

**DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL DE LOS SUBSISTEMAS DE LA
EXCAVADORA KATO HD820R CON BASE EN LA METODOLOGÍA RCM**

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL DE LOS SUBSISTEMAS DE LA EXCAVADORA KATO HD820R CON BASE EN LA METODOLOGÍA RCM.

Estudiante: Sebastián Velásquez Peláez Cédula: 98763125
Teléfono(s): 3122983496 Id: 000021573
E-mail: sebastianvelp@gmail.com Programa: Ingeniería Mecánica

Director de trabajo de Grado: Beatriz Galeano
Teléfono(s): 3004049181 Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana
E-mail: Beatriz.galeano@upb.edu.co

Codirector de trabajo de Grado: Juan Fernando Gaviria
Teléfono(s): 3117210228
E-mail: juanfergaviriaq@hotmail.com

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
OCTUBRE DE 2013
MEDELLÍN**

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
GLOSARIO	4
INTRODUCCIÓN	6
1. CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA RCM2	9
2. CAPÍTULO 2: CONTEXTO OPERACIONAL Y LISTADO DE FUNCIONES	18
2.1 EXCAVADORAS HIDRÁULICAS	19
2.2 EXCAVADORAS EN COLOMBIA	21
2.3 KATO WOKS JP.	21
2.4 SISTEMA DE POTENCIA	23
2.5 SISTEMA HIDRAULICO	25
2.6 SISTEMA MOTRIZ.....	28
2.7 SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO	29
2.8 SISTEMA ESTRUCTURAL	32
2.9 LISTA DE FUNCIONES DE CADA SISTEMA	35
3. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS	38
4. CAPÍTULO 4: DECISIÓN LÓGICA RCM	39
5. CAPÍTULO 5: PLAN DE MANTENIMIENTO (AGRUPACIÓN DE TAREAS)	41
CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	49

GLOSARIO

Consecuencias de la falla: La forma o formas en la cual tiene importancia un modo de falla o una falla múltiple.

Consecuencias no operacionales: Un modo de falla tiene consecuencias no operacionales cuando no afecta directamente la operación, ya sea en costos, calidad, entre otros; pero necesita ser reparado.

Consecuencias operacionales: Un modo de falla o una falla múltiple tiene consecuencias operacionales si puede afectar de manera adversa la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al cliente, capacidad militar, costos operativos además de los costos de reparación).

Consecuencias sobre el medio ambiente: Un modo de falla o una falla múltiple tiene consecuencias sobre el medio ambiente si pudieran quebrantar cualquier estándar o regulación medioambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, que se aplique al equipo o sistema en consideración.

Consecuencias sobre la seguridad: Un modo de falla o una falla múltiple que tiene consecuencias sobre la seguridad si puede dañar o matar a una persona.

Contexto operacional: Conjunto de circunstancias en las que se espera que opere un activo físico o sistema.

Efecto de la falla: Es lo que sucede cuando ocurre un modo de falla.

Falla evidente: Es un modo de falla que será evidente por sí mismo para los operarios en circunstancias normales.

Falla funcional: Estado en el cual el activo físico o sistema es incapaz de cumplir, a un nivel de funcionamiento que sea aceptable para su propietario o usuario, con una función específica.

Falla oculta: Un modo de falla que no será evidente por sí mismo para los operarios en circunstancias normales.

Falla potencial: Una condición identificable que indica que una falla funcional está en vías de ocurrir o en proceso de ocurrir.

Función primaria: La función que constituye la razón principal por la que su propietario o usuario adquirió un equipo o sistema.

Función secundaria: Funciones que debe cumplir un equipo o sistema además de sus funciones primarias, como aquellas que se necesitan para cumplir con los requerimientos regulatorios y aquellos que se relacionan con los temas de protección, control, contención, comodidad, apariencia, integridad estructural y economía.

Intervalo P-F: El intervalo que va desde el punto en que una falla potencial se vuelve detectable y el punto en que se degrada hasta ser una falla funcional (“periodo de desarrollo de la falla”)

Merecer la pena: Una tarea programada merece la pena si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla asociado a un punto que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea.

Modo de falla: Un evento singular que causa una falla funcional

Política de manejo de fallas: Término genérico que abarca las tareas a condición, el reacondicionamiento programado, la sustitución cíclica, la búsqueda de fallas, el mantenimiento correctivo y el rediseño.

Reacondicionamiento programado: Una tarea que restaura la capacidad inicial de un elemento o componente a una edad determinada (o antes de la misma) sin importar el estado en el que se encuentre en ese momento.

Sustitución cíclica: Una tarea que implica descartar un elemento o componente a una edad determinada (o antes de la misma) sin importar el estado en el que se encuentre en ese momento.

Tarea de búsqueda de falla: Una tarea programada que busca determinar si ha ocurrido una falla oculta específica (controla si el elemento ha fallado).

Tarea a condición: Una tarea programada usada para determinar si ha ocurrido una falla potencial (controla si el elemento está fallando o vías de fallar)

Técnicamente factible: Una tarea es técnicamente factible si es físicamente posible para la tarea reducir, o permitir tomar una acción que reduzca, las consecuencias del modo de falla asociado al punto que el propietario o usuario del activo pueda aceptar.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente a la gran variedad de activos físicos que deben ser mantenidos hoy en día, además de la complejidad de los diseños actuales y los nuevos métodos y responsabilidades del mantenimiento.

La seguridad, el medio ambiente, la calidad del producto, la presión para alcanzar la disponibilidad en la planta y mantener al mínimo el costo, hacen parte también de las nuevas expectativas del mantenimiento. Debido a estas nuevas expectativas, el personal de mantenimiento se ha visto obligado a adoptar nuevas maneras de pensar no solo como ingenieros sino como gerentes.

A partir de esto, los gerentes de las empresas de hoy en día buscan nuevos acercamientos al mantenimiento, buscan además una estructura estratégica que sintetice los desarrollos en un método coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía.

Una metodología que provee dicha estructura es el llamado “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” (RCM, por sus siglas en inglés): si éste es aplicado correctamente puede transformar las relaciones entre los activos físicos existentes y las personas que los operan. A su vez permite que nuevos activos sean puestos en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) viene como una respuesta a la evolución del mantenimiento de tres generaciones, que se explica a continuación:

La primera generación se puede establecer hasta finales de la primera guerra mundial, en donde la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de las máquinas no era relevante para los gerentes, esto significa que la prevención de fallas no era una prioridad. A su vez los equipos eran simples y sobredimensionados, lo que los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había la necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de las limpiezas, servicios y lubricaciones.

La segunda generación ocurre a partir de la segunda guerra mundial, ya que ésta cambió drásticamente la industria. La presión por los tiempos de guerra aceleró la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo disminuyó el número de trabajadores en las plantas debido a la mecanización de la industria.

Debido a que la industria comenzaba a depender en gran parte de las máquinas, se comenzó a enfocar la atención en el tiempo de parada de los equipos. De ahí sale la idea que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, lo que llevó al “mantenimiento preventivo”. Lo que en los años sesenta consistía en reparaciones mayores en intervalos regulares prefijados.

A razón de esto los costos del mantenimiento comenzaron a incrementarse rápidamente con relación a los costos de operación. Esto llevó al desarrollo de sistemas de planeación y control del mantenimiento; que ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control. Además llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de los equipos.

A partir de los años setenta el proceso de cambio de la industria ha adquirido aún más impulso. Con nuevas expectativas, técnicas e investigaciones. Actualmente la mecanización y automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores claves y nuevas expectativas en la industria. Una mayor automatización también significa mantener los parámetros de calidad en un nivel satisfactorio y exigente.

Más y más fallas acarrear serias consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, al tiempo que elevan los requisitos en estas áreas; en ciertas partes del mundo se volvieron normas que la industria debe acatar más allá del costo. Es por esto que la seguridad y el medio ambiente se volvieron expectativas muy importantes para el mantenimiento de los equipos.

Por último, otra expectativa que cambió, es el costo de mantenimiento, que aún está aumentando, tanto en términos absolutos como en proporción del gasto total. En algunas industrias representa el segundo ítem más alto. En consecuencia, en tan solo treinta años ha pasado de ser un costo casi sin importancia a estar en la más alta prioridad.

Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas referidas a la edad y a las fallas. En particular parece cada vez haber menos relación entre la edad y la probabilidad de que estos fallen. La industria en general presta mucha atención para hacer que las tareas de mantenimiento sean estrictamente correctas.

En los últimos veinte años ha habido un crecimiento de nuevas técnicas de mantenimiento; y uno de los grandes desafíos que tiene el personal de mantenimiento es no solo aprender que son estas técnicas sino decidir cuales valen la pena y cuáles no para sus propias organizaciones.

La primera industria que enfrentó estos desafíos fue la industria de la aviación comercial. El elemento crucial que provocó esta reacción, fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. El darse cuenta de esto dio lugar al desarrollo de procesos de tomas de decisión que se conocieron dentro de la industria aeronáutica con el nombre de MSNG3 y para las demás industrias como mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM.

En casi todos los campos, RCM se está volviendo fundamental para la custodia responsable de los equipos. No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los equipos, especialmente en situaciones peligrosas.

El creciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega el RCM en la formulación de las estrategias de administración de activos físicos y la importancia de aplicar RCM correctamente condujo a la *American Society of Automotive Engineers* SAE a publicar la norma SAE JA1011: “Criterio de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”.

Por todas estas razones se elaboraron las estrategias de mantenimiento (plan de mantenimiento) de la excavadora KATO REGZAM HD820R mediante la metodología RCM.

Teniendo en la actualidad del mercado colombiano existe una gran cantidad de ofertantes de maquinaria y equipos para la construcción, los cuales ofrecen productos de similares características técnicas y operacionales. Siendo muchas veces el precio, el factor determinante para tomar una decisión de compra por parte del cliente potencial; por lo tanto, si los distribuidores de estos equipos pueden tener elementos que contrapesen a marcar una diferencia significativa durante la venta, esto puede ser una ventaja determinante que ayude a cerrar una negociación, un plan de mantenimiento bien desarrollado, que le dé al usuario final ventajas como, disponibilidad, disminución de costos de operación, control de costos de mantenimiento y contextualizar mejor el funcionamiento de su equipo, es una herramienta que puede marcar la diferencia en la venta de una excavadora.

1. CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA RCM2

Cualquier activo físico debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado desde el punto de vista de la ingeniería. Se pueden encontrar diferentes definiciones de la palabra mantener como: “causar que continúe”, “conservar su estado existente”(Merriam-Webster, 2014), o “conservar cada cosa en su ser”(Española, 2014). Lo que da a entender que mantenimiento significa preservar algo.

Cuando nos disponemos a mantener algo, ¿Qué es lo que deseamos mantener?, ¿Cuál es el estado existente que deseamos mantener? La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en marcha porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla la función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, lo que se debe mantener es aquel estado en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga. Los requerimientos de los usuarios van a depender de donde y como se utilice el equipo o sistema (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento centrado en confiabilidad: Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier equipo o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.(Moubray, 1997)

Este contexto se inserta por completo en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de las funciones primarias y secundarias y las expectativas de funcionamiento. El contexto también afecta la naturaleza de los modos de falla que puedan ocurrir, sus efectos y consecuencias, la frecuencia con la que puedan ocurrir y qué debe hacerse para manejarlas. Así que cuando se comienza a aplicar RCM a cualquier equipo o sistema se debe asegurar antes el claro entendimiento del contexto operacional. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados en el contexto operacional de un equipo o sistema son: Procesos en lotes y continuos, redundancia, estándares de calidad, estándares medio ambientales, riesgos a la seguridad, turnos de trabajo, productos en proceso, tiempo de reparación, repuestos, demanda del mercado, abastecimiento de materia prima, entre otros.(Moubray, 1997)

Teniendo el contexto operacional, se continúa realizando las siguientes siete preguntas acerca del sistema en análisis:

- ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al equipo en su contexto operacional actual? (Funciones)
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? (Fallas funcionales)
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (Modos de falla)
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (Efectos de falla)
- ¿En qué sentido es importante cada falla? (Consecuencias de falla)
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla? (Tareas de mantenimiento periódico)
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Estrategias alternativas)

1.1 FUNCIONES:

Luego de describir el contexto operacional del equipo o sistema, la primer pregunta como se observa arriba es definir las funciones y parámetros de funcionamiento; se debe determinar qué es lo que los usuarios quieren que hagan los equipos y además asegurar que es capaz de realizar aquello que quieren que haga.

Las funciones se pueden dividir en dos categorías: primarias y secundarias:

- Las primarias son la razón por la cual se adquirió el equipo o sistema, por lo general, estas funciones cubren temas como velocidad, producción, capacidad de almacenamiento o carga, calidad y/o servicio al cliente.
- Las secundarias son las demás expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, comodidad, integridad estructural, economía, protección, cumplimiento de regulaciones ambientales y la apariencia.

De acuerdo a la metodología RCM, las funciones se pueden definir con un verbo seguido de un objeto y por último el estándar de funcionamiento deseado por el usuario, *por ejemplo: bombear agua del tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.*(Moubray, 1997)

En el momento de definir las funciones se debe tener en cuenta que para que un sistema o equipo sea mantenido, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial. Además de esto, se debe saber cuál es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar dentro del contexto operacional en el que va ser usado.

Esto hace importante el definir e identificar precisamente las funciones y parámetros de funcionamientos cuando se comienza a realizar un programa de mantenimiento. Por esta razón es importante saber que los parámetros de funcionamiento pueden tener diferentes variaciones: múltiples, cuantitativos, cualitativos, absolutos y variables.(Moubray, 1997)

1.2 FALLAS FUNCIONALES:

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y las expectativas de funcionamiento asociadas al equipo y/o sistemas. El único hecho que puede hacer que un activo no se desempeñe conforme a estas funciones requeridas es alguna clase de falla. Una falla se puede definir como "la incapacidad de cualquier equipo y/o sistema de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga".(Moubray, 1997). Ahora, una falla funcional, es un estado de falla cuando el equipo y/o sistema no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Las fallas funcionales pueden ser totales o parciales, para el ejemplo anterior, una falla funcional total sería "No bombear agua del tanque X al tanque Y", mientras que la falla parcial sería "Bombear menos de 800 litros por minuto".(Moubray, 1997).

Se deben identificar todas las fallas funcionales para cada una de las funciones y parámetros de funcionamiento identificados anteriormente.

1.3 MODOS DE FALLA:

Una vez identificadas todas las fallas funcionales, el próximo paso o pregunta es determinar todos los hechos que de manera razonable puedan haber causado cada estado de falla o falla funcional. Estos hechos o causas se denominan como modos de fallas. Un modo de falla es definido como cualquier evento que pueda causar la falla funcional de un equipo o sistema; la descripción de un modo de falla de acuerdo a la metodología debe consistir de un sustantivo y un verbo, por ejemplo, “*rodamientos desgastados*”. La descripción de cada modo de falla debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de fallas apropiada.

Una de las razones del por qué analizar los modos de falla de un equipo, sistema o planta es que para el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes que ocurran, o al menos decidir cómo deberán ser manejados dichos eventos si llegaran a ocurrir. Por esto se debe saber por adelantado que eventos o “modos de falla” pueden ocurrir.

La identificación de estos modos de falla es uno de los pasos más importantes de esta metodología. Para esto se tienen que considerar dos temas muy importantes: las categorías y el nivel de detalle de los modos de falla.

1.3.1 CATEGORIAS DE MODOS DE FALLA:

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo de los estándares de funcionamiento deseado: Cubre las situaciones en las que en un primer momento el funcionamiento es adecuado, pero luego decae cuando el equipo o sistema es puesto en servicio quedando por debajo de los estándares de funcionamiento. Las principales causas son: deterioro o desgaste, fallas de lubricación, suciedad, desarme o movimiento, errores humanos que reducen la capacidad.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial: Esto hace que el equipo o sistema falle de una de estas formas: el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder a él o el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el equipo se torna poco confiable. Las cuatro razones por las cuales puede ocurrir esto son: sobrecarga deliberada constante, sobrecarga no intencional constante, sobrecarga no intencional repentina o procesamiento o material incorrecto.
- Cuando desde el comienzo el equipo o sistema no es capaz de realizar lo que se quiere: Ocurre en situaciones en las que el funcionamiento deseado esta por fuera del rango de la capacidad inicial.

1.3.2 NIVEL DE DETALLE:

Los modos de falla deben ser definidos con el detalle suficiente como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de falla o estrategia de mantenimiento.

Cuando se realiza un análisis de modos de fallas y efectos (AMFE), puede hacerse difícil encontrar un nivel de detalle adecuado. No obstante es muy importante encontrarlo, ya que el nivel de detalle afecta profundamente la validez del AMFE y el tiempo invertido en la realización de este. Si se hace con poco detalle y/o pocos modos de falla pueden llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario, demasiados modos de falla o demasiado detalle pueden causar que el proceso RCM lleve más tiempo del necesario. (Moubray, 1997)

Los modos de falla de cualquier falla funcional pueden ser definidos casi a cualquier nivel de detalle, y pueden aplicarse diferentes niveles a distintas situaciones. A veces es suficiente con resumir las causas de falla en una expresión como “falla la máquina”. En otros casos, es necesario considerar que está sucediendo “dentro de la máquina”. En la siguiente tabla se pueden observar ejemplos de modos de falla y sus diferentes niveles de detalle.

Tabla 01. Modos de falla y niveles de detalles.(Moubray, 1997)

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Falla el grupo de bombas	Falla bomba	Falla impulsor	Impulsor toma juego	Impulsor desgastado	Tuerca corroída
				Tuerca del impulsor rajada	Material de la tuerca incorrecto
			Objeto daña el impulsor	Objeto dejado luego de un mantenimiento	Tuerca sobre-ajustada
				Objeto entra al sistema	Material de la tuerca incorrecto
		Fallan los sellos	Desgaste y deterioro	Sello desgastado	Error de montaje
			Sello desalineado	Error de montaje	Filtro no instalado
			Suciedad en las caras	Error de montaje	Filtro perforado

El término “causa raíz” es comúnmente utilizado en conexión con el análisis de la falla. Implica que si uno ahonda lo suficiente es posible llegar a un nivel de causa final y absoluto. De hecho, por lo general esto no ocurre. Es claro que este proceso de seguir descendiendo podría continuar ilimitadamente, mucho más allá del punto en que la organización que realiza el AMFE tiene control sobre los modos de falla. Por esta razón, se enfatiza que el nivel a que debería ser identificado un modo de falla es aquel en el cual es posible identificar una estrategia apropiada para el manejo de fallas.(Moubray, 1997)

El hecho de que el nivel apropiado varía para los distintos modos de falla muestra que en la hoja de información no se deben listar todos los modos de falla al mismo nivel. Algunos pueden ser

identificados en el nivel 2, otros en el nivel 6 y el resto en algún nivel intermedio. Es evidente que para poder detenerse en el nivel apropiado, la gente que participa en el análisis necesita conocer la totalidad de las opciones de políticas o estrategias de manejo de fallas.

También al listar los modos de falla se debe tener en cuenta, que diferentes modos de falla ocurren con diferente frecuencia. Algunos pueden ocurrir con regularidad, a intervalos promedios de meses, semanas o hasta días. Otros pueden ser extremadamente improbables. Al realizar un AMFE, se debe decidir constantemente sobre qué modos de falla son tan poco probables que ocurran que pueden ser ignorados sin peligro. En otras palabras, solo se deben listar los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en ese contexto determinado. Una lista de modos de falla: "razonablemente probables" debería incluir lo siguiente: Modos de falla que han ocurrido antes, modos de falla que ya son objeto de rutinas de mantenimiento y cualquier modo de falla que no haya ocurrido pero que tiene posibilidades reales de ocurrir. En cualquier caso, la decisión de no listar un modo de falla debe ser evaluada con cuidado, teniendo en cuenta las consecuencias de la falla, si las consecuencias pueden ser severas, entonces los modos de falla que aún son menos probables deben registrarse y ser analizados.

1.4 EFECTOS DE LA FALLA:

El cuarto paso dentro del proceso RCM consiste en describir lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla. La descripción debe ser completa y debe incluir la información que el grupo de análisis necesita para poder evaluar las consecuencias de la falla de manera adecuada. Esta información debe incluir(Moubray, 1997):

- La evidencia de que se ha producido una falla, si la hubiera.
- En que formas la falla supone una amenaza para la seguridad y/o el medio ambiente, si las hubiera
- Las maneras en que afecta a la producción o las operaciones
- Daños secundarios causados por la falla
- Que debe hacerse para reparar la falla

1.5 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS:

Luego de describir que ocurre cuando sucede una falla, lo siguiente que se debe realizar es evaluar de qué manera importa dentro de la organización que ocurra dicha falla, a esto es lo que RCM define como consecuencia.

El proceso RCM clasifica las consecuencias en 4 grupos(Moubray, 1997):

- **Consecuencias de fallas ocultas:** son aquellas que no tienen impacto directo, pero causan fallas múltiples que pueden ser serias para la organización. Estas por lo general están asociadas a equipos y/o componentes de protección que tienen los equipos o sistemas.

- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** una falla tiene consecuencia para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Y tiene consecuencia para el medio ambiente si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional.
- **Consecuencias operacionales:** una falla tiene consecuencias operacionales, si afecta la producción (cantidad, calidad, servicios y/o costos operacionales)
- **Consecuencias no operacionales:** las fallas que cae en esta categoría solo implican el costo directo de la reparación.

1.6 TAREAS DE MANTENIMIENTO PROACTIVO:

Después de determinar las consecuencias de cada modo de falla, lo siguiente es preguntarse si hay alguna tarea proactiva que pueda hacerse para manejar adecuadamente la falla de acuerdo al tipo de consecuencia. La tarea debe ser técnicamente factible y debe merecer la pena realizarla.

Una tarea es técnicamente factible según RCM, si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo (Moubray, 1997)

El proceso RCM divide las tareas proactivas en tres categorías:(Moubray, 1997)

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico:** Consisten en tareas de reacondicionamiento de la capacidad del elemento o componente antes o en el límite de su edad, independiente de su condición. Por ejemplo: engrasar, limpiar, entre otras.
- **Tareas de sustitución cíclica:** Consisten en tareas de descarte o cambio del elemento o componentes antes, o en el límite de su edad, independiente de su condición en el momento.
- **Tareas a condición:** Consisten en tareas de chequeo y/o revisión de fallas potenciales para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional

Como se menciona arriba, las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica dependen directamente del límite de su edad definido. Para determinar este límite, utilizamos la palabra "vida útil" la cual define la edad en la que hay un rápido incremento de la probabilidad de falla. Normalmente se encuentran en condiciones de desgaste directo las cuales ocurren mayormente cuando los equipos entran en contacto directo con el producto. Además las fallas relacionadas con la edad también tienden a estar asociadas con la fatiga, corrosión, oxidación, evaporación, etc.

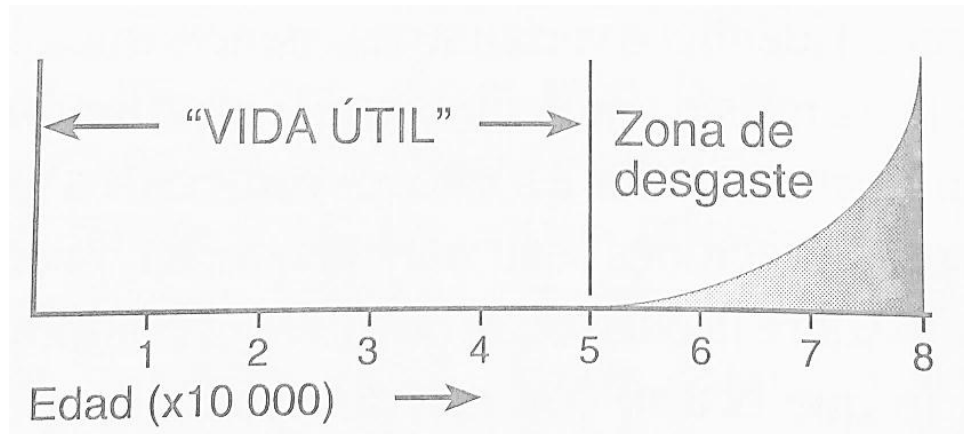


Figura 01. Probabilidad de falla y "vida útil"(Moubray, 1997)

La frecuencia con la que se debe realizar una tarea de reacondicionamiento o sustitución cíclica está determinada por la edad en la que el elemento o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad de falla, es decir antes de que se finalice la "vida útil". (Ver Figura 01.)

Ahora, las tareas a condición dependen de las advertencias o evidencias durante las fallas potenciales, las cuales ayudan a prevenir o predecir cuando el elemento o componente va a fallar. Las tareas a condición pueden ser de varios tipos: monitoreo, técnicas basadas en las variaciones de la calidad del producto y técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos.

La frecuencia con la que debe realizarse una tarea a condición depende del intervalo P-F, es decir, el intervalo entre el momento que se detecta una falla potencial o advertencia hasta que se convierte en una falla funcional. La tarea debe realizarse a intervalos menores al intervalo P-F. (Moubray, 1997)

El intervalo P-F va depender del tipo de tarea a condición que se desee realizar; si la tarea es simple, por ejemplo, una inspección basada en los sentidos humanos, el intervalo P-F va ser corto, mientras que si la tarea es un monitoreo basado en la condición el intervalo P-F va ser mayor.

Por último, una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos o indirectos de hacerla. (Moubray, 1997), es decir para los modos de falla que tengan consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad de falla a un nivel tolerablemente bajo. Para los modos de falla con consecuencias operacionales el costo de realizar la tarea a lo largo de un periodo de tiempo es menor que el costo de las consecuencias más la reparación. Para los modos de falla con consecuencias no operacionales el costo de la tarea debe ser menor que el costo de las consecuencias. Y para los modos de falla ocultos la tarea debe asegurar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable.

1.7 ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS:

Por último, si no se puede encontrar una tarea proactiva que sea técnicamente factible y merezca la pena ser realizada, la estrategia alternativa o “acción a falta de” que debe hacerse va depender directamente del tipo de consecuencia del modo de falla.

Para los modos de falla con consecuencias ocultas la estrategia alternativa es una tarea de búsqueda de falla; y si esta no sirve o no es apropiada, lo que sigue es el rediseño obligatorio del sistema o activo. Para los modos de falla con consecuencias de seguridad y medio ambiente la estrategia alternativa es el rediseño obligatorio. Y para los modos de falla con consecuencias operacionales y no operacionales la estrategia alternativa es no realizar ningún mantenimiento programado, ahora se puede sugerir realizar un rediseño en estos casos, pero debe estar justificado con respecto al costo y el beneficio.

RCM reconoce tres grandes categorías de estrategias alternativas o “acciones a falta de” (Moubray, 1997):

- **Tareas de búsqueda de fallas:** Consiste en realizar tareas que implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si éstas han fallado (a diferencia de las tareas a condición que implican revisar si algo está por fallar).
- **Rediseños:** Esta estrategia implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo pero también cubre cambios de una sola vez a los procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** Como su nombre lo indica, no se realiza ningún esfuerzo para tratar de anticipar o prevenir los modos de falla, se deja que la falla simplemente ocurra para luego repararla. También es conocida como mantenimiento a “rotura”.

El objetivo de las tareas de búsqueda de fallas es garantizar que un dispositivo de seguridad proveerá la protección requerida si fuese necesario. Es decir, no se está verificando si el dispositivo se ve bien, se está chequeando si todavía funciona como debe (Es por esto que las tareas de búsqueda de falla son conocidas como chequeos funcionales) (Moubray, 1997).

Se debe tener en cuenta que para las tareas de búsqueda de falla se tienen que cumplir las siguientes características: se debe chequear el sistema por completo, no se debe perturbar, debe ser físicamente posible chequear la función y la frecuencia debe ser práctica.

Según RCM, La frecuencia con la que se debe realizar una tarea de búsqueda de fallas depende de un cálculo entre dos variables: la disponibilidad deseada de la función de protección y la frecuencia con la que falla la función protectora.(Moubray, 1997). La fórmula se puede ver a continuación:

$$FFI = 2 * \text{indisponibilidad} * \text{frecuencia con la que falla la funcion protectora}$$

Luego de revisar y comprender la metodología RCM, el primer paso para comenzar a definir el plan de mantenimiento del equipo es realizar el contexto operacional.

2. CAPITULO 2: CONTEXTO OPERACIONAL Y LISTADO DE FUNCIONES

Como se menciona en el capítulo anterior, antes de empezar con las 7 preguntas del proceso RCM, primero se debe tener claro el contexto operacional del equipo o sistema.

El contexto operacional debe considerar algunos factores como: procesos por lotes y/o continuos, redundancia, estándares de calidad, estándares medio ambientales, riesgos para la seguridad, turnos de trabajo, productos en proceso, tiempos de reparación, manejo de repuestos, abastecimiento de materias primas, entre otras (Moubray, 1997). Mientras más información se describa en el contexto operacional mejor será el entendimiento de las personas encargadas del análisis RCM.

La definición en los niveles superiores de esta jerarquía es simplemente una definición amplia de funciones. Los estándares de desempeño en los niveles superiores cuantifican las expectativas desde el punto de vista del negocio. En los niveles más bajos, los estándares son más específicos hasta llegar al equipo o sistema que se va a analizar. Las funciones primarias y secundarias del equipo se definen de la manera mencionada en el capítulo anterior.

Para el rápido entendimiento del funcionamiento de la máquina, una parte fundamental del contexto operacional es desarrollar el diagrama de bloques y el diagrama de entradas y salidas del equipo (taxonomía), ya que esto, ayudará a identificar fácilmente las funciones primarias de los subsistemas y sus respectivas funciones secundarias. (Ver Anexo I y II)

Para este caso, el contexto operacional de la máquina excavadora es genérico, debido a que no hay condiciones definidas de operación, estándares ambientales, riesgos para la seguridad, turnos, entre otros. Porque el análisis se desarrolla desde un contexto comercial, que facilita la adecuación de la metodología a los diferentes ambientes en los cuales pueden operar este tipo de equipos como: minería a cielo abierto, obras civiles, agroindustria, entre otros.

La aplicación del análisis es válido en los entornos de operación mencionados en el párrafo anterior, la taxonomía, definición de funciones y modos de falla siguen asociados al funcionamiento del equipo; pero, en función del contexto pueden modificarse las frecuencias de ocurrencia de los modos de falla y por lo tanto la frecuencia de aplicación de las acciones, incluso en casos extremos pueden sufrir modificaciones las acciones planteadas y al realizar una revisión de los modos de falla se pueden generar nuevos, asociados a las condiciones de operación en el contexto real.

A continuación se pueden observar algunos ejemplos generales de máquinas excavadoras como la analizada con contextos operacionales que afectan y cambian el análisis RCM:

- Una máquina excavadora en una mina: Es una máquina que trabaja todo el día completo en turnos definidos, por lo general 3 turnos. Existe un ambiente muy agresivo debido al polvo, arena y por lo general, temperaturas elevadas. Los riesgos para la seguridad son muy altos debido a la operación y a los terrenos. El manejo de combustibles y lubricantes debe ser estricto para el eficiente funcionamiento del equipo. Además se debe evitar perder tiempo en la gestión de los repuestos, garantizando un stock de repuestos críticos.

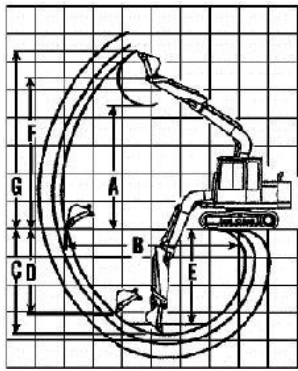
- Una máquina excavadora en la ciudad: Es una máquina que trabaja cuando la soliciten. Existe un ambiente más controlado en comparación con la anterior. Los riesgos para la seguridad son los mismos exceptuando los generados en el ambiente minero. El manejo de repuestos y de combustibles no debe ser tan estricto por que se tiene disponibilidad. Para una máquina excavadora en la ciudad puede cambiar la altura en donde se encuentre trabajando, no es lo mismo una máquina que trabaje por ejemplo en Bogotá, que una que trabaje en Cartagena. (aunque los cambios no son tan drásticos)

2.1 EXCAVADORAS HIDRÁULICAS

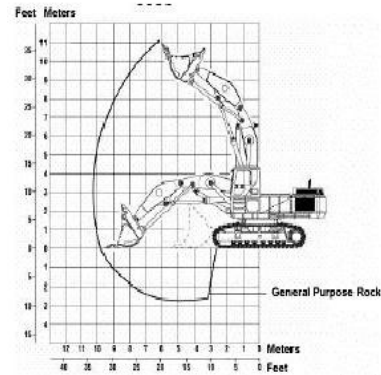
En la actualidad existen diferentes tipos de excavadoras las cuales pueden poseer muchas variaciones en su estructura o componentes, algunas de éstas pueden estar montadas sobre orugas, sobre ruedas o sobre barcasas, otra diferencia significativa es el diseño del brazo que básicamente puede tener dos variaciones brazo para cargar y brazo para excavar, también las excavadoras pueden disponer de distintos accesorios de operación, el tamaño es otra de las variables importantes que puede diferenciar un equipo de estos ya que en la actualidad se pueden encontrar excavadoras desde 0,8 hasta más de 100 toneladas (peso operativo). Con cada opción de tipo, modelo, accesorios y tamaños se tienen diferentes aplicaciones y por lo tanto, distintas ventajas a la hora de realizar un trabajo. La potencia hidráulica es el factor diferencial que ofrecen estas máquinas. El control hidráulico de los componentes de la máquina proporciona mayor rapidez en los tiempos de ciclo, mejor control de los accesorios, mejor eficiencia total, suavidad y facilidad de operación y un control positivo que permite una mayor precisión. (KATO WORKS CO., 2010)

La estructura básica de las excavadoras hidráulicas está compuesta por tres elementos: el mecanismo de desplazamiento (neumáticos, orugas o barcasas), la cabina y el brazo/cucharón.

Las excavadoras se clasifican de acuerdo al tipo del movimiento del brazo/cucharón. Y debido a esto depende la configuración del sistema hidráulico (Figura 02). Una unidad con un giro hacia adentro (Hacia la excavadora) se clasifica como un azadón, llamado también excavadora. Este equipo ejerce una fuerza de excavación hacia la máquina, levantando la carga de abajo hacia arriba. Una unidad con un movimiento hacia delante se conoce como una pala frontal o cargador. La pala frontal desarrolla la fuerza de carga moviendo la cuchara hacia adelante de la máquina. El giro hacia abajo dictamina un mejor uso del equipo para excavaciones por debajo del nivel de la máquina. El giro hacia delante de una pala frontal la hace más útil para las operaciones de carga.



a) Movimiento del azadón



b) Movimiento de la pala frontal

Figura 02. Movimientos de la excavadora

Las palas frontales, o cargadores como son más conocidos en Colombia, son máquinas ideales para la explotación en canteras de gran escala, donde se podrán encontrar estos equipos en su mayoría montados sobre orugas, los cargadores de llantas no realizan una función de explotación como tal, su tarea principal es la de cargue de unidades de transporte o alimentación de tolvas o plantas trituradoras, la habilidad para cargar hacia delante requiere que el material se encuentre apilado por encima del nivel de apoyo del equipo y en una sola operación, es capaz de cargar y descargar en el camión o la tolva. Por otro lado las excavadoras son ideales para la excavación de zanjas, taludes, dragar o limpiar las riveras de los ríos, por lo que la extensión de su brazo le da un muy buen alcance tanto hacia arriba, hacia adelante y por debajo del nivel donde se encuentre el equipo, esto le da una versatilidad mayor, más la posibilidad de girar 360°, para realizar trabajos en zonas confinadas y de difícil acceso y también estos equipos tienen un buen desempeño en el cargue de unidades de transporte.

Las excavadoras hidráulicas pueden combinar un rango de capacidades de cucharones para un mismo modelo. Pero para la selección o determinación de que rango de cucharones puede utilizar la excavadora se deben tener en cuenta dos aspectos, el primero es el tipo de brazo con el cual está configurada la máquina, debido a que este puede ser largo, estándar o corto, siendo lo más recomendado utilizar el cucharón grande para brazo corto e ir disminuyendo la capacidad de éste mientras la configuración del equipo cuente con un brazo más largo, teniendo claro qué tipo de brazo posee la configuración de la excavadora; el otro factor determinante para la selección de la capacidad del cucharón es la facilidad con que se puede manipular el material su densidad y en qué condiciones se encuentra éste. Si se tiene roca bien fragmentada o material que se pueda excavar fácilmente, los cucharones pequeños podrán manipular el material y no necesitarán ejercer mucha fuerza para excavar el material, si el material se encuentra suelto y es de baja densidad el cucharón puede ser grande ya que el equipo no se verá forzado para manipularlo. Existen además una variedad de cucharones para usos específicos que les da una versatilidad aún mayor, pero para determinar si la excavadora puede o no utilizar cierto tipo de cucharón o balde es necesario saber que tipo de material va a manipular debido a que la densidad de este es primordial saberla para no sobrepasar las capacidades operacionales del equipo.

2.2 EXCAVADORAS EN COLOMBIA

En Colombia las excavadoras tienen diversas aplicaciones y estos equipos pueden ser utilizados en la mayoría de los sectores de producción de nuestro país, como lo son los sectores productivos de:

- Construcción
- Obras civiles
- Minería
- Agricultura
- Ganadería

Siendo la minería de oro el sector con mayor demanda sobre estos equipos, debido a que la utilización de las excavadoras para la explotación de este mineral aumenta considerablemente la producción en este sector.

Por la gran diversidad de ecosistemas y las diferentes zonas que se encuentran en nuestro país, las condiciones en las cuales trabajan estos equipos son diversas.

Los materiales que pueden manipular estos equipos en nuestro entorno son diversos: Rocas, pantanos, arenas, arcillas, tierra, gravas entre otros.

Como las personas o las empresas que poseen las excavadoras trabajan en diferentes proyectos, un equipo de estos puede trabajar en un proyecto a nivel del mar y su próximo proyecto puede ser en un páramo, por lo tanto, los equipos deben aguantar este tipo de cambios climáticos ya que los componentes mecánicos pueden sufrir averías con estos cambios.

Por estos motivos y para asegurar siempre el correcto funcionamiento de las excavadoras es necesario tener un plan de mantenimiento confiable, también es necesario realizar inspecciones diarias, semanales y mensuales de los diferentes componentes del equipo para tratar al máximo de reducir los paros no programados por mantenimientos correctivos, que son los más perjudiciales tanto para el equipo como para el proceso de producción que este se esté utilizando.

2.3 KATO WORKS JP.

Es una empresa japonesa con más de 110 años de experiencia en la fabricación de máquinas para la construcción y equipos industriales tales como: camiones grúas, excavadoras hidráulicas y barredores.

La empresa está enfocada en el mejoramiento e innovación de sus productos para satisfacer las necesidades de sus clientes y mantener su filosofía: "Contribuir a la sociedad con productos excelentes"

KATO WORKS cuenta con un portafolio muy amplio en excavadoras con 11 referencias nuevas y más de treinta referencias viejas, ofreciendo también los respectivos repuestos y servicios que puedan requerir estos productos a nivel mundial. Dentro de su portafolio de excavadoras se encuentra la excavadora HD820R la cual es el equipo más vendido de esta marca en Colombia.

Tabla 02. Características técnicas de la excavadora hidráulica KATO REGZAM HD820R(KATO WORKS CO., 2010)

Capacidad de Cucharón	0,45-1,1 m ³
Potencia de motor	110kw/2050rpm ISO net – 147hp
Peso de Operación	19,5 toneladas

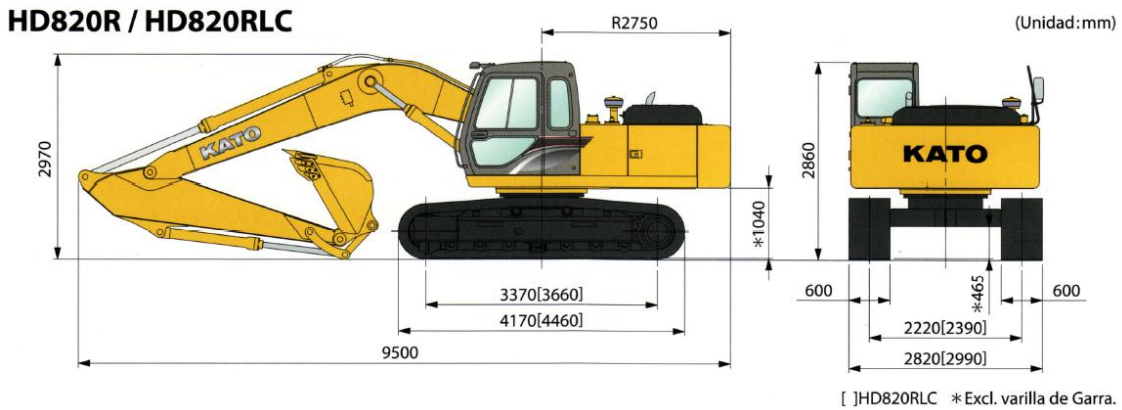
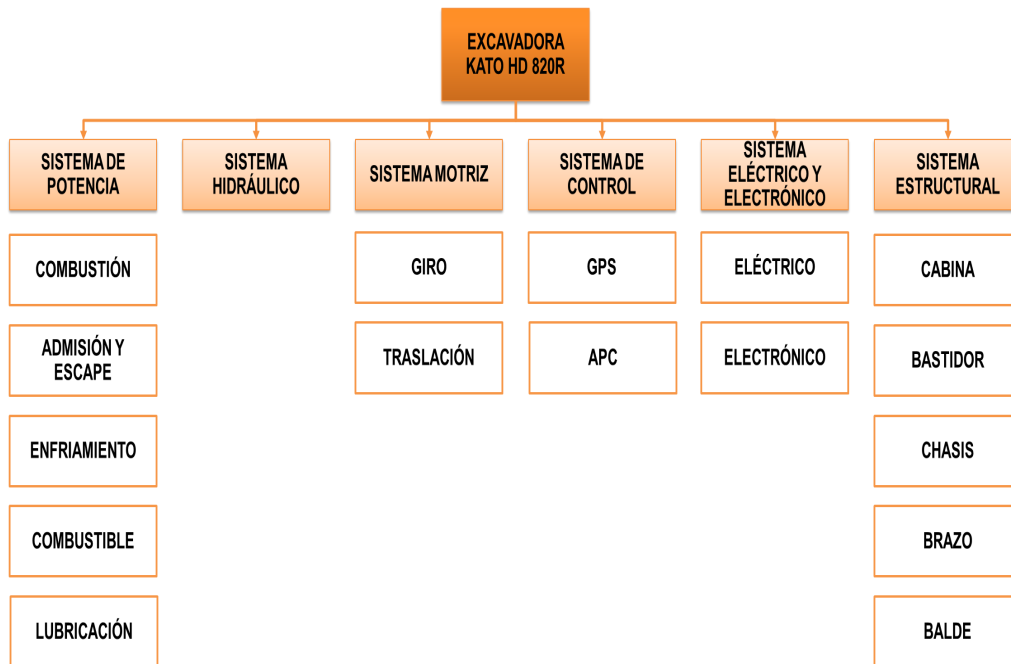


Figura 03. Dimensiones básicas de la excavadora hidráulica KATO REGZAM HD820R(KATO WORKS CO., 2010)

Para efectos del análisis RCM2™, la excavadora hidráulica KATO REGZAM HD820R se dividió en los siguientes subsistemas. (Ver anexo I); además se identificaron las variables de entrada y salida principales y secundarias de la operación de la excavadora. (Ver anexo II).



2.4 SISTEMA DE POTENCIA

2.4.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN

Está compuesto por un motor DIESEL MITSUBISHI 6D34-TLE2A (Inyección directa, control mecánico) de combustión interna de cuatro tiempos e inter-cooler turboalimentado, el cual tiene la capacidad de generar una potencia 148 Hp a 2050 rpm y un torque máximo de 580 N m a 1400 rpm.

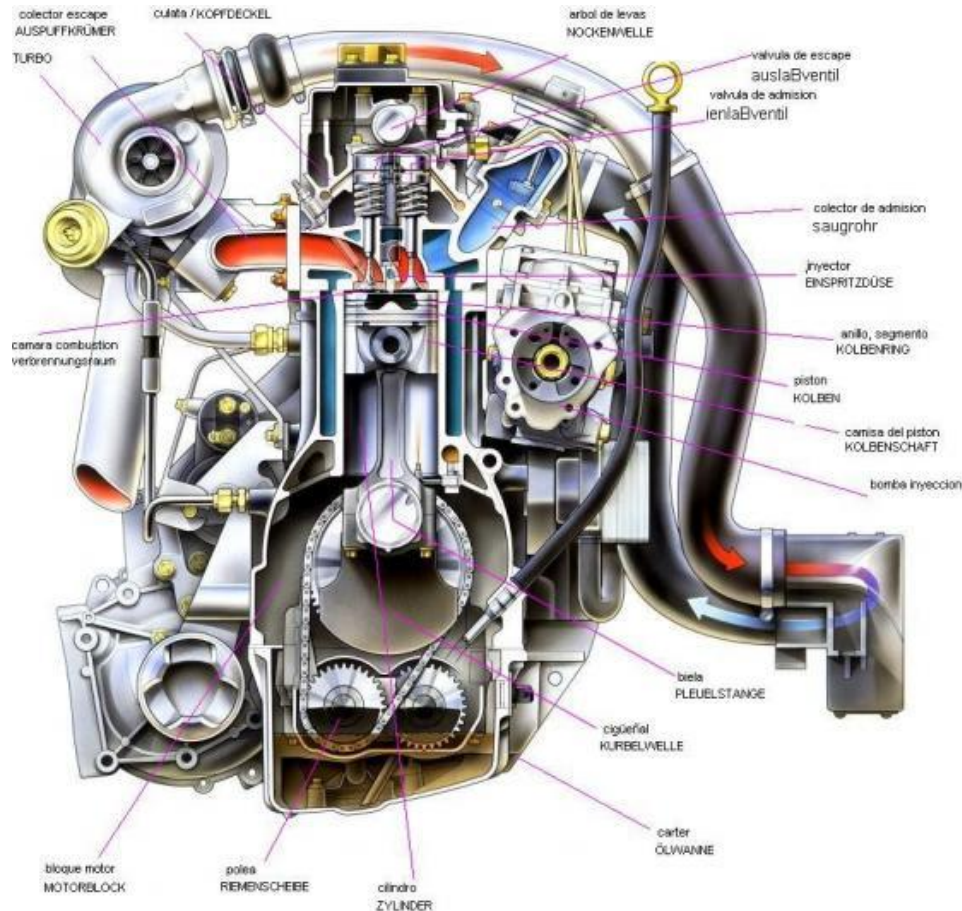


Figura 04. Motor diesel turboalimentado con inter-cooler.

http://www.furgovw.org/galeria/fotos/trasto/MOTOR_DIESEL0.jpg

Este motor está compuesto por 6 cilindros en línea de 104 mm de diámetro y 115 mm de recorrido; los cuales tienen una capacidad máxima de desplazamiento de 5860 cm³, generando una compresión de 18,2 a 1. Cada uno de estos cilindros posee un inyector, una válvula de admisión y una de escape. Además el motor cuenta con un motor de arranque eléctrico de 24V-5kW y un alternador de 24V-35A.

2.4.2 SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE

Este es un sistema turboalimentado con inter-cooler, el cual entrega al motor de combustión aire comprimido y enfriado para generar la combustión en las cámaras. Éste posee un turbocompresor instalado en el múltiple de escape el cual succiona aire de la atmósfera a través de unos espirales ciclónicos. Este aire es filtrado antes de entrar al turbocompresor por medio de un filtro tipo seco y es enfriado por el inter-cooler el cual es un radiador de placas. La energía del aire de escape es utilizada para generar el movimiento del turbo para la compresión del aire de admisión.

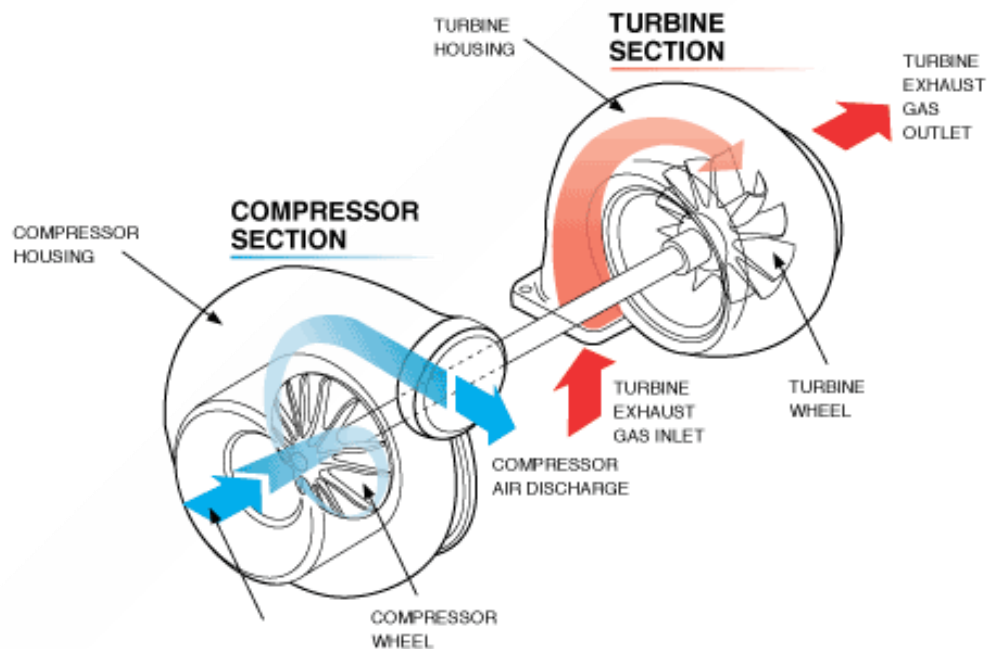


Figura 05. Turbo compresor sistema de admisión y escape
http://minesafesolutions.com.au/04_illustration/02_technical_drawing/images/Turbo.gif

2.4.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El motor tiene un sistema de enfriamiento convencional, compuesto por una bomba de agua, un radiador, un ventilador, un termostato, un interruptor de flujo y un sensor de temperatura.

Este sistema tiene como función disipar el calor generado por la combustión en los cilindros del motor y tiene una capacidad de 23 L de refrigerante.

2.4.4 SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

Es un sistema de inyección directa con control mecánico, bomba lineal e inyectores tipo lápiz. Este sistema inyecta combustible atomizado a una presión de 21,6 Mpa (presión de apertura de válvula) a los cilindros para generar la mezcla combustible.

Este sistema posee un tanque de almacenamiento de combustible con una capacidad de 84 galones y tiene un consumo de 5 gal/h a su máxima velocidad. El combustible es succionado por una bomba desde el tanque, pasa a través de los filtros del sistema y posteriormente es atomizado por medio de los inyectores a la cámara de combustión.

2.4.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Este sistema es el encargado de entregar aceite al motor a una presión de 145 Kpa cuando el motor está en mínimas y el aceite posee una temperatura entre 70 y 90 °C, para las máximas velocidades la presión del aceite está entre 295 y 490 Kpa, con el fin de enfriar las partes del motor y las mantiene lubricadas para evitar que estas se desgasten por fricción. El aceite recircula por el motor volviendo al cárter de almacenamiento, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 22 L de aceite.

2.5 SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico cuenta con una bomba Kawasaki de doble cuerpo, con caudal variable que entrega aceite a una presión máxima de 4555 psi y un flujo máximo de 2x235 L/m, además cuenta con una bomba piloto de engranajes. Este sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de 165 L, mientras que en el sistema en total recirculan 260L de aceite. El rango apropiado de temperatura debe estar entre 30°- 80° para una mejor operación del sistema hidráulico, si el aceite sobrepasa los 95° C el equipo se debe apagar para que el aceite se enfríe, si al iniciar el equipo el aceite se encuentra entre -10°C y 10°C se debe dejar que se caliente al punto de operación indicado, si las condiciones ambientales hacen que el aceite este por debajo de -10°C se debe utilizar el aceite recomendado por el fabricante. Las bombas del sistema hidráulico están acopladas directamente al motor de combustión por medio de un acople rígido al eje de salida de movimiento. El sistema hidráulico es la fuente de energía para algunos componentes de la excavadora. En el siguiente cuadro se puede ver los componentes que dependen de cada pistón:

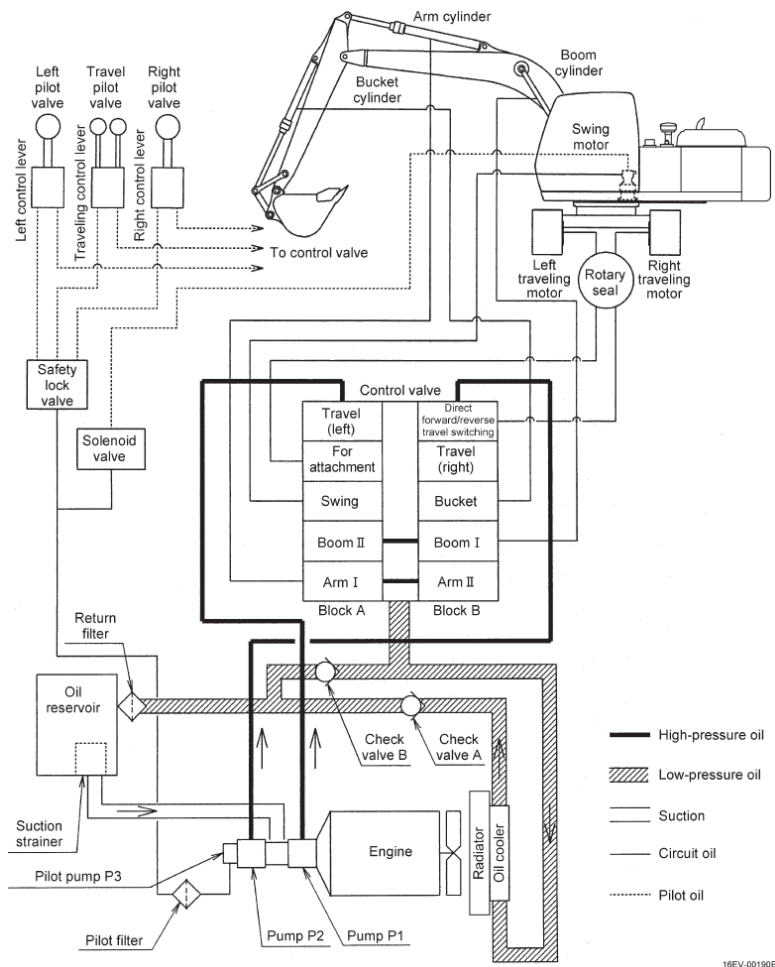
Tabla 03. Fuentes de energía según el componente del sistema hidráulico.(KATO WORKS CO., 2010)

Pistón 1	Pistón 2
Oruga izquierda	Oruga derecha
Línea auxiliar	Seleccionador de sentido de avance
Rotación	Cucharón
Boom	Boom
Brazo	Brazo

El sistema cuenta con las siguientes protecciones:

- Válvula de freno de traslación y freno de emergencia: Cuando se detiene la máquina o se encuentra parqueada, el dispositivo de frenado automático se activa para evitar que la máquina se ruede en los terrenos inclinados.
- Válvula de freno de giro: Reduce controladamente la velocidad para evitar daños en el sistema por la detención del giro.
- Freno de estacionamiento de giro: Cuando el giro se detiene, se activa este freno para evitar que el giro continúe o se devuelva, en caso de encontrarse en terrenos inclinados.
- Válvula antidrift: Esta válvula bloquea el brazo y el boom cuando dejan de ser accionados, asegurando el brazo y el boom en la posición que fueron dejados.
- Válvula de alivio principal: Despresuriza el sistema hidráulico en caso de incrementos de la presión.
- Válvula de seguridad de sobrecarga: Estas válvulas se encuentran en los cilindros y actúan en caso de que el equipo sea sobrecargado para evitar daños en los cilindros.

Además el sistema cuenta con una válvula piloto que es la encargada de entregar aceite a presión algunos mandos del equipo, permitiendo controlar el sistema. El funcionamiento del sistema hidráulico se puede observar en el siguiente gráfico.



16EV-00190E

Figura 06. Diagrama de control y flujo hidráulico (KATO WORKS CO., 2010)

2.6 SISTEMA MOTRIZ

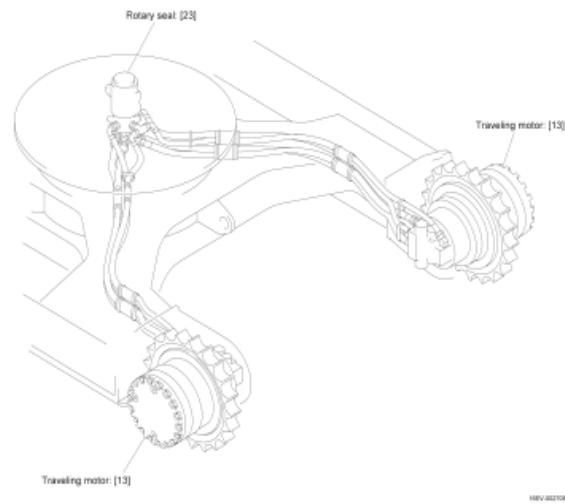


Figura 07. Sistema motriz
(KATO WORKS CO., 2010)

2.6.1 SISTEMA DE GIRO

Produce el movimiento gracias a la potencia entregada por el motor hidráulico de pistón axial, dicha potencia es transformada y transmitida por un sistema mecánico de engranajes planetarios de dos etapas, la relación de reducción final proporcionada por la combinación de todos los engranajes es 20.04:1, el engranaje de reducción tiene una brida para el montaje del motor hidráulico, que también sirve como la carcasa superior del engranaje de reducción, este sistema se fija al chasis, y los engranajes se desplazan sobre la tornamesa, la cual es el engranaje planetario el cual se encuentra fijo sobre el bastidor, lo que permite que el movimiento de estos sistemas planetarios generen el giro del chasis sobre el bastidor.

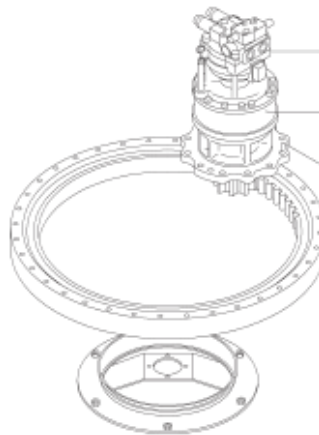


Figura 08. Motor de giro y tornamesa.
(KATO WORKS CO., 2010)

2.6.2 SISTEMA DE TRASLACION

Compuesto por dos motores marca Kawasaki, los cuales se encuentran uno a cada lado del bastidor y en la parte posterior de éste. Estos motores son los encargados de generar un movimiento rotacional que transmiten al sistema de cadenas por intermedio de sprokets, dando como resultado el desplazamiento de la excavadora hacia adelante o atrás, los motores de traslación están compuestos por un subsistema hidráulico, el cual se encarga de transmitir al subsistema mecánico una potencia suministrada por intermedio de un eje, el subsistema mecánico de los motores de traslación está compuesto por un sistema de engranajes planetarios de dos etapas, el cual actúa como desacelerador de la potencia entregada por el motor hidráulico, generando una velocidad baja y un torque alto para poder producir el movimiento de traslación del equipo.

La velocidad de desplazamiento generada por el sistema de traslación: Baja 0-3,6 Km/h Alta 0-5,5 Km/h la cual es gobernada por el sistema hidráulico. El frenado del sistema de traslación está compuesto por discos independientes que son activados automáticamente y de forma hidráulica, cuando las palancas de control de traslación están en posición neutral.

El sistema de traslación es complementado por los sproket, carriles o rodamientos, sistema tensor y cadena que son todos elementos necesarios para poder desplazar el equipo.



Figura 09 Engranajes planetarios del motor de traslación.
(KATO WORKS CO., 2010)

2.7 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

2.7.1 SISTEMA ELÉCTRICO

La excavadora KATO HD820R utiliza un sistema eléctrico que suministra 24 voltios para el arranque de la máquina, control de instrumentos, sistemas de accesorios y luces de la máquina. Posee dos baterías de 12 Voltios conectadas en serie, que sirven para almacenar la energía necesaria para el arranque del motor, dicho arranque se lleva a cabo con un interruptor que está instalado en la parte frontal del panel de instrumentos en la cabina del operador, este interruptor es de tres posiciones, la primera de ellas off, la segunda on, y por último la start que suministra corriente al relay de start, que

a su vez energiza el motor de arranque para proporcionar las RPM necesarias para el arranque el motor diésel. La corriente llega finalmente al motor de arranque que convierte la corriente directa en movimiento mecánico, para entregarle las revoluciones de encendido necesarios para arrancar el motor de la máquina.

El sistema de carga permite restaurar la carga perdida en el arranque y releva las baterías cuando el equipo está encendido, actúa como cargador y regulador, el alternador es capaz de entregar hasta 100 amperios cuando se requiera.

El alternador es accionado por una correa a través de una polea que recibe movimiento de la polea del cigüeñal. Además, existe un sistema de iluminación compuesto: con dos lámparas ubicadas en el boom, una en el chasis y otra en la parte superior de la cabina, además posee una luz interna en la cabina. Para el encendido de las lámparas posee tres interruptores, el primero ellos enciende cuatro lámparas frontales y las luces de tablero, otro para las tres lámparas traseras y el tercer interruptor enciende las lámparas de piso.

Tiene instalado al lado izquierdo de la cabina un interruptor master, corta la corriente eléctrica de la batería por el lado negativo que va al chasis de la máquina, cierra o abre el circuito eléctrico para bloquear el sistema eléctrico cuando se requiere hacer tareas de mantenimiento y cuando sea necesario hacer bloqueo de la máquina. Instalado en la caja del interruptor master se encuentra un interruptor de apagado de emergencia, tipo hongo, para apaga el motor en caso de una emergencia.

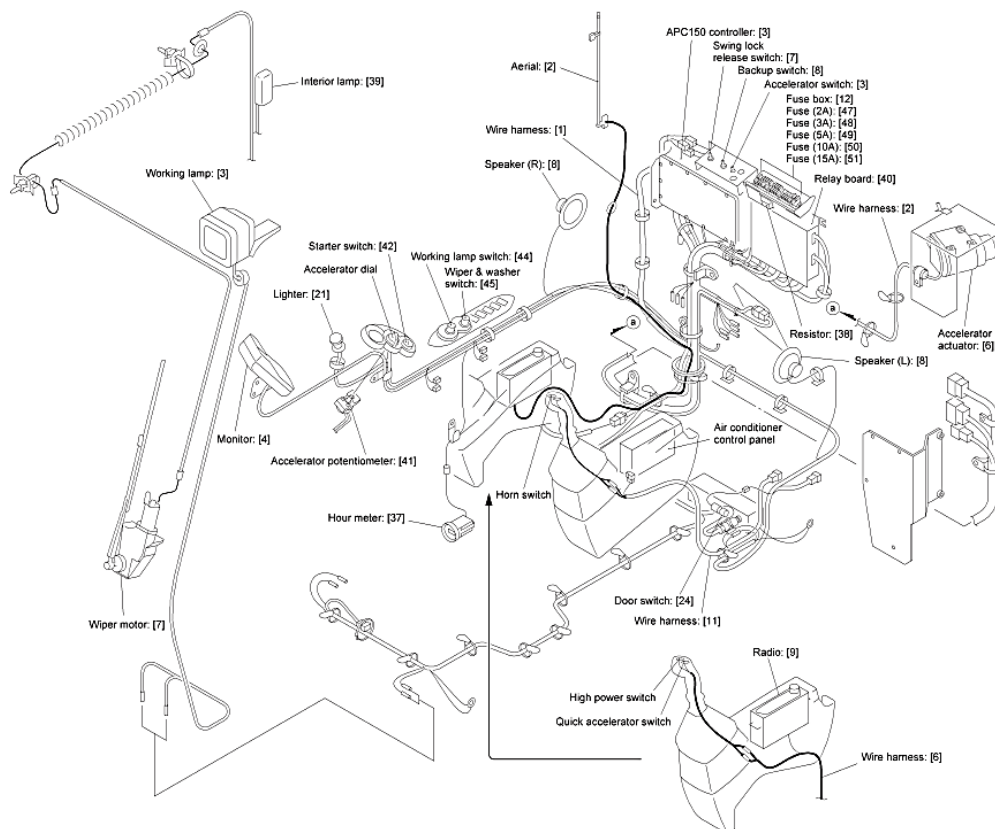


Figura 10. Sistema eléctrico
(KATO WORKS CO., 2010)

2.7.2 SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

El sistema de control electrónico permite recibir, procesar y enviar señales para realizar control sobre los diferentes componentes de la excavadora. Las señales son procesadas por el controlador APC 150 que es el encargado de enviar las órdenes a los diferentes componentes para que ejecuten una acción determinada.

El APC 150 es un sistema de control que permite monitorear diferentes variables del sistema, así como seleccionar diferentes opciones de trabajo de la excavadora. El modo P es para trabajo pesado, el modo A es para trabajos multipropósito (pesados o de precisión) y el modo E es para trabajos livianos (de precisión).

Las variables que el APC permite monitorear o controlar son:

- Presión de aceite de motor
- Estado del filtro de aceite de motor
- Estado del filtro de aceite hidráulico
- Pre-calentador de motor
- Temperatura de aceite hidráulico
- Temperatura de agua
- Nivel de agua
- Nivel de combustible
- Carga de batería
- Monitor APC
- Filtro de aire

Adicionalmente, el sistema de control electrónico permite al operario controlar desde la cabina diferentes subsistemas como son:

- Pluma y cucharón - Palanca mano derecha
- Traslación de la pista derecha - Palanca interior de mano derecha y pedal derecho
- Traslación de la pista izquierda - Palanca interior de mano izquierda y pedal izquierdo
- Brazo y rotación de cabina - Palanca mano izquierda

En la imagen que se muestra a continuación se puede visualizar los controles que el operario debe manipular para operar la excavadora.

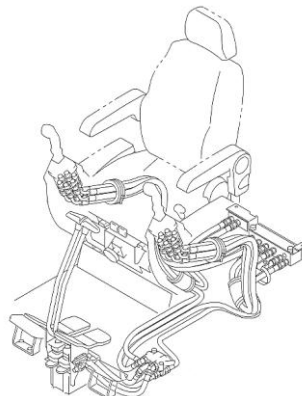


Figura 11. Controles de la excavadora
(KATO WORKS CO., 2010)

Las siguientes son las alarmas del sistema electrónico:

- Presión de aceite de Motor; Cuando la presión es menor a 0,05MPa y se detecta un incremento en la temperatura del refrigerante mayor o igual a 5°C en un periodo máximo de 3s aparece una alarma visual de baja presión de aceite acompañada de una alarma sonora intermitente
- Temperatura de refrigerante del motor; cuando detecta por más de 1,5 s una temperatura de 105°C o más, del refrigerante, muestra una alarma en el display de sobrecalentamiento. Cuando enciende el motor si la temperatura del refrigerante es menor a 50°C muestra una alarma que indica que se debe dejar calentar el motor. (Alarma Sonora y Visual).
- Nivel de refrigerante de Motor; Cuando el refrigerante pasa el nivel mínimo del tanque muestra una alarma visual en el display
- Presión interna en el filtro del aceite del motor; cuando la presión interior de esta no supera los 0,24 MPa por más de 1,5 s Alarma visual Filtro Bloqueado
- Presión de entrada de Aire al motor; Si la presión de entrada del aire al motor es menor a 6,27+-0,57 kPa se muestra una alarma visual de filtro de aire bloqueado
- Presión interna en filtro de retorno del sistema hidráulico; cuando la presión interna en el filtro de retorno es menor a 0,1 MPa muestra una alarma visual Filtro de Retorno Hidráulico Bloqueado
- Temperatura del Aceite Hidráulico; Aparecerá un mensaje en el monitor si la temperatura del aceite está por debajo de 10°C o por encima de 95°C. Si la temperatura del aceite es baja (menor a 10°C), asegúrese de calentar suficientemente la máquina para poderla operar y si es alta (mayor a 95°C), debe apagar el equipo para que el aceite se enfríe.
- Nivel de Combustible; Cuando la señal recibida del tanque es de 76,9 Ω se muestra una alarma de bajo nivel de combustible y suena la alarma
- Condición de generación de energía del alternador; Por debajo de 20V Mensaje visual
- Carga de Batería; Por debajo de 20V mensaje visual.

2.8 SISTEMA ESTRUCTURAL

2.8.1 CABINA



Figura 12. Cabina

Se encuentra ubicada a la izquierda en la parte superior del chasis de la máquina. En ella se encuentran todos los elementos de control y aviso, palancas de mando, asiento, calefacción y aire acondicionado.

El asiento cuenta con un sistema de amortiguación para aislar las vibraciones causadas por los movimientos de la retroexcavadora del operador.



Figura 13.Sistema electrónico

Debajo de su piso se encuentran las diferentes conexiones eléctricas.

La cabina tiene en la parte superior una estructura protectora que rodea toda la cabina para proteger al operador en caso de caída de rocas sobre la excavadora.

La cabina posee una puerta en la parte izquierda que permite al operario entrar y salir de la cabina

2.8.2 CHASIS, BASTIDOR Y BRAZO

El bastidor es el encargado de trasladar la excavadora. Se encuentra en la parte inferior del chasis y están unidos mediante un tornamesa que es el encargado de permitir la rotación de la cabina y el brazo, el cual es el que permite la excavación.

En el chasis se encuentra la cabina de mando y las funciones de este conjunto (chasis, brazo y bastidor) son netamente estructurales.

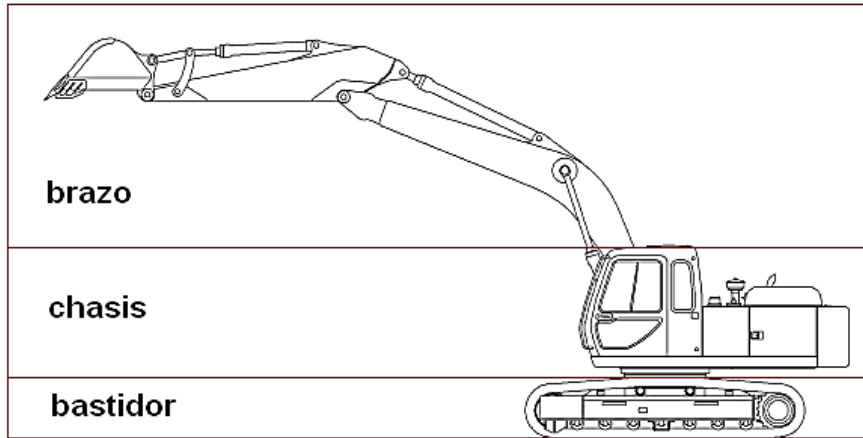


Figura 14. Subsistema del sistema estructural

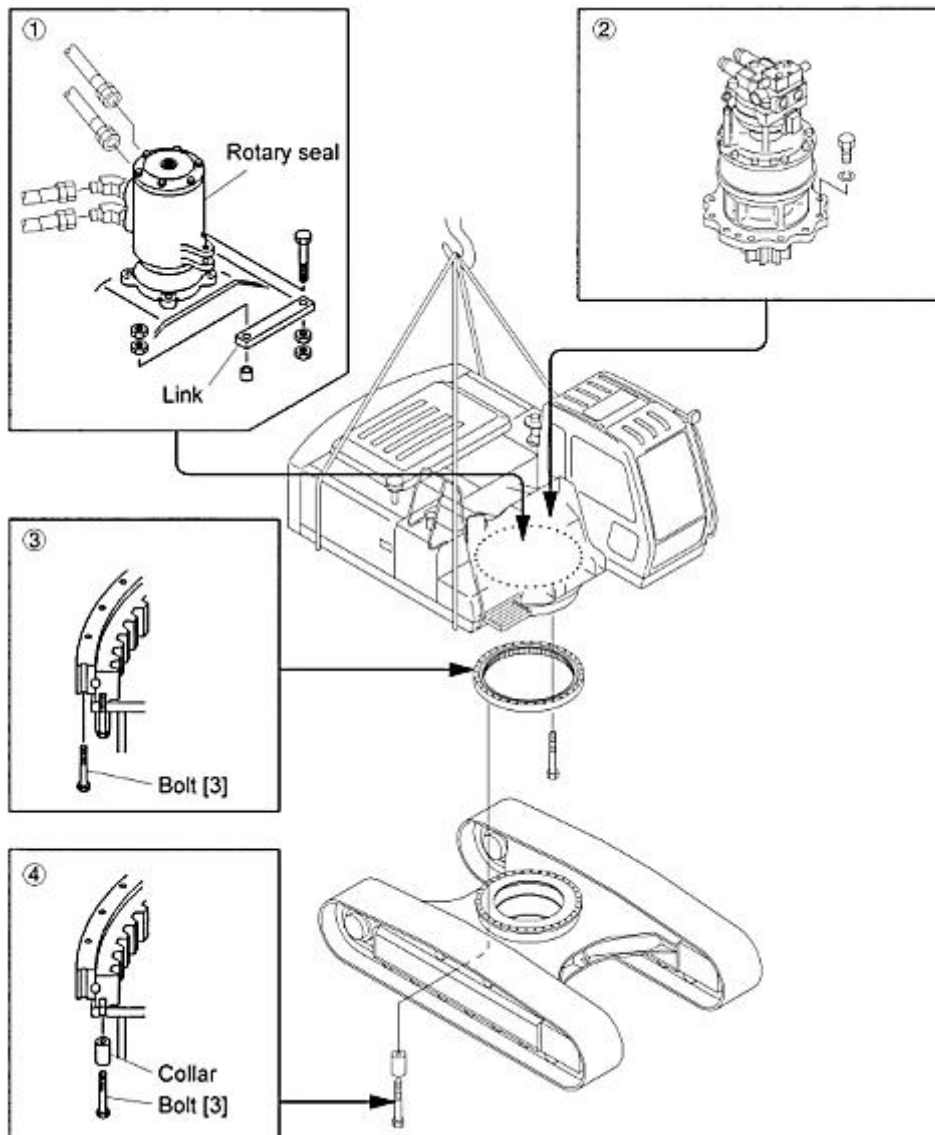


Figura 15. Subsistema del sistema estructural

2.9 LISTA DE FUNCIONES

FUNCION PRINCIPAL

1. Escavar/trasladar material a razón de 1 m³/ciclo

MOTOR DE COMBUSTIÓN

2. Transmitir a la excavadora un torque de 580 N-m @1400 RPM.
3. Transmitir un torque de 580 N-m @1400 RPM a los componentes del motor
4. Variar las RPM del motor entre 850 y 2100 RPM.
5. Indicar en el panel de instrumentos las RPM del motor con una tolerancia de +100 o -100 RPM.

SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE

6. Suministrar una presión de aire de admisión a 17.4 psi a la cámara de combustión.
7. Expulsar los gases de escape a una presión de 196 Kpa hacia el exterior
8. Mantener la temperatura del aire de admisión por debajo de 60 °C.
9. Impedir el paso de partículas mayores a 60 µm al sistema de admisión y escape
10. Contener el aire de admisión
11. Contener los gases de escape.
12. Emitir no más de 550 ppm de monóxido de carbono en la salida de gases de escape
13. Reducir el ruido de la salida de los gases calientes a 90 db.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

14. Mantener la temperatura de operación del motor por debajo 105 °C
15. Suministrar el refrigerante a una presión de 45 psi al motor
16. Contener el refrigerante
17. Detener el funcionamiento del motor cuando la temperatura del refrigerante del motor sea 108°C
18. Activar una alarma visual y sonora de alta temperatura de refrigerante cuando la temperatura de refrigerante del motor es mayor a 105°C.
19. Detener el funcionamiento del motor cuando el nivel del refrigerante del motor sea 0,8 L
20. Activar una alarma visual de bajo nivel de refrigerante cuando el refrigerante pasa el nivel mínimo del tanque
21. Indicar la temperatura del refrigerante del motor con una tolerancia de 2%.

SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

22. Suministrar combustible a los inyectores a razón de 0,08gpm a una presión de 60 psi.
23. Contener el combustible
24. Permitir el ingreso de aire al tanque de combustible
25. Impedir el ingreso de partículas de agua de 120 µm al sistema de inyección
26. Activar una alarma visual y sonora en la cabina cuando el nivel de combustibles sea 6,87 gal (1/8 Del tanque)
27. Indicar en el panel de instrumentos el nivel de combustible.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN

28. Suministrar aceite lubricante a las galerías de lubricación del motor a una presión mayor de 16 psi.
29. Contener el aceite
30. Aliviar la presión de aceite cuando alcance los 90 psi.
31. Impedir que las partículas de 105 μm pasen a las galerías del motor.
32. Activar una alarma visual y sonora en la cabina cuando la temperatura de aceite es 135°C
33. Activar una alarma visual y sonora de baja presión de aceite cuando la presión de aceite del motor 0,05MPa
34. Indicar la temperatura de aceite con una tolerancia de 2%.
35. Permitir drenar el cárter.
36. Permitir medir el nivel del aceite del motor.

SISTEMA HIDRÁULICO

37. Suministrar aceite hidráulico a los subsistemas de la excavadora una presión de 3.800 psi.
38. Permitir levantar/bajar el brazo, boom y balde de la retroexcavadora en un tiempo máximo de 10 segundos.
39. Contener el aceite hidráulico
40. Indicar el nivel de aceite hidráulico en el tanque
41. Liberar la presión de aceite hidráulico a tanque, cuando la presión es igual a 4200 psi.
42. Activar una alarma visual de baja temperatura de aceite cuando la temperatura del aceite Hidráulico está por debajo de 10°C
43. Activar una alarma visual de alta temperatura de aceite cuando la temperatura del Aceite Hidráulico está por encima de 95°C.

SISTEMA DE GIRO

44. Permite girar 360 grados la retro hacia la derecha o hacia la izquierda a una velocidad máxima de 13 rpm.

SISTEMA DE TRASLACIÓN

45. Desplazar la excavadora a una velocidad máxima de 5.5 km/h hacia adelante o hacia atrás.

SISTEMA ELÉCTRICO

46. Suministrar 24 voltios a la excavadora.
47. Suministrar DC entre 21 y 24 voltios a las baterías
48. Permitir arrancar y apagar la excavadora.
49. Iluminar hasta 800 lumens el frente de la excavadora.
50. Iluminar hasta 800 lumens el brazo de la excavadora
51. Iluminar el interior de la cabina.
52. Activar una alarma visual de baja carga de batería; cuando la carga está por debajo de 20V

SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

53. Indicar alarmas y parámetros de funcionamiento de la excavadora en el panel de instrumentos.

CABINA

- 54. Aislar al ocupante del exterior.
- 55. Prevenir ruidos mayores a 80 decibeles al interior de la cabina.
- 56. Mantener la temperatura entre 24 y 28°C
- 57. Soportar el peso de hasta 120 Kg de una persona sentada
- 58. Amortiguar los movimientos de la silla
- 59. Permitir visualizar desde la cabina áreas traseras del equipo.

CHASIS, BASTIDOR Y BRAZO-CUCHARON

- 60. Soportar la cabina
- 61. Soportar los bastidores
- 62. Soportar el brazo
- 63. Contener hasta 0,8 m³ de material en el cucharon.
- 64. Lucir aceptable.

3. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS

Luego de encontrar el listado de funciones, lo siguiente es diligenciar el formato de análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) u hoja de información, el cual sirve para identificar claramente las fallas funcionales, modos de fallas y efectos de cada una de las funciones determinadas anteriormente. El primer paso para diligenciar la hoja de información es escribir todas las funciones, identificándolas con un número consecutivo. Luego se debe hallar las fallas funcionales para cada una de las funciones y nombrarlas con letras consecutivas. Seguidamente se deben de determinar los modos de falla de cada una de las fallas funcionales, identificándolos con un número consecutivo; y por ultimo escribir los efectos de cada uno de los modos de falla encontrados. A continuación se ilustra con un ejemplo como se diligencia la hoja de información:

Tabla 04. Ejemplo para diligenciar formato AMFE en análisis RCM2™

Funciones		Fallas funcionales		Modos de falla		Efectos
1	Contener el aire de admisión	A	No contiene el aire de admisión	1	Sellos de la tubería cristalizados	Con la operación y el ambiente los sellos de la tubería de aire se cristalizan; tarde que temprano se agrietan y se parte. Se pierde potencia en el motor. La excavadora se puede apagar en un momento de alta demanda de potencia. La relación de aire/combustible se pierde. Se detiene la excavadora. No se puede escavar/trasladar material. Diagnosticar y reparar la falla tarda 3 horas.
				2	Tubería de admisión fatigada	Si la tubería de aire se fatiga; tarde que temprano se agrietan y se rompe. Se pierde potencia en el motor. La excavadora se puede apagar en un momento de alta demanda de potencia. La relación de aire/combustible se pierde. Se detiene la excavadora. No se puede escavar/trasladar material. Diagnosticar y reparar la falla tarda 6 horas.
				3	Mangueras fatigadas	Con la operación las mangueras se fatigan; tarde que temprano se agrietan y se rompen. Se pierde potencia en el motor. La excavadora se puede apagar en un momento de alta demanda de potencia. La relación de aire/combustible se pierde. Se detiene la excavadora. No se puede escavar/trasladar material. Diagnosticar y reparar la falla tarda 30 min.

En resumen en la hoja de información se deben diligenciar las preguntas 1, 2, 3 y 4 de un análisis RCM2™ (Moubray, 1997).

El análisis de modos de falla y efectos de la excavadora KATO HD820R, identificado en el análisis RCM2™ se puede encontrar en el archivo de Excel anexo con nombre TRABAJO-DE-GRADO-EXCAVADORA-KATO-HOJA-INFORMACION-AMFE-24-NOV-2014.

4. CAPÍTULO 4: DECISIÓN LÓGICA RCM

Después de diligenciar la hoja de información del análisis RCM2™, lo siguiente es diligenciar la hoja de decisión utilizando el diagrama de decisión de la metodología RCM2™ (ver anexo III), lo cual se realiza mediante los siguientes cuatro pasos:

1. Identificar todos los modos de falla encontrados en la hoja de información: En las primeras tres columnas de la hoja de decisión se debe diligenciar el número de la función, la letra de la falla funcional y el número del modo de falla.

Tabla 05. Ejemplo para identificar los modos de falla

Referencia de información		
F	FF	MF
1	A	1
1	A	2
1	B	1

2. Identificar la consecuencia para cada modo de falla encontrado en la hoja de información: Para cada uno de los modos de falla encontrados se debe evaluar la consecuencia utilizando el diagrama de decisión RCM2™, y se debe diligenciar la respuesta, (S) si la respuesta es "SI" y (N) si la respuesta es "NO", a cada una de las preguntas para evaluar las consecuencias (oculta, seguridad, medio ambiente, operacional y no operacional; identificadas por sus siglas en inglés (H) hidden, (S) security, (E) environment, (O) operational)

Tabla 06. Ejemplo para identificar las consecuencias de los modos de falla

Evaluación de las consecuencias			
H	S	E	O
S	N	N	S
N			
S	S		

3. Determinar la tarea proactiva a realizar: De acuerdo al tipo de consecuencia, se debe de determinar si es posible realizar una tarea proactiva (a condición, reacondicionamiento cíclico o sustitución cíclica) de acuerdo a las preguntas postuladas en el diagrama de decisión RCM2™. Se debe diligenciar la respuesta, (S) si la respuesta es "SI" y (N) si la respuesta es "NO". Las preguntas (H1, S1, O1, N1) son tareas a condición, (H2, S2, O2, N2) tareas de reacondicionamiento cíclico y (H3, S3, O3, N3) sustitución cíclica.

Si la respuesta es positiva, se debe escribir la tarea a realizar con la frecuencia (de acuerdo a la metodología) y el responsable en las columnas respectivas; En cambio si todas las respuestas son negativas se debe de continuar con la pregunta de las tareas "a falta de" o se debe escribir "ningún mantenimiento programado"; esto depende del tipo de consecuencia que tenga el modo de falla.

Tabla 07. Ejemplo para identificar las consecuencias de los modos de falla

Identificar tareas proactivas			Tarea a realizar	Frecuencia	Responsable
H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3			
S			Inspección de fugas en el escape; si se evidencian escapes de aire en los sellos programar reparación	600 horas	Mecánico
N	S		Engrasar los pasadores de los actuadores; 35 gr (amarilla)	150 horas	Mecánico
N	N	S	Cambiar filtro de aceite	600 horas	Mecánico
N	N	N	Ningún mantenimiento programado		

4. Determinar la estrategia alternativa o acción “a falta de” a realizar: Por último, si no se puede encontrar ninguna tarea proactiva, se deben identificar las acciones “a falta de” que se pueden realizar utilizando el diagrama de decisión RCM2™, esto solo aplica para los modos de falla con consecuencias ocultas, seguridad o medio ambiente.

Tabla 08. Ejemplo para identificar las acciones “a falta de”

Tareas “a falta de”			Tarea a realizar	Frecuencia	Responsable
H4	H5	S4			
S			Verificar el funcionamiento del sensor de nivel del refrigerante; Simular una condición de bajo nivel y revisar que se encienda la alarma visual y sonora en la cabina cuando el nivel alcance el mínimo si no se acciona alguna de estas programar revisión	2.400 horas	Electrico
N	N		Ningún mantenimiento programado		
		N	Rediseño: Elaborar un procedimiento de instalación del sensor de posición del árbol de levas		

Si los modos de falla tiene consecuencia operacional o no operacional, estas casillas deben de estar vacías, esto es de acuerdo al diagrama de decisión RCM2™.

En el caso de recomendar un rediseño justificable, se debe anotar en la columna de comentarios y observaciones para luego estudiar su posibilidad y viabilidad.

El desarrollo de la hoja de decisión del análisis RCM2™ de la excavadora KATO HD820R se puede encontrar en el archivo de Excel anexo con nombre TRABAJO-DE-GRADO-EXCAVADORA-KATO-HOJA-DECISION-24-NOV-2014.

5. CAPÍTULO 5: AGRUPACIÓN DE TAREAS POR FRECUENCIA Y RECOMENDACIONES:

Después de realizar el análisis de modos de falla y efecto y la decisión de acuerdo a la metodología, El primer paso para comenzar con la implementación de este plan es agrupar las tareas por frecuencia y responsable de la actividad y las recomendaciones resultantes del análisis, la agrupación de tareas y recomendaciones se encuentra en el archivo de Excel anexo con nombre TRABAJO-DE-GRADO-EXCAVADORA-TAREAS-RECOMENDACIONES-24-NOV-2014.

6. CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Por último, luego de conocer el nuevo plan de mantenimiento y las recomendaciones resultantes del análisis RCM2; Se pueden observar las tendencias y las clasificaciones de las funciones, modos de falla, consecuencias, tareas y recomendaciones, que pueden ayudar a identificar más rápidamente puntos o temas de importancia dentro del mantenimiento y operación de la excavadora KATO HD820R.

6.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES

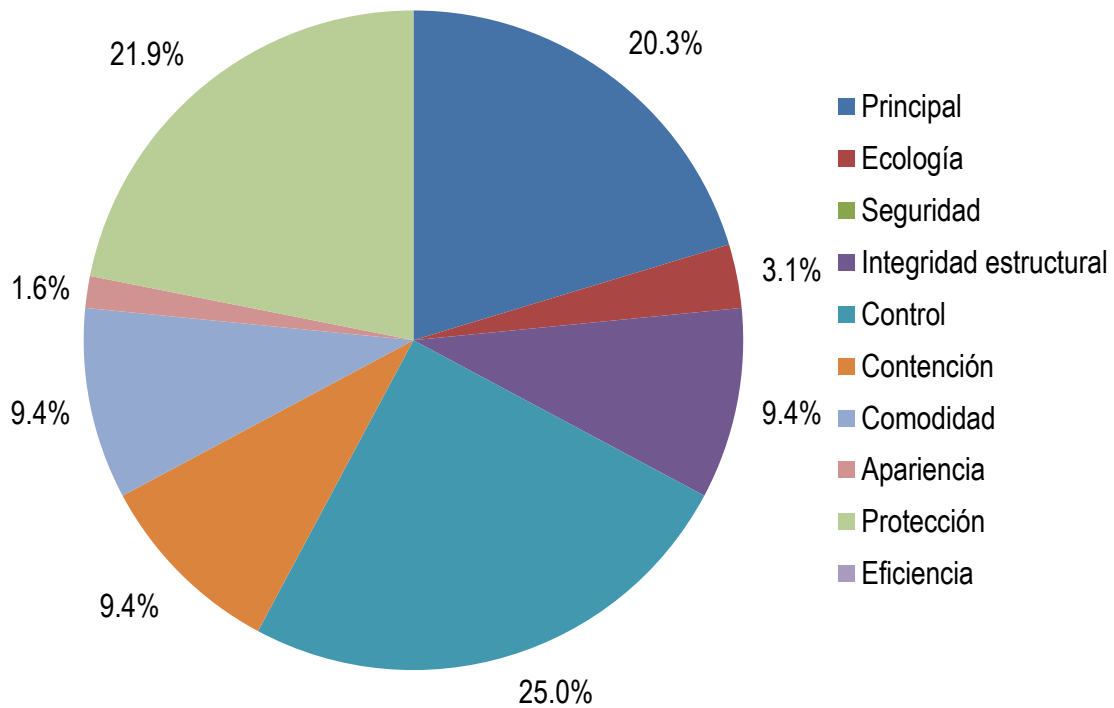


Figura 16. Clasificación de las funciones del análisis RCM de la excavadora KATO HD820R

Según la figura anterior, El plan de mantenimiento para una excavadora KATO HD820R no solo debe estar centrado en mantener las funciones principales, que representan un 20% del total de las funciones, sino que se debe tener en cuenta muy cerca el mantenimiento de las funciones de control y protección del equipo, ya que éstas representan casi el 50% del total de las funciones. Esto quiere decir que el personal de mantenimiento va a estar muy pendiente de que las protecciones y equipos de control estén funcionando de acuerdo a lo establecido.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA

La figura que se muestra a continuación, da una idea general de las causas de falla que afectan el funcionamiento de la excavadora KATO HD820R, y permite identificar puntos u oportunidades de mejora en nuestras prácticas de la gestión del mantenimiento.

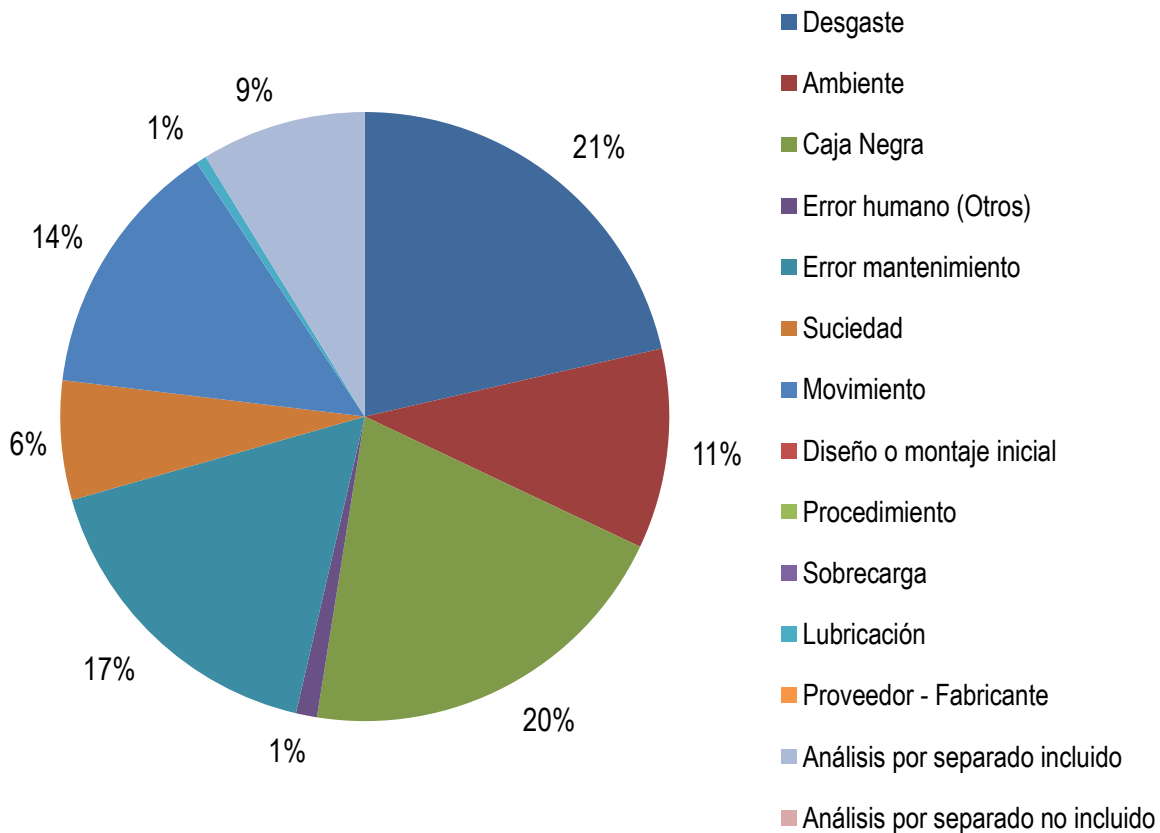


Figura 17. Clasificación de los modos de falla del análisis RCM de la excavadora KATO HD820R

Si se observa detalladamente, el 17% (error de mantenimiento) de los modos de falla son causadas por el personal de mantenimiento, es decir, 91 causas de falla suceden debido a la falta de entrenamiento, desconocimiento, o falta de procedimientos durante la realización de las tareas de mantenimiento. Esto se puede volver de gran ayuda para identificar como fortalecer el conocimiento del personal de mantenimiento.

Otra gran oportunidad de mejora, es ver que el 20% de los modos de falla son cajas negras, es decir, 110 causas pueden ocurrir en cualquier momento, y el personal de mantenimiento no podrá hacer nada para evitar que esto suceda. Esto puede dar un indicio, de que elementos se deben tener en el almacén de repuestos para así evitar grandes tiempos de parada cuando sucedan dichos modos de falla.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

En la figura que se muestra a continuación, se puede observar la distribución de las consecuencias de cada modo de falla, como se puede ver, la mayoría de modos de falla tienen consecuencias operacionales.

Cabe resaltar que el 14% son consecuencias de fallas ocultas, esto quiere decir, que son modos de falla que cuando ocurren no son evidentes y necesitan de otro evento para hacerse evidente.

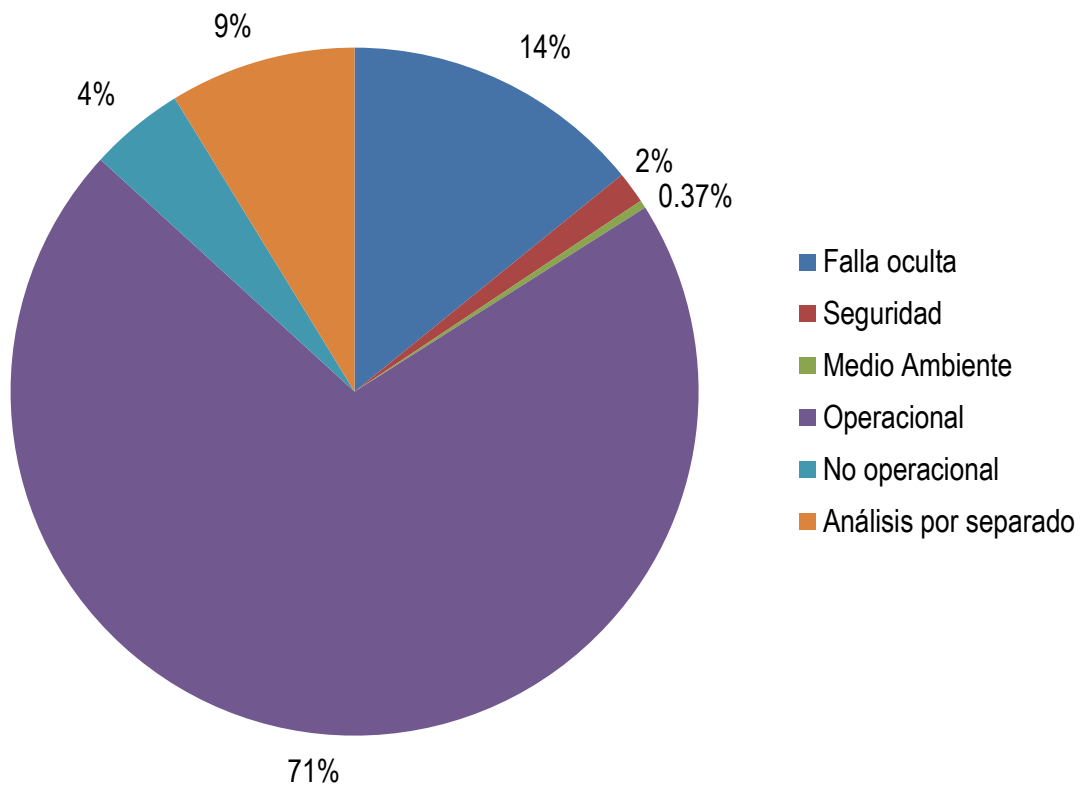


Figura 18. Clasificación de las consecuencias de los modos de falla del análisis RCM de la excavadora KATO HD820R

6.4 CLASIFICACIÓN DE LAS TAREAS CÍCLICAS

En la figura que se muestra a continuación, se puede observar claramente que el nuevo plan de mantenimiento para la excavadora KATO HD820R es en su mayoría a base de tareas a condición y tareas de búsqueda de falla; dejando a tras las creencias y los mitos de que el mantenimiento preventivo es el más efectivo tipo de mantenimiento para un equipo.

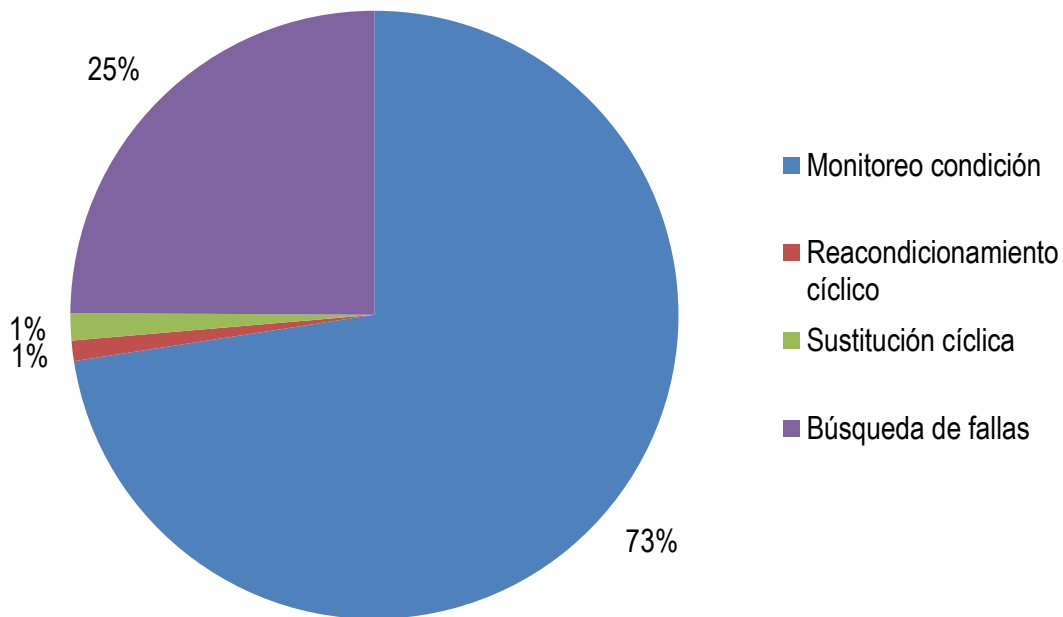


Figura 19. Clasificación de las tareas cíclicas RCM2 de la excavadora KATO HD820R

A continuación se puede observar la comparación entre el plan actual de mantenimiento (suministrado por el fabricante KATO) y el nuevo plan de mantenimiento resultante del análisis RCM2:

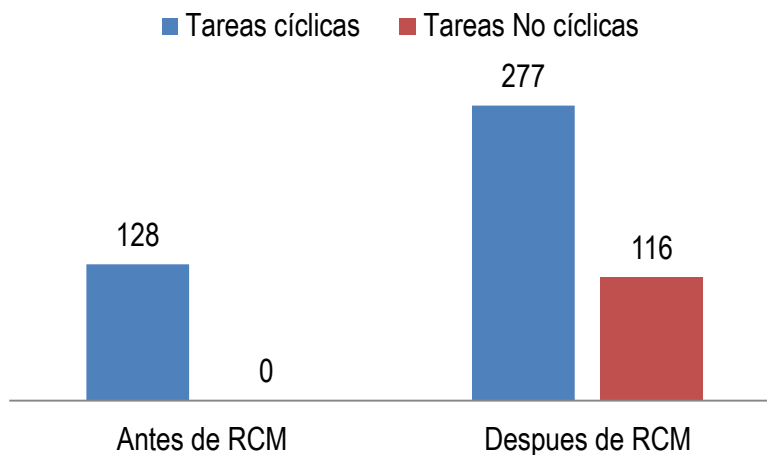


Figura 20. Comparación del plan de mantenimiento antes y después del análisis RCM2 de la excavadora KATO HD820R

Como se observa en esta figura, el plan aumento en más de 100% en tareas cíclicas, y en no tener recomendaciones de ningún tipo a tener 116.

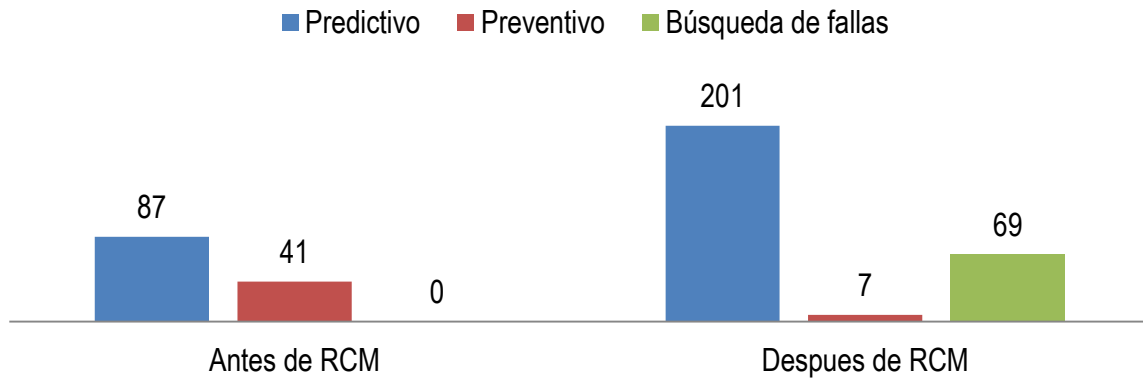


Figura 21. Comparación detallada del plan de mantenimiento antes y después del análisis RCM2 de la excavadora KATO HD820R

Con la gráfica anterior, se puede ver que el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante tiene muchas más tareas preventivas que el plan de mantenimiento resultante del análisis RCM2, lo que se puede ver representado en alto costos de inventarios y de la mano de obra.

Además un factor muy importante es que el fabricante no recomienda realizar ninguna tarea de búsqueda de fallas, lo que puede ser muy peligroso y riesgoso en el momento que ocurra alguna de las fallas ocultas descritas anteriormente.

6.5 CLASIFICACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES

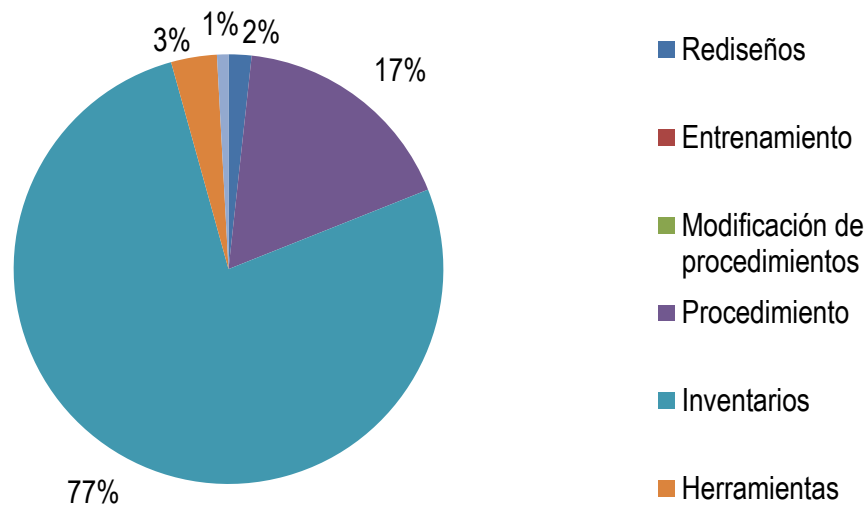


Figura 22. Clasificación de las recomendaciones RCM2 de la excavadora KATO HD820R

Una gran oportunidad de mejora que se presenta dentro de las recomendaciones del análisis RCM2, es el listado de repuestos o componentes que son claves para el mantenimiento de la excavadora. Un listado que para el personal de mantenimiento es clave a la hora de hablar de tiempos de reparación y disponibilidad del equipo.

CONCLUSIONES

- El plan de mantenimiento resultante del análisis RCM2, es una ventaja competitiva durante la comercialización de una excavadora KATO HD820R, debido a que le da la tranquilidad al cliente o al comprador de tener identificados claramente las funciones, subsistemas, modos de falla asociados a las tareas de mantenimiento y recomendaciones que debe seguir para mantener funcionando adecuada y confiablemente su máquina.
- El plan de mantenimiento resultante del análisis RCM2, además es una ventaja competitiva durante la comercialización de una excavadora KATO HD820R, debido a que puede ser utilizado como un buscador de fallas o causas durante algún daño o intervención de mantenimiento, lo que le resulta al comprador en un menor tiempo de parada y una mayor disponibilidad de la máquina.
- Al tener el análisis RCM2 de la excavadora, el propietario tendrá una herramienta eficiente para identificar detalladamente el costo de la ejecución de las tareas de mantenimiento; algo que es una ventaja en el momento de la venta de la máquina.
- El resultado del análisis RCM2 muestra que el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante no es suficiente y es carente de tareas.
- Se identifica el contexto operacional genérico para las excavadoras KATO HD820R; el cual puede ser utilizado para homologar en cualquier condición de trabajo que requiera el cliente o comprador.

BIBLIOGRAFÍA

Española, R. A. (2014, Septiembre 1). *Real Academia Española*. Retrieved Septiembre 1, 2014, from Real Academia Española: <http://www.rae.es.com>

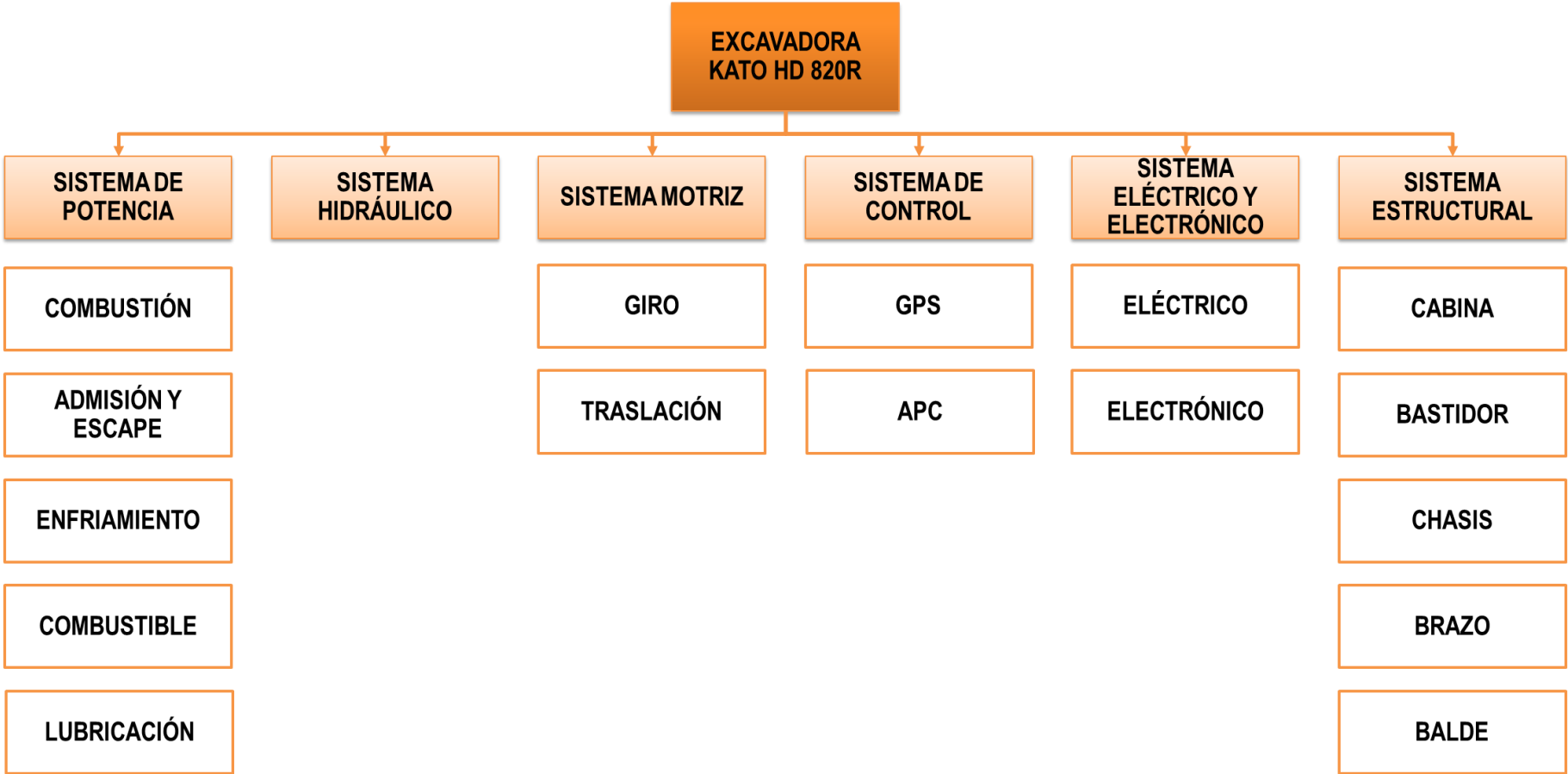
KATO WORKS CO. (1 de Septiembre de 2010). Service Manual HD820R. Shinagawa-ku, Tokyo, Japan. Recuperado el 1 de Septiembre de 2014, de Kato Works: <http://www.kato-works.co.jp>

Merriam-Webster, I. (2014, Septiembre 1). *Merriam-Webster*. Retrieved Septiembre 1, 2014, from Merriam-Webster: <http://www.merriam-webster.com/>

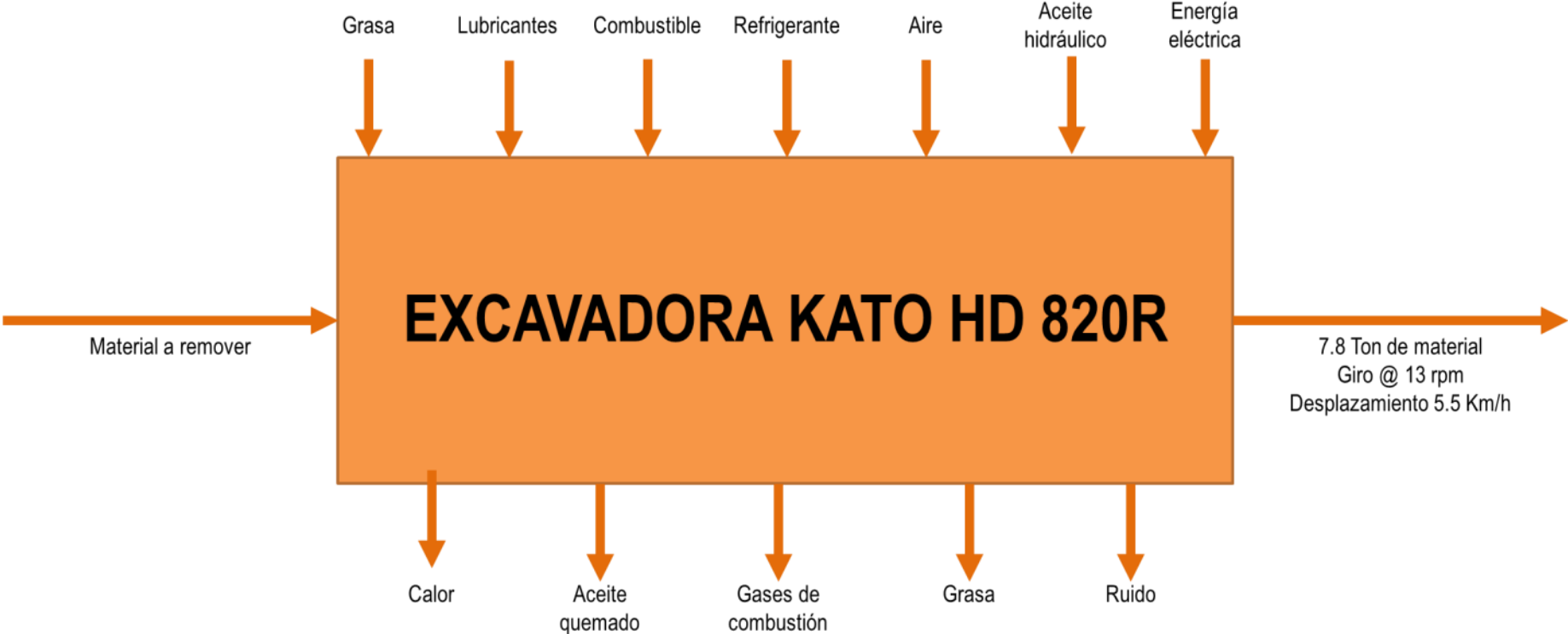
Moubray, J. (1997). *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2*. Asheville, North Carolina: Aladon LLC.

ANEXOS

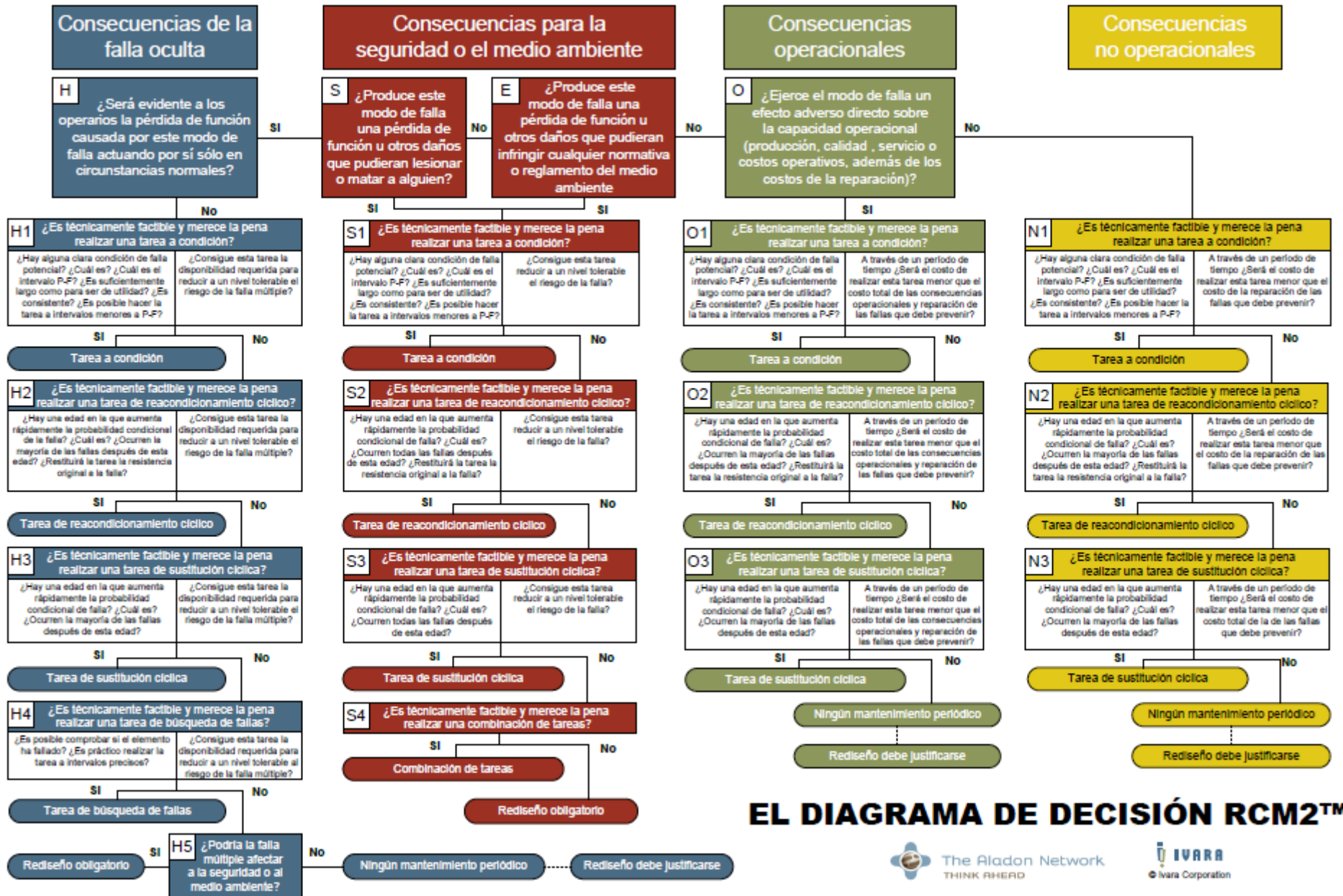
ANEXO I.



ANEXO II.



ANEXO III.



EL DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM2™