PROPUESTA METODOLÓGICA PARA CONTRIBUIR A LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS BASADA EN LA MEDICIÓN DEL OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS)

ANDRÉS FELIPE BETANCOURT PORTELA

HÉCTOR DAVID GRAJALES RESTREPO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2013

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA CONTRIBUIR A LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS BASADA EN LA MEDICIÓN DEL OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS)

ANDRÉS FELIPE BETANCOURT PORTELA
HÉCTOR DAVID GRAJALES RESTREPO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR
PHD. OSCAR RUBIANO OVALLE

CO-DIRECTOR
ING. LUIS ALFONSO TRIVIÑO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

Director PhD. Oscar Rubiano Ovalle

_____

Co-director Ing. Luis Alfonso Triviño

_____

Presidente del jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

Santiago de Cali, Mayo de 2013

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Andrés Felipe Betancourt P.:

A mi madre por su preciado amor, cariño y apoyo brindado. A todo su esfuerzo realizado para que el día al día de hoy este alcanzando esta meta en mi vida, dedico este y cada uno de los logros por venir.

A mis hermanos por el apoyo, comprensión y esfuerzo brindado. Por ser modelos de ejemplo a seguir.

A mi padre por permitirme conocer que las metas se alcanzan con perseverancia y esfuerzo.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Industrial por cada una de las enseñanzas y conocimientos brindados.

Héctor David Grajales R.:

En memoria de mi padre, cuya sabiduría y cariño me enriquecerán toda la vida.

A mi hermana, por su apoyo incondicional.

A mi novia, por todo el tiempo que aceptó mi parcial ausencia, y me acompañó con paciencia y comprensión,

Y para siempre a mi madre, a quien sencillamente, le debo todo.

Al profesor Óscar Rubiano, por el invaluable conocimiento aportado en la ingeniería y por su permanente interés en el éxito de este trabajo.

Al Ing. Luis Alfonso Triviño (Q.E.P.D) por su vital aporte y apoyo a esta obra y por enriquecer inmensurablemente nuestra concepción sobre la dinámica industrial.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 9

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 10

2. JUSTIFICACIÓN 12

3. OBJETIVOS 13

3.1. OBJETIVO GENERAL 13

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

4. MARCO DE REFERENCIA 14

4.1. DEFINICIÓN DEL OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS 14

4.2. MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL MEJORAMIENTO DEL OEE 15

5. OEE: CONCEPTOS, ORÍGENES Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA MODERNA 16

6. DEFINICIÓN DE LOS FACTORES DE PÉRDIDA DEL OEE 20

6.1. DISPONIBILIDAD 21

6.1.1. Pérdidas por averías en los equipos 21

6.1.2. Pérdidas por preparaciones y ajustes 22

6.2. VELOCIDAD 22

6.2.1. Pérdidas provocadas por tiempo de ciclo en vacío y paradas cortas 22

6.2.2. Pérdidas por funcionamiento a velocidad reducida 23

6.3. CALIDAD 24

6.3.1. Pérdidas por defectos de calidad, recuperaciones y reprocesados 24

6.3.2. Pérdidas de funcionamiento por puesta en marcha del equipo 25

7. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN 36

7.1. VALIDEZ DEL SISTEMA DE MEDICIÓN 36

7.2. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y MEDICIÓN 38

8. PROBLEMÁTICA EN LA MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL INDICADOR 47

9. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL OEE 49

9.1. FASE DE IMPLEMENTACIÓN 50

9.2. FASE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO 56

10. DMAIC: HERRAMIENTA SEIS SIGMA PARA LA MEJORA INCREMENTAL DE PROCESOS 61

11. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN DE MEJORAS DEL OEE 65

12. MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO 93

12.1. DEFINICIÓN DEL MODELO 93

12.2. ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO 95

12.3. RESULTADOS SIMULACIÓN 100

13. CONCLUSIONES 107

14. BIBLIOGRAFÍA 110

ANEXO A. TABLA DE PÉRDIDAS COMUNES DE ACUERDO AL PROCESO 113

ANEXO B. FÓRMULAS MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA 114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categoría y objetivos de mejoramiento para cada una de las pérdidas 20

Tabla 2. Indicadores para el control y mejoramiento en sistemas de manufactura asociados a las categorías de pérdidas de eficiencia 30

Tabla 3. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia - Gráfico y análisis de Pareto 39

Tabla 4. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia – Gráfico de Tendencia o de Series Temporales 40

Tabla 5. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia – Histograma o Gráfico de Frecuencia 40

Tabla 6. Herramientas de generación de teorías y análisis de causas – Análisis de Causa-Efecto 41

Tabla 7. Herramientas de generación de teorías y análisis de causas – Diagrama de Relaciones 42

Tabla 8. Herramientas de verificación de causas – Diagrama de dispersión o de correlación 44

Tabla 9. Herramientas de verificación de causas – Gráficos estratificados 45

Tabla 10. Herramientas de verificación de causas – hoja de trabajo para la manipulación del proceso/experimentación 46

Tabla 11. Etapas para la implementación y el seguimiento de la Eficiencia Global del Equipo 50

Tabla 12. Herramienta para la solución de problemas bajo el enfoque DMAIC 63

Tabla 13. Fase Definición de la Propuesta Metodológica 68

Tabla 14. Fase Medición de la Propuesta Metodológica 69

Tabla 15. Fase Analizar de la Propuesta Metodológica 71

Tabla 16. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Cambios y ajustes 76

Tabla 17. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Averías y Calidad 81

Tabla 18. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso pérdidas ocultas 87

Tabla 19. Fase Controlar de la Propuesta Metodológica 91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Las dieciséis (16) grandes pérdidas de los equipos 26
Figura 2. Árbol de pérdidas de disponibilidad 27
Figura 3. Árbol de pérdidas de velocidad 28
Figura 4. Árbol de pérdidas de calidad 29
Figura 5. Plantilla para el registro de datos del OEE. Nota fuente: Elaboración propia 54
Figura 6. Formato para el análisis de Fenómeno. Nota Fuente: Falconi Campos (1992) 59
Figura 7. Diagrama causal 96
Figura 8. Diagrama Forrester 97

INTRODUCCIÓN

Ante la coyuntura de la industria moderna es redundante justificar cómo la apertura económica, el avance tecnológico y la nueva cultura del consumidor, han obligado a las organizaciones a ser más productivas a fin de sobrevivir en un mercado hostil. Los eficientes desplazan a los inferiores porque el precio más bajo, la calidad más alta y el mejor servicio muy pronto se convierten en norma para todos (Hammer y Champy, 1994). Tal escenario le entrega a la gestión productiva un papel fundamental para posicionar a la empresa en niveles de competitividad más altos, lo cual es posible en la medida en que las organizaciones dispongan de las herramientas apropiadas para enfocar sus esfuerzos en los factores críticos de éxito.

Un mecanismo de reconocida utilidad para medir y gestionar la eficiencia en las empresas de manufactura y con el cual se determina qué tan confiable son sus valoraciones y su capacidad para producir con el desempeño esperado, es la Eficiencia Global del Equipo u OEE (siglas en inglés) (Ahmad and Dhafr, 2002). Esta herramienta permite considerar todas las variables que tienen relación con el desempeño productivo de los equipos, de tal modo que analizando sus parámetros fundamentales (disponibilidad, velocidad y calidad) se obtiene información elemental sobre las fuentes de pérdidas de tiempo y producción. Con lo anterior es posible enfocar los esfuerzos en acciones efectivas que impacten aquellos factores que más le restan eficiencia al proceso productivo (Cuatrecasas Arbós, 2000).

De acuerdo a lo expuesto, el siguiente trabajo de investigación se orienta al diseño de una metodología para la recolección, medición y estructuración de la información centrada en la Eficiencia Global del Equipo, con el fin de brindar a la gerencia criterios consistentes para lograr un proceso efectivo de toma de decisiones que conlleven a niveles más altos de competitividad.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dada la diversidad de factores que inciden sobre la Eficiencia Global de los Equipos (OEE) en una planta de manufactura, es difícil prever cuál será la reacción del sistema cuando se interviene una de sus múltiples variables (Cuatrecasas Arbós, 2000). Adicional a esta incertidumbre característica e inherente de cualquier sistema productivo, resulta especialmente agravante que los responsables de la eficiencia operativa carezcan de metodologías para identificar, medir y gestionar aquellas pérdidas que inciden en mayor medida sobre el desempeño del indicador, pues la toma de decisiones orientadas a reducirlas o eliminarlas se convierte con frecuencia en un proceso intuitivo y de escasos resultados.

Si bien es cierto que el OEE logra integrar ingeniosamente los tres parámetros fundamentales de la producción industrial, conocer sólo el tipo de pérdida que está afectándolo es insuficiente. Un bajo índice de calidad, por ejemplo, puede deberse a factores cuya solución no necesariamente residirá en el aumento de los mantenimientos, el cambio de proveedor o más capacitación para los operarios; puede deberse a un mal manejo de la materia prima o ser la consecuencia de un incremento intencionado de la velocidad del equipo. Bajo este contexto, aunque el indicador permita reconocer el componente donde se manifiesta el síntoma (ya sea calidad, disponibilidad o velocidad) no arroja información sobre dónde reside el verdadero problema.

Pese a este universo de posibilidades, la complejidad dinámica del sistema puede ser ventajosa. O'connor y McDermott (1998), aseguran que los resultados pueden obtenerse sorprendentemente fácil si se identifican las conexiones apropiadas del sistema, lo cual no significa que se deba apuntalar la presión, sino saber dónde intervenir para obtener un buen resultado con poco esfuerzo. Es más probable tomar una decisión correcta si se cuenta con las herramientas apropiadas para determinar el nivel de influencia de un factor sobre el desempeño del indicador, de manera que se prioricen las posibles acciones para mejorarlo y la gestión gire alrededor de los principales puntos de apalancamiento.

Es crítico, pues, basar las decisiones tanto como sea posible en datos exactos y oportunos, evitando la inclusión de opiniones, deseos e impresiones desacertadas (Walton, 1988). La razón por la que el pensamiento habitual resulta insuficiente para manejar sistemas, es que tiende a ver secuencias simples de causa y efecto, limitadas en espacio y tiempo, en lugar de una combinación de factores que se influyen mutuamente (O'connor y McDermott, 1998). Incluso la solución aparentemente más lógica puede empeorar la situación, mientras que el verdadero remedio tal vez vaya en contra del sentido común.

Por otra parte, no se trata sólo de capturar datos, sino de crear toda una arquitectura de información que permita el seguimiento y mejoramiento de los factores que inciden sobre la eficiencia, con lo cual la medición se ajustaría adecuadamente en el sistema de toma de decisiones. Se pueden tener muchos datos sobre las causas de un efecto, pero si no se tiende a clasificarlos, estudiar su frecuencia, aislar los principales, y establecer sus relaciones con la finalidad ya sea de poner bajo control el proceso o de mejorar su desempeño, de poco servirán dichos datos y la medición (Domínguez Giraldo, 2004).

Citando a Lord H. T. Kelvin (1824 - 1907):"*Lo que no se define no se puede medir; lo que no se mide, no se puede mejorar y lo que no se mejora, se degrada siempre*". En este orden, si las decisiones no van precedidas de la medición, las acciones que originalmente van destinadas a mejorar la eficiencia, podrán colocar en riesgo el desempeño del sistema productivo. En síntesis, es posible definir el problema bajo el siguiente planteamiento: ¿Cómo orientar la gestión de la información de la organización a fin de identificar las verdaderas pérdidas de eficiencia y lograr un impacto efectivo sobre el OEE?

2. JUSTIFICACIÓN

Dadas las exigencias cada vez mayores del mercado en cuanto al suministro de productos de mejor calidad y bajo costo, las organizaciones se han visto obligadas a proponer planes orientados a alcanzar el mejoramiento continuo de sus procesos los cuales les permitan ubicarse en los niveles exigidos. Sin embargo, para alcanzar el logro de las metas propuestas es necesario que durante la formulación e implementación de los proyectos se consideren las interrelaciones entre las diferentes variables del sistema productivo con el fin orientar de manera correcta cada uno de sus objetivos. De esta forma se ha generado la necesidad de que las organizaciones cuenten con una metodología que, teniendo en cuenta la complejidad dinámica del proceso productivo, les permita identificar, medir y gestionar las pérdidas que influyen sobre la eficiencia.

En cuanto a este propósito, Alfaro Saiz et al. (2008), afirma que los sistemas tradicionales de medición del rendimiento pueden permitir comparar la posición de la organización frente a los objetivos y metas planteados, mas no brindan una explicación del cómo se ha llegado hasta ese lugar. En este sentido, este proyecto de investigación busca ser una guía para las personas implicadas en los procesos de mejoramiento y gestión de los sistemas productivos, a quienes permitirá identificar cada uno de las fuentes de pérdidas durante el proceso, de tal forma que permita orientar la creación de planes de acción enfocados hacia la mejora de la eficiencia del mismo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología de estructuración y evaluación de la información para el mejoramiento de la Eficiencia Global de los Equipos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir el árbol jerárquico de desagregación de factores que inciden en la Eficiencia Global de los Equipos para identificar la respectiva relación con sus indicadores operativos.

- Caracterizar el sistema de medición de la Eficiencia Global de los Equipos a través del análisis de los indicadores operativos identificados.

- Proponer y evaluar escenarios para el mejoramiento de la Eficiencia Global de los Equipos considerando el impacto de los indicadores operativos.

4. MARCO DE REFERENCIA

En la literatura existe una amplia gama de documentos que se orientan a explicar los conceptos que giran alrededor del índice de la Eficiencia Global de los Equipos (OEE), además de los algoritmos para ejecutar el cálculo de cada uno de sus componentes (Dal et al., 2000; Ljungberg, 1998). Adicionalmente la literatura describe algunos enfoques y técnicas para detectar ciertos tipos de fallas, sujeto a metodologías para corregirlos, aunque estudiados de manera aislada y no bajo un enfoque integral (Cuatrecasas Arbós, 2000; Suzuki, 1992).

4.1. DEFINICIÓN DEL OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

Cuatrecasas Arbós (2000), realiza un análisis detallado sobre los aspectos que originan ineficiencias en los equipos de producción, describiendo los algoritmos para su cálculo y cubriendo las tendencias actuales en la gestión del mantenimiento. Adicionalmente, el autor presenta una metodología para la identificación y eliminación de pérdidas crónicas, relacionándolas con el equipo y aquellos componentes o elementos del mismo sobre los que recae su resolución; dicha metodología la denomina el Análisis P – M. Un enfoque similar presenta (Suzuki, 1992), quien recopila técnicas para la identificación de problemas asociados al mantenimiento de la maquinaria.

Muchiri y Pintelon (2008), describen el OEE como una de las herramientas de medición de las diferentes pérdidas de producción e identificación de las áreas de proceso susceptibles de mejoramiento, la cual con el tiempo se ha venido modificando y ampliando de tal forma que se consideren diferentes tipos de factores.

Ucelo Lezana (2008), en su tesis de pregrado, aplica a una empresa el sistema de mejoramiento continuo del OEE que permite identificar de una manera eficaz los paros, además de implementar una metodología de resolución de problemas para identificar y

atacar las causas de las principales pérdidas presentadas por la máquina, aumentando su eficiencia y disminuyendo el desperdicio.

4.2. MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL MEJORAMIENTO DEL OEE

Jonsson y Lesshammar (1999), identifican seis requerimientos: cuatro dimensiones críticas (qué medir) y dos características (cómo medir) de un sistema de medición del desempeño global de producción. A partir de algunos estudios de campo desarrollados en diversas empresas, se demostró que el uso del OEE en combinación con un diseño de organización abierta y descentralizada podría mejorar varios puntos clave del rendimiento global de la organización.

Domínguez Giraldo (2004), coloca a disposición un manual para adentrarse en la construcción, diseño y manejo de indicadores de gestión, describiendo los aspectos característicos de aquellas metodologías que permiten estrategias exitosas. Bajo un enfoque similar, Ríos Giraldo (2009), orienta metodológicamente la utilización de instrumentos para análisis de datos, y cómo tomar acciones correctivas, preventivas y de mejora, a raíz de los análisis efectuados.

Alfaro Saiz et al. (2008) proporcionan una visión de los diferentes sistemas de medición del rendimiento que pueden ser utilizados en cualquier empresa, y las tecnologías de soporte adecuadas para los mismos. Aquí se busca resaltar la importancia que tiene para las organizaciones la utilización de sistemas capaces de medir su rendimiento desde un enfoque integral.

Falconi Campos (1992) propone a directores, gerentes, jefes o cualquier persona que ejercite una función de liderazgo, habilidades para mejorar de manera eficaz la gestión de operaciones de las empresas. De igual manera establece directrices para estandarizar procesos en las diferentes áreas de trabajo y monitorear los resultados.

5. OEE: CONCEPTOS, ORIGEN Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA MODERNA

De acuerdo a Muchiri y Pintelon (2008), el OEE fue descrito por primera vez por Seiichi Nakajima en 1980 planteándose como un componente del TPM en el "TPM Tenkai". Esta metodología nace en el *Japan Institute of Plan Maintenance* (JIPM) como un sistema de control de equipos para aquellas organizaciones con altos niveles de automatización, donde la complejidad de los equipos había hecho que las tareas de mantenimiento se trasladaran a departamentos especializados, eliminando la autonomía de los operarios quienes más conocimiento tienen del equipo que manejan. Es así que con la aparición de este sistema, los trabajadores vuelven a encargarse de ambas tareas y se responsabilizan de que sus máquinas trabajen de manera estable, bajo condiciones de cero averías y cero defectos, dando lugar a un proceso en flujo continuo regularizado y por lo tanto de mayor eficiencia.

El OEE se ha considerado como el fundamento para el mejoramiento de la organizaciones, dado que se enfoca en qué tan efectivamente son utilizadas las operaciones de manufactura, mediante la medición de las pérdidas durante el proceso productivo (Stamatis, 2010). Una vez se han conocido todos los despilfarros y mudas presentes, se permitirá enfocar estrategias de mejoramiento tales como el TPM, el *Lean Manufacturing* o el *Seis Sigma*, para lograr la eliminación de cada uno de los elementos identificados.

La característica principal de este factor clave está en que es una jerarquía de mediciones cuyos resultados dados en porcentaje permiten la comparación entre unidades de manufactura ya sea departamentos, organizaciones, máquinas, e industrias (Stamatis, 2010). Con este tipo de información se pueden realizar estudios de posicionamiento entre las empresas del mismo tipo. Por ejemplo, resultados superiores al 85% para el OEE, hacen que la empresa se considere como una organización de clase mundial (Wang y Lee, 2001), aunque actualmente este valor varía para el tipo de industria: en la industria automotriz con aplicaciones robóticas, el OEE está alrededor del 90%; en la industria de las herramientas maquinarias, está por el 45% y en las extrusiones plásticas alrededor del 95%. Estos rangos establecidos crean la necesidad de implementar, en cada industria, una estrategia

corporativa que oriente la búsqueda del mejoramiento continuo para alcanzar niveles de eficiencia superiores a los estimados para cada sector.

Con el fin de identificar los factores que van a incidir directamente en la eficiencia, es necesario disponer de elementos que permitan su medición. De esta manera, el OEE se define como una magnitud en la cual se evalúa el rendimiento de un sistema productivo en tres diferentes componentes: disponibilidad, velocidad y calidad (Stamatis, 2010). Cada uno de dichos componentes hace referencia directa a las seis grandes pérdidas, las cuales son aspectos del proceso que pueden ser controlados con el fin de buscar el mejoramiento continuo (Cuatrecasas Arbós, 2000).

Adicionalmente, el OEE como indicador, permite ser usado como evaluador de la capacidad de la planta. Desde el momento en que se comienza a utilizar este factor para la búsqueda de mejoras en la eficiencia, las personas responsables de los resultados de la planta deben empezar a hacerse cuestionamientos sobre el tiempo que la máquina está disponible para producir y el que realmente está siendo utilizado. Algunas de las preguntas que pueden surgir son: ¿cuál fue la causa por la que ocurrió la falla en la máquina?, ¿cuáles son la actividades que faltan por realizar para que el proceso arranque?, ¿la demanda es menor que la capacidad de producción? En cuanto al índice de velocidad, se podrían plantear inquietudes como ¿cuál es la velocidad máxima del equipo?, ¿cuáles deben ser los parámetros de máquina para que no se presenten fallas en el material o en el producto?, ¿qué medidas preventivas se deben tomar para anticiparse a fallas en el proceso? Resueltos los inconvenientes en cuanto a cuál debe ser la velocidad máxima de corrida, finalmente se debe establecer cuál es el porcentaje de producción que cumple las especificaciones de calidad. Estas consideraciones permiten brindar una idea de las pérdidas actuales del sistema productivo y, paralelamente, de las posibles mejoras que se pueden llevar a cabo.

Adicionalmente, a través del tiempo se han desarrollado diversos ajustes sobre el indicador buscando personalizarlo de tal forma que se consideren algunos elementos más ajustados a cada unidad de proceso. Entre algunos argumentos planteados se establece que dentro del

OEE no se considera el tiempo de las paradas planeadas ni el porcentaje de reprocesos. Además, Oechsner et al. (2002) hace énfasis en que la efectividad debe considerarse como objetivo global del sistema y no en tener equipos individualmente efectivos.

Algunas de las diferentes formulaciones realizadas son para el cálculo de la efectividad a nivel de equipos (PEE, TEEP); otros tienen un alcance mayor, y se presentan para obtener valores de la eficiencia a nivel de planta (OFE, OTE, OPE y OAE). A continuación se presenta una definición y descripción global de los diferentes tipos de indicadores de efectividad.

- ***Total Equipment Effectiveness Performance*** **(TEEP):** Este indicador busca dar respuesta a la necesidad de considerar en el cálculo de la efectividad, todo el tiempo disponible para producción, incluyendo las paradas planeadas las cuales no son incluidas en el horizonte del tiempo para el OEE. De esta forma es posible conocer el porcentaje de tiempo utilizado en el mantenimiento preventivo y su contribución en la productividad de la planta.

- ***Production Equipment Effectiveness*** **(PEE):** Esta medida difiere del OEE en la participación que cada uno de los factores tiene sobre la efectividad y la diferenciación entre los sistemas de producción de tipo discreto y continuo.

- ***Overall Factory Effectiveness*** **(OFE):** Mientras que el OEE es una medida de la eficiencia en los equipos individuales, el OFE se ha diseñado para considerar las diferentes relaciones entre las máquinas y los procesos; además de integrar las actividades, información, decisiones y acciones dentro de cada uno de los sistemas que conforman el conjunto de elementos que interactúan en la producción.

- ***Overall Asset Effectiveness*** **(OAE) y** ***Overall Plant Efectiveness*** **(OPE):** Industrialmente se han aplicado para identificar todas las pérdidas asociadas con el proceso de producción total; difieren de los elementos que cada uno considera, ya

sea desde el punto de vista de la producción en unidades (OAE), o del tiempo empleado (OPE).

- ***Equipment Effectiveness* (E):** La Efectividad del Equipo como medida de eficiencia, fue propuesta por De Ron y Rooda (2006), como alternativa para monitorear el estado actual del equipo sin considerar las relaciones con su entorno, argumentando que el cumplimiento de sus funciones específicas, permite el logro de los objetivos del sistema de manufactura. Situación contraria ocurre en el OEE, en el cual factores como los operarios, las composiciones del producto, las instalaciones, la disponibilidad de materiales, la programación de requerimientos y los reprocesos, influyen en los valores obtenidos, lo que no permite un análisis individual de los equipos.

6. DEFINICIÓN DE LOS FACTORES DE PÉRDIDA DEL OEE

Un objetivo básico de toda organización es asegurar el flujo de la producción a través del sistema, eliminando las averías, los defectos y los accidentes, con la participación de todos los miembros de la organización. Para tal fin, este sistema se concentra en la reducción o eliminación de aquéllos factores que impiden alcanzar la máxima eficiencia global de los equipos y que están enmarcados dentro de las denominadas Seis Grandes Pérdidas (Cuatrecasas Arbós, 2000).

Adicionalmente, cada una de estas seis pérdidas está comprendida en una de tres categorías (disponibilidad, velocidad o calidad), según el tipo de mermas y efectos que pueden representar en el rendimiento de un sistema productivo con intervención directa o indirecta de los equipos de producción. La Tabla 1 presenta dichas pérdidas, la categoría a la que pertenece y las metas de mejoramiento para cada una de ellas.

Tabla 1. Categoría y objetivos de mejoramiento para cada una de las pérdidas

Tipo	Pérdidas	Objetivo
Tiempos muertos y de vacío	1. Averías	Eliminar
	2. Tiempos de preparaciones y ajustes	Reducir al máximo
Pérdidas de velocidad del proceso	3. Funcionamiento a velocidad reducida	Anular o hacer negativa la diferencia con el diseño
	4. Tiempo en vacío y paradas cortas	Eliminar
Productos o procesos defectuosos	5. Defectos de calidad y repetición de trabajos	Evitar productos y procesos fuera de las especificaciones
	6. Puesta en marcha	Eliminar o minimizar según exigencias técnicas

Nota fuente: Cuatrecasas Arbós, L., 2000, TPM hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción, v. Primera edición: Barcelona, Liberduplex, Barcelona.

La ampliación del concepto de las seis grandes pérdidas presentado a continuación, se extrae de la investigación realizada por Hortiales Rendón (1997) y Cuatrecasas Arbós (2000).

6.1. DISPONIBILIDAD

Se refieren a aquellas paradas identificables, o tiempos muertos, que impiden la operación regular del equipo ya sea por averías o por espacios asignados a preparaciones y ajustes. En esta categoría se incluyen:

6.1.1. Pérdidas por averías en los equipos

Causadas por ambas fallas, esporádicas y crónicas. Las fallas esporádicas son por lo general obvias y fáciles de corregir (algún elemento roto). Las fallas crónicas son en general provocadas por defectos ocultos y con frecuencia son ignoradas o negadas después de varios intentos pocos exitosos de corregir el problema.

Con el propósito de determinar la causa o causas de las pérdidas, sean crónicas o esporádicas, pueden utilizarse técnicas para el análisis de causas de fallos y de la transcendencia de los mismos, que habitualmente se emplean como herramientas de la calidad, tales como el diagrama causa-efecto o el Análisis Modal de Fallos y Efectos, conocida como AMFE o FMEA. De esta manera es posible plantear el problema desde sus efectos, para llegar a la causa o conjunto de causas raíz.

Puesto que las fallas son responsables de un gran porcentaje de pérdidas totales, el personal de las fábricas invierte gran cantidad de tiempo en la búsqueda de medios para evitarlas. Eliminarlas por completo es extremadamente difícil; lo común es que mantenimiento lleve a cabo estudios que aumenten la confiabilidad del equipo y encontrar la forma de minimizar el tiempo requerido para corregir los problemas cuando ocurren, sin embargo la maximización de la eficiencia de una planta de producción requiere tratar los períodos de parada como pérdidas y minimizarlas.

6.1.2. Pérdidas por preparaciones y ajustes

Esta pérdida incluye el tiempo empleado en la preparación de útiles y herramientas junto a los ajustes necesarios en las máquinas para atender los requerimientos de la producción de un nuevo producto o variante del mismo.

Dado que es necesario minimizar todo el tiempo invertido en ellos, en los últimos años se han desarrollado los sistemas RTS (*Rapid Tool Setting*), entre los cuales se destaca las técnicas SMED (*Single Minute of Exchange Die*), cuyo objetivo es la ejecución de la preparación completa, por lo que se refiere al tiempo en que el equipo permanece parado, en un tiempo inferior a 10 minutos (*single minute* = tiempo en minutos de un solo dígito). Dominguez Machuca et al. (1995) añaden que el final de este proceso de mejora debería consistir en la eliminación misma de la necesidad de preparación: "*El modo más rápido de cambiar una herramienta es no cambiarla de ninguna forma*".

Trabajando desde esta perspectiva, los tiempos se pueden reducir notablemente haciendo clara la diferencia entre tiempos de ajuste interno (las operaciones se llevan a cabo mientras las máquinas están paradas) y los tiempos de ajuste externo (operación que se puede llevar a cabo mientras la máquina está funcionando).

6.2. VELOCIDAD

Son las paradas cortas y tiempos en vacío, así como también a las caídas de velocidad en las tasas de producción de los equipos.

6.2.1. Pérdidas provocadas por tiempo de ciclo en vacío y paradas cortas

Las paradas cortas ocurren cuando la producción se interrumpe por un mal funcionamiento temporal o cuando la máquina está ociosa entre uno y otro producto. Por ejemplo, alguna pieza puede bloquear el escape causando que se alerten los sensores y que se pare el equipo, sin embargo el flujo normal de producción se restablece simplemente retirando la

obstrucción y reiniciando la máquina. Dado lo anterior, este tipo de paro temporal claramente se diferencia de una falla dada la rápida recuperación de las condiciones operativas.

Dos importantes elementos son necesarios para abordar el problema de las paradas breves y poder establecer una metodología para su solución:

1) ¿Qué constituye una parada breve a resolver y qué no tiene tal consideración? Ante todo conviene distinguirlas de las averías (consideradas como otra de las grandes pérdidas), para lo cual se debe comprender que las pequeñas paradas se caracterizan por una rápida recuperación de las condiciones operativas.
2) Establecer una medida de la incidencia de las paradas breves: Las paradas breves inciden en la capacidad real de los procesos, y en definitiva en su productividad, y a fin de establecer objetivos correctos relacionados con su reducción, debe establecerse alguna forma de evaluarlos. Corrientemente se utiliza el tiempo medio entre fallos (MTBF) cuyo concepto será ampliado en la Tabla 2.

Este tipo de problemas con frecuencia tienen un efecto drástico en la efectividad del equipo. Especialmente cuando robots, alimentadores automáticos y equipo de carga está involucrado. Los paros menores y el tiempo de ocio, a la vez que son fácilmente remediables, también son ignorados porque con frecuencia son difíciles de detectar. “Cero paros menores” es una precondición esencial para la producción automatizada y, para reducirlos, las condiciones de operación deben ser observadas muy de cerca y todos los defectos deben eliminarse.

6.2.2. Pérdidas por funcionamiento a velocidad reducida

Las pérdidas de reducción de velocidad se refieren a la diferencia entre la velocidad de diseño y la de operación actual del equipo. Las pérdidas por velocidad con frecuencia son

ignoradas en la operación del equipo, aun cuando constituyen un obstáculo significativo para lograr la efectividad del equipo y deben ser estudiadas cuidadosamente.

El equipo puede estar funcionando a menos de la velocidad ideal de diseño por varias razones: problemas mecánicos y defectos de calidad, antecedentes de problemas en el pasado, miedo a abuso o exceso de esfuerzo del equipo, medio hostil de trabajo, entre otras. Por otra parte, en numerosas ocasiones la velocidad óptima no se conoce ya sea por la obsolescencia del equipo, o porque la velocidad estándar prevista está mal definida, o bien porque la naturaleza de la máquina hace difícil juzgar su velocidad. Aumentarla contribuye, pues, en la solución de problemas al revelar defectos latentes en las condiciones del equipo.

6.3. CALIDAD

Se refiere a aquéllos defectos del proceso que generan pérdidas por baja calidad y rendimiento inferior durante la puesta en marcha del equipo.

6.3.1. Pérdidas por defectos de calidad, recuperaciones y reprocesados

Las pérdidas en calidad incluyen el tiempo perdido en la elaboración de productos irrecuperables y las pérdidas provocadas por el reproceso de productos defectuosos. En general, los defectos esporádicos pueden ser fácil y rápidamente corregidos regresando el equipo a su condición normal. La causa de los defectos crónicos, por otro lado, es difícil de detectar. Los remedios rápidos rara vez resuelven el problema, por lo que los defectos pueden ser negados o ignorados. Por ejemplo, los defectos que resulten de ajustes inadecuados en el equipo deben ser tomados como defectos crónicos.

Reducir los defectos crónicos, como reducir las fallas crónicas, requiere de investigación profunda a fin de hacer las cosas bien y a la primera. Las condiciones que rodean y causan el defecto deben ser determinadas y los puntos de control evaluados. La eliminación total de defectos es, como siempre, la meta principal.

6.3.2. Pérdidas de funcionamiento por puesta en marcha del equipo

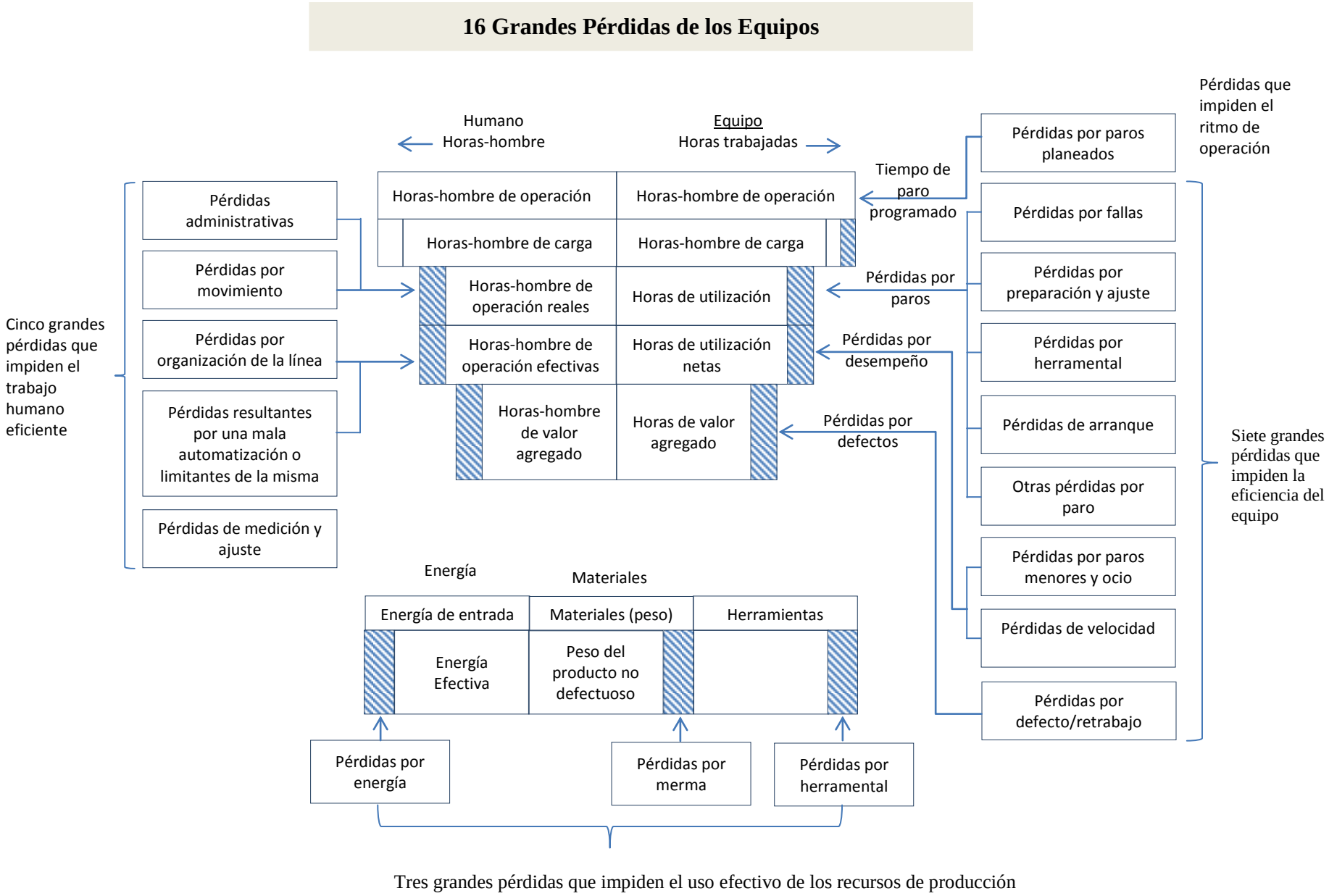
Las pérdidas de rendimiento o arranque son pérdidas cuantitativas que ocurren durante las etapas temporales de producción – desde su principio hasta su estabilización – las cuales varían con el grado de estabilidad de las condiciones de manufactura, nivel de mantenimiento del equipo y las habilidades técnicas de los operadores en la práctica.

Cuatrecasas Arbós (2000) sugiere minimizar estas pérdidas mediante procedimientos de arranque vertical (arranque inmediato, libre de dificultades) si se quiere aumentar la efectividad del equipo.

Las seis pérdidas anteriores representan la base para la evaluación de la eficiencia del equipo de acuerdo a los tres parámetros fundamentales de la producción industrial. Sin embargo a través del tiempo se ha ampliado el concepto de los despilfarros hacia las 16 grandes pérdidas, las cuales, dependiendo del sistema de producción, se podrán encontrar o no (ver Figura 1). Con base en estos elementos, el presente proyecto de investigación despliega un modelo de desagregación de los factores de pérdida del OEE en cada una de sus categorías (disponibilidad, velocidad y calidad). Dicha propuesta, presentada en la Figura 2 a la Figura 4, constituye una directriz para la creación del árbol de pérdidas en un sistema productivo. Sin embargo, es preciso señalar que el nivel de detalle requerido, estará sujeto a las características particulares y variantes del sistema bajo observación.

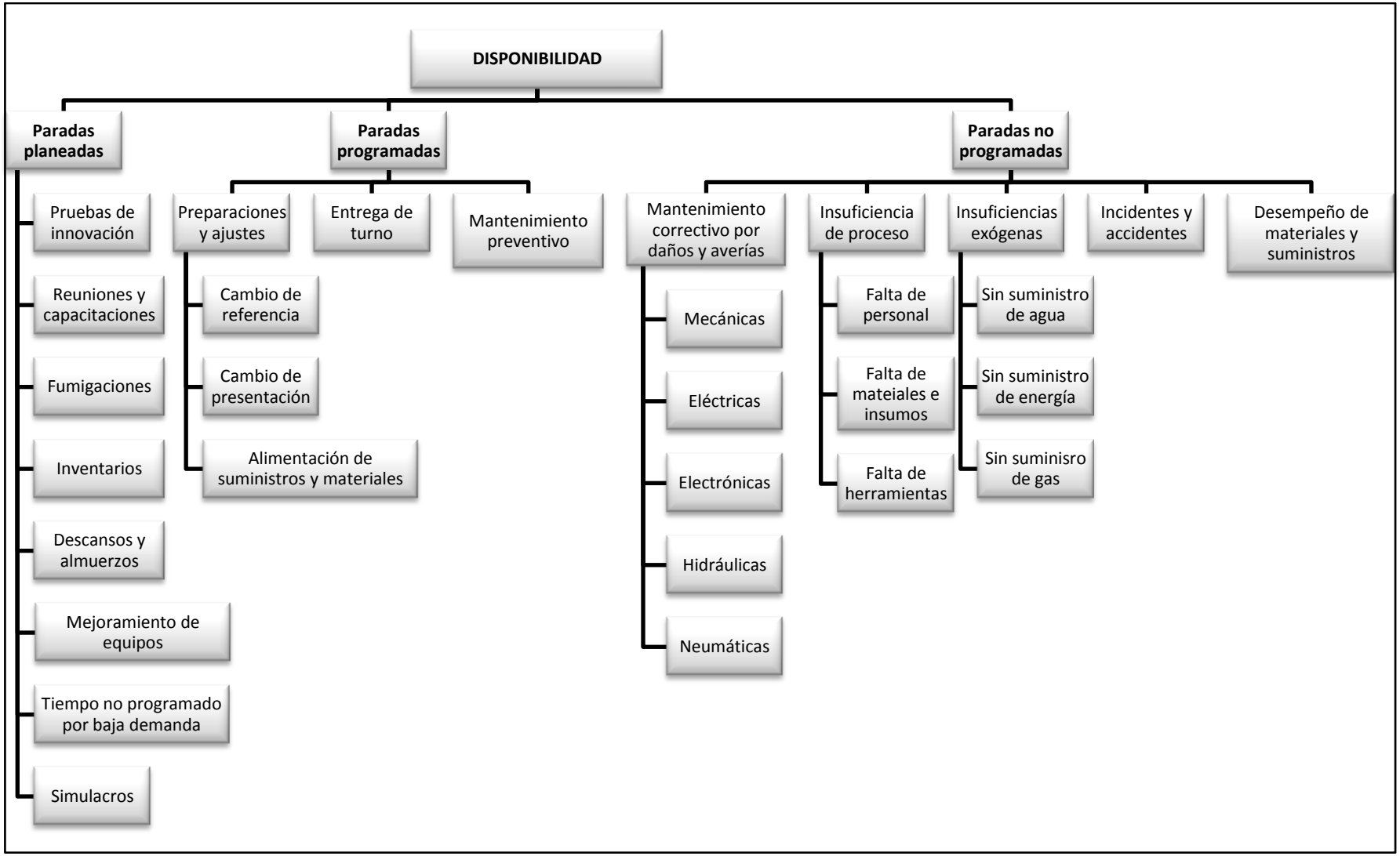
Finalmente, la Tabla 2 detalla algunos de los indicadores de mayor utilidad en los sistemas de manufactura para el control de procesos, indicando su forma de cálculo, su objetivo de medición y relacionándolos con las categorías de pérdida presentadas en el modelo de desagregación.

Figura 1. Las dieciséis (16) grandes pérdidas de los equipos



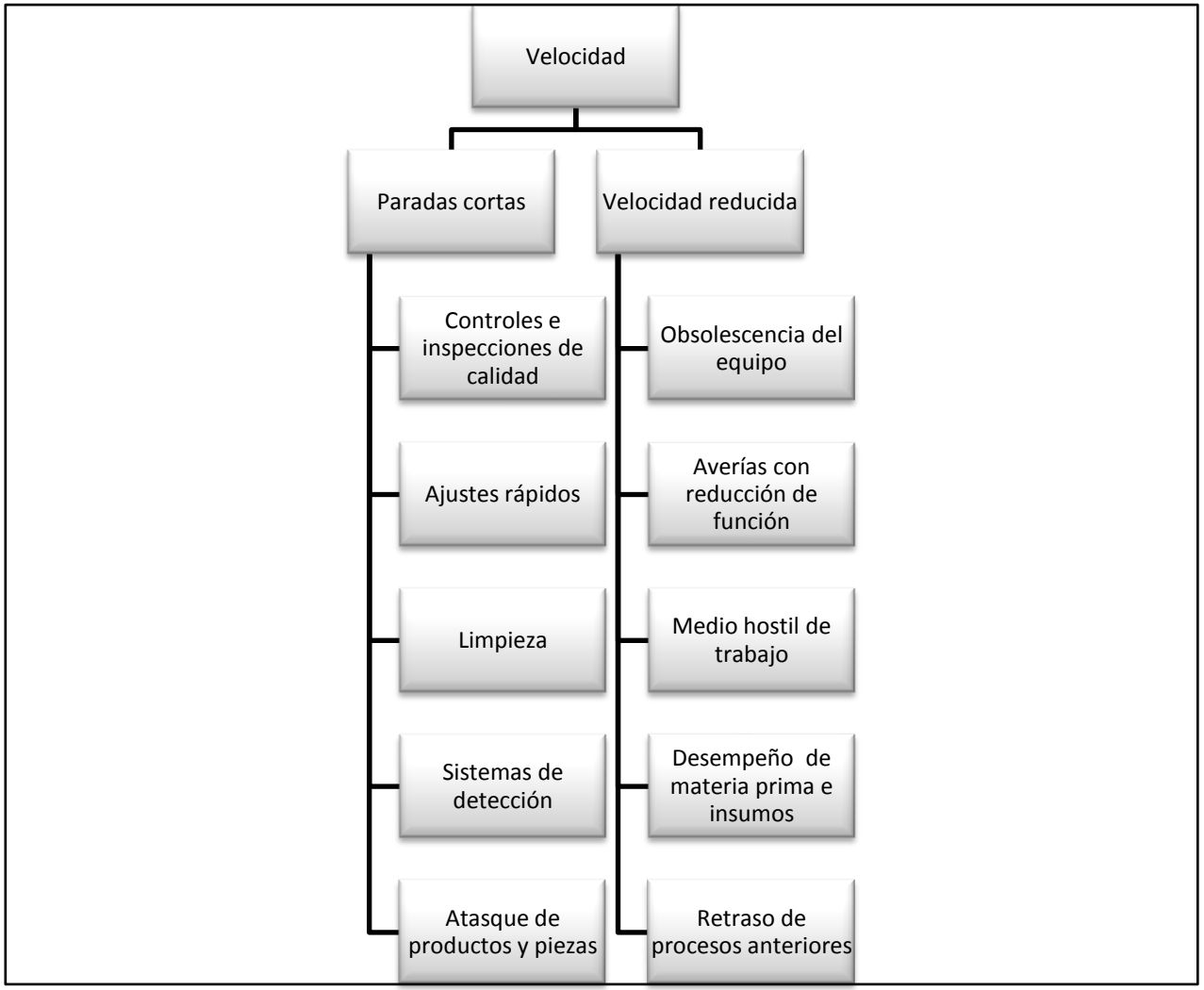
Nota fuente: Liceaga, 2006, ¿Lean Manufacturing es realmente una "nueva" estrategia de mejora?

Figura 2. Árbol de pérdidas de disponibilidad



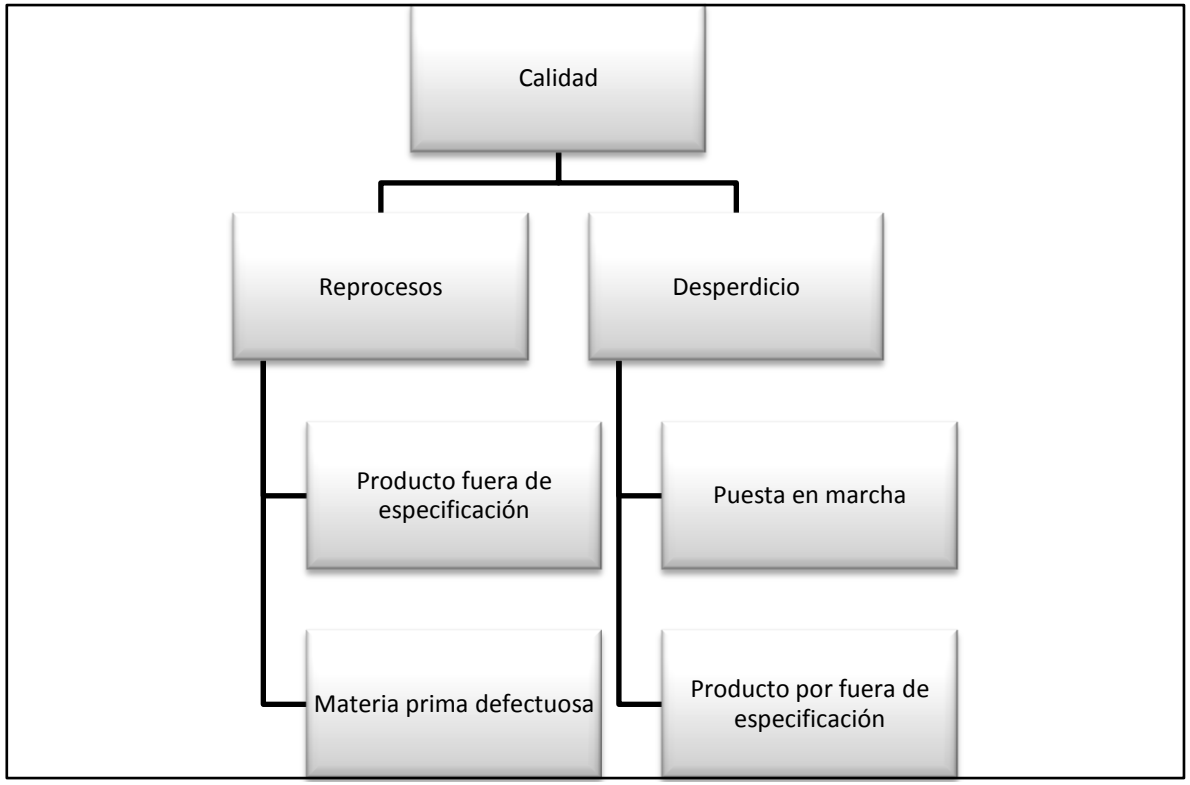
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Árbol de pérdidas de velocidad



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Árbol de pérdidas de calidad



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Indicadores para el control y mejoramiento en sistemas de manufactura asociados a las categorías de pérdidas de eficiencia

Nombre y sigla	Fórmula	Variables	Objetivo	Comentarios	Categoría OEE
Mean Time Between Failures / Tiempo medio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{TDO}{N}$	**TDO**: Tiempo disponible para operar (tiempo disponible - paradas planificadas y las pérdidas por fallas administrativas). **N**: Número total de paradas por fallos y averías. Puede aplicarse a distintos periodos de tiempo de acuerdo a la frecuencia de fallos.	Maximizar	Se usa para medir el tiempo medio que transcurre entre paradas no planeadas. Con este indicador se busca medir la frecuencia de las mismas y su incidencia en la productividad y confiabilidad del proceso, dado que entre menos fallas y por consiguiente menos tiempos muertos, mayor será la probabilidad que el equipo trabaje normalmente.	Disponibilidad / Velocidad (paradas cortas)
Mean Time to Repair / Tiempo medio por reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{TR}{NR}$	**TR**: Tiempo total de reparaciones. **NR**: Número de reparaciones. La escala de tiempo depende de la frecuencia de las fallas observadas (por día, semana, mes, etc.).	Minimizar	Se usa para medir el tiempo medio necesario en restaurar las condiciones del equipo una vez ha ocurrido la falla. Permite relacionar el costo asociado a la reparación, considerando que a mayor tiempo en repararla, mayor será el costo.	Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. (Continuación)

Tiempo Medio entre Preparaciones (TMP)	$TMP = \frac{TDO}{P}$	**TDO**: Tiempo disponible para operar. **P**: Número total de preparaciones. Tiene unidades de medida según la escala de tiempo.	Maximizar	Permite conocer el tiempo promedio entre las preparaciones y ajustes que se realizan para los cambios de órdenes de trabajo. Mediante el TMP, es posible tener una idea de la flexibilidad del sistema de producción.	Disponibilidad
Tiempo Medio por Preparación (TMPR)	$TMPR = \frac{TPT}{P}$	**TPT**: Tiempo por Preparaciones Total. **P**: Número de Preparaciones. Tiene unidades de medida según la escala de tiempo.	Minimizar - eliminar	Esta medida permite conocer el tiempo medio por preparación de tal forma que se logren controlar los tiempos de preparación y ajuste.	Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. (Continuación)

Porcentaje de Tiempo de Paro (%TP)	$\%TP = \frac{TDO - TO}{TDO}$	**TDO:** Tiempo disponible para operar. **TO:** Tiempo operativo La razón se da entre las mismas unidades de tiempo.	Minimizar	Identifica qué porcentaje del tiempo en el cual estuvo la máquina disponible para producir, estuvo parada por fallas y ajustes. Con este indicador es posible observar la capacidad de mejora sobre la disponibilidad, lo que conllevaría a realizar un análisis de las fallas que permita identificar la causa real.	Disponibilidad
Tiempo de ciclo	$TC = \frac{TO}{Q}$	**TO:** Tiempo operativo. **Q:** Volumen de producción Se expresa en unidades de tiempo sobre unidad de producto.	Minimizar	Mide el tiempo promedio entre las terminaciones de las unidades sucesivas. Permite identificar la capacidad de producción de tal forma que se identifique la brecha entre la nominal y la capacidad real.	Velocidad
Takt Time	$TT = \frac{TD}{D}$	**TD:** Tiempo disponible. **D:** Proporción de la demanda para el horizonte considerado. Ambos factores requieren estar considerados en las mismas unidades de tiempo (mese, semana, día, etc).	Minimizar	Mide el ritmo de la demanda que la empresa debe satisfacer. Permite programar el sistema de producción de tal forma que esté sincronizado con la tasa de consumo de los clientes.	Velocidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. (Continuación)

Productividad	$Productividad = \frac{Pto}{Imo}$	**Producto (Pto):** Este término se puede expresar en cantidades físicas, si el producto es homogéneo, o en términos monetarios, si son heterogéneos. Para este caso, comprendería el valor de venta de las unidades de producto terminado en un periodo dado. **Insumo (Imo):** Hace referencia a los recursos tangibles e intangibles, necesarios para producir bienes y servicios. Deben especificarse en costos cuando se consideran varios insumos.	Aumentar	Permite evaluar la eficiencia en la conversión de los recursos de la empresa, de tal manera que se produzcan más bienes con una cierta cantidad de insumos, o se logre un mismo nivel de producción consumiendo menos recursos. El índice puede considerarse como Productividad Parcial o Productividad Total, dependiendo si se considera un solo factor de insumo, o la suma de todos. En el primer caso permite identificar áreas específicas de mejoramiento. Para el segundo caso se tiene una representación más exacta del panorama económico real de la empresa. Cuando se mide la productividad para diferentes periodos de tiempo, debe de realizarse sobre el enfoque de precios constantes, para considerar las variaciones sobre la producción y los insumos.	Calidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. (Continuación)

Capacidad de proceso (Cp y Cpk)	$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$ $Cp_k = min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right)$	**USL:** límite de especificación superior. **LSL:** límite de especificación inferior **σ:** desviación estándar de la característica de calidad estudiada. La unidad de medida depende de la variable de proceso observada.	$Cp = Cp_k$ $Cp \geq 1.33$	La capacidad de proceso es la habilidad de un proceso para fabricar productos que cumplen con las especificaciones. Estos índices permiten conocer cuál es la capacidad potencial y el centramiento del proceso con respecto a los límites. La relación Cp/Cpk puede ser considerada como un criterio para ejecutar acciones que impacten positivamente las características de calidad. Se considera que un valor para Cp/Cpk del 0.8, será el límite para cualquier mejoramiento que se considere eficiente sobre la capacidad de proceso.	Calidad
Producción de Primera Pasada (PPP)	$\%PPP = \frac{PT - R}{PT}$	**PT:** Producción total. **R:** Cantidad reprocesada. Debe de tenerse en cuenta si se presenta como unidad de producto, peso o volumen, con el fin de conservar la correlación entre cada uno de los factores.	Maximizar	Permite calcular el porcentaje de la producción que ha pasado una sola vez por las etapas del proceso, y ha cumplido con las especificaciones requeridas. Con este indicador se quiere medir la efectividad del proceso para cumplir la producción total según diseño y especificación.	Calidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. (Continuación)

% Desperdicio	$\%Desperdicio = \frac{Desperdicio}{Producción}$	**Desperdicio:** Se indica en unidades de producto, volumen o peso. **Producción:** Las unidades deben mantener la correlación con el numerador.	Minimizar	Este indicador permite conocer la cantidad de desperdicio que se ha generado, relacionándolo con el volumen total de producción. Su medición se orienta a formular planes de acción orientados a reducir las fallas que son causales de los defectos en los productos.	Calidad

Fuente: Elaboración propia.

7. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

De acuerdo a lo expuesto hasta el momento, es evidente cómo la eliminación y la reducción de las seis grandes pérdidas es un aspecto fundamental para aumentar la productividad del sistema productivo y por ende, para incrementar la competitividad en cuanto a tiempo, costo y calidad de la unidad de negocio. Para conseguir tal objetivo, es necesario realizar una medición del cumplimiento de los resultados productivos, a partir de indicadores confiables y consistentes que permitan controlar y ejecutar las acciones orientadas a alcanzar los niveles de desempeño meta.

Cada una de las medidas definidas, deben estar en la capacidad de exponer la brecha entre el estado actual del sistema, y su estado ideal. Mediante la gestión de esta información es posible identificar y clasificar los elementos que están ocasionando la falla o el problema. Cuatrecasas Arbós (2000) afirma que la dificultad para la completa eliminación de las pérdidas radica en la combinación de causas que intervienen, con la circunstancia agravante que esta combinación puede ser diferente en cada momento de incidencia. Ante tal dificultad, un proceso de medición apropiado es aquél que permite identificar de manera dinámica las verdaderas causas de pérdida de eficiencia y alcanzar mejores niveles de rendimiento sin despilfarrar tiempo y recursos en otros factores de menor incidencia sobre el indicador (Alfaro Saiz et al., 2008).

7.1. VALIDEZ DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

De acuerdo a Beltrán Jaramillo (1998), la validez del sistema de medición depende de que los indicadores reúnan determinados elementos:

- **La definición.** Expresión que cuantifica el estado de la característica o hecho que quiere ser controlado.

- **El objetivo.** El objetivo es lo que persigue el indicador seleccionado. Indica el mejoramiento que se busca y el sentido de esa mejora (maximizar, minimizar, eliminar, etc.). El objetivo en consecuencia, permite seleccionar y combinar acciones preventivas y correctivas en una sola dirección.

- **Los valores de referencia.** El acto de medir es realizado a través de la comparación y esta no es posible si no se cuenta con un nivel de referencia para comparar el valor de un indicador.

- **La responsabilidad.** Clarifica el modo de actuar frente a la información que suministra el indicador y su posible desviación respecto a las referencias escogidas.

- **Los puntos de medición.** Define la forma como se obtienen y conforman los datos, los sitios y momentos donde deben hacerse las mediciones, los medios con los cuales hacer las medidas, quiénes hacen las lecturas y cuál es el procedimiento de obtención de las muestras. Esto permite establecer con claridad la manera de obtener precisión, oportunidad y confiabilidad en las medidas.

- **La periodicidad.** Define el período de realización de la medida, es decir, cuándo efectuar las lecturas puntuales y los promedios.

- **El sistema de procesamiento y toma de decisiones.** El sistema de información debe garantizar que los datos obtenidos de la recopilación de históricos o lecturas, sean presentados adecuadamente al momento de la toma de decisiones. Un reporte para tomar decisiones debe contener no sólo el valor actual del indicador, sino también el nivel de referencia.

- **Pertinencia.** Las mediciones deberán ser útiles en el tiempo para permitir la toma de decisiones mediante su análisis.

- **Precisión.** Los datos que se han recolectado deben ser confiables de tal forma que reflejen los valores exactos que se quieren analizar.

- **Oportunidad.** Disponibilidad durante el periodo de tiempo requerido para formular los planes de acción adecuados.

- **Economía.** El ejercicio de la medición de los criterios debe realizarse considerando el costo en el cual se incurre, los beneficios y la relevancia de la información obtenida.

7.2. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y MEDICIÓN

Una vez definidos los puntos críticos a medir en el sistema, es imperativo desarrollar un análisis sistemático de los datos recolectados, contando con herramientas que permitan identificar patrones, tendencias y otras diferencias que puedan sugerir, apoyar o rechazar teorías sobre las causas de las pérdidas.

Pande et al. (2004) sugiere clasificar dichas herramientas en tres grupos:

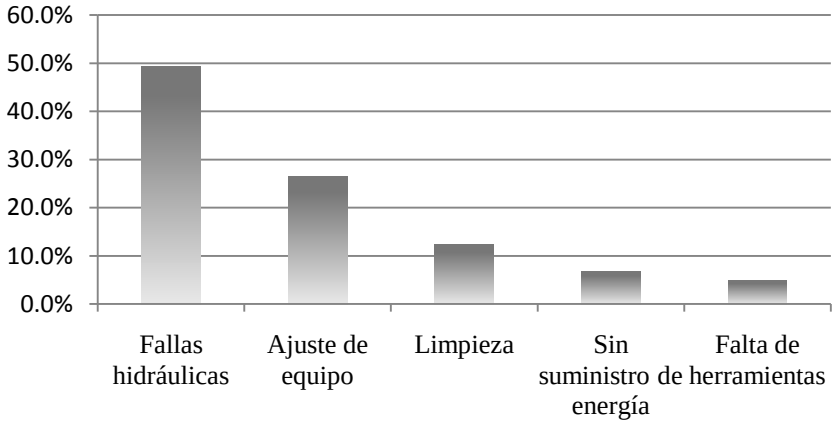
- Herramientas de exploración: investigar los datos y/o el proceso con la mente abierta para ver qué se puede aprender sobre ellos.

- Herramientas de generación de hipótesis sobre las causas: utilizar sus nuevos conocimientos para identificar las causas más probables de la situación no deseada.

- Herramientas para la verificación o eliminación de las causas: utilizar los datos, la experimentación o un análisis más detallado del proceso para comprobar cuáles de las potenciales causas contribuyen de manera significativa al problema.

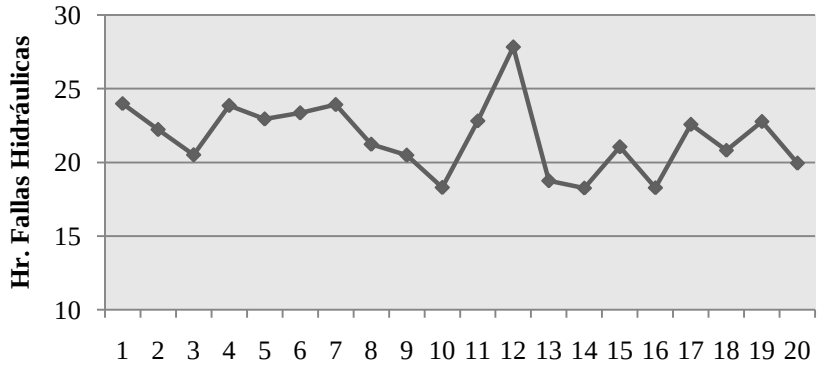
De la Tabla 3 a la Tabla 10 se exponen con detalle aquellas herramientas útiles para el análisis y la medición de la eficiencia, distinguidas según los grupos propuestos por Pande et al. (2004):

Tabla 3. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia - Gráfico y análisis de Pareto

<table>
<tr><td colspan="2">GRÁFICO Y ANÁLISIS DE PARETO</td><td>Fase de aplicación: Análisis de datos</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"> 
</td><td>Instrucciones</td></tr>
<tr><td>1. Identifique el proceso y los tipos de problemas o causas que se van a medir.
2. Determine la frecuencia necesaria y el método de recolección de datos apropiado.
3. Recoja los datos y agrúpelos.
4. Calcule los porcentajes (opcional).
5. Calcule el total para cada categoría en el período de tiempo analizado.
6. Dibuje los ejes del gráfico.
7. Grafique las barras, de izquierda a derecha, en orden descendente.
8. Opcional: Añada una escala porcentual.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>Herramientas relacionadas</td><td>Interpretación</td></tr>
<tr><td>• Comparar la frecuencia y/o el impacto de los diferentes tipos de problemas o de sus causas.
• Seleccionar las prioridades de mejora <<pocas vitales>>.</td><td>Un gráfico de Pareto necesita una hoja de comprobación o una hoja de datos para recoger información en bruto y utiliza datos discretos (o atributos) o datos continuos divididos en categorías.</td><td>En un gráfico de Pareto la mayoría de los defectos se encuentran en las dos o tres primeras categorías. La mayor mejora se conseguirá centrándose en eliminar los defectos de las categorías que más contribuyen.</td></tr>
</table>

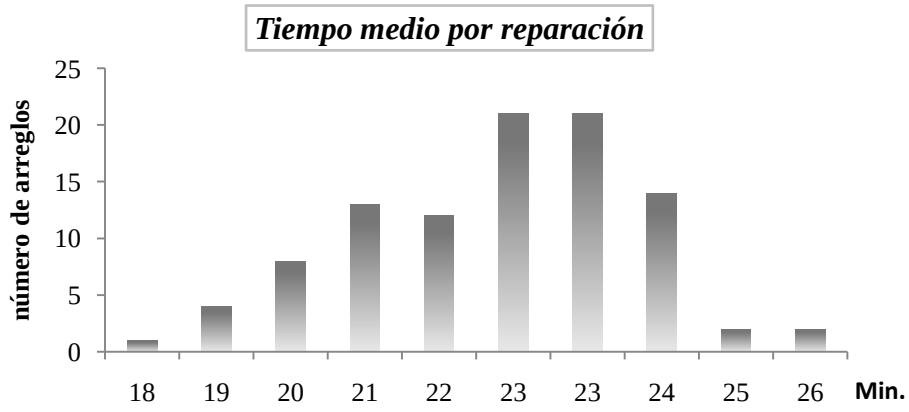
Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 4. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia – Gráfico de Tendencia o de Series Temporales

<table>
<tr><td colspan="2">GRÁFICO DE TENDENCIA O DE SERIES TEMPORALES</td><td>Fase de aplicación: Análisis de datos</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td>Instrucciones
1. Identifique los factores principales del proceso.
2. Desarrolle un método de toma de datos y recoléctelos.
3. Dibuje el eje horizontal y el vertical. Escriba las etiquetas.
4. Añada los datos al gráfico.
5. Dibuje una línea horizontal a la altura del valor de la mediana.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>Herramientas relacionadas</td><td>Interpretación</td></tr>
<tr><td>• Medir y monitorear las medidas de una entrada, un proceso o una salida clave a lo largo del tiempo.
• Reconocer tendencias, patrones y variaciones.
• Determinar la(s) potencial(es) causa(s) raíz.
• Investigar y verificar los resultados.</td><td>Hojas de comprobación y hojas de datos.</td><td>A partir del comportamiento aleatorio de la variable se puede reconocer si existen patrones, tendencias o variaciones que deban ser objeto de intervención para corregir el proceso. Adicionalmente, es necesario distinguir si la variación aleatoria es provocada por causas comunes o especiales, ya que la estrategia para mejorar dependerá de ello:
• Si encuentra una causa especial, debe descubrir qué diferencia existía en el proceso cuando recogió los datos y eliminarla.
• Si sólo encuentra variación por causas comunes, y todavía quiere mejorar el proceso, debe buscar los factores de cambio que están siempre presentes y corregirlos.</td></tr>
</table>

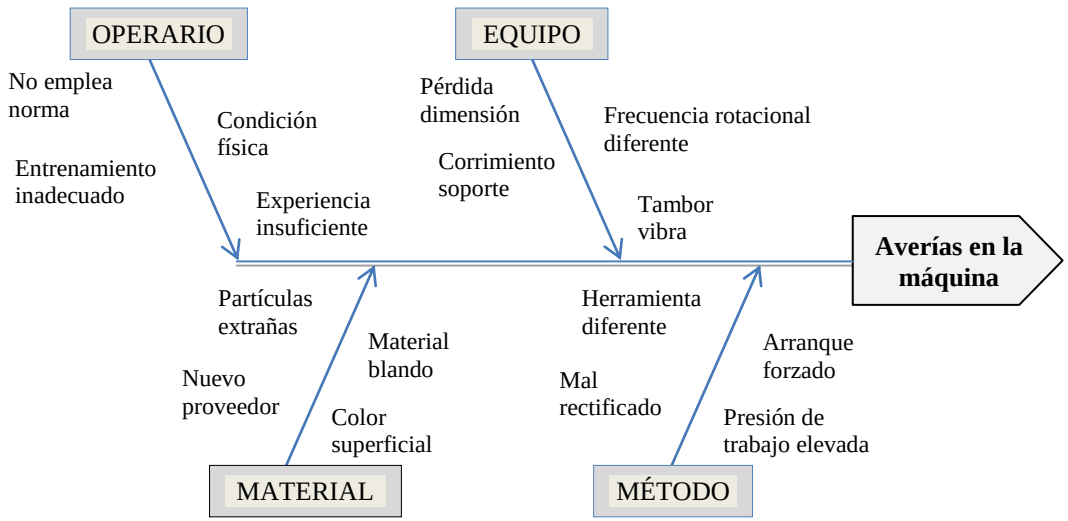
Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 5. Herramientas de exploración para la medición y gestión de la eficiencia – Histograma o Gráfico de Frecuencia

<table>
<tr><td colspan="2">HISTOGRAMA O GRÁFICO DE FRECUENCIA</td><td>Fase de aplicación: Análisis de datos</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"> 
</td><td>Instrucciones</td></tr>
<tr><td>1. Recoja los datos continuos y tabúlelos.
2. Determine los incrementos apropiados para el conjunto de datos (clases) y escriba las etiquetas en el eje X.
3. Dibuje los valores de los datos sobre las etiquetas de las categorías situadas en el eje X.
4. Interprete los datos.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>Herramientas relacionadas</td><td>Interpretación</td></tr>
<tr><td>• Mostrar las características de la variación (rango, cantidad, patrones) de un grupo de datos (es decir, una población).</td><td>Hojas de comprobación y hojas de datos.</td><td>La gráfica se interpreta de acuerdo a su distribución. En la distribución normal los datos se distribuyen de manera aproximadamente simétrica alrededor del valor central. Los gráficos de este tipo son muy útiles, por ejemplo, para comprobar si la capacidad de un proceso encaja (o no) dentro de los requisitos del cliente.
Si se requiere identificar el tipo de distribución que persigue la variable, en caso de no ser identificable, se debe utilizar un análisis estadístico más riguroso denominado pruebas de hipótesis.</td></tr>
</table>

Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

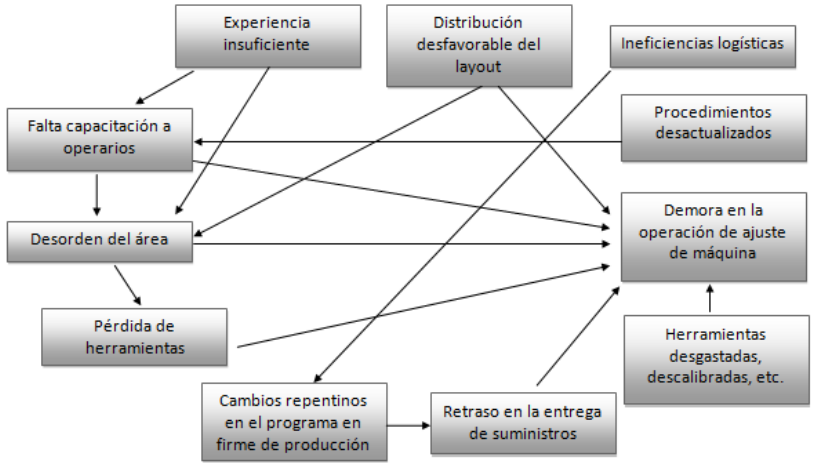
Tabla 6. Herramientas de generación de teorías y análisis de causas – Análisis de Causa-Efecto

ANÁLISIS CAUSA-EFECTO (ESPINA DE PESCADO O DIAGRAMA DE ISHIKAWA)	Fase de aplicación: Generación de teorías
	Instrucciones 1. Escriba de forma resumida el problema o efecto. 2. Determine las categorías más apropiadas para agrupar las causas. 3. Realice una tormenta de ideas sobre las potenciales causas de cada categoría. 4. Identifique la relación causa-efecto entre los factores de cada categoría. 5. Construya el diagrama de Ishikawa. 6. Utilice la recolección de datos o el consenso para seleccionar las causas más probables para una investigación más profunda.

Objetivos	Herramientas relacionadas	Interpretación
• Identificar la causa de un problema. • Identificar posibles formas de conseguir un efecto deseado.	Lluvia de ideas (brainstorming) Diagrama de afinidad.	En el proceso de lluvia de ideas, se deben de considerar diferentes variables y causas que contribuyen a cada una de las categorías de las "espinas", y las posibles variaciones que pueden tener cada una de ellas. Comúnmente, las causas principales pueden asociarse a las categorías: Materiales, Métodos, Maquinaria, Medidas y Medio Ambiente.

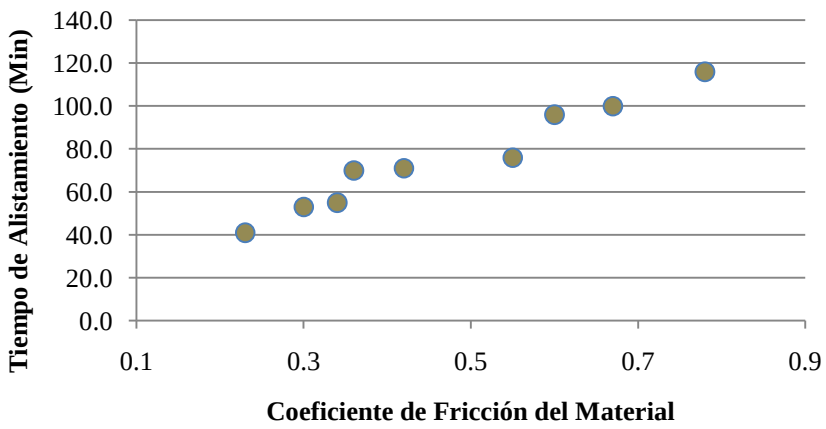
Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 7. Herramientas de generación de teorías y análisis de causas – Diagrama de Relaciones

<table>
<tr><td colspan="2">DIAGRAMA DE RELACIONES</td><td>Fase de aplicación: Generación de hipótesis</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"> 
</td><td>Instrucciones</td></tr>
<tr><td>1. Realice una tormenta de ideas.
2. Ordene y priorice la lista.
3. Escríbalas en notas adhesivas y péguelas formando un círculo en un papel, una pizarra, etc.
4. Seleccione dos factores cualesquiera.
5. Repita el proceso con la siguiente nota.
6. Tabule los resultados.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>Herramientas relacionadas</td><td>Interpretación</td></tr>
<tr><td>• Identificar las causas raíz de un problema complejo.
• Comprender las relaciones complejas que no pueden ser analizadas utilizando herramientas de pensamiento lineal.
• Alcanzar el consenso en el equipo sobre los puntos de apalancamiento que se deben investigar con profundidad.</td><td>Lluvia de ideas (brainstorming)</td><td>El diagrama de relaciones es más una herramienta para el debate, que una herramienta analítica per se. Aunque el diagrama no indique ningún aspecto desconocido, permitirá alcanzar un consenso sobre las causas más probables en las que debe investigar y mejorar.</td></tr>
</table>

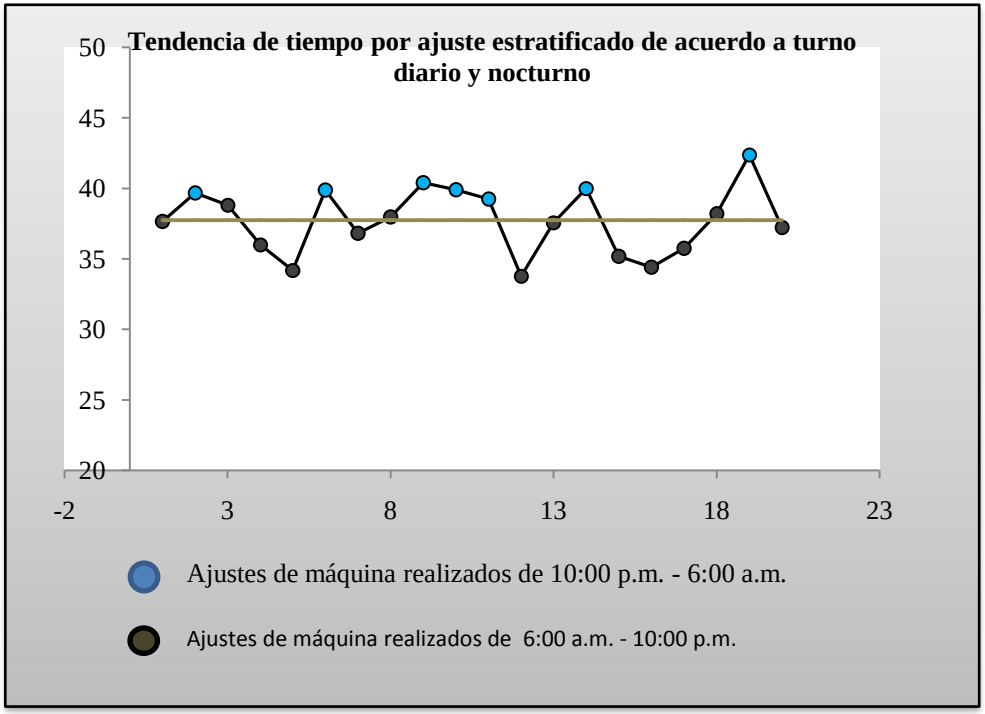
Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 8. Herramientas de verificación de causas – Diagrama de dispersión o de correlación

<table>
<tr><td colspan="2">DIAGRAMA DE DISPERSIÓN O DE CORRELACIÓN</td><td>Fase de aplicación: Verificación de causas</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"> 
</td><td>Instrucciones</td></tr>
<tr><td>1. Elaborar una hoja de toma de datos de manera tabulada.
2. Dibujar los ejes.
3. Incluir los datos en el diagrama.
4. Interpretar los datos.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>Herramientas relacionadas</td><td>Interpretación</td></tr>
<tr><td>• Identificar/medir la posible relación o <<correlación>> entre dos factores o variables.
• Evaluar la intensidad de una posible relación.
• Completar el análisis de causa-efecto.</td><td>Hojas de datos.
Análisis de regresión lineal.</td><td>Si los puntos están dispersos por el gráfico formando una nube, esto quiere decir que los cambios en un factor no tienen nada que ver con el otro.
En la correlación positiva, el aumento de uno de los factores se corresponde con el aumento del otro, mientras que en la correlación negativa, el aumento o disminución de uno de los factores corresponde con el efecto contrario en el otro.</td></tr>
</table>

Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 9. Herramientas de verificación de causas – Gráficos estratificados

GRÁFICOS ESTRATIFICADOS	Fase de aplicación: Verificación de causas
	Instrucciones e interpretación:
	Estratificar consiste en codificar los datos, es decir, dividirlos en varios conjuntos diferenciados por el valor de algunos atributos: días de la semana, regiones, tipo de producto o de cliente, etc. siempre que se sospeche que puede haber diferencias entre varios subconjuntos de datos, se pueden estratificar. Por ejemplo:

Objetivos	Herramientas relacionadas
• Comprobar si los datos respaldan las diferentes teorías sobre las causas o los patrones durante el proceso de análisis.	Gráficos de frecuencia e histogramas. Gráficos de tendencia.

Identificación del problema	¿Cuándo?	Continua, discreta
		Durante el proceso, en el *set up*.
	¿Quién?	Identificar personal
	¿Qué?	Materiales, lote.
Extensión	¿Dónde?	¿En qué área o extensión?
Cambios en el tiempo	¿Hacia dónde?	Tendencia positiva, negativa, aumenta, etc.
Descripción	Equipo y herramientas	Precisión estática, precisión dinámica, etc.
	Fabricación	Condiciones de operación
	Métodos de medición	Visual, automática, registro manual

Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Tabla 10. Herramientas de verificación de causas – hoja de trabajo para la manipulación del proceso/experimentación

HOJA DE TRABAJO PARA LA MANIPULACIÓN DEL PROCESO/EXPERIMENTACIÓN	Fase de aplicación: Verificación de causas
	Instrucciones
	1. Escriba la relación causa-efecto que se está investigando. 2. Decida qué va a cambiar para probar su teoría. 3. Identifique cómo puede probar ese cambio a pequeña escala. 4. Identifique cómo va a comprobar si el cambio funcionó realmente. 5. Planifique el experimento y llévelo a cabo.
	Objetivos
	• Descubrir si una causa de la que se sospecha contribuye a un problema o defecto conocido.
	Herramientas relacionadas
	Si el problema bajo evaluación es significativamente complejo o no puede reducir fácilmente la lista de causas sospechosas, es posible que se requiera una herramienta estadística denominada Diseño de Experimentos (DOE).

HOJA DE TRABAJO PARA LA MANIPULACIÓN DEL PROCESO/EXPERIMENTACIÓN		
1. Causa sospechosa… …y su efecto.		
2. Cambio en el producto, proceso o servicio que probará esta causa.		
3. ¿Cómo se puede probar a pequeña escala? (Considere limitar el alcance, las zonas de aplicación, el personal involucrado, etc.)		
4. ¿Cómo va a evaluar si ha tenido éxito? (Describa qué datos y observaciones se van a recoger.)		
5. Planificación resumida. Acción	Persona(s) responsable(s)	Fecha límite

Nota fuente: Pande et al. (2004), Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

8. PROBLEMÁTICA EN LA MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL INDICADOR

De acuerdo a Alfaro Saiz et al. (2008), los sistemas de información con frecuencia se ven saturados de datos superfluos debido a la poca experticia de las organizaciones para definir en qué aspectos se debe concentrar (qué medir) y de qué manera se debe intervenir el sistema para lograr un giro positivo en la productividad (cómo analizar). Esta unanimidad en las empresas, en cuanto a preparar un gran número de informes, resúmenes y datos de gestión, no brinda soluciones o posibles vías de acción para cada situación. Adicionalmente el autor asegura que los sistemas tradicionales de medición del rendimiento pueden indicar a la empresa la posición en que se encuentran sus esfuerzos por lograr los objetivos y metas, pero no explican cómo ha llegado hasta donde está, o lo que es aún más importante, qué se debería hacer de forma diferente.

Pande et al. (2004) citan un conjunto de errores comunes en las organizaciones en cuanto a sus prácticas de medición y gestión:

- **Los equipos miden variables erróneas o innecesarias:** muchos equipos descubren esta situación cuando intentan analizar los datos que han recogido y tienen que volver a empezar. Existen muchas causas diferentes para este fallo, pero la más común es el desconocimiento de las variables principales del proceso (x) que impactan en las variables de salida (y).

- **Intentar medir demasiadas cosas:** se debe evitar que los formatos soliciten el registro de datos superfluos. De acuerdo a Walton (1988) el volumen de datos nada tiene que ver con la calidad del juicio. Los datos sin contenido o los datos incorrectos no solamente carecen de valor, sino que, además, son perjudiciales. Es preciso conocer la naturaleza de tales datos y asegurarse de que los que se recopilan sean los realmente necesarios. De aquí deriva la importancia de definir objetivamente los intereses de la empresa en cuanto a los elementos que serán

objeto de estudio (medición por productos, categorías de productos, turnos, tipos de desperdicio, etc.).

- **Bajo seguimiento a los procesos de medida:** Los equipos que no siguen de cerca los procedimientos de recolección de datos suelen descubrir que los datos recogidos en un determinado período de tiempo, o por una persona en particular, no coinciden con los recogidos en otros momentos o por otras personas. El proceso se degenera puesto que las personas olvidan cómo tomar las medidas exactamente, cómo registrarlas, o cómo se define un defecto, e introducen, sin quererlo, variación en el proceso.

- **Extraer conclusiones sobre las causas con base en especulaciones:** Uno de los retos más difíciles en las organizaciones es no prejuzgar la causa de un problema o defecto antes de la medición. Por tal razón, es común encontrar equipos de mejoramiento impacientes por saltarse el proceso de medición para ir directamente a la acción, lo cual por lo general conduce a un desgaste innecesario y a la inversión de recursos en proyectos sin resultados.

- **Desactualización de los estándares:** La actualización constante de los valores estándares de eficiencia son tan importantes como su definición. Es paradójico que mientras muchas compañías de clase mundial tienen como objetivo una eficiencia global superior al 85%, organizaciones relativamente pequeñas experimenten índices que fluctúan alrededor, del 100%. Esta situación puede ser debida a un mal manejo de los datos o a una desactualización en los estándares de rendimiento, lo que podría conllevar a que los registros no expresen la realidad de la situación, distorsionando su gestión y adormeciendo a las organizaciones en una falsa sensación de éxito.

9. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL OEE

Sea cual sea el objetivo que decida perseguir la organización, definir una meta sin una metodología para conseguirla es inútil, pues es la aplicación consciente y disciplinada de la misma lo que determinará el éxito en la gestión de la eficiencia (Walton, 1988). Por esta razón, el presente capítulo expone el camino que debe recorrer la empresa para introducir de manera sistemática la medición del OEE, de acuerdo a la experiencia documentada de diversos expertos en el campo y las propuestas propias del presente proyecto de investigación.

La implementación de un indicador como el OEE debe ser sistemática y bien pensada, pues normalmente sólo hay una oportunidad para crear buena impresión. Los trabajadores deben tener seguridad de que su esfuerzo en la medición y en la gestión será fructuoso, de lo contrario, el escepticismo predispondrá al personal para el fracaso y éste ocurrirá por proalimentación[1]. Por esto, cuando la organización se propone utilizar el OEE como guía para incrementar el desempeño productivo de los equipos es necesario que siga un proceso ordenado, controlando permanentemente tanto la evolución del sistema de medición como la percepción que tienen sobre éste los trabajadores.

Koch (2011) describe la implementación del OEE en ocho pasos fundamentales:

1. Seleccionar una máquina piloto.
2. Definir claramente los parámetros del sistema a medir.
3. Diseñar los formatos necesarios para registrar la información.

[1] De acuerdo a O'connor *et al* (1998) la proalimentación es cuando el efecto anticipado del futuro, que todavía no ha tenido lugar, genera la causa del presente; de no ser así, no se hubiera producido. Las esperanzas, miedos y convicciones de las personas respecto al futuro sirven para crear el propio futuro que anticipan: expectativas sobre el valor de bienes en el mercado, rumores sobre la insolvencia de bancos para afrontar sus deudas, etc.

4. Entrenar a los equipos de trabajo ad hoc que participarán en la medición y la gestión.
5. Recolectar los datos.
6. Procesar los datos.
7. Generar retroalimentación (feedback) a los equipos de producción.
8. Informar regularmente sobre la gestión.

Por su parte, el presente proyecto de investigación considera la inclusión de una nueva etapa, posterior al paso 2, denominada "Determine sus niveles de desempeño meta" con la cual se evaluará el estado de eficiencia actual con relación a aquella definida como satisfactoria por la gerencia. La Tabla 11 clasifica las anteriores etapas en una fase de implementación y otra fase de control y seguimiento.

Tabla 11. Etapas para la implementación y el seguimiento de la Eficiencia Global del Equipo

FASE DE IMPLEMENTACIÓN
1. Seleccione una máquina piloto
2. Defina claramente los parámetros del sistema a medir
3. Determine sus niveles de desempeño meta
4. Diseñe los formatos necesarios para registrar la información
5. Entrene a los equipos de trabajo que participarán en la medición y gestión

FASE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO
1. Recolecte los datos
2. Procese los datos
3. Genere retroalimentación a los equipos de producción.
4. Informe regularmente sobre la gestión

9.1. FASE DE IMPLEMENTACIÓN

9.1.1 Seleccione una máquina piloto

En primer lugar, el objetivo de la implementación inicial del OEE es conocer cómo éste trabaja, por lo tanto Koch (2011) sugiere escoger una máquina que sea fácil de supervisar y

controlar, con un mínimo de variables diferentes interviniendo sobre ella simultáneamente. Equipos donde operen numerosos trabajadores y donde se presente una alta rotación del personal, no son convenientes para la primera prueba.

Adicionalmente los operarios del equipo deben ser dinámicos y estar comprometidos con el registro preciso de los datos. Es importante recordar que generalmente las personas son reacias al cambio y no brindan muchas oportunidades para probar nuevos sistemas; debido a esta situación debe escogerse aquella máquina donde el éxito esté garantizado en mayor medida.

9.1.2. Defina claramente los parámetros del sistema a medir

Los parámetros están directamente relacionados con el tipo de información que la empresa o el área interesada desea conocer, ya que puede requerir el OEE de acuerdo a los turnos, de familias de ítems, de cada operario, de cada equipo, de cada artículo, etc., e incluso considerar diferentes tipos de desperdicio. Por lo tanto la organización debe definir, de acuerdo a sus intereses:

- **Máquinas.** ¿Qué máquinas se medirán? ¿dónde inician y dónde terminan?
- **Tiempo base.** ¿Se descontarán las paradas planeadas en el cálculo del indicador? ¿Se descontará el tiempo asignado a los mantenimientos, descansos, fumigaciones o el tiempo no programado por ajustes en la demanda?
- **Productos o grupos de productos.** ¿Se rastreará cada artículo o será suficiente con medir el indicador para grupos de productos? ¿Tiene sentido registrar por separado dos productos similares cuya única diferencia es su color o etiqueta**?**
- **Tipos de desperdicio o *scrap* a medir.** ¿Se tendrá en cuenta el desperdicio estructural, el desperdicio de proceso, ambos?
- **Velocidad nominal o estándar del equipo**. La velocidad que el equipo puede alcanzar una vez se encuentra en su estado estable – conocida también como velocidad de crucero – está claramente relacionada con el grado de obsolescencia de

la máquina y también, en gran medida, del producto a procesar. Por esta razón se requiere conocer con claridad cuál será la velocidad con la que se comparará el desempeño del equipo a fin de no subestimar ni sobreestimar su nivel de eficiencia.

9.1.3. Determine sus niveles de desempeño meta

De acuerdo a Schneider Schpilberg (2007) el establecimiento de metas no sólo es necesario sino que es esencial en el ambiente global de las organizaciones y empresas que son altamente competitivas. Las metas señalan y dirigen las acciones de mejora, brindan retos y estándares, definen la base para el diseño de la organización y justifican diversas actividades y el uso de recursos para realizarlas. Adicionalmente, las metas son herramientas motivadoras importantes para influir en el desempeño de los empleados.

Beltrán Jaramillo (1998) argumenta que para definir los niveles de desempeño meta se requiere disponer de valores de referencia, tales como:

- Valor histórico: Muestra cómo ha sido la tendencia a través del tiempo y permite proyectar y calcular valores esperados para el período. El valor histórico señala la variación de resultados, su capacidad real, actual y probada e informa si el proceso está o no está controlado, aunque no dice el potencial alcanzable.

- Valor estándar: El estándar señala el potencial de un sistema determinado.

- Valor teórico: También llamado de diseño, es usado fundamentalmente como referencia de indicadores vinculados a capacidades de máquinas y equipos en cuanto a producción, consumo de materiales y fallas esperadas.

- Valor de requerimiento de los usuarios: Representa el valor de acuerdo con los componentes de atención al cliente que se propone cumplir en un tiempo determinado.

- Valor de la competencia: Son los valores de referencia provenientes de la competencia (benchmarking); es necesario tener claridad que la comparación con la competencia sólo señala hacia dónde y con qué rapidez debe mejorar, pero a veces no dice nada del esfuerzo a realizar.

- Valor por política corporativa: Se fija una política a seguir respecto a la competencia y al usuario. No hay una única forma de estimarlos; se evalúan posibilidades y riesgos, fortalezas y debilidades, y se establecen.

- Determinación de valores por consenso: Cuando no se cuenta con sistemas de información que muestren los valores históricos de un indicador, ni cuente con estudios para obtener valores estándar, una alternativa para obtener niveles de referencia es acudiendo a las experiencias de un grupo con alto conocimiento del proceso (método Delphi).

9.1.4. Diseñe los formatos necesarios para registrar la información

Es importante prestar especial atención a la estructura de las plantillas. Debe tenerse en cuenta que una vez implementadas, completar las plantillas ocupará una fracción del tiempo de trabajo de los operarios por lo cual estas deben ser fáciles de entender, claramente organizadas y sencillas de diligenciar.

Adicionalmente, los campos deben solicitar los datos de acuerdo a la secuencia en que estos son obtenidos. Por ejemplo, no es conveniente que el formato solicite primero la cantidad de productos defectuosos y después las paradas que hubo durante la corrida, dado que éstas se registran durante el proceso y el *scrap* comúnmente al final. De lo contrario, el operario podría tener la falsa sensación de haber diligenciado completamente el formato cuando falta información clave por especificar.

Es conveniente cerciorarse de que el registro completo de los datos para cada máquina, se plasmen en un único formato que pueda contener registros de tiempo, cantidad y calidad. El presente proyecto de investigación propone el formato presentado en la Figura 5, (diligenciado para entender el objetivo de los campos) como guía para un registro sencillo y directo del OEE.

Figura 5. Plantilla para el registro de datos del OEE. Nota fuente: Elaboración propia

REPORTE DE DATOS DEL TURNO _					
Máquina	Sopladora 1	Artículo	23678909	Job	897687
Operario líder	Sergio Hernández	Descripción artículo	Envase plástico 350mm		

Causal de parada	Programada		Planeada	Hora parada	Hora reanudación	Observaciones
	Sí	No				
Limpieza del equipo	X			6:15 a.m.	6:20 a.m.	
Descanso			X	11:15 a.m.	1:20 p.m.	
Ajustes de máquina	X			1:20 p.m.	1:45 p.m.	
Problemas mecánicos		X		3:24 p.m.	3:43: p.m.	

Unidades totales	746	Observaciones Generales:
Desperdicio por producción	4	
Desperdicio por puesta en marcha	16	

Nota fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que los causales específicos de parada dependen del tipo de equipos y procesos que se manejen. Por tanto entre mejor definidas estén las categorías, más asertivas serán las decisiones posteriores.

9.1.5. Identifique y organice los equipos de trabajo *ad hoc* que participarán en la medición y la gestión

No sólo se requiere constancia en el propósito de eliminación de pérdidas sino también coherencia. Es importante que todos trabajen conjuntamente, de lo contrario, todos partirán en diferentes direcciones, con buenas intenciones pero mal encaminados, diluyendo sus

esfuerzos y en ocasiones trabajando en objetivos que están en conflicto (Walton, 1988). De acuerdo a Koch (2011), se requiere un equipo de trabajo liderado por alguien con experiencia en el OEE, quien debe cerciorarse de que los equipos comprendan:

- Cómo funciona el OEE en términos generales.
- Cómo aplica el OEE para las máquinas en cuestión.
- El OEE como fuerza motriz que conduce a la mejora.

Por su parte, desde el enfoque Seis Sigma establece que los actores fundamentales a involucrar en un proyecto de mejoramiento deben estar clasificados en los siguientes grupos (Pande et al., 2004):

- **Alta gerencia.** Conformado por los directivos de la empresa reunidos en un foro diseñado para ayudar a aprender una nueva forma de dirigir el negocio en contacto directo con los equipos de mejora. Su respaldo es vital para impregnar en los demás equipos la pertenencia y la seguridad necesaria para alcanzar el éxito durante el proceso.

- **El responsable de implementación.** Gestiona el día a día el esfuerzo de implementación del proyecto. Entre sus responsabilidades se encuentran: comunicar el plan de implementación a la alta gerencia; identificar y reclutar a otros actores importantes, incluyendo posibles consultorías externas; colaborar en la selección y desarrollo de los materiales de formación; planificar y llevar a cabo la formación y apoyar a los jefes de equipo o *sponsors* en la ejecución de los planes.

- **El jefe de equipo o jefe de proyecto.** Supervisan el proyecto durante su introducción y desarrollo y son responsables frente a la alta gerencia de su éxito. El jefe de equipo es, habitualmente, alguien familiarizado con el trabajo que se está analizando y suele formar parte del proceso que se intenta mejorar. También se conocen como patrocinadores o *sponsor* del proyecto.

- **El tutor del proyecto.** Aconseja a los propietarios de proceso y a los equipos de mejora en áreas tan diversas como el uso de herramientas estadísticas de medida, la gestión del cambio o las estrategias de diseño de procesos. Adicionalmente, el tutor del proyecto debe estimar, medir y validar los beneficios, económicos o no, atribuidos a los proyectos de mejora.

- **Los miembros de equipo.** Los miembros de equipo son elegidos, de forma habitual, por su trabajo en el proceso que se está revisando. Su conocimiento representa la fuerza motriz del proyecto, debido a su experiencia en el sistema bajo análisis. Deben estar dispuestos a hacer todo tipo de preguntas, participar activamente en el trabajo del equipo, seguir las instrucciones para la recolección de los datos y el análisis, escuchar a los demás de forma activa y demostrar sus habilidades para la gestión de reuniones en las deliberaciones, decisiones y planes.

9.2. FASE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

9.2.1. Recolecte los datos

Es conveniente iniciar con la recolección de los datos inmediatamente después de la reunión en que se instruye al personal sobre el manejo y la utilidad del OEE. Aplicar el conocimiento inmediatamente ayudará a profundizar acerca del concepto; es clave tener en cuenta que el ánimo y el conocimiento se desvanecerán con cada día que pase.

La tecnología en el proceso de recolección y procesamiento de datos

Es de destacar la importancia que se le otorga desde hace más de una década al desarrollo de arquitecturas de información, así como al desarrollo de tecnologías que den soporte a esta arquitectura, como agentes fundamentales en los procesos de gestión. La generación, el tratamiento, análisis, almacenamiento y distribución de la información necesaria para

alimentar a los sistemas de medición del rendimiento, conlleva el definir correctamente tanto a la arquitectura de información, como a la base tecnológica que de soporte a ésta, convirtiéndose ambos en dos aspectos esenciales (Alfaro Saiz et al., 2008).

Los sistemas informáticos de recolección y procesamiento de datos están diseñados para aportar información más precisa, oportuna y confiable sobre las fuentes de pérdida. El desfase de tiempo o *delay* que existe entre el registro manual de datos y la identificación de las fuentes de pérdida, afecta negativamente al proceso de toma de decisiones pues las acciones son más tardías. Es por este tipo de complejidad dinámica que (O'connor and McDermott (1998) afirman que es probable que para cuando seamos capaces de ver un efecto, haya alcanzado un umbral crítico y sea demasiado tarde para anularlo. Adicionalmente, los sistemas automatizados de recolección de datos pueden ser de gran utilidad en los casos en que un operario está encargado de monitorear múltiples máquinas simultáneamente.

De acuerdo a Koch (2011) es necesario tener especial cuidado en la implementación de las tecnologías de medición dado que implementarlas implica considerar y eliminar ciertos obstáculos sicológicos y técnicos.

Obstáculos sicológicos: Si los operarios no se sienten partícipes de la información que se recolecta pueden percibir el sistema, más como una amenaza a su trabajo que como una herramienta. Adicionalmente, si los operarios desconocen el significado de la información que se extrae, y peor aún, no reciben retroalimentación de dichos datos, poco o nada podrán aportar a la gestión de la eficiencia desde sus puestos de trabajo, que es el lugar donde deben focalizarse la mayor parte de las acciones.

Obstáculos técnicos: Previo a la decisión de invertir en nuevas tecnologías de medición, es preciso estudiar si el sistema informático es compatible con las condiciones y características de los equipos que se manejan en planta. Los sistemas de recolección automática de datos son más complejos en la medida en que más

pérdidas pueden detectar (paradas, reducciones de velocidad, productos defectuosos, etc.), lo cual es a su vez proporcional a la complejidad de su instalación y al costo de su adquisición. Por tal razón, la organización siempre debe evaluar el costo y el beneficio que le traerá la aplicación de dichas tecnologías y estar en capacidad de identificar fácilmente cómo estas le agregarán valor a su estrategia.

En este tema Koch (2011) concluye que finalmente, sea cual sea el mecanismo de recolección de datos que se utilice, es importante involucrar siempre al personal operativo en esta etapa. Walton (1988) establece que incluso los trabajadores pueden encargarse de gran parte de la interpretación, otorgándoles mayor responsabilidad y empoderamiento.

9.2.2. Procese los datos

El procesamiento de datos va más allá del simple cálculo del indicador, pues es necesario organizar y analizar los datos de manera sistemática a fin de transformar los datos en información útil. Las personas deben aprender a estudiar de manera regular los diversos fallos y anormalidades, buscando las causas de su ocurrencia y proponiendo acciones sobre éstas para eliminar la posibilidad de nuevas ocurrencias. Autores como Falconi Campos (1992) denominan a este proceso como “Análisis de Fenómeno”, y proponen el formato presentado en la Figura 6.

Por su parte, Suzuki (1992) expone que muchas personas se cuestionan sobre la diferencia entre la mejora orientada (procesos de análisis ordenados como el que motiva el presente proyecto de investigación) y las actividades de mejora continua diarias (Análisis de Fenómeno). El punto básico a recordar sobre la mejora orientada es que si una empresa está haciendo ya todas las mejoras posibles en el curso del trabajo de rutina y las actividades de pequeños grupos, la mejora orientada es innecesaria. Sin embargo, las mejoras del día a día, en la práctica, no marchan tan regularmente como sería deseable. Con frecuencia, las personas se quejan de estar demasiado ocupadas, que las mejoras son difíciles de hacer o que no se les asigna suficiente presupuesto. Como resultado, los problemas difíciles

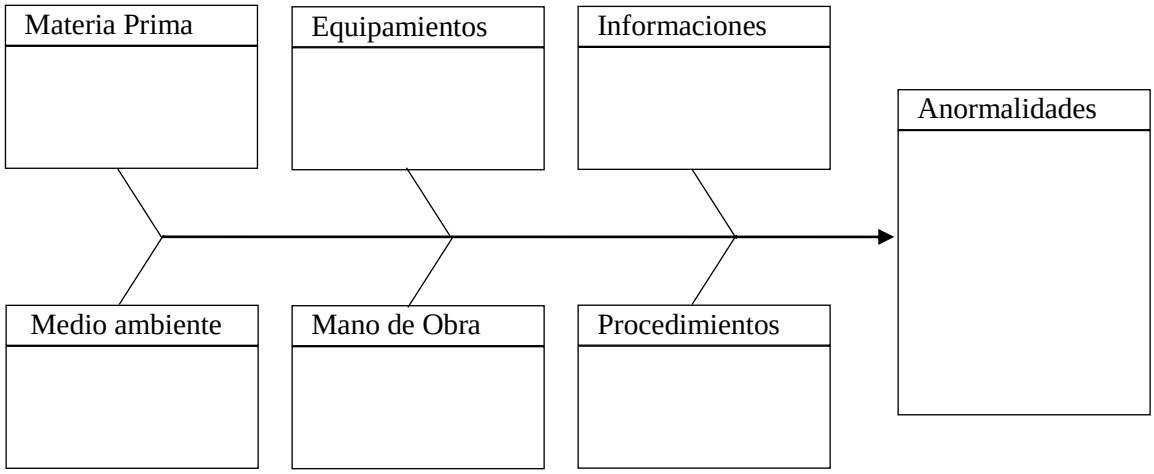
permanecen sin resolverse, y continúan las pérdidas y el desperdicio, haciendo aún más remota la posibilidad de mejorar.

Figura 6. Formato para el análisis de Fenómeno. Nota Fuente: Falconi Campos (1992)

EMPRESA "E"	**INFORME DE ANÁLISIS DE FENÓMENO EN EL TURNO**	Control N°. ____ / ____ Fecha: __ / __ / __

Sección:_____ Turno:_____ Grupo:_____ OP N°:_____ Descripción de la OP:_____	Máq./Línea:_____ Operador:_____ Detectado por:_____ Hora:_____

Investigación de Causas:



¿Por qué ocurre la anormalidad? _____

Causa Probable:_____

Plan de Acción

Contramedidas	Responsable	Plazo	Local	Procedimiento

9.2.3. Genere retroalimentación (feedback) a los equipos de producción

Los diagramas de OEE son inútiles si estos no llegan a la planta de producción con rapidez. La retroalimentación del OEE es la primera herramienta que tiene el operario para actuar cuando la eficiencia del equipo esté decayendo. Si la retroalimentación no le llega al operario en menos de 24 horas, le será difícil observar la posible conexión de sus acciones con los efectos sobre el OEE:

- ¿Qué pasa si la máquina no es revisada a tiempo cuando presenta cierto sonido?
- ¿Qué efecto tiene ajustar de una u otra manera el equipo durante un cambio?
- ¿Cuál es el impacto sobre la calidad al incrementar a cierto nivel la velocidad del equipo?

Los datos deben ser procesados con la mayor diligencia posible una vez se recolectan. Se sugiere que al final de cada turno, los operarios de la máquina calculen el OEE a partir de los datos recolectados y trasladen los valores obtenidos para los coeficientes de disponibilidad, velocidad y calidad a una gráfica de tendencia ubicada en un tablero expuesto junto a cada equipo (*storyboard*). De esta manera tanto jefes como operarios puedan observar y retroalimentarse permanentemente sobre su estado actual de desempeño, identificando patrones y corrigiendo tendencias de manera oportuna.

9.2.4. Informe regularmente sobre la gestión

Es trabajo del responsable de implementación informar a los equipos de producción las mejoras obtenidas a partir de la gestión del OEE con la mayor frecuencia posible, presentándose con base en hechos y datos. Aquí se demostrará que es posible alcanzar mejoras en competitividad a partir de un proceso de medición objetivo y un trabajo orientado a la solución de los problemas desde su raíz.

10. DMAIC: HERRAMIENTA SEIS SIGMA PARA LA MEJORA INCREMENTAL DE PROCESOS

En el capítulo 9 se presentaron las directrices para lograr una implementación sistemática del OEE en la organización. Sin embargo, el éxito de la gestión no radica en la simple introducción de la empresa en el indicador, sino en la manera en que está preparada para estructurar e interpretar la información de la que empezará a disponer a fin de identificar y resolver los verdaderos problemas que están restando eficiencia a los procesos productivos.

Para tal fin, una herramienta de reconocida originada en la dinámica del Seis Sigma conocida como DMAIC. Bajo este enfoque, los esfuerzos de mejora buscan corregir los problemas eliminando las causas de variación del proceso, pero dejando intacta su estructura básica. De acuerdo a Pande et al. (2004) el DMAIC está constituido por el siguiente conjunto de etapas:

- Definir los requisitos del cliente y los objetivos del proceso/producto /servicio.
- Medir el rendimiento respecto a los requisitos del cliente.
- Analizar y evaluar el diseño del proceso/producto/servicio.
- Implementar el nuevo proceso/producto/servicio con las mejoras propuestas.
- Controlar los resultados y mantener el rendimiento conseguido.

Adicionalmente Pande et al. (2004) introducen seis ingredientes críticos necesarios para conseguir el nivel Seis Sigma en una organización. Éstos son:

- **Auténtica orientación al cliente.** La orientación al cliente es la máxima prioridad del Seis Sigma. De acuerdo a los autores, aunque las empresas llevan mucho tiempo diciendo que el cliente es lo primero, o que siempre tiene razón, muy pocas han avanzado en la comprensión de sus requisitos y procesos. Por esta razón, con el DMAIC las mejoras se miden por su impacto en la satisfacción del cliente y por el valor que le aporta.

- **Gestión orientada a datos y hechos.** Aunque el internet y los ordenadores han inundado de datos el mundo de los negocios, muchas decisiones empresariales importantes siguen confiándose sólo al instinto o basándose en suposiciones infundadas. Los equipos Seis Sigma arrojan luz sobre cuáles son los indicadores clave para medir el verdadero rendimiento empresarial; después, recogen y analizan los datos para conseguir un mejor entendimiento de las variables clave y de los procesos.

- **Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos.** Seis Sigma se centra en el proceso como el elemento clave para conseguir cumplir los requisitos del cliente. Por esta razón, el Seis Sigma identifica los procesos de negocio de los que depende, en gran medida, la satisfacción del mercado.

- **Gestión proactiva.** Ser proactivo significa adelantarse a los acontecimientos, lo contrario de ser reactivo, que significa estar siempre por detrás de la curva. Ser proactivo consiste en crear el hábito de fijar y seguir objetivos ambiciosos; establecer prioridades de forma clara; recompensar a aquellos que previenen los incendios, al menos, tanto como a los que los apagan, y cuestionarse siempre cómo se están haciendo las cosas en lugar de negarse a cambiar los métodos tradicionales.

- **Colaboración sin fronteras.** Este punto hace referencia a la tarea de romper las barreras que impiden el flujo de ideas y acciones a lo largo y ancho de una organización.

- **Búsqueda de la perfección, tolerancia a los errores.** Seis Sigma invierte gran empeño en la búsqueda de la perfección y en conseguir resultados sostenibles durante un período de tiempo adecuado. En este propósito, el mayor riesgo al que tienen que enfrentarse estos equipos es el de tener miedo de probar nuevos métodos: invertir tiempo en recoger datos puede parecer arriesgado a primera vista, pero suele tener como consecuencia la toma decisiones mejores y más eficaces.

La Tabla 12 resume la herramienta DMAIC orientada a la solución de problemas:

Tabla 12. Herramienta para la solución de problemas bajo el enfoque DMAIC

DMAIC	FLUJO-GRAMA	FASE	OBJETIVO
Inicio			
D		Realizar cuadro del proyecto	Definir las responsabilidades de cada uno de los integrantes del esquipo de mejoramiento con el fin de alcanzar las metas establecidas por la organización.
		Identificar y caracterizar el proceso	Comprender el proceso detalladamente, identificando los enlaces entre los componentes del proceso, estableciendo los límites del mismo e identificando los proveedores y los clientes.
		Comprender la voz del cliente	Identificar los requerimientos de los clientes.
M		Seleccionar lo que se quiere medir	Definir e identificar las variables de proceso, o resultados que midan las necesidades del cliente.
		Desarrollar definiciones operativas	Definir los datos y variables a observar y medir, que busquen dar respuesta a las necesidades del cliente.
		Identificar las fuentes de los datos	Seleccionar las fuentes de las cuales se extraerá la información requerida.
		Preparar el plan de recolección y muestreo	Identificar los factores de estratificación, desarrollar un plan de muestreo y crear los formularios de toma de datos.
		Implementar y perfeccionar el proceso de medida	Diseñar los procedimientos de recolección de datos según la precisión alcanzada.
A		Explorar los datos y/o proceso	Evaluar cuál es la frecuencia, el impacto y el tipo de síntoma que se observa en los datos.
		Generar hipótesis sobre las causas	Proponer y evaluar hipótesis sobre el origen de las causas.
		Verificar o eliminar las causas	Validar y documentar las causas detectadas según la relación identificada.
	1		

Tabla 12. (Continuación)

I	1		
		Generar ideas creativas	Identificar cambios en el proceso.
		Depurar ideas	Identificar qué parte del problema afecta la propuesta realizada.
		Seleccionar una solución	Analizar el impacto y el esfuerzo requerido sobre la causa del problema observado.
C		Estandarización	Documentar la mejora con el fin de evitar la reaparición del problema.
		Conclusión	Diseñar un plan de gestión por proceso.
Fin			

Nota fuente: Elaboración propia.

11. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN DE MEJORAS DEL OEE

La herramienta DMAIC expuesta en el capítulo 10 representa la base para el desarrollo de la Propuesta Metodológica. Para tal objetivo se tomaron los fundamentos principales de este enfoque y se estableció un proceso ordenado a fin de identificar y eliminar las causas raizales de pérdida de eficiencia en los equipos de producción.

Tal como se mencionó, una característica fundamental del DMAIC es su orientación al cliente como prioridad máxima. Dado que el sistema a mejorar es un equipo (o un proceso) y no la organización per se, se definirá como cliente del proceso a la unidad misma de negocio pues es la organización la mayor interesada en que sus procesos fluyan de manera eficiente y tengan un mínimo nivel de desperdicio, ya que esto les asegura un menor costo y por ende un mayor margen de utilidad. Así como un proveedor se esfuerza por cumplir los requisitos, deseos y necesidades de un cliente, de manera análoga, un proceso o un equipo debe esforzarse por alcanzar las exigencias que realiza la alta dirección en cuestión de eficiencia, puesto que el negocio requiere de ella para ser rentable.

De acuerdo a lo anterior, la Propuesta Metodológica se compone de cinco fases específicas en congruencia con las etapas propias del DMAIC expuestas en el capítulo 9:

1. Definir las variables susceptibles de medición de acuerdo a las necesidades y problemáticas visibles del sistema productivo (*Fase Definir*). Para cumplir las exigencias de la Organización es necesario reconocer cuáles son aquellas pérdidas que generan mayor impacto sobre la eficiencia y productividad del equipo. Una vez se visualiza la oportunidad de mejora es imperativo definir cuáles serán aquellas variables a evaluar a fin de enfocar los esfuerzos en la intervención y mejoramiento de su desempeño. Por ejemplo, si a priori se percibe el desperdicio estructural como uno de los factores de mayor incidencia sobre la eficiencia del proceso, es oportuno incluir este aspecto en la medición de la fase 2.

2. Cuantificar las pérdidas reales de Disponibilidad, Velocidad y Calidad del equipo, a partir del cálculo del OEE (*Fase Medir*). En esta fase se parametriza el sistema de medición de acuerdo a los intereses de la organización establecidos en la *Fase Definir*, y se determinan los niveles de desempeño meta. Adicionalmente se efectúa la recolección de los datos para cuantificar la cantidad de tiempo que pierde el equipo o el proceso por averías, ajustes, paradas cortas, reducción de velocidad, reprocesos, puesta en marcha y producción de artículos no conformes.

3. Identificar la causa raíz de las pérdidas de eficiencia a través de la exploración, generación y verificación de hipótesis (*Fase Analizar*). En esta fase se convierten los datos obtenidos en la *Fase Medir* en información útil (es oportuno recordar que "datos" no es lo mismo que "información"). Es posible que el equipo tenga ya algunas teorías antes de comenzar la primera exploración; por el contrario, si tiene problemas a la hora de generarlas, es posible que deba recorrer varias veces el ciclo de exploración, generación y verificación de hipótesis. Debido a la naturaleza de ensayo-error de esta fase, es elemental que el jefe del proyecto se caracterice por sus habilidades de liderazgo, de manera que sea capaz de unificar los esfuerzos y mantener la unidad de propósito y la motivación de todos los miembros del equipo.

4. Implementar soluciones eficaces que eliminen las causas raizales de pérdida de Eficiencia y eviten que éstas se vuelvan a generar (*Fase Mejorar*). El reto de la fase *Mejorar* es la creación e implementación de ideas innovadoras que permitan eliminar de manera radical (o disminuir a niveles mínimos) la causa raizal de las pérdidas de eficiencia. Para esto, el equipo de trabajo deberá evaluar diversas soluciones, decidir cuáles son las mejores opciones y determinar lo que costará hacerlas funcionar (las soluciones no deben ser tan caras ni tan radicales que, a la final, los costos sean mayores a los beneficios). Dichas soluciones estarán intrínsecamente relacionadas con el tipo de pérdida analizada en la Fase *Medir*, es decir, si el escenario del sistema establece que la mayor pérdida está relacionada con los cuadres y ajustes, la Propuesta Metodológica guiará al lector a la

metodología SMED; por su parte si el escenario de pérdida identificado está asociado con los fallos y averías, la Propuesta Metodológica guiará al lector a la técnica AMFE. Para los demás casos, en los cuales las pérdidas surgen de una variedad de causas complejas e interrelacionadas, la Propuesta Metodológica guiará al lector a un proceso ordenado que fusiona las directrices de la técnica DMAIC con el análisis P-M.

5. Controlar y mantener el nuevo sistema (*Fase Controlar*). Una vez que las mejoras han sido implementadas y los resultados documentados, debe seguir midiendo el rendimiento del proceso de forma continua ajustando su funcionamiento cuando los datos le indiquen que hay una desviación entre el desempeño esperado y el desempeño real. Sin los esfuerzos de esta fase, el proceso mejorado tendería a degradarse o volver a su estado inicial.

Con base en lo expuesto hasta el momento, la Tabla 13 a la Tabla 19 presentan la Propuesta Metodológica para contribuir a la mejora de la productividad de los equipos con base en la medición del OEE. En ella se identifican los equipos de trabajo responsables en la medición y la gestión de acuerdo a la estructura de trabajo definida en el capítulo 9, relacionando a su vez las herramientas clave que deben considerarse en la ejecución de las diversas etapas.

Tabla 13. Fase Definición de la Propuesta Metodológica

OBJETIVO		Definir las variables susceptibles de medición de acuerdo a las necesidades y problemáticas visibles del sistema productivo.			
ALCANCE		Inicia con la caracterización del tipo de proceso y concluye con la documentación del árbol pérdidas.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS RELACIONADAS**
1	Inicio				
2	Caracterizar el proceso	Conozca las características y el alcance del proceso (proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes).		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	-Mapa y análisis SIPOC
3	Realizar un diagnóstico general de las pérdidas visibles del proceso.	Reconozca a nivel general las clases de pérdida presentes en el equipo y el nivel de impacto percibido por los conocedores del proceso.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tabla de Pérdidas Comunes de acuerdo al proceso (Anexo A)
4	Solicitar datos de los centros de trabajo.	Dirigirse a los centros de trabajo para conocer el tipo de información que se recolecta.		- Jefe del proyecto	- Informes de producción, bitácoras, etc.
5	¿Se registran las variables de impacto?	Confirmar que los datos que se están registrando sean congruentes con el tipo de pérdida que más impacta de acuerdo al diagnóstico del paso 3.	Sí No		
6	Diseñar herramientas de recolección de información para el registro de las variables de impacto	Diseñe la Plantilla para el Registro de Datos del OEE a fin de medir las variables de impacto, teniendo en cuenta el formato propuesto en la Figura 5.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	
7	¿Está definido el árbol de pérdidas?	Verificar que se tengan establecidos los causales de pérdidas y estén categorizados de acuerdo a los factores.	Sí No		
8	Definir el árbol de pérdidas	Construir el árbol iniciando por la definición de los grupos de pérdidas, siguiendo con la asignación de los causales para cada categoría.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Directrices para la construcción del árbol de pérdida (Figura 1 a Fuente: Elaboración propia. Figura 4)
9	Documentar el árbol de pérdidas definido	Documente el árbol de pérdidas para oficializar y formalizar su aplicación en el proceso de medición.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	

10	Fin				

Tabla 14. Fase Medición de la Propuesta Metodológica

OBJETIVO	Cuantificar las pérdidas reales de Disponibilidad, Velocidad y Calidad del equipo, a partir del cálculo del OEE.
ALCANCE	Inicia con la definición de los parámetros del cálculo del OEE y concluye con la actualización del *storyboard* del equipo.
DEFINICIONES	Storyboard: Consiste en un tablero de seguimiento (expuesto por lo general junto al equipo bajo observación) donde se presenta la historia del OEE y el desempeño en sus tres parámetros fundamentales (disponibilidad, velocidad y calidad). Proporcionan una forma ilustrativa de resumir los resultados y retroalimentar permanentemente al personal sobre ellos.

No	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FLUJOGRAMA	GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE	HERRAMIENTAS RELACIONADAS
1	Inicio				
2	Definir los parámetros del sistema de medición	Establezca los parámetros del sistema bajo observación de acuerdo al tipo de información que requiera la alta gerencia, por ejemplo: - ¿A qué máquinas se les medirá la eficiencia y cuáles son sus límites? - ¿Qué tiempos no serán incluidos en el cálculo del indicador? ¿Se castigará la eficiencia por las paradas planeadas? - ¿Se tendrá en cuenta el desperdicio estructural, de proceso o ambos? - ¿Se rastreará cada artículo o será suficiente con medir el indicador para grupos de productos?		- Alta gerencia	
3	Determinar los niveles de desempeño meta	Formule las metas de Eficiencia Global del Equipo. Los valores de referencia pueden ser, entre otros: - Valores históricos - Rendimiento teórico o de diseño - Valor de la competencia (benchmarking) - Determinación de valores por consenso	1	- Alta gerencia - Jefe del proyecto	

		- Valor por política corporativa			

Tabla 14. (Continuación)

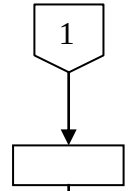
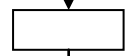
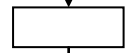
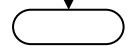
4	Recolectar los datos	Utilice el instrumento de recolección diseñado en el paso 6 de *Definir* para registrar los datos sobre las paradas del equipo y la producción defectuosa.		- Miembros del equipo	- Plantilla para el Registro de - Datos del OEE
5	Calcular el OEE para periodos breves de tiempo (turnos o días) desagregándolo por sus tres factores de pérdida	Al final de cada turno/día, calcule el coeficiente de disponibilidad, velocidad y calidad y el producto de estos tres factores.		- Miembros del equipo	
6	Graficar el desempeño alcanzado durante el turno/día	Al final de cada turno actualice el *storyboard* del rendimiento a fin de retroalimentar al equipo de trabajo sobre su desempeño obtenido.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Storyboard
7	Fin				

Tabla 15. Fase Analizar de la Propuesta Metodológica

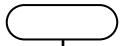
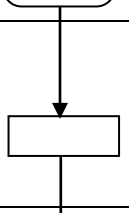
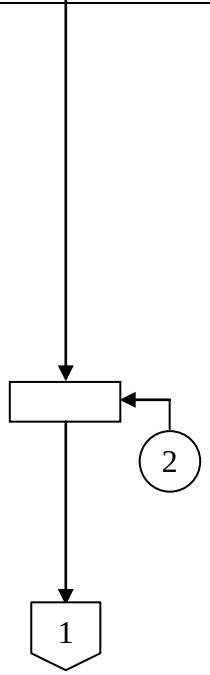
OBJETIVO		Identificar la causa raizal de las pérdidas de Eficiencia a través de la exploración, generación y verificación de hipótesis.			
ALCANCE		Inicia con la selección del mayor factor de pérdida y concluye con el direccionamiento a la respectiva metodología de mejoramiento.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS RELACIONADAS**
1	Inicio				
2	Seleccionar el factor de pérdida de mayor impacto sobre la Eficiencia Global del Equipo.	Identifique el factor donde se manifiesta la principal pérdida de eficiencia, ya sea de disponibilidad, velocidad o calidad. El cálculo del OEE en un horizonte de tiempo representativo garantiza que el problema elegido es el más importante a intervenir.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto	- Gráfico de barras
3	Descubrir las características de la pérdida con base en la información disponible.	Para el grupo de pérdida seleccionado, observe el problema desde diversos puntos de vista: - Tiempo: ¿Los resultados son diferentes por la mañana, la tarde, la noche, los lunes, los feriados, etc.? - Tipo: ¿Los resultados son diferentes de acuerdo al producto, la materia prima, la referencia a fabricar, los insumos? - Tripulación o equipo de trabajo - ¿Los resultados son diferentes de acuerdo al personal que opere la máquina? Genere interrelaciones entre los diferentes factores, de tal forma que abarque la mayor cantidad de impactos posibles. Para cada escenario, construya diversos gráficos de Pareto para validar las interrelaciones planteadas. Es de suma importancia la oportunidad de los datos suministrados por los instrumentos de recolección de información diseñados en el paso 6 de *Definir.*		- Tutor del proyecto - Jefe del proyecto	- Técnicas de análisis 5W-2H. - Histogramas - Estratificación - Gráficos de Pareto - Gráfico de tendencia - Plantillas de recolección de datos Figura 5

Tabla 15. (Continuación)

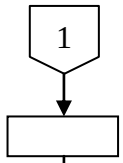
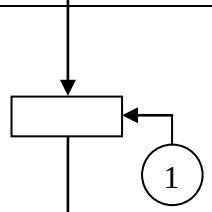
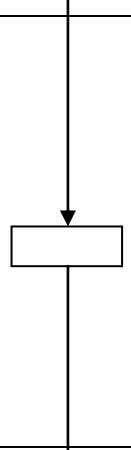
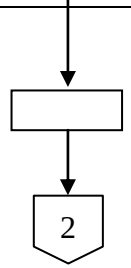
4	Descubrir las características del problema a través de la observación en el local.	Utilice hojas de verificación en el lugar de la ocurrencia para recolectar información suplementaria que no puede ser obtenida en forma de datos numéricos y que sí puede ser de utilidad para la generación y verificación de las futuras hipótesis.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Hoja de Verificación
5	Definir las causas influyentes.	Involucre a todas las personas que puedan contribuir con la identificación de las causas y programe reuniones participativas. En ellas, desarrolle una tormenta de ideas y apunte el mayor número posible de causas probables, estableciendo la respectiva relación de causalidad en un diagrama de Causa-Efecto.		- Miembros del equipo - Jefe del proyecto	- Tormenta de ideas - Diagrama de Causa-Efecto
6	Seleccionar las causas más probables (Generación de hipótesis).	Las causas levantadas en la tarea anterior deben ser reducidas por eliminación de las causas menos probables, con base en los hechos y datos levantados en el proceso previo de exploración. Aproveche también las sugerencias basadas en la experiencia del grupo y de los superiores jerárquicos para contrastar las hipótesis. Con base en las informaciones de la observación, priorice las causas más probables. Debe prestarse especial atención a los efectos cruzados, es decir, problemas que resultan de dos o más factores simultáneos.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	
7	Analizar las causas más probables (Verificar hipótesis)	Visite el lugar donde actúan las hipótesis y recolecte datos utilizando listas de verificación para más facilidad. Estratifique las hipótesis y utilice el gráfico de Pareto para priorizar y probar la relación entre la hipótesis y el efecto. Adicionalmente puede hacer uso de la información histórica de los Análisis de Fenómeno descrito en el Capítulo 9.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Diagramas de correlación - Versiones estratificadas de las herramientas de exploración - Historial de Análisis de Fenómeno - Histogramas - Diseño de Experimentos (DOE)

Tabla 15. (Continuación)

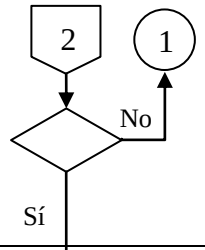
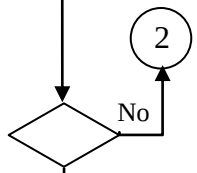
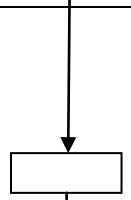
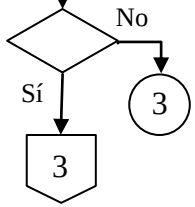
8	¿Hubo confirmación de alguna causa probable?	Con base en los resultados obtenidos en el paso 7, será confirmada o no la existencia de relación entre el problema (efecto) y las causas más probables (hipótesis).			
9	¿Existe evidencia técnica de que es posible bloquear la pérdida?	Si el bloqueo es imposible, o si va a provocar efectos indeseables (desperdicio estructural, alto costo, reprocesos, complejidades), puede ser que la causa determinada aún no sea la causa fundamental, pero sí un efecto de ella. Convierta la causa en un nuevo problema y retorne al paso 3 del proceso *Analizar*.			
10	Documentar las causas que se hayan verificado	Tener una documentación clara sobre las causas que se han investigado y verificado es un punto clave incluso si alguna de ellas, o la mayoría, han demostrado no tener un gran impacto sobre el problema; es posible que, con el tiempo, sea necesario revisar de nuevo la pérdida o algún otro equipo de trabajo encuentre una similar, en cuyo caso puede ahorrar un tiempo considerable si conoce de antemano qué ideas sólo llevan a callejones sin salida.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	
11	¿La causa de pérdida identificada está relacionada con el aumento en el tiempo perdido en cambios y ajustes?	Determinar si la causa identificada tiene relación con el aumento del Tiempo Medio por Preparación (TMPR) presentado en la Tabla 2.			

Tabla 15. (Continuación)

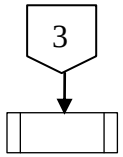
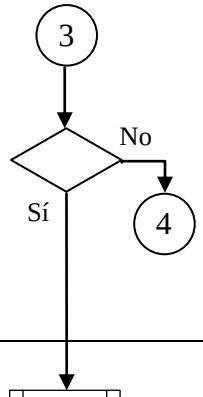
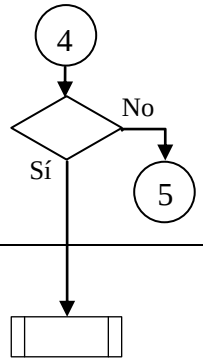
12	Avanzar a la *Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Cambios y ajustes*	Diríjase a Fase mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Cambios y Ajustes (Tabla 16).			
13	¿La causa de pérdida identificada está relacionada con el aumento del tiempo perdido por fallos y averías?	Determinar si la causa identificada tiene relación con la disminución del Tiempo Medio entre Fallos (MTBF) y el aumento del Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR) presentado en la Tabla 2.			
14	Avanzar a la *Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Averías y Calidad*	Diríjase a la Metodología AMFE presentada en la Tabla 17.			
15	¿La causa de pérdida identificada está relacionada con el aumento del tiempo perdido por la producción de unidades no conformes?	Determinar si la causa identificada tiene relación con la disminución de la capacidad del proceso (CPk) presentada en la Tabla 2.			
16	Avanzar a la *Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Averías y Calidad*	Diríjase a la Metodología AMFE presentada en la Tabla 17.			

Tabla 15. (Continuación)

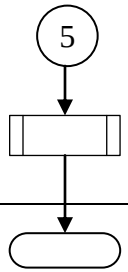
17	Avanzar a la *Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso pérdidas ocultas*	Diríjase a la Metodología para la Solución de las pérdidas Ocultas y Crónicas presentada en la Tabla 18.			
18	Fin				

Tabla 16. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Cambios y ajustes

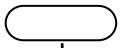
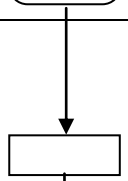
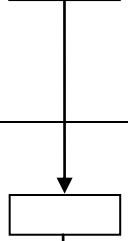
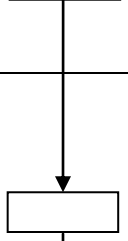
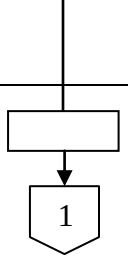
OBJETIVO		Minimizar el tiempo consumido por las operaciones de cambio y ajustes del equipo			
ALCANCE		Inicia con la selección de un ciclo representativo de ajuste y concluye con la retroalimentación de los resultados de eficiencia obtenidos a la Organización.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS RELACIONADAS**
1	Inicio				
2	Seleccionar un ciclo de ajuste representativo	De acuerdo al programa de producción vigente, seleccione aquel cambio que incorpore las características y condiciones comunes que se descubrieron en la estratificación del paso 3 de *Analizar.* Por ejemplo, realice el estudio sobre la tripulación que toma más tiempo en los cambios al producir cierta familia de productos con una materia prima en particular.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Programa de Producción
3	Fragmentar el ciclo de ajuste en operaciones analíticas	Divida todo el ciclo de ajuste seleccionado en el paso 2 en operaciones con límites claramente definidos. La dimensión de las unidades dependerá del grado de detalle y la precisión a la que se pretenda llegar.		- Responsable de implementación	- Estándares actuales de ajuste de máquina
4	Medir el tiempo que tarda la ejecución de cada operación analítica durante el cambio.	Durante el ajuste mida el tiempo que tarda la ejecución de cada una de las actividades definidas en el paso 3. Previo a la medición, asegúrese de que los operarios comprendan que se mide el proceso y no al individuo a fin de evitar sesgar el estudio con el registro de actividades muy lentas o muy apresuradas.		- Responsable de implementación - Miembros del equipo	- Estudio de métodos y tiempos - Herramientas didácticas (cronómetros, cámara de video, tablero de observaciones o clipboard, etc.)
5	Clasificar las operaciones analíticas en operaciones internas y operaciones externas.	Clasifique las operaciones definidas en el paso 3 en aquellas que actualmente se ejecutan a máquina parada (operaciones internas) y aquellas que se ejecutan a máquina en marcha (operaciones externas).		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	

Tabla 16. (Continuación)

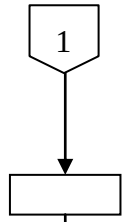
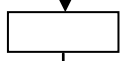
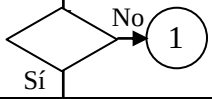
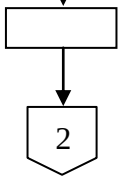
6	Convertir las operaciones internas en operaciones externas.	Convoque una reunión con el equipo de mejoramiento a fin de transformar todas las labores internas de preparación en actividades a máquina en marcha. Así, por ejemplo, la búsqueda, preparación y organización de las herramientas y materiales necesarios en el cambio son labores que deben ser realizados mientras que la máquina está en marcha. Por su parte, la preparación interna debe limitarse exclusivamente a retirar los útiles o herramientas anteriores y fijar los nuevos. También puede ser necesario incluir algunas mejoras o cambios en los útiles o en la propia máquina, para permitir dicha transformación.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
7	Clarificar las razones por las cuales deben realizarse cada una de las operaciones internas para evaluar su posible eliminación	Determine la naturaleza de las operaciones internas, es decir, la causa que ha originado la necesidad de realizarlas (pequeños errores acumulados, posicionamientos incorrectos, desajustes estructurales, rigidez, falta de estandarización, etc.).		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
8	¿Es posible eliminar la operación interna?	Decida si el ajuste es definitivamente evitable o no.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
9	Eliminar las operaciones internas innecesarias	Suprima del proceso aquellas operaciones que no agregan valor en el ajuste. Es probable que eliminar una actividad implique la modificación de otro proceso u operación, por lo cual debe prestar atención en que el beneficio de suprimir la actividad no genere un costo superior en otra ubicación del sistema.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas

Tabla 16. (Continuación)

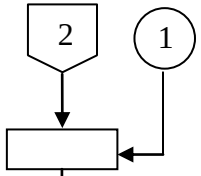
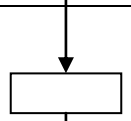
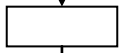
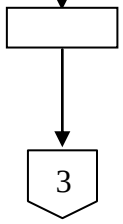
10	Ordenar las operaciones internas de mayor a menor de acuerdo a su duración	De las operaciones internas necesarias, ordene las operaciones de acuerdo al tiempo que toma su ejecución.		- Responsable de implementación	
11	Reducir los tiempos de las operaciones de preparación que se llevan a cabo a máquina parada.	A partir de una lluvia de ideas, evalúe mecanismos que permitan acortar el tiempo de ejecución de las operaciones internas. Desarrolle el análisis siguiendo el orden definido en el paso 10.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
12	Simultanear operaciones internas no necesariamente secuenciales	Todas aquellas operaciones que se pueden efectuar a la vez no deben esperar. Por tal razón, evalúe cuáles de las operaciones pueden ser ejecutadas en paralelo por el grupo de operarios.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
13	Determinar el nuevo método de trabajo	Establezca un método de trabajo en el que se detallen, siguiendo un orden secuencial, cada una de las operaciones. Si en la empresa se trabajan a varios turnos, o por su organización, son también varios los operarios que se encargan de realizar el cambio, es conveniente seguir la pauta tayloriana de observar el método de trabajo de cada uno de los operarios y confeccionar un método que recoja las ventajas de cada uno de ellos.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Diagramas de flujo de proceso - Hoja de ruta estándar de operaciones

Tabla 16. (Continuación)

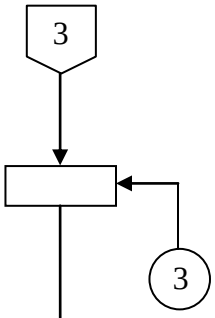
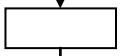
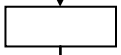
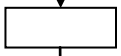
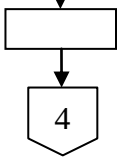
14	Elaborar el Plan de Acción	Establezca con detalle un plan de acción 5W-2H donde se especifiquen: • Las contramedidas o soluciones pactadas (What) • Responsables (Who) • Fechas límite (When) • Justificativa (Why) • Locaciones (Where) • Procedimiento (How) • Meta a ser alcanzada en tiempos de ajuste (How much) • Ítems de control y verificación de los diversos niveles involucrados		- Jefe del proyecto	- Plan de Acción 5W-2H - Diagrama de Gantt
15	Divulgar el Plan de Acción	Presente claramente las tareas y la razón de ellas, certificando que todos entienden y concuerdan con las medidas propuestas.		- Responsable de implementación	
16	Entrenar al equipo de trabajo responsable del ajuste	Desarrollar los materiales de formación y las ayudas necesarias para la implementación del SMED en el equipo.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Listas de comprobación - Documentación sobre el nuevo proceso
17	Desarrollar la prueba piloto de la decisión tomada	Ejecute una versión controlada del nuevo método de ajuste. La solución debe probarse para unos pocos ciclos del proceso. El objetivo es prevenir y anticiparse de manera proactiva a los problemas que puedan surgir en la ejecución a gran escala.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
18	Comprobar los resultados	Utilice los datos recolectados antes y después de la acción de mejoramiento para verificar la efectividad de la acción y el grado de reducción de los efectos indeseados.		- Jefe del proyecto	

Tabla 16. (Continuación)

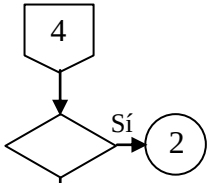
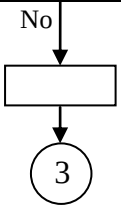
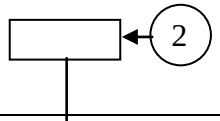
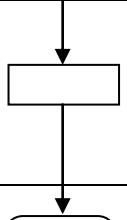
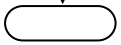
19	¿La solución ha eliminado o reducido la pérdida en la medida esperada?	Utilice la información levantada en el paso 18 para tomar la decisión.			
21	Reevaluar la factibilidad del Plan de Acción y su consistencia frente a los objetivos planteados	Convocar un debate con el equipo de trabajo para discutir las razones por las cuales las acciones planteadas en el Plan de Acción no fueron efectuadas y/o no presentaron el impacto esperado sobre los resultados.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
22	Implementar la propuesta a gran escala	Implemente la propuesta formalmente y verifique físicamente y en el local que las acciones están siendo efectuadas tal como se llevó a cabo la prueba piloto.		- Miembros del equipo	
23	Retroalimente sobre los resultados al equipo de trabajo y a la Organización en General	Resalte los esfuerzos realizados en la aplicación de la metodología SMED. Incorpore gráficos que demuestren la reducción en los tiempos de ajuste (Paretos, histogramas, líneas de tendencia, etc.).		- Responsable de implementación	*Storyboard*
24	Fin				

Tabla 17. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso Averías y Calidad

OBJETIVO		Implementar soluciones eficaces para prevenir los posibles modos de fallos en el proceso y en el producto.			
ALCANCE		Inicia con la selección del equipo de trabajo y concluye con la retroalimentación de los resultados de eficiencia obtenidos a la Organización.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS RELACIONADAS**
1	Inicio				
2	Establecer el tipo de AMFE a realizar	Se define de forma precisa el proceso o producto a evaluar.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	Diagrama de flujo
3	Aclarar las funciones del producto o proceso analizado	Se identifica y se describe todas y cada una de las operaciones y funciones del proceso analizado.		- Tutor del proyecto - Miembros del equipo	
4	Determinar los modos potenciales de fallo	Se identifica cada una de las posibles situaciones en dónde el proceso no realiza las funciones que han sido definidas.		- Tutor del proyecto - Miembros del equipo	Estudios de fiabilidad Tormentas de ideas
5	Determinar los efectos potenciales de fallo	Se identifica cada uno de las consecuencias no deseadas del fallo las cuales podrán ser observadas o detectadas por el usuario del proceso. Esta descripción se deberá realizar en términos de eficacia y eficiencia del mismo.		- Tutor del proyecto - Miembros del equipo	
6	Determinar las causas potenciales de fallo	Se identifican y asignan a cada modo de fallo todas las posibles causas ya sean directas o indirectas. Es necesario relacionar estas causas de la forma más específica y concisa posible.	1	- Tutor del proyecto - Miembros del equipo	Diagrama Causa – Efecto Diagrama de relaciones

Tabla 17. (Continuación)

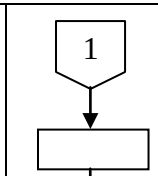
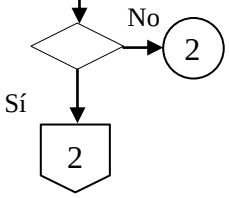
7	Identificar los sistemas de control actuales	Para cada una de las causas de los modos de fallo, se identifican las medidas de control diseñadas para prevenirlas, o bien, para detectar el modo de fallo resultante.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	
8	Determinar los índices de evaluación para cada modo de fallo	Se definen los índices Gravedad, Ocurrencia y No-Detección para cada una de las causas. Cada índice se valora de 1 a 10, siendo 1 un impacto menor, y 10 el mayor impacto. - La Gravedad determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo en el usuario. Este aumentará en la medida que aumente la insatisfacción del cliente. - La Frecuencia es la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo. - La No-detección es la probabilidad de que la causa y el modo de fallo aparecido, llegue al cliente. Este será mayor en la medida en que el riesgo aumente.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	- Gráficos de control de proceso
9	Calcular para cada modo de fallo potencial los números de prioridad de riesgo (NRP)	Se obtienen los números de prioridad de riesgo para cada una de las causas y modos por medio de la multiplicación de los tres índices. Este valor permitirá clasificar cada una de las causas de modo de fallo de acuerdo su impacto en el cliente.		-Tutor del proyecto -Miembros del equipo	
10	¿Indica necesidad de tomar acciones?	De acuerdo a la valoración obtenida, se consideran aquellos valores mayores a 100. Adicionalmente es conveniente tener presente los casos en que el valor del índice de gravedad sea 10, así el NRP sea menor a 100.			

Tabla 17. (Continuación)

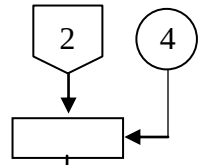
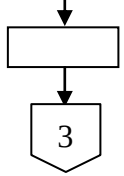
11	Convocar un debate con el grupo de trabajo definido	Programe una reunión con el equipo de mejoramiento donde se deje claridad sobre el punto a debatir (en este caso, las causas raizales definidas en el paso 6, considerando la clasificación dada por el NRP en el paso 9).		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Hoja de Trabajo para planificar reuniones
12	Generar ideas como posibles soluciones a las causas o efectos descritos para cada uno de los modos de fallo	Desarrolle una lluvia de ideas para diseñar soluciones innovadoras. Exhorte al equipo a establecer ideas creativas que desafíen todas las suposiciones obvias resultantes del conocimiento previo del sistema a intervenir.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
13	Organizar ideas	Simplifique las soluciones combinando ideas relacionadas y resúmalas en grupos o categorías.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Análisis de afinidad
14	Eliminar las ideas sin posibilidades	Elimine las ideas que: • No estén orientadas al mejoramiento de la eficiencia del proceso. • Sean poco prácticas o consistentes dentro del contexto u horizonte de tiempo evaluado. • Presentan un costo significativamente superior al beneficio esperado.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	- Técnica multivotos
15	Identificar a qué causa o efecto impacta cada idea	Relacione cada idea con una causa o efecto concreto, de igual manera, intente prever el impacto directo o indirecto de estas acciones sobre otras partes del proceso.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
16	Utilizar la información del paso 16 para generar ideas de solución global	Busque ideas complementarias, es decir, que aborden de manera conjunta una mayor parte de las causas o efectos a intervenir.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
17	Documentar las ideas de solución global	Documente las ideas resultantes del paso 6, en grupos lógicamente relacionados.		- Responsable de implementación	- Diagrama de árbol - Análisis multivotos

Tabla 17. (Continuación)

18	Seleccionar una solución	El equipo debe utilizar algún proceso que le permita tomar la mejor decisión posible y socializarla a las personas implicadas.	3	- Jefe del proyecto -Tutor del proyecto - Miembros del equipo	- Prueba de requisitos mínimos - Matriz de impacto/esfuerzo - Matriz de decisión basada en criterios.
19	Elaborar el Plan de Acción	Establezca con detalle un plan de acción 5W-2H donde se especifiquen: • Las contramedidas o soluciones pactadas (What) • Responsables (Who) • Fechas límite (When) • Justificativa (Why) • Locaciones (Where) • Procedimiento (How) • Meta a ser alcanzada y cantidad (tiempo, defectos, toneladas, etc.) • Ítems de control y verificación de los diversos niveles involucrados		- Jefe del proyecto	- Plan de Acción 5W-1H - Diagrama de Gantt
20	Divulgar el Plan de Acción	Presente claramente las tareas y la razón de ellas, certificando que todos entienden y concuerdan con las medidas propuestas.		- Responsable de implementación	
21	Aplicar las medidas	Se implementará el plan de acción propuesto realizando seguimiento al cumplimiento de las tareas propuestas.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	
22	Realizar nuevamente el AMFE	Se calcula nuevamente cada uno de los valores para los índices y el NRP, tal como se describe en los pasos 8 y 9.	4		

Tabla 17. (Continuación)

23	Comprobar los resultados	Utilice los AMFE calculados antes y después de la acción de mejoramiento para verificar la efectividad de la propuesta.	4	- Jefe del proyecto	
24	¿Fueron eficaces las acciones de mejora?	Se compara los nuevos valores para cada uno de los índices y el NRP, de tal forma que sea posible identificar el cumplimiento de los objetivos.	2 Sí 3 No		
25	¿El Plan de Acción se ha ejecutado según lo acordado?	Cuando las causas y/o los efectos indeseados continúan apareciendo como potenciales después de ejecutada la acción mejora, significa que la solución planteada ha sido fallida y debe retornar al paso 11. En caso de haberse presentado alguna desviación en la ejecución del plan, desplácese al paso 26.	No 4 Sí		
26	Reevaluar la factibilidad del Plan de Acción y su consistencia frente a los objetivos planteados	Convocar un debate con el equipo de trabajo para discutir las razones por las cuales las acciones planteadas en el Plan de Acción no fueron efectuadas y/o no presentaron el impacto esperado sobre los resultados.		- Jefe del proyecto - Miembros del proyecto	
27	Implementar las acciones correctivas	Se implementan las acciones correctivas orientadas a alcanzar los resultados deseados de acuerdo a lo evaluado en el paso anterior.	5		

Tabla 17. (Continuación)

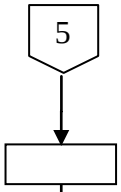
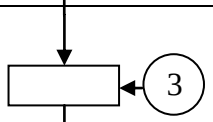
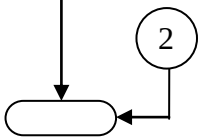
28	Verificar los resultados	Se calcula nuevamente cada uno de los valores para los índices y el NRP, tal como se describe en los pasos 8 y 9, de tal forma que se pueda verificar el mejoramiento sobre estos valores.			
29	Retroalimentar sobre los resultados al equipo de trabajo y a la Organización en General	Resalte los esfuerzos realizados en la generación de ideas innovadoras para reducir o eliminar las causas y efectos de modos de fallos. Incorpore el AMFE del antes y después para verificar los resultados obtenidos.		- Responsable de implementación	Storyboard
30	Fin				

Tabla 18. Fase Mejorar de la Propuesta Metodológica – Caso pérdidas ocultas

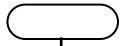
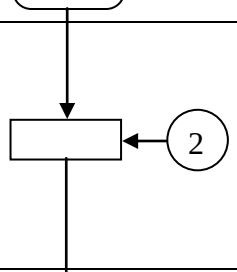
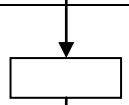
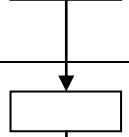
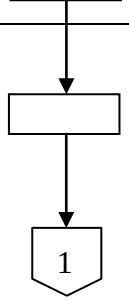
OBJETIVO		Implementar soluciones eficaces que eliminen las causas ocultas de pérdida de Eficiencia y eviten que éstas se vuelvan a generar.			
ALCANCE		Inicia con la convocatoria a la lluvia de ideas y concluye con la retroalimentación de los resultados de eficiencia obtenidos a la Organización.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS E INFORMACIÓN RELACIONADA**
1	Inicio				
2	Convocar un debate con el equipo de mejoramiento	Programe una reunión con el equipo de mejoramiento donde se deje claridad sobre el punto a debatir (en este caso, la causa raizal de la pérdida de eficiencia documentada en el paso 10 de *Analizar*), y recordando por qué es importante intervenir el problema. El equipo debe concentrarse en el objetivo planteado.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Hoja de Trabajo para planificar reuniones
3	Generar ideas como posibles soluciones a la raíz de la pérdida de eficiencia	Desarrolle una lluvia de ideas para diseñar soluciones innovadoras. Exhorte al equipo a establecer ideas creativas que desafíen todas las suposiciones obvias resultantes del conocimiento previo del sistema a intervenir.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Tormenta de ideas
4	Organizar ideas	Simplifique las soluciones combinando ideas relacionadas y resúmalas en grupos o categorías.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	- Análisis de afinidad
5	Eliminar las ideas sin posibilidades	Elimine las ideas que: • Estén orientadas a intervenir los efectos de la pérdida y no las causas fundamentales. • Sean poco prácticas o consistentes dentro del contexto u horizonte de tiempo evaluado. • Presentan a priori un costo significativamente superior al beneficio esperado.		- Jefe del proyecto - Tutor del proyecto - Miembros del equipo	- Técnica multivotos

Tabla 18. (Continuación)

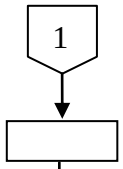
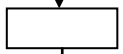
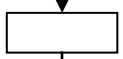
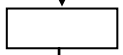
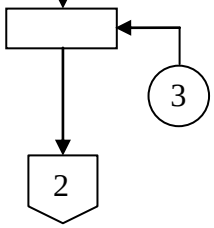
6	Identificar a qué categoría de pérdida afecta cada idea	Relacione cada idea con un problema concreto del proceso o con una de las causas identificadas durante el proceso *Analizar*. De igual manera, intente prever el impacto directo o colateral que esas posibles soluciones podrían tener en las causas de pérdida.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
7	Utilizar la información del paso 6 para generar ideas de solución global	Busque ideas complementarias, es decir, que aborden de manera conjunta una mayor parte del problema.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
8	Documentar las ideas de solución global	Documente las ideas resultantes del paso 7, en grupos lógicamente relacionados.		- Responsable de implementación	- Diagrama de árbol - Análisis multivotos
9	Seleccionar una solución	El equipo debe utilizar algún proceso que le permita tomar la mejor decisión posible y explicarla a las personas cuyo trabajo se va a ver modificado como consecuencia de dicha decisión. Esto cobra especial relevancia si tiene que "vender" una solución significativamente costosa a la alta dirección		- Jefe del proyecto -Tutor del proyecto - Miembros del equipo	- Prueba de requisitos mínimos - Matriz de impacto/esfuerzo - Matriz de decisión basada en criterios.
10	Elaborar el Plan de Acción	Establezca con detalle un plan de acción 5W-2H donde se especifiquen: • Las contramedidas o soluciones pactadas (What) • Responsables (Who) • Fechas límite (When) • Justificativa (Why) • Locaciones (Where) • Procedimiento (How) • Meta a ser alcanzada y cantidad (tiempo, defectos, toneladas, etc.) (How much)		- Jefe del proyecto	- Plan de Acción 5W-2H - Diagrama de Gantt

Tabla 18. (Continuación)

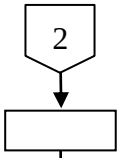
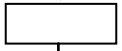
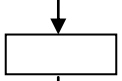
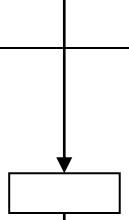
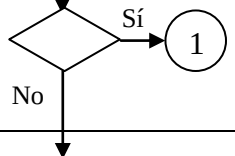
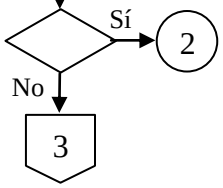
11	Divulgar el Plan de Acción	Presente claramente las tareas y la razón de ellas, certificando que todos entienden y concuerdan con las medidas propuestas.		- Responsable de implementación	
12	Entrenar al equipo de trabajo responsable de la ejecución	Desarrollar los materiales de formación y las ayudas necesarias para la implementación.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Listas de comprobación - Documentación sobre el nuevo proceso
13	Desarrollar la prueba piloto de la decisión tomada	Ejecute una versión controlada de la mejora. La solución debe probarse para unos pocos ciclos del proceso. El objetivo es prevenir y anticiparse de manera proactiva a los problemas que puedan surgir en la ejecución a gran escala.		- Jefe del proyecto - Miembros del equipo	
14	Comprobar los resultados	Utilice los datos recolectados antes y después de la acción de mejoramiento para verificar la efectividad de la acción y el grado de reducción de los efectos indeseados. En lo posible, convierta y compare los efectos en términos de tiempo ahorrado por la eliminación de las pérdidas de eficiencia en el equipo.		- Jefe del proyecto	
15	¿La solución ha eliminado o reducido la pérdida en la medida esperada?	Utilice la información levantada en el paso 14 para tomar la decisión.			
16	¿El Plan de Acción se ha ejecutado según lo acordado?	Cuando los efectos indeseados continúan ocurriendo después de ejecutada la acción de bloqueo, significa que la solución planteada ha sido fallida y debe retornar al paso 2. En caso de haberse presentado alguna desviación en la ejecución del plan, desplácese al paso 17.			

Tabla 18. (Continuación)

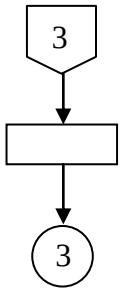
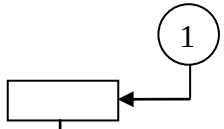
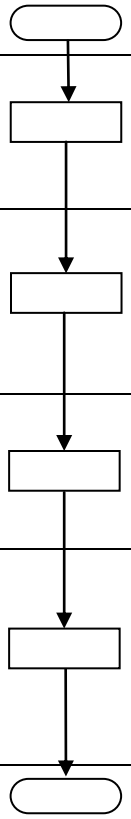
17	Reevaluar la factibilidad del Plan de Acción y su consistencia frente a los objetivos planteados	Convocar un debate con el equipo de trabajo para discutir las razones por las cuales las acciones planteadas en el Plan de Acción no fueron efectuadas y/o no presentaron el impacto esperado sobre los resultados.		- Jefe del proyecto - Miembros del proyecto	
18	Implementar la propuesta a gran escala	Implemente la propuesta formalmente y verifique físicamente y en el local que las acciones están siendo efectuadas tal como se llevó a cabo la prueba piloto.			
19	Retroalimentar sobre los resultados al equipo de trabajo y a la Organización en General	Resalte los esfuerzos realizados en la generación de ideas innovadoras para reducir o eliminar las fuentes de pérdida de eficiencia. Incorpore gráficos que demuestren la reducción de la variación y del número de pérdidas que ha conseguido (Paretos, histogramas, líneas de tendencia, etc.). Por último, puede incluir un análisis costo-beneficio que muestre cuál es la rentabilidad esperada de las soluciones implementadas.		- Responsable de implementación	*Storyboard*
20	Fin				

Tabla 19. Fase Controlar de la Propuesta Metodológica

OBJETIVO		Controlar y mantener el nuevo sistema.			
ALCANCE		Inicia con la identificación del propietario del proceso y concluye con la revisión final sobre la experiencia de mejora.			
No	**ACTIVIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**FLUJOGRAMA**	**GRUPO O EQUIPO RESPONSABLE**	**HERRAMIENTAS RELACIONADAS**
1	Inicio				
2	Identificar al propietario del nuevo proceso	Seleccionar por mérito y experiencia a la persona responsable de garantizar que el proceso se monitorea, estudia y mejora de forma continua.		- Jefe del proyecto	
3	Documentar la mejora	Una vez que la mejora parece efectiva y sostenible, asegurar que el proceso mejorado está documentado detalladamente. Redacte los textos de forma clara utilizando las imágenes y diagramas necesarios.		- Responsable de implementación	- Diagramas de flujo - Soportes didácticos (videos, imágenes, etc.)
4	Establecer medidas continuas del proceso	Identifique las medidas que permitirán controlar y mantener los resultados a lo largo del tiempo.		- Jefe del proyecto - Responsable de implementación	- Gráficos de control - Considerar indicadores planteados en la Tabla 2
5	Desarrollar la revisión final	Planee una reunión para exponer y celebrar el alcance de los objetivos propuestos. En la misma reunión, revise las lecciones aprendidas tanto del proceso como del trabajo en equipo. Plantee propuestas que no se abordaron durante el proyecto para aquellos que identificaron más oportunidades de mejora.		- Miembros del equipo	
6	Fin				

La anterior Propuesta Metodológica le otorga a la dirección una herramienta útil para identificar y eliminar de forma sistemática los puntos de apalancamiento del sistema productivo, lo cual implica la asignación de esfuerzos en la conformación de equipos que obtendrán resultados en el mediano y largo plazo. Sin embargo, es importante mencionar que la ejecución de un proyecto orientado a la eliminación radical de pérdidas debe estar acompañada por un control diario de las condiciones del proceso. El equipo de mejoramiento debe cuidarse de no dejarse absorber tan exclusivamente por la mejora orientada que olviden apoyar las actividades de los pequeños grupos que trabajan en la solución rutinaria de las fuentes de pérdida, puesto que esto podría tener un efecto negativo sobre el aseguramiento de la estabilidad del proceso.

Por lo anterior, el presente proyecto de investigación sugiere que mientras se ejecutan las cuatro primeras fases de la Propuesta Metodológica, un miembro del equipo de mejoramiento realice un seguimiento diario de los índices de disponibilidad, velocidad y calidad del proceso bajo observación. Cuando uno de estos factores resulte por fuera de los límites esperados o permitidos por la organización, es imperativo que dicho integrante acuda a realizar en menos de 24 horas el Análisis de Fenómeno indicado en la Figura 6, estableciendo las causas probables de la anomalía presentada y estableciendo los planes de acción necesarios para evitar su reaparición. Esta dinámica evitará que el proceso se degrade durante la ejecución del proyecto y el problema identificado como “vital” en la *Fase Analizar* de la Propuesta Metodológica pierda vigencia.

12. MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO

De acuerdo a lo expuesto hasta el momento, el mejoramiento del OEE puede obtenerse a partir de un proceso estructurado de identificación, medición y análisis de aquellas pérdidas que están restando eficiencia al subsistema de operaciones. Una práctica común en las organizaciones es ejecutar correcciones temporales a los problemas, cuantas veces sea que se manifiesten, en lugar de generar planes de acción orientados a analizar los factores reales que los generan.

De este modo es posible identificar dos tipos de acciones para afrontar las situaciones de pérdida:

1) Las acciones reactivas las cuales se ejecutan una vez se genera la falla o la situación indeseada, de tal forma que se busque restablecer las funciones perdidas
2) Las acciones preventivas orientadas a eliminar y evitar proactivamente su generación futura.

12.1. DEFINICIÓN DEL MODELO

Con el fin de identificar los posibles impactos que pueden generar estos dos tipos de acciones en la generación de las pérdidas, se ha propuesto un modelo de dinámica de sistemas en el cual se representa el proceso de mejoramiento en sus etapas de planeación y ejecución, la generación de las pérdidas desde los estándares de condiciones de equipos, y la experiencia y generación de conocimientos desde el aprendizaje adquirido por la realización y culminación de los proyectos de mejoramiento.

Los procesos de mejoramiento tienen como objetivo la reducción de las pérdidas de eficiencia generadas durante el proceso productivo, siendo las fallas uno de los ejemplos que pueden presentarse, se han definido estas como los puntos en los cuales el sistema tendrá sus influencias. Inicialmente las fallas se van presentando en el equipo, lo que trae

consigo una reducción de la función del mismo que no es identificable hasta el momento por el equipo de mejoramiento. Esta actividad requiere de esfuerzo el cual se relaciona de manera inversa con las capacidades y los conocimientos adquiridos, de tal forma que entre mayor sea la experiencia del personal en la identificación y resolución de situaciones no deseadas, mayor será la capacidad de identificar las situaciones en dónde se está presentando una falla.

Una vez se han identificado, el equipo de mejoramiento decide cuántas de esas fallas eliminará por medio de proyectos de acuerdo al impacto sobre el proceso, prioridad en la solución y la disponibilidad de recursos. Por otro lado, se ha considerado el caso de eliminar las fallas identificadas inmediatamente ya sea por causa de pérdida de función, en la cual se buscaría restaurar el estado perdido, o por decisiones administrativas.

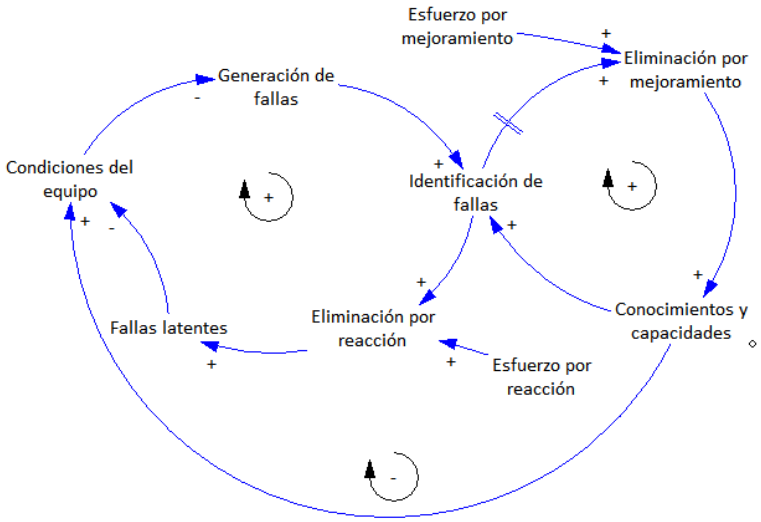
Aquellas fallas que se han direccionado por el proceso de mejoramiento, requieren de actividades que se caracterizan porque requieren una inversión superior de esfuerzos a cambio de la minimización o eliminación definitiva de los factores de pérdida. Prevenir proactivamente las pérdidas implica que los equipos de mejoramiento implementen una metodología ordenada, tal como la propuesta en el actual proyecto de investigación, a fin de identificar los puntos de apalancamiento del sistema y proponer soluciones creativas que los activen. En el caso contrario, donde las fallas se han direccionado para ser corregidas por reacción, las acciones se caracterizan por el corto tiempo que se requiere para restaurar las condiciones normales del proceso, lo que comúnmente se conoce como “apagar el incendio” (corregir la fijación de una pieza, recalibrar los sensores, realizar el ajuste del equipo bajo las tareas convencionales, etc.). Debido a que bajo este escenario no se realiza un análisis profundo de las causas que generan las pérdidas una vez se manifiestan los síntomas, las acciones reactivas no ocupan una fracción importante del tiempo del personal pues éstos proceden a corregir temporalmente el defecto y continuar con sus operaciones de rutina, sin embargo los problemas tienden a reaparecer.

Tal como se describe en la Propuesta Metodológica, la manera en la que ésta garantiza que las pérdidas identificadas no volverán a presentarse es mediante el control y la generación de estándares. Éstos son los entregables de un proyecto de mejoramiento, los cuales aseguran que las pérdidas y fallas generadas en el pasado no volverán a reaparecer, permitiendo la estabilidad de las condiciones del proceso. Por esta razón, la generación de estándares se relaciona de una manera directa al número de veces que las pérdidas se eliminan a través de procesos de medición, análisis e identificación de las mismas. Por otro lado, el hecho de acostumbrarse a convivir con las pérdidas, actuando reactivamente en la medida en que se generan los problemas, tiende a regresar el sistema a su estado inicial pues de acuerdo a Pande et al. (2004), los viejos hábitos nunca mueren. Lo anterior implica que en la medida en que más se eliminan los problemas por reacción se va generando un deterioro de los estándares alcanzados, provocando la reaparición o la generación de nuevas pérdidas o fallos en el sistema productivo.

12.2. ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO

Para la definición del modelo de dinámica de sistemas, se generó el diagrama causal el cual permitió de una manera general, considerar las interrelaciones entre las variables y definir los límites del mismo. A continuación en la Figura 7 se presenta el diagrama definido.

Figura 7. Diagrama causal



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

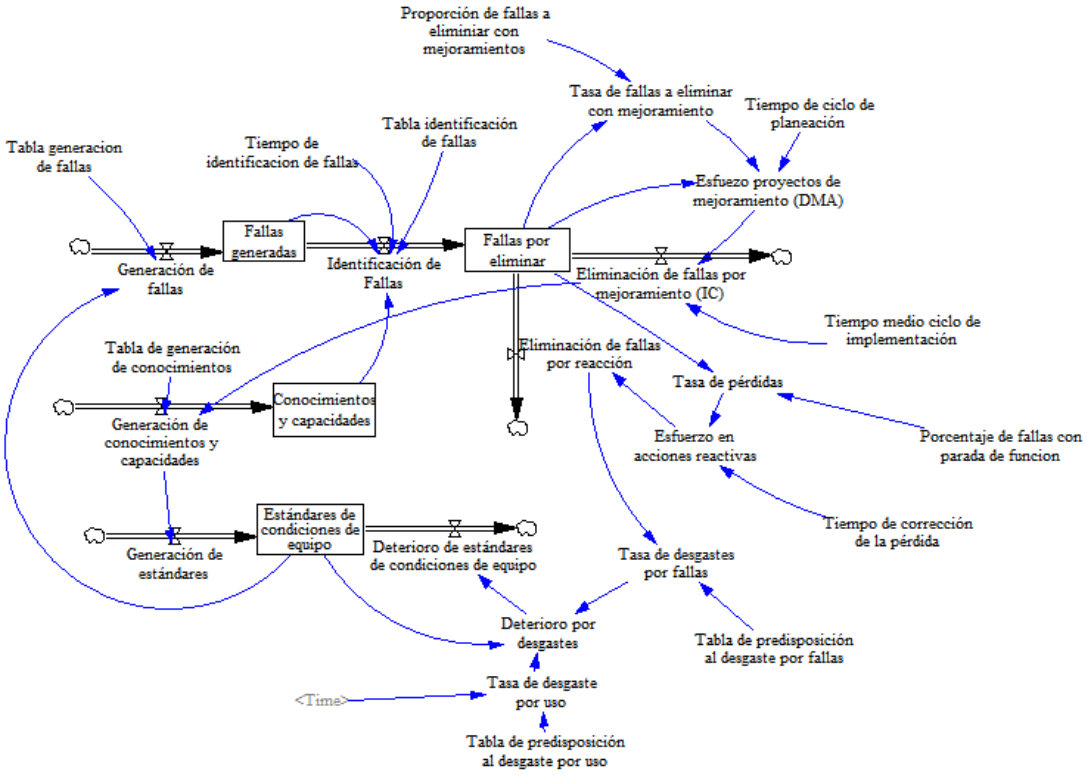
Mediante el diagrama se permitió identificar tres bucles: dos de refuerzo y uno de compensación. En el primer caso, a medida que se ejecutan más tareas encaminadas a eliminar de una manera reactiva las situaciones no deseadas, más fallas se generarán dado que las condiciones del equipo se verán afectadas por el incremento de estas pérdidas que vuelven a aparecer. Finalmente estas relaciones conllevan al sistema a ir generando mayores fallas con el tiempo.

El segundo bucle de refuerzo considera los proyectos de mejoramiento realizados. Este se presenta cuando se genera un mayor esfuerzo para realizar actividades de mejora orientada, lo que conllevaría a adquirir mayores conocimientos y capacidades gracias a la experiencia durante la definición y ejecución de los proyectos. Estas nuevas herramientas adquiridas le permitiría al personal la identificación de un mayor número de fallas, lo que finalmente con el esfuerzo generado, conllevaría a un mayor número de proyectos por mejoramiento.

La compensación del sistema se genera en el momento de relacionar la eliminación de fallas por medio de la reacción y el mejoramiento. La interacción de los mismos se presenta en el momento en que se ha adquirido más experiencia por la ejecución de los proyectos, lo que finalmente resulta en la generación de nuevos estándares que están orientados a mantener el equipo en las condiciones de operación deseadas para evitar la reaparición de fallas. El impacto finalmente es compensado en la menor generación de fallas.

Para las relaciones anteriormente definidas, se generó el Diagrama de Forrester presentado en la figura 8. Las fórmulas para cada una de las variables de nivel, auxiliares, flujos y parámetros iniciales, se presentan en el Anexo B.

Figura 8. Diagrama Forrester



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

Para la definición del modelo de simulación dinámica, se generaron los siguientes parámetros:

- **Proporción de fallas a eliminar con mejoramiento**: indica la proporción de las fallas las cuáles serán eliminadas por proyectos de mejoramiento. El valor es definido de acuerdo a la disponibilidad de recursos y el impacto que la organización desea esperar con respecto al mejoramiento.
- **Porcentaje de paradas con pérdidas de función**: indica la proporción de las fallas que generan pérdida de función del equipo. Estas son eliminadas por medio de acciones reactivas las cuales buscan restaurar la función del equipo.
- **Tiempo de identificación de fallas**: es el tiempo requerido para identificar las fallas generadas.
- **Tiempo de ciclo de planeación**: es el tiempo requerido para la definición, medición y análisis de las pérdidas a eliminar por proyectos de mejoramiento.
- **Tiempo de ciclo medio de implementación de las propuestas**: hace referencia al tiempo requerido para implementar las propuestas de mejoramiento.
- **Tiempo de corrección de la pérdida**: es el tiempo requerido para la corrección de la pérdida, cuando se ejecutan actividades reactivas.

Las variables de nivel definidas en el modelo de simulación dinámica son:

- **Fallas generadas**: mediante este nivel se indican las pérdidas las cuales se fueron generando de acuerdo a los estándares de condiciones de equipo.
- **Fallas por eliminar**: define las fallas que han sido identificadas y que serán eliminadas ya sea por mejoramiento o por reacción.
- **Conocimientos y capacidades**: acumula los conocimientos y capacidades que se generan por medio de la experiencia en la ejecución de los proyectos de mejoramiento.

- **Estándares de condiciones de equipo**: indica los estándares de condiciones de equipo que se van generando por medio de los conocimientos y capacidades, y son eliminados por el uso del equipo y las fallas que son eliminadas por reacción.

Se definieron las siguientes variables como auxiliares:

- **Tabla de generación de fallas**: definida como soporte para la variable cualitativa estándares de condiciones de equipo. Esta tabla permite indicar la relación inversa la cual se presenta entre los estándares y la generación de las fallas.
- **Tabla de identificación de fallas**: definida como soporte para la variable cualitativa de conocimientos y capacidades. Esta tabla indica qué proporción de las fallas son identificadas de acuerdo al nivel de conocimientos adquiridos.
- **Tasa de fallas a eliminar con mejoramiento**: indica cuántas de las fallas identificadas será eliminadas por mejoramiento de acuerdo a una proporción establecida.
- **Esfuerzo proyectos de mejoramiento (DMA)**: indica la cantidad de fallas a eliminar por mejoramiento considerando el retraso del tiempo de planeación.
- **Tasa de pérdidas**: establece la cantidad de fallas identificadas la cuáles serán eliminadas por reacción de acuerdo al porcentaje de fallas con parada de función.
- **Esfuerzo en acciones reactivas**: indica cuántas pérdidas se eliminarán por reacción considerando la tasa de pérdidas y el tiempo de corrección de las mismas.
- **Tasa de desgastes por fallas**: indica el valor de deterioro por las fallas que han sido eliminadas por reacción, de acuerdo a la Tabla de predisposición al desgaste por fallas.
- **Tabla de predisposición al desgaste por fallas**: permite generar una relación inversa entre la cantidad de fallas eliminadas por reacción y el deterioro de estándares de condiciones de equipo.
- **Tabla de predisposición al desgaste por uso**: indica que en la medida en que transcurre el tiempo se están deteriorando los estándares de condiciones de uso.

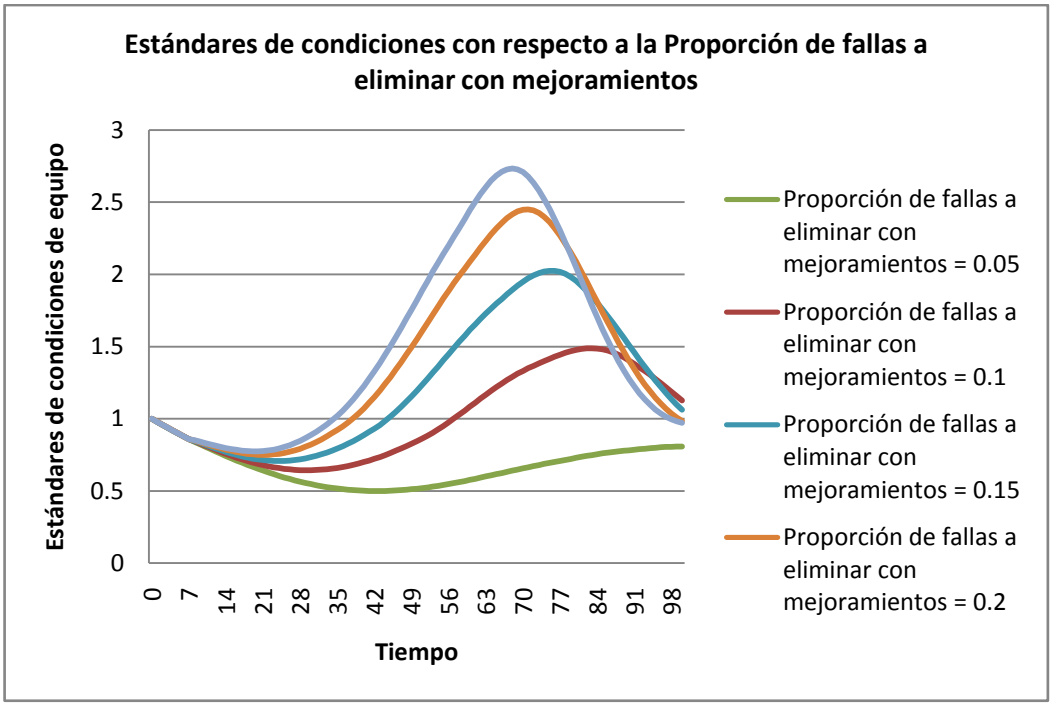
- **Tasa de desgaste por uso**: indica la cantidad de estándares de condiciones de equipo que se deterioran en el momento transcurrido.
- **Deterioro por desgastes**: indica el valor del desgaste de estándares de condiciones de equipo en cada momento de tiempo.
- **Tabla de generación de conocimientos**: permite la generación de conocimientos de acuerdo a la cantidad de fallas eliminadas por mejoramiento.

12.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para simular el modelo dinámico se utilizó el programa Vensim[2], en un horizonte de 100 semanas. Los resultados permitieron identificar el efecto del aumento de la proporción de fallas a eliminar con mejoramientos sobre los estándares de condiciones de equipos, en el cual inicialmente se van deteriorando los estándares dado que los proyectos de mejoramiento requieren de un tiempo de puesta en marcha. Una vez se ejecutaron, se presentaron aumentos de aproximadamente el 30% de los estándares de condiciones de equipo en su mayor amplitud, por cada punto porcentual adicional en la proporción de fallas a eliminar por mejoramiento. Hacia el final del tiempo de simulación se observó una tendencia a conservar el estándar con el cual el equipo fue entregado (Gráfica 1). Contrario es el efecto que se observó sobre la generación de fallas. El aumento de la proporción de fallas a eliminar por mejoramiento generó una reducción en el número de fallas generadas (Gráfica 2).

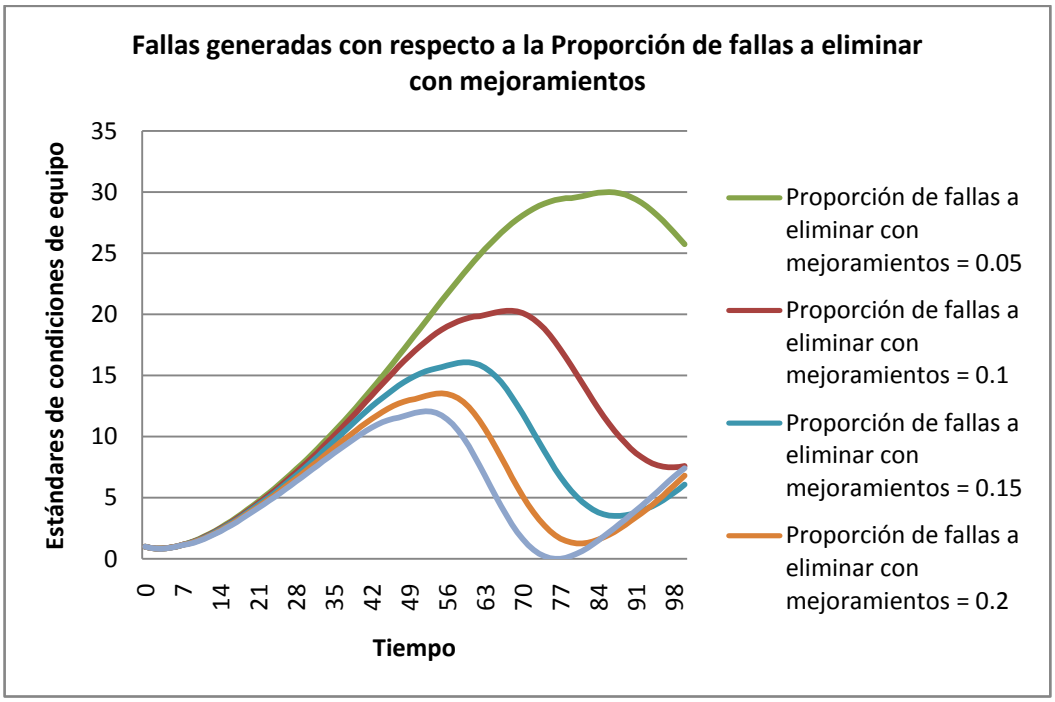
[2] Vensim® PLE versión 6.0a para Uso Académico

Gráfica 1. Estándares de condiciones con respecto a la proporción de fallas a eliminar con mejoramientos



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

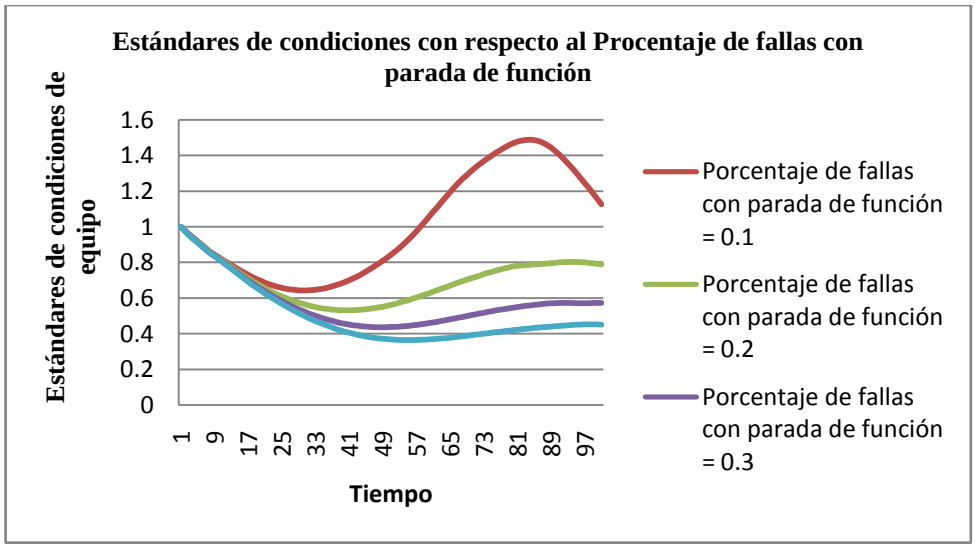
Gráfica 2. Fallas generadas con respecto a la proporción de fallas a eliminar con mejoramientos



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

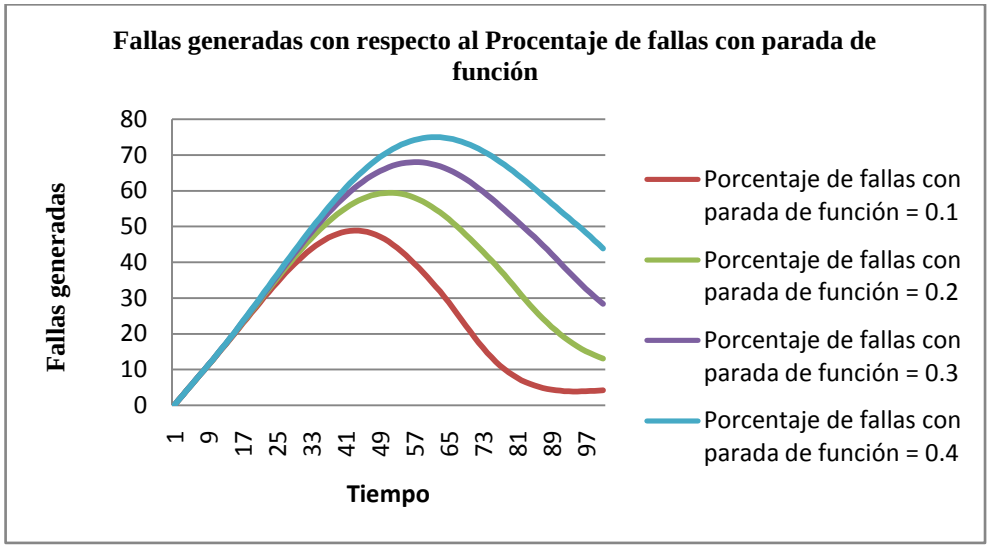
Caso contrario ocurre cuando se decide dar prioridad a las acciones reactivas. El aumento de un punto porcentual para el porcentaje de fallas con parada de función, generó una disminución de aproximadamente del 25% de los estándares de condiciones de equipo hacia el final de la simulación, generando un nuevo valor de estándar de condiciones de equipo. El impacto sobre las fallas generadas fue directo. El aumento del porcentaje de fallas con parada de función generó una mayor cantidad de fallas generadas Gráfica 3 y Gráfica 4.

Gráfica 3. Estándares de condiciones con respecto al porcentaje de fallas con parada de función



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

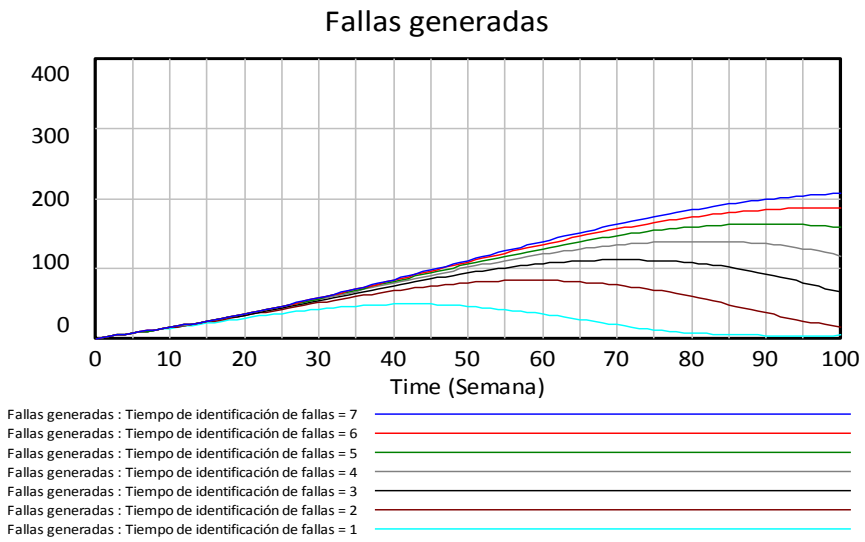
Gráfica 4. Fallas generadas con respecto al porcentaje de fallas con parada de función



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

Por otro lado se observó que el aumento de los tiempos de identificación de fallas generó un retraso en el mismo número de semanas para lograr el impacto inicial sobre el mejoramiento en las fallas generadas, lo cual causó un aumento de este valor Gráfica 5.

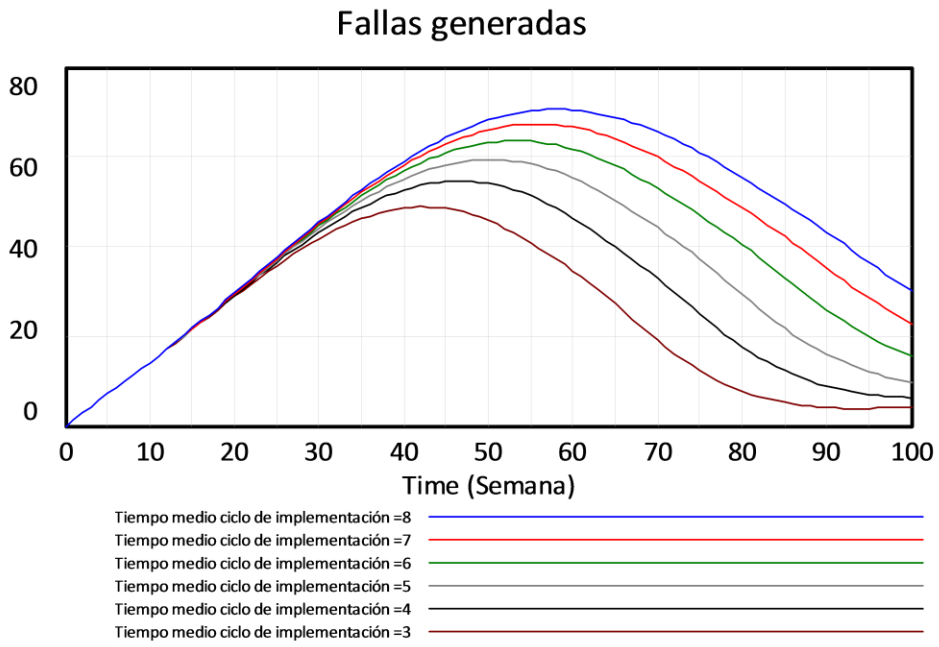
Gráfica 5. Fallas generadas considerando el aumento del tiempo de identificación



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

Cuando se aumentó el tiempo medio del ciclo de implementación, las fallas generadas presentaron una reducción más lenta, dado que la misma cantidad de fallas que se eliminaron por mejoramiento inicialmente, tomaron más tiempo en completarse (Gráfica 6).

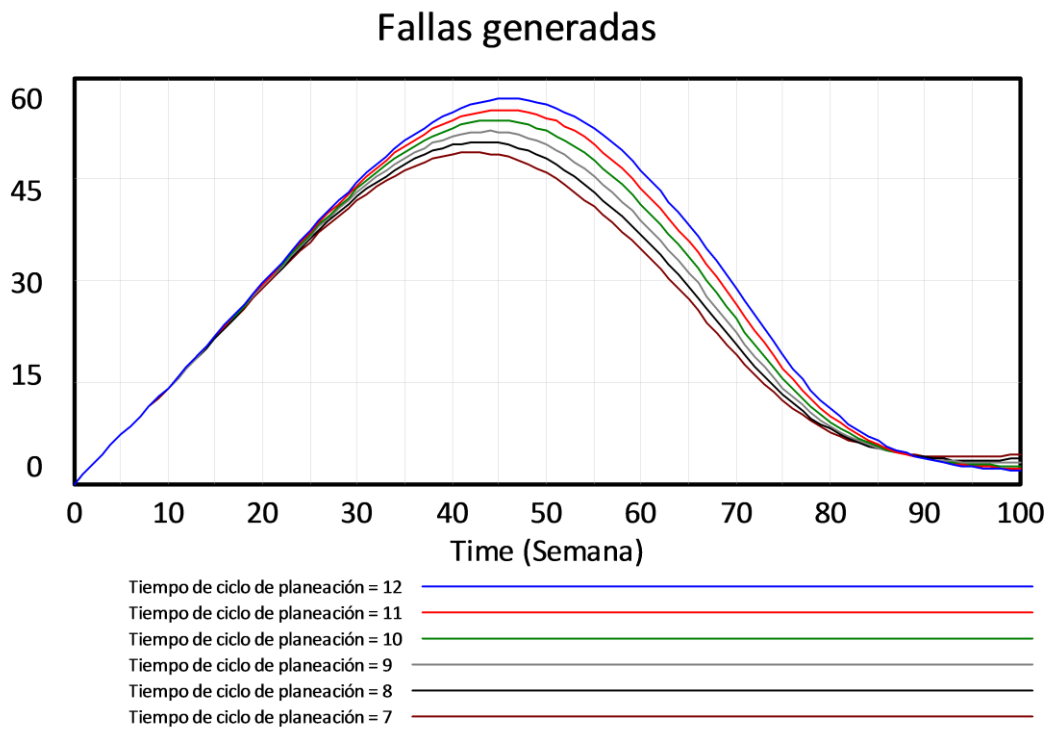
Gráfica 6. Fallas generadas considerando el aumento del tiempo medio del ciclo de implementación



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

El aumento del tiempo de ciclo de planeación generó que las fallas generadas aumentarán mientras se cumplía el tiempo para la definición, medición y análisis de las mismas (Gráfica 7).

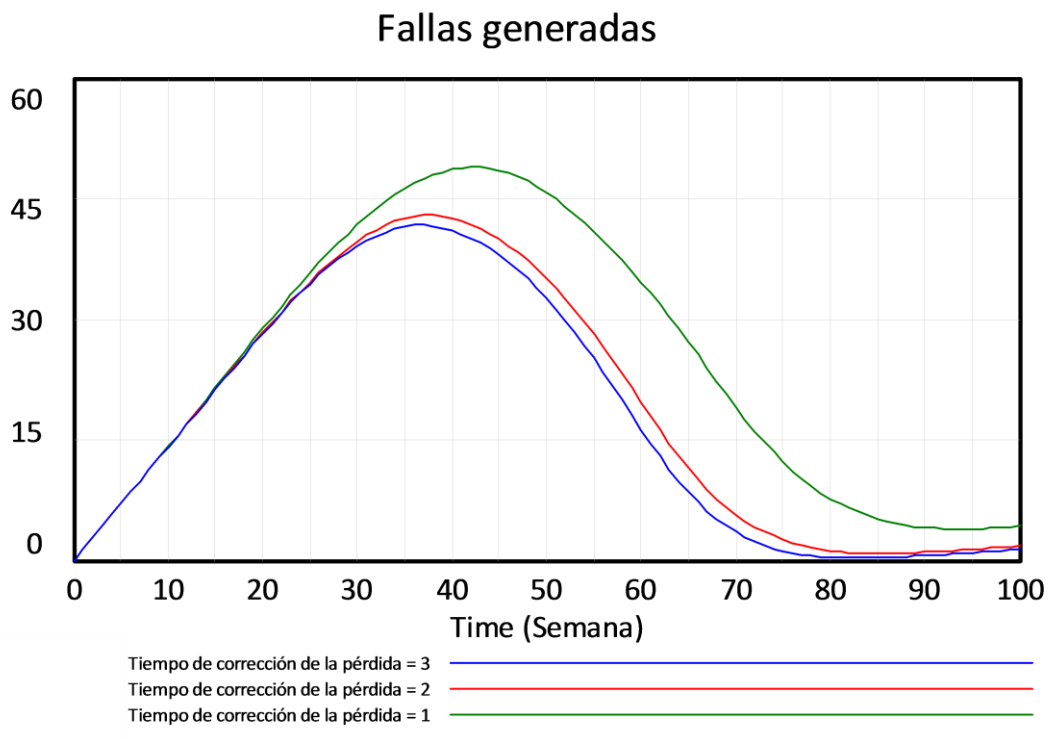
Gráfica 7. Fallas generadas considerando el aumento del tiempo de ciclo de implementación



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

Por otro lado, se observó que un aumento en el tiempo de corrección de la pérdida, generaría un aumento en la eliminación por mejoramiento. Esto ocurrió dado que el aumento del tiempo generó que menos fallas fueran eliminadas por corrección, por este motivo manteniendo las mismas proporciones sobre cada tipo de eliminación y los tiempos de planeación e implementación, por el lado del mejoramiento se pudo eliminar una mayor cantidad de fallas, lo cual generó que una menor cantidad de fallas se generaran (Gráfica 8).

Gráfica 8. Fallas generadas considerando el aumento del tiempo corrección de la pérdida



Fuente: Elaboración propia basada en la investigación

13. CONCLUSIONES

1) Pese a que no existan metodologías precisas para generar planes de mejoramiento sobre las causas etéreas de pérdida, tal como existen para las pérdidas visibles como los tiempos de ajuste (SMED) o averías (AMFE), es posible establecer la solución a un problema a partir de un proceso sistemático de medición, generación, análisis y verificación de hipótesis. Lo anterior solo es posible en la medida en que exista una correcta estructuración de la información, organizada en etapas establecidas para la Definición, Medición, Análisis, Implementación y Control, a fin de que los líderes y demás miembros del equipo dispongan de los datos apropiados en el momento requerido. Solo así la organización podrá enfocar sus esfuerzos en la intervención de los puntos críticos de apalancamiento.

2) Una metodología apropiada de mejoramiento requiere identificar la interrelación de todas las posibles variables del sistema. Para tal propósito es imperativo que la organización reconozca todos los tipos de pérdida que impactan negativamente el desempeño de su sistema productivo y la naturaleza de los mismos. El punto de partida para alcanzar tal objetivo es la construcción del árbol de pérdidas, sobre el cual en el proyecto de investigación se desarrolló una propuesta y una directriz clara para que las organizaciones establezcan y clasifiquen todos los tipos de mermas que influyen en su rendimiento. La construcción de dicho árbol debe iniciar con la definición de los niveles macro de pérdidas e ir desagregando los subniveles para aquellas categorías de mayor incidencia. De esta manera, el árbol de desagregación resulta enriquecido a través del proceso de medición y análisis de la Propuesta Metodológica, puesto que en ellas se verificarán o rechazarán hipótesis sobre su verdadera incidencia en el OEE.

3) Una vez establecidos y categorizados los factores de pérdida es necesario establecer medidas de seguimiento y control para monitorear las condiciones del proceso. En el proyecto de investigación se definió como indicadores asociados al

factor disponibilidad el MTBF, MTTR, TMP, TMPR, %Tiempo de paro; en cuanto al factor velocidad se indicó el TC, TT; y para el factor calidad los indicadores de capacidad de proceso, el Cp y Cpk, y la Producción de Primera Pasada. Por medio de estas mediciones los gestores de la eficiencia podrán reconocer a priori aquellos elementos más importantes a intervenir para ser considerados en el proceso metodológico de medición y análisis de las pérdidas. De igual manera, es necesario que los responsables de la gestión dispongan de las herramientas adecuadas para identificar tendencias y comportamientos de los niveles de pérdida, tales como el gráfico de pareto, los gráficos de tendencias, histogramas, diagramas causales, diagrama de relaciones, diagrama de dispersión y gráficos para la estratificación de datos.

4) Una vez se desarrollan las etapas de Identificación, Medición y Análisis de la Propuesta Metodológica, la organización puede enfrentarse a cuatro escenarios: 1) las pérdidas son claramente asignables a los tiempos de ajuste; 2) las pérdidas son claramente asignables al tiempo perdido en la reparación de averías; 3) las pérdidas son claramente asignables al tiempo perdido en la manufactura de productos no conformes; 4) las pérdidas no son claramente asignables dado que, por alguna razón, el equipo no alcanza su velocidad esperada o existen paradas tan cortas que no son incluidas en los reportes diarios de producción. La Propuesta Metodológica ha dado respuesta a cada uno de estos escenarios dirigiendo al responsable de la eficiencia a una solución personalizada a cada tipo de pérdida, ya sea la metodología SMED, la metodología AMFE, o a una metodología diseñada para la intervención de las pérdidas etéreas basada en las técnicas investigativas del Seis Sigma.

5) Esta Propuesta Metodológica no pretende ni debe desplazar las actividades rutinarias de mejora. En vez de esto, los equipos dedicados a los proyectos a mediano y largo plazo deben retroalimentarse y apoyarse mutuamente con los equipos que supervisan de manera rutinaria las condiciones y características del

proceso bajo observación, evitando su degradación, mientras se identifican y eliminan las causas fundamentales de pérdida de manera raizal. Adicionalmente, se concluye que un aspecto fundamental es la inclusión de las personas inmersas en el proceso durante la etapa de identificación, análisis, medición y generación de soluciones para el éxito de la metodología. Es a partir de la sinergia de los equipos de mejoramiento que es posible llevar a la organización a niveles más altos de competitividad. De esta manera, la aplicación disciplinada de la metodología se convierte en un modo de vida empresarial que garantizará en mayor medida el mejoramiento permanente y sostenido de la eficiencia del sistema productivo.

6) La inversión de esfuerzos en la implementación de proyectos de mejoramiento tiene un beneficio superior frente a la práctica común de reaccionar ante la manifestación esporádica de las pérdidas de eficiencia en el sistema productivo. Pese a que durante la implementación del proyecto de mejoramiento el equipo de trabajo puede disminuir su capacidad de reacción a los problemas esporádicos, debido a su esfuerzo asignado a los proyectos de mejoramiento, una vez se implementan las soluciones se puede observar una caída en el número de fallas generadas frente a la generación de fallas eliminadas de modo reactivo.

14. BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, M. M., and N. Dhafr, 2002, Establishing and improving manufacturing performance measures: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 18, p. 171-176.

Alfaro Saiz, J. J., Á. Ortiz Bas, R. Rodríguez, and A. Boza García, 2008, Sistemas para la medición del rendimiento en la empresa: México, Editorial Limusa, 170 p.

Beltrán Jaramillo, J. M., 1998, Indicadores de gestión: Guía práctica para estructurar adecuadamente esta herramienta clave para el logro de la competitividad, 3R Editores.

Cuatrecasas Arbós, L., 2000, TPM hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción, v. Primera edición: Barcelona, Liberduplex, Barcelona.

Dal, B., P. Tugwell, and R. Greatbanks, 2000, Overall equipment effectiveness as a measure for operational improvement: International Journal of Operations and Production Management, v. 20, p. 1488 - 1502.

De Ron, A. J., and J. E. Rooda, 2006, OEE and equipment effectiveness: an evaluation: International Journal of Production Research, v. 44, p. 4987-5003.

Dominguez Machuca, J. A., S. Garcia Gonzalez, and M. A. Dominguez Machuca, 1995, Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios, McGraw-Hill Book Company,.

Domínguez Giraldo, G., 2004, Indicadores de gestión y resultado: un enfoque sistémico.

Falconi Campos, V., 1992, Calidad: Administración de la rutina de trabajo: Minas Gerais, Brazil, Universidad Federal de Minas Gerais.

Hammer, M., and J. Champy, 1994, Reingeniería: Olvide lo que usted sabe sobre cómo debe funcionar una empresa. ¡Casi todo está errado!: 10 East 53rd Street New York, Editorial Norma.

Hortiales Rendón, M. Á., 1997, Implementación del Mantenimiento Productivo Total, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, 110 p.

Jonsson, P., and M. Lesshammar, 1999, Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE: International Journal of Operations & Production Management, v. 19, p. 55 - 78.

Koch, A., 2011, OEE for the Production Team, Create Space Indepent Publishing Platform.
Liceaga, J., 2006, ¿Lean Manufacturing es realmente uan "nueva" estrategia de mejora?, Tecnológico de Monterrey.

Ljungberg, O., 1998, Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities: International Journal of Operations and Productions Management, v. 18, p. 495 - 507.

Muchiri, P., and L. Pintelon, 2008, Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion: International Journal of Production Research, v. 46, p. 3517-3535.

O'connor, J., and I. McDermott, 1998, Introducción al pensamiento sistémico: España, Urano.

Oechsner, R., M. Pfeffer, L. Pfitzner, H. Binder, E. Muller, and T. Vonderstrass, 2002, From overall equipment efficiency (OEE) to overall Fab effectiveness (OFE): Materials Science in Semiconductor Processing, v. 5, p. 333-339.

Pande, P. S., R. P. Neuman, and R. R. Cavanagh, 2004, Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos, McGraw-Hill.

Ríos Giraldo, R. M., 2009, Seguimiento, Medición, Análisis y mejora en los sistemas de gestión: Colombia, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

Schneider Schpilberg, B., 2007, Resilience, cómo construir empresas exitosas en contextos de inestabilidad, Editorial Norma.

Stamatis, D. H., 2010, The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability: Productivity Press: New York, United States of America, CRC Press, 483 p.

Suzuki, T., 1992, TPM en industrias de proceso: Madrid, España, Productivity Press.

Ucelo Lezana, A. R., 2008, Diseño e implentación del sistema de Eficiencia Global de los Equipos (OEE) en una línea de producción de pañales desechables e investigación de propuesta viable para la degradación de estos productos no reciclables en la empresa Altenvasa, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Walton, M., 1988, Cómo admistrar con el método Deming, Editorial Norma S.A., 291 p.

Wang, F. K., and W. Lee, 2001, Learning curve analysis in total productive maintenance: Omega-International Journal of Management Science, v. 29, p. 491-499.

ANEXO A. TABLA DE PÉRDIDAS COMUNES DE ACUERDO AL PROCESO

Sector	Pérdidas Comunes	Comentarios
Metalmecánico	Desperdicio de materia prima	Causado por el desperdicio estructural que ocurre al momento de usar los moldes sobre el área disponible de material. Pérdidas por preparaciones de máquina e inicio de producción. Desperdicio de materia prima durante la recepción y el proceso de transformación.
Alimentos	Desperdicio estructural por material de empaque	El material que contiene los alimentos presenta alto costo debido a las propiedades herméticas y de termosellado que requieren para conservar el producto.
Papelero	Reproceso de producto	Volver a pasar el producto por un problema de calidad, es menos rentable que pasarlo como desperdicio porque requiere que el papel tome sus características iniciales para volver a colocarle los tonos requeridos.
Farmacéutica	Alistamientos	Requieren de unas condiciones ambientales y de proceso antes de iniciar las corridas de producción
Pan	Gasto energético	Funcionamiento de los hornos, presenta un alto gasto energético para mantener las temperaturas requeridas. Su impacto es en costo.
Sal	Gasto agua	El proceso de fabricación requiere de agua para la dilución de la sal, esto implica un alto gasto de este insumo.
Cemento	Desperdicio de materia prima	Desbalanceo de las tolvas, adición inadecuada o exceso de aditivos lo que causa que el material no quede con las características requeridas para ser usado adecuadamente.
Papelera	Alistamientos	La disponibilidad se ve afectada por cambios de rodillos.
Pañales	Calidad	La velocidad del proceso causa que un defecto ocurra en una cantidad de pañales. Defectuosos por arranque. Ocurren también problemas en Disponibilidad por cambios de etapa.
Impresión	Alistamientos	La disponibilidad se afecta por los tiempos de cambio y alistamiento entre referencias de productos a imprimir.
Ingenio	Disponibilidad y velocidad	Ocurre por falta de materia prima para moler, lo que obliga a paros esporádicos o a trabajar a menor velocidad las máquinas. Esto sucede por la edad requerida en la planta para poder ser ingresada al proceso productivo.
Moldeo de plástico	Disponibilidad	Causado por mantenimiento de moldes, purga y limpieza y cambio de molde.
Talco	Disponibilidad	Dado que es un proceso hidrofónico, y adicionalmente el producto suministrado es considerado cosmético, se requiere de unas condiciones mínimas requeridas de limpieza y sanitización del ambiente y máquinas. Es por este motivo que los cambios pueden requerir alrededor de un turno, ya que la limpieza de las tolvas y molinos se realiza mediante elementos mecánicos sin el uso de agua.

Nota Fuente. Elaboración Propia.

ANEXO B. FÓRMULAS MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA

Conocimientos y capacidades= INTEG (Generación de conocimientos y capacidades, 1)

Deterioro de estándares de condiciones de equipo=Deterioro por desgastes

Deterioro por desgastes=(Tasa de desgaste por uso+Tasa de desgastes por fallas)*Estándares de condiciones de equipo

"Eliminación de fallas por mejoramiento (IC)"="Esfuezo proyectos de mejoramiento (DMA)"/Tiempo medio ciclo de implementación

Eliminación de fallas por reacción=Esfuerzo en acciones reactivas

Esfuerzo en acciones reactivas=Tasa de pérdidas/Tiempo de corrección de la pérdida

"Esfuezo proyectos de mejoramiento (DMA)"=DELAY FIXED (MIN(Fallas por eliminar,Tasa de fallas a eliminar con mejoramiento),Tiempo de ciclo de planeación,0)

Estándares de condiciones de equipo= INTEG (Generación de estándares-Deterioro de estándares de condiciones de equipo, 1)

Fallas generadas= INTEG (Generación de fallas-Identificación de Fallas,0)

Fallas por eliminar= INTEG (Identificación de Fallas-"Eliminación de fallas por mejoramiento (IC)"-Eliminación de fallas por reacción 1)

FINAL TIME = 100
Units: Semana
The final time for the simulation.

Generación de conocimientos y capacidades=Tabla de generación de conocimientos("Eliminación de fallas por mejoramiento (IC)")

Generación de estándares=Generación de conocimientos y capacidades

Generación de fallas= Tabla generación de fallas(Estándares de condiciones de equipo)

Identificación de Fallas=(Tabla identificación de fallas(Conocimientos y capacidades)*Fallas generadas)/Tiempo de identificación de fallas

INITIAL TIME = 0
Units: Semana
The initial time for the simulation.

Porcentaje de fallas con parada de función= 0.1

Proporción de fallas a eliminar con mejoramientos=0.1

SAVEPER = TIME STEP
Units: Semana [0,?]
The frequency with which output is stored.

Tabla de generación de conocimientos([(0,0)-(4,1)],(0,0),(0.464832,0.0657895),(0.954128,0.171053),(1.34557,0.368421),(1.71254,0.482456),(2.06728,0.56),(2.72783,0.56),(3.30275,0.56))

Tabla de predisposición al desgaste por fallas([(0,0)-(12,1)],(0,0),(2.826,0.03947),(5.615,0.07018),(7.963,0.1184),(9.908,0.1842),(10.9,0.2588),(12,0.5))

Tabla de predisposición al desgaste por uso([(0,0)-(100,0.05)],(0,0.02),(20,0.022),(40,0.029),(60,0.035),(80,0.045),(100,0.05))

Tabla generación de fallas([(0,0)-(3,5)],(0,5),(0.266055,3.72807),(0.522936,2.82895),(0.87156,1.62281),(1.3945,0.855263),(2,0.438596),(2.58716,0.153509),(3,0))

Tabla identificación de fallas([(0,0)-(16,1)],(0,0),(3,0.08),(6,0.24),(9,0.5),(12,0.75),(14,0.82),(15,0.82),(16,0.82))

Tasa de desgaste por uso=Tabla de predisposición al desgaste por uso(Time)

Tasa de desgastes por fallas= Tabla de predisposición al desgaste por fallas(Eliminación de fallas por reacción)

Tasa de fallas a eliminar con mejoramiento=Fallas por eliminar*Proporción de fallas a eliminar con mejoramientos

Tasa de pérdidas=Fallas por eliminar*Porcentaje de fallas con parada de función

Tiempo de ciclo de planeación=7
Tiempo de corrección de la pérdida=1
Tiempo de identificación de fallas=1
Tiempo medio ciclo de implementación=3

TIME STEP = 1
Units: Semana [0,?]
The time step for the simulation.