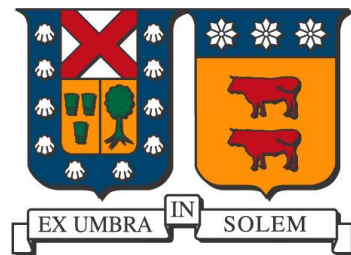


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO - CHILE



Propuesta de metodología para la mejora de la
disponibilidad a través de la relación operador-
mantenedor

Javier Antonio Vásquez Roa

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

Profesor Guía: Nelson Álvarez Campillay

Profesor Co-referente: Luis Guzmán Bonet

Noviembre 2021

Agradecimientos y dedicatoria

Quiero empezar por agradecer:

Al profesor Nelson Álvarez, por todo su apoyo, entendimiento, por escucharme y por darme la libertad y oportunidad de hacer este trabajo que considero tan necesario en la ingeniería.

A los profesores y compañeros que creyeron en el valor de este trabajo. Me dieron tranquilidad y confianza.

A mi padre, a quien veo distinto que cuando comencé y por lo tanto es parte de este viaje. Me dio perspectiva.

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y de mis sueños. Me dieron amor, cuidado, tiempo y espacio.

A mis hermanos menores y amistades, por su cariño, ayuda y la compañía para terminar esta carrera.

A mi amada Pamela, mi compañera en este camino y en tantos otros, demasiados para contarlos. Me ha dado más de lo que puedo describir.

Y finalmente dedicar este trabajo a mí, por tanta paciencia.

Resumen

En este trabajo se desarrolla la creación y propuesta de una metodología para la mejora de la disponibilidad, tomando en cuenta la relación entre operador, que es quien opera los equipos y el mantenedor, que es quien realiza los planes y ejecuta el mantenimiento. Esta relación es explorada en su naturaleza percibida como antagónica y la forma en la que entra en diferentes metodologías de mejora (RCM, RBM y TPM). Para que la implementación de la metodología sea apropiada, se establecen los objetivos de ésta, derivados de las necesidades de los participantes de la relación. Se toman en cuenta la historia del mantenimiento y su enfoque actual hacia la salud de los activos, al igual que nociones trabajadas por Flores (2015) y Entin (2001) sobre conversaciones para la acción y evaluación en la comunicación de los equipos respectivamente. En la propuesta se describen las instancias de trabajo como cuatro diálogos entre operación y mantenimiento donde un coordinador asegura la comunicación efectiva y se toman en cuenta indicadores o acciones a realizar dependiendo del tipo de diálogo y pérdida a tratar. Se consideran también herramientas de interpretación de juegos de rol usando conceptos de *gamificación* que son pertinentes al desarrollo de una relación de trabajo en equipo exitosa entre los involucrados.

Abstract

The following paper develops the creation and proposal of a methodology for the improvement of availability, considering the relationship between the operator, who operates the equipment, and the maintainer, who is the one who makes the maintenance plans and executes the maintenance. This relationship is explored in its perceived antagonistic nature and how it appears in different improvement methodologies (RCM, RBM and TPM). For the implementation of the methodology to be appropriate, the objectives of the methodology are established, derived from the needs of the participants in the relationship. It takes into account the history of maintenance and its late approach to asset health and notions worked by Flores (2015) and Entin (2001) on conversations for action and evaluation in team communication respectively. In the proposal, the work instances are described as four dialogues between operation and maintenance where a coordinator ensures effective communication and indicators or actions to be performed are taken into account depending on the type of dialogue and loss to be addressed. Role-play interpretation game tools are also considered using *gamification* concepts that are relevant to the development of a successful teamwork relationship between the involved parties.

Glosario

5S: Metodología de origen japonés para la organización del espacio de trabajo, basado en una lista de 5 palabras japonesas: seiri (整理) o "separar innecesarios", seiton (整頓) o "situar necesarios", seisō (清掃) o "suprimir suciedad", seiketsu (清潔) o "señalizar anomalías" y shitsuke (躰) o "seguir mejorando".

ABJ: Aprendizaje basado en juego es, en la metodología de juegos de rol, una forma de aprendizaje en la que a partir de una revisión de las habilidades, conocimientos o competencias que inherentemente se desarrollan en un juego específico (debido a las mecánicas y temáticas que incorpora), se juega con el propósito consciente de desarrollar esas habilidades, conocimientos o competencias.

Automaticidad: Es la capacidad de hacer cosas sin ocupar la mente con el control activo o atención de los detalles, permitiendo obtener un patrón de respuesta automático o *hábito*. Esto normalmente es el resultado de aprender, repetir, y practicar.

CBM: *Condition-Based Maintenance* o Mantenimiento Basado en Condición es una estrategia de mantenimiento que monitorea la condición de un activo para decidir que mantenimiento va a realizarse.

CM: *Corrective Maintenance* o Mantenimiento correctivo es el trabajo de mantenimiento que se realiza tras la falla del equipo.

Comunicación efectiva: Aquella comunicación donde los interlocutores llegan no sólo al entendimiento de sus posturas, sino también a un acuerdo sobre cómo proceder.

Disponibilidad: Es la propiedad probabilística de un equipo o sistema de operar satisfactoriamente en un punto dado en las condiciones correctas. Se describe como un cociente entre Tiempo de carga o *Uptime* y el tiempo total ($Uptime + Downtime$).

Downtime: Corresponde al tiempo que un equipo o sistema se encuentra inactivo o no está operando, ya sea por falla o mantenimiento.

Gamificación: En la metodología de juegos de rol, es el uso de mecánicas específicas del juego de rol en circunstancias no lúdicas.

Interpretación de roles/ Role-play: Cualquier instancia donde los participantes adoptan el rol de otra persona, personaje, grupo o institución con características diferentes a las propias. A partir de eso, se improvisa un papel delimitado por ciertas reglas externas. No siempre está dirigido a un público. Una de las vertientes del role-play son los juegos de rol de mesa (*Tabletop role playing games*).

Juego de rol: *Tabletop Role Playing Games*, es un tipo de juego (o sea, cuyo fin es la diversión de los participantes) donde los participantes asumen el rol de “personajes” y con ellos crean una narración colaborativa a través de la interpretación y la toma de decisiones en base a las características del personaje y estrategias propias del juego. El éxito está mediado por el sistema de reglas y en general alguien toma el rol de árbitro/narrador.

Mantenedor: Cargo de la persona que elabora el plan de mantenimiento y/o realiza mantenimiento al equipo o sistema.

MCAS: *Máximum Credible Accident Scenario* o Escenario de Accidente de Máxima Credibilidad, procedimiento sistemático para evaluar escenarios de falla en un sistema de procesos utilizado en Mantenimiento Basado en Riesgo.

Metodología de juegos de rol: *TTRPG Methodology* en inglés. Es el uso del juego de rol con un objetivo distinto a la pura diversión. En general puede tomar 3 formas: *Gamificación*, *Serious Game* y *Aprendizaje basado en juego*.

MP: *Maintenance Prevention* o Prevención del Mantenimiento, actividad para diseñar el equipo para ser "libre de mantenimiento", donde los esfuerzos se concentran para lograr la condición ideal definitiva de "lo que el equipo y la línea deben ser".

OEE: *Overall Equipment Effectiveness* o Efectividad total de los Equipos, es un indicador de que tan efectiva es la utilización de los equipos. Es el producto de la disponibilidad, el ritmo de desempeño y la tasa de calidad de los productos.

Operador: Cargo de la persona que opera el equipo y/o es responsable de la producción que se hace con el mismo.

Pérdidas: Son fallas o faltas de productividad de un equipo o sistema, que pueden provenir de diversas fuentes. Clasificadas de forma más amplia en pérdidas de material, mano de obra y maquinaria.

PM: *Preventive Maintenance* o Mantenimiento Preventivo, es el trabajo de mantenimiento que se realiza para prevenir la falla en los equipos.

RBM: *Risk-Based Maintenance* o Mantenimiento Basado en riesgo, es el mantenimiento que busca priorizar los sistemas y equipos que representan el mayor riesgo en caso de falla.

RCM: *Reliability Centered Maintenance* o Mantenimiento centrado en la confiabilidad, es una estrategia de mantenimiento que optimiza los programas de mantenimiento para asegurar que el equipo continuará haciendo lo que tiene que hacer (confiabilidad).

Riesgo: La probabilidad de falla de un equipo o sistema de acuerdo con las condiciones en las que opera.

Ritmo de desempeño: Producto del ritmo de velocidad de operación y ritmo de operación neto, representa el desempeño respecto a las pérdidas del tiempo de operación

Ritmo de operación neto: Es el cociente entre el tiempo esperado del ciclo de operación y el tiempo de la operación real.

Ritmo de velocidad de operación: Es el cociente entre las unidades producidas en el tiempo de ciclo real y el tiempo total (*Uptime* + *Downtime*).

RTF: *Run-to-Failure* Práctica de administración de activos donde los equipos son monitoreados, pero suelen intervenir sólo cuando fallan.

Serious Games: Del inglés *Juego Serio*. En la metodología de juegos de rol son juegos de rol específicamente diseñados con el propósito de enseñar alguna habilidad, conocimiento o competencia.

Tasa de calidad de productos: Es el cociente entre las unidades no defectuosas y las unidades totales producidas. Representa la calidad de la producción.

Tiempo de adición de valor: Es el tiempo de carga (*uptime*) o de funcionamiento del equipo menos los tiempos perdidos en disponibilidad por fallas, los tiempos perdidos por falta de desempeño y los tiempos perdidos al producir unidades defectuosas.

Tiempo de carga (*uptime*): Es el tiempo de funcionamiento del equipo

Tiempo de ciclo real: Es el tiempo real que demora la producción de una cantidad de productos definida.

Tiempo de ciclo estándar: Es el tiempo previsto por un estándar que debería tardar la producción de una cantidad de productos definida.

Tiempo de operación: Es el tiempo de operación en el que el equipo está disponible.

Tiempo de operación neto: Es el tiempo de operación en el que el equipo está disponible, sin considerar las pérdidas de desempeño.

TPM: Inicialmente un método de origen japonés para la gestión de activos. Ahora es un modelo de acción que involucra todas las partes de una compañía con la intención de reducir las pérdidas que reducen el tiempo de adición de valor.

Unidades de producto procesadas: Son las unidades de producto fabricadas o procesadas por un equipo o sistema sin considerar si estas cumplen con los requerimientos de calidad.

Unidades defectuosas: Son las unidades fabricadas que no cumplen los requerimientos de calidad.

Tabla de Contenidos

Agradecimientos y dedicatoria	I
Resumen.....	II
Abstract.....	III
Glosario.....	IV
Tabla de Contenidos	VIII
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas	XII
1 Introducción.....	XIII
1.1 Problemas de disponibilidad	XIII
1.2 Operaciones y Mantenimiento	XIII
2 Objetivos.....	XV
2.1 Objetivo General.....	XV
2.2 Objetivos Específicos.....	XV
3 Marco teórico.....	1
3.1 Pérdidas de disponibilidad.	1
3.1.1 Disponibilidad en términos cualitativos.	1
3.1.2 Comportamiento de las pérdidas de disponibilidad.....	2
3.2 Evolución del mantenimiento	2
3.3 La relación Operador-Mantenedor.....	5
3.3.1 Transversalidad de los efectos de una mala relación.....	5
3.3.2 El enfoque en las personas.....	6
3.3.3 Conversaciones para la acción.....	8
3.3.4 Evaluación de equipos	9
4 Estado del arte	11

4.1	Metodologías que hacen uso de la relación operador mantenedor.	11
4.1.1	Mantenimiento centrado en la confiabilidad	11
4.1.2	Mantenimiento basado en riesgo	14
4.1.3	Mantenimiento Productivo total	20
4.2	Sistema operativo de BHP	29
5	Metodología de desarrollo de la propuesta.....	30
5.1	Comunicación como forma de solucionar los problemas	30
5.1.1	Comunicación en el espacio de trabajo	30
5.2	Paralelos a los Juegos de Rol.....	32
5.2.1	Gamificación	33
5.3	Desarrollo de la propuesta	33
5.3.1	¿Qué debe solucionar la propuesta?	34
6	Resultados: “Los 4 diálogos”.	36
6.1	Los 4 diálogos efectivos para la mejora de disponibilidad.....	36
6.1.1	Declaración de necesidades	39
6.1.2	Acciones asociadas e indicadores.....	41
6.1.3	La conversación.....	43
6.2	Como determinar efectividad.....	44
6.3	Evaluando el equipo operador-mantenedor	45
6.4	Diagrama final de la intervención.....	46
7	Conclusiones y recomendaciones futuras.....	49
7.1	Recomendaciones para el futuro.....	50
7.1.1	Validación del instrumento.....	50
7.1.2	Mala comunicación como causa raíz.....	51
7.1.3	Aproximación al aprendizaje basado en juego.....	51

8	Referencias	53
	Anexo A: Hoja de trabajo de los Diálogos.	57
	Anexo B: Hoja de trabajo para Juego de Roles.	60
	Anexo C: Hoja de evaluación de equipo operador-mantenedor.	61
	Anexo D: Ejemplo de documento de validación.	63

Índice de Figuras

Figura 1. Pérdidas de disponibilidad representadas como un árbol.....	2
Figura 2. Evolución de los paradigmas de mantenimiento (Lee, et al., 2020).....	4
Figura 3. Relación entre operación y mantenimiento respecto a la exposición de defectos ocultos de los equipos en TPM. (JIPM, 2015)	7
Figura 4. Ejemplo de matriz de comunicación diseñada por Entin, las zonas grises representan que los sujetos no tienen acceso a comunicación con estos receptores (Entin & Entin, 2001).....	9
Figura 5. Un equipo RCM típico (Moubray, 2001)	12
Figura 6. Curva P-F (Moubray, 2001)	13
Figura 7. Matriz de riesgo para RBM	15
Figura 8. Módulo de evaluación de riesgo. (Moubray, 2001)	19
Figura 9. Relación entre los tiempos de operación las 7 fallas y la eficiencia general del equipo.	23
Figura 10. Los 8 pilares de TPM con una base de 5S. (JIPM, 2015)	25
Figura 11. Las 16 pérdidas que reconoce TPM. (JIPM, 2015).....	26
Figura 12. Objetivos de mejora de una metodología que trabaja la relación operador-mantenedor.	35
Figura 13. Estructura general de implementación de los diálogos. Se requiere previamente conocer las necesidades tanto del operador como del mantenedor y la información de los indicadores relacionados para ajustar la forma de trabajo.	37
Figura 14. Diagrama completo para determinar el diálogo a realizar.....	38
Figura 15. Objetivos y acciones asociadas a los diálogos ordenados.	39
Figura 16. Los 3 requerimientos de un diálogo llevado con éxito.....	44
Figura 17. Diagrama de flujo final de la intervención, los 3 subprocesos se encuentran a continuación.....	46
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de generar indicadores de comunicación para evaluar el equipo.....	47
Figura 19. Diagrama de flujo de los 4 diálogos.....	47
Figura 20. diagrama de conversaciones para la acción.....	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Roles del operador y mantenedor de acuerdo con Chan. (2005)	7
Tabla 2. Medidas de comunicación verbal derivadas de la matriz de comunicación (Entin & Entin, 2001)	10
Tabla 3. Declaración de necesidades y marcadores conversacionales del operador para los 4 diálogos.	40
Tabla 4. Declaración de necesidades y marcadores conversacionales del mantenedor para los 4 diálogos.	41
Tabla 5. Tabla resumen de los indicadores de disponibilidad asociados a cada diálogo.....	42

1 Introducción

1.1 Problemas de disponibilidad

Los problemas de disponibilidad o también entendidos como pérdidas de disponibilidad, son instancias donde un equipo no puede utilizarse en el proceso productivo durante su jornada de uso programada para realizar el trabajo esperado por variadas razones. Como consecuencia, los niveles de producción decrecen, los colaboradores pueden encontrarse sin trabajo durante la jornada (lo cual trae problemas por sí mismo) y en el caso de equipos críticos, la línea de producción puede detenerse en su totalidad, por lo que estas pérdidas atraen interés de estudio y búsqueda de posibles soluciones.

En este trabajo se espera proponer una solución a los problemas de disponibilidad de los equipos desde una perspectiva generalizada. Para ello se toma en cuenta el factor común más relevante de los equipos en un proceso productivo (como se verá más adelante), las personas que los utilizan. (Yamashina, 1995).

1.2 Operaciones y Mantenimiento

Operaciones y mantenimiento son los departamentos más cercanos al proceso de manufactura y deben trabajar juntos para asegurar el mejor desempeño global posible para la producción en la organización.

Se puede pensar que la relación entre operaciones y mantenimiento es la de un cliente y un proveedor respectivamente o que deberían ser socios trabajando en paralelo. Es cierto que la empresa vende el producto que operaciones debe gestionar para producir. La empresa no vende mantenimiento, pero esto no significa que operaciones tenga la atribución de comandar la forma en la que mantenimiento realiza su trabajo.

Suele verse a estos departamentos como desconectados unos de otros, es común verlos en posiciones adversarias en vez de miembros de un mismo equipo. Surge la necesidad de preguntarse el porqué de estos encuentros abrasivos y qué se puede hacer para mejorar la relación entre ellos. En vista que una mala relación puede afectar el desempeño de los departamentos; si operaciones se ve afectado por un mantenimiento indiferente a las metas de producción no podrán cumplirse dichas metas en los tiempos establecidos, si en cambio mantenimiento se ve afectado tal que no

puede realizar los mantenimientos a los equipos correctamente, éstos podrían fallar de formas imprevistas o implicar costos adicionales para la empresa.

La mayor diferencia se encuentra en el enfoque. Operaciones se enfoca en tener la máxima producción, tener el equipo disponible para producir todo el tiempo o la mayoría en su defecto. El equipo de mantenimiento por el otro lado valora el preservar el tiempo de vida del equipo. En el núcleo de sus responsabilidades, operador y mantenedores se ponen como adversarios para hacer su trabajo en lo mejor de sus habilidades. Se ven como obstáculos para lograr sus trabajos. Cuando la realidad es que ambos se necesitan.

Este trabajo propone una metodología que identifica los indicadores que son afectados por la relación entre operación y mantenimiento e indica los pasos a seguir para mejorar esta relación generando mejora en los indicadores de desempeño. Para lograr la propuesta se ha dividido el trabajo en 5 objetivos específicos, que al mismo tiempo ordenan el plan de trabajo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Propuesta de una metodología de mejora de disponibilidad de máquinas en la industria productiva basada en generar un espacio de conversación entre los encargados de operación y mantenimiento.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los fundamentos básicos de la relación entre los operadores y encargados de mantenimiento.
- Identificar prácticas que abordan la relación mantenedor-operador, en las estrategias existentes de mantenimiento.
- Establecer los objetivos de mejora de la metodología desde el contexto de la relación operador-mantenedor.
- Identificar las métricas claves de la gestión de la disponibilidad basada en las personas que pueden requerir de una buena relación operador-mantenedor.
- Proponer la metodología basada en la información obtenida y los medios para evaluar su efectividad.

3 Marco teórico

3.1 Pérdidas de disponibilidad.

La disponibilidad puede entenderse como el grado en que un sistema se encuentra en el estado operable y su capacidad de compromiso al comienzo de una misión, tarea o encargo, cuando la misión, tarea o encargo se solicita en un momento aleatorio desconocido (Blanchard, 1998). Esta definición cualitativa ayuda a entender el aspecto esencial de la disponibilidad en el contexto de producción, la capacidad de operar o producir en la instancia que se requiere que lo haga.

Esto significa que los problemas de disponibilidad son instancias o condiciones que generan (o fomentan) circunstancias en las cuales un equipo no puede operar cuando se le solicita. Para entender como estos problemas pueden expresarse y como pueden resolverse se hace necesario recurrir a un modelo que explique el comportamiento y naturaleza de los problemas (o pérdidas) de disponibilidad.

3.1.1 Disponibilidad en términos cualitativos.

Una definición más cuantitativa de la disponibilidad de los equipos fue desarrollada por la JIPM para la metodología de Mantenimiento Productivo Total desarrollada en los años 70 (está metodología se analiza a mayor detalle en el estado del arte), que consiste en la razón de tiempo de carga (necesario para operar el equipo) con respecto al tiempo consumido realmente para operar y es expresada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Disponibilidad

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ carga - downtime}{Tiempo\ de\ carga}$$

El tiempo de carga es el tiempo obtenido al restar el tiempo de inactividad, el de plan de producción, mantenimiento planificado y reuniones matutinas diarias de mantenimiento de las horas de trabajo totales del día (o mes) (JIPM, 2015).

El *downtime* representa el periodo de tiempo en el cual la línea de producción se detiene debido a falla, preparación, ajustes, cambio de herramientas, etc.

3.1.2 Comportamiento de las pérdidas de disponibilidad

Las pérdidas de disponibilidad tienen 4 formas de expresarse de acuerdo con el instituto japonés de mantenimiento de plantas o JIPM por sus siglas en inglés (2015) y de acuerdo con la naturaleza de los equipos esto puede deberse a una mala planificación del mantenimiento (o ejecución de este) y/o una mala operación.

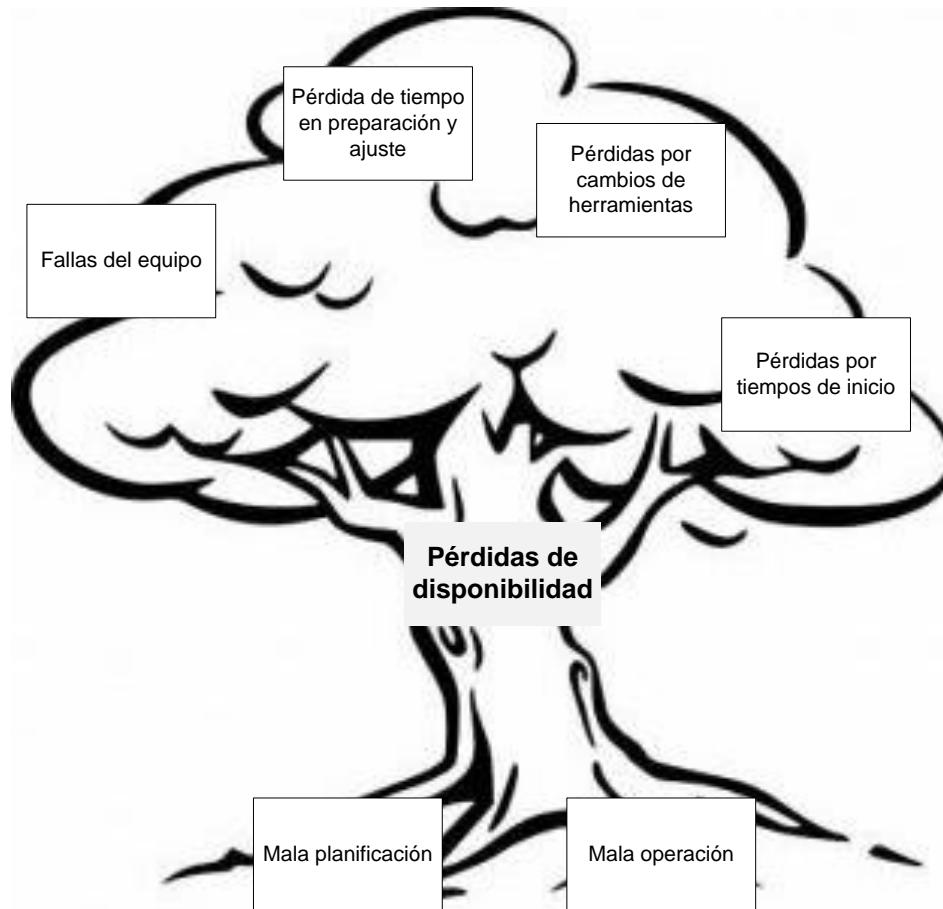


Figura 1. Pérdidas de disponibilidad representadas como un árbol.

3.2 Evolución del mantenimiento

El mantenimiento ha presentado una evolución acelerada desde la revolución industrial, de acuerdo con Lee (2020) hay tres separaciones que marcan la evolución a grandes rasgos de la manufactura y 4 fases en la evolución del mantenimiento que han acompañado a esta evolución como se puede ver en la Figura 2.

La **manufactura clásica** contempla:

- **Producción artesanal:** Un artesano fabrica un producto, sin necesariamente mantener estándares de fabricación o calidad a través del tiempo.
- **Producción en masa:** Una máquina produce una línea de productos a mayor velocidad que un artesano, asistida por operadores. Estos son similares y se observa una mayor uniformidad.

En el siguiente paso, la manufactura empieza a tomar elementos de automatización, la **manufactura automatizada** contempla:

- **Manufactura Lean:** Producción masiva que busca reducir al mínimo los procesos que no agreguen valor, es decir, procesos que no involucren la generación de producto de acuerdo con las necesidades de los clientes. Es en este contexto que empiezan a aparecer metodologías como el Mantenimiento Productivo Total en japon (JIPM, 2015).
- **Personalización en masa:** Los productos fabricados en masa no solo cumplen las condiciones de los clientes en un proceso de manufactura optimizado, sino que las características de este pueden cambiar para satisfacer cambios solicitados por los clientes en el tiempo o clientes con distintas solicitudes.

Por último, la **manufactura inteligente** como el desarrollo más reciente contempla:

- **Producción personalizada:** Propuesta a desarrollarse mucho más en el futuro, se entiende como la manufactura de productos en masa que cumplen con las características de cada cliente en particular. Basándose en el uso de tecnologías contemporáneas.

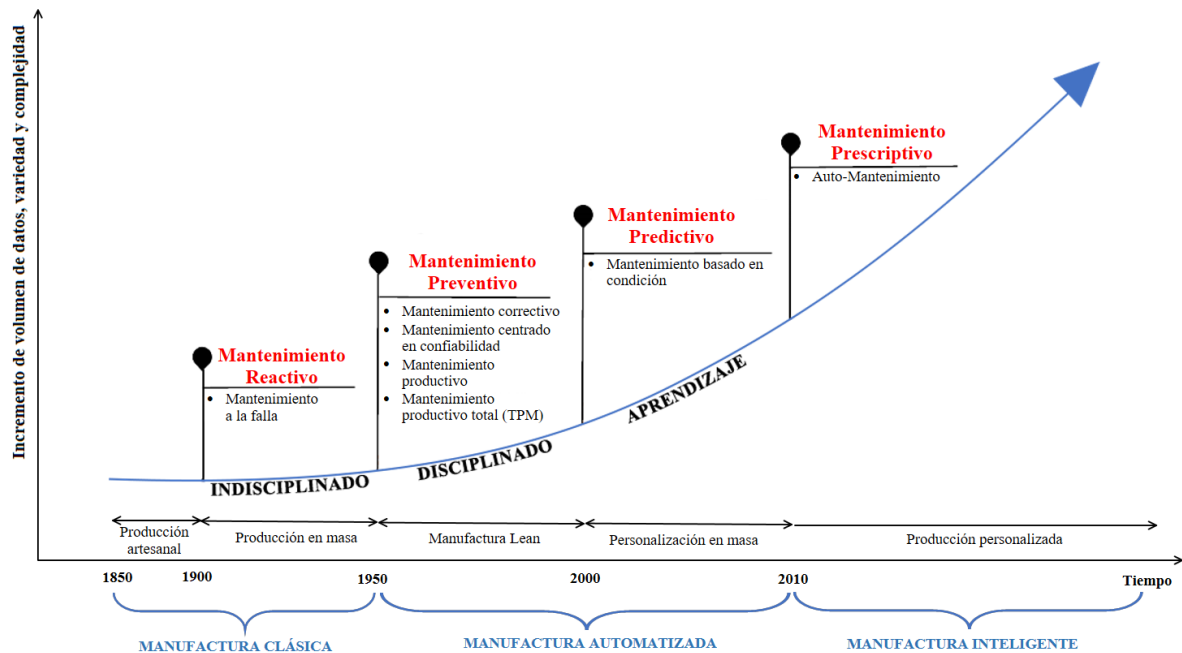


Figura 2. Evolución de los paradigmas de mantenimiento (Lee, et al., 2020).

Las etapas de evolución del mantenimiento pueden ser descritas en cuatro etapas:

- **Mantenimiento Reactivo:** “*Mantenimiento hasta la falla*” caracterizado por altos tiempos de *downtime* en la producción sin estrategias de rastreo o mantenimiento, presenta altos costos de reparación y de repuestos, largas intervenciones de solución de problemas sin considerar costos de monitoreo de condición.
- **Mantenimiento Preventivo:** “*Mantenimiento programado o basado en calendario*” las máquinas son reparadas cuando no necesariamente hay fallas, se presenta un mayor control de *downtime* y costos inesperados. “**El diagnóstico se vuelve una prioridad**”.
- **Mantenimiento Predictivo:** “*Evitar instancias innecesarias de mantenimiento*” se presenta un significativo decrecimiento en fallas inesperadas y el tiempo de vida de la máquina aumenta, hay un requerimiento alto en inversiones y trabajadores especializados. “**Diagnósticos y pronósticos son la prioridad**”.
- **Mantenimiento Prescriptivo:** “*Alcanzar una gestión integrada de la salud*” la detección de la degradación de los activos se acopla a la prescripción de soluciones para mitigar riesgos futuros, hay una completa optimización de la confiabilidad de

los sistemas y su desempeño, pasa de ser simplemente eficiente a volverse verdaderamente estratégico.

3.3 La relación Operador-Mantenedor

La práctica del mantenimiento, en especial del mantenimiento preventivo y predictivo, presenta situaciones en la que el trabajo de un operador puede verse interrumpido para intervenir su activo físico o máquina-herramienta y por lo tanto restar tiempo de producción que es utilizado para extender o aumentar la vida útil de la misma. Otro caso es el del mantenimiento reactivo que solo interviene cuando el activo experimenta falla, en ese caso las desventajas pueden causar capacidades de producción fluctuantes e impredecibles, mayores niveles de producto fuera de los rangos de tolerancia y mayores costos totales de reparación para el caso de fallas catastróficas. Estas dinámicas pueden causar roces en vista de que estos mantenimientos necesitan interrumpir la producción en intervalos programados (mantenimiento preventivo) o luego de que ciertos indicadores predictivos alcancen sus límites de tolerancia (mantenimiento predictivo) (Swanson, 2001).

3.3.1 Transversalidad de los efectos de una mala relación

Compañías en todo el mundo ofrecen soluciones para aliviar los roces entre ambos departamentos. Algunas de estas soluciones consisten en hacer que los mantenedores capaciten a los operadores en la manera de apagar o encender sus equipos o hacer que ambos grupos reconozcan el rol y el valor del trabajo del otro (aunque fallan en orientar este proceso de forma específica) (Armstrong, 2016). También existen metodologías basadas en centrar el mantenimiento en el operario, tal que cuando los fallos ocurren se solicita al operador hacer el contacto a mantenimiento, se le pregunta su opinión y se le pide un análisis STILL: “Smell” (Olfato), “Touch” (Tacto), “Intuition” (Intuición), “Look” (Mirar) y “Listen” (Escuchar) para determinar el problema como el operario lo percibe. Esto con la intención de acelerar el proceso. Los operarios forman parte de los diagnósticos, inicio y aprobación luego de que las intervenciones son hechas y luego se introduce mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), análisis de modo de falla (FMEA por sus siglas en inglés) y se establece que el primer acercamiento de mantenimiento sea hecho por el operador capacitado de acuerdo con una iniciativa de Mantenimiento Productivo Total (Bannister, 2007).

En general, las compañías no especifican un rubro específico de manufactura en las soluciones que ofrecen, no hacen diferencia entre que producto se está fabricando o los servicios asociados y por lo tanto se puede determinar que existen problemas transversales a los productos que estas empresas manufacturan (Armstrong, 2016). Las compañías tienen en común que desarrollan una actividad productiva, pero lo más importante es que sus procesos son manejados por personas. Si el elemento en común es el uso de personas y diferentes compañías ofrecen soluciones para diferentes rubros productivos donde se involucra la relación operador-mantenedor, entonces la solución radica en cómo las personas se relacionan en el ambiente de producción.

3.3.2 El enfoque en las personas

Sin importar que tan bien equipadas con técnicas de manufactura avanzada estén las instalaciones, son los operadores, no los encargados o sistemas, los que afectan estas pérdidas (Yamashina, 1995). Por lo tanto, se reconoce la necesidad de que operadores y personal de mantenimiento alcancen un entendimiento mutuo y compartan responsabilidad por los equipos (Jostes & Helms, 1994). Este es el enfoque a las personas que justifica y dirige el desarrollo de la metodología a proponer.

3.3.2.1 Los roles del operador y mantenedor

Chan describió en 2005 las labores que Operación y Mantenimiento realizan respecto a la exposición de defectos ocultos en el contexto del Mantenimiento Productivo Total (TPM), pero esta definición aplica para la gestión de disponibilidad en general. TPM como metodología se encuentra abordado en la sección de Estado del Arte.

Tabla 1. Roles del operador y mantenedor de acuerdo con Chan. (2005)

Rol del operador	Rol del mantenedor
<ul style="list-style-type: none"> Mantener las condiciones básicas del equipo Mantener las condiciones operacionales Descubrir deterioro y anomalías, principalmente por inspección visual. Mejorar habilidades tales como la operación del equipo, preparación, ajuste e inspección visual. 	<ul style="list-style-type: none"> Proveer apoyo técnico para las actividades AM Restaurar deterioro y monitorear la condición y las mejoras por medio de intervenciones Clarificar los estándares de operación por medio del rastreo de las debilidades del diseño, haciendo mejoras apropiadas. Mejorar habilidades de mantenimiento como los <i>check-ups</i>, monitoreo de condiciones, inspecciones y mejoras.

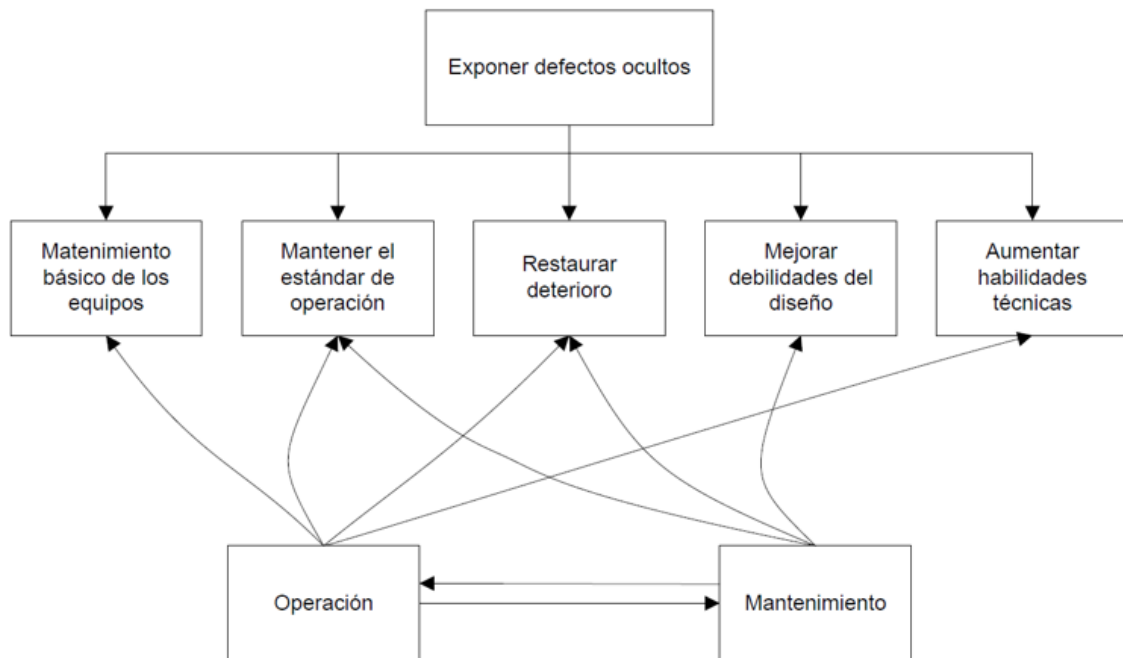


Figura 3. Relación entre operación y mantenimiento respecto a la exposición de defectos ocultos de los equipos en TPM (JIPM, 2015).

El diagrama de la Figura 3 muestra un solapado en las actividades:

- Mantener el estándar de operación (operación adecuada e inspección visual).
- Restaurar deterioro, a través de inspecciones, al igual que mejoras y monitoreo de condiciones.

Idealmente, de acuerdo con Co (1998) todos aquellos comprometidos al equipo deben cooperar y entender el rol de todos los demás.

3.3.3 Conversaciones para la acción

De acuerdo con Flores (2015) la comunicación es generalmente pensada como la transmisión de deseos e intenciones para el futuro y la “acción” como lo que nuestros cuerpos hacen para cumplirlas. Sin embargo, en su ensayo *Conversaciones para la Acción* propone que el mero acto de conversar es la misma esencia de la acción y no su preludio.

Para el caso de dos interlocutores, Flores propone una estructura básica de la conversación como esencia de la acción:

1. **Petición u oferta:** Donde uno de los interlocutores solicita algo del otro, u ofrece hacer algo por el otro. Esta fase puede verse acompañada por una *negociación* (la aparición de *contraofertas*) en algunos casos.
2. **Promesa o aceptación:** Se hace un acuerdo para el futuro, un tiempo determinado o generalizado junto a la aceptación de la petición u oferta. Donde se acuerda que se harán 2 declaraciones. Se dan a entender las condiciones de cumplimiento y satisfacción, este proceso de entendimiento se llama “*coordinación*”.
3. **Declaración de cumplimiento:** Una declaración en la que el interlocutor que ha hecho la oferta o al que le hicieron la petición declara haberla realizado o cumplido de acuerdo con las condiciones de cumplimiento.
4. **Declaración de satisfacción:** Una declaración en la que el interlocutor que ha hecho la petición o al que se le hace la oferta ha visto cumplida la acción de acuerdo con lo acordado cuando se haya cumplido el tiempo acordado de acuerdo con las condiciones de satisfacción.

Esta forma de entender el proceso considera a grandes rasgos cosas como afirmaciones, juicios, confirmaciones y quejas como declaraciones de cumplimiento (o incumplimiento) o satisfacción (o insatisfacción) y que es responsabilidad de los interlocutores entender las condiciones de estas. Esto ya que, si los interlocutores tienen condiciones de cumplimiento o satisfacción distintas sin saberlo, podría no lograrse el cumplimiento o satisfacción.

Flores concluye que dondequiera que las personas estén “*coordinando*” sus acciones, sin importar el idioma que hablen, lo están haciendo de esta forma.

3.3.4 Evaluación de equipos

Considerando lo dicho anteriormente, sobre la necesidad de colaboración entre operador y mantenedor y que aquellos comprometidos al equipo deben entender el rol de los demás, emerge la necesidad de evaluar al conjunto operador-mantenedor como un solo equipo. Para esto corresponde tomar en cuenta como los equipos son evaluados en términos de desempeño de trabajo en equipo. Para esto es tomada en cuenta la investigación de Entin y Entin (2001) y su matriz de comunicación desarrollada para el programa de Arquitecturas Adaptativas de Comando y Control (A2C2) de la marina estadounidense.

ID del equipo _____		Intento _____					Fecha _____					Observador _____				
Tipo y Contenido	Sujeto A hacia:					Sujeto B hacia:					Sujeto C hacia:					
	Sujeto B	Sujeto C	Sujeto D	Sujeto E	Sujeto F	Sujeto A	Sujeto C	Sujeto D	Sujeto E	Sujeto F	Sujeto A	Sujeto B	Sujeto D	Sujeto E	Sujeto F	
Petición	Info															
	Acción y tarea															
	Uso de recursos															
	Coordinación															
Transferencias	Info															
	Realizará acción/tarea															
	Usará recurso															
	Coordinará															
Reconocimiento																

Figura 4. Ejemplo de matriz de comunicación diseñada por Entin, las zonas grises representan que los sujetos no tienen acceso a comunicación con estos receptores (Entin & Entin, 2001).

Con una matriz como la de la Figura 4 se pueden producir las siguientes mediciones de comunicación verbal:

Tabla 2. Medidas de comunicación verbal derivadas de la matriz de comunicación (Entin & Entin, 2001)

Medición	Descripción
<i>Tasa total</i>	
Total de comunicaciones	Número total de comunicaciones por minuto
<i>Tipos de comunicación</i>	
Peticiones de información	Número de peticiones de información por minuto
Trasferencias de información	Número de transmisiones de información por minuto
Peticiones de acción	Número de peticiones de una acción por minuto
Transferencias de acción	Número de declaraciones de acción para ser tomadas por minuto
Peticiones de coordinación	Número de peticiones para coordinar una acción por minuto
Trasferencias de coordinación	Número de acuerdos para coordinar una acción por minuto
Reconocimientos	Número de reconocimientos no sustantivos de recepciones de comunicación (ej. “ok” para reconocer el recibo de información) por minuto
<i>Tasas de comunicación</i>	
Anticipación total	Todas las transferencias de comunicación divididas por todas las peticiones de comunicación
Anticipaciones de información	Transferencias de información divididas por peticiones de información
Anticipaciones de acción	Transferencias de acción divididas por peticiones de acción.

Con estos indicadores se puede determinar la comunicación de los equipos y la ejecución de las solicitudes como indicador de un buen trabajo en equipo. En específico, cuando las anticipaciones son mayores a 1.0 significa que los miembros del equipo están anticipándose a las solicitudes de sus compañeros, indicando buena coordinación y control (Entin & Entin, 2001).

4 Estado del arte

4.1 Metodologías que hacen uso de la relación operador mantenedor.

Dentro de la capacidad de gestionar a las personas y dar un enfoque a la mejora de la disponibilidad se encuentran el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), el mantenimiento basado en el riesgo (RBM por sus siglas en inglés) y el mantenimiento productivo total (TPM por sus siglas en inglés). Por lo que se debe ahondar en el trabajo que estas filosofías realizan para definir como las personas logran sus objetivos y en específico, la mejora de la disponibilidad de los activos.

4.1.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Los primeros autores que escribieron al respecto del RCM en el contexto de la aeronáutica, lo describen como un concepto de planeación del mantenimiento que asegura que los sistemas continuarán haciendo lo que el usuario requiere en su contexto operacional presente (Nowlan & Heap, 1978).

Moubray, continúa el trabajo de Nowlan y Heap y enlista siete preguntas básicas para analizar un sistema para realizar RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?
2. ¿En qué formas falla en cumplir sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla de su funcionalidad?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué formas afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debería hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva idónea?

Estas preguntas permiten identificar la máquina para ajustar el plan de mantenimiento, involucrando posibles modos de falla y sus efectos, posibles medidas preventivas o predictivas y es recomendable que todos los colaboradores participen de este proceso tanto operadores como encargados de producción (o que el encargado involucre su aporte para responder las preguntas). Especialmente para preguntas que conciernen funciones, desempeño esperado, efectos de la falla y consecuencias de esta (Moubray, 2001).

Una vez se ha realizado el plan de mantenimiento para un activo al cual se le considera que puede beneficiarse en buena medida del proceso de RCM, se han asignado los recursos correspondientes, se ha asignado y capacitado quien realizará y revisará los análisis y que el contexto de operación del activo es entendido, se deben armar equipos de trabajo que incluyan, al menos una persona de mantenimiento (que realiza las reparaciones e interviene el activo) y una de operaciones (que opera el activo). Los aspectos más importantes son el entendimiento del activo y su funcionamiento, más que el rango de la persona.

El especialista más capacitado en RCM dirige el equipo, representado en la Figura 5, el cual se conoce como Facilitador y su rol consiste en:

- Asegurarse que el análisis RCM sea llevado al nivel correcto, donde los límites del sistema estén claramente definidos, los ítems irrelevantes sean ignorados y los análisis sean registrados correctamente.
- Encargarse de que los miembros del equipo entiendan y apliquen correctamente RCM.
- Hacer que el equipo llegue a un consenso de forma clara y ordenada, manteniendo el compromiso y entusiasmo de los miembros individuales.
- Asegurarse que el análisis progrese de forma razonablemente rápida y termine a tiempo.

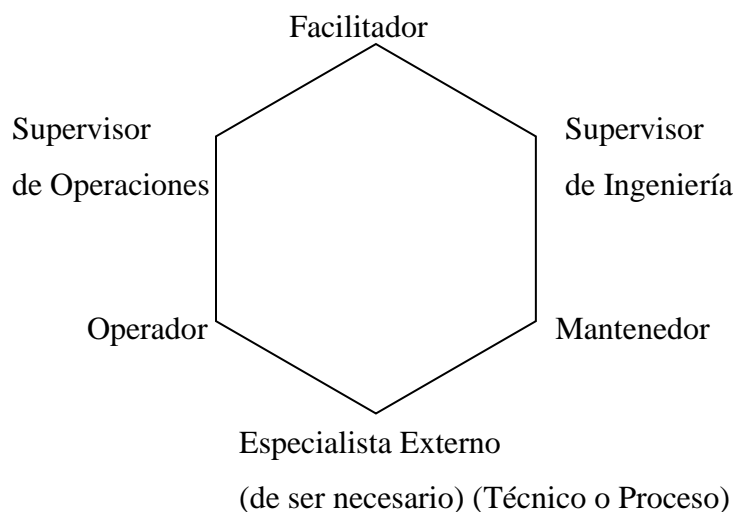


Figura 5. Un equipo RCM típico (Moubray, 2001).

De un análisis RCM se esperan tres resultados tangibles:

- Las intervenciones de mantenimiento son programadas por el departamento de mantenimiento.
- Se tienen procedimientos de operación revisados para el operador del activo.
- Una lista de áreas donde cambios únicos deben ser hechos al diseño del activo o su forma de operación, para lidiar con situaciones en las cuales el activo no puede entregar el desempeño deseado en su configuración actual.

RCM establece que hay poca o ninguna relación entre el tiempo que un activo ha estado en servicio y que tan probable es que falle. Sin embargo, a pesar de que muchos modos de falla no están relacionados con el tiempo del activo, la mayoría de ellos dan algún tipo de advertencia de que están en el proceso de ocurrir (Moubray, 2001).

Para predecir este proceso, RCM toma el análisis de la curva P-F que determina el comportamiento del activo cuando empieza a fallar. El punto P representa el momento en el que un mal funcionamiento es detectable y la falla es potencial y el punto F es el punto de la falla. RCM intenta que las intervenciones se realicen en el punto P, siempre que el tiempo entre P y F lo permita.

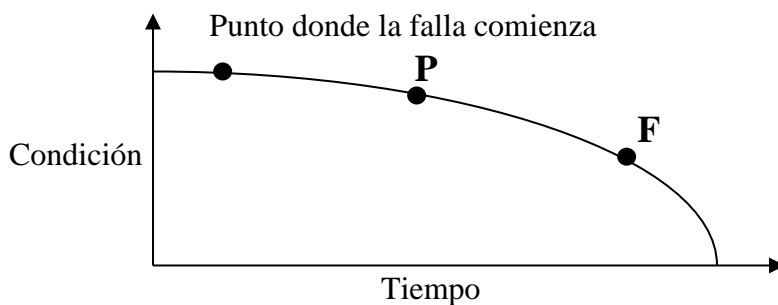


Figura 6. Curva P-F (Moubray, 2001).

Cabe destacar que RCM no considera que el punto donde la falla comienza en la Figura 6 tenga relación con la edad, sino que con el desgaste o uso. El punto P también se le conoce como Punto de falla Potencial y al ser una condición identificable, indica que una falla de funcionalidad está ocurriendo o está a punto de ocurrir. El tiempo entre este punto y el punto

de falla **F** pueden ser segundos o décadas por lo que dependerá de la capacidad de detectar la falla potencial y el tiempo entre esta y la falla para hacer intervenciones. Este trabajo es predictivo en el sentido de que se está queriendo arreglar una falla que aún no ocurre (y de la que no sabe si ocurrirá) en base a su condición presente. Esta aproximación también se le conoce como Manteamiento Basado en Condición.

4.1.2 Mantenimiento basado en riesgo

De acuerdo con Khan (2003) el trabajo en mantenimiento basado en riesgo empieza orientado en la industria de transporte de petróleo y sus cañerías, para luego moverse hacia hospitales. Es decir, ámbitos de la industria química donde la falla de un activo puede causar enormes pérdidas en ganancias o la pérdida de vidas. Posteriormente, se desarrolló hacia la industria en general.

El mantenimiento basado en riesgo (RBM, por sus siglas en inglés) es un enfoque de planificación y trabajo que toma en cuenta el riesgo, es decir, la probabilidad de falla y analiza su impacto. Aquellos activos que presentan el mayor riesgo e impacto toman prioridad.

RBM hace análisis cualitativos del riesgo respondiendo 4 preguntas:

- ¿Qué puede salir mal tal que se llegue a una falla del sistema?
- ¿Cómo puede salir mal?
- ¿Qué tan probable es la ocurrencia?
- ¿Cuáles serían las consecuencias si eso pasara?

Muchas veces estos análisis cualitativos utilizan una matriz de ponderación del riesgo (Figura 7), en la cual se evalúa la probabilidad de falla de los activos y la consecuencia o impacto de la falla. Por consiguiente, el mantenimiento es tratado como un proceso de control del riesgo donde los dueños y encargados deciden si gastar más tiempo en "prevención" (basado en la probabilidad de falla) o "recuperación" (basado en la consecuencia de la falla) (Albrice, 2014).

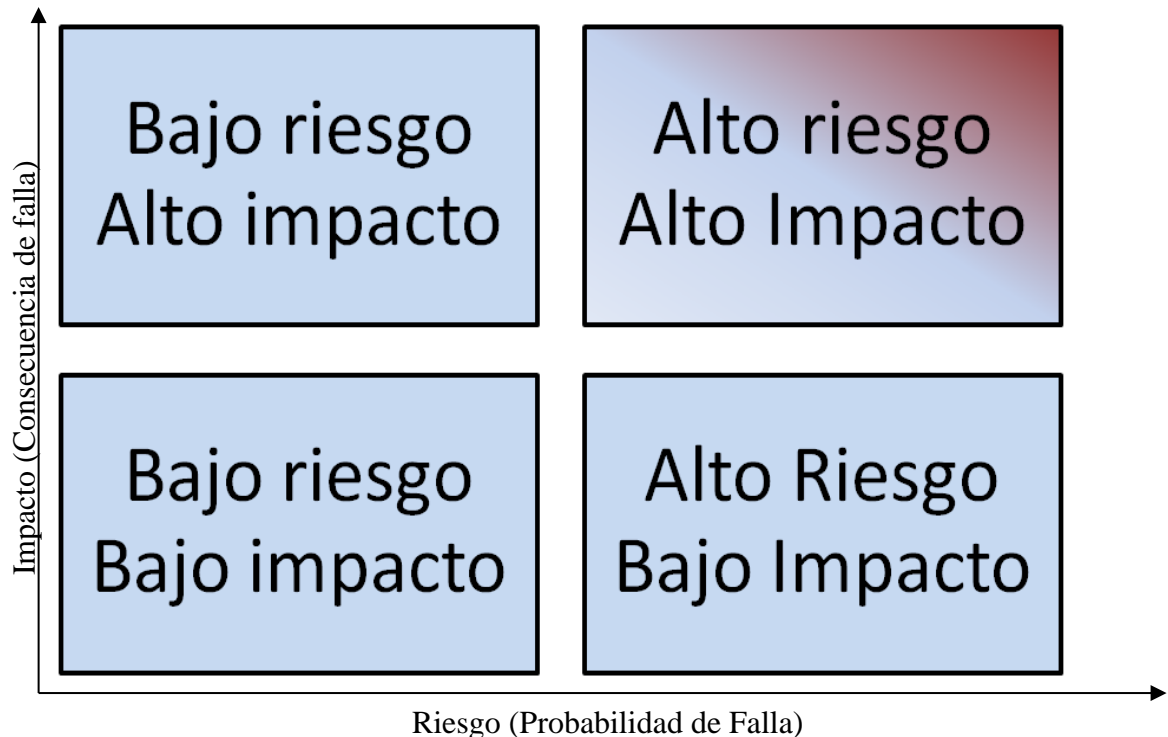


Figura 7. Matriz de riesgo para RBM.

La Figura 7 muestra una matriz, en la que la zona roja representa la zona de alto riesgo y los equipos que contiene toman prioridad en el programa de mantenimiento. Sin embargo, este análisis utiliza ponderaciones de riesgo que tienen poco significado fuera de la matriz misma, ya que solo provee una priorización natural de los activos. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que estos valores son subjetivos y por lo tanto una priorización basada en ellos siempre es debatible (Khan, 2003).

Las 4 zonas tienen diferentes manejos para evitar los eventos:

- **Alto riesgo-Alto impacto:** Esta zona toma prioridad máxima frente a las demás, es donde debe orientarse el gasto de recursos, hacer que el activo trabaje en redundancia y la planificación del mantenimiento debe tomar en cuenta constante monitoreo.
- **Alto riesgo-Bajo impacto:** Esta zona contiene a los activos que no presentan efectos de gran impacto para el sistema si fallan, pero la probabilidad de que lo hagan es alta. Muchas veces se mantienen monitoreados, pero suelen intervenir solo cuando fallan (este enfoque se le llama Run-to-Failure o RTF).

- **Bajo riesgo-Alto impacto:** Estos activos tienen pocas probabilidades de fallar, pero de hacerlo, el efecto podría ser catastrófico. Los eventos que los causan podrían ser una pandemia o un terremoto y tienden a enfrentarse con planes de contingencia, monitoreo activo y constante y tener al activo trabajando en redundancia.
- **Bajo riesgo-bajo impacto:** La probabilidad de falla de estos activos es muy baja, e incluso si fallaran, los efectos no afectarían al sistema de forma significativa, por lo que se recomienda una postura de monitoreo y RTF.

La metodología de RBM se separa en tres módulos principales (Khan, 2003):

1. Determinación del riesgo, que consiste en identificar y estimar el riesgo.
2. Evaluación del riesgo, que consiste en hacer análisis de aceptación y evitación del riesgo.
3. Planificar el mantenimiento considerando los factores de riesgo.

4.1.2.1 Determinación del riesgo.

Este módulo está compuesto por cuatro pasos.

4.1.2.1.1 Primer paso: Desarrollo del escenario de falla.

Un escenario de falla es la descripción de una serie de eventos que podrían llevar a una falla del sistema. Puede tener un solo evento o una serie de eventos consecutivos que lleven a una falla del sistema completo. Las fallas de sistemas tienden a darse en la segunda opción, difícilmente un solo evento causará la falla del sistema completo, son las ramificaciones de este, como eventos secuenciales, las que harán fallar el sistema. La expectativa de un escenario no significará que éste vaya a ocurrir, pero hay una probabilidad razonable de que lo haga.

La creación de un escenario dependerá de las características operacionales del sistema, sus condiciones físicas de operación, su geometría, condiciones de seguridad, etc. Khan (2001) ha desarrollado un procedimiento sistemático para evaluar escenarios de falla en un sistema de procesos llamado MCAS (*máximum credible accident scenario* o escenario de accidente de máxima credibilidad), como alternativa a la metodología de peor escenario posible de las agencias regulatorias.

Los escenarios son puestos en una lista que considera los más relevantes para el sistema en el momento. Tales criterios son proveídos por MCAS y considera químicos involucrados, inflamabilidad o toxicidad de estos, la credibilidad del accidente y luego fabrica la lista (Khan, 2001).

4.1.2.1.2 Segundo paso: Valoración de la consecuencia.

Los equipos son priorizados en base a su aporte al sistema. El análisis de la consecuencia involucra la valoración de consecuencias probables si un escenario de falla sucede.

Inicialmente, las consecuencias son cuantificadas en tres términos.

- **Radio de daño:** El radio del área en el que el daño ocurre.
- **Daño a la propiedad:** Pérdida de paneles de vidrio, cavidades en edificios, etc.
- **Efecto tóxico:** Toxicidad crónica o aguda, mortalidad.

El radio de daño también es utilizado para valorar los efectos en la salud humana, de pérdidas ambientales y de producción. Se utilizan modelos matemáticos de necesitarse en el caso de destellos, explosiones, emisión de toxinas o incendios.

Posteriormente, la valoración de consecuencias es una combinación de cuatro categorías:

1. **Pérdida de desempeño del sistema:** Basada en la opinión de un experto.
2. **Pérdida financiera:** Basada en comparaciones con un monto inaceptable de pérdida.
3. **Pérdida de salud humana:** En la que se comparan los índices de fatalidad inaceptable y factores de distribución de la población.
4. **Pérdida ambiental o ecológica:** En la que se hace una comparación con un factor de daño de área inaceptable, en general $1000 [m^2]$.

4.1.2.1.3 Tercer paso: Análisis de falla probabilístico.

Los pasos clave de esta etapa consisten en desarrollar un modelo de árbol de fallas y datos de confiabilidad humana.

1. **Desarrollo del árbol de falla:** Donde se reúnen las causas alrededor del evento principal, la falla. Se identifica el proceso y su control en su totalidad.

2. **Creación de una matriz de incidencia:** El árbol tomado como un grafo es transformado en una matriz booleana de incidencia. Donde las relaciones de incidencia son determinadas y analizadas para encontrar los conjuntos de corte (los eventos o causas) que causan la falla.
3. **Encontrar los conjuntos de cortes mínimos y optimizarlos:** Los conjuntos de cortes mínimos representan eventos que no son necesarios a considerar en comparación a los otros, se optimizan de acuerdo con las técnicas apropiadas.
4. **Análisis de probabilidad:** Los conjuntos de corte optimizados son usados para estimar probabilidades usando el método Monte-Carlo (Rauzy, 1993). La simulación también ayuda a estudiar el impacto de la falla.
5. **Estimación de los índices de mejora:** El índice de mejora provee una muestra de los impactos de cada causa raíz en el evento final de falla. Se obtienen haciendo la simulación al hacerla dos veces, con y sin la causa. El índice de mejora es obtenido como la medida del cambio de probabilidad de ocurrencia de la falla entre las simulaciones.

4.1.2.2 Estimación del riesgo

Los resultados de los análisis de consecuencia y falla probabilística son utilizados para estimar el riesgo que representa cada falla.

4.1.2.3 Evaluación del riesgo

Este módulo toma los factores de riesgo de una unidad y realiza la siguiente evaluación:

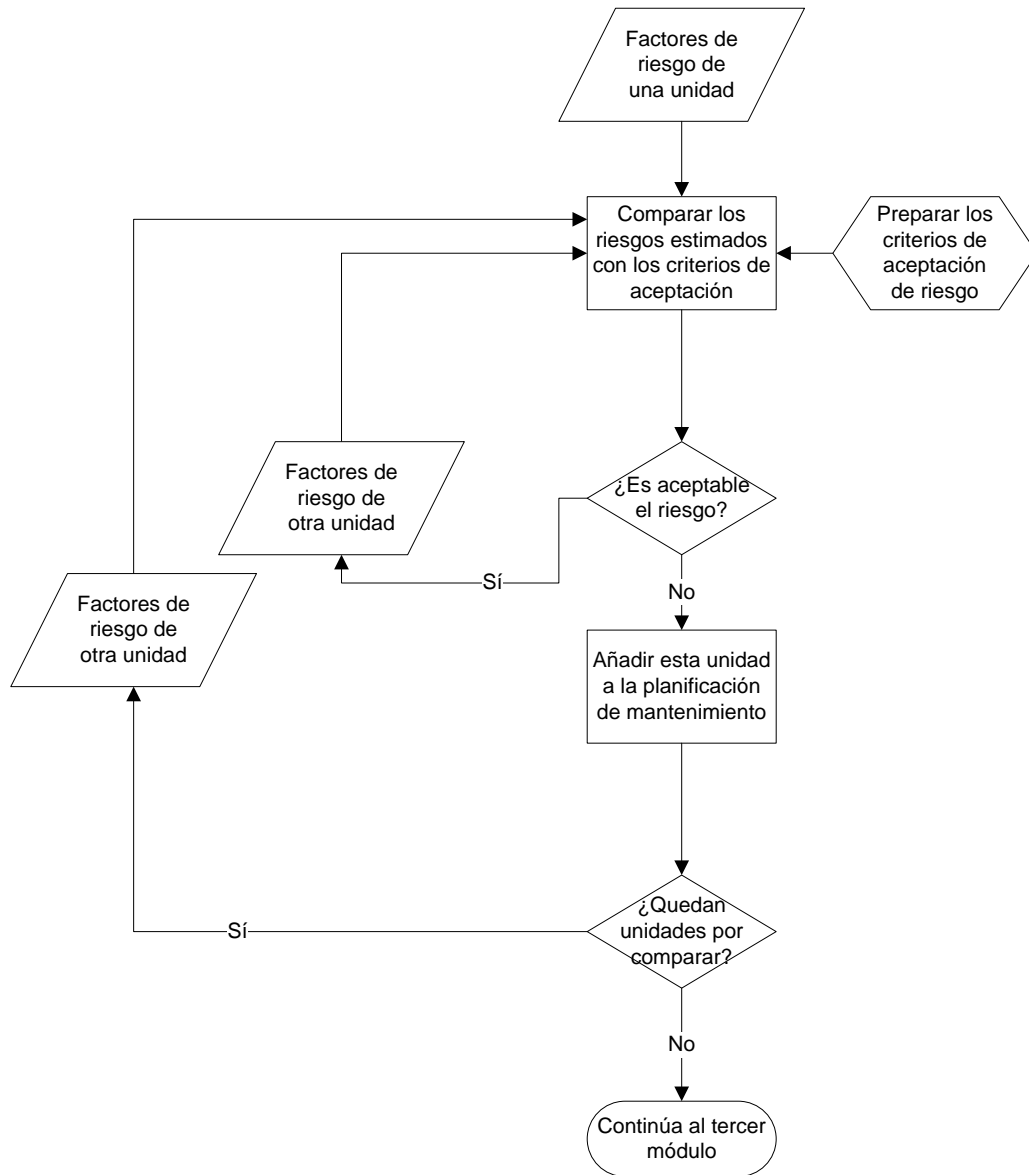


Figura 8. Módulo de evaluación de riesgo (Moubray, 2001).

4.1.2.4 Planificación del Mantenimiento

Cuando el riesgo estimado de un activo o equipo excede los criterios de aceptación, estos son estudiados en detalle con el objetivo de reducir el riesgo a través de un mejor plan de mantenimiento.

1. Se estima la duración óptima del mantenimiento: Se realiza un análisis de falla a la inversa para determinar el valor de probabilidad de falla del evento que es la causa raíz, completando el plan de mantenimiento.

2. Reestimación y reevaluación del riesgo: Se verifica que el plan de mantenimiento produce los niveles de riesgo aceptables para el sistema.

4.1.3 Mantenimiento Productivo total

Mantenimiento productivo total, TPM o Total Productive Maintenance por sus siglas en inglés es un programa de mantenimiento que involucra un concepto de este para plantas y equipos cuyo objetivo es aumentar la producción al mismo tiempo que se aumenta la moral de los empleados y la satisfacción laboral (Venkatesh, 2015).

El concepto fue desarrollado desde la idea del PM (mantenimiento productivo o mantenimiento preventivo) introducido en Japón desde la industria de Estados Unidos y ha experimentado cambios desde los años 80 con la implementación del Mantenimiento Basado en Condición (CBM) (JIPM, 2015). En 1971 Seichi Nakajima aplicaría por primera vez el concepto de TPM para la compañía Nippon Denso Co. Ltd., que creaba partes para Toyota (Venkatesh, 2015).

TPM se vio expandido desde el trabajo inicial de Seichi Nakajima gracias al trabajo del Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM por sus siglas en inglés). Donde se agregaron elementos como los 8 pilares.

Durante su evolución la práctica del mantenimiento experimentó diferentes fases en Japón que serían partes del TPM:

- Mantenimiento Preventivo (PM, alrededor de 1951), es decir, revisión e intervención periódica del equipo para extender la vida útil, previniendo fallas prematuras. Inicialmente mantenimiento basado en tiempo (TBM), donde se intervenía luego de un plazo programado y luego basado en condición (CBM), donde el monitoreo de condiciones específicas y sus valores implicarían intervenir el equipo.
- Mantenimiento Correctivo (CM, alrededor de 1957), es decir, una expansión del mantenimiento preventivo en el cual el equipo es mejorado a tal punto que la falla puede ser eliminada (mejorando la confiabilidad) o el equipo puede ser mantenido más fácilmente (mejorando la mantenibilidad).
- Prevención del Mantenimiento (MP, alrededor de 1960), es decir, una actividad para diseñar el equipo para ser "libre de mantenimiento", tal que los esfuerzos se

concentran para lograr la condición ideal definitiva de "lo que el equipo y la línea deben ser". Esta actividad de mejorar el ciclo de vida del activo realizando PM, CM y MP pasaron a llamarse Mantenimiento Productivo (PM)

TPM presenta 3 rasgos principales que se han ido integrando y desarrollando a lo largo de su historia:

1. Eficiencia económica, logrando que el mantenimiento preventivo sea rentable.
2. Sistema total, uniendo la prevención del mantenimiento, (MP) con el mantenimiento preventivo (PM) y el mantenimiento correctivo (CM).
3. "Jishu-Hozen" por los operadores (Actividades en grupos pequeños).

Ya que las diferentes estrategias y herramientas de Mantenimiento Productivo (PM) tienen en común los rasgos 1 y 2, puede decirse que "Jishu-Hozen" es lo que hace único a TPM. Aunque los rasgos 1 y 2 aún no han alcanzado su potencial completo (JIPM, 2015).

TPM tiene un enfoque hacia la compañía o empresa en su totalidad, sus objetivos son:

1. Establecer una cultura corporativa que maximiza la efectividad de los sistemas productivos
2. Organizar un sistema "genba-genbutsu" para prevenir pérdidas y lograr objetivos de "reducción a cero", tal que se alcance "Cero-accidentes", "Cero-defectos" y "Cero-averías" en el ciclo vital completo del sistema productivo.
3. Involucrar todas las funciones de una organización, incluyendo producción, desarrollo, ventas y administración.
4. Involucrar a cada miembro de la organización, desde la cabeza administrativa hasta los operadores directos
5. Lograr cero pérdidas a través de actividades de grupos pequeños solapados.

En paralelo, una metodología de manufactura se desarrollaba en Japón, conocida como Just-In-Time o JIT que era parte del Sistema de Producción de Toyota (TPS por sus siglas en inglés) la cual se concentraba en mejorar el proceso de manufactura. Una herramienta de este sistema, llamada 5S, fue heredada a TPM y suele ser usada como cimiento para el proceso. En los años 90, el proceso de 5S fue unido a TPM al popularizarse la manufactura LEAN y

junto a los 8 pilares de TPM el sistema ha alcanzado su modelo actual (Womack, Jones, & Roos, 2007).

Las 5S corresponden a:

- *Seiri* (整理) o clasificación: Hacer un análisis del espacio de trabajo para determinar lo que es útil y lo que no lo es.
- *Seiton* (整頓) u Orden: El espacio de trabajo es ordenado, tal que aquello que fue considerado útil se encuentra organizado de forma eficaz.
- *Seisō* (清掃) o Limpieza: El espacio de trabajo es limpiado.
- *Seiketsu* (清潔) o Estandarización: Establecer el nuevo espacio de trabajo y su limpieza como el estándar de trabajo, tal que no vuelva a ensuciarse o desordenarse. También se establecen normas y procedimientos para el trabajo.
- *Shitsuke* (躰) o Disciplina: Todos los esfuerzos realizados son internalizados y fomentados en el ambiente laboral.

4.1.3.1 Disponibilidad en TPM

TPM reconoce 7 pérdidas en el desempeño de los equipos, estas impactan de forma diferente dependiendo como se relacionan al tiempo real de adición de valor.

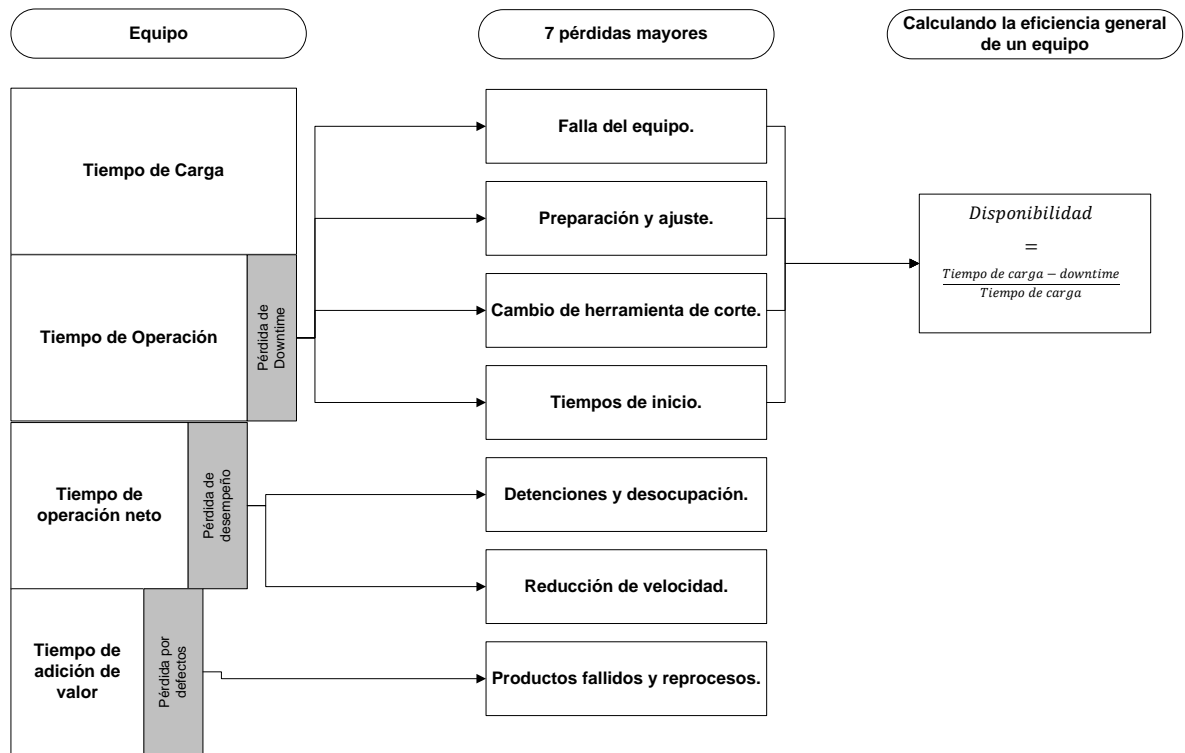


Figura 9. Relación entre los tiempos de operación, las 7 fallas y la eficiencia general del equipo (JIPM, 2015).

La Figura 9 relaciona las primeras 4 fallas con la disponibilidad y describe 2 tiempos adicionales que se pierden a causa de las pérdidas que siguen.

El tiempo de pérdida de desempeño y sus dos fallas asociadas definen el ritmo de desempeño.

Ecuación 2. Ritmo de desempeño.

Ritmo de desempeño

$$= \text{Ritmo de velocidad de operación} \times \text{Ritmo de operación neto}$$

Donde:

Ecuación 3. Ritmo de velocidad de operación.

$$\text{Ritmo de velocidad de operación} = \frac{\text{Tiempo de ciclo estandar}}{\text{Tiempo de ciclo real}}$$

El ritmo de velocidad representa la diferencia entre el tiempo teórico del equipo y el tiempo al cual se está operando una unidad de producto. Representa la pérdida por reducción de velocidad.

Ecuación 4. Ritmo de operación neto.

Ritmo de operación neto

$$= \frac{\text{Unidades de producto procesadas} \times \text{Tiempo de ciclo real}}{\text{Tiempo de carga} - \text{downtime}}$$

El ritmo de operación neto es usado para identificar si el equipo está operando a la velocidad establecida para el tiempo que requieren las unidades. Se utiliza para representar la pérdida por detenciones y desocupación.

La pérdida por productos fallidos y reprocesos se puede cuantificar por la tasa de calidad del producto.

Ecuación 5. Tasa de calidad de productos.

$$\text{Tasa de calidad de productos} = \frac{U. \text{ de producto procesadas} - U. \text{ defectuosas}}{U. \text{ de producto procesadas}}$$

La relación de estas ecuaciones, las siete pérdidas mayores y la eficiencia general del equipo (OEE, *Overall Equipment Efficiency*) es la siguiente:

Ecuación 6. Fórmula de OEE

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Ritmo de desempeño} \times \text{Tasa de calidad}$$

4.1.3.2 Los 8 pilares de TPM

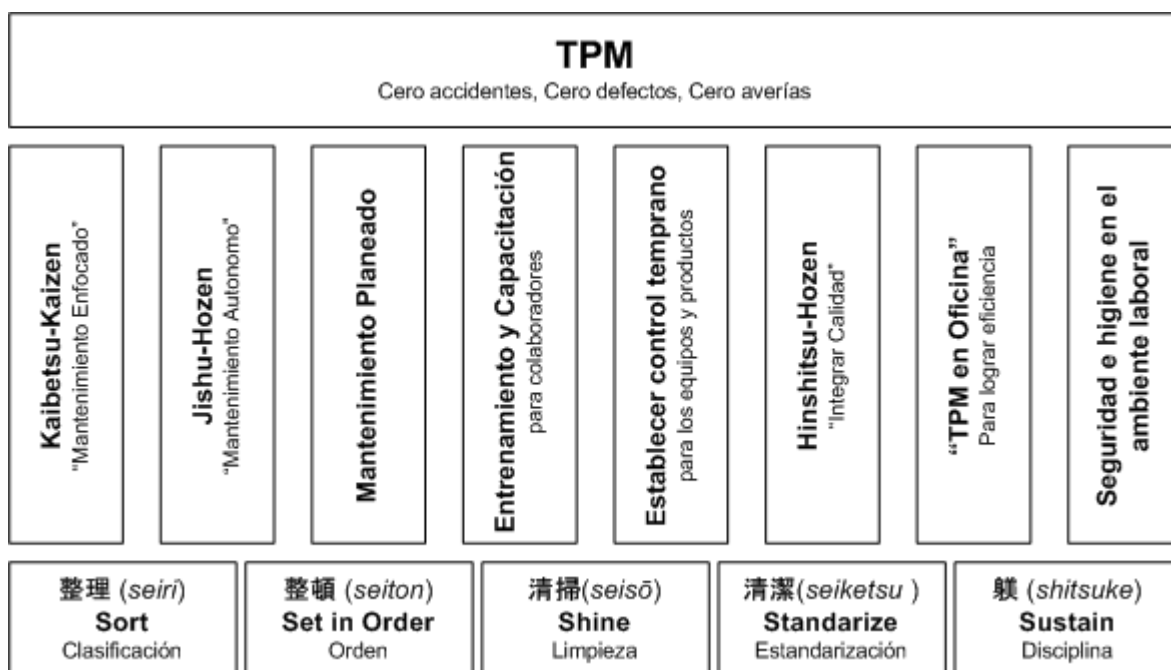


Figura 10. Los 8 pilares de TPM con una base de 5S (JIPM, 2015).

4.1.3.2.1 Kaibetsu-Kaizen o Mantenimiento Enfocado

Se reconocen 16 pérdidas mayores, entre ellas las 7 nombradas en la sección anterior y se busca su eliminación, se ejecuta el análisis de PM con el objetivo de cumplir con "lo que el equipo y la producción deberían ser". Involucra al personal y el jefe de línea.



Figura 11. Las 16 pérdidas que reconoce TPM (JIPM, 2015).

4.1.3.2.2 Jishu-Hozen o Mantenimiento Autónomo

Se ejecutan siete pasos de limpieza e inspección y se espera abordar a los operadores competentes en sus equipos para que puedan realizar este mantenimiento. Involucra al operador del equipo y el jefe de línea.

Estos siete pasos corresponden a:

1. Limpieza inicial.
2. Contramedidas para las causas de equipos sucios y mejorar el acceso a áreas difíciles de limpiar.
3. Establecer estándares tentativos de mantenimiento.
4. Inspección general.
5. Inspección autónoma.
6. Estandarización.
7. Administración autónoma completa.

4.1.3.2.3 Mantenimiento planeado

Lograr eficiencia en el departamento de mantenimiento para eliminar 8 pérdidas mayores por máquinas o equipos, se espera que el plan de mantenimiento permita mejorar la vida útil del equipo y hacer un análisis de fallas y prevenir su recurrencia. Involucra a miembros del personal, al jefe y equipo de mantenimiento y al departamento entero de mantenimiento.

4.1.3.2.4 Entrenamiento y capacitación para los colaboradores

El objetivo es aumentar la habilidad técnica de los operadores y el equipo de mantenimiento con capacitaciones y cursos. Involucra a los operadores y al personal de mantenimiento.

4.1.3.2.5 Establecer un control temprano para los equipos y productos.

Se espera lograr tiempos más cortos para probar nuevos productos, acortar los periodos de desarrollo, diseño y manufactura para nuevos equipos. Los objetivos son:

- Los productos tengan una manufactura sencilla.
- La calidad sea fácil de asegurar.
- Los productos y equipos sean fáciles de usar.
- Los equipos tengan alta mantenibilidad.
- Los equipos tengan alta confiabilidad.

Estos objetivos deben ser asegurados por el diseño del mantenimiento preventivo, el cual debe ser revisado constantemente. Involucra al jefe de línea, al personal de ingeniería de producción y al personal de aseguramiento de la calidad.

4.1.3.2.6 Hinshitsu-Hozen o Integrar Calidad

Se espera lograr "cero defectos" a través de la observación del mantenimiento requerido de los equipos. Se estandarizan las reglas para observar y controlar las tendencias. Involucra al personal de aseguramiento de la calidad, el personal de ingeniería de producción y al jefe de línea.

4.1.3.2.7 TPM en la oficina

Este paso integra a los departamentos administrativos y de gestión de la información en el apoyo al mantenimiento. Busca lograr que no haya pérdidas de funcionalidad y organiza las oficinas para que sean altamente eficientes, se espera que dirijan sus servicios y soporte a los departamentos de producción y mantenimiento. Involucra también a los jefes y personal de ventas y otros departamentos tangenciales.

4.1.3.2.8 Seguridad e higiene en el ambiente laboral

Busca lograr un nivel de "cero accidentes" y crear un área de trabajo limpio y saludable. Involucra al comité administrativo de seguridad, higiene y ambiente laboral, a los encargados del ambiente laboral y al personal de seguridad, aseo y ornato.

4.2 Sistema operativo de BHP

La empresa BHP Billiton ha desarrollado un sistema operativo (BOS) para gestionar la solución de problemas y fomentar una cultura de solución de problemas en los colaboradores (BHP, 2020a). Dentro de este sistema operativo se encuentran una serie de 14 prácticas entre las cuales existen algunas que consideran el desarrollo de procesos estandarizados desde el input del operador como fundamento y así asegurar calidad (BHP, 2020b) y conversaciones para evaluar desempeño de acuerdo con el trabajo realizado cada cierta cantidad de tiempo (revisiones semanales, mensuales, etc.), considerando las rutinas de los líderes para que estos puedan ayudar a mejorar el desempeño y mejorar la adición de valor a los procesos, para esto se vale de hacer visibles el trabajo de los equipos, para que los clientes internos entiendan el trabajo realizado. Estas instancias toman el nombre de diálogos de desempeño (BHP, 2020c).

5 Metodología de desarrollo de la propuesta

5.1 Comunicación como forma de solucionar los problemas

En 2010, el derrame de petróleo del golfo de México, un notorio desastre ambiental, fue causado por una falla de comunicación entre mantenimiento y los operadores de la empresa Deepwater Horizon y sus empresas contratistas respecto a la tapa de concreto en una de las cámaras de contención. En vista que tal elemento fue olvidado y nadie pudo comunicar al respecto hasta que fue demasiado tarde, este problema de comunicación sigue costando miles de dólares en reparaciones y un amplio daño ambiental 11 años después. Tanto Deepwater Horizon como sus contratistas reconocen responsabilidad en su gestión, pero al mismo tiempo culpan igualmente a sus asociados (Pallardy, 2021).

Cuando una crisis originada en la falta o problemas de comunicación aparece, los involucrados tienen dificultad para identificar el evento detonante de la misma y tienden a cargar la responsabilidad en sus colaboradores, como se puede ver en el caso del derrame en el golfo de México.

La idea de que las necesidades de disponibilidad pueden ser resueltas conversando no es ajena a las aplicaciones de estrategias y metodologías de mejora. Por ejemplo, el uso del método “5-¿Por qué?” requiere que el encargado encuentre las causas de los problemas (como por ejemplo detenciones) al preguntarse 5 veces el por qué una situación está sucediendo, este análisis requiere de información provista en primer lugar por los funcionarios de mantenimiento y operaciones (Benjamin, 2015). Por lo tanto, tiene que ocurrir una conversación.

5.1.1 Comunicación en el espacio de trabajo

La comunicación es la transmisión y/o recepción de señales por medio de algunos canales que los humanos interpretan basándose en un sistema probabilístico profundamente influenciado por el contexto. En las organizaciones existen 3 tipos de comunicación que usan los administradores, las primeras 2 corresponden a un mal entendimiento de la comunicación en las organizaciones y la tercera se considera como la mejor forma de entender la comunicación en el espacio de trabajo (Clampitt, 2005), estas son:

- **Comunicación entendida como una flecha:** Estos administradores sostienen la idea de que expresarse claramente hacia sus interlocutores es suficiente para lograr un

entendimiento efectivo, son efectivos y concisos. Sin embargo, suelen olvidar que el significado lo otorga el receptor en su contexto y por lo tanto no es extraño encontrarse con instancias donde el trabajo no cumple expectativas ya que no fue entendido o interpretado como se esperaba.

- **Comunicación entendida como un circuito:** Estos administradores sostienen la idea de que el contenido del mensaje es menos importante que el entendimiento de los interlocutores, generan un ambiente de entendimiento y satisfacción laboral. Sin embargo, suelen olvidar que la satisfacción laboral no equivale directamente a la productividad y que el entendimiento entre los interlocutores no significa necesariamente que se llegará a un acuerdo. Estos ambientes laborales generan ambientes laxos en liderazgo y no cumplen metas.
- **Comunicación entendida como un "baile":** Una fase intermedia entre los extremos que representan los dos anteriores. La efectividad en la comunicación se basa en entender 5 aspectos de esta que al igual que una danza, requieren de práctica y coordinación de los interlocutores:
 - **Coordinación de los significados:** Cuando un administrador o director habla, este debe asegurar que quien lo escucha entiende lo mismo que este está diciendo. Por ejemplo, preguntarle a un empleado que ha llegado tarde *¿Está todo bien?* puede establecer un tono de preocupación por parte del empleado, cuando el administrador pretende un tono de desaprobación.

"Ambos bailarines deben saber los mismos pasos"
 - **Co-orientación de los interlocutores:** La comunicación efectiva requiere de co-orientación de los interlocutores, al igual que los bailarines se orientan al observarse unos a otros para moverse en sincronía o responder a tiempo, los interlocutores deben guiarse el uno al otro en la conversación.
 - **Reglas implícitas de conversación:** A lo largo del desarrollo de la comunicación, las personas llegan a la edad adulta con ciertas "reglas" que definen como responderán a ciertos actos comunicativos. Por ejemplo, un trabajador que salude a su compañero de trabajo con una broma sobre su desempeño en el partido de fútbol de la empresa puede quedar sorprendido de que aquel compañero tome ofensa. Pues la regla del trabajador *"iniciar*

conversación con una broma a expensas del otro" y "tomar las bromas a mis expensas como insultos" del compañero, son incompatibles.

- **Habilidad inconsciente del interlocutor:** Al igual que caminar, hablar y bailar, aprender a conversar es un proceso de adquisición de habilidades por medio del aprendizaje que experimenta *automaticidad* (Schneider & Chein, 2003), tal que con práctica constante se transforma en una habilidad que se realiza de forma inconsciente.
- **Patrones de la actividad conversacional:** Cuando las reglas de interacción de los interlocutores interactúan entre ellas en la conversación, se generan patrones de conducta. Así como jugadores de ajedrez pueden reconocer el "estilo de juego" de sus contrincantes y acomodarse según lo que perciben de acuerdo con sus reglas. Sin embargo, se debe tener cuidado de no entrar en patrones de comunicación abrasiva por reglas incompatibles.

5.2 Paralelos a los Juegos de Rol

Los juegos de rol corresponden a juegos (por lo que cuyo fin es la diversión de los participantes) en los cuales los jugadores asumen papeles de personajes en un escenario ficticio. Los jugadores ejecutan dichos roles ya sea actuando, o a través de un proceso estructurado de toma de decisiones. Las acciones que se realizan durante el juego pueden ser exitosas o fallidas de acuerdo con un sistema formal de reglas y directrices llamado sistema de juego. A partir de las mismas, los jugadores tienen la libertad de improvisar; sus acciones y elecciones guían la forma y el desarrollo del juego (Botero, 2011). Muchas veces en estos juegos uno de los jugadores toma el rol de árbitro o narrador.

En general, los juegos de rol son cooperativos en el sentido de que, aunque los objetivos de los personajes no estén alineados las condiciones de éxito o fallo no afectan a un solo jugador, sino al grupo entero. Es de esta forma que la relación operador-mantenedor presenta paralelos con los jugadores de este tipo de juegos, ya que el éxito de la gestión de disponibilidad de los equipos depende del éxito de la estrategia de mantenimiento y la producción (aquello para lo que los equipos se usan) depende de la estrategia de operaciones. Las condiciones de éxito o fallo afectan a ambos incluso si sus objetivos aparentemente no están alineados. Por lo cual, tomar elementos de cómo se tiene éxito en estos juegos y como

se logran los objetivos es pertinente para realizar una intervención que busca la mejora de la disponibilidad.

Es deseable un acercamiento a los juegos de rol, ya que se ha visto en estudios psicológicos que los jugadores pueden aprender sobre ellos mismos en el acto de jugar (Valenzuela, 2019). Este autoaprendizaje se transforma en un aporte al entendimiento del valor y aporte del operador y mantenedor por ellos mismos y posiblemente entre ellos.

5.2.1 Gamificación

El término gamificación (del inglés *gameification*) en los juegos de rol como metodología (esto es, el uso del juego de rol con un objetivo distinto a la diversión) refiere a este concepto en general, entendido como la aplicación de elementos de juego en ambientes que no corresponden a un juego, usando elementos de juegos de rol. Por ejemplo, pedirle a un grupo de colaboradores en una empresa que creen una *hoja de personaje* basada en sus habilidades (García & Faret, 2021). Cabe destacar que la gamificación no busca transformar el trabajo en juego sino añadir elementos de juego a las prácticas del trabajo para lograr objetivos de este. Se espera entonces que la propuesta incluya elementos de los juegos de rol para su desarrollo.

5.3 Desarrollo de la propuesta

La información del Capítulo 4.1 habla sobre tres técnicas y herramientas que pueden usarse en conjunto o por separado (RCM-RBM-TPM) para la gestión de activos y la mejora continua. Todas tienen en común actividades grupales para el personal de operación y mantenimiento, por lo cual es necesario tener en cuenta la relación operador-mantenedor y la capacidad que este personal tiene para trabajar en equipo.

Cuando se trabaja en equipo o se organiza un grupo de personas para que trabajen en equipo, se requiere una capacitación para dirigir a las personas (liderazgo), la capacidad de que los participantes puedan trabajar por sí mismos para cumplir los objetivos (delegación efectiva) y que los miembros del equipo entiendan las necesidades del otro (empatía). Estos términos deben ser manejados por los miembros de un equipo y su responsable, ya que cuando los equipos se capacitan en trabajo en equipo y manejan conceptos sobre el mismo el resultado del trabajo en equipo mejora (Hirschfeld & Jordan, 2006). Por lo tanto, es importante que los equipos de trabajo entiendan estos conceptos como importantes, incluso

si una metodología de mejora no será implementada necesariamente, el equipo tendría un mejor desempeño trabajando junto.

Sin embargo, dominar los requerimientos para el trabajo en equipo por sí solos no garantiza que el equipo no falle, pues los roces que pueden causar una mala relación operador-mantenedor son multicausales y pueden ser difíciles de resolver en primera instancia. Entender que es lo que los mantenedores pueden hacer para no afectar a los operadores es tomar en cuenta sus necesidades (dado que los programas RCM-RBM-TPM hayan establecido previamente la importancia del mantenimiento en la mentalidad de la compañía, en especial de los operadores), es el primer paso y esto conlleva entender estas necesidades. Por lo que se incluyen a la propuesta herramientas que evalúen y fomenten el crecimiento de la capacidad del equipo para entenderse y comunicarse.

5.3.1 ¿Qué debe solucionar la propuesta?

De acuerdo con el análisis de la relación operador mantenedor hecho por Misztal y Butlewski (2014), existen cuatro aspectos importantes que los operadores esperan de los mantenedores y son:

- Los mantenedores deben reaccionar rápido a la aparición de fallas.
- Los mantenedores entienden la importancia del trabajo de los operadores.
- Los mantenedores están dispuestos a ayudar a los operadores y proveer guía.
- La información del operador sobre el estado de la máquina es tomada en consideración cuando se planea el soporte técnico.

Para proponer la metodología, corresponde referirse a las pérdidas establecidas por TPM en la Figura 9, ya que contrastan diferentes formas de perder disponibilidad, por lo que pueden asociarse a la disponibilidad del equipo y al *downtime*. Si reescribimos estas necesidades en términos de las pérdidas se tiene:

- Si el equipo falla, los mantenedores deben ser capaces de reaccionar rápido.
- Si el cambio de productos tarda demasiado, la presión no recae solo en los operadores
- Si el cambio de herramientas y elementos de desgaste genera pérdidas, los mantenedores pueden guiar a un proceso más eficiente.

- Si el encendido y preparación del equipo tarda demasiado, es el operador el que puede comunicar esta pérdida, ya que es el primero que lidia con ella.

Por lo que mejorar el trabajo en equipo (atender y entender estas necesidades) afecta el reducir estas 4 pérdidas.

Necesidad	Pérdida asociada	Objetivo de la mejora
<p>Los mantenedores deben reaccionar rápido a la aparición de fallas</p>	<p>Falla del equipo. El equipo se avería causando que el proceso se detenga.</p>	<p>El equipo debe ser prioritario en el plan de mantenimiento (RBM-TPM)</p>
<p>Los mantenedores entienden la importancia del trabajo de los operadores</p>	<p>Cambio de herramienta de corte. Tiempo perdido por reemplazar las herramientas consumibles cuando se agotan.</p>	<p>Los tiempos y condiciones de desgaste de las herramientas deben reconocerse y monitorearse. (RCM-RBM)</p>
<p>Los mantenedores están dispuestos a ayudar a los operadores y proveer guía</p>	<p>Preparación y ajuste. Ocurre durante el cambio de productos a fabricar y el tiempo para ajustar el equipo.</p>	<p>El ajuste y preparación del equipo es mejorado considerando al operador (5S-TPM)</p>
<p>La información del operador sobre el estado de la máquina es tomado en consideración cuando se planea el soporte técnico.</p>	<p>Tiempos de inicio. Incurrida durante el encendido del equipo, tomando tiempo para llegar a su estado de operación estacionario.</p>	<p>El plan de operación debe considerar una retroalimentación de los operadores y los tiempos de inicio de los equipos. (RCM-TPM)</p>

Figura 12. Objetivos de mejora de una metodología que trabaja la relación operador-mantenedor.

6 Resultados: “Los 4 diálogos”.

6.1 Los 4 diálogos efectivos para la mejora de disponibilidad

Para que la comunicación sea efectiva y se noten cambios en la disponibilidad, corresponde asegurarse de que lo que el emisor está diciendo sea interpretado por el receptor de la forma esperada. Ya que los roles de emisor y receptor van intercambiándose en una conversación, la comunicación efectiva debe darse en diálogo co-orientado entre interlocutores cuyas reglas de conversación son compatibles. Además, se debe tomar en cuenta el efecto de estas conversaciones en indicadores o unir las conversaciones a actividades de mejora. Las conversaciones toman forma de *diálogos*, que se proponen como la estructura principal del método de mejora, que de acuerdo con las necesidades establecidas en la Figura 12, son los siguientes:

- **Diálogos para mejorar:** Que busca lograr que el plan de mantenimiento de un equipo considere los tiempos (inicio/trabajo/apagado) y retroalimentación de los operadores que usan el equipo en su confección.
- **Diálogos para eliminar fallas:** Que busca que los tiempos de ajuste y preparación del equipo disminuyan, pues se ha asistido al operador.
- **Diálogos para el monitoreo:** Que busca que disminuyan los tiempos de reemplazo de herramientas y elementos de desgaste por falta de colaboración.
- **Diálogos para la planificación de operaciones:** Busca que el equipo se vuelva prioritario en el plan de mantenimiento, disminuyendo las fallas en consecuencia.

Una hoja de trabajo se ha desarrollado para los diálogos y puede usarse durante las conversaciones y su implementación, esta se encuentra en el Anexo A.

En forma general, los 4 diálogos siguen la estructura que se presenta a continuación:

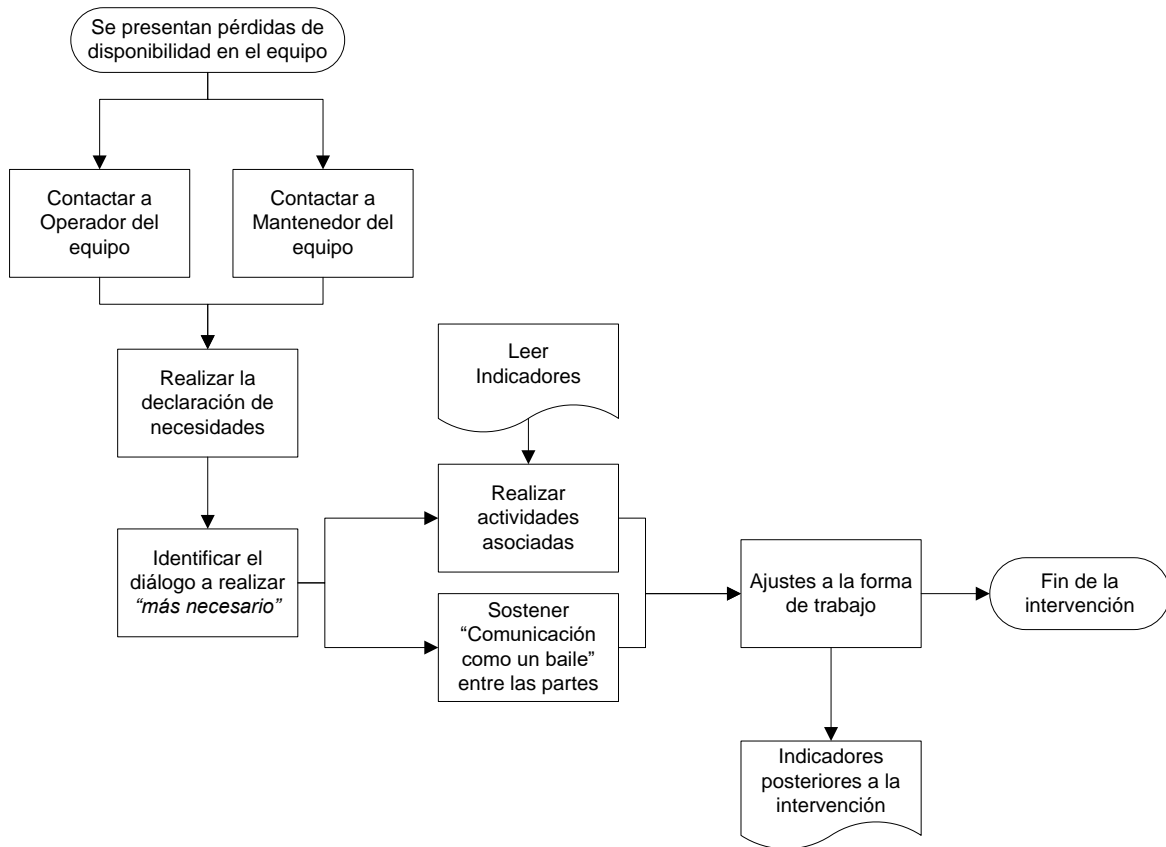


Figura 13. Estructura general de implementación de los diálogos. Se requiere previamente conocer las necesidades tanto del operador como del mantenedor y la información de los indicadores relacionados para ajustar la forma de trabajo.

Para determinar cuál de los diálogos va a realizarse primero se debe pensar en el objetivo de cada uno y esto debe considerar indicadores que puedan usarse para medir. Por lo tanto, la primera parte consiste en determinar el equipo que debe intervenir, ya sea por un registro de detenciones, una matriz de riesgo u otros métodos pertinentes disponibles (tal que el equipo sea el que presente las detenciones más largas o las más frecuentes, “*muchas cortas o más largas*”), para luego determinar las necesidades de operador y mantenedor de acuerdo con el dialogo que se está teniendo en el momento, tal que el objetivo está definido. En instancias más generales donde se vuelve más complejo el definir que diálogo se debe tomar, se procede al siguiente método:

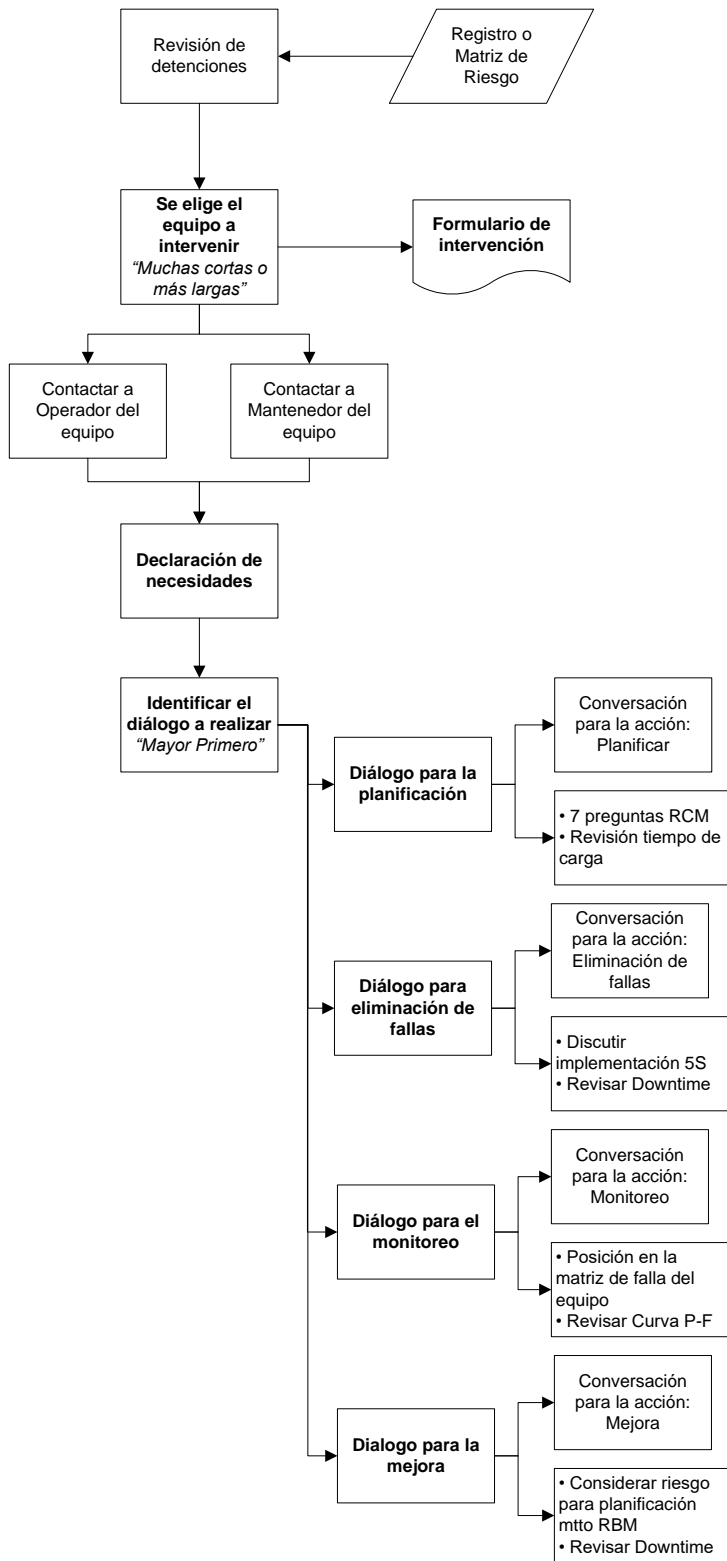


Figura 14. Diagrama completo para determinar el diálogo a realizar.

Diálogo	Objetivo	Acciones asociadas
Diálogo para la planificación	<i>El plan de mantenimiento considera los tiempos y retroalimentación de los operadores</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Responder las 7 preguntas básicas de RCM • Revisar tiempo de carga
Diálogo para eliminar fallas	<i>Ajuste y preparación del equipo disminuye pues se ha asistido al operador</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir la implementación de 5S al espacio de trabajo. • Revisar Downtime
Diálogo para el monitoreo	<i>Disminuyen los tiempos de reemplazo de herramientas y consumibles por falta de colaboración.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar el equipo y considerar su lugar en la matriz de falla. • Revisar Curva P-F
Diálogo para mejorar	<i>El equipo se vuelve prioritario en el plan de mantenimiento, fallando menos en consecuencia.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el riesgo es el necesario, considerar en la planificación de mantenimiento RBM • Revisar Downtime

Figura 15. Objetivos y acciones asociadas a los diálogos ordenados.

6.1.1 Declaración de necesidades

Como se puede ver en la Figura 14, el coordinador de la conversación debe entender las necesidades del operador y mantenedor en un proceso llamado Declaración de necesidades, donde se prioriza el diálogo que se va a tener de acuerdo a cual de las 4 necesidades básicas es la que está menos satisfecha. Para esto, el coordinador debe trabajar en entender las reglas tácitas de conversación en la declaración de necesidades tanto del operador como el mantenedor. De esta forma no dejar lugar a reinterpretaciones o ruido en el proceso de comunicación. Para elegir el diálogo a tener primero, se debe elegir el marcador conversacional que más se repite según el diálogo.

Tabla 3. Declaración de necesidades y marcadores conversacionales del operador para los 4 diálogos.

Diálogo para...	Necesidades declaradas	
	Del operador	Marcadores conversacionales
...la planificación	El operador presenta necesidades respecto a sentirse escuchado respecto al plan de mantenimiento del uso de su máquina o incluido en algún nivel de la intervención de su espacio de trabajo.	Buscar por indicadores de frustración: <ul style="list-style-type: none"> • "No me dejan" • "No he podido" • "Me gustaría" • etc.
...eliminar fallas	El operador presenta necesidades respecto a su incapacidad de hacer el trabajo sin lineamientos luego de una intervención de mantenimiento o la falta de instrucción en la implementación de nuevas iniciativas	Buscar por indicadores de carencia de preparación o necesidad de improvisar: <ul style="list-style-type: none"> • "Esto lo preparo a mi discreción pues..." • "Movieron algo sin decirme" • "Aquí implementan cosas y no nos dicen nada" • etc.
...monitoreo	El operador presenta necesidades respecto a una sensación generalizada de no ser considerado o que su trabajo no es considerado ni valorizado.	Buscar indicadores de falta de motivación o irremediabilidad: <ul style="list-style-type: none"> • "No se para que hago esto" • "Este trabajo no sirve a nadie" • "No tengo aporte" • etc.
...mejorar	El operador presenta necesidades respecto a la falta de velocidad de reacción frente a una falla, tal que se les deja enfrentando la pérdida por si mismos.	Buscar indicadores de abandono: <ul style="list-style-type: none"> • "En esa instancia me quedé solo/a" • "Si aquí pasa algo puedo estar horas sin ayuda" • "No se quien tiene que venir si pasa algo" • etc.

Tabla 4. Declaración de necesidades y marcadores conversacionales del mantenedor para los 4 diálogos.

Diálogo para...	Necesidades declaradas	
	Del mantenedor	Marcadores conversacionales
...la planificación	El mantenedor presenta necesidades respecto al plan de mantenimiento, desconoce las circunstancias y consecuencias de falla del equipo o sus estándares de disponibilidad	Buscar por indicadores de duda: <ul style="list-style-type: none"> • "No estoy seguro" • "No me han dicho" • "No lo he revisado" • etc.
...eliminar fallas	El mantenedor presenta necesidades respecto al plan de implementación del programa de mejora en su espacio de trabajo, cambios de layout o de metodología.	Buscar por indicadores de conflicto de adaptación: <ul style="list-style-type: none"> • "Aun no me acostumbro" • "Es que ahora me movieron esto" • "La nueva forma no me acomoda"
...monitoreo	El mantenedor presenta necesidades respecto a su falta de conocimiento del trabajo del operador.	Buscar indicadores de carencia de información: <ul style="list-style-type: none"> • "No conozco al operador" o "No he hablado con el operador" • "Desconozco el área de trabajo o los tiempos" • "No interactúo con el/ella" • etc.
...mejorar	El mantenedor presenta necesidades respecto a su falta de conocimiento de la criticidad del equipo.	Buscar indicadores de falta de priorización: <ul style="list-style-type: none"> • "Me dijeron que ese equipo no es crítico" • "Tengo otras tareas antes de poder atender este equipo" • "Hay equipos más importantes" • etc.

6.1.2 Acciones asociadas e indicadores

Como se pudo ver en la Figura 15, existen objetivos y acciones asociadas para los 4 diálogos, en las cuales se revisan indicadores.

- **Diálogo para las planificaciones:** Durante las conversaciones el facilitador RCM puede participar respondiendo las 7 preguntas de RCM antes de iniciar el plan de mantenimiento luego de que el coordinador de los diálogos (si es que no son la misma persona) haya determinado las necesidades del mantenedor y operador. Además, se deben revisar indicadores como el tiempo de carga (que puede cambiar con la aparición de defectos o pérdidas de desempeño) y la disponibilidad asociados al manejo del tiempo de inicio.
- **Diálogo para eliminar fallas:** Durante las conversaciones se puede iniciar también un proyecto 5S para reacomodar los espacios de trabajo según corresponda a la eliminación de fallas. Además, se debe revisar el *downtime* asociado a los equipos

que entran en el proyecto como tema de conversación, su tiempo de preparación y tomar los comentarios de operadores y mantenedores.

- **Diálogo para el monitoreo:** Durante las conversaciones el facilitador RCM puede participar para realizar la confección de la matriz de riesgos (la cual puede ser revisada posteriormente en caso de ser necesario reevaluar el riesgo o impacto del equipo, luego de la implementación del plan de mantenimiento) luego de que el coordinador de los diálogos (si es que no son la misma persona) haya determinado las necesidades del mantenedor y operador. Además, se debe confeccionar y revisar la curva P-F de los equipos para que sea tomada en cuenta, pues si una falla ocurre (F) o es insinuada (P) antes de la estimación de la curva esto representa riesgos imprevistos o una mala gestión del mantenimiento e igualmente el *downtime* por pérdidas asociadas con cambios de herramientas y otros consumibles.
- **Diálogo para mejorar:** Durante las conversaciones y siempre que el riesgo analizado lo determine de esa forma, se puede realizar el plan de mantenimiento para los equipos discutidos de acuerdo con RBM. Además, se debe revisar el *downtime*, considerando que este debería bajar por menores fallas en el equipo.

Tabla 5. Tabla resumen de los indicadores de disponibilidad asociados a cada diálogo.

Diálogo	Indicador
Para la planificación.	Tiempo de carga.
Para eliminar fallas.	<i>Downtime</i> por tiempos de ajuste y preparación.
Para el monitoreo.	<i>Downtime</i> por cambio de herramientas y elementos de asociados.
Para mejorar.	<i>Downtime</i> por fallas del equipo.

6.1.2.1.1 Dinámica de juegos de rol.

Para implementar los beneficios al trabajo en equipo desde la comunicación, se añaden a la propuesta elementos importados de juegos de rol. El ejercicio principal importado desde la gamificación de los juegos de rol consiste en una ronda de preguntas en la que los entrevistados como “jugadores” responden a:

- ¿Cuál es el problema a los ojos de [X]?
- ¿Cuál es el problema a los ojos de [X] de acuerdo con [Y]?
- ¿Qué tanto coinciden lo que [X] realmente piensa y lo que él [Y] cree que piensa?

Donde X representa al “jugador”, es decir si esta pregunta es hecha al operador (X), [Y] es el mantenedor y viceversa. La última pregunta se responde como una encuesta donde se evalúa la comparación, una hoja de trabajo se encuentra en el Anexo B.

6.1.3 La conversación

La comunicación es el proceso por el cual las personas co-crean, mantienen y alteran patrones de orden social, pero la coordinación de hablar por esos patrones emerge no necesariamente basada en entendimiento mutuo o una realidad social compartida (Pearce, Harris, & Cronen, 1981). Es por esto que el coordinador de los diálogos debe asegurar la validez de las necesidades de los interlocutores si desea llevar algún diálogo e incluso con esta medida el entendimiento entre operador y mantenedor no está asegurado. Además, manejar la comunicación como un baile co-orientado, coordinar significados y evitar patrones de estancamiento en la conversación por reglas implícitas de los interlocutores es otro deber del encargado de los diálogos.

Finalmente, las revisiones de indicadores deben dirigir la conversación al objetivo, realizar estas actividades o discutir la mejora de indicadores es el fin de la conversación. Si un encargado no es capaz de lograr dirigir la conversación hacia el indicador o actividad, si no puede validar las necesidades de los interlocutores o no puede orientar la conversación para asegurar comunicación efectiva, entonces debería evitar realizar ese diálogo en específico y considerar pasar al siguiente más necesario o si se requieren, realizar capacitaciones adicionales de liderazgo antes de efectuar esta actividad.

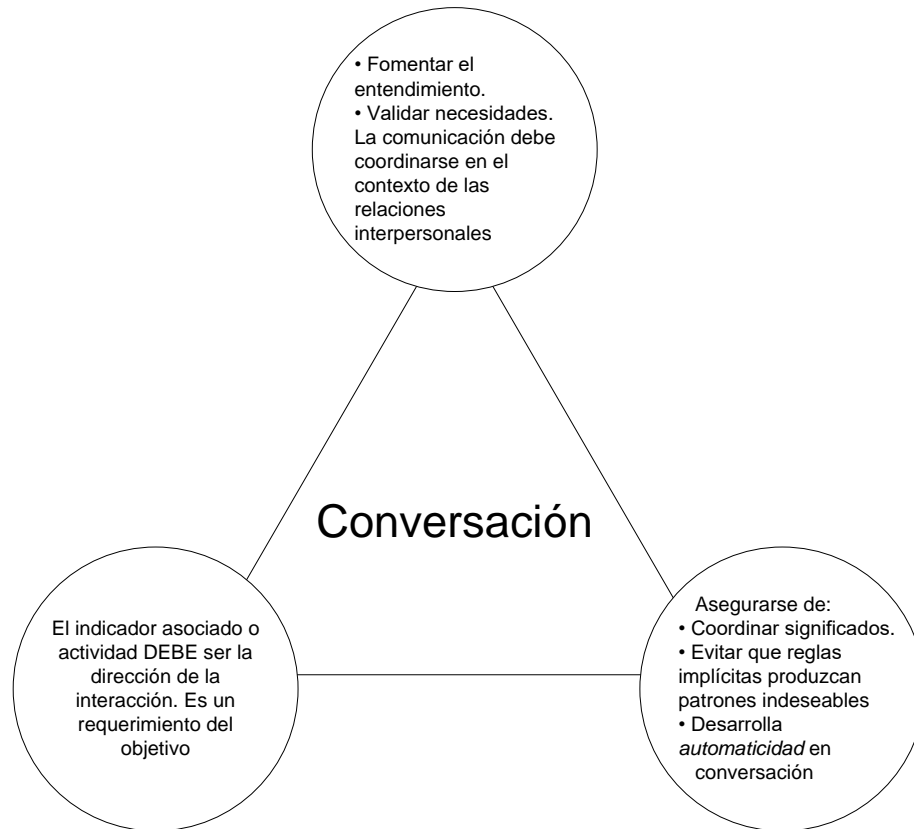


Figura 16. Los 3 requerimientos de un diálogo llevado con éxito.

6.2 Como determinar efectividad

Como se vio en secciones anteriores la comunicación es "como un baile", no se le puede destinar un solo evaluador de efectividad universal. Sin embargo, para los propósitos del objetivo de los diálogos los indicadores y actividades no sólo son indicadores de mejora de sus respectivos objetivos, tales como la mejora de disponibilidad o una alteración del espacio de trabajo y realización de un plan de mantenimiento efectivo que mejoran la disponibilidad, sino también representan los indicadores de una conversación llevada con éxito. La constante revisión de indicadores (tiempo de carga, *downtime* y disponibilidad) y realización de actividades de mejora asociadas cumplen la doble función de evaluar el resultado de las acciones tomadas, entre ellas los diálogos y ser el objetivo de mejora en los diálogos por sí mismos. Es en estas circunstancias que el cumplimiento de objetivo funciona como evaluador de la actividad de forma directa.

En el Anexo A, se añade adicionalmente una hoja en la cual se puede colocar las declaraciones y condiciones de cumplimiento y satisfacción de acuerdo con el modelo de

Flores (2015). Esto para evaluar si se cumplieron los acuerdos, ofertas y peticiones realizadas durante la intervención. De esta forma la intervención puede evaluarse como éxito o fracaso en términos generales.

6.3 Evaluando el equipo operador-mantenedor

En vista de que el enfoque de esta intervención es en la comunicación y el trabajo en equipo, se hace uso de la investigación de Entin (2001) para fabricar una matriz de evaluación de la comunicación del equipo. En vista de que obtener registros o grabaciones de las conversaciones y acuerdos cotidianos de los encargados de operaciones y mantenimiento puede resultar engorroso y en algunos casos acercarse a una falta de ética y las simples confirmaciones o reportes de individuales de los indicadores de comunicación pueden proporcionar poca información o información engañosa. Se ha de establecer un protocolo de manejo de información, donde las solicitudes de información, acción y coordinación deben estar disponibles para consulta. Por ejemplo, el coordinador de la intervención ha de ser copiado en los correos electrónicos o informado de las instancias de comunicación. Esta herramienta de evaluación se encuentra en el Anexo C.

6.4 Diagrama final de la intervención.

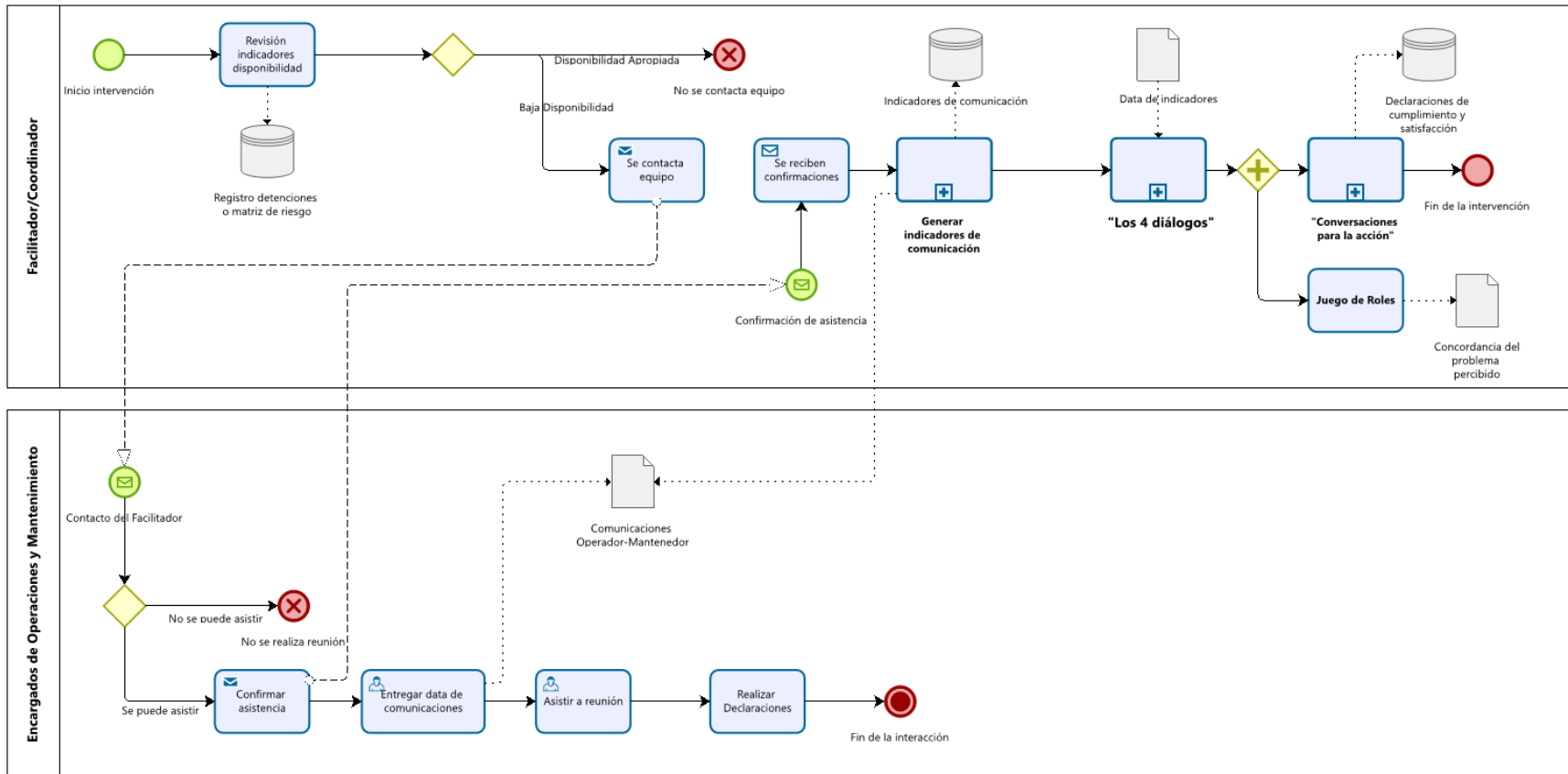


Figura 17. Diagrama de flujo final de la intervención, los 3 subprocesos se encuentran a continuación.

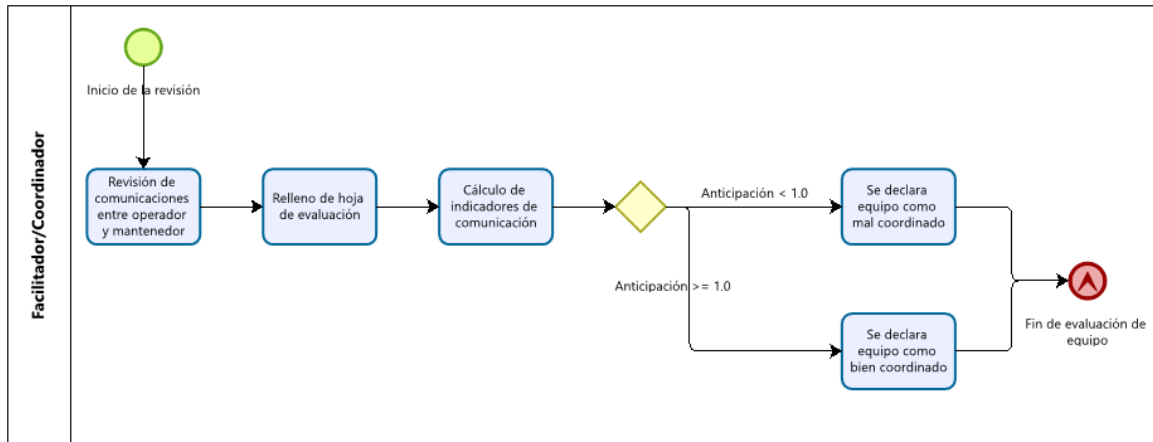


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de generar indicadores de comunicación para evaluar el equipo.

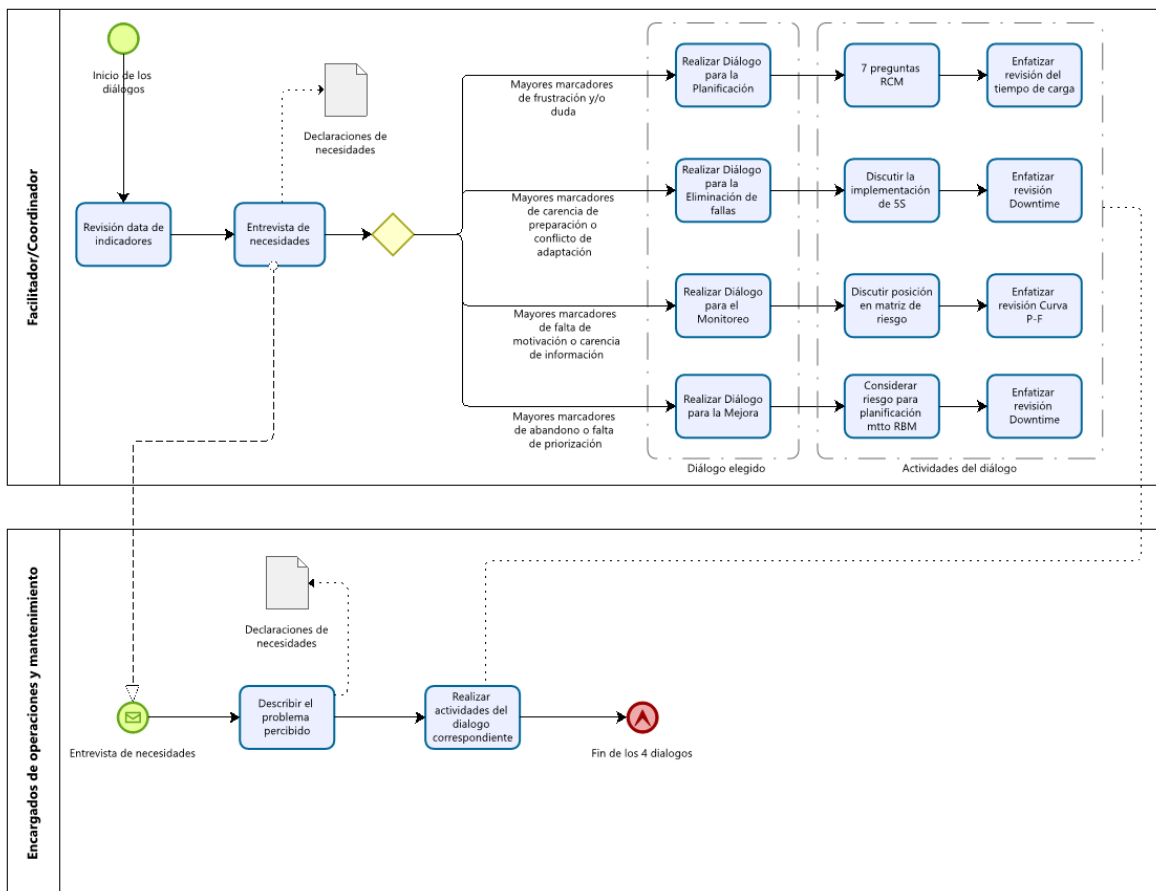


Figura 19. Diagrama de flujo de los 4 diálogos.

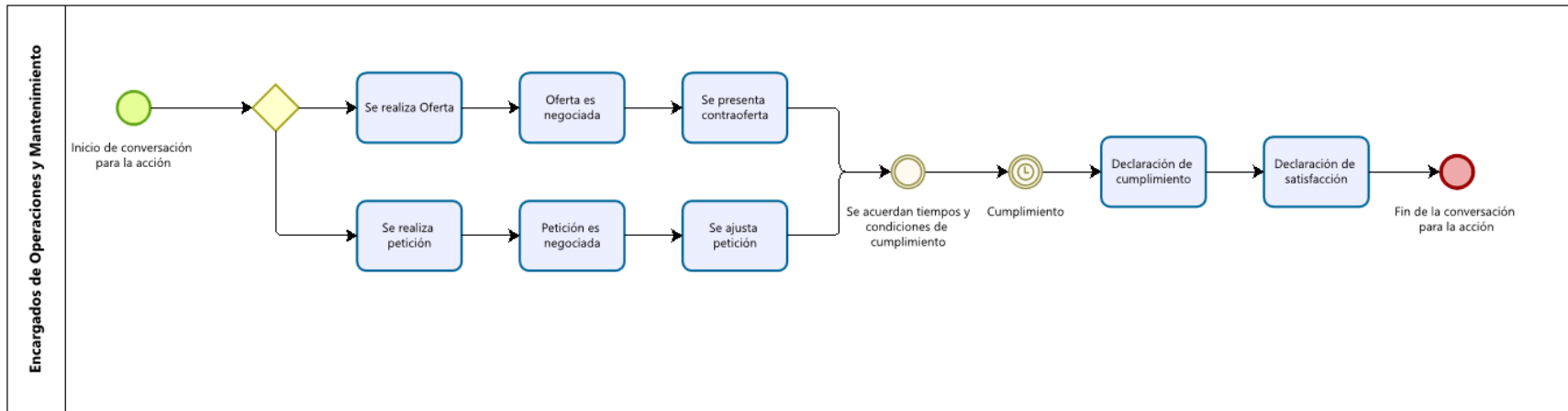


Figura 20. Diagrama de conversaciones para la acción.

7 Conclusiones y recomendaciones futuras

La metodología propuesta para la mejora de disponibilidad realizada requirió de 2 condiciones para efectuarse. La primera está asociada a la disponibilidad y para ello se hace uso de la definición dada por la metodología de Mantenimiento Productivo Total o TPM, donde se relacionan el tiempo de carga del equipo y el *downtime*. La segunda condición es lograr la mejora desde la relación operador-mantenedor, para lo cual primero se evaluaron los fundamentos de su relación enfrentada dada por la naturaleza de la interacción entre ambos cuando los objetivos de sus actividades y tareas se plantean de forma antagónica. Luego, se investigaron prácticas y metodologías que abordan actividades entre operación y mantenimiento para desarrollar un plan de mantenimiento que mejore la disponibilidad, pero que sean tales que esas instancias puedan usarse en beneficio de mejorar la relación, para ello se investigan a profundidad métodos como el Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM), el Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM) a mayor profundidad y se compara con sistemas como el usado por BHP Billiton.

Una vez se tienen los fundamentos de la relación operador-mantenedor, la medición de disponibilidad y las actividades de otras metodologías que toman en cuenta interacciones entre operaciones y mantenimiento, se pueden establecer los objetivos de mejora de la metodología, para eso, se tomó en cuenta el estudio de Misztal y Butlewski en 2014 junto a las pérdidas que afectan la disponibilidad en TPM para asociar las necesidades de los operadores, el trabajo de los mantenedores y las pérdidas que se generan para crear los objetivos de mejora. La propuesta toma la forma de 4 instancias de conversación o **diálogos** ligados a las pérdidas que generan menor disponibilidad

Para evaluar la efectividad y realizar la propuesta de la metodología se requiere de métricas claves que puedan tomarse en cuenta al momento de realizar los diálogos, para ello se usan los indicadores de tiempo de carga y *downtime* como indicadores para el aumento de la disponibilidad. Sin embargo, también existen tiempos asociados a las necesidades de los operadores de cada uno de los 4 diálogos propuestos como parte de la metodología, que pueden utilizarse para contextualizar o evaluar la efectividad de los diálogos de forma individual.

Finalmente, la evaluación de la comunicación efectiva y el desempeño del conjunto operador-mantenedor como equipo se realiza haciendo uso de las herramientas proporcionadas por Flores en *Conversaciones para la Acción* (2015) y Entin (2001) en su matriz de comunicación. Estas últimas pueden evaluar cuantitativamente el estado de la calidad de comunicación del conjunto operador-mantenedor como equipo.

Con todo esto, se ha podido desarrollar una metodología completa que aborda la mejora de disponibilidad desde la gestión de actividades productivas y de gestión hasta la capacidad de comunicación y trabajo en equipo de operaciones y mantenimiento.

7.1 Recomendaciones para el futuro.

En el futuro se recomienda poner a prueba este trabajo en entornos productivos, ya que a pesar de que mucho del trabajo en el que se basa esta metodología ha acumulado prestigio a lo largo de los años, esta combinación particular con un enfoque en la comunicación y relaciones interpersonales para lograr los objetivos aún no ha sido puesta a prueba a esta profundidad. Además, sus bases en la coordinación y comunicación entre personas permiten adaptarlo a ambientes de trabajo más variados, no necesariamente al ámbito productivo sino también de servicios. También es de interés particular desarrollar diálogos adicionales asociados a necesidades de otras partes del proceso productivo y pérdidas identificadas en TPM, tal que no sólo abarquen una mejora a la disponibilidad sino al OEE por completo.

7.1.1 Validación del instrumento

Para validar el instrumento se recomienda realizar una validación por jueces buscando una alta proporción de acuerdos. Se espera un coeficiente de validez de contenido de Hernández-Nieto sobre 0.80. Con las siguientes dimensiones de intervención:

- **Comunicación efectiva:** Los operadores y mantenedores desarrollan un aprendizaje de la naturaleza probabilística del proceso comunicativo en el espacio de trabajo y aprenden una coordinación simultánea al momento de conversar. Esto ayuda a percibir una mejor relación operador-mantenedor (Clampitt, 2005).
- **Capacitación en trabajo en equipo:** Operadores y mantenedores están capacitándose en conceptos de trabajo en equipo que los ayudarán a obtener un mejor desempeño de sus labores conjuntas de aumento de disponibilidad (Co, 1998).

- **Reducción de la indisponibilidad:** La actividad realizada contribuye en la creación o planteamiento de planes de mantenimiento u operación que aseguran menor indisponibilidad en el equipo, ya que las personas involucradas generan menos pérdidas al realizarlas (Yamashina, 1995).

Los ítems para evaluar las sinergias son los siguientes, un ejemplo de documento de evaluación se encuentra en el Anexo D.

- Selección del equipo a intervenir por cantidad o duración de pérdidas.
- Declaración de Necesidades.
- Decisión del diálogo a tomar por “Mayores primero”.
- Actividades asociadas a los diálogos para la planificación.
- Actividades asociadas a los diálogos para el monitoreo.
- Informar a operador y mantenedor sus roles en la conversación para la acción.
- Revisión de indicadores asociados a los diálogos.
- Declaraciones de cumplimiento y satisfacción.
- Actividades asociadas a los diálogos para la eliminación de fallas.
- Actividades asociadas a los diálogos para mejorar.

7.1.2 Mala comunicación como causa raíz

Otra recomendación pertinente para el desarrollo futuro de esta propuesta es un sistema o método que permita determinar el impacto de la mala comunicación como causa raíz de las pérdidas de disponibilidad, tal que las instancias puedan rastrearse hacia esta causa raíz y de esta forma determinar el peso que realmente tienen estos incidentes de la disponibilidad. Para esto, un paso inicial que se recomienda es empezar con los indicadores de anticipación de la evaluación de equipos, en donde se propone que una baja anticipación y la evolución de esta pueda enlazarse a la baja disponibilidad y su evolución.

7.1.3 Aproximación al aprendizaje basado en juego

De acuerdo con García (2021), el aprendizaje basado en juego se refiere al juego activo y consciente de un juego que resulta en el aprendizaje de facultades y competencias que se dan naturalmente en el ejercicio de jugarlo. Es decir, se juega por la experiencia de aprendizaje y no por diversión.

Tomando en cuenta esto, se espera que en el futuro los aspectos de gamificación que presenta este trabajo puedan desarrollarse para transformarse en una experiencia completa de aprendizaje de comunicación efectiva y coordinación de condiciones de cumplimiento y satisfacción.

8 Referencias

- Albrice, D. (15 de Junio de 2014). *Risk-Based Maintenance (RbM)*. Recuperado el 3 de Marzo de 2020, de AssetInsights.net: [https://assetinsights.net/Glossary/G_Risk-Based_Maintenance_\(RBM\).html](https://assetinsights.net/Glossary/G_Risk-Based_Maintenance_(RBM).html)
- Armstrong, D. (24 de 8 de 2016). *Improving the relationship between Operations and Maintenance*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de reliableplant.com: <https://www.reliableplant.com/Read/30583/operations-maintenance-relationship>
- Bannister, K. (1 de Enero de 2007). *The Maintenance/Production Partnership: Part II*. Recuperado el 2 de Marzo de 2020, de Efficient Plant: <https://www.efficientplantmag.com/2007/01/the-maintenanceproduction-partnership-part-ii/>
- Benjamin, S. a. (2015). The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 21 No. 4*, 419-435.
- BHP. (11 de November de 2020a). *BHP Operating System [Video]*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=ygRVHCxnYtI>
- BHP. (24 de Noviembre de 2020b). *Introducción a la BOS Práctica 5 - Estandarizando los procesos y asegurando la calidad [Video]*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=VAZgYBO1FRM>
- BHP. (24 de Noviembre de 2020c). *Introducción a la BOS Práctica 6 - Visualizando y gestionando el desempeño [Video]*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=TeEB4DJgFqc>
- Botero, J. A. (2011). *Propuesta de un juego de rol para evaluar la competencia del liderazgo basado en el metodo de desarrollo de habilidades gerenciales (Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Administrativa)*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas.
- Chan, F. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics Volume 95, Issue 1*, 71-94.

- Chan, F., Lau, H., Ip, R., Chan, H., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics Volume 95, Issue 1*, 71-94.
- Clampitt, P. G. (2005). *Communicating for Managerial Effectiveness 6th Edition*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Co, H. (1998). The human factor in advanced manufacturing technology adoption, an empirical analysis. *International Journal of Operations and Production Management. Vol 18*, 87-106.
- Entin, E. E., & Entin, E. B. (2001). Measures for evaluation of team processes and performance in experiments and exercises. *Proceedings of the 6th International Command and Control research and Technology Symposium*, 1-14.
- Flores, F., & Flores Letelier, M. (2015). *Conversaciones Para La Accion Y Ensayos Seleccionados: Inculcando Una Cultura de Compromiso En Nuestras Relaciones de Trabajo*. North Charleston, SC: Createspace Independent Publishing Platform.
- García, F., & Faret, F. (2021). *Alcances de la Metodología “Juegos de Rol” para el desarrollo de habilidades vinculadas al trabajo en equipo en profesionales del sector TICs*. Santiago de Chile: OTIC-SOFOFA.
- Hirschfeld, R., & Jordan, M. (2006). Becoming Team Players: Team Members' Mastery of Teamwork Knowledge as a Predictor of Team Task Proficiency and Observed Teamwork Effectiveness. *Journal of Applied Psychology*, 467-474.
- JIPM. (2015). *Total Productive Maintenance Training Textbook. Fourth Edition*. Tokyo: Japan Institute of Plant Maintenance.
- Jostes, R., & Helms, M. (1994). Total Productive Maintenance and Its Link to Total Quality Management. *Work Study. 43.*, 18-20.
- Khan, F. (2001). Use Maximum Credible Accident Scenario for Realistic and Reliable Risk Assessment. *Chemical Engineering Progress*, 57-67.

- Khan, F. (2003). Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance /inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 561-573.
- Lee, J., Ni, J., Singh, J., Jiang, B., Azamfar, M., & Feng, J. (2020). Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1-40.
- Misztal, A., & Butlewski, M. (2014). Creating Involvement of Production Workers by Reliable Technical Maintenance. *2014 International Conference on Production Research – Africa, Europe and Middle East and 3rd International Conference on Quality and Innovation in Engineering and Management* (págs. 322-327). Cluj-Napoca: Universidad Tecnológica de Poznan.
- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered Maintenance*. New York: Industrial Press Inc.
- Nowlan, S., & Heap, H. (1978). *Reliability-centered Maintenance*. San Francisco: Dolby Access Press.
- Pallardy, R. (13 de 03 de 2021). *Deepwater Horizon oil spill - Legal action* | Britannica. Obtenido de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill/Legal-action>
- Pearce, W. B., Harris, L. M., & Cronen, V. E. (1981). Communication theory in a new key. (C. Wilder-Mott, & J. H. Weakland, Edits.) *Rigor and Imagination: Essays from the Legacy of Gregory Bateson*, 128-148.
- Rauzy, A. (1993). New algorithms for fault tree analysis. *Reliability Engineering & System Safety* 40, 203-211.
- Schneider, W., & Chein, J. M. (2003). Controlled & automatic processing: behavior, theory, and biological mechanisms. *Cognitive Science Volume 27*, 525-559.
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 238-239.

- Valenzuela, F. (2019). *El Juego De Rol De Mesa:La Persona Y Su Relacion Con El Personaje - El Self narrativo en las personas que juegan juegos de rol de mesa en relación al personaje que crean dentro del juego (Memoria para optar al título de psicólogo)*. Santiago de Chile: Universidad de Chile - Escuela de Psicología.
- Venkatesh, J. (8 de Octubre de 2015). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Recuperado el 3 de Marzo de 2020, de Plant Maintenance Resource Center: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. New York: Simon & Schuster.
- Yamashina, H. (1995). Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 1 No. 1*, 27-38.

Diálogo para...	Marcadores conversacionales encontrados	
	Operador	Mantenedor
...la planificación	<p>Marcadores de frustración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "No me dejan" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No he podido" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Me gustaría" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____ 	<p>Marcadores de duda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "No estoy seguro" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No me han dicho" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No lo he revisado" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____
...eliminar fallas	<p>Marcadores de carencia de preparación o necesidad de improvisar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Esto lo preparo a mi discreción pues..." <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Movieron algo sin decirme" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Aquí implementan cosas y no nos dicen nada" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____ 	<p>Marcadores de conflicto de adaptación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Aun no me acostumbro" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Es que ahora me movieron esto" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "La nueva forma no me acomoda" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____
...monitoreo	<p>Marcadores de falta de motivación o irremediabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "No se para que hago esto" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Este trabajo no sirve a nadie" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No tengo aporte" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____ 	<p>Marcadores de carencia de información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "No conozco al operador" o "No he hablado con el operador" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Desconozco el área de trabajo o los tiempos" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No interactúo con el/ella" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____
...mejorar	<p>Marcadores de abandono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "En esa instancia me quedé solo/a" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Si aquí pasa algo puedo estar horas sin ayuda" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "No se quien tiene que venir si pasa algo" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____ 	<p>Marcadores de falta de priorización:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> "Me dijeron que ese equipo no es crítico" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> • "Tengo otras tareas antes de poder atender este equipo" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • "Hay equipos más importantes" <input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> más de 10 veces: <input type="checkbox"/> • Otro: _____

Situaciones particulares de conflicto en la relación:

Anexo B: Hoja de trabajo para Juego de Roles.

¿Cuál es el problema a los ojos del operador?

¿Cuál es el problema a los ojos del operador de acuerdo con el mantenedor?

¿Qué tanto coinciden lo que el operador realmente piensa y lo que el mantenedor cree que piensa?

Coinciden totalmente Coinciden un poco

No coinciden mucho No coinciden para nada

¿Cuál es el problema a los ojos del mantenedor?

¿Cuál es el problema a los ojos del mantenedor de acuerdo con el operador?

¿Qué tanto coinciden lo que el mantenedor realmente piensa y lo que el operador cree que piensa?

Coinciden totalmente Coinciden un poco

No coinciden mucho No coinciden para nada

Anexo C: Hoja de evaluación de equipo operador-mantenedor.

Fecha _____ Facilitador _____

Operador _____ Mantenedor _____

Tipo y Contenido		Operador hacia:	Mantenedor hacia:
		Mantenedor	Operador
Petición	Info		
	Acción y tarea		
	Uso de recursos		
	Coordinación		
Transferencias	Info		
	Realizará acción/tarea		
	Usará recurso		
	Coordinará		
Reconocimientos			

Peticiones de información		Reconocimientos	
Transferencias de información		Anticipación Total	
Peticiones de acción		Anticipación de información	
Transferencias de acción		Anticipación de acción	
Peticiones de coordinación		Total de Comunicaciones	
Transferencias de coordinación			

Anexo D: Ejemplo de documento de validación.

- A. **Comunicación efectiva:** Los operadores y mantenedores desarrollan un aprendizaje de la naturaleza probabilística del proceso comunicativo en el espacio de trabajo y aprenden una coordinación simultánea al momento de conversar. Esto ayuda a percibir una mejor relación operador mantenedor (Clampitt, 2005).
- B. **Capacitación en trabajo en equipo:** Operadores y mantenedores están capacitándose en conceptos de trabajo en equipo que los ayudarán a obtener un mejor desempeño de sus labores conjuntas de aumento de disponibilidad (Co, 1998).
- C. **Reducción de la indisponibilidad:** La actividad realizada contribuye en la creación o planteamiento de planes de mantenimiento u operación que aseguran menor indisponibilidad en el equipo, ya que las personas involucradas generan menos pérdidas al realizarlas (Yamashina, 1995).

Ítems de evaluación:

1. Selección del equipo a intervenir por cantidad o duración de pérdidas.
2. Declaración de Necesidades
3. Decisión del dialogo a tomar por “Mayores primero”
4. Actividades asociadas a los diálogos para la planificación
5. Actividades asociadas a los diálogos para el monitoreo
6. Informar a operador y mantenedor sus roles en la conversación para la acción.
7. Revisión de indicadores asociados a los diálogos.
8. Declaraciones de cumplimiento y satisfacción.
9. Actividades asociadas a los diálogos para la eliminación de fallas
10. Actividades asociadas a los diálogos para mejorar

En la tabla a continuación, se colocan los ítems de evaluación donde la mayoría de los acuerdos (mínimo 2 de 3 iguales) define la sinergia que se cumple, si estás son iguales a las definidas por el investigador, se añade un 1 en la columna de acuerdos, de otro modo, se añade un cero. Se suma el total de la columna acuerdo como se ve en los ejemplos en rojo.

Ítem	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Investigador	Acuerdo
1	A	C	C	C	1
2	B	B	A	A	0
3				C	
4				B	
5				B	
6				A	
7				C	
8				A	
9				B	
10				B	
Total					
Índice					

El total se divide en la cantidad de ítems y la validación se logra con un índice mayor a 0.8.