

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“MEJORAMIENTO A HORAS EFECTIVAS EN
TAREAS DE MANTENCIÓN PARA ACTIVOS
MINEROS EN COMPAÑÍA MINERA DOÑA
INES DE COLLAHUASI”**

RODRIGO PATRICIO ALLENDE CID

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA:	Dr. Ing. PEDRO SARIEGO P.
PROFESOR CORREFERENTE:	Ing. RENE VALDENEGRO O.

AGOSTO 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre Héctor Allende Olivares y a mi madre Blanca Cid Noel, gracias a ellos esto es posible

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de título se realizó en gerencia de gestión de activos en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, específicamente en la estación de bombeo de concentrado de cobre. El objetivo principal es este estudio fue analizar los procesos de mantención preventivos para la bombas GEHO ZPM 1200, de modo de encontrar oportunidades de mejora en el procedimiento de mantención que tuviesen repercusión en mejoras a la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

En primer lugar se eligió la mantención preventiva de 300 horas como la mantención con mayor oportunidad para el estudio, mediante análisis de Pareto y Jack knife se definió el foco de mayor pérdida de tiempo y mayor frecuencia al año. Además se identificó mediante gráficos de comparación que existe una variabilidad considerable entre los tiempos de duración.

Mediante los resultados obtenidos en el estudio en terreno se mejoró el procedimiento de la mantención de 300 horas, reforzando en la claridad de la explicación de las actividades para su correcta ejecución. Con información extraída del manual GEHO y medidas específicas de torque de pernos se complementó en anexos del procedimiento. Para el aseguramiento del cumplimiento total de las actividades se anexo un Check List que debe ser firmado por el Jefe de Área.

Teniendo en consideración un procedimiento mejorado y claro de las actividades, se calculó un tiempo estándar de la mantención mediante un estudio de tiempo, entregando un tiempo más claro, de modo de disminuir la variabilidad de la duración, y tener presente la oportunidad para hacer más eficiente el proceso y aumentar disponibilidad del equipo.

Finalmente se realizó un muestreo para analizar la eficiencia de los mantenedores durante la jornada de trabajo, definiendo actividades que significan “trabajar” y actividades que representan “no trabajar”. Mediante gráficos de control y diagramas de Pareto se procedió a tener resultados demostrativos de la situación en los mantenedores de modo de obtener oportunidades de mejora para hacer más eficiente los procesos de mantención.

ABSTRACT

The following title work was carried out in the management of asset management at “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”, specifically at the copper concentrate pumping station. The main objective of this study was to analyze the preventive maintenance processes for the Geho Pumps model ZPM 1200, with the purpose of finding opportunities for improvement in the maintenance procedure with future repercussions on improvements to the availability and reliability of the equipment.

First, preventive maintenance of 300 hours was chosen as the maintenance with greater opportunity for the study, by means of Pareto analysis and Jack knife graphs, was defined as the focus of greater loss of time and biggest frequency per year. It was also identified by comparison graphs that there is considerable variability between the times of duration of the maintenance.

Through the results obtained in the field study the procedure of the maintenance of 300 hours was improved, reinforcing in the clarity of the explanation of the activities for its correct execution. With information extracted from the GEHO manual and specific bolt torque measurements it was complemented in annexes of the procedure. For the assurance of the total fulfillment of the activities a Check List is annexed that must be signed by the “Jefe de Area”.

Having an improved and clear procedure of the activities, a standard time of the maintenance was calculated by means of a time study, delivering a clearer time and calculated ingenierily so as to decrease the variability of the duration of the activity, and to keep in mind the opportunity for make the process more efficient and increase equipment availability.

Finally, a sampling was performed to analyze the efficiency of the maintainers during the working day, defining activities that signify "work" and activities that symbolize "not working", probabilities were calculated. By means of control charts and Pareto diagrams we

proceeded to have more demonstrative results of the situation in the maintainers in order to obtain improvement opportunities to make the maintenance processes more efficient.

ÍNDICE

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	0
RESUMEN EJECUTIVO	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
I. INTRODUCCIÓN	9
II. OBJETIVOS GENERALES	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
III. DESARROLLO	12
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	12
1.1 Descripción de la empresa.....	12
1.2 Ubicación	12
1.3 Disponibilidad de Suministros	13
1.4 Propósito y Valores	14
1.5 Políticas del Negocio.....	15
1.6 Organización de la Empresa.....	16
1.7 Producción.....	17
1.8 Proceso Productivo.....	18
2. MARCO TEORICO	26
2.1. Gestión de Activos	26
2.2. Función de Confiabilidad	28
2.3. Mean Time Between Failure (MTBF):	28
2.4. Mean Time to Repair (MTTR):.....	29
2.5. Mantenimiento Preventivo	29
2.6. Mantenimiento Correctivo	29
2.7. Mantenimiento basado en la condición	29
2.8. Mantenimiento Sistemático.....	29
2.9. Identificación de equipos críticos.....	30
2.10. RCA Análisis Causa Raíz	34
2.11. Ingeniería de Métodos.....	35
2.12. Estudios de movimientos	37
2.13. Procedimiento para un estudio de métodos según (OIT)	37

2.14.	Estudio de Tiempo	40
2.15.	Tiempo Estándar	45
2.16.	Método de calificación (Sistema Westinghouse)	45
3.	DISEÑO DE LA METODOLOGÍA	46
3.1.	Tipo de investigación	46
3.2.	Diseño de la investigación.....	46
3.3.	Población y muestra	47
3.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	47
3.5.	Descripción del problema y propuesta	48
3.6.	Definición de la problemática	48
3.7.	Propuesta	48
3.8.	Metodología	49
4.	ESTUDIO MANTENCIÓN BOMBAS GEHO	51
4.1.	Identificación del contexto del estudio.....	51
4.2.	Identificación de tareas de mantención	51
4.3.	Procedimiento actual de Mantención de 300 horas	53
4.4.	Estudio del Procedimiento en Terreno	56
4.5.	Procedimiento mejorado mantención de 300 horas.....	60
4.6.	Calculo de Tiempo Estándar para mantención de 300 horas	74
4.7.	Estudio de Eficiencia de Mantenedores en Jornada Laboral.....	82
IV.	CONCLUSION	94
V.	BIBLIOGRAFIA.....	96
VI.	ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación Minera Doña Inés de Collahuasi.....	13
Ilustración 2. Ciclo Gestión de Riesgo CMDIC.....	16
Ilustración 3. Organigrama Gerencia Gestión de Activos.....	17
Ilustración 4. Índice productividad 2012-2016	18
Ilustración 5. Proceso Productivo Collahuasi.....	19
Ilustración 6. Etapas Productivas Collahuasi	19
Ilustración 7. Diagrama Correas Transportadoras Collahuasi.....	20
Ilustración 8. Layout Planta Concentradora Collahuasi	22
Ilustración 9. Espesador Collahuasi	24
Ilustración 10. Diagrama transporte de concentrado de cobre Collahuasi	25
Ilustración 11: Tipos de Mantenimiento.	30
Ilustración 12. Preguntas OIT para técnicas interrogatorio.....	39
Ilustración 13. Bomba GEHO 220PP151.....	51
Ilustración 14. Grafico Pareto mantenencias planificadas Bomba GEHO.....	52
Ilustración 15. Grafico Jack Knife Mantenciones Planificadas Bombas GEHO	53
Ilustración 16. Actividades de mantención de 300 horas	54
Ilustración 17. Mantenciones 300 horas GEHO 149.....	56
Ilustración 18. Mantenciones 300 horas GEHO 150.....	57
Ilustración 19. Mantenciones 300 horas GEHO 151.....	57
Ilustración 20. Datos tomados para Turno A	58
Ilustración 21. Datos tomados para Turno B.....	59
Ilustración 22. Ruta de actividades real de mantención de 300 horas Bombas GEHO.....	60
Ilustración 23. Lista actividades mantención 300 horas.....	61
Ilustración 24. Lista actividades mantención 300 horas.....	62
Ilustración 25. Ruta cambio de válvulas cónicas Bombas GEHO	63
Ilustración 26. Montaje y Desmontaje de la válvula de descarga	65
Ilustración 27. Montaje y Desmontaje de válvula de succión.....	65
Ilustración 28. Desmontaje del asiento de válvula (descarga)	66
Ilustración 29. Desmontaje del asiento de válvula (succión)	67
Ilustración 30. Montaje asiento de válvula succión	68
Ilustración 31. Montaje asiento válvula descarga	68
Ilustración 32. Componentes Válvula Cónica.....	69
Ilustración 33. Extracción Válvula Cónica.....	70
Ilustración 34. Componentes Alojamiento Válvulas Cónicas.....	72
Ilustración 35. Secuencia Torque Tapa Housing.....	72
Ilustración 36. Tabla Toques Específicos.....	73
Ilustración 37. Tiempo Duración Mantención 300 horas Bombas GEHO.....	75
Ilustración 38. Resultados de Tabla Westinghouse.....	77
Ilustración 39. Concesión de tiempos por fatiga	79
Ilustración 40. Resultados Concesión de tiempos por fatiga.....	80
Ilustración 41. Horas para estudio Eficiencia Mantenedores	83
Ilustración 42. Objetivos Estudio Eficiencia Mantenedores	83
Ilustración 43. Valor K para 95% confianza	84
Ilustración 44. Resultados Toma de Datos Eficiencia Mantenedores	86
Ilustración 45. Grafico Control Eficiencia Mantenedores.....	90
Ilustración 46. Diagrama Pareto Actividades Mantenedores	92

Ilustración 47.Tabla Toma Datos Terreno	97
Ilustración 48. Grados Concesión Tiempos Fatiga	98
Ilustración 49.Grados Concesión Tiempos Fatiga	98
Ilustración 50.Grados Concesión Tiempos Fatiga	99
Ilustración 51.Grados Concesión Tiempos Fatiga	100
Ilustración 52.Grados Concesión Tiempos Fatiga	101
Ilustración 53.Grados Concesión Tiempos Fatiga	102
Ilustración 54.Tabla Resultado Concesión Tiempo Fatiga	103

I. INTRODUCCIÓN

Minera Doña Inés de Collahuasi es una mina destinada a la producción de concentrado de cobre en su mayoría, y su meta es producir la mayor cantidad de concentrado, dentro de lo que el diseño de su planta concentradora lo permita. Es por esto que la disponibilidad de esta planta concentradora es un índice crucial para que esté la mayor cantidad del tiempo habilitada para operar. Por consiguiente la eficiencia y eficacia en sus trabajos de mantención son de gran importancia a la hora de mejorar la disponibilidad.

En relación a los trabajos de mantención, un problema evidente hoy en día en Minera Collahuasi es la incertidumbre de los tiempos destinado a los trabajos de mantención en sus respectivos planes matrices. Algunas tareas emplean tiempos altos para lo que se les debería destinar, otras tareas tienen tiempos bajos, y en otras tareas simplemente no se tiene un tiempo destinado.

Dada la competencia que existe en la industria, el uso eficiente de los recursos cobra relevancia optando por escoger distintas herramientas que permitan una mejora en el uso de estos. A su vez, la opción de lograr un uso eficiente de los recursos trae consigo la implementación de buenas prácticas a nivel mundial, con el objetivo final de la “Excelencia Operacional”.

Según Deming, W. (1989), “la razón para estudiar los resultados de un cambio consiste en tratar de aprender a mejorar el producto de mañana, o la cosecha del año que viene, la planificación requiere predicción, los resultados de un cambio o de un ensayo pueden fomentar nuestra fe en la predicción, para poder planificar”.

La necesidad en la industria minera que se genere un sistema o metodología de trabajo que permita mejorar cada vez las actividades a desarrollarse, hace imperioso encontrar nuevas técnicas y métodos para lograr eficiencia en los proyectos a realizarse. Existen varias técnicas de programación de actividades pero es necesario evaluar cada una en base a que tan factible es su implementación y los beneficios que pueden encontrarse.

El método que se empleó para mejorar la eficiencia operacional y conocer los tiempos efectivos necesarios para las tareas de mantención para las Bombas GEHO en Minera Collahuasi será una combinación de técnicas y diferentes estudios que apuntan a un mismo objetivo de identificar oportunidades para hacer mas eficiente el proceso de mantención.

Dicho método abarcará tres estudios específicos; estudio en terreno del procedimiento de mantencion, cálculo de tiempo estandar para las tareas de mantencion y estudio de eficiencia de los mantenedores dentro de la jornada de trabajo.

El fin de esta investigación será identificar tópicos mediante los estudios involucrados de modo de reducir HH, con el propósito de reducir costos de mantención, reducir riesgos del sistema y otorgarle mayor disponibilidad a los equipos en estudio.

II. OBJETIVOS GENERALES

Se propone una metodología de trabajo, modificaciones a la distribución de la planta, correcciones a la modalidad de planificación y ejecución de actividades, que permita la programación y control de mantenimiento de las bombas GEHO, mediante técnicas a fin. El propósito es generar una correcta gestión de activos optimizando los recursos y el tiempo utilizado. De esta forma, y con el principio de estudios de vectores, cálculos de tiempo estándar, análisis de fallas y de confiabilidad, se espera lograr la “Excelencia Operacional”.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Disminuir la variabilidad de los tiempos de mantención con el fin de mejorar el plan matriz establecido y optimizar los recursos destinados a las mantenciones.
- Mejorar los procedimientos o Standard Jobs que describen los trabajos de mantención para los equipos en estudio.
- Disminuir los riesgos de accidentabilidad y de producción implementando mejoras que hagan más eficiente y óptimo los trabajos
- Optimizar los tiempos de las actividades y en consecuencia los costos de ineficiencia mediante la implementación.

III. DESAROLLO

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Descripción de la empresa

Collahuasi es una compañía minera dedicada a la extracción y producción de concentrado y cátodos de cobre, y concentrado de molibdeno. A diciembre de 2015 Collahuasi era la tercera mayor operación de cobre en el mundo y uno de los mayores depósitos de recursos minerales de cobre del planeta (9.964 millones de toneladas).

Sus instalaciones industriales y los yacimientos Rosario, Ujina y Huinquintipa, ubicados en la comuna de Pica, Región de Tarapacá, conforman el Área Cordillera. En el sector de Ujina se encuentra también la planta concentradora, desde donde nace un sistema de mineroductos de 203 km de extensión, a través del cual el concentrado de cobre es trasladado hasta el Terminal Marítimo Collahuasi. Desde este recinto, ubicado en Punta Patache, a 65 km al sur de la ciudad de Iquique, se embarcan los productos hacia los mercados internacionales. En este lugar, se encuentran también las plantas de molibdeno y de filtrado de concentrado.

Los accionistas son Anglo American plc (44%), Glencore (44%) y Japan Collahuasi Resources B.V. (12%), los que están representadas en su Directorio.

En 2015, Collahuasi contó con una fuerza laboral total de 6.496 trabajadores, compuesta en un 35% por dotación propia y un 65% de tercerizados. Además, un 44,9% de los trabajadores propios provinieron de la Región de Tarapacá.

El 2015 Collahuasi produjo 455,3 mil toneladas de cobre fino, con ventas totales por US\$ 2.690 millones.

Para la Compañía la sustentabilidad constituye el eje central y marco rector de su actuar y aplica a todos los niveles de la organización: personas, proyectos, operaciones, instalaciones y productos.

1.2 Ubicación

Los yacimientos de Collahuasi se emplazan en el altiplano del desierto de Atacama, a 4.400 msnm, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso en verano y nevadas ocasionales en invierno. A 40 km de las operaciones de la mina se ubica el poblado de Huatacondo, y a 130 y 135 km las localidades de Pica y Matilla respectivamente, las que están rodeadas de zonas de alto valor por su diversidad biológica, como salares, humedales y bofedales.



Ilustración 1. Ubicación Minera Doña Inés de Collahuasi

1.3 Disponibilidad de Suministros

Minera Doña Inés de Collahuasi, posee suministros eléctricos provenientes del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a través de contratos de mediano y largo plazo.

En cuanto al suministro de agua, la planta concentradora de la compañía consideró desde el inicio de su operación la utilización de agua proveniente de pozos profundos ubicados cercanos a la frontera con Bolivia en su proceso productivo para la obtención de concentrado de cobre. El consumo de agua alcanza más de 0,586 metros cúbicos por tonelada de material procesado, provenientes de los mencionados pozos profundos y de la recuperación de agua del proceso en sus distintas etapas del proceso.

1.4 Propósito y Valores

La visión de Collahuasi se enmarca dentro de la estrategia global definida para el quinquenio 2015-2019, cuyo foco es el desarrollo sustentable de la Compañía.

Propósito:

“Porque somos mucho más que cobre, lideramos con pasión un negocio de excelencia para construir una sociedad mejor”.

Lo anterior implica reforzar y enfatizar la sustentabilidad sobre los siguientes ejes:

- Trabajar con foco en la gestión de riesgos, buscando la excelencia operacional.
- Fortalecer la gestión más allá de la empresa, afianzando la relación con las comunidades y los colaboradores.
- Que toda la organización entienda a cabalidad cuál es el propósito de la Compañía para concretarlo con pasión y entusiasmo.
- Acentuar el valor que tienen las personas para la organización, con énfasis en generar un compromiso e identificación de todos quienes son parte de Collahuasi.
- Ejercer un liderazgo que comparta y transmita el propósito de la Compañía, planteándolo con una mirada de largo plazo.

Valores:

“Seguridad, honestidad, reconocimiento, respeto, pasión, responsabilidad son los valores que guían este propósito.”

1.5 Políticas del Negocio

Propósito:

Establecer los principios que permitan reconocer la existencia de riesgos, evaluarlos adecuadamente y desarrollar acciones de mitigación que permitan controlarlos a un nivel aceptable.

Principios:

- Asumir que existen condiciones, situaciones o eventos que pueden desencadenarse y resultar en consecuencias positivas o negativas para los empleados, las comunidades donde sus instalaciones son vecinas, el medio ambiente, los activos o bienes y para sus dueños.
- Entender que el riesgo es un aspecto inseparable del negocio, que debe ser adecuadamente administrado y gestionado.
- La responsabilidad por la Administración de Riesgos recae en la Gerencia de la Compañía.
- En los distintos niveles de la organización se incorpora el análisis de los riesgos asociados dentro de las labores diarias que realizan de manera sistemática.
- Cuenta con un Sistema de Administración de Riesgos que permite asegurar un ambiente adecuado para aumentar el valor de la inversión de los accionistas a través de desarrollar y proteger a los empleados, maximizar el uso de los activos bajo nuestra responsabilidad, cuidar el medio ambiente y la interacción con las comunidades vecinas a nuestras operaciones y mantener en alto la reputación.
- Se ha adoptado la metodología “IRM”, o “Gestión Integrada de Riesgos” asignando “Probabilidad de Ocurrencia” a los distintos eventos y la “Consecuencia” o “Impacto” a cada uno de ellos como resultado de su ocurrencia y así establecer las acciones de mitigación a implementar.



Ilustración 2. Ciclo Gestión de Riesgo CMDIC

1.6 Organización de la Empresa

El desarrollo de esta memoria se realizó en la Gerencia de Gestión de Activos, la cual se encarga de las labores de la gestión de los activos de las todas las áreas productivas con las que cuenta la compañía. Específicamente se trabajó en la Planta Aguas y Mineroducto.

El organigrama que se muestra a continuación muestra el área con que se trabajó en esta memoria.

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi

Gerencia de Gestión de Activos & Confiabilidad

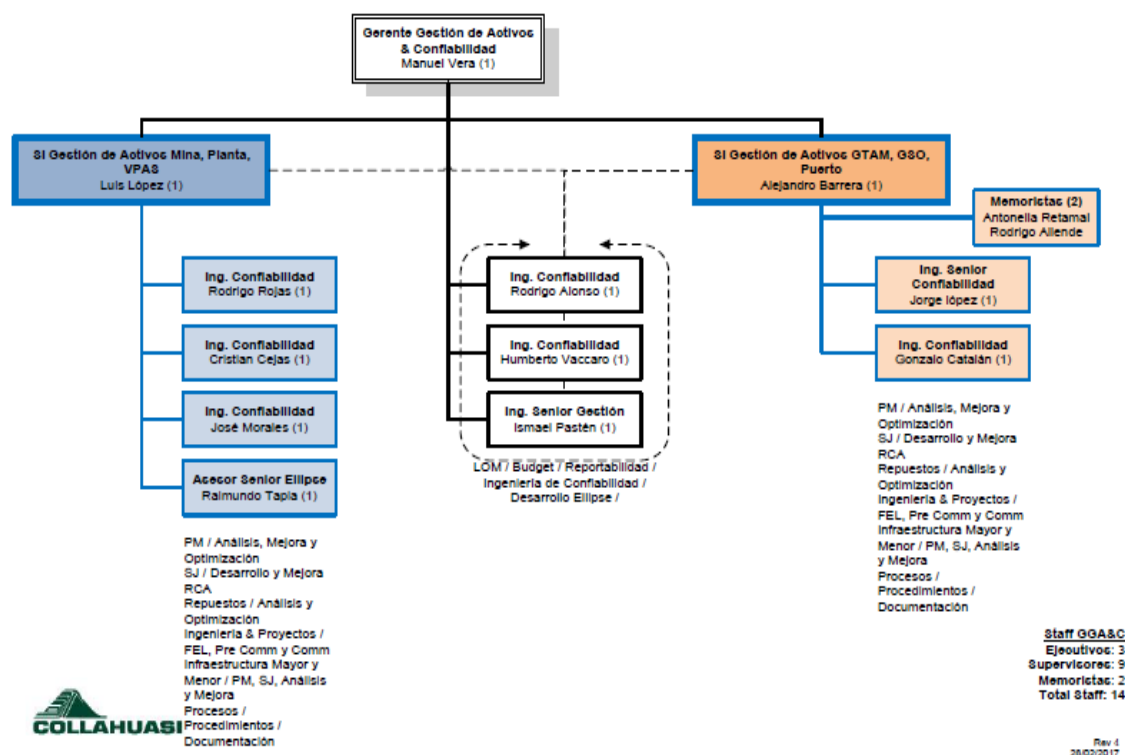


Ilustración 3. Organigrama Gerencia Gestión de Activos

1.7 Producción

La Compañía cuenta con dos procesos productivos en sus yacimientos, una línea de sulfuros y otra de óxidos, las que producen cobre y molibdeno. El año 2015 la Compañía realizó el cierre parcial temporal de la planta de cátodos. El 2015 Collahuasi produjo 455,3 mil toneladas de cobre fino, con ventas totales por US\$ 2.690 millones.

Respecto de los costos, gracias a planes desarrollados para gestionar y fortalecer la competitividad de la Compañía, se bajó el costo operacional a US\$1,41 el libra, cercano al primer cuartil de la industria.

La Compañía anotó resultados positivos de producción durante el primer semestre del año, al lograr una producción de 243.838 toneladas, un 12,6% más que en el mismo período del año anterior. A eso se sumó una reducción de 23% en sus costos, llegando a US\$ 1,18 la libra gracias, entre otros factores, a las mejoras operacionales y de gestión que se han implementado en los últimos años, poniendo foco en su cadena de valor y asegurando la eficiencia de sus procesos. De esta forma, Collahuasi ha podido sortear el complejo escenario de precios por el que atraviesa la industria.

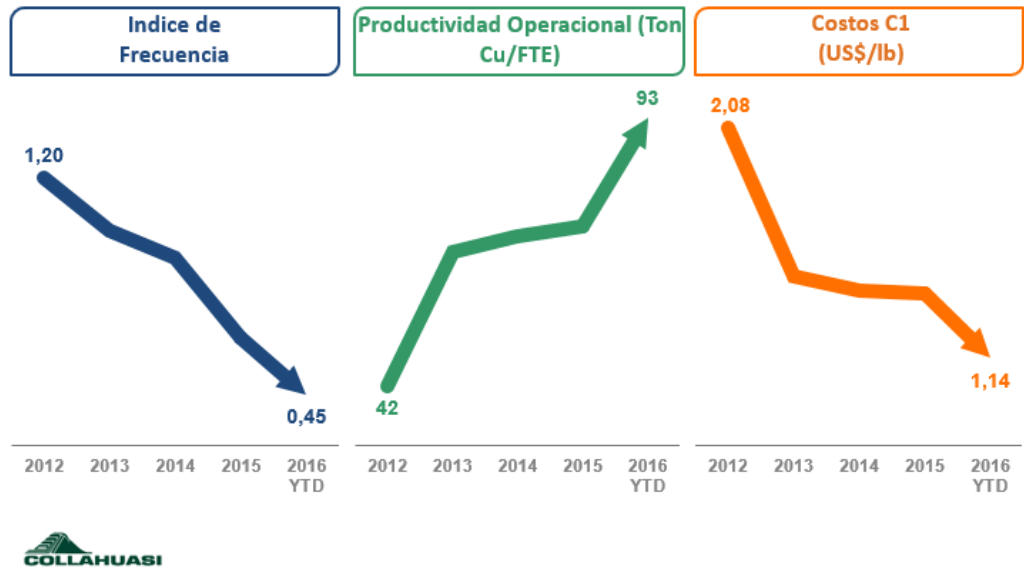


Ilustración 4. Índice productividad 2012-201

1.8 Proceso Productivo

Minera Collahuasi cuenta con dos áreas productivas, rajo Rosario y rajo Ujinas. De donde desde Rosario se extrae material para producir concentrado de cobre y desde Ujinas se extrae material para la planta Hidrometalurgia con el fin de producir cátodos de cobre. Hoy en día solo se opera con el rajo de Ujinas para producir únicamente concentrado de cobre. La ubicación de las etapas de ambas plantas y sus procesos se pueden apreciar en la imagen.

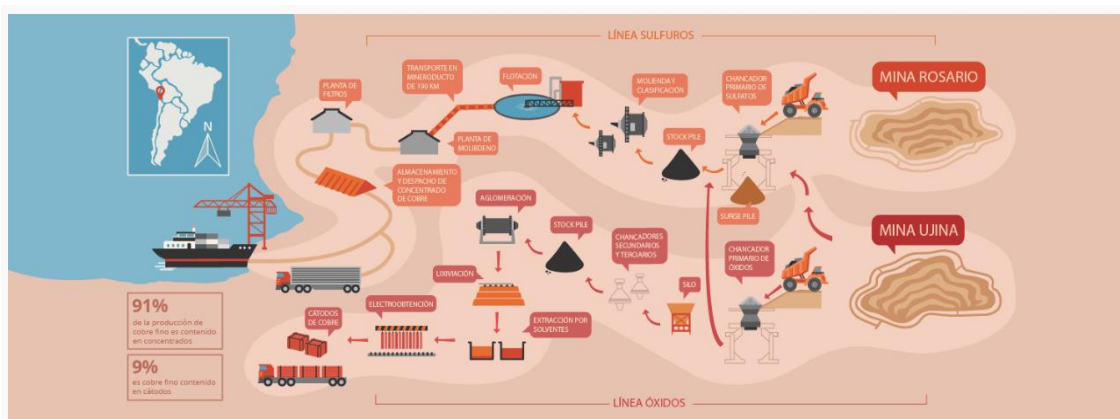


Ilustración 5. Proceso Productivo Collahuasi

En la siguiente figura se aprecia de una forma más global y generalizada las distintas etapas del proceso de operación de la planta concentradora.

El proceso comienza con la extracción del mineral proveniente del yacimiento y prosigue hacia las etapas de chancado primario, molienda, flotación, concentrado y embarque.

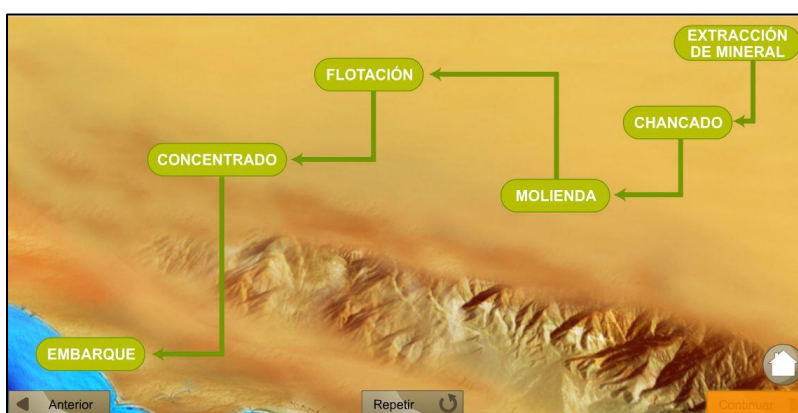


Ilustración 6. Etapas Productivas Collahuasi

1.8.1 Extracción y Chancado

El proceso de extracción y chancado comienza en que el rajo es tronado mediante explosivos para que Palas mecánicas, carguen camiones de alto tonelaje que trasladen el material hacia el Chancador Primario. El Chancador Primario es la primera etapa del proceso de conminución de la única línea productiva operativa de Minera Collahuasi. Las instalaciones del Chancador Primario están preparadas para recibir la descarga de dos camiones CAT 797

de 360 toneladas de capacidad. El ritmo de tratamiento de mineral es de aproximadamente 150.000 t/d nominal.

El Chancador Primario utilizado es del tipo giratorio, con una capacidad de aproximadamente 10500 t/h. Siendo en su año de instalación el Chancador de mayor capacidad en el mundo. Las instalaciones cuentan además, con un Picador de rocas para casos de inchancables y atascamiento de material.

El producto ya procesado por el chancador primario es descargado a través de una tolva de descarga y de un chute hacia un alimentador de correa de 14 m de largo y 3.048 mm de ancho con una capacidad de 11400 t/h, con un motor de 300 kW de potencia, esta correa alimenta a una correa Overland de 2648 m de largo con una capacidad de un poco más de 12000 t/h. La correa Overland alimenta a una serie de correas que finalmente terminan por descargar el mineral chancado en el acopio de mineral grueso o Stock Pile el cual almacena el mineral que posteriormente alimentará a la molienda SAG.

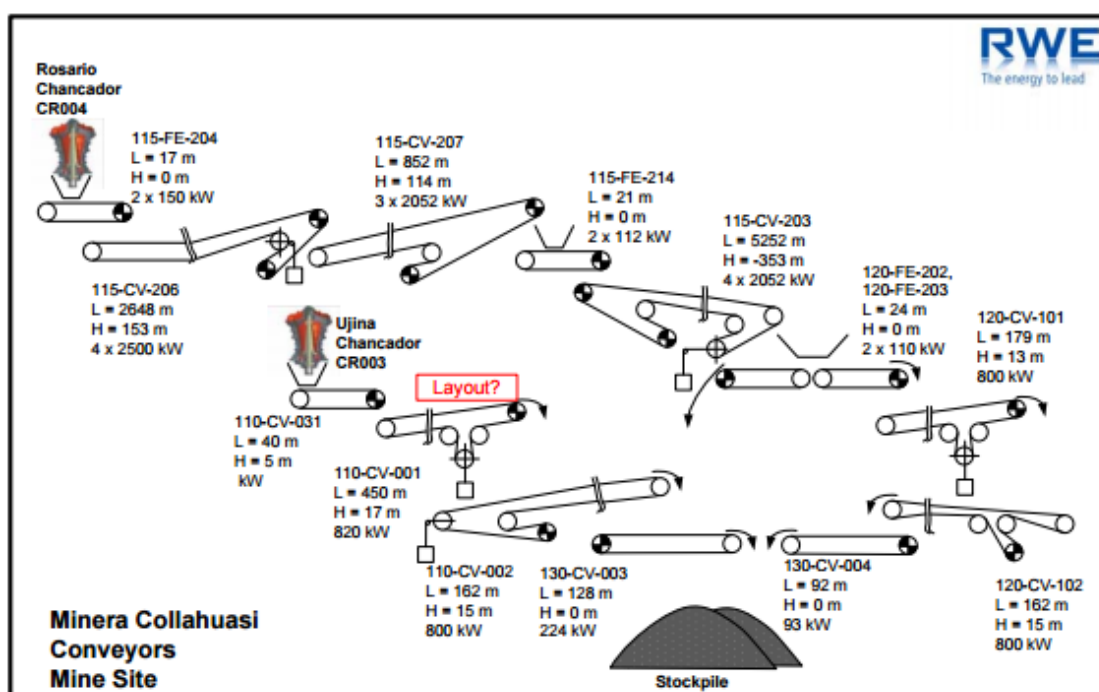


Ilustración 7. Diagrama Correas Transportadoras Collahuasi

1.8.2 Molienda

La primera parte de la molienda, se compone de 3 molinos SAG. Luego de pasar por el proceso de molienda de los SAG el material es descargado en un Trommel el cual se encarga de clasificar o seleccionar el mineral de acuerdo a su granulometría. El material de mayor tamaño se envía a los chancadores de Pebbles mientras que el material que pasa por la malla del Trommel se envía a los Hidrociclones, los cuales son alimentados por 8 Bombas Centrifugas, llamadas bombas bajo Molino. El material de menor tamaño seleccionado por los hidrociclones se dirige a las celdas de flotación mientras que el de mayor tamaño se recircula hacia los 4 Molinos Bola para realizar otro proceso de molienda y posteriormente enviar nuevamente hacia los hidrociclones.

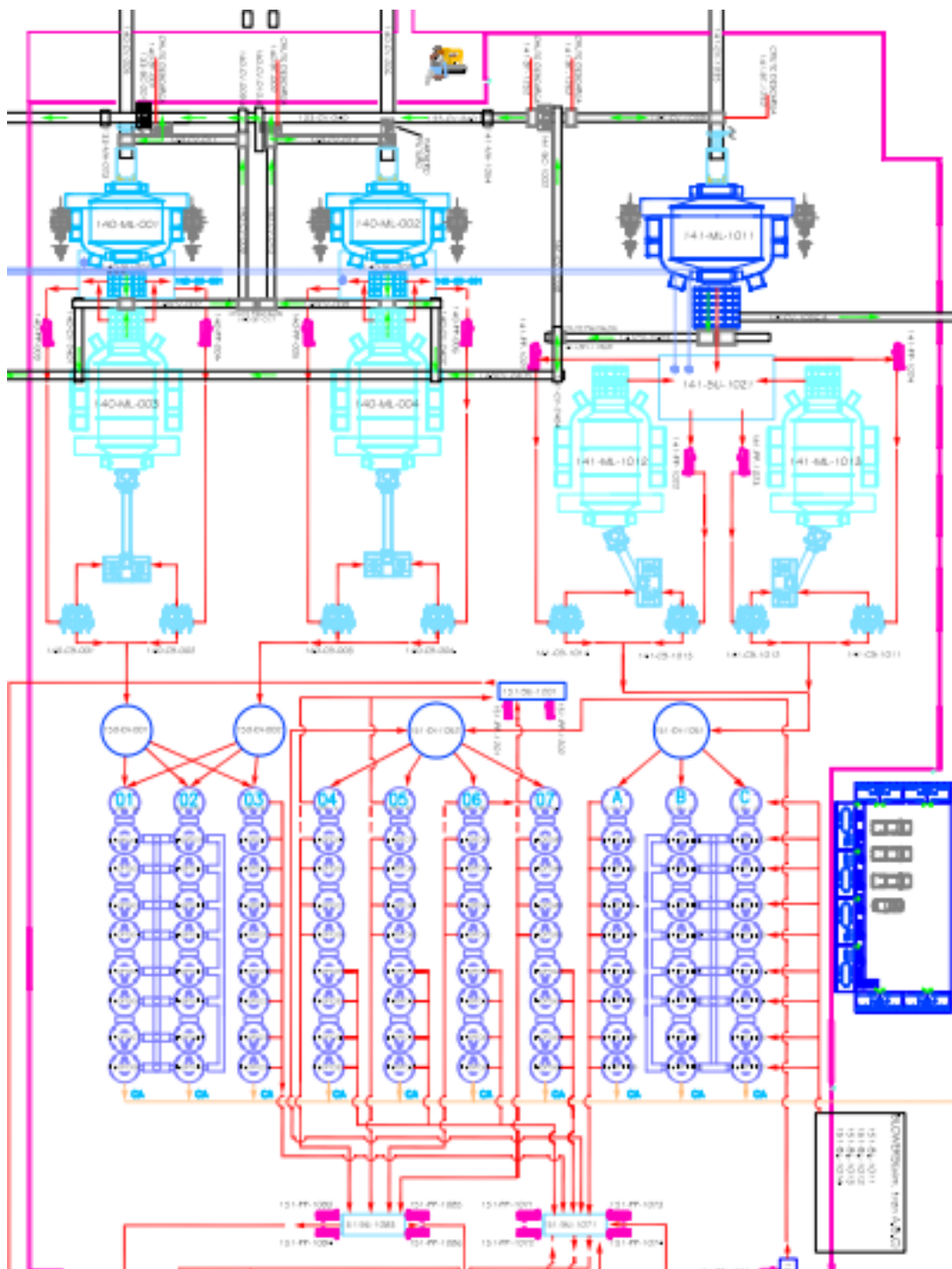


Ilustración 8. Layout Planta Concentradora Collahuasi

1.8.3 Flotación

El proceso que le sigue a Molienda es el proceso de Flotación, que corresponde a la etapa intermedia del proceso de concentrado. La función primordial de esta etapa es concentrar el cobre presente en el material extraído del rajo, de modo de poder obtener un producto con valor comercial.

El proceso de flotación es alimentado en su mayor porcentaje por descargas de los hidrociclones. Y este proceso se descompone en flotación primaria y flotación de barrido. El overflow generado en la etapa de molienda secundaria, es enviado a la flotación primaria, que se realiza en celdas convencionales tipo estanque, generando concentrado de cobre y que es conducido a la etapa de remolienda. En la flotación primaria se obtiene además una cola primaria que constituye parte del relave global de la planta.

La flotación primaria junto con la flotación de barrido, son las principales componentes de la alimentación a la etapa de remolienda de concentrado. Esta etapa consta de baterías de hidrociclones trabajando en circuito abierto e inverso, es decir, el concentrado es previamente clasificado y la fracción gruesa es enviada al molino vertical.

El producto remolido y el overflow de los hidrociclones de la etapa de remolienda, constituyen la alimentación a la flotación de limpieza, realizada en celdas tipo columnas cuyo concentrado producido constituyen el concentrado final que pasa a la etapa de espesamiento para su posterior envío al sistema de transporte de concentrado.

El proceso siguiente es el de espesamiento de concentrado, en el cual lo constituyen dos espesadores de concentrado, mientras que para el espesamiento de relaves lo constituyen 4 espesadores. En estos procesos la función más importante es que se obtienen concentraciones de 67% en sólidos obteniéndose una recuperación de agua la cual es inyectada al proceso, disminuyendo la extracción de agua de los pozos.

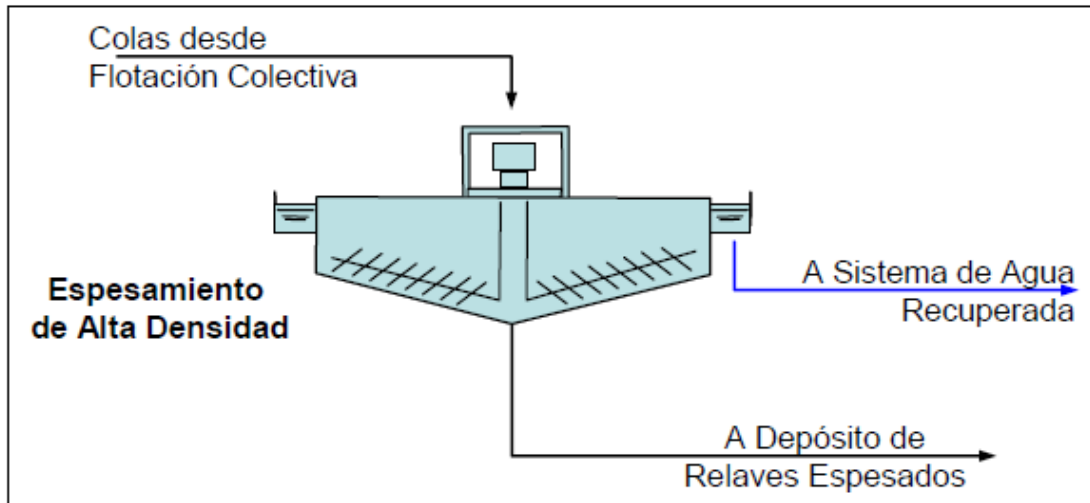


Ilustración 9. Espesador Collahuasi

1.8.4 Transporte de Concentrado al Puerto

La etapa de bombeo de Concentrado de cobre hacia el puerto Patache es la etapa más importante para este estudio. El análisis realizado de desarrolló en esa etapa.

La etapa de bombeo comienza en los estanques de almacenamiento de concentrado, los cuales alimentan a la estación de bombeo PS1 en donde se pasa a las bombas de precarga, que dan la presión necesaria para pasar a las bombas GEHO. Estas bombas poseen un flujo máximo de 118 m³/h y pueden trabajar a una presión máxima de 24 MPa. Las bombas se encargan de bombear, a través de un mineroducto de 8 pulgadas y otro de 7 pulgadas que tienen una longitud de 204 (km), todo el concentrado producido en la planta hacia Patache.

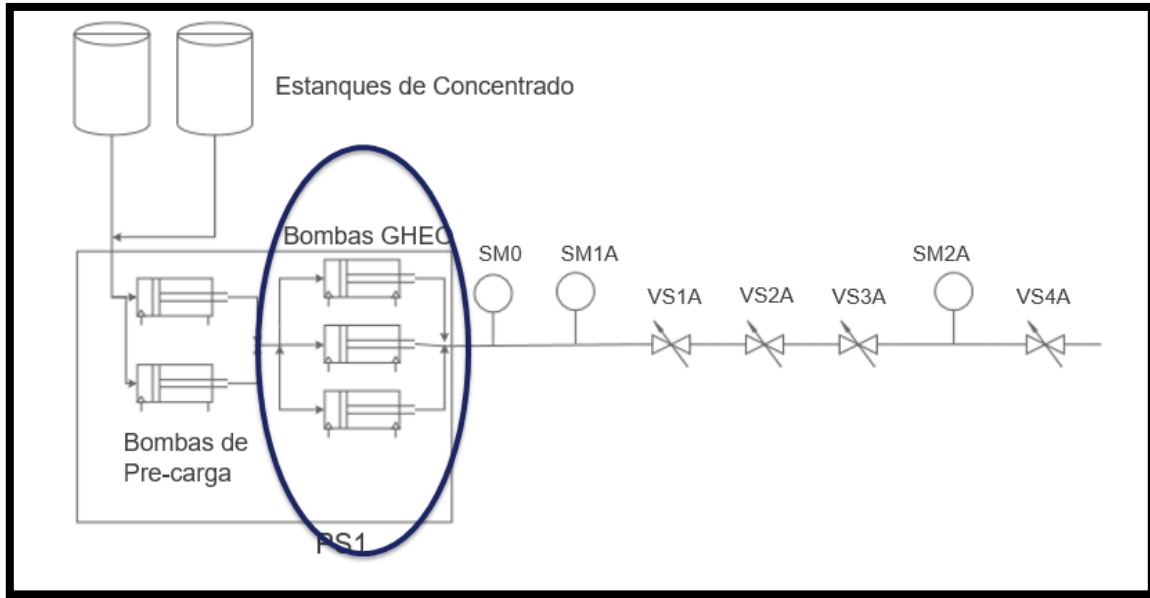


Ilustración 10. Diagrama transporte de concentrado de cobre Collahuasi

2. MARCO TEORICO

2.1. Gestión de Activos

La gestión de activos es la disciplina que busca gestionar todo el ciclo del activo de manera de optimizar su operación como también extender su vida útil. La gestión de activos abarca desde su diseño y construcción hasta la explotación, mantenimiento y su final reemplazo. Abarca desde el CAPEX hasta su OPEX y reemplazo, con la finalidad de optimizar su operación y vida útil. Se debe destacar que la capacidad es una aptitud de cumplir una demanda de requerimientos y servicios de determinadas características. La disponibilidad es la aptitud para estar en condición de realizar una función solicitada en condiciones dadas en un instante o durante un intervalo de tiempo.

La disponibilidad del sistema productivo se ve limitado o condicionado por diversos factores, entre ellos:

- **Fiabilidad:** Aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en unas condiciones determinadas de empleo y mantenimiento, durante un intervalo de tiempo dado.
- **Mantenibilidad:** Aptitud, en condiciones dadas de utilización, para ser mantenido o restituido, a un estado en el que pueda realizar una función requerida.
- **Logística de mantenimiento:** Desde un aspecto más organizativo que propio de los sistemas, es la aptitud de una organización de mantenimiento, en unas condiciones dadas, para proporcionar sobre demanda los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento dada.

Existen otras definiciones para términos asociados a la gestión de activos propuestas por Torres (2008):

- **Confiabilidad:** La probabilidad de que un equipo, máquina o sistema trabaje sin tener alguna falla durante un periodo de tiempo.
- **Disponibilidad:** Ratio de tiempo en que el equipo, maquina o sistema está en condiciones de ser usado.

- **Mantenibilidad:** Probabilidad de que un equipo, máquina o sistema sea reparado en un período de tiempo dado.

Dado los factores expuestos anteriormente, surge la urgencia de fomentar y realizar una adecuada gestión de activos. Con el propósito de mantener siempre disponible el proceso productivo, considerando como tema central el mantenimiento óptimo y eficiente de los sistemas que componen el proceso productivo, obteniendo una ventaja competitiva.

La gestión del mantenimiento se orienta a la utilización más económica de unos medios por parte de unos empleados u operarios, con la finalidad de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con la función requerida (Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas, 2004). Se definirá mantenimiento como el conjunto de todas las actividades técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un equipo o elemento de máquina, destinado a conservarlo en un estado en el cual tenga la factibilidad de desarrollar la función para la cual fue diseñado o para la función para el cual fue requerido.

Los principales objetivos para quienes se les encomendó ejecutar la gestión del mantenimiento son:

- Mejorar las operaciones de mantenimiento.
- Mejorar la organización de mantenimiento.
- Reducir la cantidad y frecuencia de mantenimiento.
- Reducir la cantidad de aprovisionamientos.
- Reducir los efectos de la complejidad de los sistemas.
- Optimización de la frecuencia y cantidad de mantenimiento preventivo a realizar.
- Mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de Mantenimiento.
- Reducir el nivel de especialización técnica en mantenimiento requerido al personal.

En la gestión del mantenimiento también se debe incluir un factor que es crucial para la disponibilidad del equipo o componente de los sistemas productivos, este factor es la falla. Factor que significa una detención que no está contemplada en la planificación de detención

del equipo y que tiene por consiguiente una disminución en la disponibilidad de este. Para Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004), entienden el fallo como el cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida, por lo que ocurrido el fallo, el elemento se encuentra en estado de avería (No disponible).

Hoy en día con técnicas de NDT (Técnicas de inspección no destructivas) es posible obtener la probabilidad antes de que suceda la falla. Además se logra obtener la llamada probabilidad de falla incipiente (límite inferior de probabilidad en que puede suceder la falla). El análisis de confiabilidad de los equipos o componentes es de crucial importancia para obtener resultados y indicadores. Además se puede llegar a detectar patrones que ayuden a optimizar la gestión del mantenimiento.

2.2. Función de Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Se define a T como el tiempo de ciclo de vida del equipo o máquina.

$$R(t) = P(T > t)$$

De esta misma forma se puede calcular la probabilidad de que falle el sistema. Se cumple que el tiempo de ciclo de vida del equipo o máquina es menor al tiempo transcurrido, es decir, se espera que falle.

$$F(t) = P(T \leq t)$$

2.3. Mean Time Between Failure (MTBF):

Mean Time Between Failure o MTBF significa tiempo medio entre fallas, es decir, se conoce como el tiempo medio transcurrido desde que se inicia el funcionamiento después de que fue reparado a causa de una falla hasta que ocurra la próxima falla. Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

2.4. Mean Time to Repair (MTTR):

Mean Time to Repair o MTTR hace mención al tiempo medio que toma el equipo para ser reparado. Dicho parámetro está directamente relacionado y describe una situación actual del mantenimiento realizado; generalmente se obtiene de un pre procesamiento de datos históricos donde se capturan los datos de mantenciones realizadas.

Existen distintos tipos de mantenimiento definidos por Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004):

2.5. Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento realizado a intervalos determinados o criterios prescritos, destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.

2.6. Mantenimiento Correctivo

Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería y destinado a restituirlo a un estado que permita realizar la función requerida.

2.7. Mantenimiento basado en la condición

También llamado mantenimiento sobre condición, es el mantenimiento preventivo realizado en base a los resultados de la monitorización del funcionamiento del equipo. Este tipo de mantenimiento realizándose en base a la consecuencia del análisis y evaluación de parámetros, se denomina mantenimiento predictivo.

2.8. Mantenimiento Sistemático

Mantenimiento preventivo realizado en base a unos intervalos de tiempo preestablecidos, sin investigación previa de la condición del elemento.

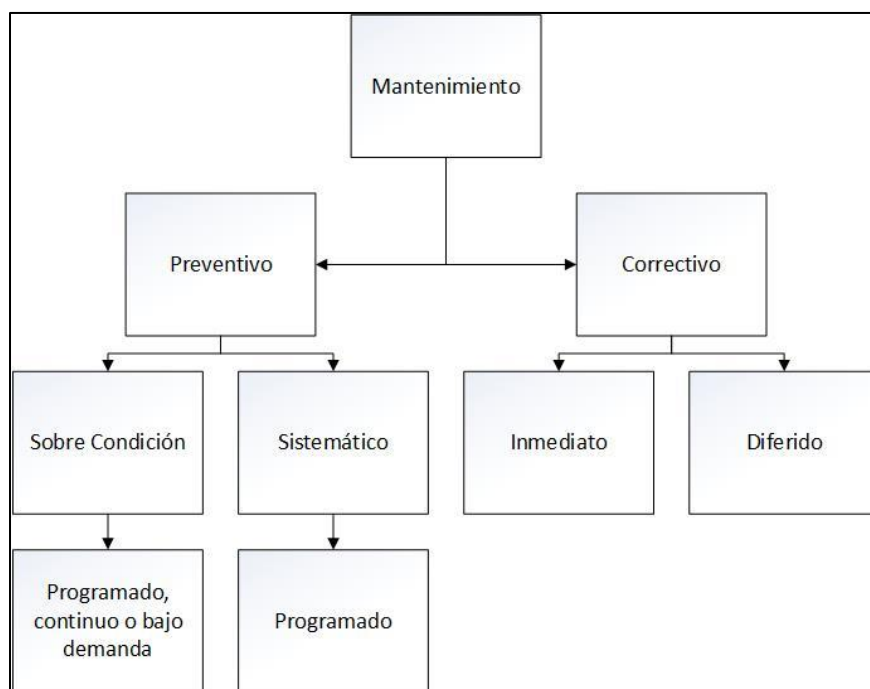


Ilustración 11: Tipos de Mantenimiento.
Fuente: Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004).

La gestión de activos no solo tiene la misión de asegurar un nivel de disponibilidad de los equipos, sino además contempla una inmensidad de factores para identificar puntos estratégicos, con el fin de evaluar el impacto que tendrá los cambios a realizar, de modo de proyectar los esfuerzos y estrategias de donde se puede obtener mejoras con el mayor impacto en el proceso productivo.

Existen diversas técnicas o enfoques que permiten evaluar cualitativa y cuantitativamente los elementos que se deben evaluar para destinar o priorizar los recursos para mejoras en el proceso.

2.9. Identificación de equipos críticos.

2.9.1. Evaluación para la mantenibilidad de equipos:

La mantenibilidad de los equipos debe ser evaluada en base a indicadores. Estos no se basan en estadísticas pero se le otorgan puntajes a atributos/factores que permiten obtener el valor final del indicador (Moreu De Leon, González-Prida Díaz, Barberá Martínez, & Crespo Márquez, 2012).

Los indicadores de mantenibilidad son evaluados en base a 2 tipos de atributos o características de los equipos:

- Atributos Generales: Estos afectan algún nivel de mantenimiento, es decir, estos son niveles de mantenimiento independiente.
- Atributos Específicos: Estos dependen del nivel de mantenimiento.

Los diversos niveles de mantenimiento mencionados a continuación son dictados a base de la complejidad de las tareas a realizar, los tiempos de detención que involucran estas actividades de mantención, la disposición y complejidad de recursos destinados para realizar las tareas de mantenimiento.(Moreu De Leon, González-Prida Díaz, Barberá Martínez, & Crespo Márquez, 2012). Estos niveles son:

- Nivel 1: Acciones de mantenimiento simple realizadas cuando está encendido el equipo. Se pueden realizar mantenimientos preventivos o correctivos, ya que no requiere que el equipo sea apagado. Se realizan simples ajustes que no necesitan de ensamblar o desensamblar.
- Nivel 2: Acciones de mantenimiento con reemplazo de componentes funcionales. Este conjunto de acciones se realiza cuando el equipo está apagado y estas pueden ser preventivas o correctivas.
- Nivel 3: Identificación y diagnóstico de fallas. Estas acciones de mantenimiento se hacen cuando el equipo está apagado. Permite identificar y localizar las causas de las fallas.
- Nivel 4: Inspecciones. Las inspecciones se refieren a un extensa cantidad de pruebas y acciones de mantenimiento preventivo/correctivo que requieren un desensamble total o parcial del equipo. La propuesta de inspección es para mantener, sobre un equipo, la disponibilidad requerida y los niveles de seguridad. Las revisiones son

siempre realizadas en los intervalos de tiempo prescritos o después determinar cantidad de operaciones.

- Nivel 5: Actualización, reconstrucción y/o revisión. Estas operaciones están bajo la responsabilidad de los servicios de mantenimiento de la planta. Estas son operaciones muy importantes, las cuales deben incluir modificaciones y/o mejoras. Esto hace posible incrementar el ciclo de vida del equipo original.

Los indicadores de mantenibilidad son deducidos a partir de ciertas características de los equipos. Estas características son catalogadas en 3 grupos, de acuerdo a su naturaleza, atributos relacionados con el diseño, relacionado con las condiciones de trabajo y requerimientos del personal y atributos relacionados a la necesidad de soporte logístico.

- Atributos relacionados al diseño del equipo:
 - Simplicidad.
 - Identificación.
 - Modularidad.
 - Tribología.
 - Estandarización.
 - Falla Observada.
 - Accesibilidad.
 - Ensamble/Desensamble.
- Atributos relacionados con el personal de mantención y condiciones de trabajo:
 - Ergonomía.
 - Entrenamiento.
 - Ambiente.
- Atributos relacionados a la necesidad de soporte logístico:
 - Relación con el productor.
 - Organización del personal.
 - Piezas de repuesto.
 - Herramientas y equipos de mantenimiento.
 - Coordinación entre departamentos.
 - Documentación.

2.9.2. Análisis de Pareto (Camisón, Cruz, & González, 2006):

Herramienta de representación gráfica que identifica los problemas más importantes, en función de su costo y tiempo, permitiendo establecer las prioridades de intervención. Se conoce como la regla 80/20, indica que el 80% de los problemas son originados por un 20% de las causas. Ayuda a separar los errores críticos, que normalmente suelen ser pocos, de los no críticos.

Este análisis permite identificar los problemas mayores, por lo que la identificación de los defectos permitirá resolver los problemas teniendo en cuenta el orden de importancia, dado los recursos y tiempos limitados.

Las ventajas que poseen son:

- Permite observar resultados de las mejoras implementadas al comparar dos diagramas del mismo fenómeno en momentos distintos de tiempo.
- Herramienta de fácil uso e implementación.
- Permite identificar rápidamente y a simple vista el problema más grave.

2.9.3. Jack Knife (Knights, 2004):

Es una herramienta visual que permita analizar y controlar la realización de mantenimiento, con el fin de darle prioridad a ciertas actividades de mantenimiento críticas para mantener cierto nivel establecido de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Esta herramienta genera un gráfico que permite clasificar las actividades en agudas y crónicas.

Las variables que considera para establecer la criticidad de las actividades de mantenimiento son:

- Número de Actividad de mantenimiento.
- MTTR de cada actividad.
- Número de Fallas de cada actividad.
- Cantidad total de fallas ocurridas.
- Tiempo total del equipo en estado “Downtime”.

Con dichas variables se pueden obtener los límites del gráfico, logrando establecer ciertas áreas que permiten identificar los distintos problemas de cada actividad. De acuerdo a la ubicación de los puntos, se pueden obtener los siguientes problemas:

- Problemas de Confiabilidad.
- Problemas de Disponibilidad.
- Problemas de Mantenibilidad.

2.10. RCA Análisis Causa Raíz

El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de falla de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de Causa de Raíz (RCI), ésta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- Análisis de Causa Raíz (RCA), ésta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa–efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso más allá del Mantenimiento:

- Análisis de Fallas, para encontrar fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.
- Análisis de Fallas recurrentes de equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación Proactiva.

- Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), el cual se utiliza también en el RCM2.
- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes, en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SySO).

El análisis de Causa Raíz es un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto que nos conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, preguntándonos:

- ¿Cómo es la forma que puede ocurrir una falla?
- ¿Por qué o cuales son las causas de la misma?

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

2.11. Ingeniería de Métodos

La ingeniería de métodos puede definirse como un grupo de procedimientos sistemáticos de las actividades de los procesos productivos actuales para introducir mejoramientos que hagan más simple la realización de las actividades que involucre el trabajo, permitiendo que estas actividades se realicen en el menor tiempo posible y con una menor utilización de recursos para obtener el producto final. La ingeniería de métodos hace inclusión desde diseñar, crear, seleccionar las mejores técnicas de realizar el procedimiento, herramientas, equipo y habilidades.

Cuando el mejor procedimiento hace interacción con las mejores habilidades disponibles, nace una relación equipo-trabajador eficiente. Una vez establecido el procedimiento completo, la responsabilidad de determinar el tiempo estándar requerido para realizar la actividad se encuentra dentro del alcance de ese procedimiento. La ingeniería de métodos

también hace inclusión a la responsabilidad de realizar constantes seguimientos y supervisiones para asegurar que:

- a) Se cumplan los estándares predeterminados.
- b) Los trabajadores tienen una compensación adecuada por su producción, habilidades, responsabilidades y experiencias.
- c) Que los trabajadores estén satisfecho con su trabajo.

Por lo cual, el enfoque principal de la ingeniería de métodos es incrementar las utilidades de la empresa, priorizando el análisis en:

- Las materias, materiales, herramientas, productos de consumo.
- El espacio, superficies cubiertas, depósitos, almacenes, instalaciones.
- El tiempo de ejecución y preparación.
- La energía tanto humana como física mediante una utilización racional de todos los medios disponibles.

Alcances de la ingeniería de métodos

- Diseñar, formular y seleccionar los mejores: Métodos, procesos, herramientas, equipos diversos y especialidades necesarias para manufacturar un producto.
- El mejor método debe relacionarse con las mejores técnicas o habilidades disponibles a fin de lograr una eficiente interrelación humano-máquina.
- Determinar el tiempo requerido para fabricar el producto de acuerdo al alcance del trabajo.
- Cumplir con las normas o estándares predeterminados, y que los trabajadores sean retribuidos adecuadamente según su rendimiento.

Ramas de la ingeniería de métodos

- Estudio de movimiento
- Estudio de tiempo

2.12. Estudios de movimientos

El estudio visual de movimiento se utiliza para analizar un procedimiento determinado y mejorar al desarrollo de un centro de trabajo con basta eficiencia. Es un estudio metódico de una gran cantidad de movimientos que efectúa el cuerpo humano al realizar las actividades que involucra la tarea. Su fin es eliminar o disminuir los movimientos que muestren signos de ineficiencia como también acelerar los movimientos eficientes.

Mediante el estudio de movimientos, el trabajo se realiza con mayor facilidad y se ve reflejado un aumento en el índice de producción. Los creadores de este análisis fueron Frank y Lillian Gilbreth. Ellos fueron los primeros en realizar estudios de movimientos manuales y formularon leyes en la economía de movimientos que hasta hoy en día son consideradas como fundamentales.

2.13. Procedimiento para un estudio de métodos según (OIT)

2.13.1. Seleccionar

Consiste en establecer cuál es el problema, caracterizarlo, buscar toda la información mínima necesaria y suficiente relacionada con los hechos, descartar entre la información real y la ficticia, tener presente los diferente aspectos de referencias de las unidades involucradas, emplear la observación directa para representar los hechos, garantizar la confiabilidad y seguridad de la fuente de información, evaluar los beneficios económicos que traería su solución, su factibilidad y el impacto. Es la etapa más importante del procedimiento.

2.13.2. Registrar

Consiste en la representación gráfica de los hechos tal cual como son y no como aparentan en el paso anterior. Esto se hace fundamentalmente a través de la observación directa y utilizando como herramienta gráfica los diagramas. Este debe hacerse bajo 2 puntos de vista.

- Desde el área de puesto de trabajo
- Desde el taller (específico y general)

Los diagramas son:

- Diagrama de operaciones
- Diagrama de proceso
- Diagrama de flujo recorrido
- Diagrama hombre- maquina
- Diagrama bimanual

2.13.3. Examen crítico

Es una etapa que consiste en revisar, cuestionar, poner a prueba y escudriñar la información que se tiene relacionada al problema. Se realiza con espíritu crítico, sin ningún tipo de sesgo, recomendando revisar la dimensión y alcance de lo que se quiere hacer, con el objetivo de poner a prueba la propuesta evaluando 5 elementos: Propósito, medios, personas, sucesión, lugar.

Técnicas del interrogatorio: Es el medio para efectuar el examen crítico sometiendo sucesivamente cada actividad a una serie sistemática y progresiva de preguntas como se muestra a continuación:

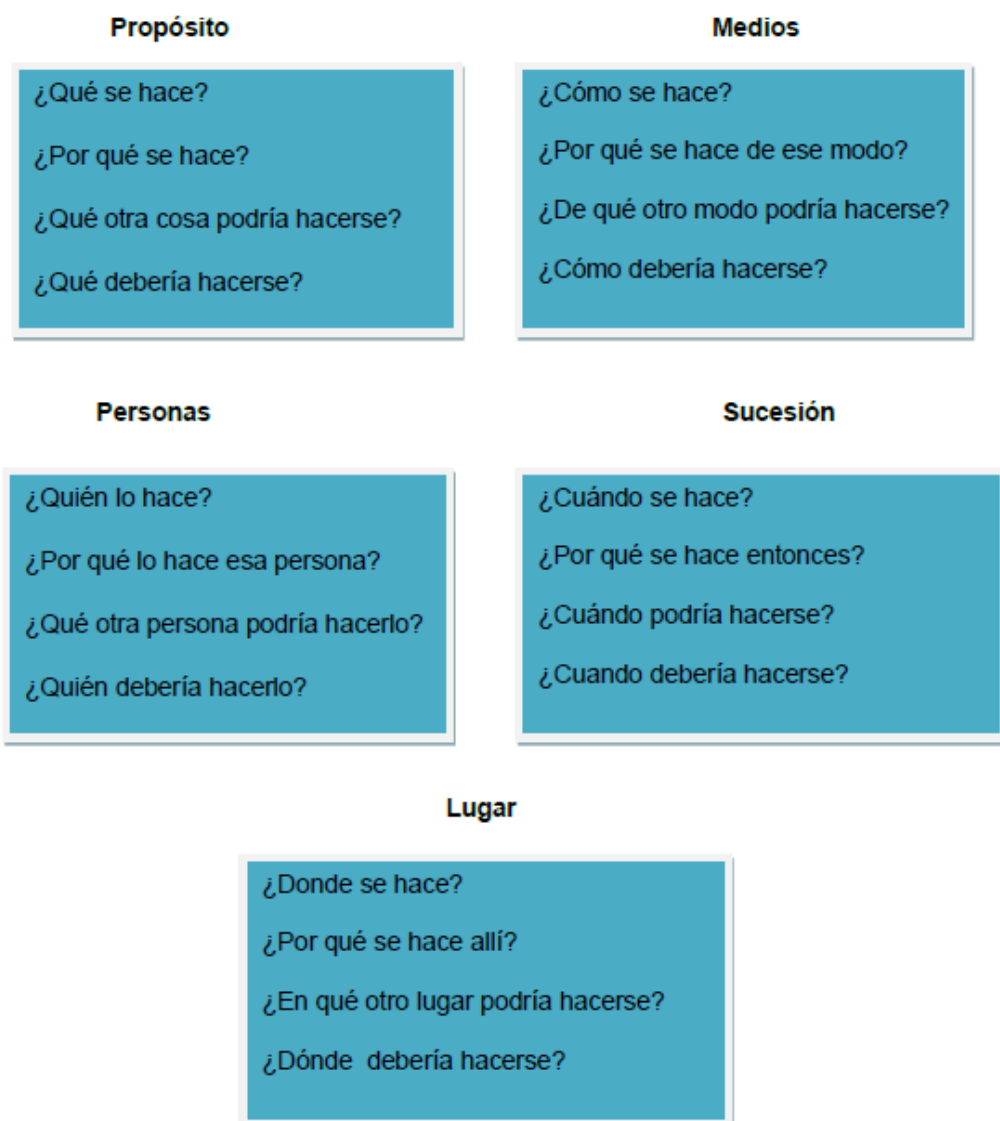


Ilustración 12. Preguntas OIT para técnicas interrogatorio

- **Idear**

En esta etapa se debe buscar la manera y la forma de tener en cuenta las nuevas ideas, los aspectos innovadores, los diferentes puntos de vistas de forma tal que se pueda crear una nueva forma de hacer el trabajo con detalles mejorados. Es recomendable que se considere los aspectos anteriores para evaluar la necesidad de alguna modificación o inclusión. Además se debe dar garantía de lo que se está modificando de manera tal de mejorar las condiciones de trabajo.

- **Definir**

Abarca las descripciones detallada de los siguientes aspectos: procedimientos a utilizar, disposición del local o el área, ubicación de los equipos y maquinarias, entradas y salidas, característica de los equipos, cantidad, disponibilidad, mantenimiento, materiales: cantidad y calidad.

- **Implantar**

La empresa debe buscar la forma de garantizar que todas las propuestas para la creación del nuevo método mejorado se den; es decir, debe planificar y ejecutar aquellas acciones que propendan a garantizar las soluciones propuestas. Además se debe disponer de los recursos necesarios para su materialización y debe existir la disposición de la gerencia a apoyar la propuesta de forma conjunta con todas las unidades involucradas.

- **Mantener en uso**

Etapas que consiste en revisar de forma periódica a intervalos regulares el comportamiento, impactos y resultados del método propuesto de forma tal que se puedan detectar aquellas desviaciones que pudieran ser evaluadas para correcciones futuras. Cada empresa debe desarrollar sus propios mecanismos y sistema de control que garanticen la efectividad de la propuesta, produciendo mejoras considerables en: distribución de la planta, ubicación de los locales, área de almacenamiento, condiciones de trabajo y eficiencia general en el uso de los recursos. Esto significa que se generaran mayores niveles de productividad, es decir, mayor cantidad de unidades fabricadas por un aprovechamiento mejor de los recursos en la misma unidad de tiempo.

2.14. Estudio de Tiempo

Este estudio consiste en determinar con la mayor precisión dentro de lo posible, a través de un número determinado de observaciones, el tiempo necesario para la realización una actividad determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

2.14.1. Elementos y preparación para el Estudio de Tiempos

Para la realización de un estudio de tiempos, es necesario que el analista tenga la experiencia y conocimientos necesarios, con el fin de que tenga basta comprensión sobre una serie elementos requeridos para llevar a cabo un buen término de estudio.

Selección de la operación: Que operación se propondrá para su medición. Su tiempo, en primer orden es una decisión que depende del objetivo general que perseguimos con el estudio de la medición.

Selección del operador: Para la elección del trabajador se debe tener en consideración los siguientes puntos: Habilidad, deseo de cooperación, temperamento y experiencia.

2.14.2. Actitud frente al trabajador

- El estudio debe hacerse a la vista y conocimiento de todos.
- El analista debe observar todas las políticas de la empresa y cuidar de no criticarlas con el trabajador.
- No debe discutirse con el trabajador ni criticar su trabajo sino pedir su colaboración.
- Es recomendable comunicar al sindicato la realización de estudios de tiempos.
- El operario espera ser tratado como un ser humano y en general responderá favorablemente si se le trata abierta y francamente.

2.14.3. Análisis de comprobación del método de trabajo

En ningún caso se debe proceder a cronometrar una actividad u operación que no posea un procedimiento establecido o haya sido normalizada.

En las normas establecidas dentro de los procedimientos se debe tener especificado el lugar de trabajo junto con sus características, la maquinaria y las herramientas necesarias, además de los materiales. También se debe contemplar el equipo de seguridad que es requerido.

En estas normas se especifican el lugar de trabajo y sus características, las máquinas y herramientas, los materiales, el equipo de seguridad que se requiere para realizar dicha operación como mascarilla, extinguidores, delantales, lentes, botas, etc.

Una mantención estandarizada o normalizada tiene como significado que el trabajo era entregado siempre en la misma condición. Claro está siempre y cuando las condiciones de trabajo y los procedimientos a seguir, posean siempre la similitud necesaria.

2.14.4. Ejecución del estudio de tiempos

Se debe siempre con cada entrada de información, registrar esta y organizarla. Además, es de mucha importancia que el analista encargado proceda a registrar toda la información obtenida mediante una modalidad de observación directa, en caso de que sea necesario posteriormente consultar el estudio de tiempos.

La información se puede agrupar de la siguiente manera:

- Información que permita identificar el estudio de cuando se necesite.
- Información que permita identificar el proceso, el método, la instalación o la máquina.
- Información que permita identificar al operario.
- Información que permita describir la duración del estudio.

2.14.5. Principios de economía de movimientos:

Las mejoras de métodos conllevan a cambios en el equipo y su distribución. Normalmente un análisis detallado de las ubicaciones de las piezas en el lugar de trabajo y los desplazamientos necesarios para realizar la actividad, se reflejan en mejoras importantes. Una de las fuentes con mayor oportunidad en la industria hoy en día, es la realización de movimientos innecesarios debido a la mala logística y planificación previa a las mantenciones de los equipos.

2.14.6. Estudio de tiempo con cronometro

El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

Un estudio de tiempos con cronómetro se lleva a cabo cuando:

- Se va a efectuar una nueva actividad, operación o tarea.
- Se presentan quejas de los mantenedores o de sus representantes sobre el tiempo de una operación.
- Se encuentran tiempos muertos o retrasos por una operación lenta, que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- Se pretende fijar los tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- Se encuentran bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de alguna máquina o grupo de máquinas.

Pasos para su realización

- Seleccionar la operación.
- Seleccionar al trabajador.
- Realizar un análisis de comprobación del método de trabajo.
- Establecer una actitud profesional frente al trabajador.

Ejecución

- Obtener y registra la información.
- Descomponer la tarea en elementos.
- Cronometrar el tiempo
- Calcular el tiempo observado.

Valoración

- Valorar el ritmo normal del trabajador promedio.
- Aplicar las técnicas de valoración.
- Calcular el tiempo base o el tiempo valorado.

Suplementos

- Análisis de demoras.
- Estudio de fatiga.
- Cálculo de suplementos y sus tolerancias.

Tiempo estándar

- Error de tiempo estándar.
- Cálculo de frecuencia de los elementos.
- Determinación de tiempos de interferencia.
- Cálculo de tiempo estándar.

2.15. Tiempo Estándar

El tiempo estándar se puede definir como el patrón que mide el lapso de tiempo que se necesita para finalizar una actividad de mantenimiento, utilizando el método y equipo estándar. Esto medido para un mantenedor o trabajador que posee la habilidad necesaria, implementando una velocidad estándar que pueda mantener en el transcurso del tiempo.

Ventajas de la aplicación de los tiempos estándar

- Reducción de los costos; al descartar el trabajo improductivo, la razón de rapidez de producción es mayor.
- Mejora de las condiciones obreras; los tiempos estándar permiten establecer sistemas de pagos de salarios con incentivos.
- Es una herramienta que ayuda a establecer estándares de producción precisos y justos. Además de indicar lo que puede producirse en un día normal de trabajo, ayuda a mejorar los estándares de calidad.

2.16. Método de calificación (Sistema Westinghouse)

El sistema de calificación más antiguo y de los más empleados, es el desarrollado por la Westinghouse Electric Corporation, que describen en detalle Lowry, Maynard y Stegemerten. Este método contempla cuatro factores para realizar la evaluación de acción del mantenedor, los cuales son habilidad, esfuerzo, condición y consistencia.

La habilidad se define como "pericia en seguir un método dado" y se puede explicar más relacionándola con la calidad artesanal, revelada por la apropiada coordinación de la mente

y las manos. La destreza de un mantenedor se determina por la experiencia y sus aptitudes inherentes, como la coordinación y el ritmo empleado para realizar la actividad. La experiencia y práctica reflejará una tendencia a mejorar un desarrollo en su habilidad, pero será muy difícil compensar por completo las deficiencias en aptitud natural.

3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

En este trabajo de título se abarcan los siguientes tipos de investigaciones:

1. Exploratoria: se conoce también como un estudio piloto, y se refiere a los estudios que se realizan por primera vez. También son empleados para captar problemáticas presentes en operaciones.
2. Descriptiva: es un tipo de investigación que permite describir y registrar de cómo está compuesta la organización tal como son observados.
3. Evaluativa: el fin de esta investigación es analizar el problema identificados en la organización con tal de ofrecer mejoras y propuestas para la problemática identificada.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño empleado para este estudio fue de campo, en donde se recolectó la información de forma directa de la realidad (datos primarios) mediante técnicas específicas de trabajo de

campo como las entrevistas, las encuestas y la observación científica. Las variables que se obtuvieron en este estudio no fueron controladas ni manipuladas.

3.3. Población y muestra

El área de Minera Collahuasi en donde se enfocó el estudio fue la de Bombas GEHO, que son las encargadas de bombear todo el concentrado de cobre producido. Esta área cuenta con dos grupos de mantenedores, las cuales suman 6 personas en total, para realizar todo los trabajos de mantención correspondientes. Los grupos de mantenedores se categorizaran como grupo A y grupo B, los cuales trabajan con turnos de 7x7 días. Dentro de las mismas mantenciones existen tareas realizadas por otras gerencias de la compañía las cuales corresponden a: Predictivo, Lubricación, Instrumentistas y Eléctricos.

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que fueron utilizadas para realizar la investigación, además de sus respectivos instrumentos fueron los nombrados a continuación:

- Observación directa: Consistió en observar o captar mediante la vista de una forma sistemática los hechos o situaciones. Los instrumentos empleados fueron básicamente cuaderno de notas, toma fotográfica y videos.
- Check Lists: Ordenamiento de tareas u objetivos con distintas características a revisar, con el fin de saber si se están cumpliendo, cuanto demoran, etc., de modo de obtener información relevante de las tareas a estudiar y mejorar. Los instrumentos realizados fueron libreta de notas, toma fotográfica, cámaras de video.
- Entrevista: Es una técnica que va más allá de un simple interrogatorio. Se basó en un diálogo o conversación entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado de tal manera que el entrevistador pudiera obtener la

información requerida. Los instrumentos utilizados fueron cuaderno de notas, grabador y cámara de video.

- Consultas bibliográficas: Fue utilizada para establecer el marco teórico.

3.5. Descripción del problema y propuesta

Este capítulo se orientará a la problemática en cuestión, donde también se describirán la metodología a utilizar para intentar proponer una solución.

3.6. Definición de la problemática

La producción de Minera Collahuasi está directamente relacionada con la disponibilidad y la operación de todos sus activos físicos. Estos activos están presentes desde la etapa de extracción, etapa de concentrado, de bombeo hasta de carguío en puerto patache. Los factores primordiales en una buena disponibilidad de un equipo o activo son las mantenciones y el control en la operación.

Como problemática en la estación de bombeo de concentrado de Minera Collahuasi, se detectó una significativa variación, entre los dos grupos de mantenedores, en los tiempos de mantención de las Bombas GEHO ZPM 1200. Lo que repercute en impactos a la producción, al estándar de calidad de las mantenciones, como también genera inconvenientes en la programación de las tareas para el Plan Matriz de las Bombas GEHO.

Asegurar una buena operación y disponibilidad en las Bombas GEHO, es de crucial importancia dado que son los únicos equipos encargados de bombear el concentrado de cobre hacia el puerto de patache, para luego ser cargado en los barcos.

3.7. Propuesta

Como bien se definió la problemática en el punto anterior, se plantea como posible solución al requerimiento de la compañía, realizar un estudio de tiempo y movimientos, con el fin de generar mejoras tanto en mantenciones como en la operabilidad de las bombas GEHO ZPM 1200.

El realizar un estudio de movimientos y tiempos arrojará focos u oportunidades de mejora para la gestión del mantenimiento de los mantenedores en las bombas. Esto con el propósito de mostrar una directriz a la compañía de una cultura de mantenimientos optimizada y eficaz, mejorando los indicadores de rendimientos tanto de los equipos como de los cumplimientos de los planes matrices para el área mencionada.

De este estudio se abarcaran las siguientes mejoras:

- Disminución de variabilidad en tiempos de mantención preventiva de Bombas GEHO.
- Disminución en Horas Hombre a emplearse en mantención de Bombas GEHO
- Mejoramiento de disponibilidad de equipos de bombeo de concentrado de cobre.
- Disminución en costo de mantención.
- Aumento de calidad de mantención mediante mejoramiento al procedimiento de mantención.

3.8. Metodología

- a. Se procedió a conocer área de Bombas Geho y a ambos grupos de mantenedores, con el fin de ganar su confianza y consentimiento para realizar el estudio con total transparencia.
- b. Se realizó estudio de Pareto y Jack Knife para mantenciones planificadas, con el fin de obtener los trabajos de mantención que tuviesen mayor oportunidad de mejora y además que se pudieran inspeccionar en numerosas ocasiones con el propósito de obtener resultados demostrativos.
- c. Se observó y analizó en forma detallada el trabajo de mantención planificado elegido mediante las herramientas descritas anteriormente, identificando problemas y oportunidades de mejora.

- d. Se realizó un estudio de vectores para los principales traslados de los mantenedores tanto en las mantenciones no planificadas que se pudiesen presentar como también en la mantención planificada elegida para el estudio.
- e. Debido a incoherencias y variabilidad entre ambos grupos de mantenedores, se procede a confeccionar nueva tabla de inspección, con el fin de analizar de modo más detallado a ambos grupos.
- f. Una vez establecidos los objetivos de la investigación, se desarrolló el examen crítico establecido por la OIT compuesto por las preguntas preliminares, técnica del interrogatorio y análisis operacional.
- g. Una vez analizados los resultados del examen crítico y los diagramas, se procedió a diseñar un nuevo procedimiento de trabajo donde se plantearon cambios en los aspectos que lo requirieron con el objetivo de mejorar el proceso.
- h. Culminado el estudio de movimientos, se realizó el estudio de tiempos y muestreo para reforzar los resultados anteriores.
- i. Finalmente se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones necesarias de los aspectos analizados previamente y de esta manera dar por terminado el estudio de métodos.

4. ESTUDIO MANTENCIÓN BOMBAS GEHO

4.1. Identificación del contexto del estudio.

El estudio se realizó en la estación de Bombeo de concentrado de Minera Collahuasi. Esta estación consta de 2 bombas de precarga, las cuales preparan el concentrado para enviarlo a las 3 Bombas GEHO. Se analizó las 3 Bombas GEHO, las cuales se identifican como 220PP149, 220PP150 y 220PP151.

Estas bombas poseen una capacidad de flujo máximo de 118 (m³/hora), además trabajan con una presión máxima de 24 (MPa). La cadencia con la cual operan estos equipos es de 66 (SPM), y esto lo realizan con pistones de 155 (mm) de diámetro recorriendo una carrera de 0,5(m).

Esta área cuenta con 4 mecánicos para realizar sus tareas de mantención. Estos mecánicos se distribuyen en 2 grupos de trabajo que poseen turnos de 7x7. Ellos son los encargados de realizar todas las tareas de mantención preventiva y correctiva de toda el área de bombeo de concentrado de cobre de Minera Collahuasi.



Ilustración 13. Bomba GEHO 220PP151

4.2. Identificación de tareas de mantención

Para conseguir resultados atractivos para la compañía se debió realizar un análisis previo con el fin de encontrar la o las mantenciones que se realicen con mayor frecuencia al año, y además que se llevarán la mayor cantidad de horas de disponibilidad de los equipos. Con el fin de tener la posibilidad de analizar en varias ocasiones la mantención en terreno y además poder reducir una cantidad significativa de horas en tareas de mantención.

Para esto se procedió a generar un diagrama con el fin de encontrar que mantención preventiva poseía la mayor cantidad de horas de detención de las Bombas GEHO.

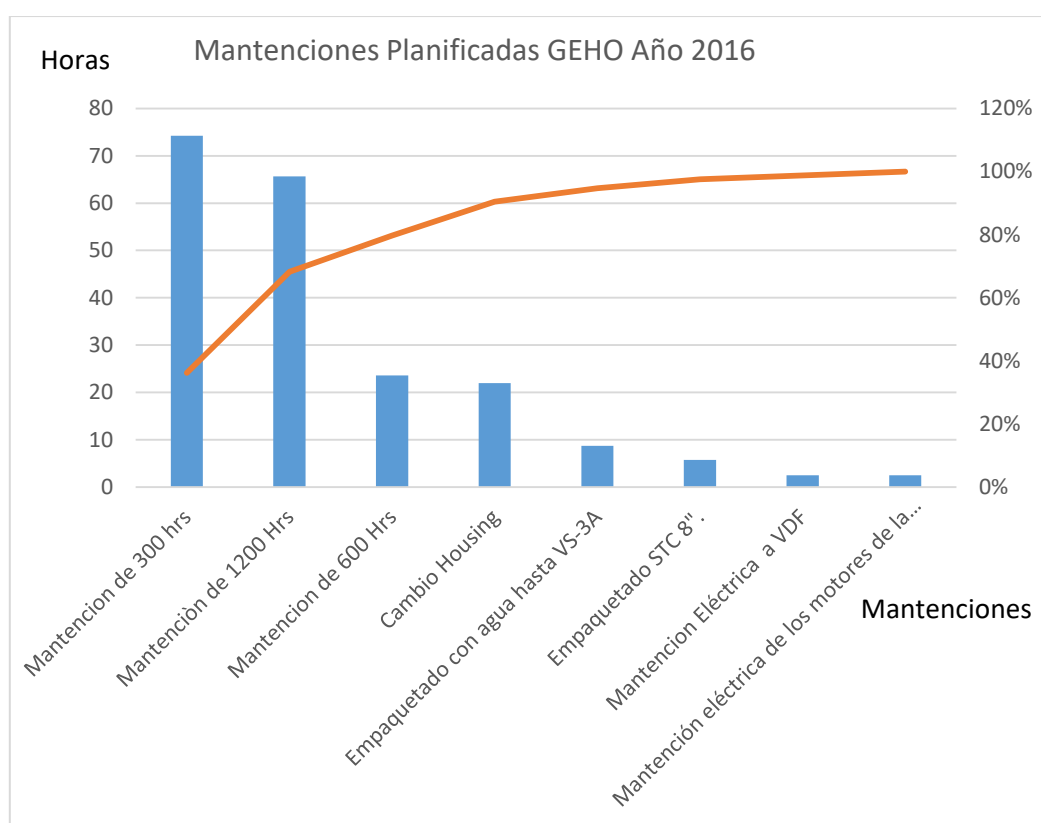


Ilustración 14. Grafico Pareto mantenciones planificadas Bomba GEHO

Como se puede apreciar en el diagrama de Pareto, la mantención de 300 Horas y la mantención de 1200 horas son las que tienen la mayor cantidad de horas detenidas a las Bombas GEHO.

Habiendo realizado este análisis, se procedió a identificar cual es la mantención que tiene una mayor frecuencia al año con el fin de poder realizar las muestras necesarias para obtener resultados más realistas.

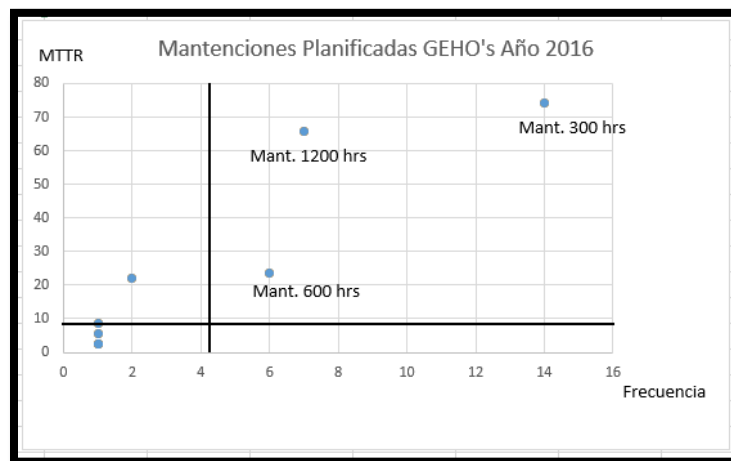


Ilustración 15. Grafico Jack Knife Mantenciones Planificadas Bombas GEHO

En el diagrama de Jack Knife se aprecia como en el cuadrante de las mantenciones que tienen mayor frecuencia y además se llevan mayor tiempo en detención del equipo se encuentran las mantenciones de 300 Horas, la de 1200 Horas y la de 600 Horas.

Analizando detalladamente el diagrama se aprecia que la mantención de 300 horas supera por el doble en frecuencia a las demás mantenciones preventivas. En base a esto, se puede seleccionar la mantención de 300 Horas como la indicada para realizar el estudio correspondiente de este trabajo de título.

4.3. Procedimiento actual de Mantención de 300 horas

El procedimiento actual de la mantención preventiva de las 300 horas para las bombas GEHO consta de un cambio preventivo de las válvulas cónicas para las cámaras de succión y descarga, además se realizan inspecciones y muestreos con el fin de mantener controlada a la bomba frente a presentes fallas. Las actividades de mantención se describen en el siguiente diagrama y se realizan en ese orden teóricamente.

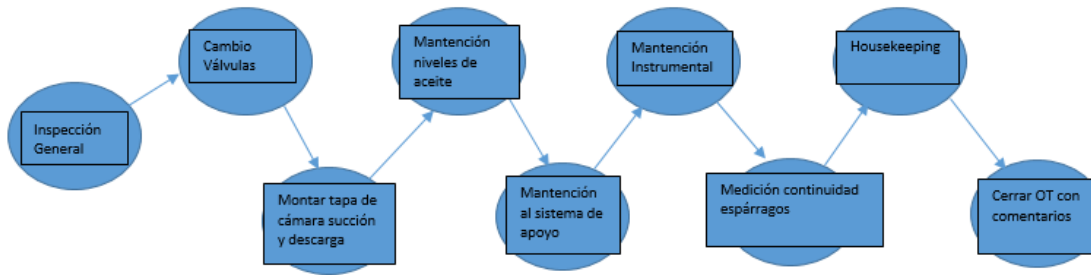


Ilustración 16. Actividades de mantenimiento de 300 horas

A continuación se explicara detalladamente cada actividad involucrada en la mantención de 300 Horas de las Bombas GEHO.

Inspección General:

Se debe comprobar que no hayan fugas de aire, aceite o concentrado de cobre. También se realiza una inspección visual de los pernos de la tapa del housing de succión y de descarga. Luego se efectúa una revisión visual de estado de acoplamiento de alta y de baja. Finalmente se inspecciona la caja del sensor de posición, verificando que esté limpia y sin líquidos.

Medición de continuidad de espárragos con ultrasonido:

Se debe realizar una medición de los espárragos de la tapa del housing de succión, de la tapa del housing de descarga y finalmente de la tapa del housing de diafragma.

Mantención de Válvulas Cónicas:

Esta mantención es la principal de todas las tareas que se debe realizar. Se realiza el cambio preventivo y obligatorio de las válvulas cónicas, asiento de válvulas, elastómeros, o`ring menor y del o`ring mayor. Además se debe inspeccionar la porta buje de descarga, porta buje de succión, buje, seguro del buje, centrador de válvulas, sello tapa de housing de succión y descarga, y del pin del centrador de válvulas.

Apriete de Espárragos de Tapas de housing succión/descarga:

Esta etapa se compone por la aplicación del torque a los espárragos que sujetan las tapas de los housing. Este procedimiento debe realizarse con una metodología definida, con

torques y presiones especificadas por manual de Bombas GEHO. Con la ayuda de una Maximator calibrada y de una llave de Torque. Se debe trabajar con una presión de 1850 (bar) y un torque de 400 (Nm).

Mantenimiento de niveles de aceite:

Consiste en la revisión y/o relleno del nivel de aceite del sistema de propulsión, del sistema power end y del reductor de velocidad.

Muestreo de aceites:

El muestreo de aceites se debe hacer a los siguientes componentes: líquido de propulsión, power end y reductor de velocidad. Luego del análisis se debe entregar un informe con el estudio tribológico de las muestras tomadas para realizar limpiezas o cambios de este con el fin de mantener la integridad y el buen funcionamiento del equipo.

Mantenimiento al sistema de apoyo:

Consiste en la revisión de la presión en los siguientes componentes: damper de succión/descarga, al sistema de válvulas de alivio, al sistema neumático y al sistema de carga de líquido de propulsión.

Mantenimiento instrumental:

El mantenimiento instrumental se basa en la mantención a sensores de válvula 2/2, en donde se debe revisar el estado de membranas, estado de la punta de agujas de teflón y la resistencia al corte. Se realiza el chequeo del funcionamiento de los sensores de posición del eje del diafragma. Finalmente se procede a la revisión de los siguientes componentes: sensor de nivel de aceite, sensores switch de presión diferencial, RTD, sensor de flujo y manómetros defectuosos.

Mantenimiento eléctrica:

La mantención eléctrica se basa en la inspección de tres componentes: motor principal y bomba de lubricación, partidor de media tensión y tablero de control.

Mantenimiento válvula de despiche de 3”:

En esta actividad hay que abrir y cerrar la válvula con el fin de comprobar una correcta operación. Además se debe lubricar cuchilla de válvula, y finalmente revisar el estado mecánico.

Ordenar área de trabajo (Housekeeping):

Reponer protecciones de tapa para evitar proyección de pernos por posibles cortes. Dejar pisos libre de aceites y/o residuos que podría generar caídas de personal.

4.4. Estudio del Procedimiento en Terreno

Antes de dirigirse a terreno, se analizaron los datos estadísticos de años anteriores sobre las detenciones del equipo debido a la mantención de 300 horas de las bombas GEHO. Se concluyó que existe una gran variabilidad para las 3 bombas para esta misma mantención planificada, siendo que posee un tiempo programado por plan matriz. Las variaciones se pueden observar en los gráficos de a continuación:

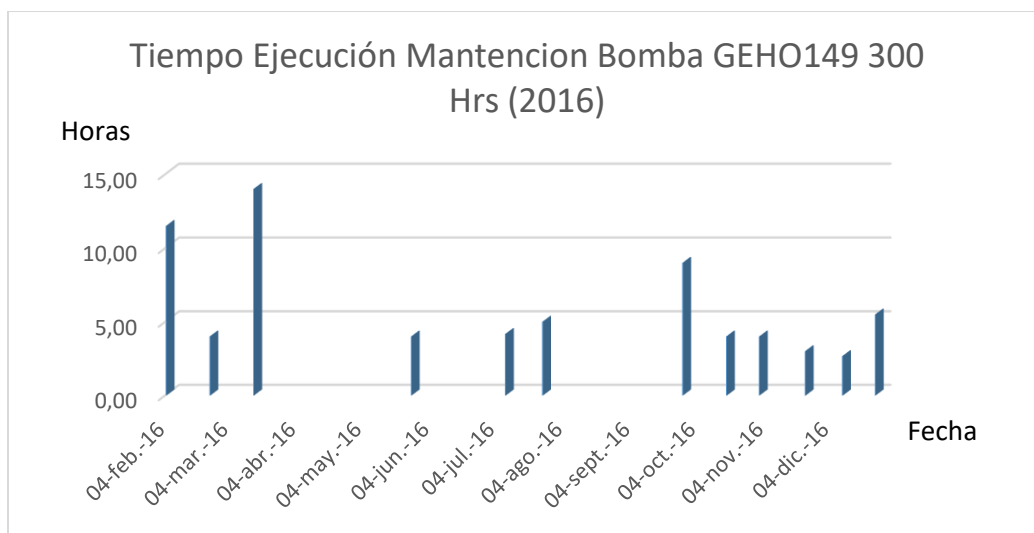


Ilustración 17. Mantenciones 300 horas GEHO 149

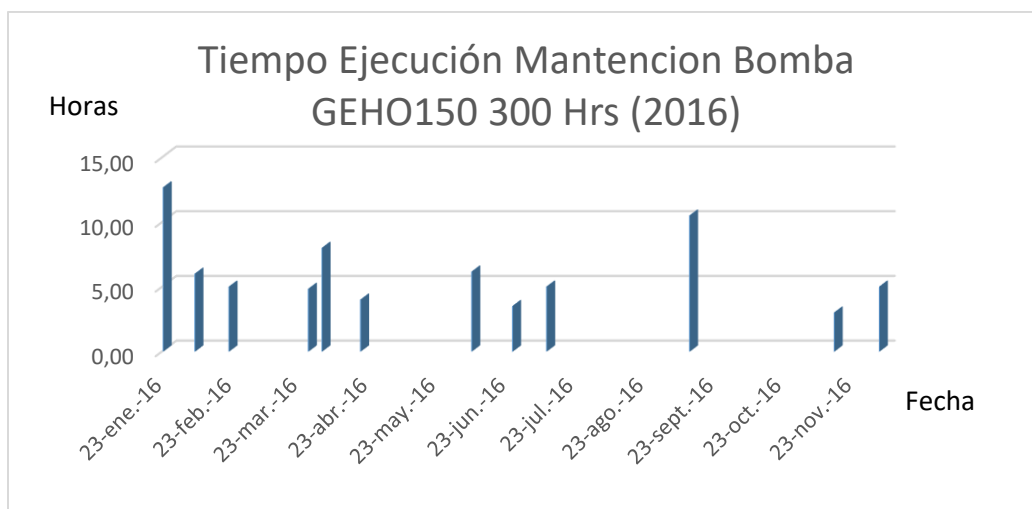


Ilustración 18. Mantenciones 300 horas GEHO 150

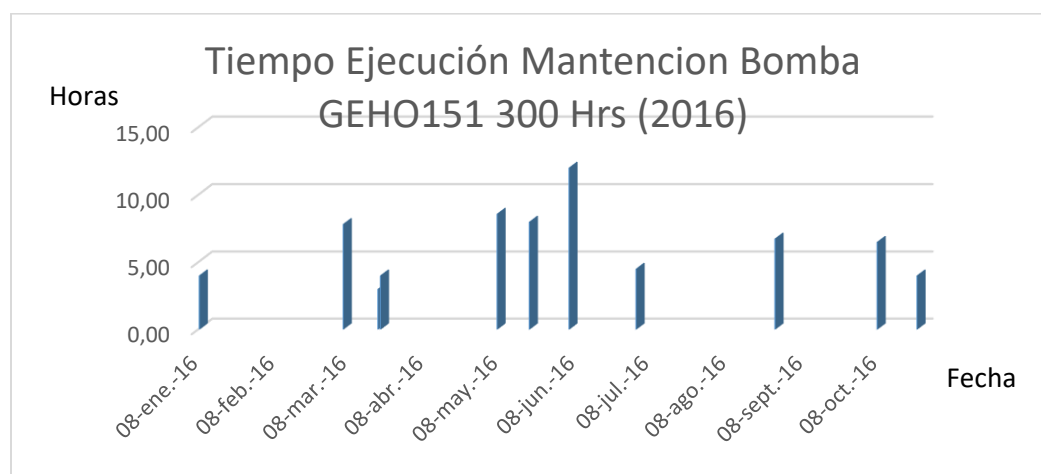


Ilustración 19. Mantenciones 300 horas GEHO 151

En los gráficos presentados se puede apreciar una clara variabilidad para la misma actividad de mantención planificada. En la Bomba GEHO 149 se tuvo un tiempo medido máximo de 14 horas y un tiempo mínimo medido de 2,36 horas. Para la bomba GEHO 150 y GEHO 151, se tuvo un tiempo máximo medido de 12 horas y un tiempo mínimo de 3 horas. Estos resultados indican problemas en terreno respecto a esta mantención, por lo que, como parte del estudio en terreno, se construyó una tabla de inspección en donde se corrobora que se cumplan todas las actividades de la mantención. Se medirá el tiempo empleado por actividad y las horas hombre empleadas.

Luego de desarrollar la tabla, se procedió a realizar el análisis correspondiente en terreno para los dos turnos de trabajo 7x7 que trabajan para la estación de Bombeo. Llamaremos A y B a los turnos, de modo de realizar un estudio demostrativo para visualizar lo que sucede en terreno. Los datos a continuación muestran los tiempos y datos tomados para cada uno de los turnos.

Pauta según instructivo	Check List	N° Personas	Horas ocupadas	HH
Inspección General	SI	1	00:05 / 0,083	0,083
Medición Continuidad de espárragos con ultrasonido	SI	2	00:54/ 0,9	1,8
Mantenición de Válvulas	SI	2	01:07/ 1,1166	2,2332
Montar tapa de cámara succión y apriete de espárragos housing	SI	2	00:59 / 0,983	1,966
Mantenición de niveles de aceite	SI	1	00:07 / 0,1166	0,1166
Muestreo de Aceite	NO			
Mantenición al sistema de apoyo (Revisión de presiones)	SI	1	00:05 / 0,083	0,083
Mantenición instrumental	SI	1	00:55 / 0,916	0,916
Mantenición Eléctrica	NO			
Mantenimiento válvula despiche	NO			
Ordenar área de trabajo (Realizar Housekeeping en área de trabajo)	SI	1	00:43 / 0,716	0,716
Cerrar la OT con comentarios	SI	1	00:30 / 0,5	0,5
TOTAL	75% Cumplimiento	-	5,414	8,4136

Ilustración 20. Datos tomados para Turno A

Pauta según instructivo	Check List	N° Personas	Horas ocupadas	HH
Inspección General	SI	1	00:09 / 0,15	0,15
Medición Continuidad de espárragos con ultrasonido	SI	2	01:07/ 1,1166	2,2332
Mantenición de Válvulas	SI	2	01:32/ 1,75	3,5
Montar tapa de cámara succión y apriete de espárragos housing	SI	2	01:57 / 2,9333	5,8666
Mantenición de niveles de aceite	SI	1	00:06 / 0,1	0,1
Muestreo de Aceite	NO			
Mantenición al sistema de apoyo (Revisión de presiones)	SI	1	00:04 / 0,0666	0,0666
Mantenición instrumental	SI	1	01:23 / 1,383	1,383
Mantenición Eléctrica	NO			
Mantenimiento válvula despiche	NO			
Ordenar área de trabajo (Realizar Housekeeping en área de trabajo)	SI	1	01:36 / 1,6	1,6
Cerrar la OT con comentarios	SI	1	00:28 / 0,4666	0,4666
TOTAL	75% Cumplimiento	-	9,5661	15,4648

Ilustración 21. Datos tomados para Turno B

En las tablas de toma de datos de ambos turno se puede apreciar que en ambos turnos se ve claramente que solo se cumplen el 75% de las actividades, no realizándose el muestreo de aceites por parte del departamento de lubricación, la mantención eléctrica por parte de los profesionales encargados y la mantención de la válvula de despiche por parte de instrumentistas. Se aprecia que la actividad esencial de esta mantención es el cambio de válvulas cónicas y se está realizando. Por otro lado, existe una diferencia notable entre los dos turnos respecto al tiempo utilizado para tal actividad, dando como resultado una duplicación de las horas hombres empleadas para esta mantención planificada.

Otra conclusión por parte del análisis se puede apreciar en el siguiente diagrama de flujo en donde se remarcan formas de ejecución y orden de ruta de algunas actividades.

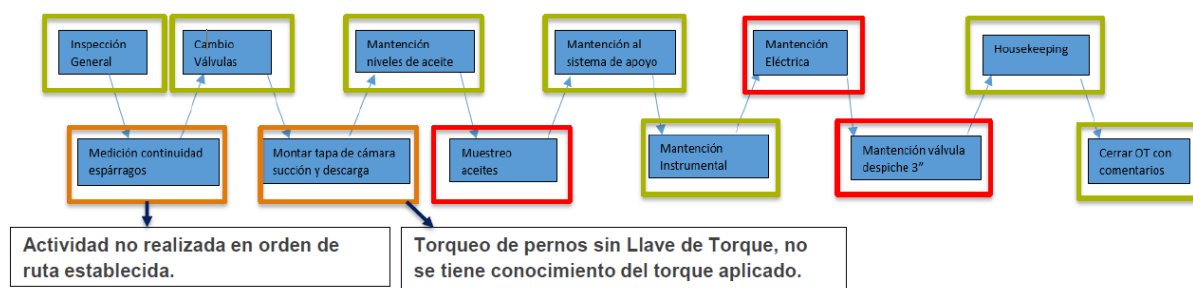


Ilustración 22. Ruta de actividades real de mantenimiento de 300 horas Bombas GEHO

En el diagrama se aprecia claramente que las actividades encerradas en un recuadro verde, son aquellas que se realizaron en una correcta ejecución y en un correcto orden respecto al procedimiento establecido. Las actividades encerradas en un recuadro rojo son aquellas que no se realizaron al igual como indicaron las tablas de análisis que se mostraron anteriormente. Las actividades encerradas en un recuadro naranja, se realizaron en un orden incorrecto o se realizaron de una manera incorrecta.

Para la medición de espárragos por ultrasonido realizado por el departamento de análisis predictivo se realizó en un orden incorrecto, los profesionales hicieron la medición al finalizar la mantención de 300 horas, cuando por procedimiento se debe realizar antes de intervenir el equipo. El torqueo de los pernos en las tapas de housing de succión o descarga se realizaron si llave de torque aplicando un torque desconocido mientras que por procedimiento se debe aplicar un torque específico de 400 (Nm).

4.5. Procedimiento mejorado mantención de 300 horas

De modo de no realizar un estudio de tiempo con un procedimiento que posee deficiencias y variabilidades en la realización y duración de las actividades, se procedió a confeccionar un procedimiento nuevo a partir del existente de modo de mantener la directriz existente. El nuevo procedimiento se enfocó en mantener las actividades del procedimiento existente y se crearon anexos de cómo realizar las actividades detalladas y extraídas del manual de Bombas GEHO, además de apoyar con procedimiento de Torqueo y Check Lists para el cumplimiento de las actividades firmada por el Jefe de Área.

A continuación se muestra la estructura del procedimiento mejorado.

En primer lugar, se muestran el orden y actividades a realizar.

6.2 Lista de actividades.

N°	ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA TAREA	Cumple SI/NO	Comentarios
	Detención y bloqueo del equipo			
1	Inspección general	1.1 Compruebe que no haya fugas de aire, aceite y concentrado 1.2 Eliminar fugas de aceite (si las hubiese) 1.3 Revisión general de pernos de la tapa 1.4 Revisión visual de estado de acoplamiento de alta (lado motor) y baja (lado bomba) 1.5 Revisar la caja del sensor de posición, debe estar limpia y sin líquidos.		
2	Medición de continuidad de espárragos con ultrasonido	2.1 Medición de espárragos de tapa de housing de succión 2.2 Medición de espárragos de tapa de housing de descarga 2.3 Medición de espárragos de tapa de housing de diafragma Nota: Cambiar espárragos si se encuentran discontinuidades.		
3	Mantenimiento de Válvulas	3.1 Cambio de válvulas cónicas. (cod. 71746) 3.2 Cambio de asiento de válvulas.(cod. 71738) 3.3 Cambio de elastómeros. (cod. 150565) 3.4 Cambio de o'ring menor. (cod. 71795) 3.5 Cambio de o'ring mayor.(cod. 71795) 3.6 Revisión y/o cambio porta buje descarga 3.7 Revisión y/o cambio de porta buje succión. 3.8 Revisión y/o cambio de buje. 3.9 Revisión y/o cambio de seguro del buje. 3.10 Revisión y/o cambio de centrador de válvulas. 3.11 Revisión y/o cambio de sello tapa de válvula. 3.12 Revisión y/o cambio de pin del centrador de válvulas. Nota : Del punto 3.6 al 3.12 cambiar componentes si se encuentra con daños que comprometan la operación normal de bomba.		
4	Apriete de Espárragos Tapas housing	4.1 Dar torque de apriete de espárragos de tapa de housing succión 400 Nm, asegurar levante presión de maximator a 1850 bar. 4.2 Dar torque de apriete de espárragos de tapa de housing de descarga 400 Nm, asegurar levante presión de maximator a 1850 bar 4.3 Dar torque de apriete de espárragos de tapa de housing de diafragma Nm, asegurar levante presión de maximator a 1450 bar		

Ilustración 23. Lista actividades mantención 300 horas

N°	ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA TAREA	Cumple SI/NO	Comentarios
3	Mantenición de niveles de aceite	3.1 revisión y/o relleno del nivel de aceite del sistema de propulsión. 3.2 revisión y/o relleno de nivel de aceite del sistema del power end 3.3 revisión y/o de nivel de aceite de reductor		
4	Muestreo de aceites	4.1 Muestreo y análisis de aceite de liquido de propulsión 4.2 Muestreo y análisis de aceite de power end 4.3 Muestreo y análisis de aceite de reductor		
5	Mantenición al sistema de apoyo (Revisión de presiones)	5.1 revisión de presión en damper de succión y descarga. 5.2 revisión de presión en sistema de válvulas de alivio. 5.3 revisión de presión en sistema neumático. 5.4 revisión de presión en sistema de carga de liquido de propulsión.		
6	Mantenición instrumental	6.1 Mantenimiento instrumental a sensores de válvula 2/2, el estado de membranas, el estado de la punta de la agujas de teflón, la resistencia de resorte 6.2 chequeo del funcionamiento de los sensores de posición del eje del diafragma. 6.3 Revisión de sensor de nivel de aceite 6.4 Revisión de sensores switch de presión diferencial 6.5 Revisión de RTD 6.6 Revisión de sensor de flujo 6.7 Revisión y/o cambio de manómetros defectuosos 6.8 Mantenimiento sensores de posición válvula drenaje 3"		
7	Mantenición Eléctrica	7.1 Inspección eléctrica motor principal y bomba lubricación 7.2 Inspección eléctrica partidor de media tensión 7.3 Inspección de tablero de control		
8	Mantenimiento válvula despiche 3"	8.1 Abrir y cerrar probar correcta operación 8.2 Lubricar cuchilla de válvula 8.3 Revisar estado mecánico		
9	Ordenar el área de trabajo (Realizar Housekeeping en área de trabajo)	9.1 Reponga protecciones de tapa para evitar proyección de pernos por cortes 9.2 dejar pisos libre de aceites y/o residuos que podría originar caldas.		
10	Cerrar la OT con comentarios	Ingresar valores de tiempo real de duración de la actividad, comentarios de cierre incluyendo repuestos e insumos adicionales, dificultades encontradas, posibles mejoras al procedimiento e información clave para ser utilizada en próximas mantenciones.		

Ilustración 24. Lista actividades mantención 300 horas

Luego se procede a adjuntar los anexos que muestran el procedimiento específico de las actividades a realizar:

4.5.1. ANEXO 1 de Procedimiento Mejorado

Cambio de Válvulas Cónicas

Orden de cambio de válvulas cónicas

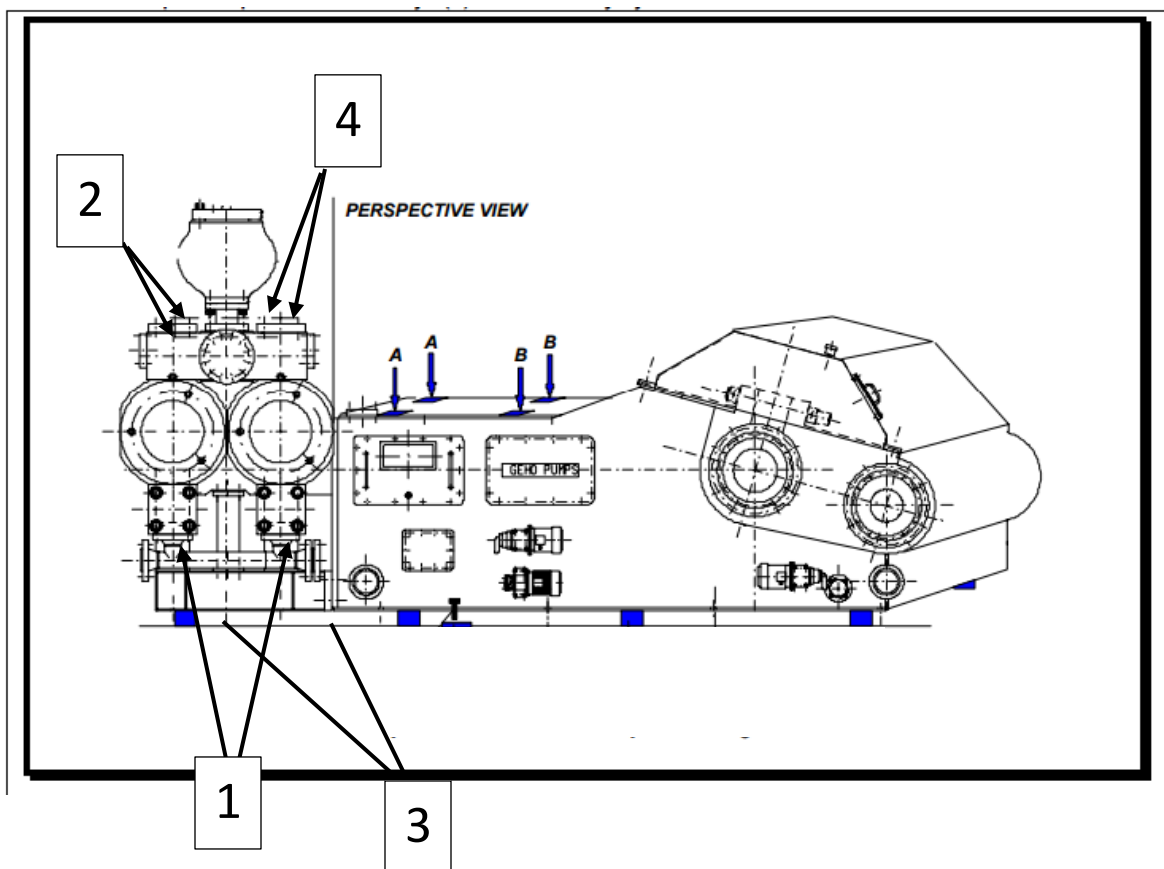


Ilustración 25. Ruta cambio de válvulas cónicas Bombas GEHO

Actividades previas a cambio de válvulas cónicas

- Acomodar plataforma de trabajo, chequear herramientas, repuestos, eslingas, grúa puente, máquina torqueadora, pistola de impacto etc.

- Verificar el buen estado mecánico y de funcionamiento de la nueva válvula que se instalará.
- Verificar la existencia y buen estado de los otros repuestos menores (espárragos, empaquetaduras, etc.)
- Respetar procedimientos SIGEI corporativos (Permiso de Trabajo, Lock Out y Análisis de Riesgos.
- Revisar la operatividad de la grúa puente de la Sala de Bombeo.
- Coordinar con el Supervisor de Operaciones la detención de las bombas GEHO y se realiza previamente el Permiso de Trabajo correspondiente. La ubicación de la válvula que se va a cambiar define que bomba se debe detener y que mineroducto de 7" o de 8" se debe empaquetar.
- Si la válvula es de alimentación o descarga de bombas GEHO 150 y 151 se debe detener estas bombas, empaquetar el mineroducto de 8" y bloquear la válvula de salida de sala de bombeo del mineroducto de 8", ya que existe la alternativa de continuar bombeando concentrado con el mineroducto de 7" con la bomba geo 149.

Montaje y desmontaje de válvulas cónicas

1. Desmontaje de cubiertas de válvulas cónicas (REVISAR ANEXO 2)

2. Válvulas de descarga

- Elimine la presión de la bomba (capítulo 4).
- Retire la cubierta del alojamiento de la válvula.
- La válvula y el resorte de compresión pueden retirarse manualmente.
- Vuelva a colocar las válvulas manualmente.

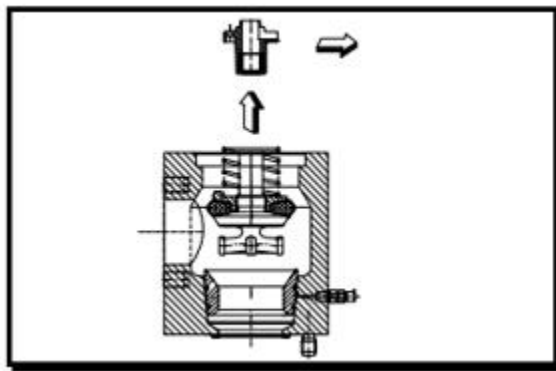


Ilustración 26. Montaje y Desmontaje de la válvula de descarga

3. Válvulas de succión

- Elimine la presión de la bomba (capítulo 4).
- Retire la cubierta del alojamiento de la válvula.
- Coloque la herramienta especial entre el resorte de la válvula y tire de la palanca hacia arriba.
- Retire el soporte, el casquillo de guía, el resorte y la propia válvula. Para insertar las válvulas, repita los pasos descritos en orden inverso.

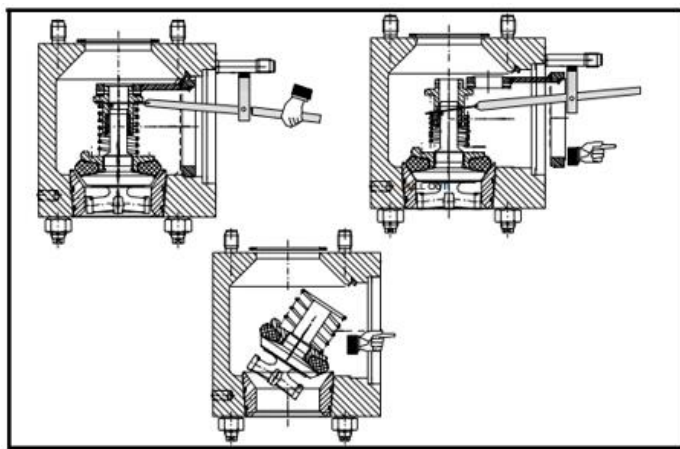


Ilustración 27. Montaje y Desmontaje de válvula de succión

4. Desmontaje de los asientos de válvula

Desmontaje con la herramienta de extracción (figuras 5.5 y 5.6)

- Coloque el bloque extractor (001) debajo del asiento de la válvula.
- Gire la tuerca (006) de manera que suba hasta el final del pasador de extracción ([a]: 002, [b]: 008).
- Introduzca el pasador de extracción con la parte de cuatro lados a través del bloque extractor (001) y gírelo 90 grados.
- Empuje el pasador de extracción ([a]:002, [b]:008) hacia arriba.
- Apriete la tuerca (006).
- Coloque la llave (004) bajo el casquillo (005) y afloje el asiento de la válvula (figuras 5.6 y 5.7).

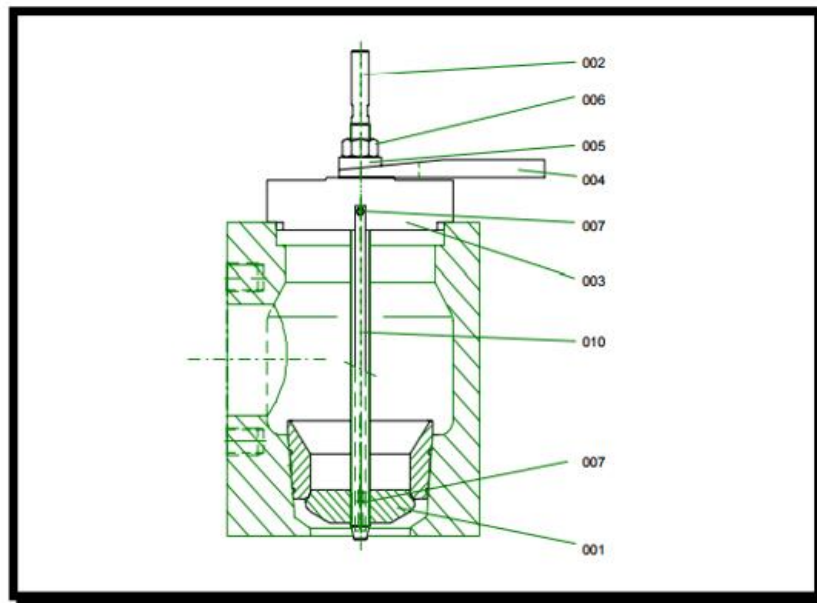


Ilustración 28. Desmontaje del asiento de válvula (descarga)

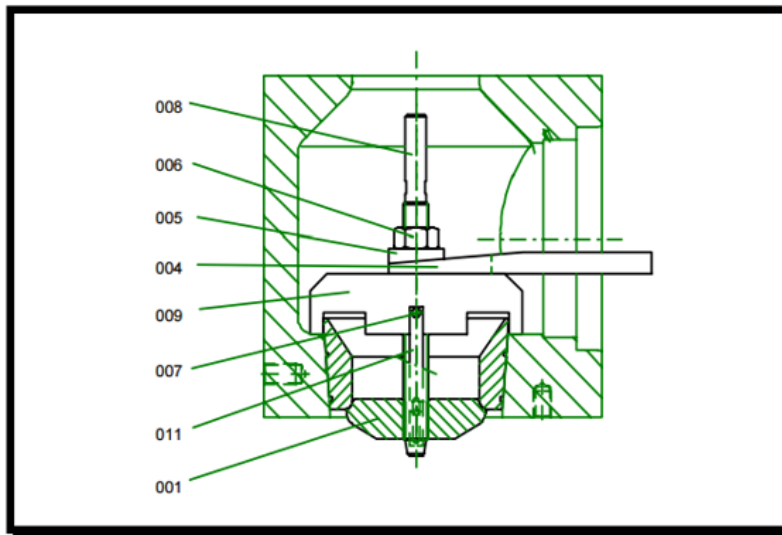


Ilustración 29. Desmontaje del asiento de válvula (succión)

5. Inserción de los asientos de válvula

- Utilice la herramienta de montaje de asientos de válvulas.
- Antes de insertar el asiento de la válvula de aspiración o descarga en su alojamiento, limpie cuidadosamente los asientos para eliminar cualquier resto de pintura, polvo, aceite, etc.
- Asimismo, limpie cuidadosamente la superficie interior cónica del alojamiento de la válvula.
- Una vez insertado el asiento de la válvula, ajústelo en el alojamiento de la válvula con la ayuda de un martillo (figuras 5.8 y 5.9).

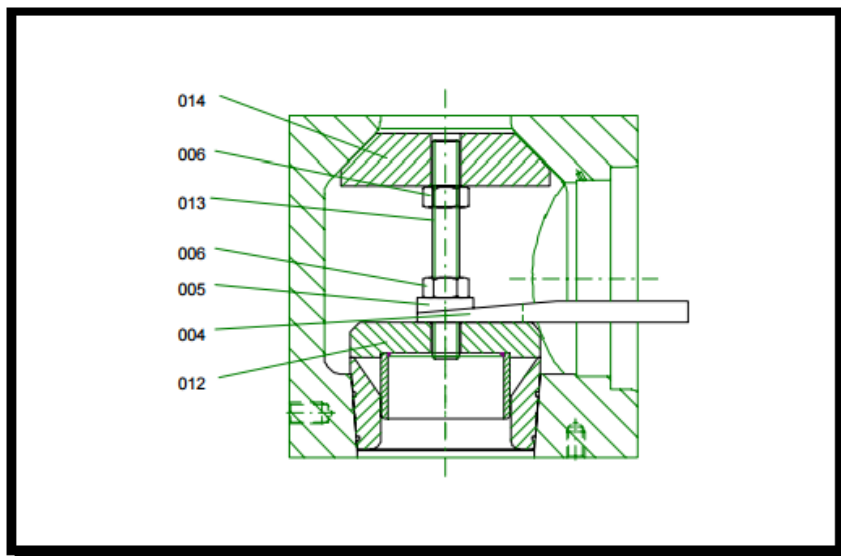


Ilustración 30. Montaje asiento de válvula succión

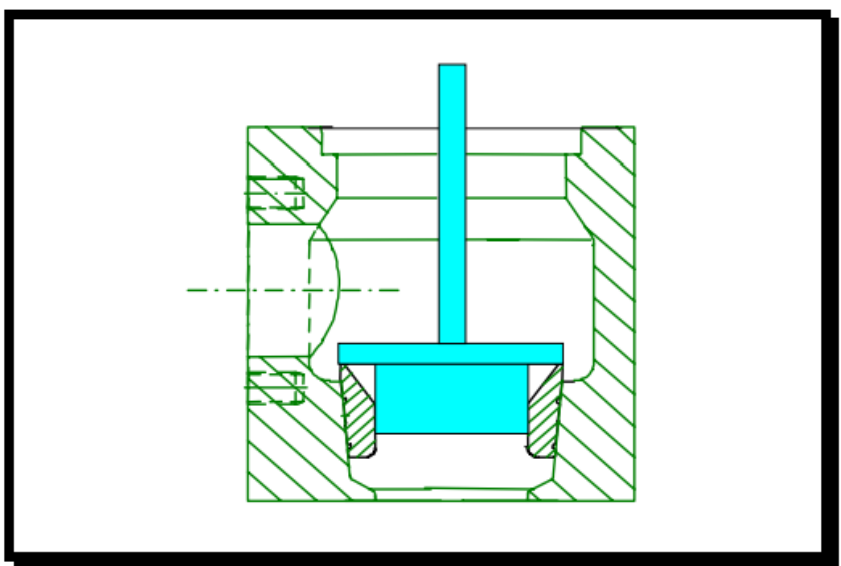


Ilustración 31. Montaje asiento válvula descarga

6. Montaje de la válvula cónica

(Para asegurarse de que los discos de caucho de la válvula (011) sobresalen uniformemente de la válvula cónica (010)).

- La válvula cónica (010), el disco de la válvula (011) y la tuerca (013) deben estar limpios, secos y no contener ningún resto de lubricante.
- Coloque el disco de la válvula (011) en la válvula cónica (010).
- Aplique una pequeña cantidad de grasa (consulte el tipo en el capítulo 1, sección 7) en la superficie de la contratuerca (013) que está en contacto con el disco de la válvula (011).
- Hágalo de manera que la superficie de contacto del disco de la válvula (011) y la válvula cónica (010) no se manchen de grasa (consulte también la figura siguiente).
- Apriete la contratuerca (013) evitando que el disco de la válvula (011) se mueva. Aplique el par indicado en el capítulo 1.

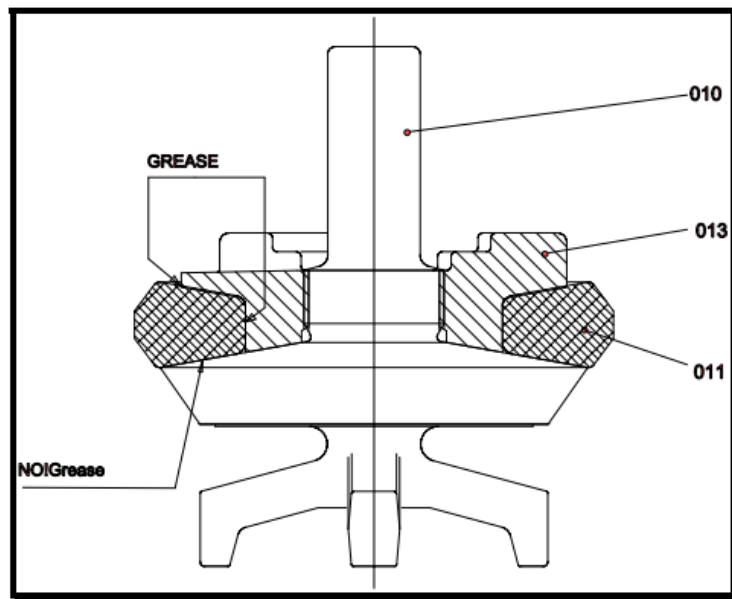


Ilustración 32. Componentes Válvula Cónica

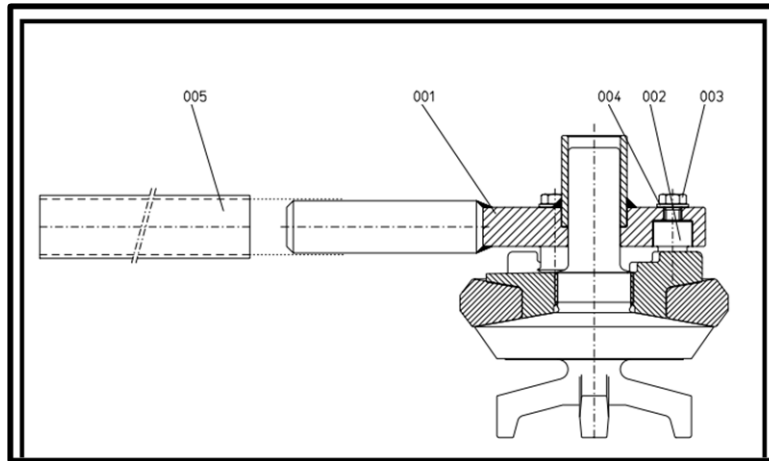


Ilustración 33. Extracción Válvula Cónica

7. Montaje de cubiertas de válvulas cónicas (REVISAR ANEXO 2)

4.5.2. ANEXO 2 de Procedimiento Mejorado

Montaje y Desmontaje de Cubiertas de Válvulas Cónicas

Procedimiento detallado de desmontaje:

- Retire la guarda de protección del tetón (027) situado en la cubierta del alojamiento de la válvula y conecte la manguera de la bomba hidráulica.
- Conecte el tetón hexagonal de la manguera flexible a la bomba hidráulica y aplique presión hasta alcanzar el nivel correcto, según lo indicado en el capítulo 1.
- Apriete con la mano la tuerca (044) para mantener el alojamiento de la válvula en su lugar durante el desmontaje de la cubierta de la válvula (aplicable únicamente en el caso del alojamiento de la válvula de descarga).
- Afloje las tuercas exteriores (019) (deberá aplicar aprox. 200 Nm). Desatornille la tuerca exterior totalmente de la tuerca interior (020).
- Libere lentamente la presión de aceite en la válvula de drenaje de la unidad hidráulica. A partir de este momento, la tuerca (044) retiene el alojamiento de la válvula en su lugar y garantiza que la junta de estanqueidad entre el alojamiento de la válvula y el alojamiento del diafragma no se mueva.

- Afloje todas las tuercas y retire la cubierta utilizando, en caso necesario, tornillos de extracción por presión (041).

Procedimiento detallado de montaje:

- Después de limpiar y engrasar las superficies de estanqueidad, inserte en el alojamiento de la válvula una junta plana cuadrada en buen estado. Coloque la cubierta en el alojamiento de la válvula. Figura 5-3
- Conecte la bomba hidráulica de alta presión al tetón (027) situado en la cubierta del alojamiento de la válvula.
- Atornille la tuerca exterior (019) en la tuerca interior (020) hasta que toque dicha tuerca interior. Apriete la tuerca interior (junto con la tuerca exterior) hasta que éstas y los pistones estén en contacto y empuje los pistones (018) dentro de la cubierta.
- Asegúrese de que los pistones (018) están nivelados con la cubierta. Los pistones no deben sobresalir.
- Aplique presión hidráulica según lo indicado en el capítulo 1. Atornille las tuercas exteriores aplicando un par de 200 Nm. **(REVISAR ANEXO 3)**
- Antes de liberar la presión hidráulica, afloje las tuercas (044) para disponer de una mejor carga por tornillo durante el funcionamiento de la bomba (aplicable únicamente en el caso del alojamiento de la válvula de descarga).
- Reduzca lentamente la presión de aceite en la válvula de drenaje de la unidad hidráulica y retire la bomba hidráulica.
- Vuelva a colocar la guarda de protección en el tetón (027).

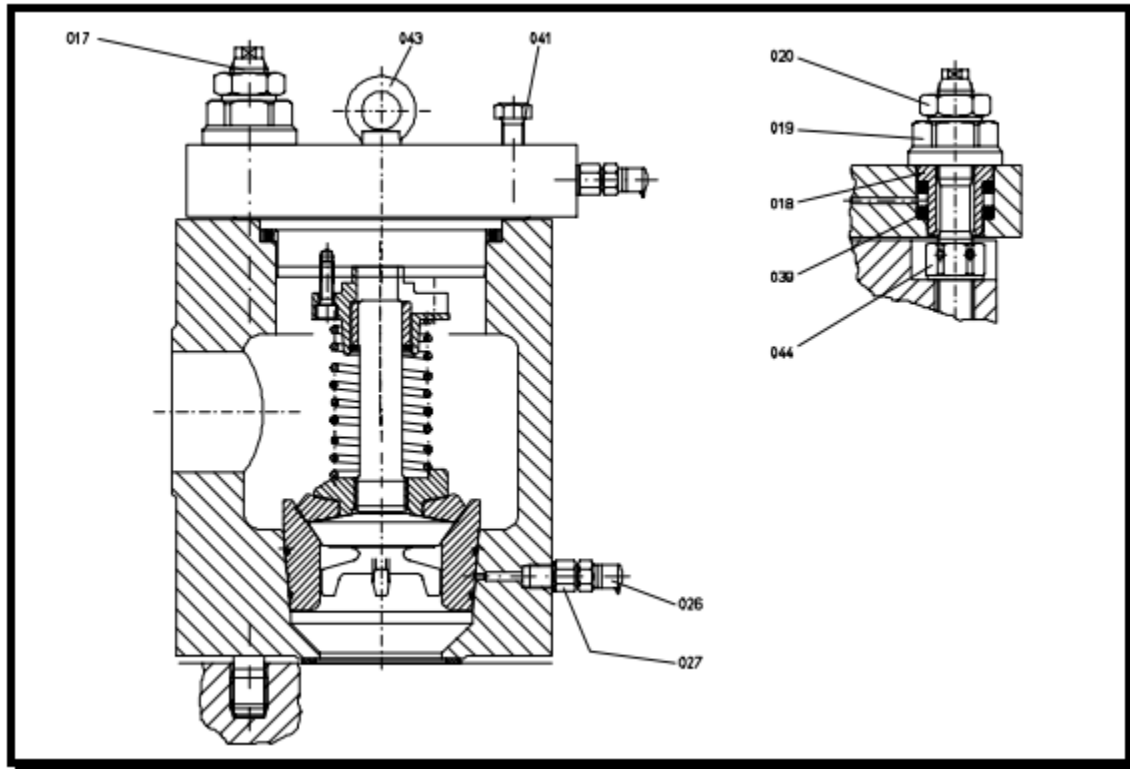


Ilustración 34. Componentes Alojamiento Válvulas Cónicas

4.5.3. ANEXO 3 de Procedimiento Mejorado

Secuencia de Torque

Al aplicar torque es normal apretar solamente un esparrago a la vez, y esto puede causar carga puntual y dispersión de la carga. Para evitar esto, el torque se aplica en etapas de acuerdo a un patrón predeterminado:

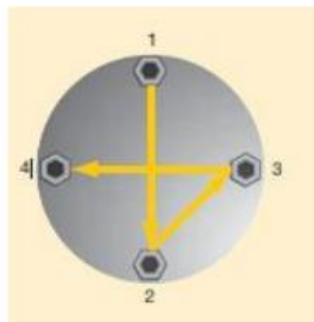


Ilustración 35. Secuencia Torque Tapa Housing

- Paso 1 Apriete con llave garantizando que queden 2 – 3 pasos de rosca sobre la tuerca.
- Paso 2 Apriete cada esparrago hasta un tercio del torque final requerido siguiendo el patrón mostrado arriba.
- Paso 3 Incremente el torque hasta dos tercios siguiendo el patrón mostrado arriba.
- Paso 4 Incremente el torque hasta torque total siguiendo el patrón mostrado arriba.

1.3.1 Pares de apriete especiales

Unidad/Descripción	ID	Torque (Nm)	Presión (MPa)
Amortiguador de pulsaciones (851.010.092B)			
Tuercas del amortiguador	013	580	
Tuercas cubierta amortiguador y tuercas con brida	014	1290	
Amortiguador de pulsaciones (851.010.097A)			
Tuercas del amortiguador	013	1550	
Tuercas cubierta amortiguador y tuercas con brida	014	3600	
Pistón (835.062.161D)			
Cuerpo y brida del pistón	007/023		62
Contratuerca del pistón	001	3000	
Tuerca hexagonal (contratuerca para tuerca 001)	012	120	
Contratuerca (unión entre pie y vástago del pistón)	011	5000	20
Conjunto de válvula (D) (831.020.135D)			
Contratuerca	013	300	
Tuerca (tapa de la válvula) when assembling a valve cover.	019	200	200
Tuerca (tapa de la válvula), alternately cover 1 and 2. (When assembling the whole unit / replacing gaskets).			1 ^{er} paso: 10
			2 ^o paso: 70
			3 ^{er} paso: 140
		200	4 ^o paso: 200
Tornillo de la pieza de agarre	040	80	
Conjunto de válvula (S) (831.020.214B)			
Contratuerca	013	300	
Tuerca (conexión a alojamiento del diafragma)	044	1400	
Tuerca (tapa de la válvula)	019	200	200

Ilustración 36. Tabla Toques Específicos

Este nuevo procedimiento muestra detallada la forma de cómo realizar la mantención de modo que se tenga un mantenimiento de calidad que cumpla con las especificaciones del fabricante. Además de realizar un torqueo de pernos de manera correcta debido a las falencias encontradas en el análisis en terreno respecto a esa etapa del procedimiento, entregándose un procedimiento paso a paso, una secuencia de torqueo, además de una tabla extraída del manual GEHO señalando los torques específicos para los pernos que se deben torquear en el procedimiento de montaje de tapas de cámaras de succión o descarga.

Este procedimiento de la mantención de 300 horas pretende explicar de manera clara y simple los pasos a seguir para cada actividad en las actividades, de modo de dejar pocas posibilidades de propia interpretación de los mantenedores. Este estándar de procedimiento dará lugar a una menor variabilidad de tiempo de mantención ya que las actividades están explicadas claras y precisas. Dando la posibilidad a calcular un tiempo estándar de mantención para conseguir una directriz de un mejor plan matriz para las mantenciones de las Bombas GEHO.

4.6. Cálculo de Tiempo Estándar para mantención de 300 horas

En los capítulos anteriores se analizó el procedimiento en terreno de la mantención de las 300 horas de las bombas GEHO identificando que existen algunas actividades que no se realizaron. Es necesario destacar que la actividad base de esta mantención es el cambio de válvulas cónicas en las cámaras de succión y descarga, siendo también la mantención que tiene la mayor duración en comparación al resto de las actividades. Las actividades que no se realizaron son actividades que se realizan en paralelo al cambio de válvulas cónicas, por lo que calcular un tiempo estándar es posible midiendo el tiempo de las actividades que si se realizan mediante el nuevo procedimiento. Se procederá a realizar un total de 10 mediciones para el Turno A ejecutando una mantención de 300 horas para las Bombas GEHO.

Se muestran las mediciones que se obtuvieron para las 10 mediciones de la mantención de 300 horas.

Horas ejecución mantención bombas GEHO 300 Hrs									
3:46	3:57	2:49	4:00	3:50	3:00	4:00	2:57	3:00	5:00

Ilustración 37. Tiempo Duración Mantención 300 horas Bombas GEHO

Además de estos datos, se tiene que la jornada de trabajo es de 8hr, 30min (7:30 am – 13:00 pm) – (14:00 pm – 20:00pm), 7 días a la semana. El tiempo de preparación inicial y preparación final dispuesto por la empresa es de 30 min cada uno y el tiempo destinado para almuerzo es de 1hr. La empresa no tiene definido un tiempo exacto para las necesidades personales por ello no serán consideradas para efecto de las tolerancias.

4.6.1. Cálculos Previos a Estudio

n=10 datos

Jornada de trabajo: **12 hrs**

Hora colación: **1 hr**

TPI: **30 min**

TPF: **30 min**

6.1 Procedimiento para Calcular el Tiempo Estándar de la Mantención

- Se define el coeficiente de confianza=> C= **90%**
- Se tiene para el intervalo de confianza: $I = \bar{X} \pm \frac{tcxS}{\sqrt{n}}$

Para calcular el intervalo de confianza se debe obtener $\bar{X}$, tc y S

$$C = 1 - \alpha$$

$$\alpha = 1 - C = 1 - 0,9 = 0,1$$

$$v = n - 1 = 10 - 1 = 9$$

De tabla t-student se tiene lo siguiente: $tc(\alpha, v) = tc(0,1; 9) = 1,3722$

Mediante calculadora se obtienen $\bar{X}$ y S

$$\text{Promedio} \Rightarrow \bar{X} = \sum_{i=1}^{10} \frac{X_i}{n} = 3,83 \text{ hrs}$$

$$\text{Desviación Estándar} \Rightarrow S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0,5614$$

- Calculo del Intervalo de confianza

$$I_{1,2} = 3,83 \pm \frac{1,3722 \times 0,5614}{\sqrt{10}} \quad I_1 = 4,0736; I_2 = 3,586393$$

$$\text{Ahora } I_1 - I_2 = 0,4872$$

Luego se calcula el Intervalo de la muestra:

$$I_m = \frac{2 \times tc \times S}{\sqrt{n}} = \frac{2 \times 1,3722 \times 0,5614}{\sqrt{10}} = 0,4870$$

Comparando a I_m con I se tiene que: $I_m < I$ por lo tanto se acepta la muestra para el cálculo de tiempo estándar.

4.6.2. Calculo del Tiempo Estándar

El cálculo del tiempo estándar se define por la siguiente ecuación:

$$TE = TN + \sum Tolerancias = TPS \times cv + \sum Tolerancias$$

$$TE = \text{Tiempo Estandar}$$

$$TN = TPS \times cv$$

$$TPS = \frac{\sum lecturas}{n} = 3,83 \text{ hrs}$$

Este valor corresponde al tiempo promedio que tarda la actividad de desarmado considerando que se tomaron 10muestras.

$cv = \text{coeficiente de velocidad (calculado con tablas de Westinghouse)}$

$$\sum Tolerancias = \text{Suplementos de tiempos por fatiga (calculado segun tablas de UNEXPO)}$$

- Calculo de coeficiente de velocidad

De acuerdo con las observaciones realizadas al operario mientras desempeñaba sus labores y la utilización del método Westinghouse se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia y a través de ello determinar la calificación de la velocidad con que trabaja el operario. Mediante la tabla de Westinghouse para calcular el coeficiente de velocidad de los trabajadores se tiene lo siguiente:

Coeficientes de velocidad			
Habilidad	A2	Extrema	+0,13
Esfuerzo	A2	Excesivo	+0,12
Condiciones	C	Buenas	+0,02
Consistencia	D	Buenas	0,00
Total			+0,27

Ilustración 38. Resultados de Tabla Westinghouse

La habilidad fue considerada extrema debido a que los operarios tienen destrezas para realizar las distintas actividades, y manipular con facilidad las herramientas de trabajo, además que la sinergia entre ambos trabajadores era bastante positiva por lo que disminuía la presencia de tiempos muertos. El esfuerzo fue considerado como excesivo debido a que los mantenedores demostraron gran voluntad para desarrollar su trabajo tratando en lo posible lograr los mejores resultados.

Por otro lado, las condiciones fueron consideradas buenas ya que en general la temperatura, ventilación, ruido e iluminación están controlados por parte de la empresa, al tener la estación de bombeo techada y protegida de las fuertes condiciones climáticas que se encuentran en la cordillera, para que el trabajo del operador no se vea interrumpido por estos factores. Finalmente la consistencia también fue considerada como buena ya que los resultados de las observaciones realizadas tuvieron cierto grado de reiteración.

Por lo tanto, el coeficiente de velocidad queda de la siguiente manera:

$$cv = 1 + 0,27 = 1,27$$

Este valor de cv indica que los mantenedores muestran un 27% de efectividad por encima del promedio lo cual es atribuido principalmente a las habilidades, sinergia y entendimiento entre ellos, además de la destreza y coordinación que tiene al momento de desempeñar sus labores.

- Calculo de TN

$$TN = TPS \times cv = 3,83 \times 1,27 = 4,82 \text{ hrs}$$

Este resultado nos entrega el tiempo requerido por el mantenedor normal para realizar la mantención cuando se trabaja con una velocidad estándar y en ausencia de alguna demora por razones personales o variables externas. El resultado es de 4,82 horas.

Después de haber calculado el tiempo normal de la operación, es necesario realizar los cálculos correspondientes para determinar el verdadero tiempo estándar, el cual incluye las tolerancias.

4.6.3. Calculo de tolerancias o concesiones de tiempo por fatiga

Luego de calcular TN se procede a realizar las observaciones de las condiciones del área en donde se desempeñan los mantenedores, evaluando la repetitividad del trabajo, el esfuerzo físico y mental que emplea el mantenedor, además de la posición física de ejecución de la mantención. Todas estas observaciones se realizaron según la tabla para medir las concesiones de tiempo por fatiga de la UNEXPO, entregando lo siguiente:

Suma de Tolerancias		
Factores Fatiga	Grado	Puntos
<i>Temperatura</i>	2	10
<i>Condiciones amb.</i>	2	10
<i>Humedad</i>	1	5
<i>Nivel de Ruido</i>	4	30
<i>Iluminación</i>	2	10
<i>Duración Trabajo</i>	4	80
<i>Repetición ciclo</i>	2	40
<i>Esfuerzo físico</i>	2	40
<i>Esfuerzo mental</i>	3	30
<i>Posición Trabajo</i>	3	30
Total		285

Ilustración 39. Concesión de tiempos por fatiga

Conforme a los resultados obtenidos por la tabla de la UNEXPO para las concesiones de tiempo por fatiga, se identificó en conjunto con el total de puntaje 285 y la jornada de trabajo de 720 min, y se obtuvo el siguiente resultado:

CONCESIONES POR FATIGA			CONCESIÓN % x JORNADA EFECTIVA MINUTOS CONCEDIDOS = ----- 1 + CONCESIÓN %				
CLASE	L Í M I T E S D E C L A S E		CONCESIÓN (%) POR CLASE	JORNADA EFECTIVA (MINUTOS)			
	INFERIOR	SUPERIOR		5 1 0	4 8 0	4 5 0	4 2 0
				MINUTOS CONCEDIDOS POR FATIGA			
A1	0	156	1	5	5	4	4
A2	157	163	2	10	10	9	8
A3	164	170	3	15	14	13	12
A4	171	177	4	20	18	17	16
A5	178	184	5	24	23	21	20
B1	185	191	6	29	27	25	24
B2	192	198	7	33	31	29	27
B3	199	205	8	38	36	33	31
B4	206	212	9	42	40	37	35
B5	213	219	10	46	44	41	38
C1	220	226	11	51	48	45	42
C2	227	233	12	55	51	48	45
C3	234	240	13	59	55	52	48
C4	241	247	14	63	59	55	51
C5	248	254	15	67	63	59	55
D1	255	261	16	70	66	62	58
D2	262	268	17	74	70	65	61
D3	269	275	18	78	73	69	64
D4	276	282	19	81	77	72	67
D5	283	289	20	85	80	75	70
E1	290	296	21	89	83	78	73
E2	297	303	22	92	86	81	76
E3	304	310	23	95	90	84	79
E4	311	317	24	99	93	87	81
E5	318	324	25	102	96	90	84
F1	325	331	26	105	99	93	87
F2	332	338	27	108	102	96	89
F3	339	345	28	112	105	98	92
F4	346	349	29	115	108	101	94
F5	350	... Y MÁS	30	118	111	104	97

Resultado concesión de tiempo:

Clase	D5
Rango	283-289
Concesión	20%
Minutos concedidos por fatiga	85min

Ilustración 40. Resultados Concesión de tiempos por fatiga

- Luego se procede a calcular la Jornada Efectiva de Trabajo :

$$JET = 720 \text{ min} - (TPI + TPF) = 720 \text{ min} - (30 \text{ min} + 30 \text{ min}) = 660 \text{ min}$$

- Normalizando el tiempo por fatiga en función de TN se tiene que:

$$\begin{array}{ccc} JET + (fatiga) & \longrightarrow & (fatiga) \\ TN & \longrightarrow & X \end{array}$$

$$X = \frac{4,82 \times 85}{660 + 85} = \frac{409,7}{745} = 0,5499$$

Finalmente con TN y la concesión de tiempo por fatiga otorgado por las tablas de la UNEXPO se procede a calcular el tiempo estándar para la mantención preventiva de 300 horas de las Bombas GEHO

$$TE = TN + X = 4,82 + 0,5499 = 5,36 \text{ hrs.}$$

Finalmente el resultado para el tiempo estándar calculado para la mantención de 300 horas empleado por los mantenedores de es aproximadamente 5,36 horas, teniendo en cuenta las tolerancias por concepto de fatiga que se presentan debido a las condiciones extremas de la ubicación de la faena minera. El tiempo estimado para concesiones por concepto de necesidades personales no están tomadas en cuenta por la empresa, sin embargo, la realidad demuestra que tiene un alto grado de alteración en los tiempos empleados para las actividades de mantención. Por ellos es que se recomienda a la empresa que tenga presente esto y lo tome en cuenta, de modo que este resultado del estudio de tiempo tenga el mejor impacto.

Si se compara TE con TN se puede apreciar que este tiene un incremento considerable, debido a que en Minera Collahuasi se tienen condiciones ambientales complicadas y variables, por lo que el desempeño de los mantenedores puede variar y es por eso que se concede una considerable concesión de tiempos por fatiga.

Si bien este cálculo es teórico, se debe tener en cuenta una cultura que será de mucha importancia al momento de querer alcanzar la menor variabilidad del tiempo estándar. Esta cultura es la gestión del cambio, ya que los mantenedores llevan más de 10 años realizando las mantenciones con un procedimiento que tienen internalizado, además de un ritmo establecido. Se tendrá que motivar, educar y gradualmente exigir un resultado que apunte a la directriz de alcanzar el tiempo calculado para el estudio de tiempo estándar.

Este procedimiento muestra una vía de cómo cambiar lo que se tiene internalizado por años en la empresa, analizando lo básico que resultan los procedimientos de mantenciones, mejorándolos, para luego calcular un tiempo establecido estándar de mantención y mediante habilidades blandas de una buena gestión del cambio llegar a una mejor eficiencia operacional.

4.7. Estudio de Eficiencia de Mantenedores en Jornada Laboral

Para realizar este estudio se analizarán 5 de los 10 días en que se realizaron las mantenciones de 300 Horas de las Bombas GEHO, de modo de observar las actividades que desempeñan los mantenedores en toda la jornada laboral. Las actividades principales a verificar serán las que debe realizar el mantenedor para tener un desempeño eficiente, estas son: Desarmar, Probar Equipo, Trasladándose, Armar y Reparar. Para analizar las actividades que están consideradas como ineficiencia se definieron las siguientes acciones: Otras actividades, Necesidades personales, Esperando Repuestos, Esperando herramienta, Esperando permiso y Ausente del área de trabajo.

Se analizará para 10 horas calculadas aleatoriamente mediante calculadora para el total de la Jornada laboral que abarca desde las 8.00 AM hasta las 08:00 PM. El estudio se realizará en los 5 días mencionados anteriormente y las horas de toma de datos serán las mismas para los 5 días. Aunque no es lo más recomendable, debido a la versatilidad de la duración de las distintas mantenciones que deben realizar los turnos. Es por esta razón que al evaluar los días de las mantenciones de 300 horas se puede tener un resultado más cercano a la realidad y la verdadera eficiencia de los trabajadores a la hora de mostrar un buen desempeño.

En primer lugar, se exponen las 10 horas elegidas en la duración total de la jornada laboral la cual se muestra a continuación:

HORAS DE JORNADA ELEGIDAS									
08:36	10:16	11:00	11:36	12:10	14:43	15:48	16:31	17:50	18:55

Ilustración 41. Horas para estudio Eficiencia Mantenedores

Para dichas horas se procederá a evaluar cuál fue la actividad desarrollada por los mantenedores de modo de realizar un estudio detallado de cuál es el resultado global en el día a día de los operarios.

Del mismo modo que se mencionó anteriormente, se definirá de forma ordenada cuáles serán los objetivos del estudio.

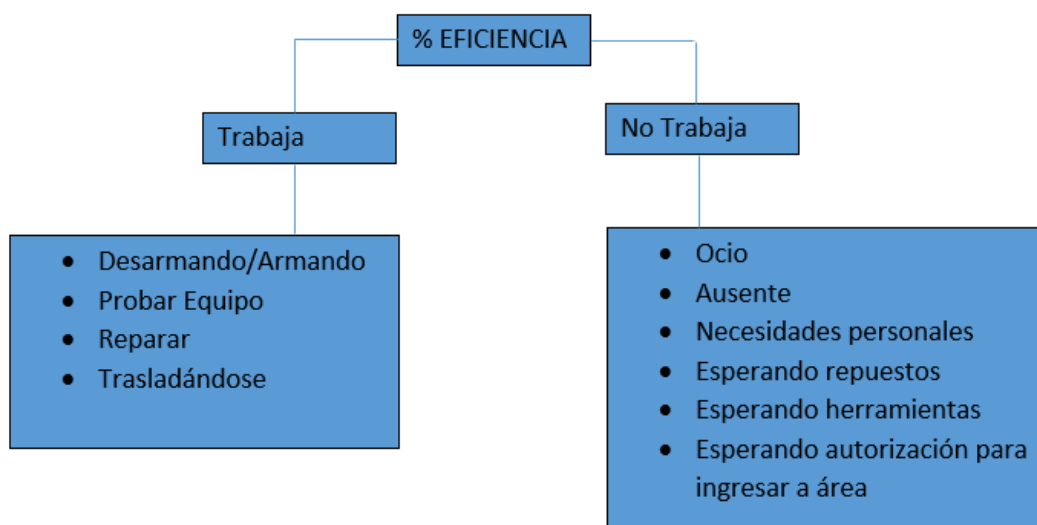


Ilustración 42. Objetivos Estudio Eficiencia Mantenedores

Nivel de Confianza: 95%

Exactitud: 5%

NC	99.7	99	98	96	95.5	95	90	80	68.3	50
K	3.00	2.58	2.33	2.05	2.00	1.96	1.64	1.28	1.00	0.61

Ilustración 43. Valor K para 95% confianza

Teniendo definida las horas que se evaluarán, las actividades que significan eficiencia, las actividades que significan deficiencia, el nivel de confianza y de exactitud se puede proceder a realizar el estudio de los 5 días en que se realizó la mantención preventiva de 300 horas de las Bombas GEHO.

A continuación se muestra la tabla con el total de los datos recopilados:

Día	Trabaja					No trabaja						
	Desarmar	Probar Equipos	Trasladándose	Reparar	Armar	Otras actividades	Necesidades personales	Esperando repuesto	Esperando herramienta	Esperando permiso	Ausente	
1	2	1	2	1	1	0	1	1	0	1	0	
2	2	0	0	2	2	2	1	0	0	1	0	
3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	
4	1	0	2	2	1	2	1	0	0	1	0	
5	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
Total	8	2	6	7	6	5	5	3	2	6	0	

Se obtiene de la tabla que el mantenedor en la mayoría del tiempo estuvo cumpliendo con tareas que involucra un comportamiento eficiente. En general, la distribución de estas actividades de eficiencia se comportó uniforme entregando un buen resultado. La actividad que lidero el total de actividades ineficientes fue la de esperar el permiso VATS para comenzar el trabajo.

4.7.1. Datos necesarios para el estudio

Observaciones diarias = 11

Número de días= 5 días

Nº Desarma = 8

Nº Probar Equipo = 2

Nº Trasladándose = 6

Nº Reparar = 7

Nº Armar = 6

Nº Otras actividades = 5

Nº Necesidades personales = 5

Nº Esperando Respuesta = 3

Nº Esperando herramienta = 2

Nº Esperando permiso = 6

Nº Ausente = 0

Observaciones totales (55 datos)

Porcentaje de Ocurrencia del Evento

$$\bar{p} = \frac{\text{numero de veces que trabaja}}{\text{numero totales de observaciones}} = \frac{29}{50} = 0,58$$

El valor entregado por el porcentaje de ocurrencia del evento nos entrega la probabilidad de un 58%. Esta probabilidad indica que el 58% de las veces que se observó al mantenedor, este se encontraba ejecutando sus actividades de mantención. Aunque el resultado no fue muy favorable para una eficiencia destacada, este valor puede variar dependiendo de la cantidad de muestras que se tome, ya que mientras más datos se analicen mejor será la representación de la realidad de los mantenedores.

Probabilidad de Ocurrencia Eficiencia

Probabilidad de Ocurrencia de Ineficiencia

Día 1

$$\bar{p} = \frac{7}{50} = 0,14$$

$$\bar{p} = \frac{3}{50} = 0,06$$

Día 2

$$\bar{p} = \frac{6}{50} = 0,12$$

$$\bar{p} = \frac{4}{50} = 0,08$$

Día 3

$$\bar{p} = \frac{4}{50} = 0,08$$

$$\bar{p} = \frac{6}{50} = 0,12$$

Día 4

$$\bar{p} = \frac{6}{50} = 0,12$$

$$\bar{p} = \frac{4}{50} = 0,08$$

Día 5

$$\bar{p} = \frac{6}{50} = 0,12$$

$$\bar{p} = \frac{4}{50} = 0,08$$

Tabla de porcentaje de eficiencia e ineficiencia

Día	Observaciones Diarias eficiencia	% Ocurrencia	Observaciones Diarias inef.	% Ocurrencia
1	7	14%	3	6%
2	6	12%	4	8%
3	4	8%	6	12%
4	6	12%	4	8%
5	6	12%	4	8%

En la tabla anterior se puede apreciar que los días con mayor eficiencia de los 5 días de estudio, fueron los días 1, 2, 4 y 5. El día 3 muestra una probabilidad mayor de no estar trabajando, esto se debe tomar como una oportunidad para mejorar el proceso global y el buen uso del tiempo. Las razones del día 3 por la que los mantenedores no trabajaron, fue debido a que la espera por el permiso VATS fue excesiva.

Determinar S':

$$S' = k \frac{\sqrt{1 - \bar{p}}}{\bar{p} * N} = 1,96 \frac{\sqrt{1 - 0,58}}{0,58 * 50} = 0,043$$

Comparando S' con S se tiene que:

$$S' < S$$

$$4,3\% < 5\%$$

El criterio de decisión para poder argumentar algo al respecto de la exactitud debe ser $S' < S$, y se cumple la condición para decir que se trabajó con un número de datos necesarios para obtener resultados demostrativos.

Cálculo de Lc:

$$Lc = \bar{p} \pm k \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

$$Lcs = \bar{p} + k \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0,58 + 1,96 \sqrt{\frac{0,58(1 - 0,58)}{10}} = 0,8859$$

$$Lci = \bar{p} - k \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0,58 - 1,96 \sqrt{\frac{0,58(1 - 0,58)}{10}} = 0,274$$

4.7.2. Tabla de Limites de control y probabilidades de “trabajando”

Lc	0,58
Lcs	0,8859
Lci	0,274
P1	0,7
P2	0,6
P3	0,4
P4	0,6
P5	0,6

Una vez calculados los límites de control y las probabilidades de ocurrencia de los eventos se procede a realizar el gráfico de control correspondiente.

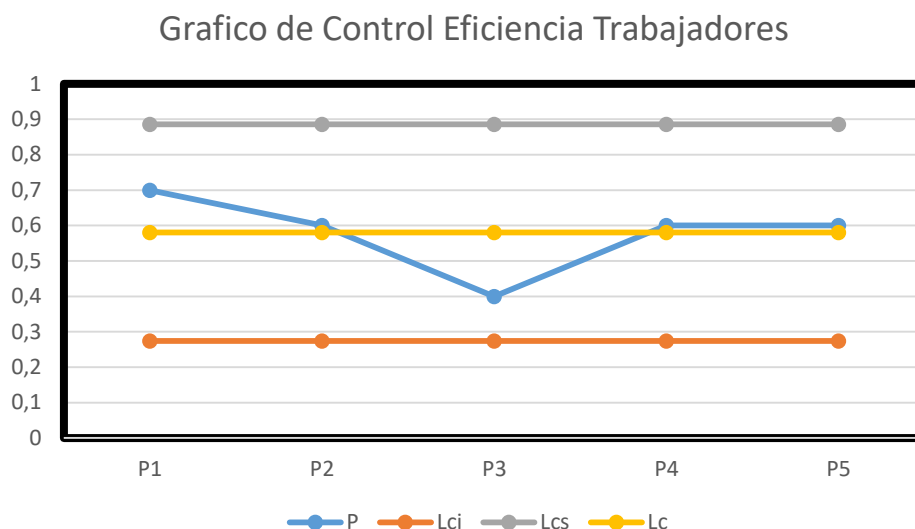


Ilustración 45. Grafico Control Eficiencia Mantenedores

En el gráfico de control se puede apreciar que en los 5 días las probabilidades de trabajar se encontraron dentro de los límites de control. Se obtuvo una alta probabilidad para el día 1 en comparación a los otros días. En el día 3 se observa que fue un día de abundante ineficiencia a causa de la espera excesiva del permiso VATS de trabajo, estando los mantenedores sin la autorización para comenzar a intervenir el equipo. Esto se debe tomar como foco de oportunidad a efectuar más eficiente el proceso de firma del permiso VATS. Para el día 2, 4 y 5 se puede apreciar que están levemente sobre el límite central, aunque es un resultado aceptable, no describen un comportamiento de una eficiencia operacional notable, y también se deben analizar respecto de las actividades que significaron ineficiencia para los mantenedores. Estas actividades fueron: esperando herramienta, esperando repuesto y nuevamente aparece la espera del permiso VATS para comenzar a intervenir el equipo.

4.7.3. Diagrama de Pareto Eficiencia Trabajadores

Para complementar el estudio de eficiencia de trabajadores se procedió a realizar un diagrama de Pareto con el fin de analizar e identificar las actividades que se están llevando la mayor cantidad del tiempo. Para este análisis se contemplaron todas las actividades, tanto de eficiencia como de ineficiencia con el fin de ver la distribución de actividades totales de la jornada laboral. Esto permitirá identificar oportunidades y focos de mejora para alcanzar una esperada eficiencia operacional.

Tabla para designar letra a cada actividad

Actividad	Designación	Actividad	Designación
Desarmar	A	Otras actividades	F
Probar Equipos	B	Necesidades personales	G
Trasladándose	C	Esperando repuesto	H
Reparar	D	Esperando herramienta	I
Armar	E	Esperando autorización a intervenir equipo	J
		Ausente	K

Causas	Frecuencia absoluta	% absoluto	% acumulado
A	8	16%	16%
B	2	4%	20%
C	6	12%	32%
D	7	14%	46%
E	6	12%	58%
F	5	10%	68%
G	5	10%	78%
H	3	6%	84%
I	2	4%	88%
J	6	12%	100%
K	0	0%	100%
Total	50		

Una vez calculada la tabla de frecuencias con el porcentaje de ocurrencia de los eventos se puede proceder a realizar el grafico de Pareto, y de esta manera identificar los eventos o actividades que afectan directamente a la eficiencia de los mantenedores encargados de realizar las actividades de mantención a las Bombas GEHO

Gráfico de Pareto

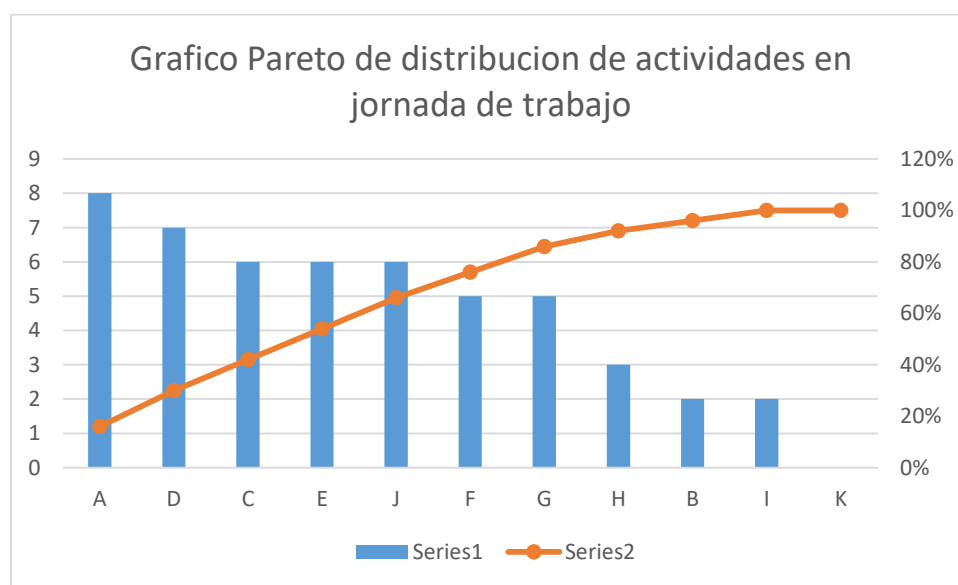


Ilustración 46. Diagrama Pareto Actividades Mantenedores

Del gráfico de Pareto se puede apreciar que el 80% del tiempo se debe principalmente a las actividades de carácter eficiente que son: armar equipo, desarmar equipo y probar equipo. Esto nos entrega una tendencia positiva de que la mayor cantidad del tiempo se tiene al mantenedor en una actividad que significa trabajar. Por otra parte el 80% del tiempo se compone por dos actividades de ineficiencia, que para mi juicio significan una oportunidad de donde mejorar, estas actividades son: Trasladándose, y esperando permiso VATS.

Una vez efectuados todos los análisis y diagramas correspondientes al estudio de eficiencia de mantenedores, se da como recomendación que se efectúen seguimientos a las causas que generan ineficiencia al mantenedor, ya que estas son la base para mejorar. Se deben generar mejoras para poder atacarlas y disminuirlas en lo mínimo operacionalmente posible de modo de generar una directriz constante para alcanzar una eficiencia operacional.

IV. CONCLUSION

Luego de analizar las mantenciones preventivas para las Bombas GEHO (modelo ZPM 1200) se identificó las mantenciones preventivas más importantes, analizándolas, con el fin de generar mejoras relevantes para el proceso.

Mediante análisis de Pareto y Jack Knife se identificó la mantención preventiva que detenía un mayor tiempo y con mayor frecuencia el equipo, en comparación con las mantenciones preventivas restantes. Dicha mantención fue la de 300 horas, la que luego comparando todas sus paradas en el año 2016 se identificó que poseía una enorme variabilidad respecto a la duración de detenciones.

El primer objetivo de este estudio fue realizar un estudio en terreno para detectar las fallas del procedimiento de mantención. En donde encontró que la razón de la variabilidad de la duración de la mantención se debía a la diferencia de desempeño y velocidad de trabajo entre ambos turnos de mantenedores. Además se descubrió que los mantenedores no seguían la pauta de actividades según el procedimiento y el orden establecido, más aun existieron actividades programadas que simplemente no realizaban. Las actividades realizadas de manera incorrecta fueron: el torque, sin llave de torque, de pernos de tapa de cámara de succión/descarga y la inspección por ultrasonido a pernos de tapa de cámara succión/descarga no realizada en el orden establecido. Mientras que las actividades que no se realizaron fueron: la mantención eléctrica al equipo, el muestreo de aceites y la mantención a la válvula despiche 3”.

Como método de mejora se procedió a confeccionar un procedimiento nuevo detallando las actividades de manera más clara y simple, con el fin de que no exista posibilidad a que los mantenedores interpreten los procedimientos de las actividades. Especificando torques para cada perno, procedimiento de torque mediante la herramienta correcta, ruta única de mantención de 300 horas para el equipo y procedimiento de cambio de válvulas extraído de manual de bombas Geho con planos de piezas explicados de manera clara y entendible.

Además se adjuntaron Check Lists a los procedimientos que deben ser firmados por el Jefe de Área, con el fin de asegurar el cumplimiento de todas las actividades programadas para la mantención de 300 horas.

Como método de mejora a la variabilidad de las mantenciones se efectuó un estudio de tiempos para la mantención de 300 horas realizada por el turno con mayor eficiencia, resultando un tiempo de mantención de 5,37 horas. Este tiempo muestra una oportunidad de disminuir la variabilidad del tiempo de detención del equipo, aumentar la disponibilidad del equipo, y si se efectúa según el procedimiento mejorado se puede aumentar en un porcentaje considerable la confiabilidad global del equipo.

En el estudio de muestreo realizado para medir la eficiencia de los trabajadores se pudo concluir mediante un gráfico de control que los mantenedores en su mayoría del tiempo se encuentran realizando actividades relacionadas con el trabajo. Mediante un análisis de Pareto se pudo identificar que las actividades que se llevan la mayor cantidad del tiempo son: armar equipo, desarmar equipo, probar equipo, Trasladándose y esperando permiso VATS.

Como conclusión final el estudio realizado muestra una visión detallada de la situación en terreno, en comparación a lo que se debe realizar por procedimiento. Mediante estudio de tiempo y mejoras al procedimiento existente, se dan a conocer oportunidades claras para mejorar respecto de una cultura de trabajo en la compañía, como también mejoras a los índices de disponibilidad, variabilidad y confiabilidad del equipo. Pero estas oportunidades de mejora al procedimiento de mantención se deben implementar mediante una gestión del cambio, con el fin de motivar y cambiar las costumbres ya existentes de los trabajadores de esta compañía. Direccionando esta empresa a una mejora continua y siempre buscando una constante eficiencia operacional.

V. BIBLIOGRAFIA

- <http://www.monografias.com/trabajos96/aplicacion-del-estudio-tiempo-empresa-metalmecanica/aplicacion-del-estudio-tiempo-empresa-metalmecanica2.shtml>
- <https://ingenieriadeltrabajo042010.wikispaces.com/file/view/Presentaci%C3%B3n+de+Clase+Estudio+de+Movimientos+y+Tiempos.pdf>
- <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>
- <http://www.visionindustrial.com.mx/industria/operacion-industrial/confiabilidad-conceptos-y-tendencias>
- Niebel. (2008). Ingeniería Industrial, Estudio de Tiempos y Movimientos. Mexico: Alfaomega.
- <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
- <http://www.faculty.ksu.edu.sa/alsaleh/.../The%20Rating%20Factor.pdf>

VI. ANEXOS

Pauta según instructivo	Check List	N° Personas	Horas ocupadas	HH
Inspección General				
Medición Continuidad de espárragos con ultrasonido				
Mantenición de Válvulas				
Montar tapa de cámara succión y apriete de espárragos housing				
Mantenición de niveles de aceite				
Muestreo de Aceite				
Mantenición al sistema de apoyo (Revisión de presiones)				
Mantenición instrumental				
Mantenición Eléctrica				
Mantenimiento válvula despiche				
Ordenar área de trabajo (Realizar Housekeeping en área de trabajo)				
Cerrar la OT con comentarios				
TOTAL				

Ilustración 47.Tabla Toma Datos Terreno

DEFINICIONES OPERACIONALES DE LOS FACTORES DE FATIGA**A. CONDICIONES DE TRABAJO: 1) TEMPERATURA. 2) CONDICIONES AMBIENTALES. 3) HUMEDAD. 4) NIVEL DE RUIDO. 5) ILUMINACIÓN**

1. TEMPERATURA	<u>GRADO 1.</u>	(5 PUNTOS). Climatización bajo control eléctrico o mecánico. 20°C < Temperatura ≤ 24°C.
	<u>GRADO 2.</u>	(10 PUNTOS). Temperatura controlada por los requerimientos de la tarea. a) Para trabajos interiores: 24°C < Temperatura ≤ 29.5°C. b) Para trabajos externos: 26.5°C < Temperatura ≤ 32°C.
	<u>GRADO 3.</u>	(15 PUNTOS). Temperatura controlada por los requerimientos de la tarea. a) Para trabajos interiores: 26.5°C < Temperatura ≤ 28°C. b) Para trabajos externos o con circulación de aire: 32°C < Temperatura ≤ 34.5°C.
	<u>GRADO 4.</u>	(40 PUNTOS). a) Ambientes sin circulación de aire: Temperatura ≥ 32°C. b) Ambientes con circulación normal de aire: 35°C < Temperatura ≤ 41.5°C.
2. CONDICIONES AMBIENTALES	<u>GRADO 1.</u>	(5 PUNTOS) a) Operaciones normales en Exteriores. b) Operaciones en ambientes acondicionados con aire fresco y libre de malos olores.
	<u>GRADO 2.</u>	(10 PUNTOS) Ambientes de planta o de oficina sin aire acondicionado. Ocasionalmente pueden presentarse malos olores o mala ventilación.
	<u>GRADO 3.</u>	(20 PUNTOS). Ambientes cerrados y pequeños, sin movimiento de aire. Ambientes con polvo y/o humos en forma limitada
	<u>GRADO 4.</u>	(30 PUNTOS). Ambientes tóxicos. Mucho polvo y/o humos no eliminables por extracción de aire.

Ilustración 48. Grados Concesión Tiempos Fatiga

3. HUMEDAD	<u>GRADO 1.</u>	(5 PUNTOS). Humedad normal, ambiente climatizado. Por lo general hay humedad relativa del 40% al 55%, con temperatura de 21 a 24°C.
	<u>GRADO 2.</u>	(10 PUNTOS). Ambientes secos. Menos del 30% de humedad relativa.
	<u>GRADO 3.</u>	(15 PUNTOS). Alta humedad. Sensación pegajosa en la piel y ropa humedecida. Humedad relativa del 80%.
	<u>GRADO 4.</u>	(20 PUNTOS). Elevadas condiciones de humedad, tales como trabajo bajo la lluvia o en salas de vapor o frigoríficos, que ameritan el uso de ropa especial
4. NIVEL DE RUIDO	<u>GRADO 1.</u>	(5 PUNTOS). Ruido de 30 a 60 decibeles. Característico en oficinas o en ambientes poco ruidosos.
	<u>GRADO 2.</u>	(10 PUNTOS). a) Ruido por debajo de 30 decibeles. Ambiente demasiado tranquilo. b) Ruido alto entre 60 y 90 decibeles, pero de naturaleza constante.
	<u>GRADO 3.</u>	(20 PUNTOS). a) Ruidos agudos por encima de 90 decibeles. b) Ambientes normalmente tranquilos con sonidos intermitentes o ruidos molestos. c) Ruidos por encima de 100 decibeles no intermitentes.
	<u>GRADO 4.</u>	(30 PUNTOS). Ruidos de alta frecuencia u otras características molestas, ya sean intermitentes o constantes.
5. ILUMINACIÓN	<u>GRADO 1.</u>	(5 PUNTOS). Luces sin resplandor. Iluminación fluorescente u otra para proveer de 215 a 538 lux para la mayoría de las aplicaciones industriales; y 538 a 1077 lux para oficinas y lugares de inspección.

Ilustración 49. Grados Concesión Tiempos Fatiga

- GRADO 2. (10 PUNTOS). Ambientes que requieren iluminación especial o por debajo del estándar. Resplandores ocasionales.
- GRADO 3. (15 PUNTOS). a) Luz donde el resplandor continuo es inherente al trabajo. b) Trabajo que requiere cambios constantes de áreas claras a oscuras con menos de 54 lux
- GRADO 4. (20 PUNTOS). Trabajo a tientas, sin luz y/o al tacto. Las características del trabajo imposibilitan u obstruyen la visión.

B. REPETITIVIDAD Y ESFUERZO APLICADO: 1) DURACIÓN DEL TRABAJO . 2) REPETICIÓN DEL CICLO. 3) ESFUERZO FÍSICO. 4) ESFUERZO MENTAL O VISUAL.

- 1. DURACIÓN DEL TRABAJO**
- GRADO 1. (20 PUNTOS). Operación o suboperación que puede completarse en un minuto o menos.
- GRADO 2. (40 PUNTOS). Operación o suboperación que puede completarse en 15 minutos o menos
- GRADO 3. (60 PUNTOS). Operación o suboperación que puede completarse en una hora o menos.
- GRADO 4. (80 PUNTOS). Operación o suboperación que puede completarse en más de una hora.
- 2. REPETICIÓN DEL CICLO**
- GRADO 1. (20 PUNTOS) a) Poca posibilidad de monotonía. El trabajador puede programar su propio trabajo o variar su patrón de ejecución. b) Operaciones que varían cada día o donde las suboperaciones no son necesariamente de realización diaria.

Ilustración 50. Grados Concesión Tiempos Fatiga

3. ESFUERZO FÍSICO	<u>GRADO 2.</u>	(40 PUNTOS). Operaciones de un patrón fijo razonable o donde existen tiempos previstos o previsiones para terminar. La tarea es regular, aunque las operaciones pueden variar de un ciclo a otro.
	<u>GRADO 3.</u>	(60 PUNTOS). Operaciones donde la terminación periódica está programada y su ocurrencia es regular, o donde la terminación del movimiento o los patrones previstos se ejecutan por lo menos 10 veces al día.
	<u>GRADO 4.</u>	(80 PUNTOS). a) Operaciones donde la terminación del movimiento o de los patrones previstos es más de 10 por día. b) Operaciones controladas por la máquina con alta monotonía o tedio del operador
	<u>GRADO 1.</u>	(20 PUNTOS). a) Esfuerzo manual aplicado más del 15% del tiempo, por encima del 30 kg. b) Esfuerzo manual aplicado entre el 15% y el 40% del tiempo, para pesos entre 12.5 kg y 30 kg. c) Esfuerzo manual aplicado entre el 40% y el 70% del tiempo, para pesos entre 2.5 kg y 12.5 kg. d) Esfuerzo manual aplicado por encima del 70% para pesos superiores a 2.5 kg.
	<u>GRADO 2.</u>	(40 PUNTOS) a) Esfuerzo manual aplicado entre el 15% y el 40% del tiempo por encima de 30 kg. b) Esfuerzo manual aplicado entre el 40% y el 70% del tiempo, para pesos entre 12.5 kg. y 30 kg. c) Esfuerzo manual aplicado por encima del 70% para pesos entre 2.5 kg. y 12.5 kg.
	<u>GRADO 3.</u>	(60 PUNTOS). a) Esfuerzo manual aplicado entre el 40% y el 70% del tiempo, para pesos superiores a 30 kg. d) Esfuerzo manual aplicado por encima del 70% del tiempo para pesos entre 12.5 kg. y 30 kg.

Ilustración 51. Grados Concesión Tiempos Fatiga

4. ESFUERZO MENTAL O VISUAL

- GRADO 4. (80 PUNTOS). Esfuerzo manual aplicado por encima del 70% del tiempo para pesos superiores a 30 kg.
- GRADO 1. (10 PUNTOS). Atención mental o visual aplicada ocasionalmente, debido a que la operación es prácticamente automática o porque la atención del trabajador es requerida a intervalos muy largos.
- GRADO 2. (20 PUNTOS). Atención mental y visual frecuente donde el trabajo es intermitente, o la operación involucra la espera del trabajador para que la máquina o el proceso completen un ciclo con chequeos espaciados.
- GRADO 3. (30 PUNTOS). Atención mental y visual continuas debido a razones de calidad o de seguridad. Generalmente ocurre en operaciones repetitivas que requieren un estado constante de alerta o de actividad de parte del trabajador.
- GRADO 4. (50 PUNTOS) a) Atención mental y visual concentrada o intensa en espacios reducidos. b) Realización de trabajos complejos con límites estrechos de exactitud o calidad. c) Operaciones que requieren la coordinación de gran destreza manual con atención visual estrecha sostenida por largos períodos de tiempo. d) Actividades de inspección pura donde el objetivo fundamental es el chequeo de la calidad.

Ilustración 52. Grados Concesión Tiempos Fatiga

C. POSICIÓN DE TRABAJO: PARADO, SENTADO, MOVIÉNDOSE, ALTURA DE TRABAJO.

- GRADO 1. (10 PUNTOS). Realización del trabajo en posición sentado o mediante una combinación de sentado, parado y caminando, donde el intervalo entre cambios de posición es inferior a cinco minutos. El sitio de trabajo presenta una altura normal respecto a la posición de la cabeza y los brazos del trabajador.
- GRADO 2. (20 PUNTOS). a) Realización del trabajo parado o combinado con el caminar y donde se permite que el trabajador se sienta sólo en pausas programadas para descansar. b) El sitio de trabajo presenta una disposición fuera del rango normal de trabajo, impidiendo la comodidad de brazos, piernas y cabeza por periodos cortos inferiores a un minuto.
- GRADO 3. (30 PUNTOS). Operaciones donde el sitio de trabajo o la naturaleza del mismo obliguen a un continuo agacharse o empinarse; o donde el trabajo requiera la extensión de los brazos o de las piernas constantemente.
- GRADO 4. (40 PUNTOS). Operaciones donde el cuerpo es contraído o extendido por largos periodos de tiempo o donde la atención exige que el cuerpo no se mueva.

Ilustración 53. Grados Concesión Tiempos Fatiga

	HOJA DE CONCESIONES		NÚMERO	II - 001
			VIGENCIA	
			FECHA	
CÓDIGO DE CARGO:	CONCESIONES:	FECHA ☐ EFECTIVA ☐ REEMPLAZADA		
ÁREA:	GERENCIA O DIVISIÓN:	PREPARADO POR:		
PROYECTO:	DEPARTAMENTO O SECCIÓN:	REVISADO POR:		
PROCESO:	TÍTULO DEL CARGO:	APROBADO POR:		
PUNTOS POR GRADO DE FACTORES				
FACTORES DE FATIGA	1er.	2do.	3er.	4to.
CONDICIONES DE TRABAJO:				
1 TEMPERATURA	5 ☐	10 ☐	15 ☐	40 ☐
2 CONDICIONES AMBIENTALES	5 ☐	10 ☐	20 ☐	30 ☐
3 HUMEDAD	5 ☐	10 ☐	15 ☐	20 ☐
4 NIVEL DE RUIDO	5 ☐	10 ☐	20 ☐	30 ☐
5 LUZ	5 ☐	10 ☐	15 ☐	20 ☐
REPETITIVIDAD:				
6 DURACIÓN DEL TRABAJO	20 ☐	40 ☐	60 ☐	80 ☐
7 REPETICIÓN DEL CICLO	20 ☐	40 ☐	60 ☐	80 ☐
8 DEMANDA FÍSICA	20 ☐	40 ☐	60 ☐	80 ☐
9 DEMANDA MENTAL O VISUAL	10 ☐	20 ☐	30 ☐	50 ☐
POSICIÓN:				
10 DE PIE MOVIÉNDOSE, SENTADO ALTURA DE TRABAJO	10 ☐	20 ☐	30 ☐	40 ☐
TOTAL PUNTOS: _____				
CONCESIONES POR FATIGA: _____ (MINUTOS)				
OTRAS CONCESIONES (MINUTOS)				
TIEMPO PERSONAL: _____				
DEMORAS INEVITABLES: _____				
TOTAL CONCESIONES: _____				
NOTA: SEÑALAR CON UNA ☒ LA PUNTUACIÓN CORRESPONDIENTE				

Ilustración 54. Tabla Resultado Concesión Tiempo Fatiga