijos de la empresa y tener toda la información técnica acerca de ellos.

SAP Repr.estructura ubicación técnica: Lista de estructura			
Visualizar registro maestro de objetos Actualizar Marcar todo Desmarcar todo Leyenda colores... Desglosar nivel Ocultar nivel Nivel hacia arriba Detalles completos Referencia de utilización de			
Ubicación técnica: RPG-PLA		Válido de: 16.09.2023	
Descripción: GUANACEVI PLANTA			
<input type="checkbox"/>	RPG-PLA	GUANACEVI PLANTA	
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3000	MANTENIMIENTO PLANTA GENERAL 3043200100
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3100	PATIO MINERAL BASCULA CAMIONES 3043200200
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3200	TRITURACION PRIMARIA 3043200300
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3300	TRITURACION SECUNDARIA 3043200400
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3400	MOLIENDA 3043200500
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3500	LIXIVIACION 3043200600
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3600	TANQUES LAVADO CONTRA CORRIENTE 3043200600
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3700	PRECIPITACION 3043200700
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3800	FUNDICION 3043200800
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-3900	FILTROS DE JALES 3043200900
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4000	PRESA DE JALES 3043201200
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4001	PRESA DE JALES_BOMBAS DAÑADAS 3043201200
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4100	LABORATORIO METALURGICO 3043201300
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4200	LABORATORIO ENSAYES 3043201300
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4300	TALLER MECANICO 3043201400
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4400	TALLER ELECTRICO 3043201400
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4500	EDIFICIO PLANTA 3043201400
<input type="checkbox"/>	> <input type="checkbox"/>	RPG-PLA-4600	OFICINAS PLANTA 3043201400

Figura 1 Desglose de Ubicaciones Técnicas

Fuente: SAP (2023)

En la implementación del sistema se dieron de alta usuarios a todas las áreas de la planta, ya que con el módulo de mantenimiento los usuarios pueden informar de las averías que se presenten en el día a día. En la aplicación para la solicitud de mantenimiento es necesario indicar el equipo que presenta la falla en el apartado de objeto técnico y se desglosa todo el listado de equipos para poder seleccionar el equipo a intervenir.

Es entonces que la corrección y actualización del listado de equipos fue de suma importancia y utilidad para la empresa ya que hoy en día quedo lo más actualizado y completo a lo que se tiene y a lo que se planea agregar.

Como resultado de la elaboración de las gamas de mantenimiento se hizo un archivo de Excel en donde en cada pestaña se agrega una gama de mantenimiento y en la pestaña se agrega el Tag del equipo y el identificador del mantenimiento que se va a realizar.

Se realizó un archivo por área, ya que de cada área según la cantidad de equipos que contiene y dado que se agregan seis gamas por equipo si se hacía en un solo archivo quedaría demasiado pesado porque cada área tiene más de veinte equipos lo cual daría un aproximado de más de cien gamas en total en cada archivo, entonces se realizaron catorce archivos.

Finalmente se realizó el programa anual de mantenimiento preventivo nace a partir del resultado del listado de equipos y las gamas de mantenimiento, comenzando del listado de equipos se decide que equipos son más críticos para la planta y desde ese punto se seleccionan los equipos de cada área para agregarse al programa anual.

El programa consiste en un cronograma anual en el que se plasme la frecuencia del tipo de mantenimiento que se va a realizar a cada equipo para de esta forma tener calendarizado los días que se realizaran mantenimientos que necesitan más recursos y mano de obra, para poder planificarlo.

El programa anual se realizó conforme a un Kardex en el cual se tienen los datos de los cambios y modificaciones que se les han realizado a los equipos a lo largo del año, entonces se buscó el cambio más relevante ya sea de un mantenimiento anual o semestral y a partir de esos datos se hace un estimado de la duración del componente para que desde ese punto se implementen las gamas de mantenimiento y poder prevenir alguna falla inesperada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mina Refinadora ha estado en constante mejora desde el año 2022 y el área de mantenimiento en tanto mina como planta han sido una de las principales áreas en las que se ha enfocado la empresa de mejorar, se tuvo el apoyo para mejorar la gestión del mantenimiento con distintas herramientas de calidad. Al estar buscando esta mejora el departamento de mantenimiento se encontró con varias áreas de oportunidad y una de estas era la corrección y actualización del listado de equipos, la elaboración de gamas de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de la planta y una vez teniendo los anteriores realizar un programa anual de mantenimiento para la planificación de la intervención de los equipos.

La empresa se enfrentó a un gran cambio ya que se programa para el mes de agosto comenzar a usar un nuevo ERP el cual tiene un módulo de mantenimiento, este ERP es conocido como SAP. Desde el mes de junio se comenzó a pulir detalles en cuanto a la implementación del ERP y al estar checando la información que se iba a subir al SAP como datos maestros surgieron varios detalles principalmente con el listado de equipos. Esto hizo que la realización de las gamas de mantenimiento tuviera que pausarse para poder apoyar para la corrección del listado de equipos ya que quedaba muy poco tiempo restante para que ya comenzara a usarse el ERP y era de carácter urgente tener el listado de equipos con la información más actualizada posible.

Se realizó un levantamiento de datos técnicos de todos los equipos ya que este también era un requisito para subir los datos maestros del módulo de mantenimiento y esto fue una tarea laboriosa ya que por el desgaste de cianuro, el polvo y las condiciones ambientales las placas de los datos técnicos de los equipos en muchas ocasiones no estaban legibles.

Una vez actualizado el listado se subió toda la información a SAP y es el listado que se usa actualmente para la elaboración de órdenes de trabajo, ya que estas siempre tienen que estar dirigidas hacia el equipo específico que se va a realizar.

Al término de toda implementación de SAP se continúa con la elaboración de las gamas de mantenimiento, las cuales se realizan en base a los checklist que se tenían anteriormente y con el apoyo del equipo de programación y supervisores. Se realizaron algunos cambios en cuanto al formato de las gamas, se agregó un apartado para poner el Tag de los equipos.

Al concluir la elaboración de las gamas se procede a realizar el programa anual de mantenimiento el cual consiste en realizar un cronograma de los mantenimientos correspondientes a cada equipo. Para la elaboración de este programa se tomó como apoyo un kardex en el cual día a día se agrega información de los equipos que son intervenidos y dado que no se tienen mantenimientos programados como las gamas se tomó como referencia los cambios de partes más relevantes que vienen en las gamas, es decir el cambio de algún componente que aparezca en las gamas semestrales o anuales y a partir de ahí basarse para la programación de las otras frecuencias de mantenimiento. Se realizó esto con cada una de las áreas del proceso de la planta y sus respectivos equipos.

De igual manera, se hace la recomendación de seguir trabajando en las gamas de mantenimiento para agregarle las refacciones y materiales que se van a utilizar en cada tipo de mantenimiento, esto con la finalidad de poder tener un aproximado de los costos que conlleva cada mantenimiento que se realiza y de esta manera poder tener un presupuesto definido para el mantenimiento preventivo. Otro beneficio de tener los materiales definidos es que los materiales que usen ya estén listos a la hora de realizar el mantenimiento, ya que este es un punto de mejora en el departamento porque la gran mayoría de demoras en los trabajos son causados por la espera de los materiales con el que los colaboradores van a trabajar. Saber los materiales que se usará en cada mantenimiento ayudará para la planificación y programación de mantenimiento ya que se tendrá conocimiento de cuando toca el próximo mantenimiento y de esta forma se sabrá para que fecha van a ser necesarios ciertos componentes de los equipos y poder tenerlos a tiempo en caso de no tener en stock.

Otra mejora para agregar en las gamas de mantenimiento es agregarles las horas necesarias para realizar el mantenimiento y de esta forma conocer cuanta mano de obra se tendrá disponible al realizar esta actividad.

Finalmente, una vez con el programa anual realizado este puede ser realizado para distintos motivos uno de ellos puede ser para sacar el costo anual a partir de las gamas como se mencionó en el punto anterior, y esto ayudaría a conocer el costo del mantenimiento de todo el año para actualizar el presupuesto para el área de mantenimiento.

Otro uso que se le puede dar es para conocer la cantidad de mano de obra necesaria para realizar el mantenimiento preventivo en todo el año y las horas de mano de obra que se le está dedicando al mantenimiento preventivo durante el año.

REFERENCIAS

Chávez, C. y Meller, Patricio (2020), "**La gran región minera: Chile y Perú**", Editorial Universidad de Talca, 2da edición (eBook), p. 143.

García, S. (2003). **Organización y gestión integral de mantenimiento**. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.

González Sosa, J. V., Loyo Quijada, J., López Ontiveros, M. Á., Pérez Montoya, P., & Cruz Hernández, A. (2018). **Mantenimiento Industrial en Máquinas Herramientas Por Medio De AMFE**. Revista Ingeniería Industrial, 17(3), 209–225. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.12>

Gutiérrez Cortés, S. (2019). **Seguimiento de restauración de áreas afectadas por explotación minera en la provincia de Valladolid**.

He, Y., Gu, C., Chen, Z., Mobley & Han, X. (2017). **Integrated predictive maintenance strategy for manufacturing systems by combining quality control and mission reliability analysis**. International Journal of Production Research, 55(19), 5841–5862. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1346843>

Jara Muñoz, C. (2015). **Implementación de tableros de control SAP BO para los indicadores de operación de la división minería y energía**. Universidad San Ignacio de Loyola.

Mobley, R. Keith. 2014. "**FUNDAMENTAL REQUIREMENTS OF PREVENTIVE MAINTENANCE**." Capítulo. 2.2 in Maintenance Engineering Handbook. 8th ed., edited by R. Keith Mobley. New York: McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071826617/chapter/chapter8>

Mora, A. (2009). **Mantenimiento, planeación, ejecución y control**. México: Alfaomega.

Park, C., Moon, D., Do, N., & Bae, S. (2016). **A predictive maintenance approach based on real-time internal parameter monitoring**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 85(1–4), 623–632.