

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE



Desarrollo de un modelo de mantenimiento para una flota de camiones transportadores de hormigón

Gonzalo Antonio Binimelis Uribe

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR A TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

Profesor Guía: Prof. Ing. Luis Guzmán Bonet

Profesor Co-referente: Prof. Ing. Nelson Álvarez Campillay

Enero 2022

Dear basketball

.....And nothing happens. I am ready to let you go. I want you to know so that we can both savor every moment we leave together. The good ones and the bad ones. We have given each other everything we have.

And we both know that no matter what I do next, I will always be that child with socks and garbage cans in the corner: "05 seconds on the clock, ball in my hands 5...4...3...2...1"

Always love You,

Kobe.

Mamba mentality forever.

Agradecimientos

A Macarena Elorza, mi profesora de enseñanza media quien siempre fue un soporte y creyó en mí cuando nadie más lo hacía.

A mis amigos de la rama de basketball y de generación por brindarme los mejores momentos de mi etapa universitaria y apoyarme siempre.

A mi hijo André, que sin siquiera saberlo es un pilar fundamental y una fuente de motivación en mi vida.

Resumen

En el desarrollo de este trabajo de título se trabajará con una empresa dedicada al transporte de hormigón para construcción, esta empresa cuenta con una flota de 25 camiones hormigonera o también llamados camiones mixer para efectos de transporte y mezclado de materiales, estos pasan a ser un activo sumamente relevante para la empresa, ya que el correcto desempeño de sus actividades depende de que los materiales e implementos necesarios estén presentes en el momento y lugar requeridos.

La empresa informa que debido al uso constante de su flota de camiones, y lo más probable, es que malas prácticas durante su uso, estos se están viendo afectados desde el punto de vista de su rendimiento, se presentan constantes panas en los vehículos, los procedimientos para su reparación son demasiado tardíos afectando así su desempeño y las disminución de ganancias, es debido a esto que el correcto uso de los camiones, así como su disponibilidad de uso es un KPI muy relevante para los efectos económicos de la empresa.

En vista de que se desconoce el funcionamiento de este tipo de camiones se procederá con un levantamiento del activo, haciendo un mayor énfasis en la hormigonera o cuba, lugar donde se realiza y mantiene la mezcla. Se hará un desglose de los componentes principales del camión y de la hormigonera, logrando así identificar cada componente y comprender como funciona la hormigonera y el sistema de transmisión con el cual puede girar.

Se procedió con un análisis de modos de falla del equipo, enfocado en los subsistemas de la hormigonera, debido a que los modos de falla de un camión son más conocidos y en este estudio el elemento desconocido era la hormigonera, específicamente el sistema de transmisión utilizado para hacer girar la cuba.

A continuación se realizará un análisis de criticidad de los equipos, para poder focalizar los recursos. En este estudio se presentó la dificultad de tener una escases importante de datos con los cual el análisis se centró en identificar los posibles efectos y consecuencias de las fallas que pudieran llegar a presentarse, y en base a eso se priorizó.

Finalmente se presentaron las propuestas de planes de mantenimiento, ambas enfocadas en el lubricante del sistema de transmisión, la primera de manera preventivo y la segunda de manera a condición, sus costos asociados y se recomienda la estrategia a usar y en qué momento cambiar de estrategia.

Glosario

KPI: Key Performance Indicator o indicadores clave de desempeño

RCM: Reliability Centered Maintenance o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

RBM: Risk Based Maintenance o Mantenimiento Basado en Riesgo

RBI: Risk Based Inspection o Inspección Basada en Riesgo

TPM: Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total

MTTR: Mean Time to Repair o Tiempo medio para reparar

MTBF: Mean Time Between Failures o Tiempo medio entre fallas

OEE: Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos

ISO: International Organization for Standardization) u Organización Internacional de Normalización

EBITDA: Earnings Before Interest Taxes Depreciation and Amortization o Utilidad antes de restar los intereses la deuda

HSEC: health, security, environment and community o salud, seguridad, medio ambiente y comunidad

Índice

Listado de figuras:	8
Listado de tablas:	10
1. Introducción	11
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo General.....	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. Marco teórico	13
3.1. Tipos de Mantenimiento.....	13
3.2. RCM (Reliability Centred Maintenance)	15
3.2.1. Pasos para implementar un correcto RCM	15
3.3. RBM (Risk Based Maintenance).....	18
3.3.1. RBI.....	18
3.4. TPM (Total Productive Maintenance).....	23
3.4.1. OEE y las 6 Grandes Pérdidas del TPM	24
3.4.2. Pilares fundamentales del TPM y 5S	26
3.4.3. Beneficios	26
3.5. Gestión de Activos	27
3.5.1. ISO 55000	27
3.5.2. ISO 55001	28
3.5.3. ISO 55002	29
4. Metodología de Trabajo	30
5. Levantamiento del Activo	32
5.1. Sistema de presurización	37
5.2. Tanque de Aditamentos	37
5.3. Sistema de limpieza.....	37
5.4. Sistema electrónico.....	38
5.5. Tolva giratoria	38
5.6. Sistema Hidráulico	40
5.7. Sistema de Transmisión de Torque	41
5.8. Sistema de carga/descarga.....	44

6.	Criticidad de Sistemas.....	45
6.1.	Selección de Componentes Críticos	50
7.	Análisis de Modos de Falla.....	51
8.	Análisis de confiabilidad de equipo crítico.....	59
9.	Propuesta de Estrategia de Mantenimiento	63
10.	Análisis de Costos de implementación de Estrategia de Mantenimiento.....	67
11.	Conclusiones.....	69
12.	Recomendaciones	71
13.	Referencias	72

Listado de figuras:

Imagen N°1: Acciones reactivas y proactivas.

Imagen N°2: Ejemplo de análisis de modos de falla de una bomba.

Imagen N°3: Elementos integrales que agregan valor en el RBM.

Imagen N°4: Marco de referencia ISO 31000.

Imagen N°5: Proceso de gestión del riesgo.

Imagen N°6: Matriz de riesgo, categorización del riesgo de forma cualitativa.

Imagen N°7: Descripción del OEE.

Imagen N°8: Ejemplo de camión hormigonera estándar, marca McNeilus.

Imagen N°9: Ejemplo de un modelo básico de camión hormigonera.

Imagen N°10: Ejemplo de un segundo modelo de camión hormigonera, nombrado en este caso bridgemaster por McNeilus.

Imagen N°11: Ejemplo de un tercer modelo de camión hormigonera, nombrado en este caso serie S por McNeilus.

Imagen N°12: Muestra la hormigonera siendo instalada sobre el chasis del camión.

Imagen N°13: Chasis de camión.

Imagen N°14: Esquema de los sistemas principales del camión.

Imagen N°15: Esquema de los sistemas principales de la hormigonera.

Imagen N°16: Tolva giratoria, en la esquina superior izquierda se puede ver el tanque de agua y en el costado derecho la zona de carga y descarga.

Imagen N°17: Interior de una tolva giratoria.

Imagen N°18: Se muestra el sistema hidráulico, dentro del ovalo está el motor, a su izquierda las mangueras hidráulicas y a su derecha el sistema de transmisión.

Imagen N°19: Sistema de palanca para accionamiento de tolva.

Imagen N°20: Esquema de un reductor planetario de una etapa.

Imagen N°21: Interior de un reductor planetario.

Imagen N°22: Tapa del reductor, la cual se conecta con el eje del motor hidráulico.

Imagen N°23: Muestra la entrada y salida de torque del equipo sellado, a la izquierda la unión con el motor y a la derecha, la unión con la tolva.

Imagen N°24: Se muestra la zona de carga y descarga de material.

Imagen N°25: gráfico del punto óptimo de operación para un tipo de lubricante, relación torque/velocidad.

Imagen N°26: Extracto del estudio de confiabilidad de lubricante 15W-40.

Imagen N°27: Gráfico de costos de las estrategias preventivas y a condición, azul y naranja respectivamente.

Listado de tablas:

Tabla N°1: Análisis de modos de falla del reductor planetario, sistema de transmisión.

Tabla N°2: Análisis de modos de falla de Bomba hidráulica, sistema de limpieza.

Tabla N°3: Análisis de modos de falla de Bomba hidráulica, sistema hidráulico.

Tabla N°4: Análisis de modos de falla de motor hidráulico, sistema hidráulico.

Tabla N°5: Análisis de modos de falla del sistema de presurización.

Tabla N°6: Análisis de modos de falla del tanque de aditamentos.

Tabla N°7: Análisis de modos de falla del sistema de carga y descarga de hormigón.

Tabla N°8: Consecuencias de la rotura de un o más dientes.

Tabla N°9: Periodos de cambio de aceite y limpieza de rodamientos de los grupos camiones.

Tabla N°10: Programación de inspecciones de mantenimiento.

Tabla N°11: Instructivo para llevar a cabo las inspecciones en equipos.

Tabla N°12: Costos asociados a estrategia preventiva.

Tabla N°13: Costos asociados a equipos de medición para estrategia a condición.

1. Introducción

Los camiones hormigonera son un elemento fundamental del proceso de construcción y edificación de una gran variedad de infraestructuras, puesto que son parte importante de la conservación y traslado de la mezcla de hormigón. [41] Estos camiones para su correcta operación necesitan trabajar bajo determinadas condiciones, así como también estar sometidos a mantenencias periódicas, con el fin de optimizar su funcionamiento, ya que si estos equipos no están aptos para su uso, el traslado del hormigón no se podría llevar a cabo y esto afectaría el modelo de negocios de la empresa en gran medida, debido a los costos por pérdida de oportunidad generados por no realizar las entregas, sumándole la pérdida de la materia prima y las posibles pérdidas de clientes.

Como mantenedores, una de las principales tareas es minimizar los costos de mantenimiento, por lo cual, es muy importante analizar o estudiar las mantenencias que se tienen a cargo y sus costos asociados. [41] Los costos que ocurren al mantener un equipo pueden encontrarse en dos grandes grupos:

- Los costos que aparecen en las actividades de mantenimiento: costos administrativos, de mano de obra, costos de materiales, costos de inventario, costos de traslados de materiales, entre otros.
- Y los costos asociados a las pérdidas productivas debidas al no funcionamiento de los equipos por detenciones no programadas y sus extensos tiempos de reparación, o bien, a un funcionamiento parcial de estos.

Es por esto que se estudiará como optimizar las decisiones de mantenimiento, basándose en modelos clásicos de mantenimiento y buscar la manera de tomar lo mejor de cada una de ellas.

En la bibliografía conocida acerca del tema en cuestión, se pueden encontrar tres grandes grupos o estrategias de mantenimiento, las cuales serían:

- RCM: mantenimiento basado en la confiabilidad de equipos
- RBM: mantenimiento basado en riesgo
- TPM: mantenimiento productivo total.

Específicamente este trabajo de título se centrará en el diseño de una estrategia de mantenimiento basado en la criticidad e impacto que podrían llegar a tener las posibles fallas de los subsistemas que conforman la hormigonera, dentro de una flota de 25 camiones desempeñándose dentro de la región metropolitana. Debido a que se desconoce el funcionamiento de los camiones hormigoneras y el impacto que pueden tener.

2. Objetivos

Las áreas de mantenimiento son, a menudo, las que concentran la mayor cantidad de costos de las industrias, debido a la mano de obra, número de intervenciones de equipo, tiempo que tardan dichas intervenciones, etc. [41] Es por esto que se necesita una estrategia de mantenimiento adecuada, que optimice recursos y minimice al máximo los costos sin perjudicar la calidad de los trabajos.

2.1. Objetivo General

- Desarrollar un modelo de mantenimiento para una flota de camiones hormigonera considerando su contexto operacional.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar levantamiento de la estructura técnica del activo.
- Analizar modos de falla considerando el contexto operacional.
- Realizar un estudio de criticidad con el propósito de focalizar el análisis.
- Realizar un análisis de confiabilidad de los componentes críticos.
- Proponer un plan de mantenimiento a los equipos críticos.
- Realizar un análisis de costos asociados a planes propuestos.

3. Marco teórico

El mantenimiento es un proceso de gestión integral que debe comenzar en el momento mismo de la concepción de una obra o anteproyecto, es decir, desde el inicio del ciclo de vida de los equipos. [40] Lamentablemente esto no siempre se ve reflejado en la práctica. Nos conformamos con pensar en el mantenimiento cuando los equipos o activos se instalan en la planta o aún peor, cuando empiezan a funcionar. En principio debe reconocerse que el mantenimiento busca que las instalaciones satisfagan las funciones requeridas por el proceso productivo, por lo tanto, las actividades relaciones con mantener funciones de activos deben ser dosificadas con estudiada precisión, ya que las intervenciones de mantenimiento son es sí invasivas por naturaleza y su aplicación es conveniente que sea controlada y no deliberada, no siempre por “hacer más” se obtienen mejores resultados.

Suele definirse el mantenimiento como un conjunto de acciones de preservación de activos satisfaciendo estándares de calidad, seguridad, productividad o servicio. [1] También se lo relaciona con el impacto que tiene en la salud económica del negocio/empresa a través de los gastos en los que hay que incurrir para realizar las tareas. Sin embargo, y al igual que como sucede con la empresa en su totalidad, las estrategias y actividades para mantener las funciones de los equipos deben estar alineadas con la misión y objetivos de la empresa, la gestión del mantenimiento debe desarrollarse, desde todo punto de vista, lo más cercanamente posible a la producción.

3.1. Tipos de Mantenimiento

Con el pasar de los años y el avance de las tecnologías se han ido desarrollando diferentes tipos de mantenimiento, los cuales se darán a conocer y se profundizar a continuación.

Es apropiado separar estas acciones en dos grandes grupos para comenzar, primero las acciones **Reactivas** y luego las acciones **Proactivas**. [1]

Acciones Reactivas			Acciones Pro-Activas				
Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Restaurativo	Mantenimiento Mejorativo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo	Mantenimiento Proactivo	Mantenimiento Detectivo	Mantenimiento Previsivo

Imagen N°1 Acciones reactivas y proactivas. [1]

- Acciones Reactivas: este tipo de mantenimiento es el que se aplica después de que se presenta la falla, el cual, por lo general, se trata de una emergencia no programada, de esta forma se incurre en gastos adicionales, ya que nadie se encuentra preparado para reaccionar adecuadamente. Este tipo de mantenimiento a su vez se divide en 3 tipos de acciones correctivas:
 - Mantenimiento correctivo: consiste en la reparación de averías y fallas funcionales a medida que estas se van generando, el operario es el encargado de detectar la falla y avisar al personal correspondiente.
 - Mantenimiento Restaurativo: es un tipo de acción reactiva programada, la cual consiste en chequear de manera simple y general el equipo en cuestión luego de producida una falla.
 - Mantenimiento Mejorativo: es otro tipo de acción programada, la cual se divide en dos grupos:
 - Rediseño: antes las fallas e inconvenientes presentados se desarrollan y planifican modificaciones en el diseño del equipo o en el proceso productivo.
 - Curativo: involucra a los fabricantes de equipos nuevos, no probados, se les informa de los inconvenientes presentados en los otros equipos para así evitar que sigan ocurriendo.

- Acciones Pro-Activas: Este tipo de mantenimiento tiene por objetivos impedir que se manifiesten los modos de falla de los equipos, este tipo de acciones se planifican de modo que se incurre en menos gastos debido a que todos están preparados para actuar. Este tipo de mantenimiento a su vez se divide en 5 tipos de acciones proactivas:
 - Mantenimiento Preventivo: con estas acciones se pretende disminuir el número de paradas no programadas, seleccionando el momento más oportuno para intervenir disminuyendo los costos por excesos de paradas programadas y no programadas.
 - Mantenimiento Predictivo: en este tipo de acciones se busca monitorear ciertas variables relevantes para los equipos (variables medibles) para así poder intervenir cuando comience a presentar ciertos patrones que incurren en algún tipo de falla funcional.
 - Mantenimiento Proactivo: es en este caso, se busca ir más allá de predecir el comportamiento, sino que se quiere descubrir cuál es la principal causa raíz de los problemas, monitoreando por ejemplo la calidad de los aceites utilizados (viscosidad, contaminantes en el lubricante).
 - Mantenimiento Detectivo: lo que se busca es poner en evidencia los fallos ocultos que se presentan en dispositivos redundantes para prevenir fallos en simultáneo.

- **Mantenimiento Previsivo:** estas acciones generalmente no se llevan a cabo por personal de mantenimiento, sino en el área de diseño, ya que intentan prever fallas funcionales o de acceso y corregirlas antes de fabricar los equipos. [1]

Estos tipos de mantenimiento son útiles para el correcto desarrollo de equipos, sistemas y empresas, pero no son excluyentes los unos de los otros, para poder decidir en qué momentos, equipos o bajo qué circunstancias se debe aplicar cada uno de ellos es que se desarrollaron diversas técnicas de mantenimiento, las cuales son guías para saber que herramientas usar y como usarlas. Estas herramientas y metodologías se describirán en los siguientes capítulos.

3.2. RCM (Reliability Centred Maintenance)

El RCM o MCC (por sus siglas en español Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), es un método estructurado, deductivo y participativo que define la estrategia de mantenimiento más apropiado para cada equipo actuando en su contexto operacional real. Una estrategia apropiada es un conjunto de tareas capaz de evitar que sucedan modos de falla o reducir drásticamente sus consecuencias de manera eficiente. Esta técnica establece cuando una tarea es posible desde el punto de vista técnico y cuando es económicamente viable para un horizonte de validez definido. La eficacia y eficiencia de los planes de mantenimiento de cualquier máquina pueden mejorar significativamente con esta herramienta de decisión. [2]

Debido a la creciente popularidad del RCM y que diversas empresas comenzaran a idear estrategias similares y denominarlas de igual forma como RCM, surgió la necesidad de estandarizar esta metodología para no incurrir en errores al momento de su planificación y ejecución, es por esto por lo que en 1999 la Sociedad de Ingenieros de la industria automovilística emitió la Norma SAE JA1011 y SAE JA1012 con la finalidad de estandarizar lo procesos. [3][4]

3.2.1. Pasos para implementar un correcto RCM

Para que un proceso sea considerado como RCM debe formularse 7 preguntas acerca de los activos o sistemas que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse sí no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Estas preguntas se abordan en forma de pasos a seguir para poder implementar dicho proceso. A continuación, se presentarán los aspectos relevantes que se deben tener en cuenta al momento de proceder y aplicar RCM exitosamente.

- Funciones: Un proceso RCM que es elaborado requiere en primera instancia plantearse cuales son las funciones que deben cumplir los equipos o sistemas, el grado en que deben cumplirlas y el contexto operacional bajo el cual se desempeñan.
 - Contexto operacional: consiste en la descripción del activo y en qué condiciones se operará, junto con descripciones físicas, ambientales y los aspectos que limitaran criterios como producción, rendimiento, seguridad.
 - Funciones primarias: La razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas. Estas se conocen como funciones primarias del activo.
 - Funciones secundarias: Normalmente los activos no solo desarrollan una sola función, sino que también tienen consigo una serie de funciones que acompañan al correcto funcionamiento del equipo pero que no se ligan directamente con la función primaria. Muchas veces la pérdida de una de estas funciones es igual o más relevante que la pérdida de la primaria, por esto las funciones secundarias necesitan generalmente más supervisión que las primarias.
Para asegurarnos que ninguna de estas funciones sea pasada por alto, se dividen en siete categorías de la siguiente manera:
 - Ecología/ integridad ambiental
 - Seguridad/ Integridad estructural
 - Control/ contención/confort
 - Apariencia
 - Protección
 - Eficiencia/ economía
 - Funciones superfluas

La primera letra de cada línea de esta lista forma la palabra ESCAPEF.

- Fallas funcionales: corresponden a las maneras en las que puede fallar un activo. Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función. Un activo falla si es incapaz de hacer lo que el usuario desea que haga. El activo debe estar definido como una función, y cada activo tiene más de una (y frecuentemente varias) funciones diferentes. Como para cada una de estas funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla, por esta razón, definir la falla en términos

seguridad y salud de sus empleados. La naturaleza y la gravedad, junto con la frecuencia de estos efectos definen las consecuencias de la falla.

- Categorías de fallas evidentes: Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:
 - Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o regional.
 - Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad de producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación).
 - Consecuencias no operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni la producción, de modo que sólo involucran el costo directo de la reparación.
- Tareas asociadas: luego, en base a los análisis de los pasos anteriores se procede a ejecutar diversas tareas asociadas mayoritariamente a tareas de carácter proactivas. [5][6]

3.3. RBM (Risk Based Maintenance)

El Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM), es una técnica cuantitativa de análisis basado en la economía, establece el valor relativo de las distintas tareas de mantenimiento y sirve como herramienta de mejora continua. El RBM determina las oportunidades de mejora incremental eliminando las tareas de bajo valor e introduciendo tareas dirigidas a los aspectos de alto riesgo comercial. El mantenimiento basado en el riesgo evalúa el riesgo comercial actual y analiza los costes y beneficios de las medidas para mitigar los fallos. [7]

Se evalúan los diferentes modos de falla en los que puede incurrir un equipo o sistema, las consecuencias, es decir el riesgo al cual se somete y se realiza un equivalente monetario para dichas consecuencias, en base a eso se toman las medidas pertinentes.

3.3.1. RBI

Para poder llevar a cabo el RBM es necesario realizar una Inspección Basada en Riesgo (RBI), la cual consiste en aplicar las tecnologías necesarias para poder cumplir con el chequeo de los equipos.

Existen diversas normas para poder aplicar una correcta inspección basada en riesgo, esto debido a las diversas organizaciones que existen relacionadas con el tema.

El Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) desarrolló una serie de normativas para el manejo adecuado de petróleo y gas enfocado en el riesgo asociado a esos procesos, surgiendo de esta forma las normas API580-581. [8][9]

La Instituto Estándar Británico, es una asociación que desarrolla normas de diversos tipos, en este caso también desarrollo una norma para implementar una correcta inspección basada en riesgo, la cual es BS-EN 16991, las siglas aluden a British Standard- European Norm. [10][11]

La Organización Internacional de Estandarización es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización, para la aplicación de una correcta inspección basada en riesgo es que se creó la norma ISO 31000, en la cual se hará hincapié a continuación.

El proceso de gestión de riesgos implica la aplicación sistemática de políticas estructuradas, procedimientos y prácticas a las actividades de comunicación y consultoría, estableciendo el contexto particular, evaluando, monitoreando y reportando riesgos en un ambiente cambiante y adaptado a cada empresa o cliente. [12]

Lo que se busca es generar valor y la protección correspondiente a este mismo, por medio del siguiente esquema.



Imagen N°3 Elementos integrales que agregan valor en el RBM [12]

La gestión del riesgo es una parte integral de las actividades de las organizaciones, esta debe ser estructurada para su correcto funcionamiento y es dinámica, ya que busca anticiparse a eventos que pudieran o no ocurrir, y dependen de factores externos e internos. Por otro lado, debe ser adaptada o personalizada a cada cliente/empresa y aspirar constantemente a la mejora continua de los procesos.

Para ayudar a la gestión de riesgo dentro de una organización es que se apoya en un marco de gestión del riesgo, el cual ayuda a la organización a una correcta y efectiva integración de esta.



Imagen N°4 Marco de referencia ISO 31000 [12]

Como se muestra en la figura N°4 este contempla el diseño del marco, es decir que factores (externos o internos) van a ser considerados dentro del análisis, los recursos y tecnologías a utilizar entre otros. También el cómo se va a implementar y la constante mejora de los procesos.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de gestión de riesgo involucra la aplicación sistemática de diferentes políticas, en la Figura N°4 se detallan los pasos a seguir para su correcta aplicación.

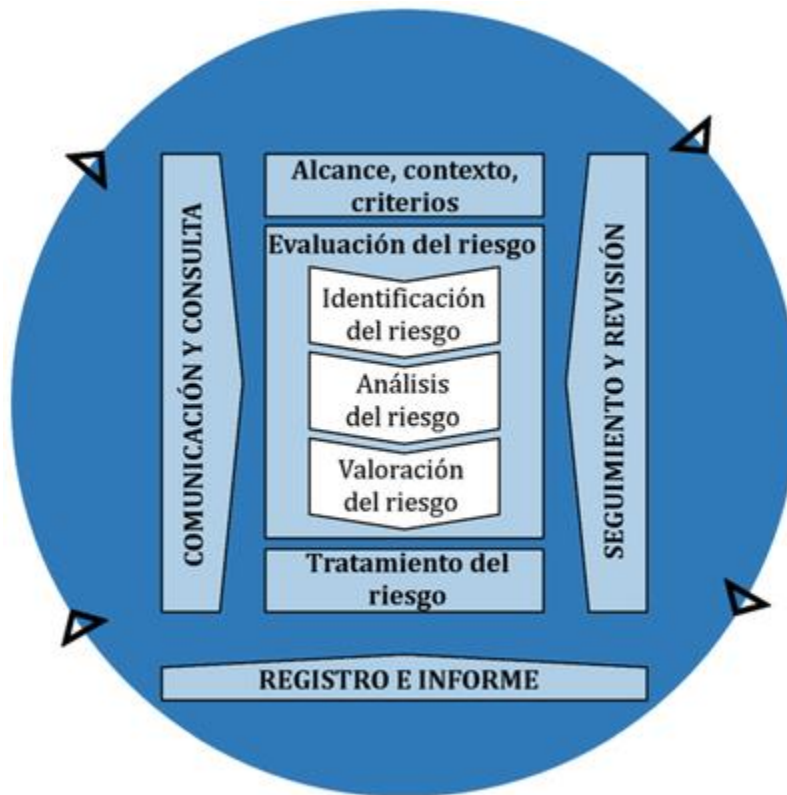


Imagen N°5 Proceso de gestión del riesgo [12]

Primeramente, es necesario definir:

Comunicación y Consulta: el propósito de esta sección es asistir a los stakeholders relevantes a entender el riesgo, el cual es clave en la toma de decisiones. La comunicación busca promover la conciencia y la comprensión del riesgo, mientras que la consulta implica obtener retroalimentación e información para apoyar la toma de decisiones.

Seguimiento y Revisión: el propósito de esta sección es mantener un constante seguimiento de los procesos de manejo de riesgo, de monitorearlos y revisarlos con la finalidad de mejorarlos constantemente en caso de que se presenten anomalías o fallas.

Ahora se define el reglón principal de esquema, donde se encuentra lo esencial del proceso:

Alcance, Contexto, Criterios: es de suma importancia definir el alcance del proceso, ya que, en una industria por lo general, se tienen 3 categorías jerárquicas (estratégicas, tácticas y operativas) por ende es relevante definir hasta qué punto va a afectar esta política para así tener bien definidos los objetivos de la planificación. Por otro lado, es relevante definir en qué condiciones (externas e internas) se encuentre la empresa/proceso en cuestión y, por último, se debe establecer los criterios de riesgo que la empresa está dispuesta a

aceptar, a considerar aceptables, tolerables e intolerables y también definir métricas claras para evaluar el riesgo y la relevancia de este.

Evaluación del riesgo: en este gran paso es donde se procede a identificar todas las posibles fuentes de riesgo o de incertidumbre que podrían llegar a afectar algunos de los objetivos, ya sean externas o internas, por medio de diversas estrategias que posea la empresa (información histórica, casos similares, lluvia de ideas, etc). Posterior a la identificación se procede con el análisis en el cual se realiza un proceso similar a AMFE y se analiza el árbol de fallas del equipo o proceso para seguir con una posterior valorización o categorización, el riesgo se define como efecto de la incertidumbre sobre los objetivos, esto se puede traducir como la probabilidad de que suceda algo por la consecuencia de ese hecho, con base en esa definición se construye una matriz, en la cual se grafica la probabilidad v/s consecuencia y de esta forma se categorizan los eventos de acuerdo a los criterios previamente definidos.

Probabilidad	GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS				
	BAJO	MENOR	MODERADO	IMPORTANTE	CRITICO
Casi Cierto	Alto	Alto	Extremo	Extremo	Extremo
Probable	Moderado	Alto	Alto	Extremo	Extremo
Posible	Bajo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo
Improbable	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Raro	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto

Imagen N°6 matriz de riesgo, categorización del riesgo de forma cualitativa. [29]

Las categorías de probabilidad y de consecuencias pueden variar en cuanto a la cantidad de casillas según la empresa estime conveniente (de acuerdo con sus criterios) y estas pueden ser cualitativas, lo que se ve representado en la figura N°6 o cuantitativa que es cuando se segmenta con rangos de probabilidad exacta y por otro lado las consecuencias se reflejan en su equivalente a cifras de costo.

Tratamiento del riesgo: posterior a la evaluación del riesgo, este debe ser manejado de acuerdo con las consecuencias que presenta dirigiendo así el riesgo de manera apropiada. Para esto se formulan y seleccionan, planean e implementan diferentes métodos para tratar

el riesgo, cada uno de acuerdo con su contexto y siendo el más adecuado para la situación, balanceando entre beneficios que puede traer y los costos que conlleva. La justificación para el tratamiento del riesgo es más amplia que solo las consideraciones económicas y debe tener en cuenta todas las obligaciones, compromisos voluntarios y opiniones de las partes interesadas de la organización.

Finalmente, todas las decisiones tomadas y las situaciones enfrentadas deben ser correctamente registradas e informadas a los mandos superiores para poder tener una correcta retroalimentación de los eventos ocurridos y poder reaccionar de mejor forma en la toma de decisiones para los posibles futuros eventos. Además, esta información debe estar disponible y de fácil acceso para cualquier empleado que forme parte de la organización, para que de esta forma pueda también tomar decisiones informadas correspondientes a su área de servicio.

3.4. TPM (Total Productive Maintenance)

El mantenimiento productivo total TPM es un modelo de gestión, surgido en Japón alrededor de los años 60, que pretende evitar todo tipo de pérdidas durante la vida útil del sistema o equipo de producción, maximizando así su eficacia y eficiencia.

Es una práctica que involucra a todos los departamentos y grados jerárquicos de la empresa, orientando así sus acciones y apoyándose en las actividades.

En la fábrica ideal los equipos deben funcionar al 100% de su capacidad el 100% del tiempo, TPM es una herramienta poderosa que ayuda a cumplir este objetivo, ya que involucra la capacidad intelectual de todos en la empresa, haciendo que cada uno sea responsable de sostener sus condiciones óptimas de trabajo y las de sus compañeros.

Es precisamente esto último lo destacable de TPM, los operarios se hacen responsables del mantenimiento básico de sus equipos, desarrollando además la capacidad de detectar posibles problemas potenciales antes de que se produzcan averías. [13]

Además de ser una herramienta, TPM es una filosofía y una cultura de trabajo, la cual tiene objetivos claros, actividades (pilares) sólidas y una guía de buenas prácticas laborales diseñadas para mantener un orden mínimo en las dependencias laborales.

Los objetivos de esta herramienta, al momento de aplicarla en una empresa se dividen en:

- **Objetivos Estratégicos:** buscan generar ventajas competitivas para las organizaciones dentro del mercado en el cual se encuentran, maximizando la productividad y minimizando cualquier tipo de detenciones, aumentando el rendimiento total de la empresa.

- **Objetivos Operativos:** buscan obtener cero pérdidas, mejorando el rendimiento de los equipos y evitando desperdicios que se presenten en cualquier tipo de actividad utilizando efectivamente la capacidad instalada.
- **Objetivos Organizativos:** en este ámbito se busca un desarrollo personal de los trabajadores, ya que si un trabajador se siente parte del problema y al mismo tiempo es parte de la solución se genera un sentido de pertenencia con la empresa, generando que aporten de una mejor forma al óptimo funcionamiento de esta.

Antes de comenzar a describir los pilares y la guía de buenas prácticas implicadas en el TPM se describirá brevemente los pasos necesarios a seguir para poder implementarlo:

- **Preparación:** en el cual se decide la dirección que tomará la aplicación del TPM, el plan de acción y el desarrollo de este.
- **Implementación preliminar:** lanzamiento del plan acordado.
- **Implementación del TPM:** aplicación del plan acordado, junto con la selección y mejoramiento de sistemas.
- **Estabilización:** implementación perfecta y aumento de niveles. [14]

Estos pasos son exactamente los mismos utilizados en el “ciclo de Deming” utilización en calidad y en mejoramiento continuo. [15]

3.4.1. OEE y las 6 Grandes Pérdidas del TPM

Antes de describir las 6 grandes pérdidas que reconoce el TPM es necesario definir uno de los criterios de evaluación para medir la efectividad de los equipos, el OEE.

OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos), este indicador mide la eficiencia productiva de la maquinaria involucrando factores como la disponibilidad, rendimiento y calidad.

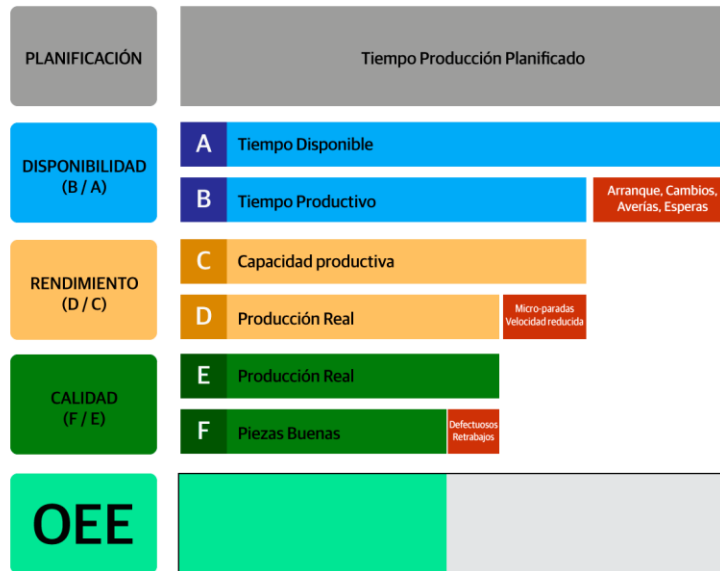


Imagen N°7 Descripción del OEE. [30]

Se define de manera sencilla la Eficiencia General de los Equipos como el producto entre la disponibilidad, la tasa de rendimiento y la tasa de calidad de los productos. Los cuales se definen como:

- Disponibilidad: (Tiempo Productivo/Tiempo Disponible)
- Rendimiento: (Capacidad de producción/Producción real)
- Calidad: (Piezas buenas/Producción real)

El objetivo de TPM como herramienta de trabajo y de mejoramiento continuo es reducir las detenciones y perdidas a cero, con esto es que se definen 6 tipos de perdidas, las cuales son:

- PÉRDIDAS POR AVERÍAS
- PÉRDIDAS DE PREPARACIÓN Y AJUSTE
- INACTIVIDAD Y PERIDIDAS DE PARADAS MENORES
- PÉRDIDAS DE VELOCIDAD REDUCIDA
- DEFECTOS DE CALIDAD Y REPETICIÓN DE TRABAJO
- PÉRDIDAS DE PUESTA EN MARCHA

3.4.2. Pilares fundamentales del TPM y 5S

Los pilares del TPM son los procesos fundamentales del desarrollo de esta herramienta y son propuestos por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas JIPM, los cuales surgieron a partir de la investigación de muchos años de esta organización en el área de mantenimiento. Cada uno de los pilares que se exponen a continuación cumplen una función específica y se interrelacionan entre sí, mostrando de esta forma los pasos que debe desarrollar una organización para tener éxito con la aplicación del TPM

- Mejoras Enfocadas
- Mantenimiento Autónomo
- Mantenimiento especializado
- Mantenimiento de calidad
- Gestión de Mantenimiento Inicial
- Educación y formación o entrenamiento
- Seguridad, Higiene y Medio Ambiente
- Mantenimiento en Áreas Administrativas

Por otro lado, se da a conocer un nivel estándar o un piso base para el TPM el cual se le denomina 5S, las cuales son cinco acciones o comportamiento, que debido a su origen japonés comienzan todas con “S”, las cuales son:

- Seiri (organizar o clasificar)
- Seiton (ordenar)
- Seiso (limpiar)
- Seiketsu (estandarizar)
- Shitsuke (disciplina)

3.4.3. Beneficios

Existen muchos beneficios al momento de aplicar TPM, los cuales no benefician únicamente a las organizaciones, sino que también al personal de trabajo desde el punto de vista de crecimiento personal.

Dentro de las mejoras que se pueden destacar se consideran la calidad de los productos y procesos, aumentos en la productividad, se elimina pérdidas y desperdicios.

Desde el punto de vista del personal, los trabajadores se sienten más participes de las soluciones de la empresa, mejora la satisfacción al momento de trabajar en grupo y se genera una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto dentro del ambiente de trabajo.

3.5. Gestión de Activos

Las normas ISO 55000 (ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002) son una serie de normas que surgen de la necesidad de aquellas empresas cuyos resultados se ven fuertemente influenciados por el cuidado de los activos que operan, a largo plazo. Estas 3 normas tienen la finalidad de describir conceptos y términos claves, especificar requisitos necesarios y una guía para implementar la.

3.5.1. ISO 55000

Existen factores que deben ser considerados al momento de establecer la política de gestión de activos de la empresa, y estos son:

- La naturaleza y el propósito de la organización
- Su contexto operativo
- Sus limitaciones financieras y requisitos reglamentarios
- Las necesidades y expectativas de la organización y sus grupos de interés.

Establecer estos términos claramente es fundamental para que la empresa pueda establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente la gestión de activos, la cual es esencial para generar valor mediante la gestión de riesgo y oportunidades, los cuales a su vez pueden aportar beneficios tangibles y oportunidades de apalancamiento.

Dentro de las oportunidades que se pueden presentar al aplicar estas políticas dentro de una empresa se encuentra la mejora de las finanzas, los servicios ofrecidos, la gestión del riesgo, la productividad, las decisiones de inversión y la sustentabilidad y responsabilidad social de la empresa frente a su entorno y comunidad.

Ahora bien, un activo se define como un algo (tangibles o intangibles) que genera valor para la empresa, esto quiere decir que por medio de la utilización de estos bienes la empresa genera ingresos. Estos activos son de suma importancia para las empresas, ya que su prevalencia en el mercado depende del correcto funcionamiento de estos, por lo que la gestión de activos toma un papel importante dentro de las instituciones, ya que implica el equilibrio de costos, oportunidades y riesgos contra el desempeño deseado de los activos, para lograr los objetivos

organizacionales. Es probable que sea necesario considerar este equilibrio en diferentes períodos de tiempo como, por ejemplo, la adquisición del equipo, la utilización de equipos mecánicos y al desgaste de estos en el tiempo y la posterior disposición de este.

Para todo esto es necesario de un sistema de gestión de activos, bajo este contexto, los elementos del sistema de gestión de activos deben verse como un conjunto de herramientas, incluidas políticas, liderazgo, planes, soporte y operaciones, procesos comerciales y sistemas de información, que se integran para garantizar que las actividades de gestión de activos se realizarán. Finalmente, el uso de un enfoque de sistemas de gestión integrados permite que el sistema de gestión de activos de una organización se base en elementos de sus otros sistemas de gestión, como la calidad, el medio ambiente, la salud y la seguridad, y la gestión de riesgos. Construir sobre sistemas existentes puede reducir el esfuerzo y los gastos involucrados en la creación y mantenimiento de un sistema de gestión de activos, también puede mejorar la integración en diferentes disciplinas y mejorar la coordinación interfuncional. [16]

3.5.2. ISO 55001

Esta norma se enfoca en describir los requerimientos mínimos necesarios que necesita una empresa para poder aplicar la ISO 55000.

La empresa deberá determinar primero que todo el alcance de la gestión, después qué cuestiones (externas o internas) deben formar parte de los objetivos de la política de gestión de activos, es importante que estén en concordancia con los objetivos de la empresa misma, ya que esta política de gestión será implementada, mantenida y mejorada constantemente. Además, se consideran los requerimientos y expectativas de sus principales stakeholders.

La alta dirección deberá demostrar liderazgo y compromiso ante esta nueva política, garantizando el cumplimiento de esta, de los objetivos previamente definidos y la integración de los requisitos al sistema de gestión. También se deberán asegurar que los recursos estén disponibles cuando son requeridos, de comunicar, dirigir y sobre todo apoyar a su personal promoviendo la colaboración entre diferentes departamentos y promover la mejora continua del sistema.

Se deberá tener en cuenta la planificación de acciones que pueden dirigir las oportunidades y los riesgos que se presentan, como integrar o implementar ciertas acciones a los procesos. Junto con establecer los objetivos de la gestión, es necesario designar el método y los criterios para la toma de decisiones y la priorización de las actividades. Es necesario describir claramente qué se hará, quien lo hará, como lo llevará a cabo, cuando se hará, los recursos necesarios para la actividad y las métricas bajo las cuales será evaluado su rendimiento, acompañado de las implicaciones financieras y los periodos de revisión.

Se debe contemplar una planificación y control operacional, esto significa que la organización deberá planificar, implementar y controlar los procesos que se llevan a cabo para cumplir los requerimientos, estableciendo criterios y controles acordes a esos criterios, manteniendo información documentada para cuando sea requerida. También se debe contemplar el riesgo que conlleva cualquier cambio en los planes fijados por la organización, ya sea permanente o temporal, y en caso de subcontratar alguna actividad considerar el riesgo que puede implicar para el activo que se está utilizando para dicha actividad.

Finalmente es necesaria una política de evaluación bien planificada en donde se estipule qué es necesario monitorear y medir, los métodos utilizados para ambos casos, cuando se evaluará y el posterior análisis del desempeño de los activos, incluyendo productividad y reportes financieros. Dentro de la política de evaluación se debe contemplar auditorías internas, determinando también el alcance de estas y su periodicidad, junto con los recursos necesarios, criterios auditables y responsables.

La gestión de activos, al ser una actividad dinámica que se lleva a cabo planificando a futuro y asumiendo variables que no son fijas en el tiempo, no está exenta de la mejora continua, por ende, siempre se busca perfeccionar la política aplicada por medio de las evaluaciones realizadas a los activos. [17]

3.5.3. ISO 55002

Lo que se debe tener en consideración con respecto a la ISO 55002 es que es una guía sumamente detallada respecto a cómo aplicar la norma ISO 55000 en su totalidad, por ende se necesita de los conocimientos de las normas descritas previamente (ISO 55000 y ISO 55001), eso significa, de manera simple, tener los conocimientos de las terminologías y de los requerimientos mínimos, sin embargo, no se entrará en mayor detalle dentro de este informe en relación a esta norma ya que es un documento sumamente extenso y se encuentra a disposición de cualquier empresa. [18].

4. Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo que se utilizará para realizar este trabajo se basará en el modelo de gestión de mantenimiento.

Se necesita el modelo de gestión de excelencia bajo el que se rija la empresa para poder establecer cuáles son las métricas que priorizan dentro de la organización, con la finalidad de adaptar la estrategia táctica que se desarrollará, y que esta esté bajo la misma línea que los objetivos estratégicos que tenga la empresa. Debido a que este trabajo consiste en la simulación de una empresa es que se desconocen dichas métricas, por ende, se le dará mayor importancia al HSEC, es decir, aspectos de salud, seguridad, medio ambiente y la comunidad, y si bien, el aspecto económico es el pilar fundamental para cualquier empresa, en este caso, debido al rubro, los materiales transportados, el hecho de que es transportado dentro de la Región Metropolitana y que existe una mayor probabilidad de accidentes de tránsito, pudiendo accidentar tanto a peatones como trabajadores propios y contaminar el medio ambiente es que se le debe dar gran relevancia a estos aspectos, ya que cualquier daño infligido a alguno de estos puntos resultaría perjudicial para la empresa, de igual o mayor manera que un error en el aspecto económico.

Al tratarse de una simulación, no se tiene información de la situación actual de la empresa, en términos tanto operacionales como económicos. Por ende, se situó a la empresa en un contexto de crecimiento y expansión, para lo cual necesita estabilidad y confiabilidad en el área de mantenimiento, ya que para poder abarcar una mayor cantidad de clientes necesita de los equipos el mayor porcentaje de tiempo disponible, sin correr el riesgo de exponerse a una falla imprevista.

Se procederá con la jerarquización de los equipos, para realizar la clasificación de los componentes se hará uso de la norma ISO 14224, la cual brinda el apoyo con respecto a una taxonomía internacional de equipos genéricos [28]. En este caso al trabajar con una flota de camiones no existe mucha diversidad de equipos, pero de todas formas se respetará esta metodología para prevenir el pasar por alto algún equipo o proceso que sea crítico para la organización. Para ello se va a realizar el levantamiento del equipo, dando enfoque en la hormigonera misma del equipo, separando el equipo en dos, un aspecto será el camión mismo, al cual se le dará poca relevancia y un segundo aspecto será la hormigonera junto con todos sus componentes, se trabajará con sus componentes principales, para posterior identificación de las fallas funcionales que podría tener el componente junto con las causas de dichas fallas.

Una vez obtenidas las causas de las fallas funcionales del equipo se procederá a evaluar cuál de ellas perjudica más a la empresa en caso de presentarse y que componente será considerado el más crítico del equipo. Si bien, al desconocerse la frecuencia con la que se

presentan las fallas resulta imposible estimar el impacto que pueden llegar a representar en términos económicos para la empresa, por ende se va a considerar cual afectaría en mayor medida al HSEC al momento de presentarse, debido a las consecuencias económicas y de imagen que pueden afectar a la empresa.

En el contexto bajo el cual se situó a la empresa, esta no se puede arriesgar a perder clientes por incumplimientos de entrega, pérdidas de materia prima o verse envuelta en conflictos de imagen como condiciones inseguras para sus trabajadores o daños medioambientales.

Se procederá con definición de las acciones preventivas o correctivas según corresponda para mitigar estos modos de falla y lograr una mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Luego se define la frecuencia de estas actividades, con lo cual se conforma el diseño de los planes de mantenimiento para el contexto de crecimiento en el cual se encuentra la empresa y uno para posterior, utilizando así de la mejor manera las 3 estrategias de mantenimiento que se dieron a conocer, de esta forma se podrán asignar de manera correcta los recursos, tanto económicos como de personal apropiado.

Posterior al diseño del plan de mantenimiento viene la aplicación de este, con lo cual se ingresa al ciclo de trabajo del mantenimiento en el cual se especifica:

- ¿Qué es lo que se debe hacer?
- Planificar esas actividades
- Programar las ordenes de trabajo
- Especificar como se deben ejecutar dichas actividades
- Finalmente una correspondiente actualización de los planes (en caso de ser necesario).

Finalmente se analizan los efectos que tiene la aplicación de la nueva estrategia de mantenimiento.

5. Levantamiento del Activo

Se comenzó con el estudio de modelos existentes en el mercado con respecto a lo que camiones hormigoneros se trata, estos se dividen principalmente en dos sistemas o elementos principales, el chasis del camión y la hormigonera como tal, estos productos son fabricados por separado y posteriormente ensamblados. [28]

Existen diversas empresas encargadas de fabricar los camiones y también muchas otras encargadas de fabricar las hormigoneras, estas pueden ser de capacidades volumétricas diferentes, por ende, definir todos los modelos existentes es sumamente difícil, ya que existen diferentes modelos de chasis y hormigoneras y se puede obtener una gama de combinaciones considerable, no obstante, todos cumplen con las mismas 5 funciones principales/elementales, las cuales son:

Cargar, Transportar, Mezclar, Mantener y Descargar.



Imagen N°8 ejemplo de camión hormigonera estándar, marca McNeilus. [31]

Debido a lo anterior es que no se hará hincapié en definir un modelo en específico, ya sea la marca del camión o de la hormigonera, la capacidad volumétrica de la hormigonera o la cantidad de ejes del camión.

Sin embargo, gracias al estudio de los modelos existentes se presentó que existen ciertos modelos que efectivamente se repiten, independiente de la capacidad o de las marcas, sus estructuras son idénticas, por ende, será necesario dar a conocer los 3 modelos principales existentes en el mercado, para ello me basaré en la empresa estadounidense McNeilus, fabricante de camiones desde hace más de 50 años.

Modelo McNeilus Básico:



Imagen N°9 ejemplo de un modelo básico de camión hormigonera. [31]

Modelo McNeilus Bridgemaster:



Imagen N°10 ejemplo de un segundo modelo de camión hormigonera, nombrado en este caso bridgemaster por McNeilus. [31]

Modelo McNeilus serie S:



Imagen N°11 ejemplo de un tercer modelo de camión hormigonera, nombrado en este caso serie S por McNeilus. [31]

Los dos primeros modelos son bastante similares y tienen los mismos principios de funcionamiento, se requiere de dos operarios para su funcionamiento, uno encargado de manejar el vehículo, debiendo estar dentro de la cabina al momento de realizar descargas y otro encargado de realizar las cargas/descargas, por medio del manejo de la caja de velocidades de la hormigonera, la cual es guiada por un motor hidráulico, y el manejo de la canaleta. La principal diferencia entre ellos son las ruedas auxiliares en la parte posterior del camión para ayudar en el apoyo y manejo de la canaleta de descarga.

En relación con el modelo serie S, para operar este equipo solo se necesita de un operario, el equipo cuenta con controles remoto en la cabina del chofer y este puede operar la descarga desde la misma cabina, además, la descarga de hormigón se realiza por la parte delante del vehículo, así el operario tiene completa visión de las maniobras que realiza, por último, este modelo de hormigonera tiene el motor en la parte posterior del chasis, ofreciendo una mayor accesibilidad a este.

Para efectos de este trabajo de estudio se utilizará como referencia el modelo básico, ya que todos los camiones hormigoneras tienen los mismos principios de funcionamiento en lo que respecta a transportar, mezclar y mantener.

Como se mencionó anteriormente, el camión hormigonera está compuesto por dos sistemas principales, los que se ilustran en las siguientes fotografías.



Imagen N°12 muestra la hormigonera siendo instalada sobre el chasis del camión. [32]

Aquí se puede apreciar que la hormigonera viene fabricada por separado y es un “accesorio” para el chasis del camión.

En lo referente al chasis del camión, no se hará mayor hincapié, únicamente se darán a conocer los sistemas más relevantes de equipo.



Imagen N°13 Chasis de camión. [32]

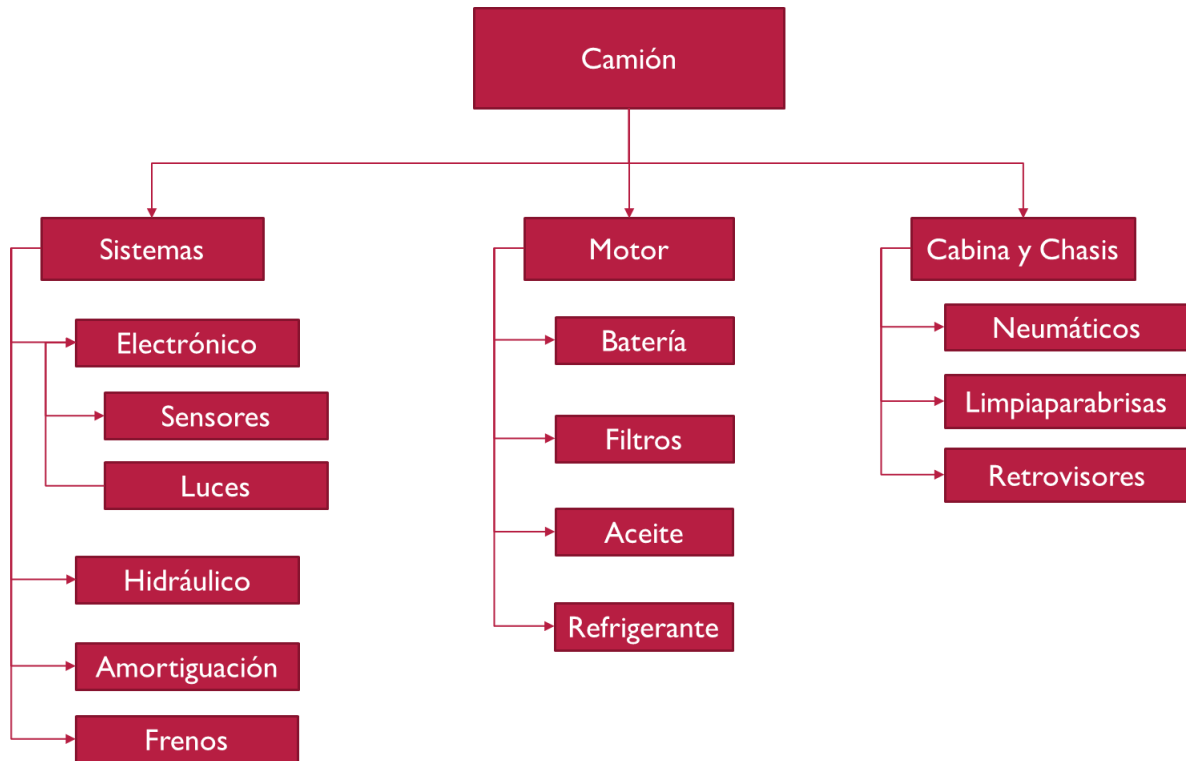


Imagen N° 14 Esquema de los sistemas principales del camión. [34]

Cabe destacar que su tamaño se debe ir adaptando a la capacidad volumétrica que tenga la hormigonera, ya que a mayor volumen de hormigón el chasis deberá tener una mayor cantidad de ejes para soportar el peso del vehículo completo.

A continuación, se muestra la segunda mitad del mapa conceptual, es acerca de la hormigonera, la cual será el centro del análisis de este trabajo, ya que viene siendo el equipo del que se dispone menos información, en el esquema se muestran los principales sistemas de la hormigonera y más adelante se detallarán los más relevantes.

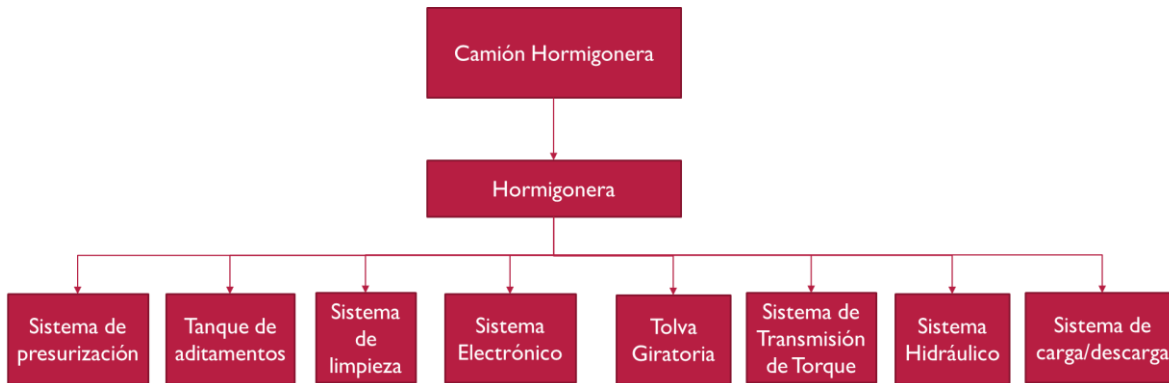


Imagen N° 15 Esquema de los sistemas principales de la hormigonera. [35]

5.1. Sistema de presurización

Este sistema cumple la función de sellar y mantener la presión de agua y de los aditamentos dentro de sus respectivos tanques y dentro de sus respectivos sistemas para operar de manera correcta. También debe entregar lecturas de presión de ambos tanques. Por otro lado, se realizan las funciones antes mencionadas en el sistema hidráulico de la hormigonera, el cual posee además reguladores de presión, válvulas de alivio, válvulas de seguridad, ya que se trabaja con presiones mucho mayores.

5.2. Tanque de Aditamentos

En este depósito se almacenan diversos tipos de aditamentos que necesita el hormigón para llegar a destino con las características que el cliente haya solicitado. Estos aditamentos pueden servir para preservar el hormigón, debido a viajes largos o para finalizar la formación del hormigón durante el viaje. Por otro lado, también se posee un tanque de agua, el cual también es un aditamento para el hormigón, en caso de que lo requiera y se utiliza también para limpiar la tolva.

5.3. Sistema de limpieza

Este sistema está conformado principalmente por una bomba y un sistema de mangueras las cuales, una vez descargado todo el hormigón se encargan de llevar agua a la parte superior de la tolva, por donde se realiza la carga y descarga de material. El operador es el encargado de accionar el sistema de limpieza, este hace fluir agua hacia varios puntos de la zona de

carga de la tolva y de manera simultánea se hace girar la tolva en vacío, únicamente con el agua, en la dirección de giro de carga de material y posterior a eso se invierte el sentido de giro de la tolva para empezar a descargar el agua y los restos de hormigón de la tolva.

Este sistema es de suma importancia, ya que si no se limpia el interior de la tolva de la mayor cantidad de material restante este se endurece y genera pérdidas de tiempo, ya que los operadores deben limpiarlo de manera manual, es decir, introducirse en la tolva y realizar la limpieza desde dentro o bien, puede contaminar la siguiente mezcla de hormigón que se le cargue al camión.

5.4. Sistema electrónico

Este sistema está encargado de todo el funcionamiento del vehículo, desde el encendido de este hasta la limpieza de la tolva. Es un sistema bastante relevante y al mismo tiempo difícil de predecir, ya que se trabaja con equipos electrónicos que no poseen ningún tipo de comportamiento de fallas conocido o que se pueda representar y puede presentar fallas pequeñas como malas señales producto de cables mal conectados o sueltos hasta una falla real y completa detención del vehículo.

5.5. Tolva giratoria



Imagen N°16 tolva giratoria, en la esquina superior izquierda se puede ver el tanque de agua y en el costado derecho la zona de carga y descarga. [32]

La tolva giratoria, donde se almacena el hormigón durante el transporte es fabricada por medio de planchas de acero, normalmente 4 planchas, en la foto se pueden apreciar las cuatro diferentes planchas, la primera, la tercera y la cuarta plancha se les da una forma cónica y a

la segunda un forma cilíndrica, todo esto de izquierda a derecha en referencia a la Imagen N°16, posteriormente se sueldan entre ellas para así obtener esa forma particular que posee la tolva, adicionalmente, en la plancha de acero que posee forma cilíndrica, donde además la tolva posee un mayor diámetro, se instala una pequeña compuerta, la cual se mantiene cerrada y es utilizada en caso de que el hormigón de seque, se endurezca y deba hacer ingreso un operador al interior de la tolva para golpear, romper y ayudar a retirar el hormigón.

Como se mencionó antes, las hormigoneras móviles poseen diferentes capacidades volumétricas, las cuales oscilan entre 6 y 8 [m³] por lo general.

En el interior de la tolva giratoria se instalan una especie de hélices, las cuales son de aceros de mayor resistencia a la abrasión, ya que están en constante contacto y roce con la mezcla, estas hélices van soldadas, también con soldaduras especiales, al interior de la tolva.

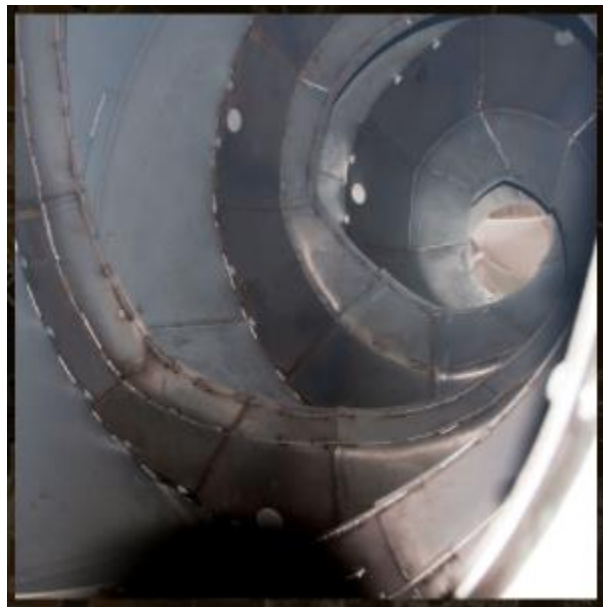


Imagen N° 17 interior de una tolva giratoria. [32]

Existen también diferentes tipos de hélices, cada fabricante tiene una respuesta ingenieril diferente para los ángulos, forma, altura que se le da a las hélices, por ejemplo, en esta foto se ve que las hélices poseen orificios para facilitar la movilidad del hormigón.

Las hélices instaladas le otorgan a la tolva la misma cualidad que posee un tornillo sin fin, que al girar pueda transportar material, entonces, por medio del giro del motor hidráulico se genera el giro de la tolva y dependiendo del sentido de giro de esta el hormigón es mezclado o descargado. Si la tolva gira en un sentido el hormigón descende y se realiza la mezcla de este y si se realiza en el sentido contrario la mezcla asciende y se lleva a cabo la descarga del hormigón. Cabe destacar que desde que el hormigón se carga dentro de la tolva y durante todo el traslado hasta la obra en construcción la tolva tiene que mantener el sentido de giro que permita mezclarlo para así mantener el hormigón con las propiedades que se solicitaron.

Estas propiedades dependerán de varios factores, como lo pueden ser el tipo de obra, suelo, clima, el uso que se le dará, entre otras más, debido a eso no se ahondará en las propiedades del hormigón. La tolva giratoria no puede dejar de girar en ningún momento, ya que, si se detiene, la mezcla puede perder las propiedades requeridas por el cliente y en casos más desfavorables, si se detiene por demasiado tiempo la mezcla se puede secar y endurecer dentro de la hormigonera.

5.6. Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico de la hormigonera es uno de los sistemas más relevantes, ya que en él se origina el torque necesario para llevar a cabo la mezcla del hormigón.

El sistema cuenta principalmente con un motor hidráulico, el sistema de mangueras oleo-hidráulicas, el aceite, un tanque de aceite y una bomba hidráulica. El motor debe de proporcionar el torque necesario para romper con la inercia de la tolva y el hormigón juntos y hacerlos girar, y la bomba debe proporcionar el caudal necesario para el correcto funcionamiento del motor.



Imagen N°18 Se muestra el sistema hidráulico, dentro del ovalo está el motor, a su izquierda las mangueras hidráulicas y a su derecha el sistema de transmisión. [32]

En la imagen se pueden apreciar el motor hidráulico, a la izquierda, junto con las mangueras y el manómetro, y a la derecha el sistema de transmisión de torque. Los demás elementos del sistema se encuentran más cerca del chasis del camión, ya que no es necesario que se ubiquen cerca del motor.

Este sistema es accionado, en la mayoría de los camiones mixer básicos, de manera manual por medio de un sistema de palancas, la cual tiene 3 posiciones que indican el sentido de giro de la tolva, sentido de carga, de descarga y neutro. Para accionar este sistema el operador debe descender del camión, ubicar correctamente la canaleta de descarga y accionar la palanca en ese sentido, de manera análoga cuando se realiza la carga de del camión se debe ubicar bajo la zona de carga y accionar dicha palanca en ese sentido de giro.

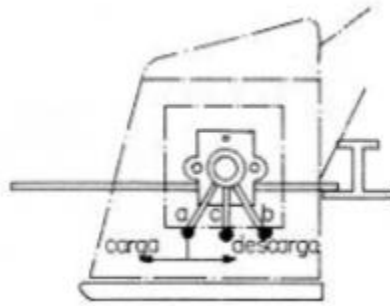


Imagen N° 19 sistema de palanca para accionamiento de tolva. [22]

5.7. Sistema de Transmisión de Torque

Como es sabido, un motor hidráulico posee un determinado rango de velocidad angular, la cual varía y por lo general es una velocidad alta, por otro lado, la velocidad angular de la tolva es bastante baja, por ende, el mecanismo de transmisión también debe de reducir la velocidad angular que se transmite desde el motor a la tolva.[38][39]

El sistema de transmisión utilizado en el vehículo es un reductor planetario. El funcionamiento de un reductor planetario consiste en una entrada proveniente del motor, el cual le otorga el movimiento al anillo sol. Este transmite el movimiento a los planetas que, al estar engranando simultáneamente con el ring-gear, tienen una velocidad de giro reducida. [19]

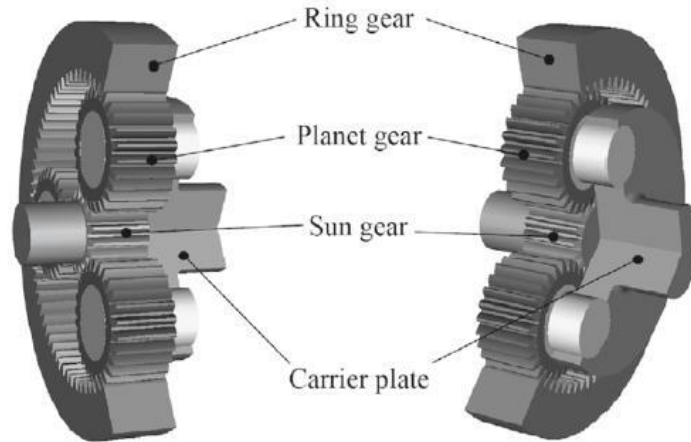


Imagen N° 20 Esquema de un reductor planetario de una etapa. [19]

El reductor es el encargado de unir el motor hidráulico a la tolva giratoria y como su nombre lo dice, transmitir el torque que genera el motor hacia la tolva. El reductor va montado dentro de una estructura sellada, la cual tiene una entrada de torque para el motor y una salida hacia la tolva, como una caja negra. El carrier del reductor va unido a un plato que transmite el torque y este plato es el que va unido a la tolva.



Imagen N°21 Interior de un reductor planetario. [36]

En la imagen anterior se aprecian, por la parte superior, los planetas del reductor y en la parte inferior una placa blanca con perforaciones. Es esta la que se une a la tolva y transmite el torque.



Imagen N° 22 tapa del reductor, la cual se conecta con el eje del motor hidráulico. [36]



Imagen N°23 muestra la entra y salida de torque del equipo sellado, a la izquierda la unión con el motor y a la derecha, la unión con la tolva. [36]

5.8. Sistema de carga/descarga

Este sistema está compuesto por un chute, en su parte superior, por donde se deja caer el hormigón al momento de realizarse la carga de material y bajo este se encuentra una canaleta, la cual es plegable para su transporte. Esta canaleta debe ser manipulada de manera manual por el operador y ubicarla en la posición que se desee para posterior realizar la descarga.



Imagen N°24 se muestra la zona de carga y descarga de material. [31]

6. Criticidad de Sistemas

Para realizar el análisis de criticidad de los sistemas de la hormigonera se realizará un análisis de sus posibles fallas y un análisis cualitativo del riesgo que está asociado a cada una de ellas.

En vista de la escasez de datos se analizará las posibles fallas que pueden tener los sistemas y como afectarían estos al HSEC, siendo este la salud, seguridad, medio ambiente y comunidad respectivamente.

Se establecerán los criterios del HSEC para el contexto de un camión que circula por la región metropolitana, por ende:

Salud: se considerará la salud tanto de los operarios del camión, así como la salud de las personas que se presenten alrededor del camión en las obras de destino y también las personas que pudiesen estar por las proximidades del camión durante su trayecto de ida y regreso a obras.

Seguridad: se considerará la seguridad tanto de los operarios del camión, así como la seguridad de las personas que se presenten alrededor del camión en las obras de destino y también las personas que pudiesen estar por las proximidades del camión durante su trayecto de ida y regreso a obras.

Medio Ambiente: se considerará impacto medio ambiental a cualquiera falla o desperfecto que pueda ocasionar contaminación durante los trayectos de ida y regreso a obras.

Comunidad: será entendida como toda la región metropolitana, debido a que el tránsito de estos vehículos será a través de toda la región se considerará que cualquiera puede verse afectado, para bien o para mal, por estos vehículos.

Se iniciará con el análisis de los primeros 4 equipos:

- Sistema de presurización:

Posibles fallas: Fugas de agua producto de sellos en mal estado o fisuras en el tanque de almacenamiento, fugas de aceite, baja o aumento de presión, posibles averías en los reguladores de presión, válvulas de alivio, válvulas de seguridad

Estas fallas, al hacerse presente en el sistema de agua no afectarían en nada al HSEC, ya que únicamente se fugaría agua desde el camión. Al transportar agua limpia se vería en una pérdida de dinero únicamente, ya que el agua con restos de hormigón de desecha en las obras.

Si se presenta en el sistema que transporta los aditamentos o el aceite no afectaría a la salud ni a la seguridad de los operarios, pero si puede afectar a la seguridad de las personas, esto

debido a que el derramamiento de estos productos en vías públicas y de libre tránsito puede ocasionar accidentes de tránsito entre vehículos, detenciones de tránsito para limpieza de estos productos, afectando de esta manera también a la comunidad en general. Finalmente, afectaría al medio ambiente, ya que son productos contaminantes.

Por ende, los riesgos presentes vendrían siendo de carácter económico para remediar los daños causados a terceros y medio ambiente, pero por sobre eso, se corre el riesgo de dañar la imagen de la empresa.

- Tanques de aditamentos:

Posibles fallas: las posibles fallas que se pueden presentar en los tanques de aditamentos o en el tanque de agua suelen ser ciertas abolladuras o pequeños orificios producto de proyectiles colisionados contra los tanques durante los trayectos largos, aunque estos tanques suelen tener una vida útil bastante alta, ya que no están expuesto a demasiada abrasión que los pueda desgastar en exceso, por ende, no suelen fallar con regularidad.

Estas fallas, al hacerse presente en el sistema de agua no afectarían en nada al HSEC, ya que únicamente se fugaría agua desde el camión. Al transportar agua limpia se traduciría en una pérdida de dinero únicamente, ya que el agua con restos de hormigón se desecha en las obras.

Si se presenta en el sistema que transporta los aditamentos no afectaría a la salud ni a la seguridad de los operarios, pero si puede afectar a la seguridad de las personas, esto debido a que el derramamiento de este producto en vías públicas y de libre tránsito puede ocasionar accidentes de tránsito entre vehículos, detenciones de tránsito para limpieza de este producto, afectando de esta manera también a la comunidad en general. Finalmente, afectaría al medio ambiente, ya que es un producto contaminante.

Por ende, los riesgos presentes vendrían siendo de carácter económico para remediar los daños causados a terceros y medio ambiente, pero por sobre eso, se corre el riesgo de dañar la imagen de la empresa.

- Sistema de limpieza:

Como se dijo, este sistema está compuesto por una bomba, la cual entrega caudal desde el tanque de agua y por medio de mangueras al extremo superior de la tolva.

Las posibles fallas que se pueden presentar son principalmente en la bomba, como por ejemplo cavitación, entrega de caudal inferior al correspondiente, desgaste en las paletas o engranes dependiendo de qué tipo de bomba sea. Por último, debido a que este sistema no opera con una presión elevada la ruptura de manguera es muy poco probable.

Si se presentará alguna falla en el funcionamiento de la bomba, esta no afectaría en nada al medio ambiente ni a la comunidad, tampoco a la salud ni seguridad de las personas cercanas al vehículo pero si puede afectar la salud y seguridad de los operarios del vehículo, ya que al

llegar menos caudal de agua es probable que queden restos de hormigón dentro de la tolva obligando así al operador a tener que introducirse dentro de esta para realizar una limpieza manual del equipo, aumentando las probabilidades de golpes, daño auditivo, daños a la piel, daño a la vista, caídas de altura.

Por otro lado, todo eso conlleva una pérdida de tiempo, ya que el proceso de limpieza manual es bastante tardío, esto implica retraso en las siguientes entregas, no poder realizar la siguiente entrega o entregar hormigón de menor calidad debido a una limpieza rápida y mal realizada. Todo esto se traduce en dinero perdido por la empresa.

Los riesgos asociados a esta falla son principalmente la salud de un trabajador, ya que se le puede exponer a circunstancias de trabajo complejas con repercusiones graves en aspectos de salud.

- Sistema electrónico:

Las fallas electrónicas que se pueden presentar en un equipo como este son variadas y en diferentes componentes del equipo, no se ahondará en este punto ya que es imposible predecir una falla eléctrica y sus consecuencias pueden ser muy variadas.

El sistema electrónico, al ser un sistema transversal puede afectar el correcto funcionamiento de cualquier componente del equipo generando el no funcionamiento de estos, se puede ver reflejado en falta de agua, aceite o gira de la cuba pudiendo afectar de igual manera que una falla en el sistema hidráulico o de transmisión, con la diferencia de que las fallas de componentes eléctricos son poco comunes e impredecibles.

- Tolva Giratoria:

La tolva al estar fabricada con acero resistente a la abrasión tiene una larga vida útil y es poco probable que presente fallas o fisuras, pero se debe tener en consideración un monitoreo de las hélices que van dentro de la tolva sobre todo a las soldaduras entre las hélices y el interior de la tolva, ya que estas están más expuestas a la abrasión porque son las encargadas de mover el hormigón dentro de la tolva.

En caso de presentarse esta falla el riesgo asociado es una mayor ineficiencia en la mezcla del hormigón y este deberá estar un mayor tiempo dentro de la cuba generando mayores plazos de entrega.

- Sistema de Transmisión

Este sistema está conformado por una serie de engranes, los cuales están en constante contacto entre ellos, estos pueden presentar fallas de pitting o picaduras por corrosión o fisuras, es decir desprendimiento de material, estos pueden escalar hasta una fractura total de uno o más dientes de alguno de los engranes ocasionando así la detención de la rotación de la tolva. [19] [20]

Si la tolva deja de girar producto de una falla en el reductor planetario no afectaría al HSEC, ya que lo único que se apreciará es que la tolva dejó de girar, no habría fugas ni saldría nada de material y la presión en el sistema hidráulico no subiría porque este cuenta con válvulas de seguridad.

El problema es que en el momento en que la tolva deje de girar se comenzará a secar el hormigón dentro de la tolva y dependiendo de la cantidad de hormigón que se seque dentro será el tiempo que se pierda en la limpieza manual de la tolva, y es aquí, en la limpieza manual donde se afecta la salud y seguridad de los operarios del mismo modo en que si fallara el sistema de limpieza.

Si la tolva deja de girar estando llena de hormigón el tiempo empleado es mucho mayor y los riesgos a la salud aumentan, ya que es necesario utilizar un roto-martillo dentro de la tolva, generando una gran polución y ruidos por sobre los decibeles recomendables por tiempos prolongados. Sin olvidar que se perdería todo el material que iba camino a obra.

Los riesgos asociados a esta falla son principalmente la salud de uno o más trabajadores, ya que se les puede exponer a circunstancias de trabajo complejas con repercusiones graves en aspectos de salud, junto con la pérdida de materia prima, pérdida del reductor, pérdida de tiempo, posibles pérdidas de clientes, en resumen pérdidas de componentes, materia prima, costo de oportunidades, tiempo, imagen por contaminación ambiental y lo más importantes perjudicar la salud de los trabajadores.

- Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico es uno de los más críticos del equipo, ya que de este depende el funcionamiento del reductor y por ende la rotación de la tolva.

Como se mencionó está compuesto por bomba y motor hidráulico, mangueras, medidores y válvulas reguladoras y limitadoras de presión. Por otro esta la caja de palanca que le da sentido de giro a la tolva.

Si llegase a fallar la bomba o el motor hidráulico el equipo podría comenzar a rotar a una velocidad diferente de la que corresponde o incluso llegar a detenerse. Ya se conocen las consecuencias de la detención de la tolva.

Si llegase a fallar una manguera, alguna de las válvulas o medidores de presión afectaría considerablemente a la seguridad de las personas, tanto los operarios como personas de la comunidad, ya que los sistemas oleo hidráulicos funcionan con mucha presión y si las limitadoras fallan o las mangueras no soportan la presión de trabajo podría salir alguien seriamente lastimado producto del desprendimiento de uno de los extremos de las mangueras o bien la manguera completa, desprendimiento de piezas mecánicas como tuercas o incluso el golpe de aceite a alta presión. Así como también se estaría afectando al medio ambiente debido al producto contaminante derramado.

Los riesgos asociados a esta falla son principalmente a la comunidad, ya que se les puede exponer a circunstancias complejas con repercusiones graves en aspectos de seguridad, junto con la pérdida de materia prima, pérdida de tiempo, posibles pérdidas de clientes, en resumen pérdidas de componentes, materia prima, costo de oportunidades, tiempo y lo más importantes perjudicar la salud de los trabajadores.

- Sistema de carga/descarga

Este sistema al ser netamente manual y operado únicamente por el operador del equipo es quien está más expuesto y quien más arriesga su seguridad. Durante la carga, existe el riesgo de proyección de partículas de hormigón sobre cabeza y cuerpo del conductor al no ser recogidos por el chute de carga.

Por otro lado, durante el transporte existe el riesgo de golpes a terceros con la canaleta de salida al desplegarse por mala sujeción, rotura de esta o simplemente por no haberla sujetado después de la descarga. Caída de hormigón por la tolva al haberse llenado excesivamente, afectando la seguridad de terceros.

Durante la descarga: Golpes en la cabeza al desplegar la canaleta, atrapamiento de dedos o manos en las articulaciones y uniones de la canaleta al desplegarla, golpes en los pies al transportar las canaletas auxiliares o al proceder a unirlas a la canaleta de salida, golpes a terceros situados en el radio de giro de la canaleta al no fijar esta y estar personas ajenas próximas a la operación de descarga de hormigón.

Los riesgos asociados a esta falla vienen siendo de carácter de seguridad y salud menores para trabajadores y/o terceros, debido a los golpes de la canaleta o proyecciones de partículas.

6.1. Selección de Componentes Críticos

En base al análisis hecho se hará una lista de mayor a menor riesgo detectado, para posteriormente poder tomar acciones de manera consecuente.

Si bien en el punto anterior se mencionaron varios aspectos a considerar en temas de riesgos, en este trabajo se priorizará aquella que afecte en mayor medida al HSEC, esa será la métrica para la priorización de sistemas.

- Sistema de Transmisión
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Limpieza
- Sistema de presurización
- Sistema de carga/descarga
- Sistema Electrónico
- Tanques de Aditamentos
- Tolva Giratoria

7. Análisis de Modos de Falla

Para comenzar con un análisis de los modos de falla de los sistemas que conforman el camión hormigonera se aclarará que el enfoque principal, al igual que en los puntos anteriores, será la hormigonera. Como se mostró en los puntos anteriores se destacaron 8 subsistemas, para los cuales se realizará un análisis de sus modos de falla para el equipo principal de cada subsistema, lo cual significa que se identificará la función principal, sus posibles fallas funcionales y las causas de estas.

Para el análisis se planteó una situación hipotética de operación, las cuales toman relevancia, ya que los equipos mecánicos se comportan diferente dependiendo por ejemplo de la altura, temperatura y humedad de operación.

Para el contexto de operación determinado se considerarán las siguientes suposiciones:

Operación y funcionamiento dentro de la región metropolitana, lo que implica una altura de trabajo de no más de 600 msnm.

Operación y funcionamiento a lo largo de todo el año, lo que implica que la temperatura ambiental estará entre los 0 y 35° [C].

La rotación de la cuba será de 15-30 [rpm].

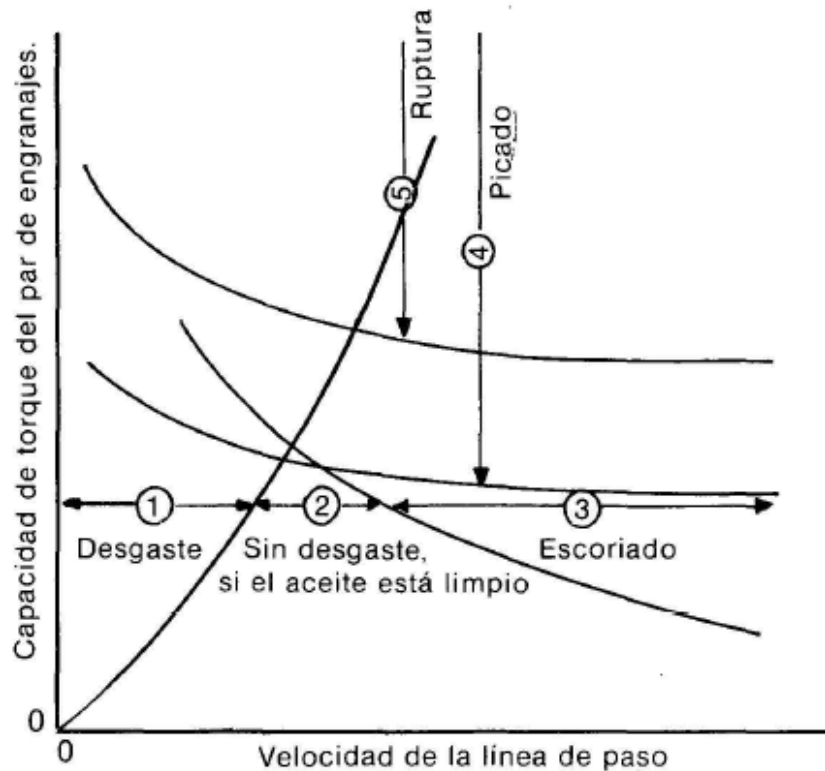
Se comenzará con el análisis del equipo del cual se desconocía por completo su funcionamiento, el sistema de transmisión de torque, el cual está conformado por un reductor planetario, que consiste básicamente en 5 engranes, el sol, los tres planetas y una corona.

En la investigación se buscó información respecto a los tipos de falla que podían presentar los reductores planetarios, pero solamente se mencionaban la fisuras y el pitting (picaduras), así que para profundizar más las posibles fallas que se pueden presentar en los engranajes, fue que se también se investigó desde el punto de vista de un tren de engranajes y se asumió que las mismas fallas que se presentan en un tren de engranajes se pueden presentar y se presentan dentro de un reductor planetario, ya que vienen siendo equipos mecánicos similares, en ambos se busca transmitir torque. [19].

Sistema:	Sistema de Transmisión de torque	
Función	Falla Funcional	Modos de falla
Transferir torque desde sistema hidráulico hacia la tolva giratoria con 200 [Nm] a temperatura no mayor a 70°C	Reductor no transmite los 200 [Nm] de torque hacia tolva	Rotura de dientes al interior del planetario obstruye el giro de estos
		No hay torque de ingreso, falla en motor hidráulico
		Ingreso de partículas que obstruyan el giro de los engranes
		Desgaste excesivo
	Reductor transmite una parte del torque o no transmite con la eficiencia que corresponde	Desgaste excesivo de dientes
		Bajo torque de entrada
		Lubricante no permite el giro correcto de engranajes
	Reductor opera con ruidos anormales. Sobre 60[dB]	Desgaste de asentamiento
		Deformación plástica de dientes
		Partículas dentro del componente
		Dientes fracturados
		Elementos mal ajustados
	Reductor opera con Temperatura anormales Sobre 70°C	Lubricante inadecuado
		Lubricante con película muy fina
		Lubricante con película demasiado gruesa
		Lubricante con vida útil cumplida
Reductor opera con vibraciones fuera de rango, sobre 10[m/s]	Reductor mal ensamblado	
	Engranajes sueltos	
	Pernos de sujeción sueltos	

Tabla N°1 Análisis de modos de falla del reductor planetario, sistema de transmisión. [42]

[43]



- Descripción: Región 1.— Carencia de película de aceite debido a baja velocidad
 2.— Buena película de aceite
 3.— Demasiado calor generado
 4.— Aquí, ocurrirá picado con el tiempo.
 5.— Ocurrirá ruptura del diente con el tiempo.

Imagen N°25 gráfico del punto óptimo de operación para un tipo de lubricante, relación torque/velocidad.

[24]

Como se puede ver en la imagen anterior se presenta un gráfico, generalizado, donde se muestra la relación entre las cargas a las cuales se puede someter un tren de engranajes, en este caso, el reductor planetario, y a la velocidad a la cual se puede operar. Lo ideal es operar el dentro del área 2 para así evitar los 4 tipos de fallas que se pueden presentar durante el mayor tiempo posible.

Cabe destacar que este grafico se debe realizar para cada reductor, de manera experimental, considerando el tipo de material con el cual se ha fabricado cada engranaje, sus tratamientos térmicos, sus acabados superficiales, sus geometrías y el tipo de lubricante utilizado.

El siguiente equipo para analizar será la bomba y motor hidráulicos, la principal diferencia entre estos equipos es que la bomba requiere de un determinado torque de entrada y entrega caudal y el motor requiere un determinado caudal de entrada y entrega torque, estos equipos

están presentes tanto en el sistema de limpieza, en el cual se requiere de una bomba y en sistema hidráulico de la tolva giratoria, en el cual se presentan ambos equipos.

En la siguiente tabla se presentará la bomba del sistema de limpieza, en este caso el caudal entregado es de agua, ya que lo que se busca es la limpieza del interior de la tolva. Esta se encuentra a una altura no mayor a los 3 metros con respecto al tanque.

Sistema:	Sistema de Bombeo de Agua a Tolva		
Función	Falla Funcional	Modos de falla	
Llevar agua desde el tanque de almacenamiento a la parte superior de la tolva a 5 [l/min] a una altura de 2[m].	Bomba no da caudal o solo parte de él.	Acoplamiento mal anclado	
		Sentido de giro invertido	
		Nivel de aceite muy bajo	
		Filtro aspiración obturado	
		Burbujas de aire en circuito	
		Mala calidad de aceite	
		Aceite demasiado frio	
		Entrada de aire por tubo de aspiración	
		Eje bomba roto	
	Bomba hace ruido. Sobre 60 [dB]	Cavitación	Entrada de aire por tubo de aspiración
			Sistema de entrada de aire del depósito obturada
			Bomba sometida a esfuerzos
			Nivel de aceite muy bajo
			Cuerpos extraños en zona de aspiración
			Mala calidad de aceite
			Alta velocidad de giro
	Bomba se calienta excesivamente, Temperatura sobre 70°C]	Mala calidad de aceite	Alta velocidad de aceite en el circuito
			Refrigerador insuficiente
			Refrigerador obstruido
			Poca diferencia entre presión máxima y de trabajo
			Filtro obturado o pequeño
Velocidad de giro demasiado alta			

Tabla N°2 Análisis de modos de falla de Bomba hidráulica, sistema de limpieza. [21] [43]

En la siguiente tabla se presentará la bomba del sistema hidráulico, en este caso el principio de funcionamiento y fallas son idénticas, la diferencia radica en la diferencia de presiones a las cuales operan, siendo la hidráulica la que opera a mayor presión.

Sistema:	Sistema de Bombeo de Aceite a Motor Hidráulico		
Función	Falla Funcional	Modos de falla	
Llevar aceite desde el tanque de almacenamiento a la entrada del motor hidráulico a 20[l/min] a una altura de 1[m].	Bomba no da caudal o solo parte de él.	Acoplamiento mal anclado	
		Sentido de giro invertido	
		Nivel de aceite muy bajo	
		Filtro aspiración obturado	
		Burbujas de aire en circuito	
		Mala calidad de aceite	
		Aceite demasiado frio	
		Entrada de aire por tubo de aspiración	
		Eje bomba roto	
	Bomba hace ruido Sobre 60[dB]	Cavitación	Entrada de aire por tubo de aspiración
			Sistema de entrada de aire del depósito obturada
			Bomba sometida a esfuerzos
			Nivel de aceite muy bajo
			Cuerpos extraños en zona de aspiración
			Mala calidad de aceite
			Alta velocidad de giro
	Bomba se calienta excesivamente. Temperatura sobre 70°C]	Mala calidad de aceite	Alta velocidad de aceite en el circuito
			Refrigerador insuficiente
			Refrigerador obstruido
			Poca diferencia entre presión máxima y de trabajo
			Filtro obturado o pequeño
Velocidad de giro demasiado alta			

Tabla N°3 Análisis de modos de falla de Bomba hidráulica, sistema hidráulico. [43]

Sistema:	Sistema Hidráulico, Motor Hidráulico	
Función	Falla Funcional	Modos de falla
Entregar el torque necesario a la tolva para generar las revoluciones por minuto deseadas. Torque de 200 [Nm]. Revoluciones de 12-14[rpm] de la tolva.	Motor no entrega torque o solo parte de él.	Acoplamiento mal anclado
		Sentido de giro invertido
		Nivel de aceite muy bajo
		Filtro aspiración obturado
		Burbujas de aire en circuito
		Mala calidad de aceite
		Aceite demasiado frio
		Entrada de aire por tubo de aspiración
		Eje bomba roto
	Motor hace ruido. Sobre 80[dB].	Cavitación
		Entrada de aire por tubo de aspiración
		Sistema de entrada de aire del depósito obturada
		Bomba sometida a esfuerzos
		Nivel de aceite muy bajo
		Cuerpos extraños en zona de aspiración
		Mala calidad de aceite
	Motor se calienta excesivamente. Temperatura sobre 70°C.	Alta velocidad de giro
		Mala calidad de aceite
		Alta velocidad de aceite en el circuito
		Refrigerador insuficiente
		Refrigerador obstruido
Poca diferencia entre presión máxima y de trabajo		
Filtro obturado o pequeño		
Velocidad de giro demasiado alta		

Tabla N°4 Análisis de modos de falla de motor hidráulico, sistema hidráulico. [43]

A continuación, se presenta un subsistema que está presente en gran parte de la hormigonera, ya que forma parte de otros subsistemas, conectándolos entre ellos.

El sistema de presurización se encuentra presente, de diferentes maneras y con diferentes materiales, tanto entre el sistema de limpieza y la tolva, siendo por él por donde se desplaza el agua, así como en el sistema hidráulico, entre la bomba y el motor hidráulico, por donde se desplaza el aceite y por último entre el tanque de aditamentos y la tolva.

Estos subsistemas de presurización cumplen las mismas funciones, pero son contruidos y diseñados con diferentes materiales debido a las diferentes condiciones de trabajo que poseen, diferentes fluidos y presiones.

Sistema:	Sistema de presurización	
Función	Falla Funcional	Modos de falla
Mantener la presión en los sistemas que transportan material (Agua, aditamentos, aceite) Presión de 10 [psi] para agua y aditamentos y 120-150 [psi] para aceite.	Fuga Parcial	Sellos gastados o en mal estado
		Mangueras gastadas o en mal estado
	Fuga Competa	Sellos rotos
		Mangueras rotas
	Variaciones en la presión	Sensor de llenado del tanque en mal estado
		válvulas en mal estado
		Medidores de presión en mal estado

Tabla N°5 Análisis de modos de falla del sistema de presurización. [44]

En la tabla siguiente, se presenta los posibles modos de falla de los tanques de aditamentos, esta tabla aplica de igual manera para los tanques tanto de agua como de aceite.

Sistema:	Tanque de aditamentos	
Función	Falla Funcional	Modos de falla
Almacenar el agua, aceite y los aditamentos respectivamente. Almacena 1 [m ³] de agua, 1 [m ³] de aditamentos y 100 [l] de aceite.	Fuga parcial	Fisuras producto golpes de proyectiles
		Desgaste interno por abrasión
	Abolladuras	Proyectiles colisionados durante las rutas
		Golpes accidentales en obras
	Estancamiento del material	Mal diseño del tanque
		Mala ubicación de la salida de material
		Mala instalación de tanque en el camión
	Mala apariencia	Desgaste de la pintura

Tabla N°6 Análisis de modos de falla del tanque de aditamentos. [45]

Finalmente se presenta los posibles modos de falla que se pueden llegar a presentar en el sistema de carga y descarga, incluida la canaleta.

Sistema:	Sistema de Carga y Descarga de hormigón	
Función	Falla Funcional	Modos de falla
Guiar la carga y descarga de hormigón. Canaleta debe encontrarse estática y permitir flujo de 20 [l/min] de descarga.	Canaleta no se mantiene sujeta durante recorrido	Seguros en mal estado
		Operador asegura incorrectamente o no asegura
		Mal diseño de los seguros de la canaleta
	Rotura de seguros	Golpes en obras
		Seguros de mala calidad
	Proyección de partículas	Chute de carga mal diseñado, demasiado pequeño
Carga de hormigón de manera incorrecta		

Tabla N°7 Análisis de modos de falla del sistema de carga y descarga de hormigón. [22]

8. Análisis de confiabilidad de equipo crítico

Al momento de realizar un análisis de confiabilidad del reductor se enfrentó con la enorme dificultad de la carencia de datos reales para realizar dicho análisis. Como es sabido un análisis de confiabilidad se debe realizar para cada equipo, en su contexto operacional y con sus datos de fallas histórico, de esos datos históricos se debe de obtener la confiabilidad, por medio del MTBF y el tiempo de operación que se quiera destinar; y la mantenibilidad del equipo, a través del MTTR.

Con estos datos habría sido sencillo realizar un análisis de confiabilidad para distintos tiempos de operación y decidirse por el tiempo más conveniente, aquel que entregue un mayor tiempo de operación al menor costo posible.

Como se mostró en el objetivo anterior, en relación con el reductor, a raíz del roce entre las piezas es por lo que se comienzan a originar las fallas en los engranajes, comenzando con el roce inicial entre piezas, conocido como asentamiento, que si se ejecuta de manera correcta permite un correcto acople de todo el mecanismo, seguido de diferentes tipos de desgaste, cada uno más agresivo que el anterior, llegando a la fatiga e incluso a la fractura total de uno o más dientes.

Es precisamente en el desgaste donde se comienzan a originar las fallas, en este tipo de equipos mecánicos en donde resulta prácticamente imposible realizar un chequeo del interior del equipo sin tener que desmontarlo, descuidar el efecto y las consecuencias del desgaste de las piezas es un grave error ya que puede resultar en la pérdida total del reductor.

Las consecuencias de pasar por alto el desgaste de las piezas se traduce la reducción del tamaño de los dientes, con lo cual serán mucho más susceptibles a la fatiga y a la rotura directa por cargas aplicadas sobre el equipo, las cuales pueden ser las cargas aplicadas normalmente y no necesariamente sobrecargas. El peor de los escenarios es la rotura de uno o más dientes.

Sistema		Reductor planetario
Causas	Efectos	Consecuencias
Fatiga, Carga o Sobrecarga	Rotura de diente	Detención del reductor
		Alza de presión en el sistema hidráulico
		Se corta eje del reductor, del motor o el acople
		Revienta el sistema hidráulico por alza de presión
		Personal de trabajo o peatones heridos de gravedad

Tabla N°8 Consecuencias de la rotura de un o más dientes.

En la tabla N°8, las consecuencias de la rotura del diente fueron dispuestas desde la que genera menores costos hasta la que genera mayores costos. En cada una de las consecuencias será necesaria, al menos, la adquisición de un nuevo reductor, realizar el desmontaje y montaje de los respectivos reductores, lo cual se traduce en:

- Un nuevo reductor.
- Tiempo que el camión está fuera de operación.
 - Tiempo que tarda en llegar el reductor nuevo.
 - Tiempo que tarde la instalación del nuevo reductor.
 - Tiempo necesario para realizar pruebas, ajustes y un correcto asentamiento del nuevo equipo.
- Mano de obra especializada en la instalación de este tipo de equipos.
- Arriendo de maquinaria que ayude en la instalación.

Los costos totales mínimos se estiman en \$2.500.000 pesos, \$1.500.000 pesos asociados a la adquisición de un nuevo reductor, \$500.000 pesos asociados a mano de obra y maquinaria y \$500.000 pesos asociados a pérdidas de oportunidad. [23]

Como se mencionó anteriormente, si se llega a fracturar un diente, estos vendrían siendo los costos mínimos necesarios para poder tener el camión nuevamente en su funcionamiento óptimo, en caso de que las consecuencias comenzaran a escalar lo costos también aumentarían, esto debido a que habría que reemplazar una mayor cantidad de equipos e incluso compensar económicamente por los daños físicos causados a los operadores o terceros, pudiendo llegar estos incluso al fallecimiento de alguno de estos, siendo este último escenario, si bien bastante improbable, el más catastrófico para la empresa.

Es por lo anteriormente dicho y en vista de la falta de datos relacionados con la confiabilidad o el comportamiento de las fallas de los reductores, independiente de los contextos operacionales, es que se procedió desde el punto de vista de los lubricantes utilizados en estos equipos, siendo la viscosidad el factor más relevante. Se procedió de esta forma ya que lo que se busca es disminuir al mínimo cualquier tipo de falla en el reductor, extendiendo así su vida útil al máximo, enfocando los recursos en eliminar al mínimo el desgaste en el equipo. Para poder cumplir con este objetivo se debe de conocer la confiabilidad de los lubricantes utilizados, el comportamiento de estos y hasta qué punto estos cumplen con los requisitos necesarios para desarrollar sus funciones primordiales dentro del reductor.

Para desarrollar este punto se utilizará como referencia un aceite lubricante 15W-40, del cual se dispone de un estudio de confiabilidad en el cual se analizó 25 camiones mixer, por un período de 4 meses y 160 muestras tomadas, en dicho estudio se buscó demostrar que se puede extender el periodo de utilización del aceite lubricante de 250 horas de funcionamiento, periodo otorgado por el fabricante, a 600 horas sin presentar fallas en su funcionamiento, manteniendo una confiabilidad por sobre el 80% durante ese periodo de su

viscosidad, siendo esta la más relevante para nosotros, ya que es a través de esta que las cargas entre los dientes se distribuyen de manera homogénea. [24]

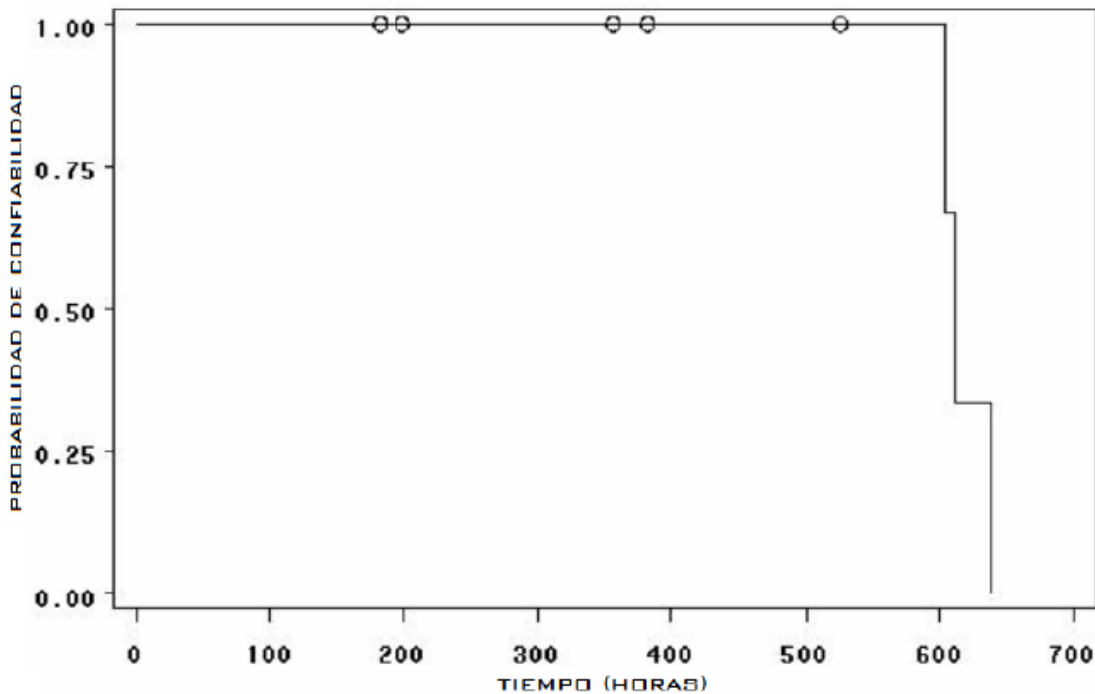


Tabla N°26 extracto del estudio de confiabilidad de lubricante 15W-40. [24]

En la tabla se puede apreciar que las propiedades del lubricante cumplen sus funciones hasta pasado las 600 horas de operación. Este es solo uno de los gráficos presentados en el estudio, pero sus conclusiones indican que se puede operar ese nivel de horas.

Es relevante destacar que, en dicho estudio, si bien también se realizó en camiones hormigoneras utilizadas con el mismo propósito de trasladar hormigón, el estudio se focalizó en los motores de estos camiones, por ende, el aceite lubricante utilizado es un lubricante únicamente para motores Diesel, por otro lado en este caso de estudio se trabaja con el equipo que transmite el torque a la tolva, los reductores planetarios, estos deben utilizar lubricantes especiales para maquinaria pesada, la principal diferencia es que el lubricante para motores debe disminuir al máximo la fricción entre las piezas, pero en maquinaria pesada el lubricante debe además tener propiedades que le permitan soportar elevadas cargas de trabajo, ya que al transmitir torque se generan esfuerzos mucho mayores. Es por esta razón por la que el estudio citado será utilizado únicamente como referencia, para tener una noción de cuánto tiempo puede operar el equipo sin la necesidad de realizar cambio de aceite de manera tan periódica, ahorrando dinero en ello, y sin perder su confiabilidad.

En el estudio citado, se utilizó el aceite correcto para el equipo correcto, así que se asumirá que la empresa en cuestión utilizará el lubricante apropiado para el tipo de equipo, pero que se desconoce la confiabilidad de este tipo de lubricante, por ende, se utilizarán las 600 horas de operación del estudio anterior pero en este caso se aplicará un factor de seguridad de 2, reduciendo el tiempo de operación a 300 horas de operación ininterrumpidas, lo que se traduce en 2 meses de trabajo, considerando turnos de 5 días a la semana y 8 horas trabajadas diarias. Durante este periodo de tiempo la confiabilidad del lubricante y por tanto del reductor se considerará del 100%, lo cual beneficiará enormemente a la confiabilidad del equipo completo.

La justificación para haber tomado esta decisión se debe a dos razones, por un lado, los datos utilizados, si bien son de un buen lubricante y un buen estudio, estos están enfocados en lubricante de motores, los cuales difieren de los reductores por las cargas que pueden soportar, por otro lado, la empresa, al encontrarse en un proceso de expansión ya se encuentra con problemas, inconvenientes e inconsistencias en otras áreas de la empresa. Al ser los camiones sus activos principales, lo que se buscará es que, en primera instancia, mientras la empresa crece y se desarrolla hasta el punto en que desee, puedan despreocuparse de los camiones o bien, ver en ellos algo constante de lo cual ocuparse de manera sencilla y estructurada, y poder realizar planes de mantenimiento que permitan que los equipos estén siempre operativos, sin ningún tipo de percance que afecte el crecimiento de la empresa. Si bien, al optar por esta opción los gastos relacionados al consumo de lubricantes subirán, se prefiere tomar dicha opción, ya que no se está dispuesto a asumir los riesgos de que falle el reductor y las consecuencias económicas, ambientales y sociales que podrían llegar a tener, mucho menos cuando se está en un proceso de expansión, debido a que afectaría otras áreas de la empresa y podría entorpecer e incluso impedir que se lleve a cabo el proceso de expansión.

9. Propuesta de Estrategia de Mantenimiento

Al ser los camiones mixer u hormigonera, el activo principal de la empresa y, como los ingresos de esta depende directamente del óptimo funcionamiento de los camiones es que se debe tener especial atención en los reductores de estos equipos. Como se mencionó previamente, resulta imposible chequear el interior de los reductores para verificar el desgaste de estos sin la necesidad de desmontarlos, llevar a cabo esta acción resulta demasiado contraproducente, ya que requiere de mucho tiempo, mano de obra y maquinaria especializada para el desmontaje y montaje de este.

Por otro lado, se cuenta con el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual es un factor que ayuda a tomar decisiones en cuanto a estrategias de mantenimiento. este parámetro es función de la evaluación cualitativa de 3 criterios: severidad, detectabilidad y ocurrencia, en este caso el sistema cuenta con un valor de 36, el cual clasifica como rojo, dentro de un criterio de semaforización de 3 colores, rojo, verde y amarillo, siendo rojo el más crítico. [37]

Por estos motivos es que, en primera instancia, mientras la empresa se estabiliza en sus planes de expansión, se tomarán medidas altamente preventivas para el manejo del reductor y se dejará un plan para cuando la empresa quiera gestionar de manera más eficiente sus camiones.

- Estrategia preventiva:
 - Primer cambio de aceite (para equipos nuevos) luego de transcurrido el primer mes, por asentamiento.
 - Cambio de aceite cada 2 meses, independiente del estado del aceite. Se agruparan los 25 camiones en 5 grupos de 5 para que se pueda abordar un camión cada día de la semana y así no intervenir en las entregas diarias de hormigón.

Grupos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	X				
2		X			
3			X		
4				X	
5					X

Tabla N°9 periodos de cambio de aceite y limpieza de rodamientos de los grupos camiones.

- Rutina de inspección operacional diaria para el operador:
 - Antes de salir de la empresa, realizar un chequeo del nivel de aceite, posibles fugas de aceite, tuercas o pernos sueltos en reductor.

- Repetir el procedimiento al llegar a su primer destino del turno, junto con un chequeo manual de temperatura del equipo (debe ser un operador que conozca su equipo y pueda reconocer cuando se encuentra a su temperatura de trabajo y cuando se encuentra a una temperatura elevada).
- Comprobar, al momento de realizar la descarga, la presencia de ruidos o vibraciones anormales en el equipo.
- Al momento de llegar a la empresa, después de su último despacho, realizar mismo procedimiento de chequeo de fugas y pernos.
 - Realizar limpieza a los rodamientos cada 2 meses junto con el cambio de aceite, para mantenerlos limpios y evitar posibles fallas.
 - Al momento de realizar cambio de aceite, realizar un apriete preventivo del reductor con el motor hidráulico y con la tolva giratoria.

Como se mencionó este plan se aplicará hasta que la empresa logre su objetivo de expansión y se pueda estabilizar en ese punto, debido a eso se incurrirá en gastos mayores de lubricantes, ya que estos se cambiarán mucho antes de cumplir su vida útil.

Por otro lado, una vez estabilizada la empresa se procederá a utilizar al máximo la vida útil del lubricante, el mantenimiento siempre se realizará desde el punto de vista del lubricante, para mantener los reductores en óptimas condiciones y poder aprovecharlos al máximo.

Se planteará un mantenimiento a condición con pequeños monitoreos incorporados que permitirán reconocer el inicio de la falla en los lubricantes o cualquier tipo de vibración anormal en los reductores.

- Estrategia a condición:

Para esta etapa de la evolución de la empresa se procederá con un plan de mantenimiento enfocado en monitorear las condiciones en las cuales se encuentra tanto el lubricante como el reductor.

Para esta estrategia se requerirá de equipos especiales para la medición de diversos indicadores, los cuales serán la medición de vibraciones y temperatura en el reductor, y de viscosidad del aceite, para lo cual se utilizarán acelerómetro, termómetro infrarrojo y viscosímetro respectivamente. Los equipos a utilizar no se instalarán en los vehículos, estos serán equipos móviles que portaran los trabajadores del equipo de mantenimiento y los trasladaran de vehículo en vehículo realizando las mediciones.

Para llevar a cabo esta estrategia, la empresa deberá definir dos estándares operacionales, esto quiere decir, definir límites superiores e inferiores, un margen operativo, que la empresa

considerará aceptable para operar, esto puede ser en base a decisiones internas o en base a lo que indica el fabricante del reductor y del aceite respectivamente.

Ahora bien, se realizarán inspecciones de mantenimiento en las cuales se realizarán las mediciones de vibraciones, temperatura y viscosidad con la misma frecuencia utilizada en la estrategia preventiva, cada dos meses, respetando los grupos fijados anteriormente, generando un historial por equipo, lo cual permitirá tomar mejores decisiones a futuro.

Grupos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	X				
2		X			
3			X		
4				X	
5					X

Tabla N°10 programación de inspecciones de mantenimiento.

Las inspecciones se realizarán con la misma frecuencia que el plan anterior, cada 2 meses, las mediciones de temperatura deben realizarse con el vehículo a una temperatura de operación, por lo cual se deben programar para cuando el camión regrese de un despacho y este cargando hormigón para el siguiente.

Ante cualquier anomalía en aceite o temperatura que exceda los límites preestablecidos se procederá a realizar una medición más al aceite para cerciorarse de que la muestra no se vio afectada por factores externos y corroborar el estado de ese lubricante, si no excede los límites se continuará con la operación de ese equipo y en caso de que exceda los límites se procederá con el cambio de este, lo cual será programado para la semana siguiente, para no afectar los despachos de hormigón programados para esa semana.

El objetivo es extender lo mayor posible la vida útil de los lubricantes sin comprometer los equipos, pero como la confiabilidad de estos viene dada por una función de probabilidad, también existe la posibilidad de que los lubricantes fallen antes de lo previsto, y en este caso se procede también al cambio de aceite para evitar el desgaste de las piezas mecánicas. De esta forma, se monitoreará constantemente el lubricante, para extender al máximo su vida útil y no comprometer las piezas mecánicas al desgaste desmedido.

De igual manera se procederá con el reductor, por medio del monitoreo de vibraciones y temperatura en caso de que el equipo se encuentre desalineado, con piezas flojas, desgaste acelerado o se haya sometido a sobrecargas externas de algún tipo. En caso de que alguna de las variables presente alguna alteración se procederá con un reapriete del reductor hacia la cuba y el motor y se realizará una nueva medición. Si la medición es buena, se continuará

operando, pero sí vuelve a salir alterada se procederá a la planificación de cambio del reductor.

Inspección de lubricante	Realizar medición	Cumple con estándar	No Cumple estándar
	Cumple	Continua operando	
	No Cumple	Realizar nueva medición	Cumple: continua operando No cumple: se programa cambio de lubricante
Inspección de vibraciones	Realizar medición	Cumple con estándar	No Cumple estándar
	Cumple	Continua operando	
	No Cumple	Realizar re apriete de pernos	
		Realizar nueva medición	Cumple: continua operando No cumple: se programa cambio de reductor

Tabla N°11 instructivo para llevar a cabo las inspecciones en equipos.

Al momento de realizar el mantenimiento al equipo, hay que tener presente ciertos factores logísticos asociados a los repuestos, como:

Nivel de stock de reductores en bodega, ya que si se presentan altas vibraciones en el reductor se deberá proceder a cambiarlo

Tiempo que tarda el proveedor en traer un nuevo reductor, importante considerar ya que, en caso de fallar y no contar con stock suficiente, equipo puede quedar fuera de servicio.

Finalmente, por medio de las mediciones realizadas se generará un historial de las mismas, lo que facilitará la toma de decisiones a futuro en caso de una nueva expansión.

Con estas medidas se espera reducir las pérdidas por averías, las inactividades por paradas menores y perdidas por velocidades reducidas del reductor, atacado 3 de las 6 grandes pérdidas que indica el TPM

10. Análisis de Costos de implementación de Estrategia de Mantenimiento

Los gastos asociados al plan preventivo corresponderán principalmente al gasto de mano de obra (la cual podría llegar a no considerarse, ya que la empresa tiene personal de mantenimiento fijo, y para las tareas consideradas no se requiere mayor destrezas ni conocimientos avanzados, debido a que solo consiste en cambio de aceite del reductor). Por otro lado, el segundo gasto fijo importante corresponde al aceite utilizado cada 2 meses por los 25 camiones.

	Recurso	Costo [\$]
	Aceite	\$80.000
Total		\$80.000

Tabla N°12 costos asociados a estrategia preventiva. [33]

Considerar que estos gastos deben corresponder al grupo completo de los camiones, es decir, se debe multiplicar todo por 25.

Con respecto a la estrategia a condición, estos deben considerar un gasto inicial (capex) debido a la adquisición de los instrumentos de medición, los cuales serán el viscosímetro, acelerómetro y el termómetro infrarrojo.

Equipos	Costo [\$]
Viscosímetro	\$400.000
Termómetro infrarrojo	\$60.000
Acelerómetro	\$200.000
Total	\$660.000

Tabla N°13 costos asociados a equipos de medición para estrategia a condición.
[25][26][27]

Por otro lado, se tienen costos fijos asociados a las mediciones de las variables consideradas, los cuales corresponden a la mano de obra, nuevamente estos costos pueden o no ser considerados, ya que la empresa tiene personal fijo contratado con lo cual estas podrían considerarse dentro de sus tareas diarias.

Con respecto a la mano de obra, no será necesario estimar un costo, ya que esta existente en igual medida en ambas estrategias, por lo tanto para fines comparativos no presentaría una ventaja para ninguna.

Finalmente, en esta estrategia se presentaran costos variables, los cuales corresponden al cambio de aceite, filtro y mano de obra asociada a la tarea específica de cambio de aceite, estos son considerados variables, debido a que en esta estrategia se miden las condiciones en

las cuales se encuentran el aceite y el reductor, y si las condiciones del aceite están por fuera de los límites aceptados por la empresa, se procede al cambio de aceite, pero si se encuentra dentro de los límites aceptados se dejarán en funcionamiento hasta la próxima medición. Sin embargo, para efectos prácticos y comparativos entre estrategias, se asumió que se cambiaría el aceite cada 6 meses, con lo cual cada 6 meses se realizará el gasto de \$80.000 pesos por camión.

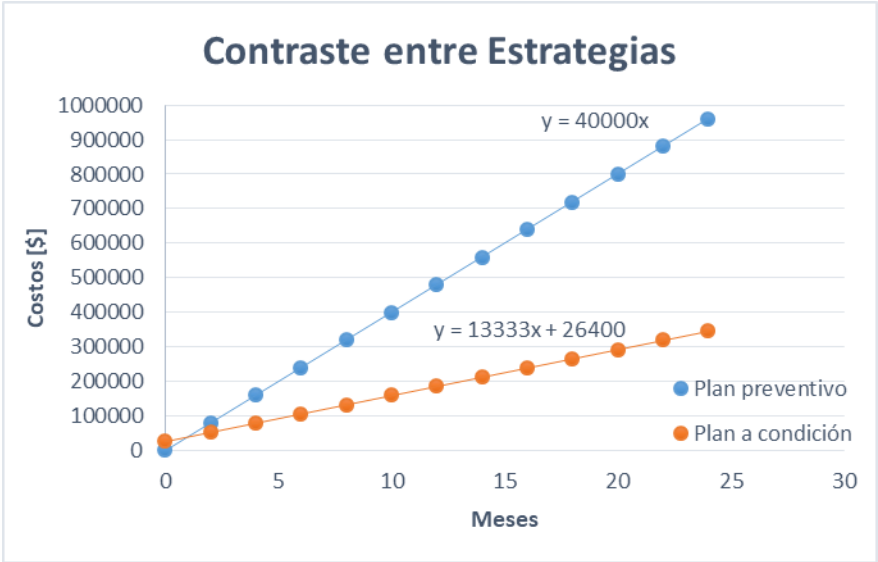


Imagen N°27 gráfico de costos de las estrategias preventivas y a condición, azul y naranja respectivamente. [25][26][27][33]

En este gráfico se presenta la comparación de ambas estrategias y sus costos respectivos asociados. Para ambas estrategias se consideró que los costos de cambio de aceite tendrían un valor de \$80.000 pesos, con la diferencia de que en la estrategia preventiva se suman cada 2 meses y en la estrategia a condición se considerará una frecuencia de 6 meses, esto será únicamente para fines comparativos.

En la estrategia a condición se considera un valor inicial de \$26.400 pesos, lo cual corresponde a la inversión inicial de \$660.000 pesos dividida entre los 25 camiones, ya que los mismos equipos serán utilizados en todos ellos, además de una suma de \$13.333 pesos mensuales que corresponde a \$80.000 pesos cada 6 meses.

En la estrategia preventiva se considera la suma de \$40.000 pesos mensuales, lo que equivale a \$80.000 cada 2 meses.

11. Conclusiones

Producto de los análisis y de las investigaciones realizadas se puede percatar que es muy difícil separar categóricamente los tipos de mantenimiento y las estrategias de mantenimiento antes mencionadas en el marco teórico, ya que todas apuntan al mismo objetivo, el cual consiste básicamente en aumentar el tiempo entre fallas, disminuir paradas no programadas, disminuir los tiempos que toma reparar cada equipo, evitar accidentes, no incurrir en gastos innecesarios, lograr aumentar el EBITDA sin perjudicar el HSEC.

De ahí se desprende que para desarrollar una correcta estrategia de mantenimiento para cualquier empresa no es necesario elegir ciegamente una sola de las estrategias presentadas anteriormente (RCM, RBM-RBI, TPM), ya que cada estrategia dependerá del contexto bajo el cual se estén aplicando, por ende estas estrategias no son excluyentes y es perfectamente factible y recomendable seleccionar lo que sea más útil de cada una de estas 3 estrategias principales para poder desarrollar una estrategia propia, acorde al contexto bajo el cual se encuentre la empresa.

Al momento de realizar el levantamiento de los equipos se presentó una escases de datos específicos de cada sistema, que habrían permitido realizar el levantamiento de cada componente presente en estos sistemas de una mejor manera, con ello se podrían haber identificado una mayor cantidad de componentes y haber hecho un levantamiento completo, debido a las dificultades para obtener información es que el levantamiento no se pudo realizar de mejor manera posible.

Por otro lado, el análisis de modo de falla se realizó de manera individual, lo ideal sería poder formar un equipo multidisciplinario con experiencia en los equipos que pueda aportar con sus diversos puntos de vista a la identificación de modos de falla y las causas de estos, ya que al realizarlo de manera individual es fácil pasar por alto modos de falla, causas u omitir efectos que podrían ser relevantes.

Para el trabajo se realizó un análisis de criticidad de elementos del equipo, para lo cual solamente se pudo realizar la parte cualitativa del análisis, es decir señalar los efectos que podrían presentarse en caso de que se manifestara la falla, pero no se disponía de los datos históricos que reflejaran la frecuencia con la cual se presentan ni el tiempo que estas duran, lo cual es sumamente relevante para poder construir la matriz de riesgo que se presenta en la imagen N°6, con los datos de frecuencia y la matriz correctamente construida es probable que las decisiones tomadas en cuanto a priorización y criticidad cambiaran.

Además se analizó la confiabilidad de los equipos más críticos, para conocer cuantas horas pueden operar y la probabilidad de que puedan operar hasta dichas horas, para lo cual solamente se pudo obtener información de un solo elemento, ya que la empresa no disponía de información y de manera particular solamente se pudo obtener información del lubricante.

Esta información es sumamente relevante tanto para el análisis como para la toma de decisiones y la falta de ella implica que es posible que los análisis no se hayan realizado del todo correctos y no se estén tomando las mejores medidas respecto al manejo de los activos.

Ahora bien, para la estrategia diseñada se tomó en cuenta la criticidad de los componentes y los efectos de las fallas, además de la situación de expansión por la cual está pasando la empresa, lo cual genera incertidumbres en otras áreas. Es por estas razones por las que se tomó la decisión de diseñar e implementar dos estrategias, ambas con un carácter preventivo, debido a la relevancia que toman estos activos dentro del modelo de negocios de la empresa, en primera instancia se sugiere cambio de aceite mucho antes de que este cumpla su vida útil con la finalidad de asegurar la confiabilidad del equipo, la finalidad de la estrategia es evitar que los camiones sean una preocupación. En segunda instancia, se medirán las condiciones en las que se encuentren variables claves del lubricante y reductor para cambiarlos cuando la situación realmente lo amerite.

Desde el punto de vista de los costos que conllevan cada plan, el plan preventivo que se presenta tiene costos mucho mayores que el plan a condición, tanto así que a partir del segundo mes, aproximadamente, es más rentable usar el plan a condición debido a que se buscará maximizar el uso del lubricante.

Finalmente, se recomienda utilizar la estrategia de cambio de aceite preventiva hasta que la empresa se logre estabilizar, luego una vez alcanzada esa meta proceder con la estrategia a condición, ya que a largo plazo será la más eficiente, se utilizarán al máximo cada uno de los activos y serán reparados cuando estos los necesiten.

12. Recomendaciones

En este trabajo de título se le dio enfoque netamente al sistema de hormigonera de los camiones y por sobre eso, al sistema de transmisión de torque hacia la cuba, el cual consistía en un reductor planetario.

El análisis que se le realizó al reductor fue de un carácter cualitativo, debido a que no estaba dentro de los alcances de esta memoria realizar un análisis netamente cuantitativo, con tasas de falla de los equipos, tiempos medios entre fallas o tiempos medios para reparar, por ende aquí surge una oportunidad de realizar un trabajo con análisis mucho más pulcro y exacto, colaborando con empresas que se dediquen al transporte de hormigón y puedan facilitar ese tipo de datos.

Por otro lado, al haberle dado enfoque netamente al reductor se dejaron de lado otros componentes importantes para el funcionamiento de la hormigonera, como el sistema de lubricación, que incluye bomba y motor hidráulicos, los cuales también se presentan como oportunidad para realizar un nuevo análisis y propuestas de planes de mantenimiento, tomando en cuenta el contexto de funcionamiento en el cual operan estos camiones.

13.Referencias

- [1] A. J. Pistarelli, “Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización,” vol. 1a Edición, p. 59, 2010.
- [2] A. J. Pistarelli, “Manual de Mantenimiento: Ingeniería, gestión y Organización,” vol. 1a Edición, p. 364, 2010.
- [3] “La Norma SAE JA 1011.” <http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011> (accessed Mar. 25, 2020).
- [4] “Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) – PDM TECH.” <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/> (accessed Mar. 25, 2020).
- [5] E. Ene, U. Gu, M. Centrado, and E. M. Centrado, “PRÁCTICAS NORMA SAEJA1011,” pp. 1–62, 2002.
- [6] J. Moubray, “Rcm II Traducido a español,” p. 446, 2004.
- [7] “Mantenimiento Basado en el Riesgo.” <https://www.skf.com/co/services/asset-management-services/asset-efficiency-optimisation/strategize/maintenance-strategy-review/risk-based-maintenance/index.html> (accessed Mar. 24, 2020).
- [8] “API.” <https://www.api.org/> (accessed Mar. 24, 2020).
- [9] N. Especiales, “Inspección Basada en Riesgo Análisis de Riesgo Cualitativo,” pp. 1–60.
- [10] “BS EN 16991: marco de inspección basado en el riesgo 2018 - Normas europeas.” https://www.en-standard.eu/bs-en-16991-2018-risk-based-inspection-framework/?gclid=CjwKCAjw3-bzBRBhEiwAgnnLCmBcwUIXcdo_dBXi6QrXVNPZ6ymLD4imqjSe3_F7RfZ1bLe yZCCehRoC3XgQAvD_BwE (accessed Mar. 24, 2020).
- [11] “BS EN 16991 : 2018 BSI Standards Publication Risk-based inspection framework,” no. August, 2018.
- [12] BS ISO 31000:2018, “BSI Standards Publication Risk management — Guidelines,” *Risk Manag.*, 2018.
- [13] “http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf.” http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf (accessed Mar. 21, 2020).
- [14] E. López, “El mantenimiento productivo total tpm y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación,” *Univ. Javeriana*, pp. 1–136, 2009.
- [15] “<https://waldocc.files.wordpress.com/2017/12/ciclo-deming.pdf>.”

<https://waldocc.files.wordpress.com/2017/12/ciclo-deming.pdf> (accessed Mar. 21, 2020).

- [16] BSI ISO/IEC, “International Standard ISO 55000 - Asset management — Overview, principles and terminology,” *Time*, no. March, 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2007.4288250.
- [17] P. Uso and E. Del, “INTERNATIONAL STANDARD Asset management — Management systems — Requirements,” vol. 2014, 2014.
- [18] “BS ISO 55002 : 2018 BSI Standards Publication Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001,” 2018.
- [19] M. De, L. A. Comisión, V. M. Naranjo, and H. Loyola Maureira, “Nicolás Patricio Gutiérrez Muñoz Profesor Guía: Eduardo Salamanca Henríquez,” 2017, [Online]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150690/Analisis-de-vibraciones-de-un-reductor-de-velocidad-planetario-a-traves-de-modelos-analiticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [20] J. Eduardo and P. Santos, “Caracterización de síntomas vibratorios producidos por fallas en transmisiones planetarias Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con,” 2016.
- [21] L. Mancilla, “Bombas Oleohidráulicas.”
- [22] A. Técnico, “NTP 93: Camión hormigonera.”
- [23] “Referencia Precio Reductor Planetario.” https://es.clvehicles.com/hydraulic-planetary-gearbox-reducer-for-concrete-mixers-and-trucks_p119.html.
- [24] R. J. Apaza Coata, “Evaluacion De La Confiabilidad Con El Fin De Extender La Vida Util Del Lubricante En Los Motores De Mixer Durante Su Periodo De Funcionamiento.,” *Univ. Nac. San Agustin Arequipa*, p. 114, 2017, [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10883%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4057%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8014%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6899>.
- [25] “Referencia Precio Termómetro Infrarrojo.” https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/396468X/termometro-infrarojo-pantalla-color/396468X/?kid=bnext293326&shop=googleShopping&gclid=CjwKCAjw4KyJBhAbEiwAaAQbEx1a8poaEXG9m1viVI2OuQZh5THQ35wSoipgP5W0dCUsvjVOJgXHphoCgLkQAvD_BwE.
- [26] “Referencia Precio Viscosímetro,” [Online]. Available: https://www.veto.cl/sensor-0-viscosimetro-de-pedestal-10803002/p?idsku=616&gclid=CjwKCAjw4KyJBhAbEiwAaAQbE5gRO-T6ekulzKPYd-Lh_H0qE6KTpqgUT13_J-I051Ydj8Z9h49QORoC2I8QAvD_BwE.

- [27] “Referencia Precio Acelerometro,” [Online]. Available: https://www.pce-instruments.com/chile/instrumento-medida/medidor/aceler_metro-kat_161993.htm
- [28] BS EN ISO 14224 : 2016 “BSI Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos”, 2016.
- [29] “<https://www.piranirisk.com/es/blog/asi-puedes-hacer-una-matriz-de-riesgos-para-tu-empresa>”, <https://www.piranirisk.com/es/blog/asi-puedes-hacer-una-matriz-de-riesgos-para-tu-empresa>, (accessed Dic. 21, 2021).
- [30] “<https://www.sistemasoe.com/calcular-oe/>”, <https://www.sistemasoe.com/calcular-oe/> (accessed Dic. 21, 2021)
- [31] “<https://www.mcneiluscompanies.com/concrete-mixers/>”, <https://www.mcneiluscompanies.com/concrete-mixers/>, (accessed Dic. 21, 2021)
- [32] (5 de junio 2021). Ensamble y componentes de camión hormigonera [Archivo de Video]. Youtube. <https://youtu.be/chQdvPIHIYQ/>
- [33] “https://www.copeval.cl/aceite-para-engranajes-mobil-mobilube-hd-plus-cubeta-19-1-5849.html?gclid=CjwKCAiA5t-OBhByEiwAhR-hm20NIDbwdxxekRXFDZv0OWSJj1iw0JoVDQy-IPgTisliV_qqb_FCohoCbt8QAvD_BwE”, https://www.copeval.cl/aceite-para-engranajes-mobil-mobilube-hd-plus-cubeta-19-1-5849.html?gclid=CjwKCAiA5t-OBhByEiwAhR-hm20NIDbwdxxekRXFDZv0OWSJj1iw0JoVDQy-IPgTisliV_qqb_FCohoCbt8QAvD_BwE , (accessed Dic. 21, 2021)
- [34] “<https://alianzaflotillera.com/componentes-en-un-equipo-pesado-2/>”, <https://alianzaflotillera.com/componentes-en-un-equipo-pesado-2/>, (accessed Nov. 21, 2021)
- [35] “<https://gestortruck.com/quien-invento-el-camion-hormigonera/>”, <https://gestortruck.com/quien-invento-el-camion-hormigonera/>, (accessed Nov. 21, 2021)
- [36] Dinamic Oil. (20 de mayo 2021). Reparación de reductor planetario de hormigonera [Archivo de Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=kqjY2phTa0>
- [37] “<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>”, <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>, (accessed Ene. 06, 2022)
- [38] “<https://es.sogears.com/Blog/fabricantes-de-motores-hidr%C3%A1ulicos-de-alto-par-y-baja-velocidad#:~:text=E1%20motor%20hidr%C3%A1ulico%20cicloidal%20es,dise%C3%B1o%20especial%20del%20rotor%20fijo.>”, <https://es.sogears.com/Blog/fabricantes-de-motores-hidr%C3%A1ulicos-de-alto-par-y-baja-velocidad#:~:text=E1%20motor%20hidr%C3%A1ulico%20cicloidal%20es,dise%C3%B1o%20especial%20del%20rotor%20fijo.>”,

[45] “chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.achs.cl%2Fportal%2Ftrabajadores%2FCapacitacion%2FCentrodeFichas%2FDocuments_pdf%2Fcontrol-y-prevencion-de-riesgos-en-productos-de-cemento-y-hormigon.pdf&clen=900791”, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.achs.cl%2Fportal%2Ftrabajadores%2FCapacitacion%2FCentrodeFichas%2FDocuments_pdf%2Fcontrol-y-prevencion-de-riesgos-en-productos-de-cemento-y-hormigon.pdf&clen=900791, (accessed Ene. 06, 2022)