

---

**Propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar. Sechura 2014.****Proposed technical improvement in the planning of preventive maintenance of the fleet of Komatsu loaders in Bayóvar WA800-3EO mine. Sechura 2014.****Aprimoramento técnico proposto no planejamento de manutenção preventiva da frota da Komatsu carregadoras em Bayóvar WA800-3EO meu. Sechura de 2014.**

**Cristian Rafael Guerrero Medina<sup>1</sup>, Blanca Lina Álvarez Luján<sup>1</sup>, Jorge Luis Arévalo Daza<sup>1</sup>, Víctor Fernando Calla Delgado<sup>1</sup>.**

---

**Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar una propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar, ubicada en Sechura-Piura; para esto se analizaron los reportes de producción, de gestión y el historial de intervenciones de la flota de cargadores en los últimos 24 meses, permitiendo diagnosticar el comportamiento actual del servicio de mantenimiento mediante el análisis de sus indicadores claves de rendimiento, así también analizar el impacto de la disponibilidad de estos equipos en la producción, asimismo diseñar un sistema de planificación y programación de operaciones de servicio de mantenimiento, permitiendo de esta manera realizar la programación maestra de producción realizando la distribución de los servicios por semana y la planificación de requerimiento de materiales para la cantidad de insumos que serán requeridos para cumplir adecuadamente los servicios pronosticados. Se evidencia que reduciendo la cantidad de mano de obra actual de 09 a 08 técnicos, y cubriendo las horas faltantes en alta demanda de servicios con horas extras y temporales, permitirá ahorrar un 10.04% ó USD 10264.8 en los próximos 12 meses.

**Palabras Clave:** *Planificación del mantenimiento, gestión del mantenimiento, producción.*

**Abstract**

This research aims to design a technical proposal for improvement in the planning of preventive maintenance of the fleet of Komatsu loaders Bayóvar WA800-3EO in the mine, located in Sechura-Piura; for this production reports, management and intervention history chargers fleet in the last 24 months were analyzed, enabling diagnosis of current maintenance service behavior by analyzing its key performance indicators, and also analyze the impact of the availability of such equipment in production also design a system of planning and scheduling maintenance service operations, thus enabling making the master production schedule made the distribution of services per week and planning requirements materials for the amount of inputs that will be required to adequately fulfill the predicted services. It is evident that reducing the amount of current workforce of 09-08 technicians, and covering the missing hours in high demand extra services and temporary hours will allow save 10.04% or USD 10264.8 in the next 12 months.

**Keywords:** *maintenance planning, maintenance management, production.*

**Resumo**

Esta pesquisa tem como objetivo projetar uma proposta técnica para melhorias no planejamento de manutenção preventiva da frota da Komatsu carregadoras de Bayóvar WA800-3EO na mina, localizado em Sechura Piura-; foram analisados para esta frota relatórios de produção, de gestão e de história da intervenção carregadores nos últimos 24 meses, permitindo um diagnóstico do comportamento de serviço de manutenção atual, analisando suas principais indicadores de desempenho, e também analisar o impacto da disponibilidade de tais equipamentos na produção também projetar um sistema de operações de serviços de planejamento e agendamento de manutenção, permitindo, assim, tornando o programa mestre de produção fez a distribuição de serviços por semana e planejamento de requisitos materiais para a quantidade de insumos que serão necessários para cumprir adequadamente os serviços previstos. É evidente que a redução da quantidade de força de trabalho atual de 09-08 técnicos e abrangendo as horas que faltam em serviços extras de alta demanda e horas temporárias permitirá salvar 10,04% ou USD 10.264,8 nos próximos 12 meses.

**Palavras-chave:** *planejamento de manutenção, gestão de manutenção, produção.*

---

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad César Vallejo, Chimbote-Perú, guerrero1810@hotmail.com

Recibido: 03 de agosto del 2015

Aceptado: 08 de noviembre del 2015

## Introducción

El Perú, como país minero, tiene un gran desarrollo en dicho campo, generando de esta manera una gran demanda de equipos para la minería en los cuales se basa su producción. El entorno competitivo en que se desarrolla la minería, junto a la necesidad de responder de forma adecuada a los continuos cambios, conllevan a significativas y constantes mejoras de sus procesos, en especial, el de producción. Las deficiencias que resaltan en las industrias mineras son las fallas repetitivas de sus equipos debido principalmente a las malas condiciones operativas, malas prácticas de mantenimiento o la inadecuada planificación para la asignación de los recursos. Es entonces que se hace indispensable afinar la gestión del mantenimiento a través de nuevas técnicas que logren obtener los resultados esperados; cabe decir, la mayor disponibilidad y confiabilidad operacional posible de los equipos mineros en los cuales se soporta la producción.

En un escenario donde la actividad minera se constituye como una de las principales actividades económicas a nivel global, la empresa Komatsu se ha consolidado como uno de los principales socios estratégicos de las compañías mineras en proveer de equipos, repuestos y servicios a la pequeña, mediana y gran minería. Komatsu ha logrado una importante presencia de marca en las grandes operaciones mineras, transformándose además en una empresa con experiencia en contratos de servicios de mantención a flotas de equipos mineros, reconocidos por sus políticas de calidad, que le han permitido diferenciarse a nivel global por la combinación en el uso y desarrollo de variadas disciplinas de la ingeniería que le sirvieron como respaldo para ofrecer servicios de calidad y satisfacer las expectativas de los clientes. (Komatsu, 2012)

Es conocida la evolución que el mantenimiento ha tenido a lo largo del pasado siglo XX y que se está acentuando en estos primeros años del siglo XXI, en cuanto a las últimas tendencias, deficiencias y resultados marcados a partir de los años 80. A partir de dicha fecha empezaron a tener auge los diversos movimientos que iban a revolucionar el mantenimiento histórico llevado a cabo desde la segunda guerra mundial. En 1970, comienza a afianzarse la filosofía del mantenimiento basada en la aplicación del concepto de costo del ciclo de vida (LCC - Life Cycle Cost), nacido en Estados Unidos. También nacido en 1970, pero en este caso en Japón, aparece otro método organizativo para mantenimiento, denominado Mantenimiento Productivo Total (TPM - Total Productive Maintenance). En los últimos años del siglo XX toma fuerza el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM - Reliability Centered Maintenance), que rediseña todas las consistencias y periodicidades de mantenimiento con base en un análisis riguroso y detallado de los tipos de fallos y modos en que estos se producen (González, 2004).

Existen cinco tipos de mantenimiento, los cuales se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen. Estos son: El mantenimiento correctivo se puede decir que es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. El mantenimiento Preventivo, es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. El mantenimiento predictivo, es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos. El Mantenimiento Hard Time o Cero horas, es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos bien programados antes de que aparezca algún fallo, cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano. El mantenimiento en uso o autónomo, es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es

necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

Esta división de tipos de mantenimiento presenta el inconveniente de que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no se puede pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular. La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento las dictarán estrictas razones ligadas al costo de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad, a la calidad del servicio y al costo de las pérdidas de producción en una parada de este equipo, entre otras (García, 2010).

En este trabajo de investigación se propone mejorar la planificación de los servicios brindados. Se puede detallar que en la planificación empresarial y planificación de operaciones, son numerosas las formas en que se puede estructurar el proceso de planificación y control de la producción con un enfoque jerárquico, aunque la esencia sea siempre la misma. Se consideran tres etapas básicas: La planificación estratégica donde se establecen los objetivos, las estrategias y, en general, los planes globales a largo plazo, normalmente entre tres y cinco años. Esta actividad es desarrollada por la Alta Dirección y se ocupa de problemas de gran amplitud, tanto en términos de actividades organizativas como de tiempo; debido a ello se emplean variables muy agregadas. La planificación táctica, donde se concretan los planes estratégicos y los objetivos globales de la empresa para cada una de las áreas y sub áreas funcionales, llegándose a un elevado grado de detalle. Así se establecen, además, las tareas a desarrollar para que cumplan los objetivos y planes a largo plazo, indicando dónde, cómo y cuándo se llevarán a cabo. Se trata, pues, de una etapa en la que las actividades son más limitadas y abarcan un horizonte temporal relativamente corto, que puede ir de 18 meses o un año a varias semanas, dependiendo de cada caso concreto. En consecuencia, las variables que aquí se emplean estarán más desagregadas; y la planificación operativa se pretende establecer las medidas correctivas necesarias para eliminar las posibles diferencias entre los resultados y los objetivos relacionados con ellos. El diseño de un subsistema de operaciones se caracteriza por un conjunto de decisiones estructurales interrelacionadas, las cuales van a marcar la actividad productiva a mediano y corto plazo. Hecho esto, se conoce ya qué productos o servicios se va a elaborar y mediante qué procesos; asimismo, se decidió la capacidad a largo plazo, los equipos necesarios para conseguirla, así como la localización de la actividad productiva y la distribución en planta del equipo y del factor humano (Domínguez, y otros, 1995).

Respecto a las tareas y responsabilidades de la planificación, se puede indicar que las previsiones a largo plazo ayudan a los directivos a tratar problemas de capacidad y estrategia, y son responsabilidades de la alta dirección. La alta dirección se plantea cuestiones relacionadas con la política a seguir, como la localización y expansión de las instalaciones, el desarrollo de nuevos productos, la financiación de la investigación y las inversiones a realizar en un periodo de varios años. La planificación a mediano plazo comienza una vez tomadas las decisiones de capacidad a largo plazo. Este es un trabajo de los directores de operaciones. Las decisiones de planificación tratan de resolver el problema de igualar la producción a demandas fluctuantes. Estos planes tienen que ser coherentes con la estrategia a largo plazo elaborada por la alta dirección y trabajar con los recursos asignados en decisiones estratégicas anteriores.

La planificación a medio plazo o intermedio se lleva a cabo con el desarrollo de un plan agregado de producción. La planificación a corto plazo se puede extender hasta un periodo de 1 año, pero normalmente es inferior a 3 meses. Este plan también es responsabilidad del personal de operaciones, que trabajan con los supervisores, para “desagregar” el plan a medio plazo en programaciones semanales, diarias y por horas. Las tácticas para efectuar la planificación a corto plazo comprenden la carga, secuenciación, agilización y expedición de los pedidos, y muestra los horizontes temporales. (Heizer, y otros, 2007)

Una de las herramientas de ingeniería que se encarga de optimizar recursos proponiendo de esta manera mejoras en la Planificación es la llamada Planificación Agregada. Se entiende por planificación, a la anticipación de las decisiones referidas a cómo ajustar las capacidades del sistema productivo a la demanda, con el objetivo de optimizar los recursos disponibles. Como ya se nombró anteriormente, existen diferentes niveles de planificación: estratégica, táctica y operativa, en función del tipo de decisiones a considerar.

El Plan Estratégico o Plan de Empresa incluye entre otros, el Plan de Producción a largo plazo, que es el punto de partida para la obtención del Plan Agregado de Producción (nivel táctico, a mediano plazo). La Planificación Agregada debe tratar de igualar, siempre que sea posible, la tasa de producción a las previsiones de demanda, dado que esta última suele no ser homogénea a lo largo del tiempo. El planificador debe decidir qué medidas de ajuste toma para intentar minimizar diferencias: Puede actuar sobre la capacidad, por ejemplo, utilizar los inventarios, modificar el volumen de la mano de obra, utilizar trabajadores a tiempo parcial, variar la tasa de producción mediante horas extras, subcontratar, etc., o puede actuar sobre la demanda como es, influir en ella mediante publicidad, promociones, bajar los precios, entregar pedidos con retraso, fabricar artículos con ciclos de demanda complementarios, etc. (Castán, 2007).

Otro enfoque consiste en desarrollar el Plan Agregado para simular diversos programas de producción maestros y calcular los requerimientos de capacidad correspondientes con el fin de saber si existen la fuerza de trabajo y el equipo adecuados en cada centro de trabajo. Si la capacidad es inadecuada, se especifican los requerimientos adicionales de tiempo extra, subcontratación, trabajadores adicionales, etc., para cada línea de producto y se combinan en un plan grosso modo. Después, este plan se modifica con métodos de pruebas o matemáticos para derivar un plan final a menor costo. Los factores internos que constituyen el entorno de la planificación de la producción difieren en cuanto a la capacidad para controlarlos. Por lo general, la capacidad física actual (planta y equipo) es casi fija a corto plazo; a menudo, los acuerdos con los sindicatos limitan los cambios en la fuerza de trabajo; no siempre es posible incrementar la capacidad física; y es probable que la alta gerencia limite la cantidad de dinero relacionada con los inventarios. Aun así, siempre existe cierta flexibilidad al manejar estos factores, y los responsables de planear la producción pueden implementar una de las estrategias de planeación de la producción, o una combinación de ellas.

En esencia, hay tres estrategias de planeación de la producción, que comprenden cambios en el tamaño de la fuerza de trabajo, las horas de trabajo, el inventario y la acumulación de pedidos.

Una estrategia es la de ajuste que se basa en igualar el índice de producción con el índice de pedidos contratado y despedir empleados conforme varía el índice de pedidos. El éxito de esta estrategia depende de tener un grupo de candidatos a los que se les pueda capacitar con rapidez y de donde tomar empleados cuando el volumen de pedidos aumente. Como es obvio, existen algunos impactos emocionales. Cuando la acumulación de pedidos es baja, es probable que los empleados quieran reducir el ritmo de trabajo por el temor a ser despedidos tan pronto como se cubran los pedidos existentes. Otra estrategia es la de fuerza de trabajo estable y horas de trabajo variables; esta se aplica variando la producción ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios de trabajo flexibles u horas extra. Al variar el número de horas, es posible igualar las cantidades de la producción con los pedidos. Esta estrategia ofrece continuidad a la fuerza de trabajo y evita muchos de los costos emocionales y tangibles de la contratación y los despidos relacionados con la estrategia de ajuste. Otra de las estrategias es la estrategia de nivel que consiste en mantener una fuerza de trabajo estable con un índice de producción constante. La escasez y el superávit son absorbidos mediante la fluctuación de los niveles de inventario, los pedidos acumulados y las ventas perdidas. Los empleados son beneficiados con un horario de trabajo estable a expensas de niveles de servicio a clientes potencialmente más bajos y un aumento en el costo del inventario. Otra preocupación es la posibilidad de que los productos inventariados se vuelvan obsoletos.

Entonces se puede decir que; cuando sólo se utiliza una de estas variables para absorber las fluctuaciones de la demanda, se conoce como una estrategia pura; dos o más estrategias utilizadas en combinación constituyen una estrategia mixta. Como se puede comprender, las estrategias mixtas se aplican con mayor frecuencia en la industria. Además de estas estrategias mencionadas existe la estrategia de subcontratación, esta es una estrategia muy utilizada en estos últimos años, en la cual los gerentes deciden subcontratar parte de la producción. Esta estrategia es similar a la de ajuste, pero las contrataciones y despidos se cambian por la decisión de subcontratar o no. Cierta nivel de subcontratación es necesario para ajustarse a las fluctuaciones en la demanda. Sin embargo, a menos que la relación con el proveedor sea muy fuerte, un fabricante puede perder cierto control sobre la programación y la calidad. Por esta razón, una subcontratación excesiva se considera una estrategia de alto riesgo (Chase, 2009).

Como se ha podido señalar hasta este punto, toda actividad productiva se desarrolla en base a operaciones que se diseñan y supervisan en diferentes niveles de detalle; por ejemplo, para planificar y programar la producción es necesario conocer los procesos y determinar una serie de vínculos para tener en cuenta las distintas variables que podrían afectar. Los sistemas básicos para planificar y controlar los procesos abordan el problema de la ordenación del flujo de todo tipo de materiales en la empresa para obtener los objetivos de producir eficientemente, ajustar los inventarios, la capacidad, la mano de obra, los costos de producción, los plazos de entrega y las cargas de trabajo, sin excesos innecesarios que cubran los problemas de producción existentes, ni rigideces que impidan la adecuación a los cambios continuos en el entorno en que actúa la empresa. El sistema MRP (Planificación de Requerimiento de Materiales) brinda una solución a un problema clásico en los sistemas productivos; el de controlar y coordinar los materiales para se encuentren en el momento y lugar cuando son requeridos y sin la necesidad de tener un excesivo inventario. El MRP es un sistema de gestión de materiales y de gestión de stocks que responde a las preguntas, ¿Qué?, ¿cuánto? y ¿cuándo? se debe fabricar o aprovisionar para cumplir con el programa maestro de producción con el objetivo de determinar las cantidades de componentes y materiales requeridos en cada semana del horizonte de planificación para satisfacer el programa.

La utilización del MRP conlleva la planificación de la producción con anticipación, es decir, hay que establecer qué se quiere hacer en el futuro y, a partir de ahí, determinar la secuencia de acciones que es necesario emprender para lograrlo. Hay que matizar que la ejecución de la producción tiene un carácter de empuje, donde el lanzamiento de una acción planificada está condicionado a la disponibilidad de materiales resultante del cumplimiento de acciones anteriores. El modo de planificar mediante el sistema del MRP presenta grandes beneficios frente a otros medios tradicionales, en cuanto a costos y organización. Aunque los cálculos que se requieren en un sistema MRP para planificar órdenes de compra y fabricación son muy sencillos y deben ser reproducidos para una gran cantidad de datos. Por ello, estos sistemas están concebidos para su uso mediante soporte informático. (González, 2005). El aspecto del MRP de las actividades de manufactura y ejecución de servicios guarda una relación estrecha con el programa maestro, el archivo con la lista de los materiales y los informes de producción. El sistema MRP funciona como sigue: El programa maestro de producción señala el número de piezas que se van a producir o utilizar en tiempos específicos. En un archivo con la lista de materiales se especifican los materiales que se usan para hacer cada pieza y las cantidades correctas para cada uno. El archivo con el registro de inventarios contiene datos como el número de unidades disponibles y pedidas. Estas tres fuentes (programa maestro de producción, archivo con la lista de materiales y archivo de registros de inventarios) se convierten en las fuentes de datos para el MRP, que despliega el programa de producción en un detallado plan de programación de pedidos para toda la secuencia de la producción. El sistema MRP opera con la información de los registros de inventarios, el programa maestro y la lista de materiales. El proceso de calcular las necesidades exactas de cada pieza que maneja el sistema se conoce como proceso de “explosión”. Continuando en sentido descendente por la lista de materiales, las necesidades de piezas antecedentes se usan para calcular las necesidades de componentes. Se pone atención a los saldos actuales y pedidos que están programados para recibirse en el futuro. Por lo general, los cálculos de la explosión se realizan cada semana o cuando se hacen cambios en el programa maestro. (Chase, 2009)

Entonces se puede afirmar que con el paso del tiempo se han ido desarrollando nuevos métodos para planear y programar la producción hasta llegar a crear sistemas muy avanzados y sofisticados para la planeación y control de la producción.

Respecto al Mantenimiento, que es uno de los puntos principales del estudio de esta tesis, en cuanto a la Organización del mantenimiento se puede decir que dependiendo de la carga de mantenimiento, el tamaño de la planta y su nivel de operación planificado, las destrezas de los trabajadores, etc, junto al tipo de mantenimiento aplicable, se puede ayudar a estimar la carga de mantenimiento o las salidas deseadas del sistema de mantenimiento. (Duffuaa, 2013)

Para realizar una correcta organización de los mantenimientos es necesaria una buena planificación como requisito previo para una programación acertada. Para distinguir estos dos términos se puede mencionar que la planificación es un proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios para realizar una tarea, antes del momento en que se inicie el trabajo. Por otro lado, la programación tiene que ver con la hora o el momento específico y el estado de fases o etapas de los trabajos

planificados junto con las órdenes para efectuar el trabajo, su monitoreo control y reporte de avance. Entonces se puede decir que, para que la planificación sea exitosa es necesaria una retroalimentación de la función de programación. La planificación y programación del mantenimiento es diferente de la planificación y la programación de la producción en los siguientes aspectos. La demanda del trabajo de mantenimiento tiene más variabilidad que el trabajo de producción y la llegada de la demanda es aleatoria por naturaleza. La planificación del mantenimiento requiere coordinación con muchos departamentos de la organización, como el de materiales, operaciones e ingeniería, y en muchas situaciones es una causa importante de atrasos y cuellos de botella.

La planificación en el contexto del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planificación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de la orden de trabajo, la lista de materiales, la requisición de compras, los planos y dibujos necesarios, la hoja de planificación de la mano de obra, los estándares de tiempo y todos los datos necesarios antes de programar y liberar la orden de trabajo.

La programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se acoplan los trabajos con los recursos y se les asigna una secuencia para ser ejecutada en ciertos puntos del tiempo. Un programa confiable debe tomar en consideración lo siguiente: Una clasificación de prioridades de trabajos que reflejen la urgencia y el grado crítico del trabajo. Estimaciones realistas y lo que probablemente sucederá, y no lo que el programador desea. Flexibilidad en el programa, vale decir que el programador debe entender que se necesita flexibilidad, especialmente en el mantenimiento; el programa se revisa y actualiza con frecuencia. El programa de mantenimiento puede prepararse en tres niveles, dependiendo de su horizonte: El programa a largo plazo o maestro, que cubre un periodo de 3 meses a 1 año, el programa semanal que cubre una semana y el programa diario que cubre el trabajo que debe completarse cada día. El programa a largo plazo se basa en las órdenes de trabajo de mantenimiento existentes, incluyendo las órdenes de trabajo en blanco, los trabajos pendientes, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento de emergencia anticipado. El programa a largo plazo generalmente está sujeto a revisión y actualización para reflejar cambios en los planes y el trabajo de mantenimiento realizado. El programa de mantenimiento semanal se genera a partir del programa a largo plazo y toma en cuenta los programas actuales de operaciones y consideraciones económicas. El programa semanal deberá permitir que se cuente con 10% o 15% adicional de la fuerza laboral para trabajos de emergencia. El planificador deberá proporcionar el programa para la semana actual y la siguiente, tomando en consideración los trabajos pendientes. El programa diario se elabora a partir del programa semanal y generalmente se prepara el día anterior. Este programa con frecuencia es interrumpido para efectuar mantenimiento de emergencia. Las propiedades establecidas se utilizan para programar los trabajos. En algunas organizaciones, el programa se entrega al supervisor del área, quien asigna el trabajo según las prioridades establecidas. (Duffuaa, 2013)

Para el diseño de un sistema de mantenimiento eficaz, los pronósticos y la planificación de la capacidad de mantenimiento son dos funciones importantes. Los pronósticos del mantenimiento, comprenden la estimación y predicción de la carga de mantenimiento. Las técnicas para los pronósticos pueden calificarse como cualitativas y cuantitativas.

Los pronósticos cualitativos se basan en la experiencia experta, de ingeniería y en el juicio. Tales técnicas incluyen la analogía histórica, encuestas y el método Delphi. Los métodos cualitativos se usan cuando no se tienen suficientes datos históricos o para modificar los pronósticos generados por los métodos cuantitativos para prever sucesos especiales próximos que, de lo contrario, no se reflejarían en el pronóstico. Si no se usara el método de juicio, los cuantitativos generarían pronósticos poco confiables. Por otra parte, los pronósticos cuantitativos se basan en modelos matemáticos que derivan en estimaciones para tendencias futuras a partir de datos históricos. Estos modelos se basan en series de tiempos, como promedios móviles y suavización exponencial, o son de tipo estructural, como los modelos de regresión. Se utilizan en los casos que se disponga de información numérica o data histórica con los cuales procesar la información o hallar relaciones causales. Se debe tener presente que, por lo general, un pronóstico sin errores es imposible porque en un ambiente de negocios hay demasiados factores que no se pueden pronosticar con certeza; por lo tanto en lugar de buscar el pronóstico perfecto es mucho más importante establecer la práctica de una revisión continua de los pronósticos y aprender a vivir con pronósticos imprecisos. Esto no quiere decir que no se trate de

mejorar el modelo o la metodología de pronosticar, pero lo que se debe hacer es tratar de encontrar y usar el mejor método de pronóstico disponible, dentro de lo razonable.

La carga de mantenimiento es la encargada de poner en marcha todo el sistema de mantenimiento. La planificación de la capacidad de mantenimiento implica determinar los recursos de mantenimiento necesarios para satisfacer la carga de mantenimiento a fin de alcanzar los objetivos de la organización como disponibilidad, confiabilidad operacional, tasas de calidad y fechas de entrega. Un elemento esencial en la planificación de la capacidad es la determinación de las habilidades de los trabajadores, el número exacto de los diversos tipos de trabajadores, el nivel viable de trabajos pendientes, la capacidad de tiempo extra y el mantenimiento por contrato. (Duffuaa, 2013)

Las empresas tienen el reto permanente de mejorar la Gestión del Mantenimiento para ser más sostenibles. Pero, ¿qué es gestionar y qué es mantenimiento?, Según la Real Academia Española (RAE), la palabra gestionar tiene por significado “Hacer diligencias conducentes al logro de un negocio”, lo que lleva a deducir que gestión es la forma correcta de administrar o dirigir dicho negocio. Por otra parte, al mantenimiento, lo define como “El conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente” (Real Academia, 2014). Entonces, reuniendo estas dos definiciones, Gestionar y Mantenimiento, resulta posible decir que la Gestión de Mantenimiento es el modo de administrar, dirigir, planear, ejecutar y controlar las operaciones, recursos, activos, controles y mecanismos, cuidados técnicos y modelos necesarios, para que la industria pueda seguir funcionando adecuadamente; es decir, que se permita minimizar el número de fallos en los equipos, elevar los índices de productividad y a su vez hacer más eficientes y eficaces los diferentes procesos industriales, siendo éste el ideal de cualquier empresa. (La gestión del mantenimiento una oportunidad de cambio, 2012)

Gestionar el mantenimiento es necesario porque, en primer lugar, la competencia obliga a rebajar costos; por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Es necesario analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que se pueda dedicar la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor. Es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad interfiera en el Plan de Producción. Otra necesidad es porque han aparecido multitud de técnicas que son necesarias analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también como desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son: TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y Diversas Técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis vibracional, termografías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).

Otro aspecto por el que es importante gestionar el mantenimiento es porque la calidad, la seguridad y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial de toda empresa. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento. Por todas estas razones, es necesario definir políticas, formas de actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario Gestionar el Mantenimiento. (García, 2010).

Se debe ser consciente de que solo se puede mejorar de forma objetiva aquello que se puede medir. Por tanto, cualquier responsable técnico de una empresa o de un departamento de Mantenimiento que afronte un proceso de mejora serio y riguroso, debe plantearse profundamente la necesidad de medir en qué situación se encuentra ahora y cuál va a ser la forma de medir el éxito o fracaso de las nuevas medidas adoptadas. Pero ¿cuáles son esos indicadores de la gestión del Mantenimiento?, ¿qué parámetros determinan que el trabajo del departamento de Mantenimiento se está haciendo bien o mal?. Robert M. Williamson, presidente de Strategic Work System, en su libro “Data... Data... Data”, indica que la información debe ser justa y, para ello, aporta tres orientaciones: Los datos clave o indicadores deben referirse sólo a las áreas críticas, a los procesos básicos y a los equipos fundamentales. Elija por tanto aquellos imprescindibles. El personal debe ver como los datos e indicadores definidos se usan para mejorar los resultados y para hacer su trabajo más fácil y mejorable

con el tiempo. Convertir los datos o indicadores en “datos o indicadores útiles”. Para ello, además de ser intrínsecamente válidos para los Gerentes de Mantenimiento, deben presentarse en formatos fáciles de leer y amigables. (González, 2004)

Los Indicadores de la Gestión del Mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de mantenimiento permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, componentes y equipos; de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento. Estos indicadores son: La disponibilidad, representa el porcentaje del tiempo total del período que el equipo está en condiciones de ser operado y resulta del tiempo total del periodo menos el tiempo total de inoperatividad del equipo entre el tiempo total del periodo por cien obteniendo así el porcentaje; La confiabilidad operacional (Tasa de Falla, TMEF) es un indicador que permite medir la frecuencia de fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos y resulta de dividir el número de fallas en el periodo entre el tiempo total de operatividad del equipo en el periodo; Por su parte, la mantenibilidad es un indicador que permite medir el tiempo medio para reparar (TMPR) y por lo tanto la facilidad de mantener, que resulta de dividir el tiempo fuera de servicio del equipo en el periodo entre el número de fallas en el periodo.

Existen otros indicadores usados en la gestión de mantenimiento, entre los que se pueden destacar: Relación entre mantenimiento planificado respecto no planificado, cumplimiento de Reparaciones programadas, cantidad de reparaciones no programadas, cumplimiento de paralizaciones programadas, cantidad de paralizaciones no programadas, utilización, indicadores relacionados con planificación de mantenimiento, por ejemplo, cumplimiento de órdenes de trabajo, órdenes pendientes, entre otras. (Solis, 2013) El indicador de cumplimiento de reparaciones programadas, mide el porcentaje de horas utilizadas en las reparaciones durante las cuales se efectúan actividades programadas. Esta relación porcentual representa la relación existente entre el tiempo de intervención realizada a un sistema o equipo y el total del tiempo de intervención a un sistema o equipo. El indicador de cantidad de reparaciones no programadas mide el porcentaje de horas utilizadas en las reparaciones durante las cuales se efectúan actividades no programadas. Esta relación porcentual representa la relación existente entre el tiempo de intervención realizada a un sistema o equipo que no estuvo programado y el total del tiempo de intervención a un sistema o equipo. Asimismo, el indicador de Paralizaciones Programadas; este indicador mide el número de paralizaciones que se encuentran programadas entre el número total de las paralizaciones, y se mide en unidades de evento. El indicador de cantidad de paralizaciones no programadas; este indicador mide el número de las paralizaciones que no se encuentran programadas entre el número total de las paralizaciones, y se mide en unidades de evento. El indicador de utilización, también llamado factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un periodo (Amendola, 2014).

Para efectos de este informe de tesis, se usó solo los tres primeros indicadores descritos, es decir, disponibilidad, confiabilidad operacional y mantenibilidad que son los de uso común al momento del análisis operativo de la gestión del mantenimiento en la industria minera. Esta investigación se efectuó a partir de una idea de mejorar la gestión del mantenimiento de la empresa Komatsu–Mitsui Maquinarias Perú S.A, de tal manera que le permita optimizar sus costos relacionados al mantenimiento y reformar los procesos de mantenimiento para obtener así mejores indicadores de resultados del servicio que espera su cliente, minera Miskimayo. Es conocido que la industria minera en el Perú viene presentando un crecimiento acelerado y sostenido desde hace varios años, consolidándose como una industria rentable y competitiva, sin embargo este avance no es acompañado por el desarrollo de sus actividades complementarias para su desarrollo y correcto funcionamiento como las que constituyen la gestión adecuada del mantenimiento. Con esta investigación se busca analizar cómo afectan las deficiencias en la planificación del mantenimiento preventivo al servicio de mantenimiento de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO y cómo afectan las deficiencias de los cargadores Komatsu WA800-3EO al rendimiento de la producción y de manera directa a la percepción que tiene el cliente sobre el servicio brindado, corriendo el riesgo de perder el posicionamiento de calidad que Komatsu ha logrado en estos últimos 5 años de contrato.



## Material y método

El estudio de la “Propuesta Técnica de Mejora en la Planificación del Mantenimiento Preventivo de la Flota de Cargadores Komatsu WA800-3EO en Mina Bayóvar. Sechura. 2014”, es de diseño no experimental debido a que no existió manipulación en forma deliberada de variables, simplemente se procedió a realizar observaciones de situaciones ya existentes. Por otro lado, es transversal porque lo que se buscó fue describir la variable recogiendo información con respecto a la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad operacional de los equipos que fueron motivo del estudio, y analizar el impacto del servicio de mantenimiento brindado en el giro de negocio del cliente en un momento dado. De acuerdo al fin que persiguió, la presente investigación es aplicada debido a que su propósito fue proponer soluciones a problemas identificados en el área de la Planificación del Mantenimiento de la empresa Komatsu. Asimismo de acuerdo a la técnica de contrastación es una investigación descriptiva debido a que tuvo como prioridad la descripción de las funciones y características del objeto estudiado. De acuerdo al régimen de investigación es orientada ya que el presente trabajo de tesis fue guiado por un asesor metodólogo y una asesora especialista para su correcto desarrollo, siendo el diseño del estudio es descriptivo.

Para este estudio, se consideró a la población total de los cargadores Komatsu WA800-3E, los cuales tienen un horómetro mayor a 5000 horas de trabajo y más de seis meses de antigüedad en la operación minera de Bayóvar debido a que estos equipos presentan problemas de fallas por desgaste y/o fatiga de partes originando que su mantenibilidad sea más alta y que su disponibilidad y confiabilidad operacional sea más baja. Fueron cinco los que se encontraban en operación en la mina Bayóvar. No se ha considerado muestra y muestreo por considerarse a todos los cargadores Komatsu WA800-3EO que estaban operando en la mina Bayóvar. La técnica empleada para la recolección de datos en este desarrollo de tesis fue la de análisis documental, para la cual fueron elaborados los siguientes instrumentos: Guía de análisis de KPI de mantenimiento, elaborada en base a la información de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad operacional y mantenibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en mina Bayóvar, presente en los reportes de gestión del mantenimiento de los últimos 24 meses de la operación minera en el tiempo comprendido entre el mes de setiembre del año 2012 hasta el mes de agosto del año 2014. Guía de análisis de Producción de Mina, que se elaboró en base a la cantidad de mineral movido para producción de mina por la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO, presente en los reportes de producción de la mina en los últimos 18 meses de la operación minera en el tiempo comprendido entre el mes de marzo del año 2013 hasta el mes de agosto del año 2014. Guía de análisis de historial de intervenciones, elaborada en base al historial de intervenciones del mantenimiento preventivo realizados a la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO, presente en los reportes de minería realizados en los últimos 24 meses de la operación minera en el tiempo comprendido entre el mes de setiembre del año 2012 hasta el mes de agosto del año 2014 por el área de mantenimiento. Los instrumentos fueron validados a través del juicio de tres expertos en ingeniería de mantenimiento.

Con los datos recogidos de la guía de análisis de KPI de mantenimiento, se realizó el análisis de tendencia de disponibilidad, confiabilidad operacional y mantenibilidad del cargador Komatsu WA800-3EO empleando gráficos con líneas de tendencias y curvas de medición de desempeño de los indicadores. Con los datos recogidos en la guía de análisis de producción de la mina se relacionó los índices de producción con el indicador de disponibilidad del cargador Komatsu WA800-3EO. Para este análisis se elaboraron histogramas de frecuencias, gráficos para evidenciar la tendencia y se hizo también un análisis de regresión para analizar el efecto. Con los datos recogidos en la guía de análisis de historial de intervenciones se aplicaron técnicas de pronósticos de series de tiempo estacional, elaborando tablas de frecuencias, a fin de proyectar las intervenciones que se deben realizar según el programa maestro de producción para el siguiente año, la planificación de requerimiento de materiales para cubrir la demanda de materiales para los servicios de mantenimiento proyectados y se obtuvo la optimización del costo a través la técnica del planeamiento agregado aplicada a los servicios de mantenimiento.

## Resultados

Diagnóstico del comportamiento actual del servicio de mantenimiento en base a los Indicadores Clave de Rendimiento de la Gestión del mantenimiento (Key Performance Indicator - KPI). El diagnóstico

del comportamiento actual del servicio de mantenimiento se hizo recogiendo los datos históricos de los reportes de gestión de los últimos dos años, después del cual se generaron las tablas y figuras donde se pudo verificar la tendencia de los indicadores. Además de esto, en los puntos críticos de las figuras se realizó una investigación de las causas que generan estos picos, buscando la información de cada uno de los reportes de servicio de minería de esas fechas. Para el diagnóstico del comportamiento actual del servicio de mantenimiento se tomó en cuenta la información obtenida de datos históricos de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO, a través de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad operacional y mantenibilidad.

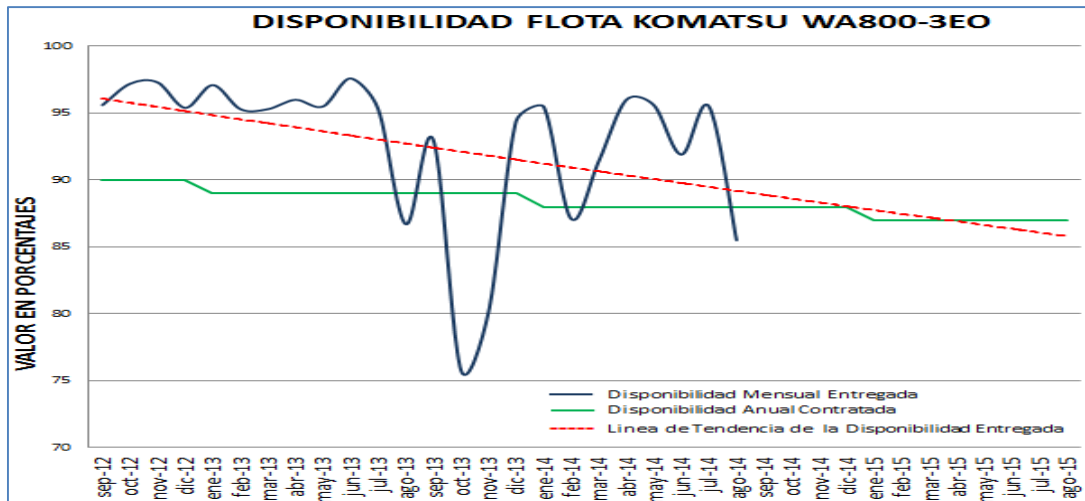


Figura 01: Disponibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO de los últimos 24 meses.

Fuente: Reportes de gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui.

En la Figura 01 se evidencia que el indicador de la disponibilidad presenta un descenso progresivo según la línea de tendencia. Esto indica que los mantenimientos a estos equipos no se están llevando de una manera adecuada y que de continuar así, la disponibilidad entregada estará por debajo del nivel contratado aproximadamente en abril del año 2015. La excesiva disminución de la disponibilidad que se pudo evidenciar en los meses de octubre y noviembre del año 2013 en la figura 01 se debe a la falla del motor diésel del WA800-3EO #02 y al incendio de la cabina del operador del WA800-3EO #01 en esas fechas respectivamente.

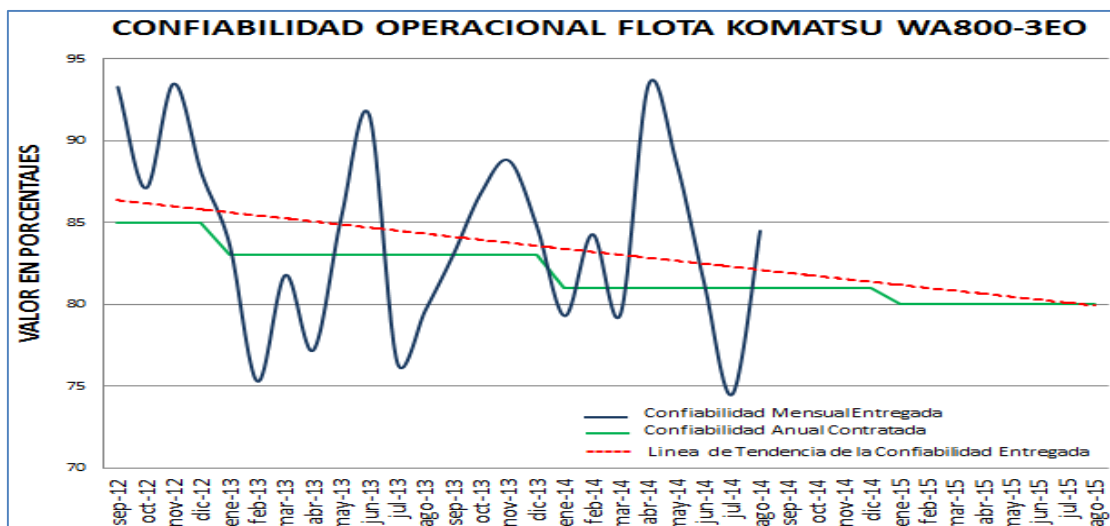


Figura 02: Confiabilidad Operacional de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO de los últimos 24 meses. Fuente: Reportes de gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui.

La Figura 02 evidencia que el indicador de la confiabilidad operacional denota una caída sostenida durante los últimos 24 meses de operación de estos equipos, lo que indica que mientras los equipos acumulan horas de operación también aumenta las paradas imprevistas por mantenimiento correctivo.

La línea de tendencia permite afirmar que si se continúa con el actual servicio de mantenimiento ocasionará la disminución en la confiabilidad operacional de la flota hasta el nivel por debajo del valor ofrecido por contrato aproximadamente en agosto del año 2015. La disminución de la confiabilidad operacional en los meses de febrero y julio del 2013 y julio del 2014 se debe principalmente a que se han tenido un incremento de paradas imprevistas.

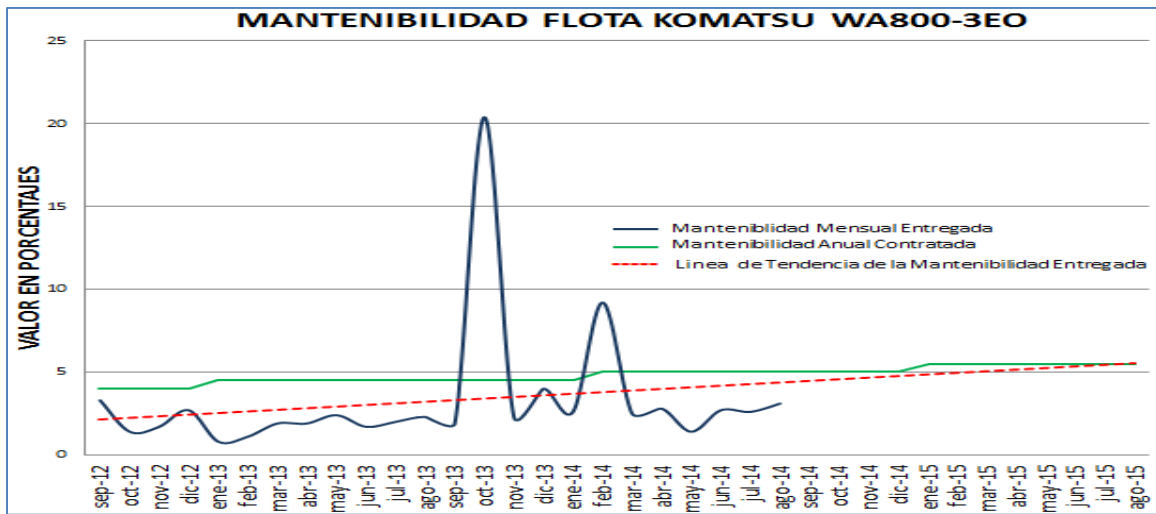


Figura 03: Mantenibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO de los últimos 24 meses.

Fuente: Reportes de gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui.

La Figura 03 evidencia que el indicador de la mantenibilidad se incrementó durante los últimos 24 meses de operación de estos equipos, lo que indica que los tiempos de las reparaciones se están haciendo cada vez más extensos, es decir, los problemas se están agravando cada día más y se necesita más tiempo para corregirlos. La línea de tendencia indica un incremento del tiempo medio para reparar en el transcurrir del tiempo y que de continuar con el actual proceso de mantenimiento ocasionará el incremento del indicador de la mantenibilidad de la flota hasta niveles no deseados, comparados al valor ofrecido por contrato, aproximadamente para el mes de agosto del año 2015. El incremento del indicador de la mantenibilidad en los meses de octubre del 2013 y febrero del 2014 se debió a que se tuvo demoras en la llegada de los repuestos para la reparación del motor diésel en el WA800#02 y el intercambio de componentes mayores en el WA800#03 respectivamente.

Según la Figura 04 se evidencia que existe un déficit de producción en los meses de agosto, octubre y noviembre del año 2013 y en febrero y agosto del año 2014. El resultado negativo para el rendimiento del principal giro de negocio del cliente minero demuestra que el área de planificación de la producción de mina no tuvo un pronóstico acertado al proyectar su producción para estos meses y su porcentaje de eficiencia no fue el adecuado.

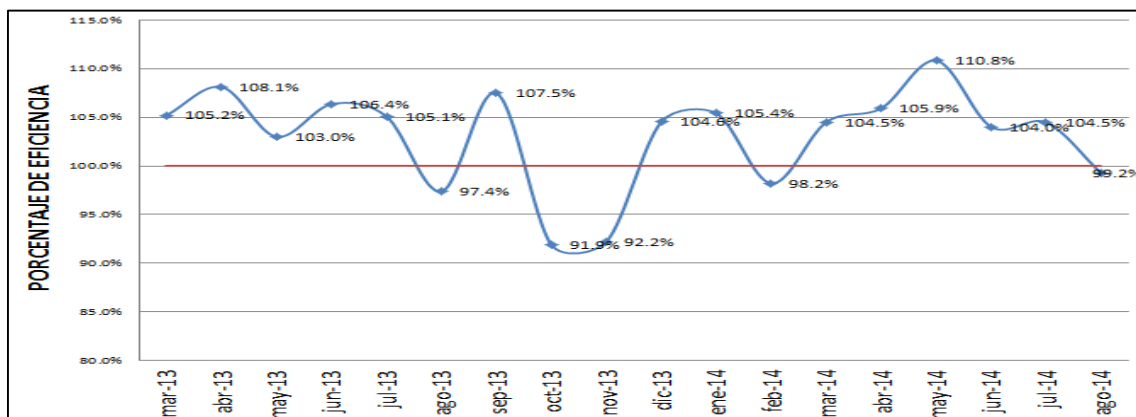
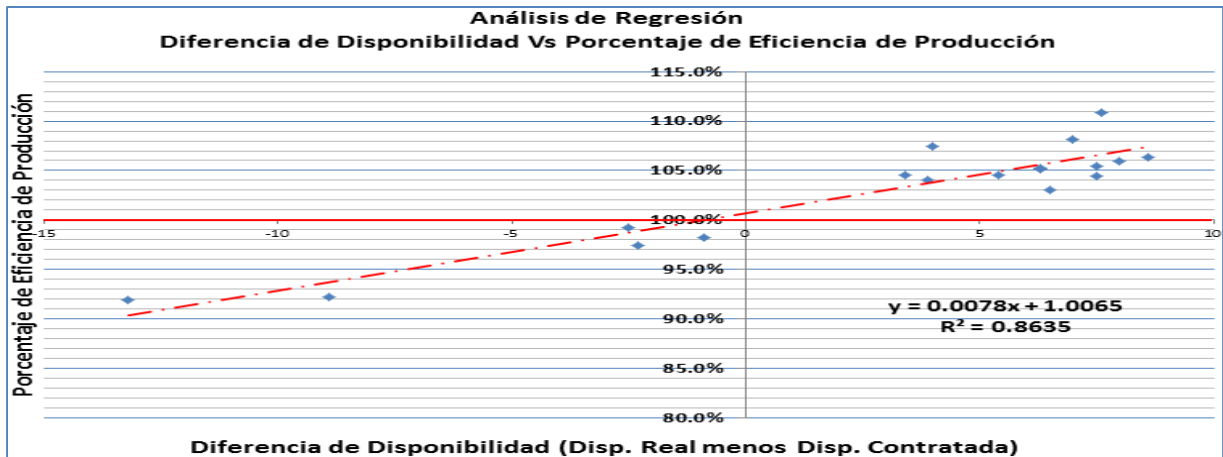


Figura 04: Porcentaje de eficiencia de la Planificación de la Producción de Mina de los últimos 18 meses.

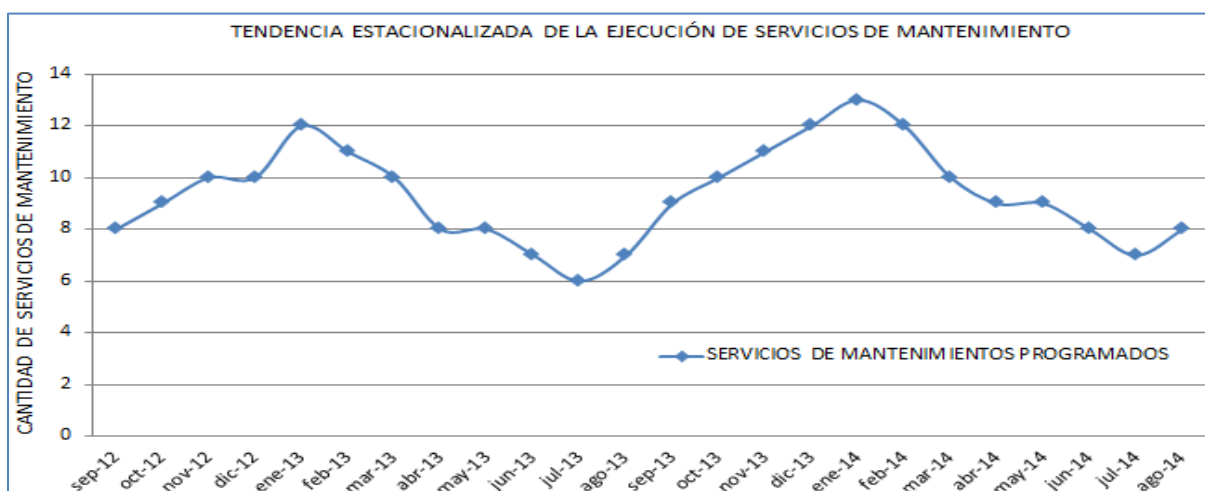
Fuente: Reportes de Producción del área de Planta de la empresa Minera Miski Mayo.



**Figura 05: Análisis de Regresión de la diferencia de Disponibilidad vs el porcentaje de Eficiencia de Producción. Fuente: Reportes de Gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui y Reportes de Producción del área de Planta de la empresa Minera Miski Mayo**

Los resultados (Figura 05) muestran que si la flota de cargadores mantiene una buena disponibilidad, permitirá asegurar la rentabilidad del proceso productivo de su socio estratégico; sin embargo, si la disponibilidad es baja existirán altos niveles de ineficiencia en las líneas de producción. Por lo tanto, las estrategias y/o tácticas que el área de mantenimiento pueda implementar para asegurar la disponibilidad de sus equipos se justificará en el grado de contribución a la rentabilidad del principal proceso productivo de su cliente. Según el resultado del coeficiente de determinación, se puede establecer que por cada 1 % adicional de disponibilidad real sobre la contratada que se ofrezca a la empresa minera, la eficiencia de su proceso productivo aumenta en 0.8%. El costo más representativo para la mayoría de las empresas es el generado por la pérdida de producción durante el tiempo en que el equipo se encuentra detenido por motivos de mantenimiento o reparación.

El diseño del sistema de Planificación y Programación de Operaciones de Servicio de Mantenimiento inicia por el propósito de reducir el impacto en el proceso productivo debido a los tiempos de inoperatividad causados por el inadecuado dimensionamiento de los servicios de mantenimiento de los equipos. Para diseñar un nuevo sistema de Planificación y Programación se realizó la recopilación de los datos de las intervenciones por inspección y mantenimientos ejecutados a estos equipos de manera mensual de los últimos 24 meses de la operación minera, en el tiempo comprendido entre el mes de setiembre del año 2012 hasta el mes de agosto del año 2014 tal como se muestra en la Figura 06.



**Figura 06: Tendencia de la ejecución de los servicios de mantenimiento de los últimos 24 meses. Fuente: Reportes de Gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui**

La tendencia para los pronósticos, según los datos obtenidos en los últimos 24 meses dieron como resultado una baja confiabilidad ( $R^2 = 0.0019$ ). Este valor no permite realizar una regresión lineal para

los pronósticos de los siguientes doce meses. Debido a este resultado se analizaron los resultados para la generación de los pronósticos de los mantenimientos preventivos para los siguientes doce meses con el método de pronósticos estacionalizados para luego aplicar el método de regresión lineal.

**Tabla 01: Pronóstico desestacionalizado para los servicios de Inspección de los próximos 12 meses.**

<b>Pronóstico desestacionalizado en servicios de inspección programados</b>					
N°	Mes	Periodo	Pronóstico Desestacionalizado	IE	Pronóstico Estacionalizado
1	sep-14	25	8.1	0.88	8.0
2	oct-14	26	8.2	1.02	9.0
3	nov-14	27	8.2	1.02	9.0
4	dic-14	28	8.3	1.29	11.0
5	ene-15	29	8.3	1.42	12.0
6	feb-15	30	8.4	1.15	10.0
7	mar-15	31	8.4	1.02	9.0
8	abr-15	32	8.5	1.02	9.0
9	may-15	33	8.6	0.88	8.0
10	jun-15	34	8.6	0.88	8.0
11	jul-15	35	8.7	0.68	6.0
12	ago-15	36	8.7	0.75	7.0

**Fuente: Reportes de Gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui**

Pronósticos de los servicios de mantenimiento preventivo para los siguientes 12 meses. Se realizó el pronóstico de la carga de los mantenimientos de los próximos 12 meses uniendo los datos de los pronósticos de ambos servicios, mantenimientos e inspecciones.

**Tabla 02: Pronóstico de los servicios de mantenimiento preventivo para los siguientes 12 meses.**

N°	Mes	Mantenimientos	Inspecciones	Total
1	sep-14	10	8	18
2	oct-14	11	9	20
3	nov-14	12	9	21
4	dic-14	13	11	24
5	ene-15	14	12	26
6	feb-15	13	10	23
7	mar-15	12	9	21
8	abr-15	10	9	19
9	may-15	10	8	18
10	jun-15	9	8	17
11	jul-15	8	6	14
12	ago-15	9	7	16

**Fuente: Reportes de Gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui**

Investigando el motivo de la tendencia estacionalizada de los pronósticos de los servicios de mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO de los últimos 24 meses se pudo obtener información del área de producción de Mina, que en los meses de verano, los cargadores presentan un mayor porcentaje de utilización debido a que la zona de acopio de la roca fosfórica proveniente de Mina debe tener un corto tiempo de exposición al sol porque se necesita que la humedad propia de la roca fosfórica recientemente extraída, se mantenga hasta su llegada a la planta procesadora. Esto origina que los tiempos de carguío de los cargadores, desde la zona de acopio hasta los silos que acumulan y luego vierten el material a las fajas sea mínimo para evitar que se pierda dicha humedad.

La programación de los servicios a corto plazo se realizó en base a los pronósticos de los servicios de mantenimiento preventivo para los siguientes dos meses según los cálculos realizados. Tomando el resultado se realizó la distribución de los servicios por semana tomando en consideración la carga de trabajo diaria. El criterio utilizado para realizar la distribución de los servicios de mantenimiento de manera diaria fue completar la cantidad de servicios programados de manera dispersa en cuanto a equipos, tipo de mantenimiento y horas de las actividades durante la semana, tratando de reducir los costos de Mano de Obra por sobretiempo. Otro aspecto importante a considerar para poder interpretar lo detallado en las siguientes figuras es que las horas regulares del mes de trabajo de los técnicos están compartidas en un 50% con los servicios de mantenimiento e inspección que son realizados en la flota de tractores de oruga Komatsu D375-5EO, motivo por el cual se puede verificar que la dispersión de los servicios en la programación diaria se hace para ambos modelos de equipos.

**Tabla 03: Detalle del PMP para los servicios de mantenimiento por semana (S) según la programación a corto plazo en la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO.**

Item	Programación de los Servicios	S1	S 2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Insp	Inspecciones	1	2	3	1	4	1	3	2	0
Mant	Mantenimientos	3	2	1	4	1	3	2	2	3

**Fuente: Reportes de Gestión del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui**

MRP (Planificación de Requerimiento de Materiales) por semana según el PMP (Programa Maestro de Producción) para los Servicios de Mantenimientos Preventivos.

Con la distribución semanal de la carga de los servicios de mantenimiento detallada en el PMP, se realizó la MRP (Planificación de Requerimiento de Materiales) por la cantidad de materiales que se requieren para cumplir adecuadamente con los servicios. Para elaborar el MRP se solicitó información al área de almacén de repuestos y al área de planificación de la empresa Komatsu–Mitsui con el propósito de conocer el stock inicial en almacén por cada material, el tiempo de espera por reposición y el tamaño mínimo de lote que se requiere solicitar por ser una restricción del proveedor.

El área de administración de servicios de la empresa Komatsu–Mitsui, hizo mención que el valor venta del servicio se logra multiplicando el costo empresa del trabajador por el factor de margen de mano de obra establecido por dicha área, cuyo valor es 1.2, a su vez el costo empresa se obtiene multiplicando la remuneración mensual del trabajador por un factor de 1.43. Cabe mencionar también que para los cálculos en dólares se ha tomado un tipo de cambio de 2.80.

Por información del área de recursos humanos de la empresa Komatsu–Mitsui se obtuvo el dato de que, la hora extra de personal temporal o también llamado subcontratado es un 20% mayor a la hora promedio de los técnicos que efectúan los mantenimientos preventivos. Esto debido a los gastos administrativos que se originan en la empresa subcontratista. El cálculo de este valor fue de 10.92 dólares por hora.

Según la información de los datos recopilados se obtuvo el valor promedio de la Mano de Obra. Este valor fue de 9.1 dólares la hora.

El Plan Agregado para los servicios de Mantenimiento e Inspección de los siguientes 12 meses ha sido posible efectuar teniendo la información de los pronósticos de la carga de los mantenimientos para los meses siguientes y por el cálculo del costo de la mano de obra.

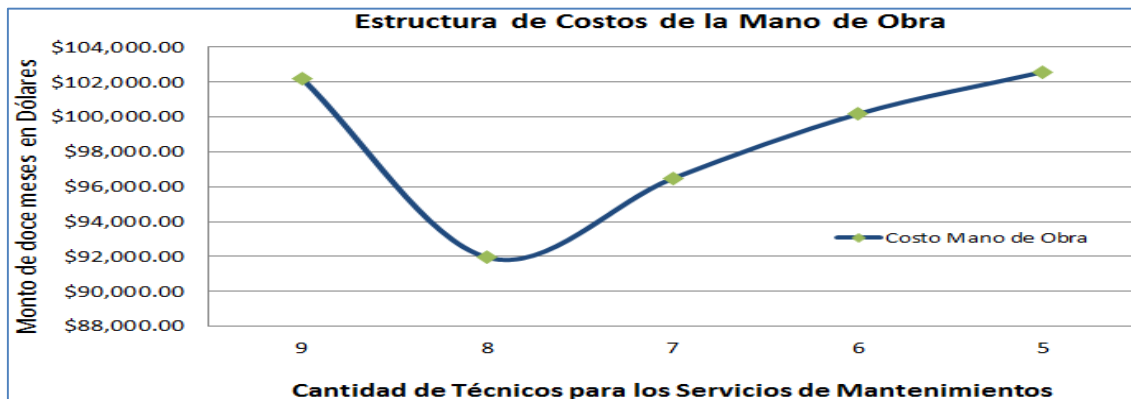
Se utilizó una estrategia práctica que comprende el análisis de diversas alternativas de planificación de producción, así como la elección de la más adecuada desarrollando hojas de cálculo elaboradas para facilitar el proceso de decisión puede comprobar que la planilla actual de 09 técnicos para efectuar los servicios de mantenimiento genera un costo total de USD 102,211.20; Esta planilla no generó pagos por horas extras ni por horas temporales.

Según lo obtenido, se puede comprobar que la planilla reducida a 08 técnicos para efectuar los servicios de mantenimiento genera un costo total de USD. 91,946.40. Este monto incluye el importe de

USD 218 debido a pagos por horas extras y USD 873.60 por horas temporales.

Según lo obtenido, se puede comprobar que la planilla reducida a 07 técnicos para efectuar los servicios de mantenimiento genera un costo total de USD. 96,472.74. Este monto incluye el importe de USD 11,493.30 debido a pagos por horas extras y USD 5,481.84 por horas temporales.

Según lo obtenido, se puede comprobar que la planilla reducida a 06 técnicos para efectuar los servicios de mantenimiento genera un costo total de USD. 100,169.16. Este monto incluye el importe de USD 18,618.60 debido a pagos por horas extras y USD 13,409.76 por horas temporales.



**Figura 07: Estructura de Costos de la Mano de Obra para los servicios de Mantenimiento de la flota de cargadores WA800-3EO para los siguientes 12 meses tomando en cuenta la variación de los técnicos requeridos para los servicios. Fuente: Datos del área de Planificación de la empresa Komatsu – Mitsui**

Se debe tener en consideración, según lo enunciado anteriormente, que las horas regulares de trabajo de los técnicos están compartidas en un 50% con los servicios de mantenimiento que son realizados en la flota de tractores de oruga Komatsu D375-5EO por lo cual solo se está considerando la utilización de 24 horas regulares por semana y 06 horas extras adicionales a estas horas debido a que el tiempo extra diario no debe sobrepasar de dos horas debido a una política de seguridad impuesta por el área de Recursos Humanos de la empresa Minera.

También se ha considerado trabajar con la modalidad de tiempo reservado cuando el tiempo disponible sobrepase el tiempo demandado para efectuar los mantenimientos. De esta manera se pudo calcular la utilización de estas horas de tiempo reservado para cubrir las horas extras necesarias cuando la demanda de tiempo para los mantenimientos fue mayor a las horas disponibles.

Se obtuvo cuatro alternativas de planificación agregada; continuar con el método actual que consiste en mantener los 9 técnicos para cubrir completamente la demanda de los servicios de mantenimiento ó reducir a 8, 7 ó 6 técnicos y cubrir la demanda con horas extras y horas temporales.

Realizado el análisis de los datos de Figura 07 donde se resume los costos de cada una de las cuatro alternativas planteadas se pudo comprobar que la alternativa más adecuada sería la de disminuir a 08 técnicos, los necesarios para cubrir la demanda de servicios de mantenimiento pronosticados para los siguientes 12 meses debido a que es la que genera menores costos. De esta manera la empresa Komatsu – Mitsui tendría un ahorro del 10.04% ó USD 10,264.8 al cambiar su planilla de personal de 09 a 08 técnicos.

## Discusión

Habiendo presentado los resultados de la investigación, a continuación se procederá con la discusión, la misma que se iniciará con la discusión correspondiente a diagnosticar el comportamiento actual del servicio de mantenimiento en base a los indicadores clave de rendimiento de la gestión del mantenimiento (Key Performance Indicator - KPI), luego se procederá con la discusión perteneciente a analizar cómo afecta la disponibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO al movimiento de mineral para la producción de la mina Bayóvar, después se detallará la discusión concerniente a

diseñar un sistema de Planificación y Programación de Operaciones de Servicio de Mantenimiento para flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar y finalmente se concluirá con la discusión propia de diseñar una propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar. Sechura. 2014.

El resultado obtenido con respecto al primer objetivo de diagnosticar el comportamiento actual del servicio de mantenimiento en base a los indicadores clave de rendimiento de la gestión del mantenimiento (Key Performance Indicator - KPI), fue que el servicio de mantenimiento que actualmente brinda la empresa Komatsu – Mitsui a los equipos mineros está cumpliendo con lo contratado por la empresa minera según el análisis efectuado del comportamiento actual del servicio de mantenimiento con el uso de los datos de los indicadores de los últimos 24 meses.

En el contrato de servicio está establecido que el indicador de disponibilidad de los cargadores Komatsu WA800-3EO debió estar por encima del 88%, el de confiabilidad operacional encima de 81% y el de mantenibilidad por debajo de las 5 horas promedio. La empresa Komatsu – Mitsui entregó una disponibilidad promedio de 92.7%, confiabilidad operacional promedio de 84.24% y mantenibilidad de 3.28 horas, sin embargo la línea de tendencia de cada uno de estos indicadores nos muestra que aunque se está cumpliendo con los valores contratados; de continuar con la estrategia del actual servicio de mantenimiento, en un corto plazo se va a llegar a niveles por debajo de los valores contratados para estos indicadores.

Respecto a este punto, Miguel Rodríguez, en su “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca”, analiza su propuesta en base a los indicadores de gestión de mantenimiento de disponibilidad y mantenibilidad, estableciendo las metas de acuerdo a las exigencias técnicas y de la gerencia. (Rodríguez, 2012)

También García Garrido (García, 2010), hace mención que un sistema de procesamiento es aquel que convierte datos en información útil para tomar decisiones. Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, debemos definir una serie de parámetros que nos permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Según Duffuaa (Duffuaa, 2013), las medidas de salida para la medición de la correcta administración del mantenimiento son la disponibilidad, la mantenibilidad y la confiabilidad operacional debido al impacto que estas tienen en la capacidad productiva.

Por otro lado, los resultados obtenidos con respecto al segundo objetivo de analizar cómo afecta la disponibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO al movimiento de mineral para la producción de Mina Bayóvar, muestra que el déficit de eficiencia de producción del mineral movido frente a lo proyectado se debió a que el área de planificación de la producción de mina no tuvo un pronóstico acertado; esto a su vez generado porque la disponibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO estuvo por debajo del valor contratado en los meses en los que se demuestra que no se logró la meta de producción.

El análisis de regresión de la disponibilidad frente a la eficiencia de producción muestra que por cada 1% adicional de disponibilidad real sobre la contratada de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO que la empresa Komatsu–Mitsui entrega a la empresa minera, genera que la eficiencia de su proceso productivo aumente en 0.8%, por tanto son importantes las estrategias y/o tácticas que el área de mantenimiento pueda implementar para asegurar la disponibilidad de estos equipos debido al grado de contribución que tienen a la rentabilidad del principal proceso productivo de su cliente.

Este resultado se complementa con lo analizado por Johnny Palacios, en sus tesis titulada “Propuesta de un programa de mantenimiento para incrementar la confiabilidad en las excavadoras hidráulicas Komatsu PC4000-6 Bayóvar – 2013”, donde concluye que la consecuencia de la inoportuna intervención a los equipos de carguío de mineral por los diversos factores que los afectan, trae consigo paradas no planificadas, lo que genera pérdida de producción e insatisfacción del cliente por la elevación de sus costos operativos porque al detener el equipo, también se detiene el proceso de carguío y acarreo de camiones, lo que a su vez trae como consecuencia la pérdida de producción por cada hora de detención de todos los equipos inmersos en este proceso. (Palacios, 2013)

El análisis de este objetivo concuerda con lo expuesto por Duffuaa, “en los servicios de mantenimientos es preferible actuar de manera preventiva antes que correctiva porque hay importantes



diferencias en costos tanto directos (por ejemplo repuestos) como indirectos (por ejemplo pérdida de producción) debido a que una detención del equipo no planificada, con seguridad, provocará un gran daño a la producción y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y a que la calidad de la reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia”.

Con respecto al tercer objetivo de diseñar un sistema de planificación y programación de operaciones de servicio de mantenimiento para la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la Mina Bayóvar, esta investigación pudo establecer un pronóstico que permitió dimensionar los servicios de mantenimiento para el siguiente año en base al historial de las intervenciones realizadas en los 24 meses anteriores al estudio. En base a estos datos se pudo realizar la programación maestra de producción (PMP) realizando la distribución de los servicios por semana para luego llegar a la carga de trabajo diaria. La validez de los pronósticos efectuados fue validada por la estadística aplicando el método de descomposición de series de tiempo estacional. Finalmente para lograr el diseño completo del sistema de planificación y programación de operaciones de servicios se realizó la planificación de requerimiento de materiales (MRP) para la cantidad de materiales que serán requeridos y así cumplir adecuadamente con los servicios pronosticados.

Según Chase, los pronósticos son vitales para toda organización de negocios, así como para cualquier decisión importante de la gerencia. El personal de producción y operaciones utiliza los pronósticos para tomar decisiones periódicas que comprenden la selección de procesos y la planificación de las capacidades, así como para tomar decisiones continuas acerca de la planificación de la producción, la programación y el inventario. (Chase, 2009) Estos resultados se afirman por lo mencionado por Martín Da Costa en su investigación titulada “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, donde indica que se debe establecer la adquisición de los repuestos en cantidad y tiempo óptimos para los componentes críticos; efectuando un estudio de stocks mínimos y máximos considerando la criticidad de los repuestos y de la reposición automática de los mismos. Como por ejemplo de acuerdo a los niveles de consumo de los filtros se puede de establecer la cantidad mensual de adquisición de estos componentes y el correcto nivel de stock que permita manejar un correcto mantenimiento sin pérdida de producción. (Da Costa, 2010)

Además, el análisis de los resultados identifica, según los datos históricos, la existencia de dos procesos con restricciones que ralentizan el servicio brindado. El primero de ellos, la programación mal dimensionada, motivo por el cual se debían agregar horas adicionales del personal técnico para poder cumplir con un nivel de servicio mínimo establecido. El segundo proceso con restricciones que identifica, y se reafirma por medio del análisis de los datos proporcionados por el área de Almacén y el área de Planificación, es acerca del desabastecimiento de materiales para cumplir con los servicios programados, lo que actualmente trae como consecuencia que los servicios de mantenimiento se reprogramen (Precisión de Servicio Inadecuado) o que los servicios de mantenimiento no se efectúen adecuadamente.

Con respecto al objetivo general de diseñar una propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar. Sechura. 2014, los resultados nos muestran que después de realizar un correcto pronóstico de la demanda de servicios para los siguientes 12 meses y efectuar el análisis con la técnica de planificación agregada se puede reducir la cantidad de la mano de obra actual de 09 técnicos a 08 técnicos y cubrir las horas faltantes en alta demanda de servicios con horas extras y horas temporales.

La estrategia de contar con personal especialista interno, contraparte del personal fijo, con experiencia técnica y administrativa suficiente para asegurar la ejecución de la demanda de servicios fue descrita por Ricardo Enrique Solís Cortes en su tesis titulada “Estrategias de aseguramiento de disponibilidad de palas de cable de Mina Radomiro Tomic” (Solís, 2013).

Álvaro Mauricio Blancas Castro y Jorge Luis Rodríguez Gutiérrez, en su “Propuesta de un sistema de Mantenimiento Preventivo y de logística para Firth Industries Perú S.A.”, concluyen en plantear la base de un sistema de mantenimiento preventivo, a partir de los cuales se presentaron las distintas soluciones que se integran en el sistema de planificación con el consiguiente beneficio del aumento en el cumplimiento de la programación de tareas de mantenimiento, lo que permitirá evitar reparaciones costosas y pérdidas de tiempo por la falta de disponibilidad de máquinas; detallan además que la

planificación de las actividades permite una mejor utilización del personal de mantenimiento de la empresa y la reducción del tiempo improductivo de los equipos. (Blancas, 2005)

La estrategia que es aplicada en esta investigación es la propuesta por Richard B. Chase en su libro “Administración de operaciones”, donde menciona como una de las principales estrategias para la planificación agregada, la de una fuerza de trabajo estable y horas de trabajo variables; esta se aplica variando la producción, ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios de trabajo flexibles u horas extra. Al variar el número de horas, es posible igualar las cantidades de la producción con los pedidos. (Chase, 2009)

La visión general entregada por un modelo de planificación agregada abre un campo de análisis muy interesante para el Ingeniero Industrial en el ámbito de los servicios de mantenimiento, ya que permite aplicar herramientas probadas y validadas durante muchos años en las área de producción de las industrias a un campo nuevo como es la planificación de los servicios en el área del mantenimiento.

Un problema que se identificó en ésta investigación, y que frena el desarrollo de modelos como éste, en el sector de servicios, es la carencia de la aplicación de la reingeniería de procesos, aplicando el conocimiento técnico necesario para formular, modificar y sostener a través del tiempo un modelo matemático de optimización, que genera resistencia por su nivel de sofisticación. También, el diseño del sistema de costos ayudaría a mejorar el modelo ya que se puede así incorporar un mayor número de variables y generar una función objetivo que maximizará los beneficios o minimizará los costos totales, respetando la calidad para cada uno de los servicios. La fortaleza de la propuesta que se presenta en este trabajo es entregar una estructura general que requiere modificar solamente algunos datos y estará listo para ser utilizado, de acuerdo a la situación del momento.

## Conclusiones

El diagnóstico del comportamiento actual del servicio de mantenimiento en base a los KPI de la gestión del mantenimiento, muestra que el servicio de la empresa Komatsu – Mitsui está cumpliendo con lo requerido como lo demuestran sus indicadores promedios; disponibilidad 92.7%, confiabilidad operacional 84.24% y mantenibilidad 3.28 horas, sin embargo el análisis de la línea de tendencia de estos indicadores demuestran que el servicio de mantenimiento está en descenso, lo que generará que en un corto tiempo se llegue a valores por debajo de lo contratado debido a que no se está llevando a cabo una buena estrategia de mantenimiento que sea sostenible en el tiempo.

El análisis de cómo afecta la disponibilidad de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO al movimiento de mineral para la producción de la mina Bayóvar, se demostró con el análisis de regresión de la disponibilidad frente a la eficiencia de Producción donde se indica que por cada 1 % adicional de disponibilidad real sobre la contratada de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO que la empresa Komatsu – Mitsui entrega a la empresa minera, genera que la eficiencia de su proceso productivo aumente en 0.8%.

El diseño de un sistema de planificación y programación de operaciones de servicio de mantenimiento para la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar estableció el uso del método de pronóstico cuantitativo validado por la estadística aplicando la descomposición de series de tiempo estacional que permitió dimensionar los servicios de mantenimiento para el siguiente año en base al historial de las intervenciones realizadas en los 24 meses anteriores al estudio. Con estos datos se realizó la PMP efectuando la distribución de los servicios por semana para luego llegar a la carga de trabajo diaria. Finalmente para lograr el diseño completo del sistema se realizó la MRP para la cantidad de materiales que serán necesarios. El diseño de la propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar, Sechura. 2014, dio como resultado que después de realizar el PMP para los siguientes 12 meses se puede reducir la cantidad de la mano de obra actual de 09 técnicos a 08 técnicos y cubrir las horas faltantes en alta demanda de servicios con horas extras y horas temporales, lo que permitirá ahorrar un 10.04% ó USD 10,264.8 al aplicar el cambio de su planilla de personal según la propuesta analizada con la técnica de planificación agregada aplicada a los servicios de mantenimiento.

Se concluye que la gestión del mantenimiento tiene que estar precedida por la gestión del conocimiento, que permitirá a la empresa Komatsu–Mitsui administrar el conocimiento clave de la planificación y programación del mantenimiento de los equipos, demostrando que es posible

desarrollar un modelo matemático y analítico de planificación agregada para los servicios de mantenimiento de equipos, logrando con ello establecer una asignación óptima de recursos para satisfacer la demanda de los servicios de mantenimiento.

### Referencias bibliográficas

- Amendola, L. (2014). [En línea] Soporte & Cia, 2014. [Citado el: 29 de 07 de 2014.] <http://confiabilidad.net/articulos/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento/>.
- Blancas, M., Rodríguez, J. (2005). Propuesta de un sistema de mantenimiento preventivo y de logística para firth Industries Perú S.A. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima-Perú.
- Castán, J., Giménez, L. (2007). Dirección de la producción: Casos y aplicaciones. Barcelona : Edicions Universitat Barcelona. Págs. 9-10. ISBN 978-84-4753187-2.
- Chase, R., Jacobs, F., Aquilano, N. (2009). Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros. México D.F. : Mc Graw - Hill. Vol. Doceava Edición. ISBN: 978-970-10-7027-7.
- Da Costa, M. (2010). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempo en pozos de alta producción. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.
- Domínguez, J., García, S. (1995). Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos de la producción y de los servicios. Madrid: McGraw-Hill. 126-137. ISBN 978-84-4811803-0.
- Duffuaa, S., Raouf, A. Dixon C. (2013). Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control. México D.F.: Limusa Wiley. ISBN: 978-968-18-5918-3.
- García, S. (2010). Organización y Gestión Integral del Mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz Santos. ISBN 978-84-7978-577-2.
- González, F. (2004). Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid: Fundación Confemetal. ISBN: 84-96169-36-7.
- González, J. (2012). Montaje y mantenimiento de Máquinas Eléctricas Rotativas. ELEE0109. Málaga: Ic Editorial. ISBN: 978-84-15670-57-5.
- González, M. (2005). Gestión de la producción: Cómo planificar y controlar la producción industrial. Madrid: Ideas Propias Editorial. ISBN 978-84-9839-014-8.
- Heizer, J., Render, B. (2007). Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones estratégicas. Madrid : Pearson Prentice Hall.. Págs. 153-157. ISBN 978-84-8322360-0.
- Komatsu. (2012). Komatsu Chile. [En línea] Komatsu, 2012. [Citado el: 20 de julio de 2014.] <http://portalkch.komatsu.cl/nuestra-empresa/conozcanos/>.
- Medina, A. (2013). Propuesta de un Plan de Mantenimiento para Incrementar la Confiabilidad de la flota de camiones Komatsu 730E Bayóvar 2013. Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo. Chimbote -Perú.
- Mora, L. (2009). Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control. México D.F.: Alfaomega. Pág. 528. ISBN 978-958-682-769-0.
- Palacios, J. (2013). Propuesta de un programa de Mantenimiento para incrementar la Confiabilidad en las excavadoras hidráulicas Komatsu PC4000-6 Bayóvar - 2013. Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo. Chimbote-Perú.
- Rodríguez, M. (2012). Propuesta de mejora de la gestión de Mantenimiento basado en la Mantenibilidad de equipos de Acarreo de una empresa minera de Cajamarca. Cajamarca-Perú.
- Solis, R. (2013). Estrategias de Aseguramiento de Disponibilidad de Palas Cable de Mina Radomiro Tomic. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. Santiago de Chile.