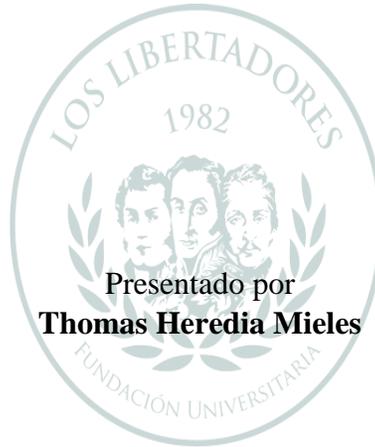

Análisis y pronóstico de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería usando el lenguaje R.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada Bogotá D.C, Colombia
2019

Análisis y pronóstico de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería usando el lenguaje R.



Presentado por
Thomas Heredia Miele

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título
de

Especialista en Estadística Aplicada

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Dirigida por
Sebastien Lozano
Profesor

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada Bogotá D.C, Colombia
2019

Notas de aceptación



Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

LOS LIBERTADORES

Firma del jurado

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Bogotá DC, Julio de 2019.

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de tesis a mi familia, quienes fueron las personas que me motivaron hacer mejor cada día; así mismo a las personas que desinteresadamente me apoyaron.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecimientos

Primero dar gracias a Dios por darme salud y fortaleza para poder culminar los estudios
A la empresa CHM Minería quien me brindo el apoyo necesario para poder realizar esta tesis.
A la fundación Universitaria los Libertadores por todo lo que me bridaron en mi formación profesional.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Contenido

Introducción	3
Planteamiento del Problema.....	6
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos.....	8
Justificación.....	9
Marco Teórico / Conceptual.....	11
La Administración de la Maquinaria.....	11
Mantenimiento	12
Mantenimiento preventivo:	12
El mantenimiento programado.....	13
El mantenimiento predictivo.....	13
El mantenimiento de oportunidad.....	14
Mantenimiento correctivo:	14
El mantenimiento correctivo contingente o no planificado.....	14
El mantenimiento correctivo programado o planificado.....	15
Series de Tiempo.....	15
Box – Jenkins:	16
Identificación.....	16
Estimación.....	17

Verificación de diagnóstico.....	17
Pronóstico.....	17
Suavización exponencial.....	17
Marco Metodológico	20
Método Investigación Experimental:	20
Análisis y Resultados	24
Análisis de la Disponibilidad	24
Recolección de la información histórica de las paradas preventivas y correctivas.....	24
Identificación de variables que afecta en la disponibilidad	25
Análisis de la disponibilidad utilizando R studio aplicando metodología Box Jenkins. .	26
Identificación del modelo.....	26
Estimación de los parámetros del modelo.....	31
Validación del modelo.	32
Pronóstico del Modelo.	36
Conclusiones y Recomendaciones	38
Conclusiones.	38
Recomendaciones.....	39
Bibliografía	41
Anexos.....	44

Índice de Graficas

Gráfica 1. Tipos de mantenimiento	12
Gráfica 2. Gráfico de la serie de tiempo de las disponibilidades de la flota EH4000.....	26
Gráfica 3. Autocorrelación parcial	27
<i>Gráfica 4. Autocorrelación</i>	<i>28</i>
Gráfica 5. Grafica de Normalidad de los datos	28
Gráfica 6. Diferencia de la serie disponibilidad EH4000 componente no estacional	29
Gráfica 7. ACF componente no estacional	30
<i>Gráfica 8. PACF componente no estacional.....</i>	<i>30</i>
Gráfica 9. Grafica de la serie real vs estimada.....	32
<i>Gráfica 10. Grafica autocorrelación residual.</i>	<i>32</i>
Gráfica 11. Grafica autocorrelación parcial residual	33
<i>Gráfica 12. Grafica de normalidad</i>	<i>33</i>
Gráfica 13. Grafica ajustada de la serie real vs estimada.....	34
Gráfica 14. Grafica ajustada autocorrelación residual	35
Gráfica 15. Grafica ajustada autocorrelación parcial residual	35
<i>Gráfica 16. Grafica ajustada de normalidad.....</i>	<i>35</i>
Gráfica 17. Pronóstico estimado de la serie de disponibilidad EH4000.....	36
Gráfica 18. Pronóstico de la serie de disponibilidad EH4000 in-sample / out simple.....	37
Gráfica 19. Diagrama de cajas por mes de la serie de disponibilidad de la flota EH4000	44

Índice de imágenes

Imagen 1. Metodología experimental vs metodología no experimental	20
Imagen 2. Etapa Modelo Box-Jenking.....	23
Imagen 3. Muestra base de datos de paradas preventivas (PM's).....	24
Imagen 4. Muestra base de datos de paradas fallas imprevistas (Eventos Down).....	24
Imagen 5. Muestra de tablero dinámico para búsqueda de datos histórico de disponibilidad .	25
Imagen 6. Tabla de disponibilidades por mes y año.	26
Imagen 7. Tabla del resumen de desempeño de los modelos tentativos	31
Imagen 8. Tabla datos pronóstico estimado.....	36
Imagen 9. Resumen de la serie.....	44
Imagen 10. Disponibilidades anuales.....	44

Análisis y Pronóstico de la Disponibilidad de la Flota EH4000 de los Camiones Hitachi de la Empresa CHM Minería usando el Lenguaje R

Resumen

La minería de carbón a cielo abierto en Colombia se caracteriza por la implementación de alta tecnología representada por maquinaria pesada para el movimiento de tierra y arranque, cargue y transporte de estéril y carbón. Estas máquinas tienden a deteriorarse ya sea por acción del tiempo o del uso, por lo que es fundamental que la organización cuente con un buen plan de mantenimiento para prolongar su vida útil y mantener una buena disponibilidad.

De lo anterior se puede decir que la misión del mantenimiento es garantizar la disponibilidad de la función de los equipos, de tal modo que permita atender un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado.

En la presente tesis se realizó un análisis de la serie de disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería en la mina calenturitas ubicada en La Loma Cesar – Colombia a partir de una base de datos correspondiente al periodo comprendido entre enero 2014 - diciembre del 2018, con la finalidad de realizar un pronóstico de los siguientes 6 meses.

En este trabajo se hizo uso de la metodología Box-Jenkins, para identificar un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA), que se ajusta al comportamiento de la serie de tiempo de disponibilidad de la flota EH4000, trabajo que se apoyará en el software R, el cual es un lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico.

Con la información recopilada se realizó el análisis de los datos por medio de gráficas de dispersión, análisis de correlación, análisis de varianza y metodología Box-Jenkins así logrando un modelo de pronóstico de la disponibilidad de flota EH4000 de los meses Enero a Julio del 2019.

Palabras clave: Mantenimiento, disponibilidad, series de tiempo, ARIMA, Box-Jenkins.

Introducción

La industria minera de carbón tiene como objetivo extraer el carbón del suelo el cual es valorado por ser una fuente energética, algunos de sus usos más importantes hoy en día corresponden a la generación de la electricidad, la producción de acero y la fabricación de cemento.

En Colombia se ha dividido en dos grandes clases: minería a cielo abierto y minería subterránea. Esta primera se ha caracterizado por la implementación de alta tecnología representada por maquinaria pesada para el movimiento de tierra y arranque, cargue y transporte de estéril y carbón.

Estas maquinarias tienden a deteriorarse ya sea por acción del tiempo o del uso, en este caso es fundamental que las empresas cuenten con un buen plan de mantenimiento para prolongar su vida útil y mantener una buena disponibilidad y poder prever las posibles fallas y un plan de reparación.

Adicionalmente a la pérdida de productividad debida a un mantenimiento no planificado, la mentalidad de reparar rápidamente promueve un mantenimiento temporal, que comúnmente desmejora la situación. Las reparaciones temporales requieren trabajo adicional para su corrección definitiva, o en el peor de los casos, fallan antes de ser corregidas. En esas organizaciones, la disponibilidad cae y se estabiliza al más bajo nivel.

Al verificar la definición actual de mantenimiento, se puede decir que la misión de este es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado. Son muchos los esfuerzos que se tienen que realizar hacia la consecución de los objetivos de mejorar o aumentar la disponibilidad de los

equipos y reducir la tasa de fallos, objetivos que se deben conseguir teniendo en cuenta el costo – beneficio del mantenimiento.

Según el portal web CHM minería S.A.S (s.f.), es una empresa dedicada a la comercialización de equipos, repuestos, servicios de mantenimiento y asistencia técnica especializada para la industria minera, portuaria y de construcción; Representa marcas de compañías de reconocido prestigio en el mercado objetivo y cumple fielmente con la promesa de valor para sus clientes, trabajadores, proveedores, comunidad y accionistas.

De tal manera es de vital importancia para CHM contar con herramientas estadísticas de análisis de datos que le permitan analizar la disponibilidad y realizar pronósticos.

De este modo, en la presente investigación se parte de la de la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es el pronóstico de la disponibilidad y cómo mejorar la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería en la mina calenturitas ubicada en La Loma Cesar - Colombia?, a partir de esto se establece el objetivo general de realizar un análisis de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería aplicando la metodología Box-Jenkins a partir de una base de datos correspondiente al periodo comprendido entre enero 2014 – diciembre del 2018 y a partir de esto realizar un pronóstico de los siguientes 6 meses, para dar cumplimiento a estos dos aspectos, se realiza una metodología mixta que pretende tomar partido de datos cuantitativos y cualitativos para poder de esta manera comprender en mayor medida el planteamiento ya mencionado.

En la primera parte del trabajo se establece el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y antecedentes históricos de la disponibilidad y mantenimiento de equipo minero. Luego se presenta el marco teórico que fundamenta el trabajo, donde se realiza la descripción del mantenimiento, la definición de los tipos de mantenimiento antes mencionados, se describe la

propuesta metodológica para resolver el problema y los objetivos, así como el diseño metodológico, la empresa cuenta con 18 camiones de la flota EH4000.

A partir de esto, se realizó la sistematización de los datos en el lenguaje de programación R studios, se realiza la estadística y análisis de los resultados obtenidos, se toma las síntesis de la metodología Box-Jenkin, la primera fase es la identificación, la segunda es la estimación, la tercera la verificación de diagnósticos y por último se realizará el pronóstico de la disponibilidad de los camiones de la flota EH4000.

Después se presentarán los resultados y la discusión de los mismos, los cuales se elaboraron a partir de las categorías propuestas, antecedido del análisis estadístico de los mismos.

Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones y los referentes bibliográficos, para terminar con los anexos.

Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas que motivó a realizar el presente trabajo de investigación es que los camiones EH4000 de la empresa CHM Minería están presentando baja disponibilidad, en algunos casos debido a que se están presentando paradas imprevistas, lo cual ha afectado considerablemente la disponibilidad de los mismos, esto puede deberse a que el proceso de mantenimiento y seguimiento no se esté haciendo de la forma correcta, estas paradas no permiten contar con los equipos operativos que en muchas ocasiones ha afectado el normal desarrollo en las actividades mineras para las cuales se les requería.

Así mismo la importancia del presente tema de investigación radica en considerar el proceso de mantenimiento como una actividad muy importante ya que incide directamente en la producción, por lo que el presente trabajo condujo a la mejora de las actividades del mantenimiento preventivo que contribuyó con la disminución del número de paradas imprevistas.

Otro inconveniente que tiene la empresa es que la planificación necesita unas previsiones de lo que va a ocurrir en el futuro y la precisión con las que éstas pueden ocurrir es una ventaja competitiva clara de primera magnitud sobre las decisiones a futuro para anticiparse a las situaciones del entorno. El modelo estadístico utilizado para hacer inferencias sobre el futuro, tiene que tener en cuenta el histórico, esto en sí se hace con las técnicas de análisis de series de tiempo.

Es importante resaltar, el uso de las distribuciones estadísticas, que permiten analizar los resultados y de esta manera sea factible construir y parametrizar los modelos de predicción. Por tanto, con las series de tiempo trataremos de hacer predicciones sobre esa magnitud, teniendo en cuenta sus características históricas y como ha ido fluctuando las series a lo largo del tiempo.

La disponibilidad que se viene llevando en la empresa es muy variable y en varias ocasiones se encuentra por debajo del 85% que la empresa tiene que asegurar a la compañía de acuerdo al contrato establecido. Con el presente análisis se busca lograr mejorar la disponibilidad y mantenerla en un porcentaje constante y aceptable para la producción.

En este sentido, la gran problemática que enfrentan las empresas, es la falta de modelos de previsión, que permitan dar solución de problemas técnicos-económicos en la gestión de maquinaria y una pobre identificación de las necesidades en la solución de problemas en su maquinaria y sus equipos, limitándose en muchos casos a la compra y recambio de partes para solucionar el paro de sus equipos en operación.

De lo anterior, se ve la necesidad de realizar un análisis estadístico en la cual se aplicará la metodología de los modelos Box-Jenkins, usando datos mensuales de una serie de tiempo de disponibilidades de la flota EH4000 de los camiones Hitachi en el periodo que abarca de enero 2014 a diciembre del 2018, para conocer el comportamiento de dichas disponibilidades y realizar pronósticos, utilizando como fuente de información los datos registrados en el sistema de gestión del mantenimiento SAP y analizando los eventos de falla.

Describiendo el problema, la pregunta a responder es la siguiente:

¿Cuál es el pronóstico de la disponibilidad y cómo mejorar la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería en la mina calenturitas ubicada en La Loma Cesar - Colombia?

Objetivos

Para avanzar en la resolución del problema, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Realizar un análisis de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería aplicando la metodología Box-Jenkins a partir de una base de datos correspondiente al periodo comprendido entre enero 2014 – diciembre del 2018 y a partir de esto realizar un pronóstico de los siguientes 6 meses.

Objetivos Específicos

Consolidar la información correspondiente a la disponibilidad de los camiones Hitachi EH4000 entre enero 2014 - diciembre del 2018.

Realizar un análisis descriptivo de la disponibilidad de la maquinaria pesada de la flota EH4000 entre enero 2014 - diciembre del 2018.

Aplicar la metodología Box-Jenkins para realizar un modelo de pronóstico de la disponibilidad de flota EH4000 de los próximos 6 meses.

Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar un análisis de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería de la mina Calenturitas ubicada en la Loma - Cesar a partir de una base de datos correspondiente al periodo comprendido entre enero 2014 y diciembre del 2018, esto se realizará con el fin de analizar y pronosticar la disponibilidad de dichos equipos.

Según Maldonado y Sigüenza (2012) el programa de mantenimiento es una herramienta clave que se le debe seguir estrictamente realizando todos los procedimientos y recomendaciones descritos para cada máquina, logrando así mantenerla operativa y aprovechando al máximo la vida útil de la misma. Así mismo, Galindo (2014) indica que las empresas esperan mantener la funcionalidad de los equipos al menor costo, al tiempo que entreguen un mayor rendimiento, una mayor disponibilidad, confiabilidad y las ganancias más altas que alarguen la vida útil de los mismos.

En la investigación realizada por García (2013) considera el proceso de mantenimiento como una actividad muy importante ya que incide directamente en la producción, por lo que conduce a la mejora de las actividades del manteniendo preventivo que contribuye con la disminución del número de paradas imprevistas.

De igual forma para Sierra (2004) el mantenimiento preventivo contribuye en aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, llevando a cabo un mantenimiento planeado, basado en las inspecciones programadas de los posibles puntos a fallas que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de los equipos. Además, se reducirán las reparaciones y costos por fallos de imprevistos (Sierra, 2004).

Para Bravo y Castro (2012) lleva a cabo un mantenimiento preventivo procura la continuidad de la productividad de la empresa, permitiendo una mejor rentabilidad del negocio, mayor disponibilidad de los equipos, alargamiento de la vida útil de la maquinaria, disminución del tiempo ocioso, disminución de los costos de mantenimiento correctivo, mayor satisfacción del cliente, y de manera general una mejora continua (Bravo y Castro, 2012).

Este análisis es de gran importancia para la empresa CHM Minería S.A.S, pues a través de este puede hacerse un análisis selectivo de los equipos cuyo comportamiento operacional este por debajo de la disponibilidad establecida, dar opciones de mejoras y crear planes de acción.

Marco Teórico / Conceptual

La Administración de la Maquinaria.

Duffuaa (2000), define la administración de maquinaria como "la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en operación, o se reestablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas". Dado que los procesos de mantenimiento de maquinaria y equipo, dependen de altos componentes técnicos dentro de los cuales las reflexiones no lineales son menospreciadas precisamente porque ha venido dominando el pensamiento lineal ya señalado, cuya pretensión es la aplicación de distintas metodologías para un mercado empresarial globalizado en el que los gerentes han de ocuparse de aplicar un saber probado y estandarizado en el que la creatividad y la innovación deberían ser objetivos estratégicos propuestos en los que normalmente no se tiene en cuenta la alta importancia del componente de conocimiento empírico (Duffuaa, 2000).

La investigación sobre temas relacionados en esta actividad debe ser considerada de alta incidencia competitiva en las empresas, sin embargo, es comúnmente realizada por técnicas cuantitativas, con el fin de entender la naturaleza y el comportamiento físico de los componentes que actúan sobre la eficacia y eficiencia de un grupo de máquinas que realizan una labor determinada (Hernández, 2014). Sin embargo, existen muchas variables que afectan a las personas, que repercuten directamente sobre todo el proceso particularmente en la gestión del conocimiento de la gerencia de maquinaria que sin embargo es necesario analizar y se precisa de técnicas de investigación que aborden la naturaleza subjetiva de dichos factores. Para abordar estas últimas variables se requieren técnicas de investigación cualitativas que aproximen a la teoría a dichos factores y permitan estimar su incidencia (Pérez, 1994)

Mantenimiento

El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Como es evidente, debido a la incapacidad para que los equipos e instalaciones se mantengan en buen funcionamiento por sí mismos, debe organizarse un grupo de personas para que se encargue de esto y se constituya así, una organización de mantenimiento. Botero (1991).

Gráfica 1. Tipos de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento preventivo:

El mantenimiento preventivo es aquel que se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), previamente establecido, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en instalaciones y equipo. Algunas acciones del mantenimiento preventivo son: ajustes, limpieza, análisis, lubricación, calibración, reparación, cambios de piezas, entre otros.

Este programa se fundamenta en el estudio de necesidades de servicio de un equipo, teniendo en cuenta cuáles de las actividades se harán con el equipo detenido y cuáles cuando está en marcha. Además, se estima el tiempo que se toma cada operación y la periodicidad con que se efectúa, con el fin de poder determinar así las horas-hombre que requiere una tarea de mantenimiento, al igual que las personas que se van a emplear en determinados momentos del año. Botero (1991)

El mantenimiento preventivo se divide en: mantenimiento programado, mantenimiento predictivo y mantenimiento de oportunidad.

El mantenimiento programado. Este es otro sistema de mantenimiento que se practica hoy en día y se basa en la suposición de que las piezas se desgastan siempre en la misma forma y en el mismo período de tiempo, así se esté trabajando bajo condiciones diferentes.

En este tipo de mantenimiento se lleva a cabo un estudio detallado de los equipos de la fábrica ya través de él se determina, con ayuda de datos estadísticos e información del fabricante, las partes que se deben cambiar, así como la periodicidad con que se deben hacer los cambios. Una vez hecho esto, se elabora un programa de trabajo que satisfaga las necesidades del equipo.

Aunque este sistema es superior al mantenimiento correctivo, presenta algunas fallas. La principal es el hecho de que, con el fin de prestar el servicio que ordena el programa a una determinada parte del equipo, sea necesario retirar o desarmar partes que están trabajando en forma perfecta. Botero (1991)

El mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos mediante equipos sofisticados a partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les puede permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o causan daños de cuantía. La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción. Botero (1991)

Las técnicas predictivas más habituales en instalaciones industriales son las siguientes:

Análisis de vibraciones, considerada por muchos como la técnica estrella dentro del mantenimiento predictivo.

- Termografías.
- Boroscopias.

- Análisis de aceites.
- Análisis de ultrasonidos.
- Análisis de humos de combustión.
- Control de espesores en equipos estáticos.

Existen otras técnicas predictivas de sencilla aplicación, que normalmente no se consideran como tales pero que de hecho lo son: inspecciones visuales y lecturas de indicadores.

El mantenimiento de oportunidad. Consiste en dar mantenimiento a las maquinas en momentos de paradas de las mismas o en horarios en los cuales no se esté haciendo uso de esta para así evitar tiempos muertos por mantenimiento repentino o por cambio de alguna pieza de maquinaria, además evitar el paro de producción. Mollocana (2017)

Mantenimiento correctivo:

Como su nombre lo indica. es un mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento.

En otras palabras, es el equipo quien determina las paradas. Su función primordial es poner en marcha el equipo lo más rápido y con el mínimo costo posible. Este mantenimiento es generalmente el único que se realiza en pequeñas empresas. Botero (1991)

El mantenimiento correctivo se caracteriza por el arreglo de la máquina o equipo por medio del cambio de la pieza dañada por otra logrando que el sistema vuelva a funcionar correctamente.

Tipos de mantenimiento correctivos

El mantenimiento correctivo contingente o no planificado. es aquel que se realiza de manera forzosa e imprevista, cuando ocurre un fallo, y que impone la necesidad de reparar el equipo antes de poder continuar haciendo uso de él. En este sentido, el mantenimiento correctivo

contingente implica que la reparación se lleve a cabo con la mayor rapidez para evitar daños materiales y humanos, así como pérdidas económicas. Significados.com (2015)

El mantenimiento correctivo programado o planificado. es aquel que tiene como objetivo anticiparse a los posibles fallos o desperfectos que pueda presentar un equipo de un momento a otro. En este sentido, trata de prever, con base en experiencias previas, los momentos en que un equipo debe ser sometido a un proceso de mantenimiento para identificar piezas gastadas o posibles averías. De allí que sea un tipo de mantenimiento que procede haciendo una revisión general que diagnostica el estado de la maquinaria.

Podríamos decir que el mantenimiento preventivo es la alternativa, o más bien la antítesis, del mantenimiento correctivo, que se basa en reparar cuando el daño ya se ha hecho. Con el mantenimiento preventivo se evitan los fallos antes de que ocurran. De esta manera, se termina la idea de parar toda una producción porque una máquina se ha averiado, con la consecuente pérdida de tiempo del empleado y de productividad de la máquina. Con un sistema de mantenimiento preventivo evitamos ese daño, esa pérdida de tiempo en la reparación, ya que la revisión o reparaciones oportunas se han realizado antes de que ocurran. Significados.com (2015)

Series de Tiempo

Por serie de tiempo nos referimos a datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en intervalos de tiempo regulares (diario, semanal, semestral, anual, entre otros). Un ejemplo son las observaciones anuales del PBI de un país, las ventas mensuales de una compañía, el Índice de Precios al Consumidor mensual, etc. Una serie también puede mostrar irregularidad esta irregularidad espaciada en el tiempo, por lo que los datos son de corte transversal. Álvarez (2016).

Componentes de una serie de tiempo: Supondremos que en una serie existen cuatro tipos básicos de variación, los cuales sobrepuestos o actuando en concierto, contribuyen a los cambios observados en un período de tiempo y dan a la serie su aspecto errático. Estos componentes son:

Tendencia (T): Es el movimiento de los datos hacia arriba o hacia abajo a lo largo del tiempo. También, ocurre que los datos se mantienen estables, esto significa que las ventas no aumentan ni disminuyen conforme pasa el tiempo.

Fluctuaciones cíclicas (C): Movimientos ascendentes y descendentes recurrentes respecto a la tendencia con una duración de varios años.

Variaciones estacionales (E): Movimientos ascendentes y descendentes respecto de la tendencia que se consuman dentro de un año y se repite anualmente.

Variaciones irregulares (I): Variación erráticas respecto de la tendencia que no pueden atribuirse a influencias cíclicas o estacionales.

Box – Jenkins: también técnicamente conocida como metodología ARIMA. Tiene como objetivo identificar y estimar un modelo estadístico que puede ser interpretado como generador de la información de la muestra. En este sentido, si el modelo estimado es usado para la predicción debe suponerse que las características de la serie son constantes en el tiempo, especialmente para los periodos futuros. Por lo tanto, la predicción se efectúa sobre una base válida considerando que el modelo es estacionario o estable. Lozano & Ballesteros (2018)

Síntesis de la Metodología Box – Jenkins

Identificación. Esta fase consiste en detectar el tipo de proceso estocástico que ha generado los datos. Esto significa encontrar los valores adecuados de p , d y q del modelo ARIMA. Las herramientas fundamentales en la identificación son el correlograma muestral y el correlograma parcial muestral

Utilizar:

ACF estimada

PACF estimada

Estimación. En esta etapa se estiman los coeficientes de los términos autorregresivos y de media móvil incluidos en el modelo, cuyo número de rezagos p y q ya han sido identificados en la etapa anterior

Usar:

Mínimos cuadrados ordinarios lineales

Mínimos cuadrados ordinarios no lineales.

Verificación de diagnóstico. En esta etapa se busca evaluar si el modelo estimado se ajusta a los datos en forma razonablemente buena, ya que es posible que exista otro modelo ARMA que también lo haga. A esta etapa también se le conoce como validación o comprobación de diagnóstico en la cual se efectúan algunas pruebas antes de hacer uso del modelo para la predicción.

Evaluar:

Los coeficientes (estacionariedad, invertibilidad y significancia estadística).

La bondad de ajuste (R^2 ajustado, AIC y SC). Los residuos (significancia conjunta y normalidad)

Pronóstico. Para pronósticar un periodo futuro a partir del modelo seleccionado; es decir aquel que es “el mejor” resultante de las etapas anteriores, es importante considerar si la variable original fue diferenciada. Indicar el periodo de predicción

Suavización exponencial. La suavización exponencial es un método que posee un mecanismo de autocorrección que tiene la capacidad de adaptar los pronósticos en forma

contraria a los errores del pasado. Se trata de promedios móviles ponderados de valores actuales y del pasado en donde las ponderaciones se disminuyen exponencialmente, por lo tanto, se puede utilizar para suavizar y al mismo tiempo para realizar diversos pronósticos. Suarez y tapia (2014).

Este método es considerado como una evolución del método de promedio móvil ponderado, donde se calcula el promedio de tiempo que tenga un mecanismo de autocorrección que se enfoca en el ajuste de pronósticos de forma contraria a las desviaciones anteriores a través de correcciones que pueden llegar a afectar el coeficiente de suavización. De esta forma, este modelo puede llegar a precisar los datos del pronóstico y la demanda del último período, además del coeficiente de suavización. Su impacto, busca la manera de eliminar los diversos elementos irregulares históricos por medio de los períodos de demanda actuales, logrando resultados óptimos.

TEST PARA PROBAR LA SIGNIFICANCIA DE LOS PARÁMETROS.

$$H_0: |\beta| = 0$$

$$H_1: |\beta| \neq 0$$

β = Coeficiente de regresión

Nivel de significancia $\alpha=0.05$

t_α = valor de rechazo

Si el valor t_α menor que t se acepta la hipótesis nula; por consiguiente se debe buscar otro modelo cuyo parámetro cumpla con la prueba.

Características de Suavización Exponencial:

Este método de suavización comprende las siguientes características:

Es una técnica que brinda confianza, ya que se puede aplicar en los datos de series de tiempos estacionales y de esta forma proporcionar una serie de datos suavizados para la presentación y también para realizar pronósticos.

Los datos de series de tiempo, son series de observaciones.

La observación, es un proceso que se realiza al azar de una manera ordenada.

La suavización exponencial, permite la asignación de pesos exponenciales decrecientes a través del tiempo.

Es un método que no debe usarse para pronosticar las ventas de productos estacionales, esto se debe a las ventas que muestran un patrón que el método de media móvil no tiene la capacidad de modelar.

Según la cuantificación, este método puede generar mayor peso a los datos recientes que a los menos recientes o inversos.

Es un método que asigna un solo valor que garantiza prevenciones en el futuro

Marco Metodológico

Método Investigación Experimental:

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.

En el siguiente cuadro podemos ver de manera sintetizada las diferencias entre la metodología experimental y la metodología no experimental:

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	METODOLOGÍA NO EXPERIMENTAL
Se provocan (manipulan) los efectos	Los efectos ya se han producido
Se modifica la variable independiente y observamos los cambios (efectos) en la variable dependiente	No se modifican, sólo se seleccionan y observan
Orientación hacia el futuro	Orientación hacia el pasado
Aleatorización de grupos	Grupos naturales ya formados

Imagen 1. Metodología experimental vs metodología no experimental

Podemos distinguir seis características que diferencian a la investigación experimental de otros tipos de investigación

Equivalencia estadística de sujetos en diversos grupos normalmente formados al azar: dicho de otra forma, los sujetos se reúnen en grupos equivalentes para que de esta forma las diferencias en los resultados de la investigación no sean provocadas por diferencias iniciales entre los grupos de sujetos. Normalmente estos grupos se forman mediante asignación al azar de los sujetos.

Comparación de dos o más grupos o conjuntos de condiciones: es necesario que haya un mínimo de dos grupos de sujetos para establecer comparaciones entre ellos, ya que un experimento no se puede llevar a cabo con un único grupo y una única condición experimental.

Manipulación directa de una variable independiente: como ya hemos dicho, un experimento consiste en manipular variables independientes para observar su efecto en las variables dependientes. Por ello, es una de las características más distintivas del enfoque experimental. La variable independiente se manipula en forma de diferentes valores o condiciones que el experimentador asigna. Dicha asignación por parte del investigador es importante que ocurra, pues de lo contrario, no puede considerarse un experimento real.

Medición de cada variable dependiente: deben poder asignarse valores numéricos a las variables dependientes. Si el resultado de la investigación no puede ser medido ni cuantificado de este modo, difícilmente hablaremos de una investigación experimental.

Uso de estadística inferencial: la estadística inferencial nos permite hacer generalizaciones a partir de las muestras de sujetos analizadas.

Diseño que permita un control máximo de variables extrañas: de esta manera nos aseguramos que este tipo de variables no influyen en la variable dependiente, o si influyen, lo hacen de un

modo homogéneo en todos los grupos. De este modo los resultados no son interferidos por las variables extrañas.

Referencia: <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>

Enfoque: Cuantitativo-Cualitativo.

Método Box-Jenkins: también técnicamente conocida como metodología ARIMA. Tiene como objetivo identificar y estimar un modelo estadístico que puede ser interpretado como generador de la información de la muestra. En este sentido, si el modelo estimado es usado para la predicción debe suponerse que las características de la serie son constantes en el tiempo, especialmente para los periodos futuros. Por lo tanto, la predicción se efectúa sobre una base válida considerando que el modelo es estacionario o estable.

Diseño metodológico:

Identificación: Esta fase consiste en detectar el tipo de proceso estocástico que ha generado los datos. Esto significa encontrar los valores adecuados de p , d y q del modelo ARIMA. Las herramientas fundamentales en la identificación son el correlograma muestral y el correlograma parcial muestral

Estimación: En esta etapa se estiman los coeficientes de los términos

autorregresivos y de media móvil incluidos en el modelo, cuyo número de rezagos p y q ya han sido identificados en la etapa anterior

Verificación de Diagnóstico: En esta etapa se busca evaluar si el modelo estimado se ajusta a los datos en forma razonablemente buena, ya que es posible que exista otro modelo ARMA que también lo haga. A esta etapa también se le conoce como validación o comprobación de

diagnóstico en la cual se efectúan algunas pruebas antes de hacer uso del modelo para la predicción.

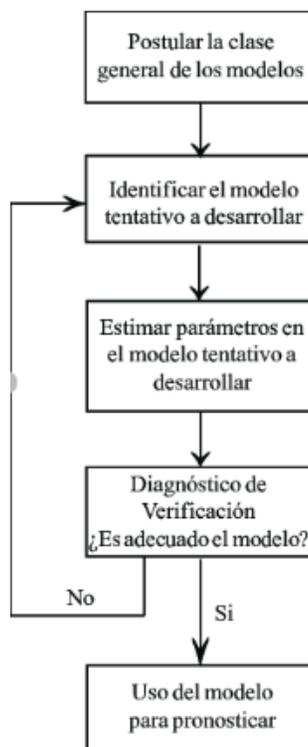
Evaluar:

Los coeficientes (estacionariedad, invertibilidad y significancia estadística)

La bondad de ajuste (R^2 ajustado, AIC y SC). Los residuos (significancia conjunta y normalidad)

Pronóstico: Para pronosticar un periodo futuro a partir del modelo seleccionado; es decir aquel que es “el mejor” resultante de las etapas anteriores, es importante considerar si la variable original fue diferenciada. Indicar el periodo de predicción

Imagen 2. Etapa Modelo Box-Jenking



Fuente: Reinaldo Pire

Análisis y Resultados

Análisis de la Disponibilidad

En este capítulo se realiza la recolección de la información que tiene que ver con la disponibilidad de la flota EH4000, con esto se realizará el análisis estadístico y pronóstico del mismo.

Recolección de la información histórica de las paradas preventivas y correctivas

La empresa cuenta con un sistema de información llamado SAP logon 730 a través de este software la empresa gestiona toda la información de los recursos de almacén e inventario, área financiera y el área de Mantenimiento. De esta base de dato se descargó la información de los equipos de la flota EH4000, como las paradas preventivas (PM's), paradas correctivas (Eventos Down), horas de uso del equipo, información de componentes y disponibilidad.

Para este análisis se seleccionó la información histórica de los últimos 5 años, la información obtenida es la siguiente:

Imagen 3. Muestra base de datos de paradas preventivas (PM's)

Turno	Emplazamiento	Ubicación técnica	Aviso	Descripción	Factor cantidad	Código parte objeto	Texto código parte objeto	SYSTEM	Texto de acción	Fecha inicio	Hora inicio	Fecha fin	Hora fin	Duración	Codificación
1/12/2018	PCA-EH3500	DT400	300243666	Plan Hitto Estrategia PH1000 DT-400	2	S409	Nose cone	REAR AXLE	INSTALACION BUJE EN ALOJAMIENTO HOSECON	1/12/2018	6:00:00 a. m.	1/12/2018	6:30:00 p. m.	12,50	0005
1/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	PA03	Pin 500	PH-INSPECTIONS	EJECUCION PALTAS DE PH	1/12/2018	6:00:00 a. m.	2/12/2018	6:00:00 a. m.	24,00	0005
1/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	1	PA05	PH 1000	PH-INSPECTIONS-T	TRABLAO A S'ITIO	1/12/2018	10:53:00 a. m.	1/12/2018	11:08:00 a. m.	0,25	0005
1/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	1	SL01	5_Ruedas Llantas Mandos_Llanta	TIRE	INSPECCION DE LLANTAS	1/12/2018	11:08:00 a. m.	1/12/2018	11:38:00 a. m.	0,50	0005
1/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	1	PA05	PH 1000	PH-INSPECTIONS-LV	LAVADO	1/12/2018	11:38:00 a. m.	1/12/2018	1:00:00 p. m.	1,37	0005
1/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	PA05	PH 1000	PH-INSPECTIONS	EJECUCION PALTAS DE PH	1/12/2018	1:00:00 p. m.	2/12/2018	4:08:00 a. m.	15,13	0005
1/12/2018	PCA-EH3500	DT400	300243666	Plan Hitto Estrategia PH1000 DT-400	2	AS05	Cilindros de susp traxera	SUSPENSIONS	DESMONTAJE SUSP TRAXERA LH/DIRRA PIN PESA	1/12/2018	6:30:00 p. m.	2/12/2018	1:00:00 a. m.	6,50	0005
1/12/2018	PCA-EH3500	DT400	300243666	Plan Hitto Estrategia PH1000 DT-400	2	RA13	Barra estabilizadora/Huoso perro	REAR AXLE	RELLENADO DEL LINH DEL HUOSO PERRO RH	2/12/2018	1:00:00 a. m.	2/12/2018	6:00:00 a. m.	5,00	0005
1/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	CA04	Linea de combustible	ENGINE	CAMBIO LINEA RETORNO DE COMBUSTIBLE	2/12/2018	4:08:00 a. m.	2/12/2018	6:00:00 a. m.	1,87	0005
1/12/2018	PCA-EH3500	DT400	300243666	Plan Hitto Estrategia PH1000 DT-400	2	RA13	Barra estabilizadora/Huoso perro	REAR AXLE	RELLENADO DEL LINH DEL HUOSO PERRO RH	2/12/2018	6:00:00 a. m.	3/12/2018	6:00:00 a. m.	24,00	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	CA04	Linea de combustible	ENGINE	CAMBIO LINEA RETORNO DE COMBUSTIBLE	2/12/2018	6:00:00 a. m.	2/12/2018	6:30:00 a. m.	0,50	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	PA03	Pin 500	PH-INSPECTIONS	EJECUCION PALTAS DE PH	2/12/2018	6:00:00 a. m.	2/12/2018	6:30:00 a. m.	0,50	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	AS03	Cilindros de susp frontal	SUSPENSIONS	CALIBRACION SUSPENSIONES FRONTALES	2/12/2018	6:30:00 a. m.	2/12/2018	10:00:00 a. m.	3,50	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	AS03	Cilindros de susp frontal	SUSPENSIONS	DIRRA POP GATO 250/PRIORIDAD DT451	2/12/2018	6:30:00 a. m.	2/12/2018	10:00:00 a. m.	3,50	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	FR01	Caliper	BRAKE	CAMBIO CALIPER PARQUEO LH	2/12/2018	10:00:00 a. m.	2/12/2018	11:00:00 a. m.	1,00	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	AS03	Cilindros de susp frontal	SUSPENSIONS	CALIBRACION SUSPENSIONES FRONTALES	2/12/2018	10:00:00 a. m.	2/12/2018	12:44:00 a. m.	2,73	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	JC49	Multiple escape	ENGINE	CAMBIO DE DUCTO DE ESCAPE	2/12/2018	11:00:00 a. m.	2/12/2018	12:58:00 p. m.	1,97	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	1	FR03	Pastillas	BRAKE-T	TRABLAO RECOVERY	2/12/2018	12:44:00 p. m.	2/12/2018	1:00:00 p. m.	0,27	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT451	300243534	Plan Hitto Estrategia PH 1000 DT-451	2	PA05	PH 1000	PH-INSPECTIONS	INSPECCION FINAL	2/12/2018	12:58:00 p. m.	2/12/2018	11:50:00 p. m.	0,87	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	FR03	Pastillas	BRAKE	CAMBIO DE PAD FRENO FRONTALES	2/12/2018	1:00:00 p. m.	2/12/2018	4:57:00 p. m.	3,12	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300243710	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-458	1	PA03	Pin 500	PH-INSPECTIONS-T	TRABLAO A TALLER	2/12/2018	3:09:00 p. m.	2/12/2018	3:24:00 p. m.	0,25	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300243710	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-458	1	SL01	5_Ruedas Llantas Mandos_Llanta	TIRE	INSPECCION DE LLANTAS	2/12/2018	3:24:00 p. m.	2/12/2018	3:45:00 p. m.	0,35	0005
2/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300243710	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-458	1	PA03	Pin 500	PH-INSPECTIONS-LV	LAVADO	2/12/2018	3:45:00 p. m.	2/12/2018	5:00:00 p. m.	1,25	0005
2/12/2018	PCA-EH3535	DT463	300243693	Plan Hitto Estrategia PH500 DT-463	2	FR03	Pastillas	BRAKE	DIRRA FALTRIE/DESRESERJIZACION LLANTA 1-2	2/12/2018	4:07:00 p. m.	2/12/2018	5:24:00 p. m.	1,28	0005

Imagen 4. Muestra base de datos de paradas fallas imprevistas (Eventos Down)

Turno	Emplazamiento	Ubicación técnica	Aviso	Descripción	Factor cantidad	Código parte objeto	Texto código parte objeto	SYSTEM	Texto de acción	Fecha inicio	Hora inicio	Fecha fin	Hora fin	Duración	Codificación
1/12/2018	PCA-EH3500	DT389	300251644	CADENA EJECTORA LH PARTIDA	1	TL18	Ejector de roca	ROCK EJECTOR-LV	LAVADO	1/12/2018	6:00:00 a. m.	1/12/2018	6:30:00 a. m.	0,50	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT402	300251640	LLANTA No.4 PINCHADA	1	SL01	5_Ruedas Llantas Mandos_Llanta	TIRE	CAMBIO DE LLANTA N°4	1/12/2018	6:00:00 a. m.	1/12/2018	11:55:00 p. m.	17,93	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT389	300251644	CADENA EJECTORA LH PARTIDA	1	TL18	Ejector de roca	ROCK EJECTOR	INSTALACION DE CADENA LH	1/12/2018	6:30:00 a. m.	1/12/2018	9:26:00 a. m.	2,93	0002
1/12/2018	PCA-EH4000	DT410	300251649	LLANTA N°2 PINCHADA	1	SL01	5_Ruedas Llantas Mandos_Llanta	TIRE	CORRECCION DE FUGA LLANTA N°2	1/12/2018	8:27:00 a. m.	2/12/2018	10:90:00 a. m.	16,70	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT389	300251652	ACCELERADOR AUTOMATICO NO FUNCIONA	2	AV03	Pedal Retardador	AC DRIVE	SE CAMBIA SWITCH DE RETARDO AUTOMATICO	1/12/2018	10:07:00 a. m.	1/12/2018	11:44:00 a. m.	1,12	0006
1/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300251654	MULTIPLES ALARMAS	2	EN13	Arnes Cabina Interior	ELECTRICAL	EVALUACION	1/12/2018	10:54:00 a. m.	1/12/2018	11:42:00 a. m.	0,80	0006
1/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300251654	MULTIPLES ALARMAS	2	EN13	Arnes Cabina Interior	ELECTRICAL	TRASLAO A CASA AZUL	1/12/2018	11:42:00 a. m.	1/12/2018	11:55:00 a. m.	0,22	0006
1/12/2018	PCA-EH4000	DT458	300251654	MULTIPLES ALARMAS	2	EN13	Arnes Cabina Interior	ELECTRICAL	INTTO A CONECTORES 70 PINES DE CABINA	1/12/2018	11:55:00 a. m.	1/12/2018	2:08:00 p. m.	2,22	0006
1/12/2018	PCA-EH3500	DT387	300251656	PRESION BALSA DE DIRECCION	2	SD40	Conector Solenoid Bomba Dirección	HYDRAULIC	EVALUACION	1/12/2018	11:00:00 p. m.	1/12/2018	1:42:00 p. m.	0,40	0006
1/12/2018	PCA-EH3500	DT387	300251656	PRESION BALSA DE DIRECCION	2	SD40	Conector Solenoid Bomba Dirección	HYDRAULIC	DESCARGUE DE VIAJE	1/12/2018	1:42:00 p. m.	1/12/2018	2:04:00 p. m.	0,37	0006
1/12/2018	PCA-EH3500	DT387	300251656	PRESION BALSA DE DIRECCION	2	SD40	Conector Solenoid Bomba Dirección	HYDRAULIC	C-PINES CONECTOR REGULADOR DE B/B DIRECC	1/12/2018	2:04:00 p. m.	1/12/2018	2:37:00 p. m.	0,38	0006
1/12/2018	PCA-EH4000	DT405	300259413	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	3:42:00 p. m.	1/12/2018	4:47:00 p. m.	1,08	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT388	300259382	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	4:33:00 p. m.	1/12/2018	5:41:00 p. m.	1,13	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT386	300259158	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	7:13:00 p. m.	1/12/2018	9:28:00 p. m.	2,25	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT399	300259402	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	8:10:00 p. m.	1/12/2018	9:42:00 p. m.	1,53	0002
1/12/2018	PCA-EH3535	DT461	300259327	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	8:48:00 p. m.	1/12/2018	10:27:00 p. m.	1,65	0002
1/12/2018	PCA-EH3500	DT390	300251683	PUERTA AUXILIAR NO CIERRA/CINTA VIDRIOS	2	MC09	Puertas	CAB	AJUSTA RECIPIOR DE LA PUERTA RH/CAUCHOS	1/12/2018	9:12:00 p. m.	1/12/2018	9:55:00 p. m.	0,72	0006
1/12/2018	PCA-EH4000	DT455	300259291	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1	SO09	Tanque de grasa	LUBRICATION	COMPLETAR NIVEL DE GRASA	1/12/2018	10:03:00 p. m.	1/12/2018	11:19:00 p. m.	1,27	0002

Variables: Turno, emplazamiento, ubicación técnica, aviso, descripción, factor cantidad, código parte objeto, texto código parte objeto, sistema, texto de acción, fecha inicio, hora Inicio, fecha fin, hora fin, duración, codificación,.

Imagen 5. Muestra de tablero dinámico para búsqueda de datos histórico de disponibilidad



Variables: Mes, Flotas, Años, equipos.

Con toda la información mencionada extraída del sistema se procederá a construir una base de datos relacionando toda esta información con el fin de poder tener la disponibilidad histórica de los equipos entre fechas de paradas programadas incluyendo las fallas presentadas que representaron tiempo Down.

Identificación de variables que afecta en la disponibilidad

Aparte de la información histórica de los equipos fue necesario escuchar detalles del personal administrativo de la flota los cuales informan que existen otras variables que también influye en la disponibilidad de los equipos. Estas variables son rotación de personal, niveles de ausentismo, calidad de los trabajos, bajo stock de componentes, malos hábitos operativo de los operadores.

Análisis de la disponibilidad utilizando R studio aplicando metodología Box Jenkins.

La serie de tiempo a la cual se le realizara el análisis es de la disponibilidad de los Camiones Hitachi de la flota EH4000 de la empresa CHM minería ubicada en la Loma - Cesar, la información de estos datos son de los años de enero 2014 a diciembre 2018. Cabe aclarar que esta flota cuenta con 18 equipo.

Imagen 6. Tabla de disponibilidades por mes y año.

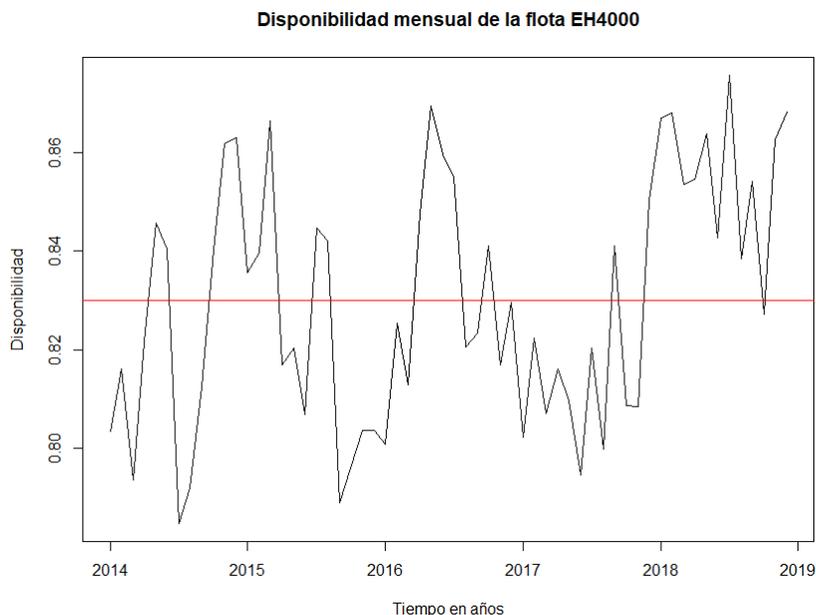
Mes/Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2014	0,8034	0,8161	0,7936	0,8216	0,8457	0,8404	0,7848	0,792	0,8124	0,8402	0,8618	0,8629
2015	0,8356	0,8396	0,8664	0,8169	0,8203	0,8069	0,8447	0,8421	0,7889	0,7959	0,8036	0,8036
2016	0,8008	0,8253	0,8129	0,8477	0,8694	0,8596	0,8551	0,8206	0,8233	0,841	0,8169	0,8295
2017	0,8022	0,8223	0,807	0,816	0,8096	0,7946	0,8203	0,7997	0,8411	0,8087	0,8084	0,8503
2018	0,867	0,8681	0,8536	0,8546	0,8638	0,8427	0,8756	0,8384	0,8542	0,8271	0,8626	0,8682

Fuente: Elaboración propia.

Ahora graficamos estos datos para ver su comportamiento a través de los años

Identificación del modelo.

Gráfica 2. Gráfico de la serie de tiempo de las disponibilidades de la flota EH4000



La serie parece no ser estacionaria no es estable a través del tiempo es decir la media y la varianza de la serie no son constante en el tiempo.

Pruebas de raíz unitaria

Se realiza el test de DICKEY-FULLER Y PHILLIPS-PERRON

Según la prueba de la hipótesis Dickey-Fuller muestra que la serie no es estacionaria

Estadístico de prueba = -2.5597, orden de rezagos = 3, p-valor = 0.3486

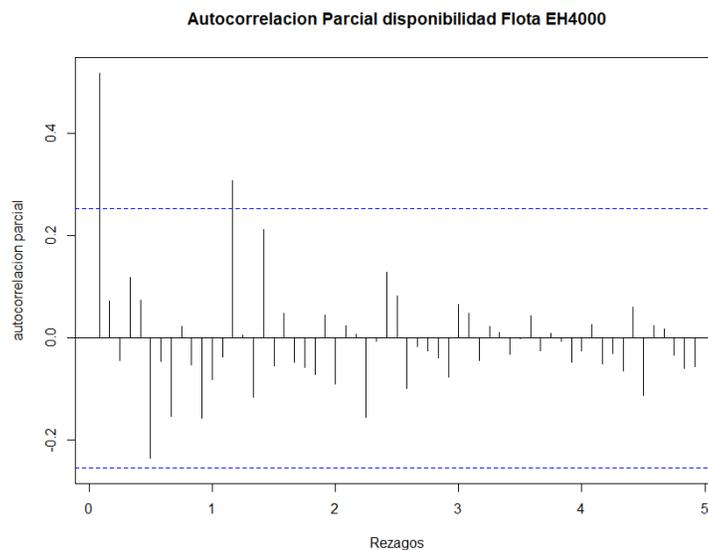
El p-valor es 0.3486 no tiene sentido suponer que estos datos son estacionarios, no son constante en media ni en varianza.

Se utiliza la prueba de la hipótesis Phillips-Perron la cual nos indica que la serie es estacionaria

Estadístico de prueba = -30.052, Parámetro de retardo de truncamiento = 3, p-valor = 0.01

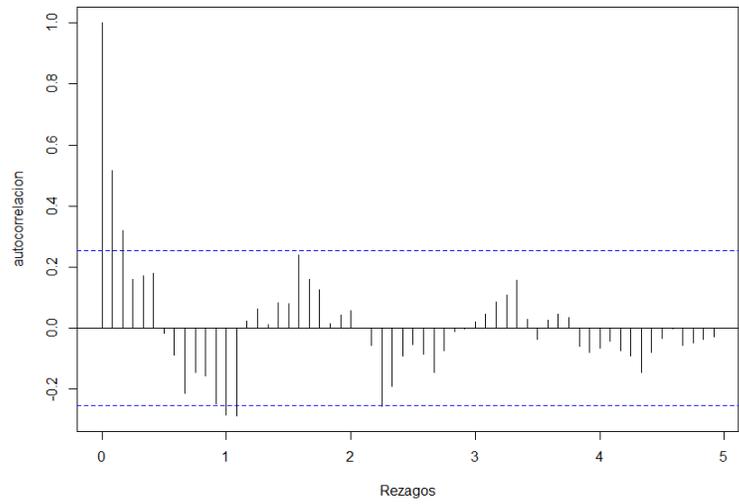
El p-valor es menor a 0.01 por lo cual se rechaza la hipótesis nula, indicando que la serie es estacionaria.

Gráfica 3. Autocorrelación parcial



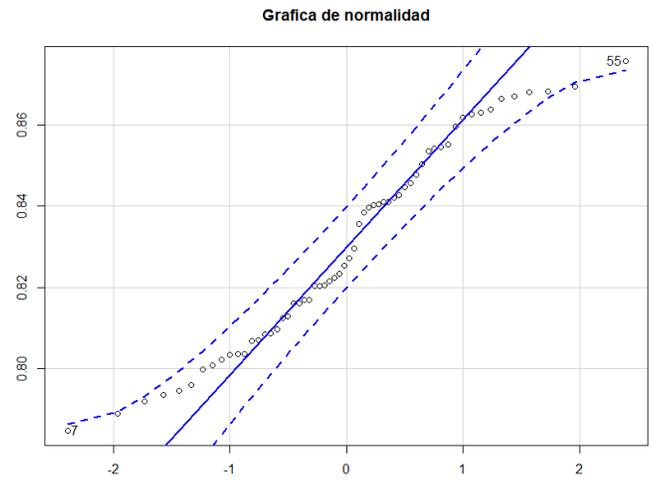
Gráfica 4. Autocorrelación

Autocorrelacion de disponibilidad Flota EH4000



En el autocorrerograma se observa picos en los rezagos 1, 2, 11, 12,13 y 27 de autocorrelación, no están dentro del intervalo de confianza, son significativos diferentes de cero al igual que en la gráfica de autocorelación parcial el rezago 1 y 14 son significativamente diferente de cero los demás se encuentran dentro del intervalo de confianza.

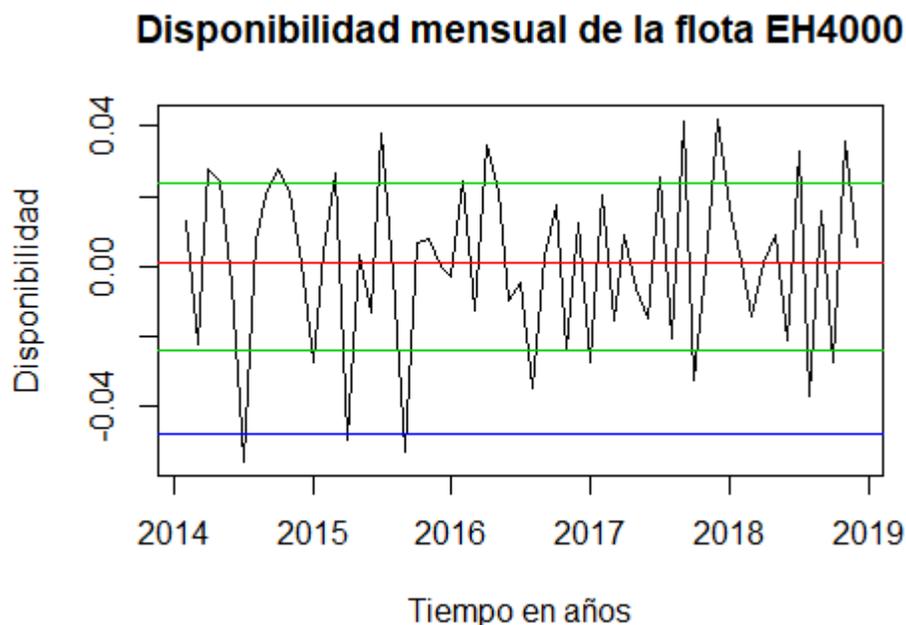
Gráfica 5. Grafica de Normalidad de los datos



Los datos parecen normales.

Se realiza la diferencia de los datos en el componente no estacional.

Gráfica 6. Diferencia de la serie disponibilidad EH4000 componente no estacional



Aparentemente los datos están centrados en 0, estos puntos son un poco normales, en este caso el orden de integración en el componente no estacionario de los datos es 1 parece que funciona, $d=1$.

Al parecer, visualmente tenemos un poco de evidencia para sugerir que los datos en este caso son estacionarios.

Se realiza el test de Dickey-Fuller para probar la estacionariedad de la serie:

Estadístico de prueba = -5.5559, orden de rezagos = 3, p-valor = 0.01

El p-valor es menor a 0.01 por lo cual se rechaza la hipótesis nula, indicando que la serie es estacionaria.

Se utiliza la prueba de la hipótesis Phillips-Perron la cual nos indica que la serie es estacionaria

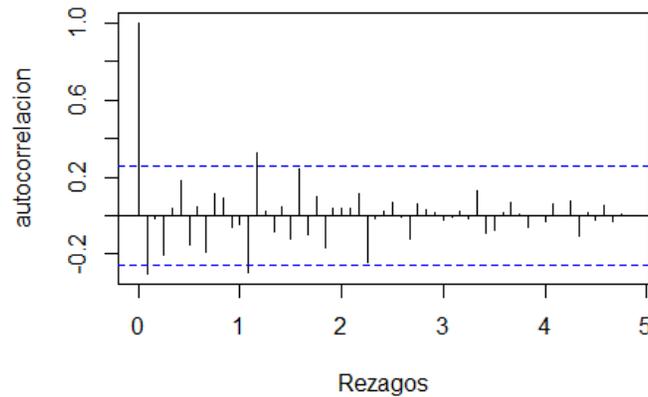
Estadístico de prueba = -65.954, Parámetro de retardo de truncamiento = 3, p-valor = 0.01

El p-valor es menor a 0.01 por lo cual se rechaza la hipótesis nula, indicando que la serie es estacionaria.

Grafiquemos la diferencia de la diferencia de nuestros datos ACF y PACF

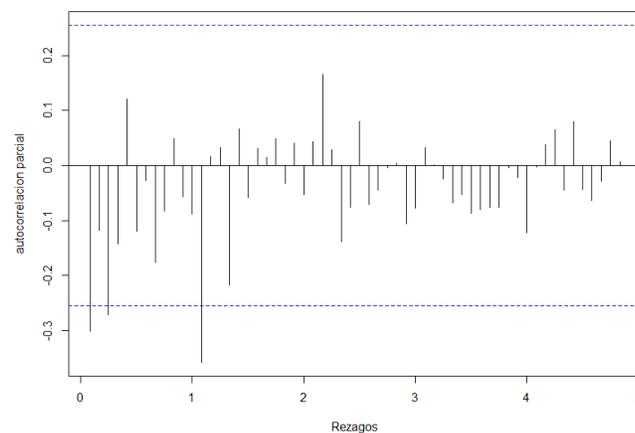
Gráfica 7. ACF componente no estacional

Autocorrelacion de disponibilidad Flota EH4000



Gráfica 8. PACF componente no estacional

Autocorrelacion Parcial disponibilidad Flota EH4000



Una vez confirmada, la estacionariedad en media y varianza de la serie, procedemos a identificar cuál es el modelo ARIMA que mejor se ajusta a la forma de la función de autocorrelación de esta serie. En base a los autocorrerogramas de la gráfica 7 y 8 se determinará el modelo que mejor ajuste tenga a la serie para poder realizar un correcto pronóstico.

Estimación de los parámetros del modelo.

Modelos tentativos

Como se puede observar la autocorrelación es significativa en el rezago 1, 13, 14 también se observa una correlación parcial en el rezago 1,3 y 13, Según esto podemos decir que los modelos tentativos son SARIMA(2,1,2)(1,0,1)[12], SARIMA(1,1,0)(1,0,0)[12], SARIMA(0,1,1)(0,0,1)[12], SARIMA(0,1,1)(0,0,0)[12], SARIMA(0,1,1)(1,0,1)[12], SARIMA(0,1,1)(1,0,0)[12], SARIMA(0,1,0)(1,0,0)[12], SARIMA(1,1,1)(1,0,0)[12], SARIMA(0,1,2)(1,0,0)[12], SARIMA(1,1,2)(1,0,0)[12]

Ajustamos estos modelos para ver cuál es el mejor.

Imagen 7. Tabla del resumen de desempeño de los modelos tentativos

Modelo	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	AIC	BIC
1	0.003423616	0.02062204	0.01760589	0.3568713	2,114216	0.9158414	-273.19	-258,651
2	0.001642926	0.02177619	0.0183138	0.1534608	2,207650	0.9526665	-276.07	-269,836
3	0.002094098	0.02141023	0.01803932	0.2012575	2,170626	0.9383879	-278.25	-272,018
4	0.001755155	0.02195008	0.01801392	0.1595864	2,167892	0.9370668	-277.97	-273,813
5	0.00204958	0.02119133	0.01789892	0.1979743	2,154460	0.9310845	-277.02	-268,711
6	0.002136289	0.02126779	0.01799456	0.2072261	2,165640	0.9360599	-278.76	-272,523
7	0.001134263	0.02351222	0.01904239	0.09540811	2,299070	0.9905667	-270.07	-265,913
8	0.003500986	0.02091435	0.01784994	0.3647442	2,143530	0.9285366	-278.57	-270,264
9	0.002407938	0.02120123	0.01781758	0.2372843	2,142189	0.9268535	-277.27	-268,961
10	0.00347448	0.02069201	0.01755315	0.36319	2,107990	0.9130983	-277.49	-267,105

Fuente: Elaboración propia.

Se escoge el modelo 4 como el mejor ya que su BIC es el más pequeño ARIMA (0,1,1)

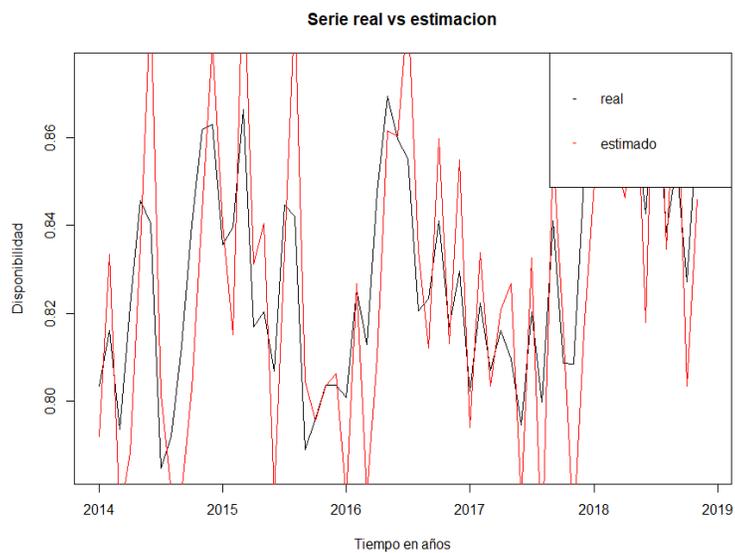
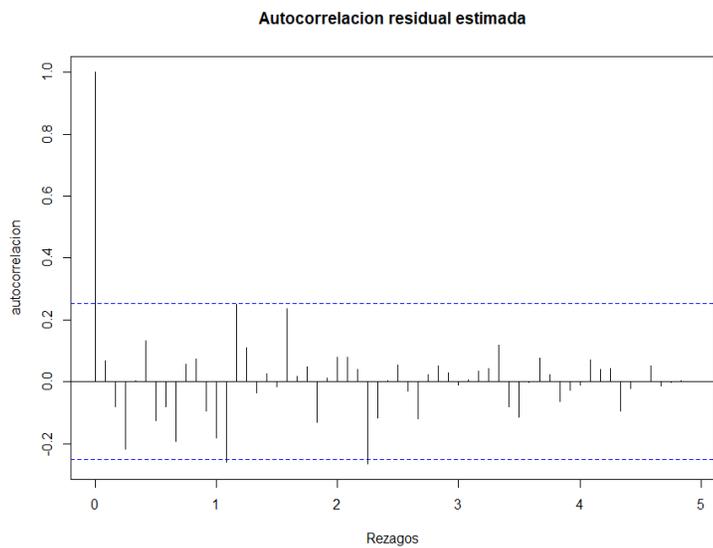
$$MA(1) = -0.4677$$

Se verifica significancia estadística del mejor modelo.

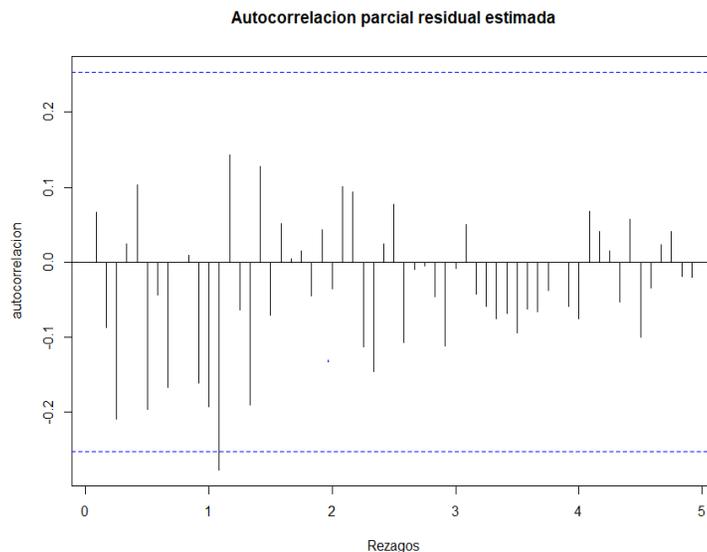
$$MA(1) = 3.0758$$

Se destaca la significancia estadística del modelo, ya que los valores son mayores a 1.96 quiere decir que tiene evidencia que el parámetro es importante para el modelo.

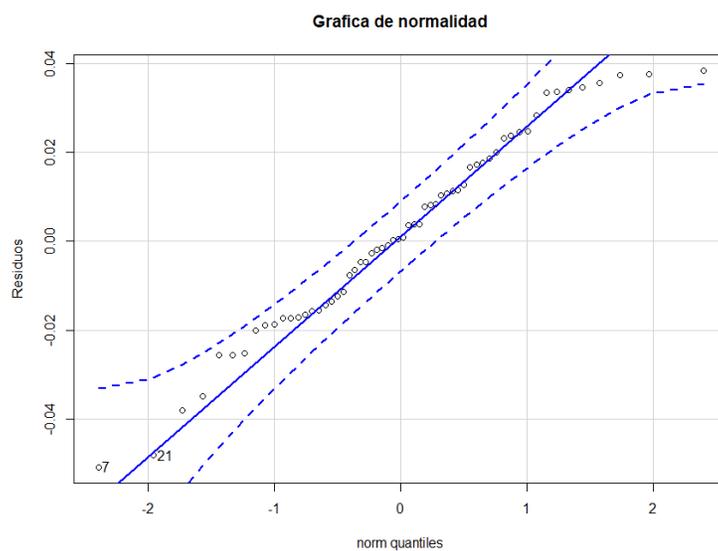
$$y_t = -0.4677\epsilon_{t-1} + \epsilon_t$$

Validación del modelo.**Gráfica 9.** Grafica de la serie real vs estimada**Gráfica 10.** Grafica autocorrelación residual.

Gráfica 11. Grafica autocorrelación parcial residual



Gráfica 12. Grafica de normalidad



La normalidad parece que está un poco asimétrico, los datos parecen normales. Como vemos grafica 10 tiene el rezago 13, 27 se salen parecen importante y el rezago 14 y 19 no se está saliendo, pero si se están marcado, en la gráfica 11 se puede notar la distribución de la función de autocorrelación parcial identificando el rezago 13 significativo.

Prueba de Box-Ljung

Para ver si los residuos son ruido blanco se realizó el siguiente análisis.

$X = 0.27946$, $df = 1$, $P\text{-valor} = 0.5971$

Se Concluye que es ruido blanco puesto que el p-valor es de 0.5971 por lo que se acepta la Hipótesis nula, este modelo es susceptible a mejoras.

Se ajusta un poco el modelo para tratar de eliminar estos rezagos significativos. Se considera incluir una observación 13 en el modelo.

ar13	ma1	ma3	ma12	ma13
-4.850902	-4.455557	-3.628466	-2.034205	3.997526

Parece ser un buen modelo ya que los valores son mayores a 1.96 quiere decir que tiene evidencia que el parámetro 3,12 y 13 es importante para el modelo.

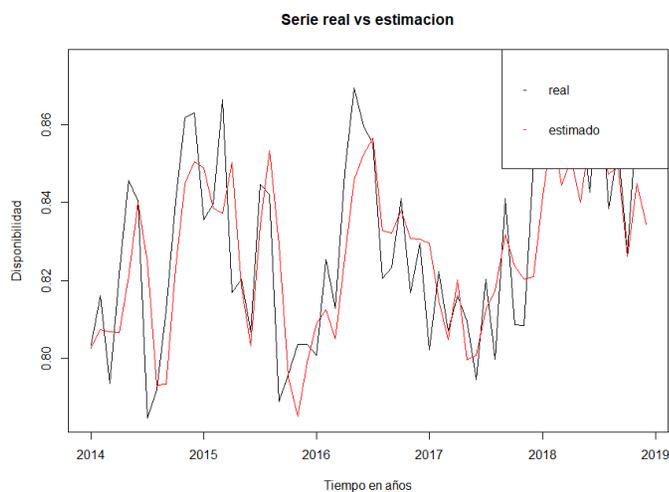
Resultado significativo el AR (13), MA (3), MA (12) y MA (13).

El modelo quedaría de la siguiente manera.

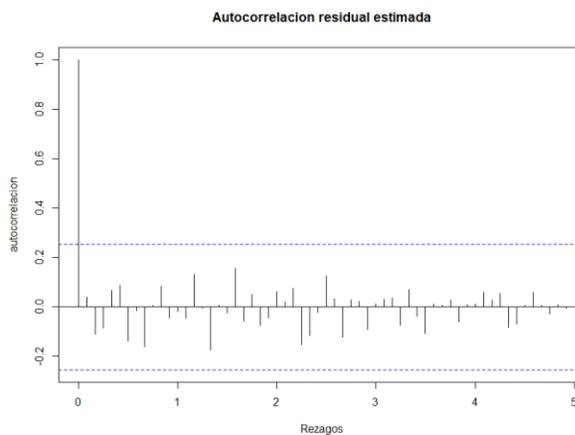
$$y_t = -0.6171y_{t-1} - 0.6659\varepsilon_{t-1} - 0.4313\varepsilon_{t-2} - 0.3000\varepsilon_{t-3} + 0.6096\varepsilon_{t-4} + \varepsilon_t$$

Se observa esto visualmente para ver qué ocurre.

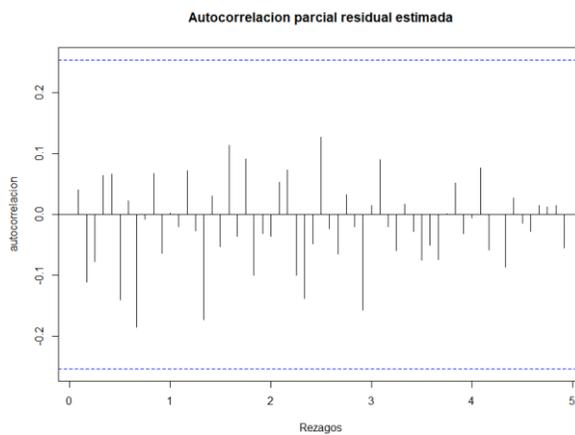
Gráfica 13. Grafica ajustada de la serie real vs estimada



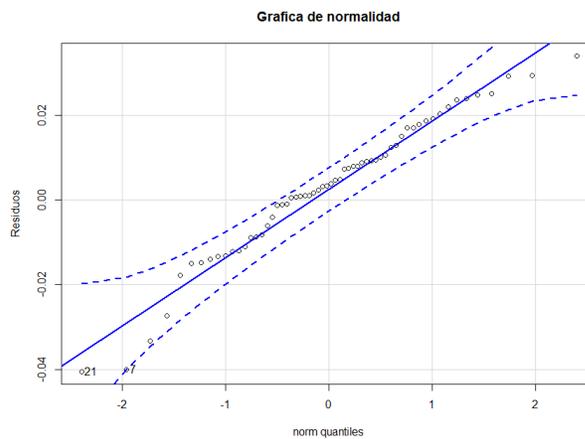
Gráfica 14. Grafica ajustada autocorrelación residual



Gráfica 15. Grafica ajustada autocorrelación parcial residual



Gráfica 16. Grafica ajustada de normalidad



Como se puede notar se logró eliminar el problema que se tenía en los rezagos quedaron completamente controlados.

Pronóstico del Modelo.

Imagen 8. Tabla datos pronóstico estimado

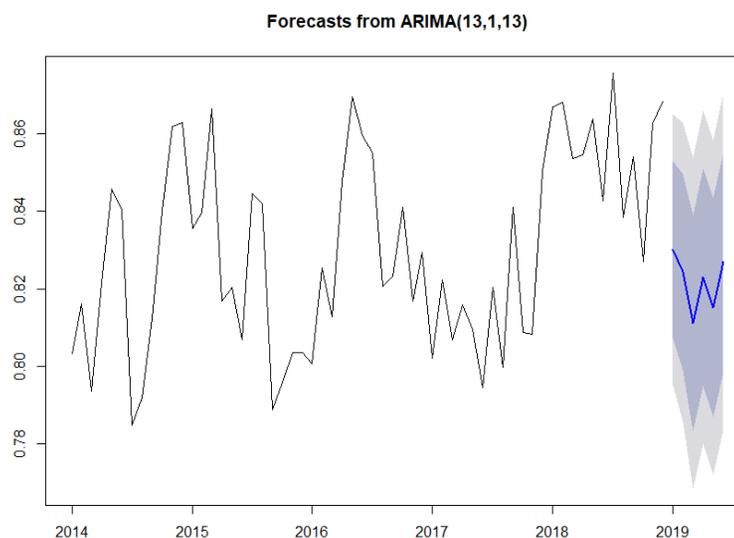
Año	Mes	Pronostico	Inferior	Superior
2019	Enero	83,01%	79,52%	86,50%
	Febrero	82,44%	78,58%	86,29%
	Marzo	81,12%	76,86%	85,37%
	Abril	82,30%	78,02%	86,59%
	Mayo	81,51%	77,20%	85,82%
	Junio	82,70%	78,35%	87,03%

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se muestran los valores pronosticado para la disponibilidad de la flota EH4000 de la empresa CHM Minería.

Para los periodos de tiempo más allá de la serie de tiempo, se muestran los límites del 95.0% de predicción para los pronósticos. Estos límites muestran en donde podría estar el valor verdadero del dato, con 95.0% de confianza.

Gráfica 17. Pronóstico estimado de la serie de disponibilidad EH4000

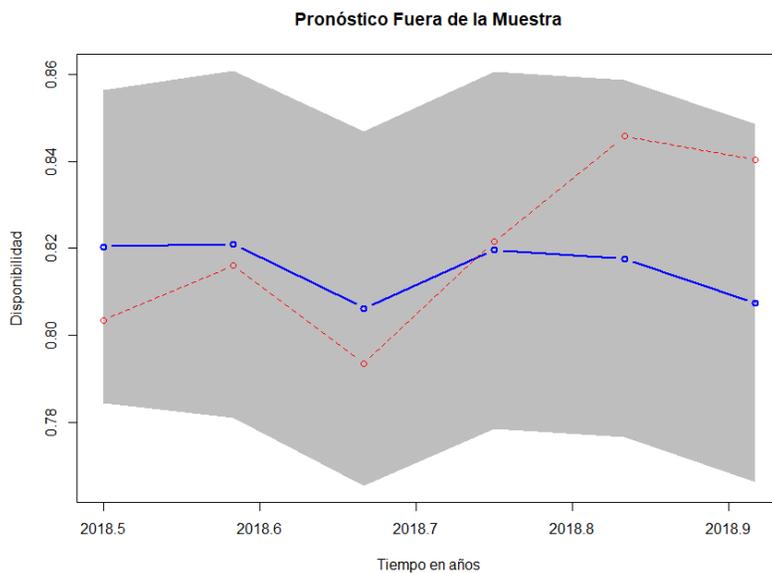


En la gráfica 10 se observa que el pronóstico de disponibilidad presenta una tendencia decreciente esto se puede deber al alto nivel de horas de operación de la flota EH4000.

Ahora se valida el modelo con el enfoque in-sample / out simple.

El modelo se hará con información de enero del 2014 hasta junio del 2018 y la validación de julio 2018 a diciembre del 2018, se tendrá 6 meses para evaluar la información.

Gráfica 18. Pronóstico de la serie de disponibilidad EH4000 in-sample / out simple



Los valores pronosticados por el modelo están cayendo en el intervalo de confianza del pronóstico, el modelo es razonablemente bueno.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.

En la presente tesis se concluye de acuerdo a los resultados que el mejor modelo que permite describir y predecir el comportamiento de la disponibilidad de la flota EH4000 de los camiones Hitachi de la empresa CHM Minería, es el modelo siguiente: SARIMA (13,1,13)

$$y_t = -0.6171y_{t-1} - 0.6659\varepsilon_{t-1} - 0.4313\varepsilon_{t-2} - 0.3000\varepsilon_{t-3} + 0.6096\varepsilon_{t-4} + \varepsilon_t$$

El análisis realizado a la disponibilidad de la flota EH4000 se considera satisfactorio puesto que se logró obtener valores representativos además de identificar los sistemas que más afectaban la disponibilidad de los equipos.

La disponibilidad máxima se presenta en Julio de 2018 con un valor de 87.56% y la disponibilidad mínima se presentó en Julio del 2014 con un valor de 78.48%.

Las principales causas por las que se presentan las bajas disponibilidades son las siguientes:

- Exceder el número de horas de mantenimiento preventivo previstas.
- Mantenimiento correctivo por el sistema de llantas debido a que los tiempos de fallas son muy altos, estos daños en su mayoría se debe a la penetración de grandes rocas en la estructura, objetos extraños, incrustación del eyector de roca, entre otros.
- Falta de conocimiento del personal nuevo en el proyecto.
- los mantenimientos correctivos por componentes mayores.
- Ausentismo laboral.

Recomendaciones.

Se recomienda realizar capacitaciones y entrenar al personal de mantenimiento para conocer los procedimientos de trabajo disminuyendo los tiempos por omisión o atajos.

Se recomienda contar con todos los requerimientos como repuestos, componentes y equipos de soporte para realizar el mantenimiento inmediatamente el equipo ingrese al taller.

Se recomienda capacitar a los operadores en el reporte de condiciones inseguras sobre el estado de las vías en mal estado y presencia de rocas de gran tamaño y solicitar el mantenimientos de vías y plazas de cargue.

Se recomienda contratar personal capacitado y acorde al cargo.

Se recomienda hacer seguimiento e inspección al comportamiento de los componentes.

Se recomienda mejorar los canales de comunicación y repuesta con el almacén externo para que el pedido se cargue y el envío se realice en el menor tiempo posible.

Se recomienda continuar implementando programas de promoción, prevención y bienestar de los trabajadores.

Se recomienda implementar un software de ausentismo para realizar seguimiento del personal, para generar reportes diario y mensual tanto a la ausencia justificada como a las injustificadas.

Se recomienda realizar mejor seguimiento a los mecánicos al momento de realizar el mantenimiento preventivo por parte de sus supervisores para ver el cumplimiento del mantenimiento de los equipos y poder entregar un equipo 100% operativo.

Se recomienda realizar una campaña para cambiar todos los eyectores de roca de los camiones por cadenas eyectoras de roca para disminuir el tiempo de imprevisto por llantas. Estas cadenas realizaran el mismo trabajo que los eyectores, pero con la gran diferencia que reduce tanto el tiempo de imprevisto del mismo como también el de las llantas.

Se recomienda aumentar el stock de los repuestos y componentes que más fallas sufren, para disminuir las demoras por repuesto y entregar los equipos en el menor tiempo posible.

Finalmente, se recomienda seguir monitoreando las fallas más recurrentes en los sistemas de los camiones para mejorar los planes de mantenimiento, disminuir las paradas imprevistas y poder hacer un análisis cada periodo de tiempo.

Bibliografía

- Álvarez, M. (2016). *Series de tiempo y pronóstico*.
- Barrera, D. A., & Lugo-López, N. D. (2019). *Las aulas virtuales en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Estadística*. Revista científica, 2(35).
- Botero, C. (1991). *Manual de mantenimiento*. (libro en línea), pp. 10-21.
- Bravo, H, & Castro, L. (2012). *Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa Inser S.A.S*. (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia.
- Calvo, E. y Sierra, C. *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras*. (Tesis de maestría). UC, Catambria. pp. 9-10.
- Duffuaa, S. (2000). *Sistema de mantenimiento planeación y control*. (libro en línea), pp. 29,31.
- Galindo, O. (2014). *Análisis estratégico de mantenimiento con CMD2 en flota de camiones 793D Caterpillar de la mina Pribbenow de Drummond*. (tesis de maestría). Universidad Eafit, Medellín, Colombia.
- Gallego-Torres, A. P. (2016). *Conocimiento Científico y Tecnológico - Scientific and Technological Knowledge*. Revista científica, 4(27), 301.
<https://doi.org/10.14483/23448350.11429>
- García, J. (2013). *Mejorar actividades del mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos bajo perfil de la U.M Milpo IESA S.A*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
- García, S. (2010). *La contratación del mantenimiento industrial: Proceso de externalización contratos y empresas de mantenimiento*. (Libro en línea), pp. 31,115.

García, S. (2009-2012). *Ingeniería de mantenimiento: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. (articuló en línea). En:

<http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/19-mantenimiento-predictivo>

Hernández, R (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. Editorial McGraw-Hill / Interamericana editores S.A. México D.F.

Mantenimiento correctivo, disponible en: <https://www.significados.com/mantenimiento-correctivo/>

Maldonado, H, & Sigüenza, L. (2012). *Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del cantón Portovelo*. (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Metodología Box – Jenkins, disponible en:

https://economia.uniandes.edu.co/files/profesores/ramon_rosales_alvarez/docs/econometria2/Salidas%20y%20Ejercicios/EJC202220Metodologa20Box20-20Jenkins.pdf

Mollocana, A. (2017). *Programación y mantenimiento automotriz*. Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

Lozano, S, Ballesteros, V, & Nisperuza, J. (2018). *Gradient Statistic: An option for conducting hypothesis testing in small sample size scenarios*. International Journal of Applied Engineering Research, 13(23), 16368-16375

Pérez, G. (1994). *Investigación cualitativa: Retos e Interrogantes*. Editorial la Muralla S.A. Madrid.

Series de tiempo, disponible en:

<http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/seriesdetiempo.pdf>

Sierra, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica Industrias AVM S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

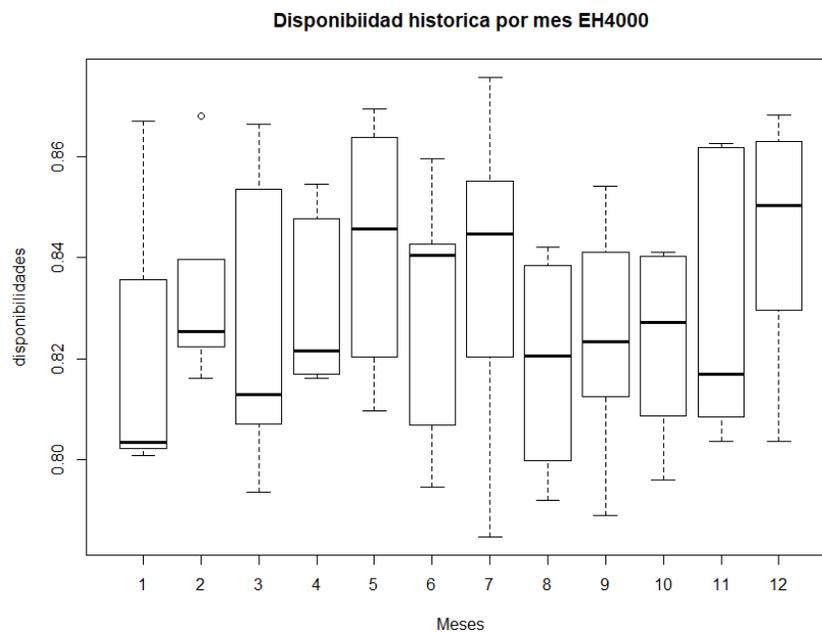
Suarez, M, & Tapia, F. (2014). *Interaprendizaje de Estadística Básica*. (libro en línea), pp. 240-245.

Villavicencio, J. Introducción a series de tiempo, disponible en:

http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D

Anexos

Gráfica 19. Diagrama de cajas por mes de la serie de disponibilidad de la flota EH4000



Cuartiles y valores máximos y mínimos de las disponibilidades mensuales

Imagen 9. Resumen de la serie

Mínimo	1er cuartil	Mediana	Media	3er cuartil	Máximo
0.7848	0.8086	0.8262	0.8300	0.8511	0.8756

Fuente: Elaboración propia.

Disponibilidad Anuales

Imagen 10. Disponibilidades anuales

Año	Disponibilidad
2014	0,822908333
2015	0,822041667
2016	0,833508333
2017	0,815016667
2018	0,856325

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se observa un comportamiento mensual, con una disponibilidad máxima en Julio de 87.56% y un mínimo en Julio de 78.48%. Este mínimo se debe a que en este mes de Julio del 2014 el equipo DT404 estuvo 680 horas fuera de servicio en recovery para reparaciones generales y cambios de componentes, por lo cual la disponibilidad de ese equipo fue de 8,6%, al igual que el equipo DT410 estuvo 575 horas fuera de servicio por un cambio de motor diésel por lo cual la disponibilidad de ese equipo fue de 22,7%, debido a la baja disponibilidad y a las reparaciones extendidas de los dos equipos la disponibilidad del mes bajo a un 78,48%. Y el máximo se debe a que en este mes de Julio del 2018 no hubo parada prolongadas de los equipos la mayor parte del tiempo estuvieron operativos.

