



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN INGENIERÍA

FACULTAD DE QUÍMICA

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA
PARA PREVENCIÓN DE RIESGOS DE
PROCESO, BASADA EN EL SISTEMA
DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO
TOTAL (TPM).

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA
P R E S E N T A :
DIANA ANGÉLICA MORALES TINTOR



TUTOR:
M. EN C. LETICIA LOZANO RÍOS

2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

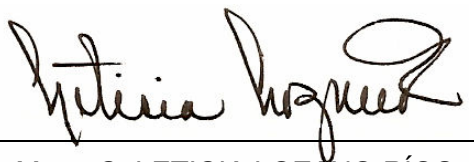
JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. en C. LETICIA LOZANO RÍOS.
Secretario: M. en A. FERNANDO BÁEZ RAMOS.
Vocal: M. en C. JORGE LUIS AGUILAR GONZÁLEZ.
1er. Suplente: M. en E. HELIO HUMBERTO GARCÍA DEL RÍO.
2º. Suplente: M. en C. ALFONSO DURAN PRECIADO.

LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Química.
Ciudad Universitaria. México, D. F.

TUTOR DE TESIS:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Leticia Lozano Ríos', written over a horizontal line.

M. en C. LETICIA LOZANO RÍOS

A mi esposo Raúl...

Por el tiempo que me brindaste en la revisión de este trabajo, así como el apoyo incondicional y desmedido durante esta etapa de mi vida... Porque eres quién siempre me levanta los ánimos cuando las cosas no van tan bien. Gracias por estar a mi lado y tener confianza en todo lo que hago. Te amo.

A mi niño, Raulín...

Porque con tu alegría y sonrisas, me motivas a seguir creciendo en conocimiento y espíritu... Eres mi mayor impulso para proponerme alcanzar nuevas metas... Gracias mi hijito, te amo mucho.

A mi Madre...

Ya que sin su apoyo descomunal, no habríamos podido lograr muchas cosas... Gracias por mostrarnos su amor de madre y abuelita. Nosotros también la queremos y necesitamos.

A la memoria de mi Padre...

Porque es su ejemplo, la búsqueda constante de conocimiento, lo que me motiva a seguir... Papi, lo recuerdo con amor y admiración...

Gracias por los grandes momentos de familia que nos brindó, gracias por el ejemplo constante, pero sobre todo... Gracias por ser mi Padre.

A mis hermanos...

Silvia:

Por todo el apoyo moral y la entereza que siempre muestras en todo tipo de circunstancias. Te quiero mucho, gracias por ser mi conciencia y guía.

Leticia:

Porque a pesar de todas las circunstancias, has estado conmigo en los momentos difíciles de mi vida. Gracias por tu apoyo y la confianza que siempre has tenido en mi persona. Te quiero mucho.

Manuel:

Por ser el más alegre de mis hermanos y vivir la vida en plenitud, aunque a veces se te olvide dedicar tiempo para ti mismo. Gracias por preocuparte por los demás y entre ellos por mí. Te quiero mucho.

A mis cuñados:

Por ser parte fundamental de la familia...

Paty:

Por traer aún más sonrisas a la casa (tres en total). Por querer mucho a mi hermanito y compartir juntas muchas alegrías y tristezas.

René:

Por tu constancia y paciencia... por el cariño que le tienes a Lety, y por ser el de mayor antigüedad en la casa.

Miguel:

Por la confianza que me demuestras en tu trato y por ser un gran apoyo para mi hermana.

A mis enanos:

Yoalli, Ulises, Ehécatl... ya que si no fuera por sus inventos raros, la vida sería demasiado simple.

Quetzalli y Donaxi... pues sin sus carcajadas, habría demasiado silencio en casa y no nos contagiarían con su alegría.

A mis queridos amigos:

Los hijos del búho... perdón por no listarlos uno por uno, pues la lista es enorme. Gracias por compartir momentos dichosos conmigo y recordar juntos y añorar a nuestra querida Universidad.

Los hijos de la Facultad de Química...

Con quienes pasé muy lindos momentos, y gozamos y sufrimos juntos los ratos libres y los exámenes. Rosy, no me olvidó de incluirte...

A la Maestra Leticia Lozano:

Por el gran apoyo y el asesoramiento que siempre me brindó. Por ser una persona ávida de conocimiento y nuevas ideas, lo cual siempre nos transmitió a nosotros sus alumnos, y por la calidez de trato que siempre tuvo conmigo.

Gracias por darme la oportunidad de trabajar con Usted y la confianza depositada en mí.

A Todos los Profesores de la Maestría:

Gracias por el empeño que ponen diariamente en la preparación de sus clases, y por la vocación y ética profesional que siempre mostraron a lo largo de la Maestría.

Asimismo, quiero agradecer al Dr. Escobar y al M. Celestino Montiel, por asumir la responsabilidad que conlleva coordinar la Maestría en Ingeniería y Administración de Proyectos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT):

Por su importantísimo compromiso con la sociedad, impulsando y fortaleciendo el desarrollo científico, formando profesionales cada vez más preparados, y promoviendo el desarrollo de proyectos de investigación, los cuales son vitales para el impulso científico y tecnológico del país, y sin los cuales su futuro se derrumbaría. Asimismo, un agradecimiento personal, ya que me brindó todo el apoyo económico mientras estuve realizando la Maestría; apoyo que me fue muy útil para el buen término de mis estudios de Posgrado.

A mi muy Querida Facultad de Química:

La cual me entregó parte de su conocimiento, y de la que me siento muy orgullosa de pertenecer, pues me ha formado profesionalmente y ahora, me ayuda a obtener un grado.

Prometo ejercer mi profesión con honradez y dedicación, y con orgullo Universitario.

A mi Amada UNAM:

Y digo mía, pues al igual que muchos universitarios, es la Institución que nos cobijó durante toda nuestra formación profesional. Mi alma madre, la encargada de formar profesionistas capaces; tarea que realiza con amor y constancia...

Es un honor haber pertenecido a mi Universidad Nacional Autónoma de México.

¡Goya!, ¡Goya!, ¡Cachún-cachún-rrá-rrá!... ¡cachún-cachún-rrá-rrá!... ¡Gooooya!...

¡UNIVERSIDAD!.

¡Por mi Raza hablará el espíritu!

México, D. F. Mayo de 2007.



PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA PREVENCIÓN DE RIESGOS DE PROCESO, BASADA EN EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.

ÍNDICE:

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVO	6
HIPÓTESIS.	7
CAPÍTULO I. RIESGO	
1.1 Definición de Riesgo	8
1.2 Prevención de Riesgos de Proceso	11
1.3 Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's).	13
1.3.1 Métodos Comparativos	17
1.3.2 Métodos Generalizados	19
1.3.3 Índices de Riesgo	21
CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP).	
2.1 Técnica de Análisis de Riesgo y Operabilidad (HazOp).	22
2.2 Conceptos Básicos del HazOp.	23
2.3 Metodología del HazOp.	25
2.4 Matrices de Riesgo.	32
2.4.1 Matriz de Índice de Riesgos.	32
2.4.2 Matriz de Clase de Riesgos.	33
2.5 Características del Grupo de Trabajo.	35
CAPÍTULO III. MANTENIMIENTO TRADICIONAL Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).	
3.1 ¿Por qué hacer Mantenimiento?	36
3.1.1 Organización del Mantenimiento	38
3.1.2 Fallas	40
3.2 Mantenimiento Tradicional	42
3.2.1 Tipos de Mantenimiento Tradicional.	42
3.2.2 Costos de mantenimiento	48
3.3 Mantenimiento Productivo Total.	52
3.3.1 ¿Qué es Mantenimiento Productivo Total?	52
3.3.2 Eficacia del Equipo.	57
3.3.3 Mantenimiento Autónomo.	59
3.3.4 Entrenamiento en Mantenimiento Productivo Total.	69
3.3.5 Midiendo la Eficacia en TPM.	73



CAPÍTULO IV. PROPUESTA PARA CONTROL PREVENTIVO DE RIESGOS BASADA EN EL SISTEMA TPM.	
4.1 Enfoque Sistémico y Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM).	77
4.1.1 Principios de la Ingeniería de Sistemas.	78
4.1.2 El TPM como un sistema.	80
4.1.3 La necesidad de implementar el TPM en los Procesos Industriales.	91
4.2 Estudio comparativo de Recomendaciones y Protecciones de Análisis de Riesgos de Proceso (HazOp), referentes a Mantenimiento.	104
4.2.1 Descripción de los Análisis HazOp estudiados.	105
4.2.2 Escenarios de los Análisis HazOp, referentes a mantenimiento.	107
4.2.3 Tratamiento estadístico de los datos. Análisis de los resultados.	110
4.3 Métodos de Mejora TPM.	114
4.3.1 Técnicas TPM empleadas para el estudio de averías.	115
4.3.2 Formulación de los principios de la herramienta administrativa surgida a partir de TPM.	121
4.3.3 Objetivos del TPM en la Industria Química.	124
CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.	
5.1 Aplicación de TPM en una Planta de Hidrocarburos.	128
5.1.1 Descripción de la planta.	128
5.1.2 Química del proceso.	136
5.1.3 Análisis TPM de la Planta, por nodos.	145
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	
RESULTADOS.	178
CONCLUSIONES.	185
ANEXO I.	188
BIBLIOGRAFÍA.	191



INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

En países que se encuentran a la vanguardia industrial como Japón, Estados Unidos de América y Alemania, entre otros, se han venido desarrollando desde hace años -inicialmente con el fin de reducir los costos de producción-, programas de calidad de alto nivel en los centros de trabajo, que garanticen la operabilidad de la empresa y la seguridad del personal que labora en ella. Para lograr la aplicación exitosa de dichos programas, se requiere concebir al trabajador como parte fundamental de la empresa, ya que sobre él descansa la responsabilidad final en la ejecución de las tareas correspondientes a todas las políticas administrativas dictadas desde la Alta Dirección. Esta idea ha dado como resultado una nueva concepción administrativa que reconoce las potencialidades de los empleados y que plantea los siguientes principios como base:

1. El reconocimiento de que el trabajador posee potencialidades internas que necesitan desarrollarse;
2. La valoración de que el trabajador es el factor más importante para impulsar el desarrollo empresarial; y
3. La comprensión de que el sistema empresarial influye sobre el trabajador y viceversa, por lo que el desarrollo de éste, necesariamente se encuentra ligado al desarrollo de aquél.

En este contexto, un elemento clave de cualquier sistema de administración moderno es la implementación de una cultura empresarial basada en la seguridad y protección ambiental, que implica el compromiso de las industrias para eliminar o disminuir riesgos de proceso que puedan dañar a personas o equipos, así como reducir al mínimo la generación de emisiones y residuos peligrosos, y erradicar los incidentes ambientales. Una buena parte de las acciones encaminadas hacia la



prevención de riesgos tiene relación directa con la operación adecuada de los equipos, y su respectivo mantenimiento. No obstante, tradicionalmente las labores de mantenimiento se han orientado como actividades cuya finalidad está ligada -casi exclusivamente- con el área operativa de la empresa, considerándose como un departamento encargado de minimizar el tiempo de inactividad y los costos derivados de interrupciones en el proceso de producción, originadas por el desgaste o descompostura de los equipos.

Actualmente, existe una gran variedad de técnicas bien constituidas para la realización de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's) en las industrias. Sin embargo, ninguna de ellas considera de manera formal la importancia que tienen las actividades de mantenimiento de equipos de proceso y sistemas auxiliares, como elementos esenciales para garantizar la correcta operabilidad de los procesos, y en consecuencia, como herramienta de protección frente a eventualidades que pudieran desencadenar accidentes laborales o generar condiciones de riesgo. Por otra parte, las nuevas¹ teorías de calidad que han surgido en los últimos años (sobre todo en Japón), han reconocido la necesidad de fomentar una serie de preceptos que formalicen las labores de mantenimiento dentro de un sistema integral de actividades dirigidas a evitar paros de la planta y desgaste excesivo de los equipos, con el objetivo primordial de evitar costos mayores. De este modo, puede establecerse la premisa de que estos dos aspectos, seguridad y mantenimiento, no han sido relacionados suficientemente: o bien al mantenimiento se le considera un área de actividades poco agradables y cuya finalidad primordial es la de evitar paros operativos, o, por otro lado, las técnicas de análisis de riesgos restan importancia a las labores de mantenimiento como factor decisivo en la prevención de riesgos.

¹ Cabe mencionar que, si bien estas teorías de calidad surgen a partir de los años 70's, no es hasta finales de la década de los 80's cuando empieza su implementación en Japón, extendiéndose hacia los países más desarrollados del mundo.



El objetivo de este trabajo será presentar una propuesta novedosa para la implementación de un control preventivo de riesgos basada en las técnicas empleadas en un sistema de mantenimiento integral, de modo que pueda ser aplicado por cualquier empresa que quiera mejorar su proceso productivo y al mismo tiempo reducir sus expectativas de riesgos. De este modo, y debido a que se trata de un sistema implementado desde la administración, con una orientación técnica que no representa mayores modificaciones al proceso, su adopción y/o adaptación por parte de la empresa es tan factible como lo es la puesta en ejecución de una norma ISO.²

El Sistema de Mantenimiento que conforma la base de la metodología propuesta en el presente documento, es el denominado Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas del inglés *Total Productive Maintenance*). Se trata de un sistema de organización donde la responsabilidad no recae solamente en el departamento de mantenimiento, sino en toda la estructura de la empresa. Su principio o directriz podría resumirse como sigue: *"El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones es responsabilidad de todos"*. El Mantenimiento Productivo Total, tiene un doble objetivo: cero caídas en producción y cero defectos. Cuando esto se logra, los períodos de operación aumentan su eficiencia, se reducen los costos, se minimiza el inventario, y en consecuencia, la productividad se incrementa.

² ISO: Abreviatura de las siglas *International Standardization Organization* (Organización Internacional para la Normalización). Es la norma, creada en 1987, que especifica los requerimientos y prácticas que un sistema administrativo debe emplear cuando se necesita demostrar la capacidad de un proveedor para diseñar y suministrar productos y/o servicios de calidad.



Como puede apreciarse en el párrafo anterior, la prevención de riesgos de proceso no se encuentra comprendida dentro de los objetivos principales del sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), por lo que se vuelve necesario -y relevante- el estudio de este sistema como herramienta para la disminución y control de riesgos.

Por lo demás, el análisis del sistema de Mantenimiento Productivo Total en lo referente a los aspectos relacionados con productividad, eficiencia y costos, es ya un tema ampliamente discutido en numerosas fuentes bibliográficas, por lo que no será necesario profundizar en dichos aspectos durante el desarrollo de esta tesis.

Si bien el Mantenimiento Productivo Total, así como otros sistemas afines al concepto de calidad³, han sido llevados a la práctica con éxito en países como los mencionados anteriormente, el Estado del Arte de esta materia en México se encuentra en fase de introducción por algunas empresas particulares, sin embargo, para las paraestatales, es prácticamente desconocido, pues no sólo se carece de una cultura laboral vinculada con la relación Seguridad-Mantenimiento-Calidad, sino que incluso son insuficientes los estudios en pormenor de sus interacciones y variantes aplicadas a las condiciones particulares del entorno mexicano; circunstancia que ha motivado, en parte, la realización de este trabajo, en espera de que pueda contribuir, a una mejor comprensión del tema que es objeto de este estudio.

³ Por ejemplo: el *Total Quality Control (TQC)*, o Control de Calidad Total, para el que la calidad debe ser una "forma de vida empresarial" que se asimile en todos los niveles (administradores y empleados); o el *Just In Time (JIT)*; o Justo A Tiempo, que plantea maximizar la eficiencia de la logística y funciones operativas de una empresa.



La propuesta que se presentará tiene aplicabilidad, tanto para las empresas del sector privado, como para las del sector público del país (sobre todo para estas últimas, dado que destinan mayores recursos a las áreas de mantenimiento, como consecuencia de su tamaño), pudiendo ser una herramienta para modificar significativamente la incidencia de factores de riesgo para equipos y personal, además del beneficio que se conseguiría en términos económicos, como resultado de la ganancia de eficiencia en la operabilidad de sus procesos.

Se debe mencionar también, en este punto, que una circunstancia que sin duda podría dificultar cualquier intento de poner en marcha una propuesta como la que aquí se desarrolla, es decir, un factor de riesgo a considerar, radica en la idea –todavía extendida entre muchos administradores mexicanos- de que los sistemas de calidad pocas veces justifican su inversión ⁴, razón por la cual, se mantienen renuentes a adoptar estas filosofías.

En resumen, la metodología que este documento propone, tratará de demostrar que la implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total puede ser una herramienta muy efectiva para el control preventivo de riesgos de proceso. El análisis de los posibles beneficios derivados de la aplicación directa de dicho sistema a una planta de un proceso de refinación de petróleo (Caso de Estudio), podrá ser contrastado con las recomendaciones obtenidas de un Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp, de la contracción de las palabras inglesas, Hazard and Operability), realizado a dicha planta.

⁴ Idea que probablemente tiene sus raíces en el hecho de que un sistema típico de calidad no alcanza resultados evidentes sino hasta después de unos tres años de haberlo implementado, pues se requiere de la asimilación gradual de nuevos patrones de cultura organizacional por parte del trabajador.



OBJETIVO.

El objetivo que esta tesis persigue es proponer una metodología que señale la importancia que tiene la prevención de riesgos en las empresas, y la forma en como un sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), puede convertirse en una herramienta de control preventivo de riesgos. Dicha metodología proveerá de un punto de comparación de los beneficios que se pueden alcanzar con un sistema TPM, respecto a los resultados obtenidos de una técnica rigurosa de análisis de riesgos, como es el Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp). De manera que se propone que un sistema concebido originalmente para mantenimiento (orientado en principio hacia el incremento de la productividad), puede funcionar –adicionalmente y de manera considerable- como una efectiva técnica de prevención de riesgos en las empresas.

Los objetivos específicos que resultan de lo anterior son:

- Formular los principios de una herramienta administrativa diseñada para crear una cultura laboral más organizada en los centros de trabajo, que implica un compromiso de todo el personal de la empresa con el correcto funcionamiento y el mantenimiento de los equipos y sistema de la misma.
- Proponer una metodología que ayude a minimizar factores de riesgo en plantas de proceso, a partir de un Sistema de Mantenimiento Productivo Total.
- Reconocer la importancia de establecer filosofías y sistemas de calidad en los centros de trabajo.
- Verificar de qué forma un sistema TPM puede contribuir a establecer un Control Preventivo de Riesgos aplicado en un caso de estudio, para ser corroborado con los resultados de un Análisis HazOp.



HIPÓTESIS.

“Actualmente, un porcentaje significativo (alrededor del 50%) de los escenarios que se proponen y estudian en un Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp) para una planta de proceso, contienen protecciones y recomendaciones que tienen que ver con actividades preventivas, predictivas o correctivas de mantenimiento de equipos y sistemas auxiliares. Por otro lado, la gran mayoría de las empresas (medianas y grandes), del sector industrial en México, no incluyen prácticas de mejora continua dentro de las actividades de Mantenimiento (el 70% de las mismas sigue siendo de mantenimiento correctivo y el restante 30% o menos son prácticas de carácter preventivo y predictivo)⁵; es por ello que se propone implementar en los centros de trabajo un Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), como un instrumento para mejorar la calidad de los procesos, el cual, adicionalmente, deberá servir como una herramienta de suma utilidad para la prevención de Riesgos de Proceso en Plantas Industriales, pues debido a su carácter sistémico e integral, se reducirían automáticamente factores de riesgo en los procesos en un porcentaje significativo.”

⁵ Arturo Sánchez Martínez. “**Más allá de la Administración de Calidad Total. Hacia el paradigma emergente**”. Departamento de Administración de la Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.



CAPITULO I. RIESGO.

1.1 Definición de Riesgo.

Muchas son las formas en cómo puede interpretarse el riesgo, sin embargo, muy pocas veces se acierta a la correcta. Antes de proceder a definir al riesgo, se deben precisar algunos conceptos, tales como: *Evento*, *Peligro* y *Accidente*⁶. Un *Evento* es un hecho imprevisto, es decir, que puede acaecer sin que existan señales previas de que ocurrirá. No siempre es clara la diferencia entre lo que es previsible y lo que no lo es: por ejemplo, un relámpago puede considerarse como un evento, pero igualmente se puede argumentar que si las condiciones meteorológicas tales como nubosidad, velocidad del viento y otras, son las adecuadas para desencadenar una tormenta eléctrica, la aparición de relámpagos se convierte entonces en un fenómeno previsible; no obstante, más allá de la discusión determinista sobre el carácter eventual de los sucesos, se puede afirmar que un evento, en todo caso, es un hecho que contiene un elemento sorpresivo para aquellos a quienes afecta.

Se define como *Peligro* al riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal, por lo que una situación peligrosa es aquella en la que aumenta la inminencia del posible daño. Cuando se refiere a aspectos ligados a la seguridad industrial, debe entenderse el peligro como toda aquella condición dentro de un proceso, vinculada con los equipos o los materiales, que eventualmente podría producir efectos adversos sobre las personas, las propiedades o el ambiente.

⁶ Términos que usualmente se encuentran en manuales y bibliografía de Análisis de Riesgos para Plantas de Proceso.



Un *Accidente* es un evento que produce un desvío en las condiciones normales de un sistema, que involuntariamente ocasiona daño o situaciones adversas para el mismo, así como pérdidas en las personas o las cosas.

Establecido lo anterior, se puede esbozar una definición de riesgo como sigue: “...es la probabilidad de que un peligro (causa inminente de pérdida), existente en una actividad determinada durante un periodo definido, ocasione un incidente con consecuencias factibles de ser estimadas”.⁷

Esta definición de *riesgo* como *probabilidad*, implica el hecho de que se trata de un aspecto cuantificable, y por lo tanto, susceptible de ser tratado mediante herramientas estadísticas. El riesgo es un potencial de peligro asociado a una operación productiva, que suele originarse cuando cambian en forma no planeada las condiciones definidas como estándares para garantizar el funcionamiento de dicha operación. Pero aún en los procesos mejor controlados existe un riesgo inherente al proceso en sí, de tal forma que siendo el riesgo un potencial (probabilidad) inevitable en todos los procesos, se debe aprender a “tratarlo”. Lo que no es permisible es desconocer o negar que existe: el riesgo con mayor potencial de pérdidas es aquel que no se conoce, o aquel que se omite.

La pregunta pertinente entonces es: ¿qué hacer con el riesgo, puesto que se trata de una cualidad natural de toda actividad productiva?. La respuesta a esta cuestión no es sencilla, dado que cada proceso tiene distintos grados y tipos de riesgo. Sin embargo, se puede decir que todas las formas de “tratar” el riesgo pueden clasificarse dentro de cuatro categorías: minimización, transferencia, eliminación y aceptación.

⁷ SANTAMARÍA, Ramiro, et. al. **Análisis y reducción de riesgos en la Industria Química.** MAPFRE, España, 1982.



- Minimizar el riesgo significa adoptar una serie de medidas (sistematizadas o no) encaminadas a disminuir la probabilidad de que ocurra un evento indeseable (accidente), los efectos negativos de este último, o ambas cosas. Es la forma más común de tratar el riesgo.
- Cuando el riesgo no puede ser minimizado, se busca entonces transferirlo, es decir, trasladar la responsabilidad del mismo a otra entidad o actor que se haga cargo de él. Esta forma de tratar el riesgo puede parecer poco válida, pues se diría que quien genera el riesgo está rehuendo tratarlo, pero en algunas ocasiones puede ser la mejor alternativa.
- Eliminar el riesgo de manera definitiva generalmente implica adoptar medidas drásticas, como pueden ser el modificar las operaciones productivas o incluso sustituirlas por otras que sean menos riesgosas. Estos cambios pueden estar asociados con estrategias administrativas mayores, como son los procesos de reingeniería ⁸, o la adopción de filosofías de calidad y de gestión ambiental.
- Cuando no es posible aplicar ninguna de las estrategias anteriores, lo que una empresa puede hacer es simplemente aceptar la existencia del riesgo. Dicha aceptación necesariamente conlleva una carga elevada de responsabilidad que se distribuye entre todos los trabajadores de la empresa. Todos conocen el riesgo y lo aceptan, y lo único que puede hacerse es implementar una sólida cultura de seguridad, que ayude a evitar pérdidas mayores de personal o equipos.

⁸ La reingeniería es un nuevo enfoque que analiza y modifica los procesos básicos de trabajo en una empresa para hacerlos más efectivos, es decir, más rápidos, de mayor calidad, con menores costos y mayores ganancias. El término reingeniería se deriva del desarrollo de sistemas de información, en los que la empresa puede retroalimentarse de lo que está sucediendo en el mercado, en la mente de los consumidores y aún dentro de la propia empresa.



Existen dos tipos o categorías de riesgo para una empresa:

- a) El *riesgo* que está íntimamente ligado con la *seguridad* de los que laboran en la empresa, el cual indica la probabilidad de ocurrencia de un evento, de índole mecánico, eléctrico ó químico, que pueda dañar a un individuo o a un equipo que se encuentre dentro del área de peligro. A esta clase de riesgos se les denomina comúnmente como *riesgos de proceso*.
- b) El *riesgo económico* que determina la probabilidad y consecuencias derivadas de la interrupción en el servicio o proceso productivo de la empresa, o durante la ejecución de un proyecto determinado, considerando los factores económicos, sociales, culturales, políticos y ambientales que influyen en dicho desempeño, así como los efectos sobre éstos.

Desde luego, realizar estudios sobre riesgos tiene siempre como finalidad evitar sucesos que pongan en peligro los recursos –humanos o materiales- de la empresa. Se debe tener presente también que los costos de inversión en políticas de seguridad para evitar los accidentes, son siempre inferiores que los gastos originados por su ocurrencia: multas por daño al ambiente, daños a la propiedad, responsabilidad jurídica por pérdidas humanas, sin contar el deterioro de la imagen pública de la empresa, menoscabo en la productividad y disminución en las utilidades, entre otros.

1.2 Prevención de Riesgos de Proceso.

Se entiende por *prevención* el conjunto de actividades o medidas a adoptar en todas las fases productivas de una empresa ó industria, con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados de dichas actividades. Asimismo, el objetivo de la prevención es adelantarse a los posibles desequilibrios, identificando los riesgos,



cuantificándolos y evaluándolos, para adoptar las medidas de protección oportunas.

La Prevención de Riesgos de Proceso es un concepto ya conocido en México desde hace varios años, no obstante, este tipo de filosofías tiene que enfrentarse todavía con visiones conservadoras en algunas empresas, cuyos administradores que están acostumbrados a pensar que los mejores resultados son los que consiguen simplemente las mayores utilidades, por lo que se mantiene renuentes a realizar inversiones en seguridad que, aparentemente, no reportan ningún beneficio, así como con trabajadores que consideran que las medidas de prevención de riesgos son casi siempre actividades engorrosas e inútiles.

En la actualidad, la prevención específica en paros y fallas mecánicas de equipos de proceso, es una cuestión relevante para la operabilidad de las plantas que ha cobrado mayor importancia con la implementación de las Tecnologías de la Información (TI), que permiten evaluar y cuantificar los riesgos con gran rapidez para implementar planes de prevención más efectivos.

El documento en el que se expresa la política de prevención de riesgos dentro de una empresa es el *Plan de Prevención de Riesgos*, el cual establece y recoge la normatividad, la reglamentación y los procedimientos operativos, definiendo los objetivos de la prevención y la asignación de responsabilidades y funciones de cada uno de los distintos niveles jerárquicos de la empresa, en lo que se refiere a la prevención de riesgos dentro de las áreas de trabajo. El plan constituye, por tanto, una recopilación estructurada de las normas, criterios, procedimientos, instrucciones, acciones y recomendaciones en materia de seguridad, con el fin de asegurar la buena gestión del conjunto de factores que influyen en la prevención de riesgos, y en la coordinación con el resto de actividades de la empresa, teniendo en cuenta los objetivos fijados por la dirección.



De este modo, el Plan de Prevención de Riesgos debe contener como mínimo:

- La estructura organizativa, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para llevar a cabo la política de prevención de riesgos de la empresa.
- La documentación necesaria para su ejecución, en forma de procedimientos e instrucciones aplicables.
- La implantación de dichos procedimientos e instrucciones en la empresa, teniendo en cuenta la existencia de las normas existentes y de obligado cumplimiento.

Un Plan de Prevención de Riesgos no se limita a la descripción de las acciones y funciones de un servicio encargado de la prevención en la empresa, sino que es fiel reflejo de la organización y de las disposiciones de las empresas para la Gestión de la Prevención de Riesgos.

1.3 Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's).

Es un conjunto de métodos y técnicas que se aplican de manera sistemática y organizada para identificar las debilidades asociadas al diseño u operación del equipo y/o proceso, que podrían conducir a consecuencias indeseables como daños a las personas, a los equipos, a las instalaciones o al ambiente; con el fin de determinar e implementar las medidas adecuadas para controlar estos riesgos y eliminar -o en su defecto-, mitigar sus consecuencias.

La identificación de riesgos puede realizarse en cualquier momento durante el ciclo de vida de una planta: concepción del proyecto, investigación y desarrollo,



diseño, construcción de la planta, arranque, operación, modificaciones en el proceso, paros periódicos y finalmente, en el desmantelamiento.

Los Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's), cubren esencialmente dos tipos de actividades: la Evaluación de Riesgos y la Administración de Riesgos. La primera está enfocada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable (accidente) y valorar las situaciones alternativas que involucren menores niveles de riesgo. La segunda se refiere a las políticas externas e internas de la planta, que tienen como objetivo la reducción de riesgos, mediante la realización estudios de riesgo-beneficio. Al realizar un Análisis de Riesgos de Proceso (ARP), una empresa puede identificar dónde será más efectiva la aplicación de medidas para mejorar la seguridad. Un sistema de gestión de la seguridad, por otra parte, será un elemento clave dentro de un sistema de administración preocupado por aspectos como: Nivel de Servicio, Imagen, Competitividad, Rentabilidad, Permanencia, Cumplimiento de la legalidad y Reducción en los costos.

Los resultados obtenidos del análisis de riesgos se utilizan para la toma de decisiones (en Gerencia o Administración de Riesgos), ya sea, mediante la jerarquización de riesgos de acuerdo a su gravedad y sus correspondientes estrategias de reducción, o mediante la comparación con los niveles de riesgo fijados como objetivo (intenciones de diseño) en una determinada actividad.

Existen diversas técnicas o procedimientos para realizar un Análisis de Riesgos de Proceso, no obstante, todas ellas coinciden en cuatro etapas generales de los procedimientos para elaborar -de manera secuencial- una lista jerárquica de riesgos. Dichas etapas son:

1. *La identificación de los peligros.* Mediante la experiencia y el conocimiento de un proceso determinado, se pueden analizar todas las circunstancias



que pueden ocasionar un accidente, en función de la probabilidad de que pueda presentarse. Este análisis debe ser exhaustivo, de tal manera que no se pase por alto ninguna situación de riesgo en el proceso.

2. *El análisis a profundidad de sus consecuencias*, en el que se relaciona el efecto previsto con la causa (accidente) que lo origina, para poder cuantificar el daño. Luego, se describe el escenario con las condiciones y factores externos que estén involucrados, como es el tiempo de respuesta de los ingenieros u operadores al detectar el accidente o desviación, la cercanía de otros equipos y líneas de proceso con el área en peligro, así como las consecuencias sobre la operabilidad del proceso, entre otros.
3. *La cuantificación de los riesgos*, mediante el uso de herramientas estadísticas es posible encontrar la frecuencia ó probabilidad de ocurrencia de un evento, de tal manera que se pueda cuantificar el riesgo en función del tiempo, a fin de establecer las acciones que requieren prioridad y atenuar la incidencia de los accidentes.
4. *La toma de decisiones para reducir los riesgos*. Una vez identificado el peligro, se estimará la magnitud de los daños que se generarían con un incidente desastroso, así como la probabilidad de ocurrencia, y se elaboran las recomendaciones más apropiadas para prevenir dichos sucesos.

De este modo, el aporte de las diversas técnicas de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's), radica en apoyar, con herramientas sistematizadas y especializadas de identificación y evaluación, la caracterización de los riesgos en las diferentes áreas de un proceso. Varias de las técnicas que existen actualmente tienen aspectos comunes entre sí, por lo cual se pueden agrupar en tres



principales categorías: métodos comparativos, métodos generalizados e índices de riesgo.

- Los métodos comparativos se basan en la experiencia previa acumulada en una área determinada de los procesos industriales de quienes llevan a cabo el análisis, bien como registro de accidentes previos, o reunida en forma de códigos o listas de comprobación.
- Los métodos generalizados se basan en esquemas de razonamiento lógico para identificar y evaluar en su totalidad, los riesgos presentes en un determinado proceso, tomando como base la relación causa y efecto.
- Los índices de riesgo jerarquizan los riesgos para asignar penalizaciones y bonificaciones según las características del proceso, y señalar áreas de mayor concentración de riesgo donde se requiere un análisis más profundo, o medidas suplementarias de seguridad.

La Tabla 1.1 contiene una clasificación de las principales técnicas de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's), de acuerdo con esta división.

Debido a que no se encuentra en los alcances (ni en los objetivos) de este trabajo realizar una descripción exhaustiva de cada una de esta técnicas, se hará a continuación una breve descripción de ellas, dejando para el siguiente capítulo la descripción de la técnica HazOp, cuyo estudio servirá para los propósitos de esta Tesis.



Tabla 1.1 Clasificación de Técnicas de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's).

MÉTODOS COMPARATIVOS	MÉTODOS GENERALIZADOS	ÍNDICES DE RIESGO
Listas de Verificación (Checklists)	Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp)	Índice Dow
Códigos y Normas	Análisis de Consecuencias (AC)	Índice Mond
Análisis Histórico de Accidentes	Análisis de Árbol de Fallas (FTA)	
	Análisis <i>What-if</i>	
	Análisis de Error Humano	
	Análisis de Modos de Fallo y Efectos (FMEA)	
	Análisis de Árbol de Sucesos (ETA)	

1.3.1 Métodos comparativos.

- 1) Listas de verificación. La lista de verificación conocida como *Checklist*, es una técnica en donde el analista usa una lista de términos específicos que identifican peligros típicos, como deficiencias de diseño y accidentes potenciales, asociados con los procesos y equipos de operación. Esta técnica evalúa materiales, equipos y procedimientos; preferentemente evalúa un diseño específico, del cual una industria o compañía tiene suficiente conocimiento y desea desarrollar un nuevo proceso para eliminar peligros que se hayan presentado a través de los años de operación de un sistema similar.
- 2) Códigos y Normas de Seguridad. Las reglamentaciones internacionales y nacionales proporcionan la base para los esfuerzos de las industrias por poner en práctica programas de administración de la seguridad, incluyendo



sistemas administrativos, evaluación de peligros y análisis de riesgos, programas de control efectivos y verificación rutinarias. Puestos en marcha, estos elementos pueden reducir en mayor grado la probabilidad de que más de un sistema de seguridad en un proceso falle al mismo tiempo. La experiencia histórica ha demostrado que los accidentes importantes casi siempre están asociados con la falla de al menos dos sistemas de seguridad o respaldo. Los Códigos y Normas de Seguridad (o estándares) son los estatutos que dictan el procedimiento para efectuar la técnica de análisis para la evaluación de una planta de determinado proceso, las cuales se basan en normas internacionales, nacionales, locales y estándares complementados con la experiencia.

- 3) Análisis Histórico de Accidentes. Este análisis se basa en los datos recopilados de la información obtenida por la experiencia en incidentes y accidentes industriales, ya que éstos identifican los peligros concretos e inminentes de eventos reales pasados; las fuentes pueden ser datos propios de la compañía, prensa, entrevistas a testigos o informes de investigación, bibliografía especializada, informes de peritajes, o bien bancos de datos de accidentes tales como: CHAFINC (Chemical Accidents, Failure Incidents and Chemical Hazards Databank), CHI (Chemical hazards in Industry), HARIS (Hazard and Reliability Information System), MIDAS (Major Hazard Incident Data Service), NIOSH (Occupational Safety and Health), SONATA (Summary of Notable Accidents in Technical Activities), WOAD (Worldwide Offshore Accident Databank) y el MARS (Major Accident Reporting System). El investigador debe tener criterio para discernir entre las contradicciones que se dan entre las diferentes versiones de accidentes en el área analizada. Generalmente, la teoría que requiere menos suposiciones es la correcta.



1.3.2 Métodos generalizados.

- 1) Análisis de Consecuencias (AC). El Análisis de Consecuencias (AC), es una técnica que sirve para identificar las posibles formas de progresión de eventos que involucren sustancias peligrosas y así poder cuantificar tanto la magnitud como el alcance de sus efectos sobre las personas, el equipo y el ambiente. Los efectos evaluados son aquellos que se derivan de la toxicidad de las sustancias, de los problemas de sobrepresión y de los altos niveles de radiación térmica producidos por la combustión de materiales inflamables.

- 2) Análisis de Árbol de Fallas (FTA). Un árbol de fallas es un diagrama lógico-gráfico que describe la manera en que se pueden combinar diferentes eventos para que ocurra un evento indeseado. Es una técnica usada para calcular la probabilidad de falla de un sistema, basado en la probabilidad de falla de sus componentes. Usa lógica inductiva, que es la identificación de un evento principal o culminante (generalmente la falla de un sistema) a partir de las causas que pueden producir dicho evento. Es aplicable a sistemas formados por eventos que se pueden describir con lógica *Booleana* (el evento ocurre o no).

- 3) Análisis *What-if*. Éste análisis, que en español significa ¿Qué pasaría sí...?, cuestiona hipotéticamente cualquier evento. Requiere de mayor experiencia en el área de accidentes y peligros potenciales, pues es menos estructurado y más factible de omitir aspectos importantes. Los especialistas expertos en la aplicación de esta técnica consideran que es una herramienta fácil de emplear y menos tediosa que las otras. Considera las consecuencias de posibles sucesos inesperados así como también supone las fallas sin considerar consecuencias. La pregunta ¿Qué pasaría sí?, enfoca todas las desviaciones de diseño, construcción, modificación y operación de la planta.



Se realiza en áreas concretas por expertos que tienen información detallada de instrumentación, procedimientos, y otros. Los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa y constructiva del grupo de análisis. Esta técnica conduce a la determinación de las medidas preventivas requeridas por el control de la falla.

- 4) Análisis de error humano. Un análisis de error humano es una evaluación sistemática de todos los factores que influyen en la manera de actuar de los trabajadores de la planta, en las diversas tareas realizadas en un sistema determinado. Describe las características del entorno requerido para realizar adecuadamente las actividades de la adecuada operación del sistema, y así poder identificar las situaciones de error (probabilidad de falla) que pueden desencadenar un accidente.
- 5) Análisis de modos de falla y efectos, FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*). Esta técnica compara en una tabla los equipos de la planta o del sistema, de acuerdo a sus modos de falla, el efecto que acompaña a cada modo de fallo y una clasificación de criticidad de todos los modos. El modo de falla es una descripción de como falla el equipo (abierto, cerrado, arranque, paro, fugas, etc.); su efecto es la respuesta del sistema o la consecuencia resultante de la falla. De esta forma el análisis *FMECA* identifica modos de fallo simples, que directamente o formando parte de una sucesión de los mismos da lugar al accidente. Este método normalmente no examina el posible error humano del operador, sin embargo los efectos de una operación incorrecta son habitualmente descritos como un modo de fallo del equipo. El análisis *FMECA* no es efectivo para identificar combinaciones de fallos que den lugar al accidente.
- 6) El análisis del árbol de eventos (*Event Tree Analysis, ETA*) evalúa los resultados de un accidente potencial que podrían resultar tras un fallo o



alteración. Se interesa más por los resultados que por las causas. Supone algo ya ocurrido y construye un “árbol lógico” que conecta dicho suceso inicial con los finales, donde la rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final. Se usa para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos después del accidente.

1.3.3 Índices de riesgo.

Índices Dow y Mond. Los índices de Dow y Mond son métodos útiles que proporcionan una jerarquización (ranking) o índice relativo de los riesgos relacionados a la planta, particularmente para incendios y explosiones. El método asigna penalizaciones y bonificaciones según las características de la planta. Las penalizaciones se asignan por las condiciones de la planta que puede contribuir a que ocurra un accidente, como: las características de la reacción, severidad de parámetros de operación; cantidad de producto involucrado, efectos dominó, y otros. Las bonificaciones se otorgan por las características de la planta de que puedan mitigar los posibles accidentes, como: condiciones de seguridad de la unidad, sistema de emergencia, control, contención, protección contra incendios, entre otros.



CAPITULO II.

ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP).

2.1 Técnica de Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP).

El Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp, por las siglas en inglés para Hazard & Operability Analysis), es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. El método involucra, la investigación de dichas desviaciones del intento de diseño o propósito de un proceso, por un grupo de individuos con experiencia en diferentes áreas tales como ingeniería, producción, mantenimiento, química y seguridad. Este grupo multidisciplinario es guiado por un líder, en un proceso estructurado de discusión de propuestas generadas mediante una "lluvia de ideas" a través del uso de "palabras guía", las cuales se aplican a parámetros relevantes del proceso, tales como: flujo, temperatura, presión, composición, y otros, para identificar las causas y consecuencias de desviaciones en estos parámetros de sus valores normales, así como los sistemas de protección ó mitigación de dichas causas y consecuencias. La técnica además, semi-cuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias ó probabilidades de ocurrencia de un evento indeseable y su gravedad; hace recomendaciones, las cuales clasifica y jerarquiza de acuerdo al nivel del riesgo encontrado; y finalmente, establece y jerarquiza las acciones para implementar las medidas correctivas determinadas por el equipo multidisciplinario.

Este método surgió en Inglaterra en el año de 1963, en la compañía *Imperial Chemical Industries (ICI)*, la cual utilizaba prácticas de análisis críticos en otras áreas. Esta técnica de análisis es actualmente una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en instalaciones



industriales. Dicha metodología fue desarrollada para identificar peligros y evaluar riesgos y problemas de operabilidad en una planta de proceso, evaluando línea por línea, equipo por equipo, de todo el proceso o sistema de interés, para identificar las consecuencias posibles de las desviaciones del diseño, en todas las unidades del proceso. La gran ventaja de este método es que se generan muchas ideas como resultado de la interacción de las distintas experiencias de los técnicos que forman el equipo de análisis.

Aunque la identificación de las consecuencias inaceptables es el principal objetivo en un análisis de este tipo, el método plantea una serie de recomendaciones para mejorar el proceso. Estas pueden indicar modificaciones en el diseño, requerimientos en los procedimientos operativos, modificaciones en la documentación, mayor investigación, y otras, dando como resultado una metodología de operación más completa y de prevención a posibles eventos catastróficos.

Además, debido a que el costo de las fallas de plantas y sistemas representan gastos mayores en términos de lesiones, pérdida de vidas, daño a los equipos, impacto ambiental, destrucción de bienes inmuebles e interrupción de la producción, actualmente en algunos países se hace obligatoria la realización de este tipo de análisis, para demostrar que una planta puede operar de manera segura y que se han instalado medidas de seguridad adecuadas contra eventos o circunstancias indeseables de posible ocurrencia.

2.2 Conceptos básicos del HazOp.

Como puede desprenderse de lo anterior, el procedimiento para realizar un Análisis HazOp, requiere tener una descripción y documentación completa de la planta que proporcione una visión precisa del proceso a estudiar, para poder



analizarlo sistemáticamente parte por parte, con el fin de identificar como se pueden producir desviaciones del intento de diseño. Una vez identificados, se hace una evaluación, para determinar si tales desviaciones y sus consecuencias pueden tener un efecto negativo en la seguridad y operación eficiente de la planta. Si se considera necesario, se establecen acciones para remediar la situación. Sin embargo, una gran ventaja de la técnica, es que alienta al grupo a considerar muchas posibilidades -en ocasiones nada obvias- de cómo pueden ocurrir las desviaciones, que de otra manera sería difícil descubrir en primera instancia. De esta manera, el estudio logra mejores resultados que una revisión mecánica basada en una lista de verificación, por ejemplo. El objetivo es entonces, identificar fallas y problemas potenciales que no hayan sido previamente experimentados en el tipo de planta bajo estudio.

En este sentido, son dos los propósitos del Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp):

1. Identificar riesgos y determinar su nivel, así como también establecer las medidas para controlar los riesgos aceptados y reducir el nivel de aquellos que no lo son, con el fin de mejorar la operabilidad de la sección ó unidad de proceso.
2. Lograr que el personal que participa en las sesiones HazOp, y que está involucrado directamente en la operación de dicha sección ó unidad de proceso, cambie su manera de pensar y actúe, en todo momento, con plena conciencia de los riesgos que implica la operación (fomento de una cultura de seguridad de los procesos).



Por otra parte, el HazOp posee dos características fundamentales que lo distinguen de las demás técnicas y lo hacen más completo en cuanto a su metodología y en cuanto a la base de la información que lo determina.

- **Carácter sistemático:** el análisis está basado en la aplicación de una serie de palabras guía a cada parámetro del proceso en estudio, las cuales facilitan la identificación de desviaciones mediante un razonamiento ordenado. Cada vez que una desviación razonable es identificada, se analizan sus causas, consecuencias, salvaguardas y posibles acciones correctivas.
- **Carácter multidisciplinario:** el Análisis HazOp es aplicado por un equipo, que debe estar formado por personas de distinta experiencia y formación. Los miembros del equipo exponen las desviaciones, causas, consecuencias y soluciones que se les ocurren, aunque a primera vista parezcan poco razonables o imposibles.

2.3 Metodología del HazOp.

El éxito o fracaso del HazOp depende, entre otros factores, de la información disponible (Diagramas de Tubería e Instrumentación y Diagramas de Flujo de Proceso, datos de planta, manuales de operación, entre otros), del interés y grado de participación de cada uno de los integrantes del grupo multidisciplinario, y de su habilidad para llevar a cabo de manera adecuada todos y cada uno de los puntos de la metodología del Análisis de Riesgos, que deben integrarse a los planes de trabajo del equipo multidisciplinario, que se puede resumir en los siguientes pasos:



- 1) Obtener un conocimiento detallado del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en la planta de los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) y los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), utilizando la información disponible en los archivos.
- 2) Revisar los registros históricos de incidentes ó accidentes, así como también los registros de calibración, prueba de líneas y válvulas de seguridad de presión (PSV's), mejor conocidas como válvulas de relevo.
- 3) Conocer y disponer en el momento del Análisis de los procedimientos normativos internos, la normatividad local y nacional, y los estándares y criterios internacionales. Revisar los manuales de operación y mantenimiento, la información del control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento, así como los planes de emergencia con que cuenta la planta. Toda esta información deberá ser contrastada con las normas y estándares que apliquen, con el fin de establecer recomendaciones específicas durante y al final del estudio, evitando generalidades.
- 4) Establecer las reglas de trabajo: puntualidad, participación activa y positiva, evitar las discusiones innecesarias y concentrarse en el estudio para la generación de ideas.
- 5) Dar forma al Acta Constitutiva del grupo multidisciplinario que asistirá a las sesiones de análisis. En este documento quedarán asentados los nombres de los miembros del grupo multidisciplinario de análisis, así como sus funciones dentro del grupo.



Una vez establecidos esos pasos, puede darse inicio al Análisis HazOp, bajo la siguiente metodología:

- Delimitar un **nodo** ⁹ dentro del circuito que se ha seleccionado para el estudio HAZOP y explicar sus intenciones de diseño.
- Seleccionar los **parámetros** o variables importantes del proceso mediante una **palabra guía**.
- Identificar posibles **desviaciones** en las condiciones del proceso con la combinación de los parámetros y palabras guía.
- Identificar la **causa** que afecta la intención de diseño y determinar su frecuencia.
- Identificar las **consecuencias** sin protecciones y determinar su gravedad.
- Listar todas las **protecciones** ¹⁰ existentes del nodo.
- Determinar el **índice de riesgo** sin protecciones y con protecciones, usando la matriz de índice de riesgo.
- Verificar, evaluar y decidir si **se acepta o no se acepta el riesgo**.
- Sugerir **recomendaciones** y enlistarlas para asignarle una clase con el objeto de jerarquizarlas, con la matriz de clase de riesgo para reducir la frecuencia de las causas y/o la gravedad de las consecuencias.
- Elaborar un **plan de trabajo** basado en la lista de recomendaciones, para efectuar las medidas correctivas para mitigar el riesgo.

La Figura 2.1 muestra esquemáticamente, la metodología aquí descrita.

⁹ Se entiende por nodo a una parte específica del proceso que se aísla del resto para su estudio. Puede tratarse de un equipo, de una línea, o de una sección de equipos que cumplen las mismas funciones.

¹⁰ Son todas aquellas medidas de seguridad que contiene el proceso, que pueden evitar que ocurra un incidente, por ejemplo, instrumentación, válvulas de relevo, y otras.

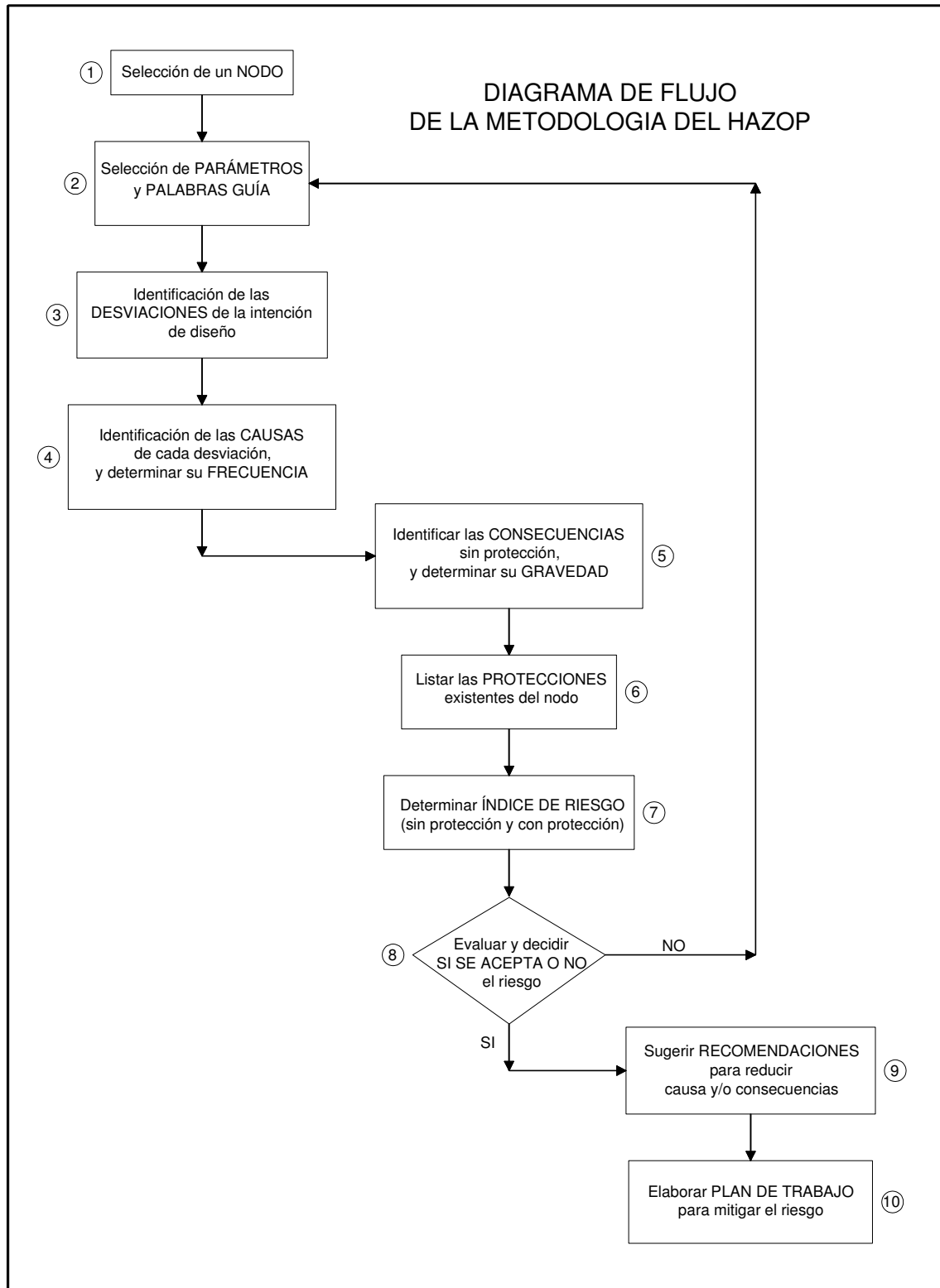


Figura 2.1 Metodología del Análisis HazOp.



Un elemento esencial, en este proceso de estudio y análisis sistemático, es el uso de palabras claves para enfocar la atención del grupo sobre las desviaciones y sus posibles causas. Estas palabras guías se dividen en dos clases:

- Palabras primarias, que enfocan la atención en un aspecto particular del intento de diseño o una condición o parámetro asociado con el proceso.
- Palabras secundarias que, cuando se combinan con las palabras primarias sugieren posibles desviaciones.

La técnica completa del Hazop, requiere el uso efectivo de estas palabras guías, por lo que su significado y uso, deben ser claramente entendidos por el grupo multidisciplinario de análisis, ya que estas reflejan tanto el propósito, como ciertos aspectos operacionales de la planta bajo estudio. Algunos ejemplos de estas palabras se mencionan a continuación.

Palabras típicas orientadas al proceso:

Flujo	Nivel
Temperatura	Presión
Viscosidad	Composición
Nivel	Adición
Reacción	Mantenimiento
Prueba	Instrumentación
Muestreo	Separación
Corrosión/Erosión	Reducción
Reducción	Mezclado



Considerando aspectos de Operabilidad del Proceso se puede considerar palabras operacionales importantes como:

Aislamiento	Drenaje
Ventilación	Purgado
Inspección	Mantenimiento
Arranque	Paro

Como se mencionó anteriormente, cuando las palabras secundarias se combinan con las primarias, sugieren desviaciones o problemas potenciales. Un listado estándar de las palabras utilizadas se mencionan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Palabras Guía.

PALABRA GUÍA	SIGNIFICADO Y COMENTARIOS
No	La completa negación de la intención del diseño. Ninguna parte de la intención se logra ejemplo: no hay flujo en la línea, el paso en el procedimiento no se lleva a cabo, etc.
Más / Menos	Aumentos ó disminuciones cuantitativas sobre la intención de diseño. Se refiere a cantidades y propiedades físicas relevantes tales como: flujo, temperatura, calor, reacción. Ejemplo: más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor viscosidad, menos tiempo (como purgar un recipiente en cinco minutos cuando el procedimiento dice que debe hacerse en diez minutos, por lo que el paso se lleva acabo en menos tiempo.
Además de / También como	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: el vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos, se llena otro recipiente a la vez, etc.
Parte de	Disminución cualitativa. Sólo parte de la intención se logra. Ejemplo: la composición del sistema es diferente de la prevista, se cierra sólo una válvula de bloqueo cuando el procedimiento dice cerrar las dos válvulas de bloqueo, etc.
Inverso	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: el flujo transcurre en sentido inverso, tiene lugar la reacción inversa, veneno en lugar de antídoto, etc.
En vez de / Otro que	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto. Ejemplo: cambio de catalizador, fallo en el modo de operación de una unidad, parada imprevista, etc.



Así, durante un Análisis HazOp se aplican de manera sistemática, todas las combinaciones relevantes de palabras claves en un esfuerzo por descubrir problemas potenciales. Los resultados se registran, en un formato de tabla o matriz como la que se muestra en la Tabla 2.2.

MATRIZ DE DESVIACIONES GENERALIZADA							
Palabra Guía + Parámetro	no	inverso	mas	menos	parte de	también como	otro que
Flujo	No flujo	Retroceso	Más flujo	Menos flujo	Composición	Contaminación	Materiales equivocados
Presión	Vacío		Más presión	Menos presión		Golpe de ariete	
Temperatura			Alta temperatura	Baja temperatura	Gradiente	Oxidación/ Fragilización	
Viscosidad			Alta Viscosidad	Baja viscosidad	Cambio de fase		
Nivel	Vacío		Nivel alto	Nivel bajo			
Mezcla	No mezcla		Mezcla excesiva	Mezcla pobre		Espuma	
Reacción	No reacción	Reacción inversa	Reacción descontrolada	Reacción incompleta	Reacción secundaria	Cambio de fase	Reacción equivocada
Operación	Falla de servicios		Descollamiento	Espera	Arranque/ paro	Mantenimiento	Muestreo
Secuencia	Omitido	Paso hacia atrás	Paso anticipado	Paso retrasado	Parte del paso	Acción extra incluida	Acción equivocada
Relevo	Inadecuado				Dos fases	Efecto Joule Thompson / enfriamiento	
Aterrizamiento	Fuentes de ignición						
Instrumentación	Falla de instrumentos		Confiable			Alarmas	Paro de emergencia
Contenedor	Ruptura					Seguridad	Ambiente
Estructura	Falla de soporte			Corrosión / erosión		A prueba de fuego	

Tabla 2.2 Matriz de desviaciones.



2.4 Matrices de Riesgo.

2.4.1 Matriz de Índice de Riesgos.

El índice ó número de riesgo permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad ó no del riesgo, para posteriormente asignar prioridades a las estrategias recomendadas para mitigar el riesgo. La jerarquización del riesgo se establece mediante la combinación de la **frecuencia** (probabilidad) con la que ocurre la causa que da lugar a la desviación del sistema, y la **gravedad** de las consecuencias del incidente / accidente. Esta combinación origina una matriz de frecuencia x gravedad, la cual denominamos **matriz de índice de riesgos**.

Son varias las matrices de índice de riesgos que podemos encontrar en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgos, esto es en función de las bases con que definan sus prioridades los analistas de riesgos. Para ejemplificar, se muestra a continuación una de ellas:

Ejemplo: Matriz de Índice de Riesgos 5x5.

Aceptabilidad máxima: 3

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	7	8
	3	3	6	7	8	9
	4	4	7	8	9	10
	5	5	8	9	9	10

Tabla 2.3 Gravedad (consecuencia) de Matriz 5x5



Gravedad	Descripción
1	No tiene impacto en la planta, personal ó equipo.
2	Daños sólo al equipo ó fugas menores.
3	Lesiones al personal de la unidad, todas las consecuencias se contienen en la instalación.
4	Daños / destrucción mayores a la instalación, consecuencias limitadas fuera de la instalación.
5	Daños / destrucción mayores a la instalación, y/o consecuencias extensivas fuera de la instalación

**Tabla 2.4 Frecuencia (probabilidad)
de Matriz 5x5**

Frecuencia	Descripción
1	No más de una vez en la vida de la planta.
2	Hasta una vez en diez años.
3	Hasta una vez en cinco años.
4	Hasta una vez en un año.
5	Más frecuentemente que una vez al año

2.4.2 Matriz de Clase de Riesgos.

La matriz de clase de riesgo clasifica los índices de riesgo de las recomendaciones para asignar la prioridad de la acción a realizar (preventiva o mitigadora), mediante los planes de trabajo. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas deberá usar como base la matriz de índice de riesgo que combina la frecuencia de ocurrencia de un accidente y la gravedad de las consecuencias del mismo.

Dado que son varias las matrices de índice de riesgos que se pueden encontrar en la literatura y que cada compañía usa su propia matriz de riesgos,



también son varias las respectivas matrices de clase de riesgo. A continuación se muestra un ejemplo de Matriz de Clase de Riesgos:

Ejemplo: Matriz de Clase de Riesgo 5x5

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	1	A	A	A	B	B
	2	A	B	B	B	C
	3	A	B	B	C	C
	4	B	B	C	C	C
	5	B	C	C	C	C

Tabla 2.5 Significado de la Clase en la Matriz de Clase de Riesgos 5x5

Num. de Riesgo	Clase de Recomendación	Significado
8 a 10.	A	Las recomendaciones de la clase A son las que tienen la más alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente ó su consecuencia.
4 a 7.	B	Las recomendaciones de la clase B son las que tienen prioridad media. Esto quiere decir que la administración debe evaluarlas mediante un análisis de costo-beneficio y el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo, para que basado en esto se tome la decisión de “aceptar ó no el riesgo”.
1 a 3.	C	Las recomendaciones de la clase C son las que tienen la más baja prioridad. Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad pero que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente.



2.5 Características del Grupo de Trabajo.

El grupo multidisciplinario encargado de conducir el estudio de HazOp, debe consistir de profesionales con una buena comprensión del proceso y de la planta bajo estudio. El grupo, idealmente debe formarse por alrededor de seis miembros y con un máximo de nueve. En un estudio que involucre la participación de contratistas y clientes, es aconsejable mantener un balance entre los dos grupos, en cuanto al número de personas participando. Los participantes, deben ser de varias disciplinas, y este aspecto es una de las fortalezas de la metodología el HazOp:

- En un grupo de gente, cada uno con diferentes disciplinas y experiencia, es más probable que se identifiquen los problemas potenciales, que de otra manera se omitirían, de participar solo una o dos personas.
- Son comunes los casos en que la solución dada por una sola persona origina problemas en otro departamento del proyecto. Por ejemplo un ingeniero de procesos puede identificar un problema potencial y considerar que sería deseable incluir un nuevo instrumento y una alarma. Sin embargo, el departamento de Instrumentación y Control, pudiera indicar que no hay canales disponibles en la sección apropiada del sistema de control electrónico solicitado. Si los dos departamentos participan en el estudio, esta problemática se puede resolver en unos minutos para tomar alguna acción apropiada, que convenga a todos los involucrados en ella.
- Al participar varios departamentos, se crea un espíritu de cooperación lo que persiste después de terminado el estudio. El personal entenderá mejor las opiniones, restricciones y preocupaciones de cada disciplina o departamento involucrado en el proyecto, y esto podrá influir en todos los miembros al tomar decisiones que afecten el proyecto.



CAPITULO III.

MANTENIMIENTO TRADICIONAL Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).

3.1 ¿Por qué hacer Mantenimiento?

El Mantenimiento en una Empresa es un elemento clave importante para el logro de los objetivos de la misma, ya que sin un adecuado mantenimiento, la maquinaria se ve amenazada a interrumpir su operación con bastante frecuencia, alterando de esta manera considerablemente los programas de producción y creando conflictos con los clientes. En muchas ocasiones provoca cuellos de botella en las líneas, incrementando la cantidad de material en proceso, lo que implica: mayor espacio utilizado, incremento en la inversión inmovilizada, problemas de calidad en el producto acumulado; personal ocioso y desmotivado; mayor desperdicio de materiales y mayores costos en las reparaciones. Concretamente, se puede decir que el mantenimiento afecta:

- a) La Eficiencia en el proceso de producción.
- b) Los Costos de Producción.
- c) La Calidad del producto y en el ritmo de trabajo.
- d) La Confiabilidad de la Empresa, debido a entregas a tiempo.

Se crea entonces, una necesidad de organizar de manera adecuada y sistematizada el servicio de mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo, y un apropiado control del mantenimiento correctivo, fundamentalmente, con el objetivo principal de optimizar la disponibilidad de los equipos productores.

La constante exigencia a la cual se ve sometida la industria en la actualidad, al optimizar sus costos de producción, la calidad en sus productos y el cambio repentino de productos, conducen a un cambio trascendente en la gestión, -técnica y económica- del mantenimiento de sus equipos. Es así como a través del



mantenimiento se maneja una gran cantidad de información y se estructura una organización en la que todos los departamentos se ven involucrados en la transformación de la misma.

A continuación, se puede definir al mantenimiento industrial de la siguiente manera: *“Conjunto de acciones encaminadas a la conservación de la maquinaria, equipo e instalaciones, de tal manera que permanezcan sirviendo en óptimas condiciones, para el objetivo para el cual fueron adquiridas, evitando o minimizando sus fallas durante su vida útil.”*¹¹

Los principales objetivos del Mantenimiento son el diseño e implementación de un sistema de organización empresarial, que persiga claramente determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, el enmascaramiento de dichos objetivos o la dificultad en su ejecución. La organización del mantenimiento debe estar encaminada a la constante persecución de las metas establecidas en un principio. Los objetivos primordiales de este departamento, son la correcta:

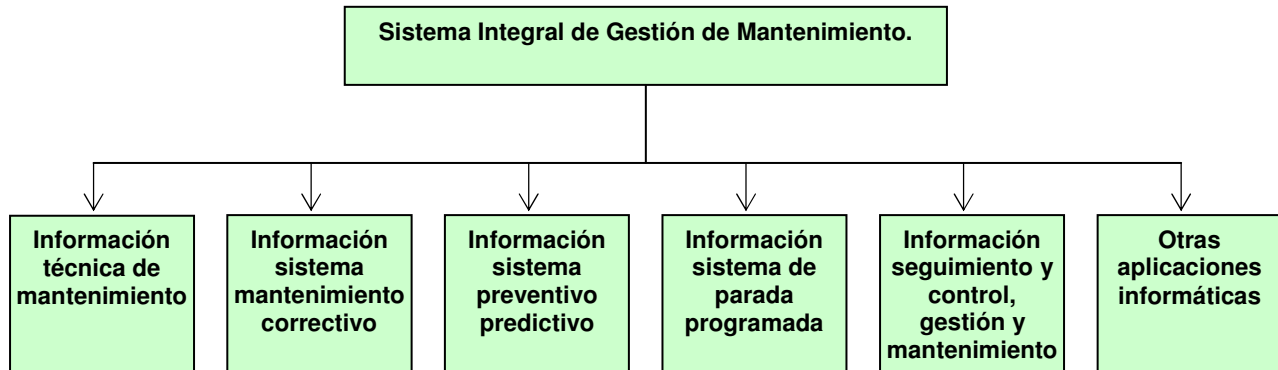
- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución en los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida útil de la máquina.

Enseguida, se muestran en forma esquemática los criterios que se toma en consideración para la organización en un Departamento de Mantenimiento:

¹¹ SANTAMARÍA, J. M. y Braña, P. A. **Análisis y reducción de Riesgos en la Industria Química.** Fundación MAPFRE. Barcelona. 1994.



Criterios de la Gestión del Mantenimiento



Entendiendo al mantenimiento como un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, y otros, se habla de un elemento dentro de la Industria que tiende a prolongar la vida útil de los bienes y a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo, así como reducir el número de fallas.

3.1.1 Organización del Mantenimiento.

La organización del mantenimiento debe contar con el recurso humano necesario para satisfacer eficientemente los requerimientos de dicho departamento. Debe existir una distribución jerárquica en la cual se tengan bien identificadas las tareas correspondientes a cada especialista, sus objetivos, líneas de mando y áreas de responsabilidad bien definidos.

La estructura organizacional del departamento de mantenimiento varía de acuerdo a muchos factores, entre los cuales podemos mencionar el tamaño de la empresa (pequeña, mediana y gran empresa), tipo de producción (bienes y/o servicios) y tipo de proceso productivo.



Otro factor importante para el desarrollo de la organización, es el de dimensionar la variedad de tareas que comprende el área de mantenimiento, las áreas que tienen amplia participación en las actividades de mantenimiento y que por tanto, deben estar sujetas a listas de actividades bien definidas, programas de mantenimiento, y supervisiones periódicas en cuanto a la realización de dichas acciones. A continuación (Tabla 3.1) se muestran las principales áreas involucradas en el mantenimiento y sus respectivas actividades:

*Área Mecánica:	<ul style="list-style-type: none">❖ Instalación de maquinaria❖ Mantenimiento general de la maquinaria❖ Localización de fallas❖ Reparación de la maquinaria❖ Compresores❖ Plomería❖ Lubricación❖ Soldadura
*Área eléctrica:	<ul style="list-style-type: none">❖ Localización de fallas❖ Revisión y reparación❖ Motores eléctricos❖ Iluminación❖ Líneas eléctricas❖ Intercomunicación❖ Cajas de conexión❖ Interruptores❖ Cajas de corte y fusibles
*Área mantenimiento general (Edificios):	<ul style="list-style-type: none">❖ Revisión y reparación de techos❖ Revisión y reparación de paredes❖ Carpintería❖ Albañilería❖ Pintura❖ Ventilación❖ Puertas y ventanas❖ Limpieza❖ Jardinería

Tabla 3.1 Áreas de Mantenimiento y actividades.

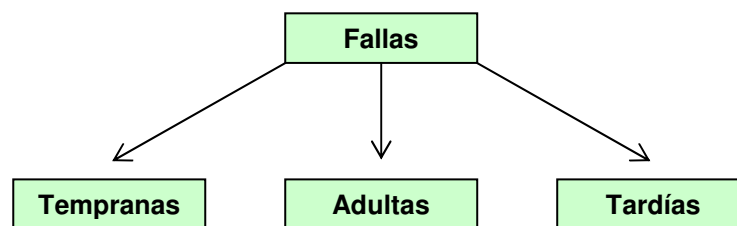


Como puede notarse, toda empresa debe dar atención a las áreas anteriores, tomando siempre en consideración el tamaño de instalación de la misma. Debido a esto, es posible que una empresa grande pueda tener equipos de especialistas para cada área anteriormente mencionada, aunque en el caso de una empresa pequeña esto no puede ser factible. En tal caso, se debe decidir cual sería el equipo básico que es necesario para mantener operando la empresa en las más óptimas condiciones.

3.1.2 Fallas.

Muchas veces en la Industria cuando se dice que algo está fallando, se refiere a algo que deja de brindar el servicio que debía proporcionar normalmente, o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión. En el siguiente Diagrama, se muestra una clasificación general de las fallas en equipos involucrados en procesos en la Industria.

Clasificación de las Fallas:



➤ Fallas Tempranas:

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.



➤ Fallas adultas:

Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (ejemplo: suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etcétera).

➤ Fallas tardías:

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del equipo.

Las averías crónicas en los equipos y los defectos en los productos pueden tener muchas causas, una de ellas es el personal, para eso puede ser necesario que el departamento de mantenimiento capacite a los operarios para detectar anomalías en el equipo y así evitar fallas. Cuando ocurre una avería en el equipo involucrado en un proceso, se retrasan las entregas y se crean defectos en el producto. Para evitar esto, los operarios deben conocer perfectamente su equipo y ser capaces de descubrir o anticipar síntomas específicos de fallas mecánicas, las cuales deberán reportar a las personas de mantenimiento. Por otro lado, el personal encargado del mantenimiento de los equipos tiene que aplicar sus conocimientos para interpretar los datos que les proporcionen los operarios.



3.2 Mantenimiento Tradicional.

3.2.1 Tipos de Mantenimiento Tradicional.

A) Mantenimiento Correctivo.

Este tipo de mantenimiento es el más usual en muchas empresas. Cuando falla una máquina, se moviliza el equipo de mantenimiento, el cual debe estar preparado y capacitado para contingencias, para corregir el daño.

Cada uno de estos paros debe atenderse con una organización por tipo de "proyecto". Es decir, que generalmente cuando no es posible trasladar la máquina o equipo al taller, se debe sustituir por otro que sirva de reserva para dichos fines, y se tendrá que montar en el mismo lugar donde se originó la falla.

En este tipo de contingencias, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Evaluar el daño causado por la falla.
2. Analizar la o las causas de la falla.
3. Corregir el origen de la falla.
4. Reparar, ajustar o cambiar piezas defectuosas.
5. Hacer pruebas y ajustes finales necesarios.

El orden lógico de los pasos anteriores tiene como fin evitar enfocarse solamente a efectos finales del problema, teniendo la posibilidad de seguir haciendo reparaciones frecuentes, y con posibles daños permanentes o algunas veces, averías irreparables de la maquinaria.

En el mantenimiento correctivo, debido a sus diferentes grados de urgencia, se necesita:

- a) Personal de mantenimiento capacitado. Aquí influye la selección y capacitación que se haya realizado. Aunado a la experiencia adquirida en la empresa, la cual no necesariamente se mide en años, sino en calidad de experiencia.

La selección del personal se vuelve clave, junto a la capacitación recibida.



- b) Repuestos y materiales. La existencia en la empresa de los repuestos de uso más frecuente es de suma importancia para una reparación rápida y efectiva. En el caso contrario, es necesario iniciar la búsqueda con los diferentes proveedores, lo que alarga el tiempo de reparación. En este caso es útil recurrir a la hoja de registro por máquina y hojas de control de materiales y repuestos, que oriente sobre el proveedor idóneo.
- c) Herramienta. La adquisición, uso y control de las herramientas idóneas, se vuelve un aspecto clave para obtener buenos resultados en cualquier reparación de maquinaria.

Además, es de gran ayuda para orientar el mantenimiento, llevar algunos controles sobre el tiempo perdido por interrupciones en el funcionamiento de la maquinaria.

B) Mantenimiento Preventivo.

Se introdujo en 1951, incluye la inspección planificada, reemplazo de piezas y reparaciones como medidas proyectadas para evitar fallas mayores. Antes de que se implementara, existía el llamado mantenimiento de averías que consiste en que el equipo solo se repara después de que está averiado.

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar los costos del mantenimiento correctivo y todo lo que éste representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados.

Durante la segunda guerra mundial, el mantenimiento tiene un desarrollo importante debido a las aplicaciones militares, pues en esta evolución el mantenimiento preventivo consiste en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el cambio de algunos componentes en función del número de horas de funcionamiento.

Este tipo de mantenimiento básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina y con la



experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizarán las acciones necesarias: engrasado, cambio de piezas, desmontaje, limpieza, etc.

Su propósito es prever las fallas que pudieran presentarse, manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtienen experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, y se pueden encontrar puntos débiles de instalaciones, máquinas, líneas y otros.

Ventajas:

- Confiabilidad. Los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos / máquinas. Si se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los eventos históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.

El cuidado periódico implica un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz del programa de mantenimiento como parte de un adecuado sistema de calidad y del mejoramiento de la infraestructura.

Una reducción del mantenimiento correctivo representa una disminución de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los medios necesarios. Es por esto necesario, concretar de mutuo



acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción.

Desventajas:

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.

Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo ocasionan una falta de motivación en el personal, por lo que se deben crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, así como la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

C) Mantenimiento Predictivo.

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Su finalidad es adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitores de parámetros físicos.

Durante los años 60's se inician técnicas de verificación mecánica a través del análisis de vibraciones y ruidos. Los primeros equipos analizadores de espectro de vibraciones mediante la FFT (Transformada rápida de Fourier), fueron creados por Bruel Kjaer.



Ventajas

- La intervención en el equipo o cambio de un elemento.
- Nos obliga a dominar el proceso y a tener unos datos técnicos, comprometiéndose con un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

Desventajas

- La implantación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante, los equipos y los analizadores de vibraciones tienen un costo elevado. De la misma manera se debe destinar un personal a realizar la lectura periódica de datos.
- Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos y tomar conclusiones basándose en ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.
- Por todo ello la implantación de este sistema se justifica en máquina o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, y las paradas innecesarias originan grandes costos.

D) Otros tipos de Mantenimiento.

En la Tabla 3.2, se describen en forma breve, otros tipos de mantenimiento que se realizan en la Industria.



Tabla 3.2. Sistemas de Trabajo de Mantenimiento.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN BREVE	EJEMPLOS
Emergencia	Trabajos urgentes y costosos que se llevan a cabo en equipo de producción crítica.	Reparar un engrane motriz.
Por etapas	Aplica el Mantenimiento al equipo subdividiéndolo en máquinas, secciones, mecanismos y partes.	Reparación de mecanismos neumáticos, hidráulicos.
Periódico	Proporciona Mantenimiento en forma integral después de cada etapa determinada de trabajo.	Darle mantenimiento al equipo cada 6 meses.
Reparaciones mayores	Trabajos de mantenimiento que consumen grandes cantidades de mano de obra, materiales, tiempo y dinero.	Rehabilitación general de maquinaria.
Sintomático	Trabajo basado en los síntomas registrados durante la operación.	Ruidos extraños.
Continuo	Proporcionar en forma permanente el servicio para garantizar el trabajo de una máquina o equipo.	Mantenimiento a hornos rotativos.
Mixto	Aplicación combinada de correctivo y preventivo.	Pintura a bandas y ajuste en su tensión.

Recursos Técnicos de apoyo para los trabajos de Mantenimiento:

Son proposiciones que se exponen para que el trabajo de Mantenimiento se realice con eficiencia y éxito, se describen a continuación:

1. Recomendaciones de los fabricantes de maquinaria y equipo referente a la instalación, operación y Mantenimiento.
2. Recomendaciones de equipos similares.
3. Aportaciones de la experiencia propia en máquinas y equipos.
4. Recurrir a los análisis de bufetes de Ingeniería, de instituciones y Contratistas especializados.
5. Mantenimiento por diagnóstico realizado por medios instrumentales.
6. Recurrir a la mano de obra especializada.
7. Recurrir a las pruebas de funcionamiento de las máquinas y equipos poniéndolos a trabajar en vacío y después con carga.



3.2.2 Costos de Mantenimiento.

Los costos de mantenimiento es la suma de todos los gastos incurridos para su desempeño, durante un período de tiempo. Así podemos clasificarlo en costos directos y costos indirectos.

Los *costos directos* son aquellos que se producen como resultado directo de los trabajos de mantenimiento, teniendo entre estos costos los siguientes:

- Mano de obra utilizada, medida en horas-hombre y traducida a (\$)
- Repuestos, medida en unidades y luego a (\$)
- Otros materiales, medidas en unidades y luego a (\$)
- Otros gastos generales: energía eléctrica, administración, etc.

Estos costos directos son fáciles de medir a través de controles adecuados, ya sea por trabajo realizado que implique un reporte y que contenga lo siguiente:

1. Tipo de trabajo a realizar.
2. Horas-hombre utilizadas.
3. Periodo de reparación.
4. Repuestos utilizados.
5. Otros materiales utilizados.

Los gastos de energía eléctrica y otros gastos administrativos pueden prorratearse su monto mensual y obtener su monto / hora.

Controlando cada uno de los trabajos realizados en mantenimiento se obtiene información valiosa para administrar mejor. Teniendo, estos informes se obtiene la siguiente información:

- ¿Cuáles máquinas están fallando y con qué frecuencia?
- ¿Qué tipo de reparaciones se están realizando y cada cuándo?
- ¿Tiempo de duración de la reparación?
- ¿Costo total de la reparación?



Si sumamos los costos de los trabajos realizados durante el mes, podemos obtener información sobre costos mensuales que nos sirven para compararlo con otros meses del año o con los mismos meses de años anteriores y establecer algunas causas de las variaciones.

El análisis de costos directos puede ampliarse y de hecho se recomienda hacer una división entre costos de trabajo correspondientes a mantenimiento correctivo (reparaciones) y correspondientes a mantenimiento preventivo, con la finalidad de establecer el efecto que causa. Se considera el esfuerzo en mantenimiento preventivo sobre el esfuerzo en mantenimiento correctivo, será de esperarse que a mayor mantenimiento preventivo corresponda un menor esfuerzo en mantenimiento correctivo.

Este último análisis y división en los costos de mantenimiento es de suma importancia, debido a que las fallas imprevistas son las que elevan considerablemente los llamados costos indirectos involucrados con el mantenimiento.

Entre estos costos tenemos:

- Disminución de la producción programada: que implica incumplimiento con los clientes o elevar el número de horas extraordinarias para lograr hacer el despacho a tiempo.
- Formación de cuellos de botella en la línea de producción: que conlleva a una disminución de producción; a la subutilización de la maquinaria y mano de obra; la acumulación de producto en proceso, que ocasiona congestionamiento de áreas de trabajo, deterioro del producto, desperdicio y mayor inversión en capital de trabajo, debido al congestionamiento de las líneas, con producto que no puede terminarse.



- Mala calidad debido a algún tipo de fallas: la maquinaria sigue funcionando, produciendo artículos de mala calidad, con defectos que en algunos casos no pueden ser reparados.

El monto de estos costos es en algunos casos tan elevado, que impide a una empresa ser competitiva. Por consiguiente es recomendable implementar el mantenimiento preventivo para disminuir al mínimo el mantenimiento correctivo; pero en ambos casos, deberá de hacerse de manera eficiente y bien organizado, sin importar el tamaño de la empresa. Cada una a su correspondiente escala.

Actividades de reducción de costos de la compañía:

Los costos de mantenimiento son difíciles de reducir a pesar de los esfuerzos diarios del personal de mantenimiento. Se logra reducción de costos cuando otro personal indirecto es involucrado. Esas actividades de grupos a lo ancho de la compañía pueden ser organizadas de la siguiente manera:

- Formando un grupo en proyecto y combinando los departamentos de mantenimiento, ingeniería, y producción con compras y contabilidad.
- Identificando los costos corrientes de mantenimiento: Examinando los egresos del año anterior, estableciendo cuánto egresa cada departamento en cada artículo de equipo, que clase de trabajo se hace y por quién.
- Estableciendo metas: Seleccionando mejoras después de examinar los costos de mantenimiento para la fábrica total.
- Preparando planes progresivos: Mostrando metas y quién es el responsable de su cumplimiento.



- Seleccionando equipo prioritario: Preparando un análisis de Pareto ¹² para cada artículo o equipo desde la perspectiva de los costos y definiendo importancias.
- Seleccionando artículos de costo prioritario: De los tipos y usos de costos, determinando el orden y preparando un análisis de Pareto.
- Llevando medidas de las mejoras para cada artículo: Analizando las fuentes de los costos de mantenimiento y preparando planes de mejora para bloquearlos, asimismo, tomando acciones apropiadas.
- Midiendo resultados y siguiendo adelante con lo planeado: Evaluando cada paso del proceso.

¹² Un análisis de Pareto es una técnica que se utiliza para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema, de los triviales, de manera que un equipo de trabajo sepa adónde dirigir sus esfuerzos para mejorar dichos aspectos importantes. Reducir los problemas más significativos servirá más para una mejora general, que reducir los aspectos triviales.



3.3 Mantenimiento Productivo Total.

3.3.1 ¿Qué es Mantenimiento Productivo Total?

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, las industrias japonesas determinaron que para competir prósperamente en el mercado mundial, tenían que mejorar la calidad de sus productos. Fue así como importaron técnicas de manufactura y de administración de los Estados Unidos, y los adaptaron a sus circunstancias. Para mejorar el mantenimiento del equipo, Japón importó de los Estados Unidos el concepto de mantenimiento preventivo, hace más de 30 años. Más tarde importó otros términos que incluían; mantenimiento productivo, prevención del mantenimiento, Ingeniería de confiabilidad, etc.

El concepto de Mantenimiento Productivo Total es la traducción de TPM (Total Productive Maintenance). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de "mantenimiento preventivo" creado en la industria de los Estados Unidos.

El TPM es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación con su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, la mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales.

El TPM se define como un sistema orientado a lograr:

- Cero accidentes.
- Cero defectos.
- Cero averías.



Estas acciones conducen a la obtención de productos y servicios de alta calidad, mínimos costos de producción, alta moral en el trabajo y una imagen de empresa excelente. No solo hay participación en las áreas productivas, pues se busca la eficiencia global con la participación de todas las personas de todos los departamentos de la empresa. La obtención de las "cero pérdidas" se logran a través de la promoción de trabajo en grupos pequeños, comprometidos y entrenados para lograr los objetivos personales y de la empresa.

El mantenimiento preventivo fue introducido en los años 50's y el mantenimiento productivo viene a ser bien establecido durante los años 60's. El desarrollo del TPM comenzó en los años 70's. El tiempo anterior a los 50's puede ser referido como el período del mantenimiento de las descomposturas.

Desde el punto de vista industrial japonés, el sistema de mejora continua que se conoce como TPM (Mantenimiento Productivo Total), algunas veces es definido como *mantenimiento productivo implementado por todos los empleados*, basado en que la mejora del equipo debe involucrar a todos en la organización, desde los operadores hasta la alta dirección.

El término TPM fue definido en 1971 por el Japan Institute of Plant Engineers, (hoy Japan Institute for Plant Maintenance), el cual fundamenta su política de calidad en las siguientes 5 metas:

1. Maximizar la eficacia del equipo.
2. Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo por toda la vida del equipo.
3. Involucrar a todos los departamentos que planean, diseñan, usan, o mantienen equipo, en la implementación de TPM.
4. Activamente involucrar a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de piso.
5. Promover el TPM a través de motivación con actividades autónomas de pequeños grupos.



Como se ha mencionado con anterioridad, las dos principales metas del TPM son:

1. Desarrollo de las condiciones óptimas en el taller como un sistema hombre máquina (personas trabajando conjuntamente y cerca de las máquinas).
2. Mejorar la calidad general del lugar de trabajo.

De esta manera se pretende eliminar pérdidas importantes para la empresa y/o industria. Actualmente se conocen seis grandes pérdidas en las industrias que a continuación se nombran y describen:

1) Pérdida por Averías:

- a) Impedir el deterioro acelerado.
- b) Mantenimiento de condiciones básicas del equipo.
- c) Adherirse a las condiciones correctas de operación.
- d) Mejorar la calidad del mantenimiento.
- e) Hacer que el trabajo de reparación sea más que una medida transitoria.
- f) Corregir debilidades del diseño
- g) Aprender lo máximo de cada avería.

2) Pérdidas por Preparación y Ajustes:

- a) Revisión de la precisión de montaje del equipo, plantillas y herramientas.
- b) Promocionar la estandarización.

3) Pérdidas por tiempos muertos y paradas pequeñas.

- a) Hacer una observación cuidadosa de lo que está pasando.
- b) Corregir defectos leves.
- c) Determinar las condiciones óptimas.

4) Pérdidas por reducción de velocidad.

5) Defectos de Calidad y trabajos rehechos.

6) Pérdidas de Arranque: Pérdidas entre la puesta en marcha y la producción estable.



Las personas con mayor posibilidad de detener anomalías en el equipo son los operadores, ellos tienen contacto con la máquina la mayor parte del tiempo. Si se les capacita podrían detectar y prevenir averías. A continuación se mencionan los Cinco Pilares para el desarrollo del TPM:

1. Llevar a cabo actividades de mejora diseñadas para aumentar la eficacia del equipo (eliminando las seis grandes pérdidas).
2. Establecer un sistema de mantenimiento autónomo que se realice por los operarios, después de que hallan sido debidamente capacitados y hayan adquirido la destreza para que puedan prevenir y corregir fallas.
3. Establecer un sistema de mantenimiento planificado.
4. Establecer cursos de formación (capacitación) permanente a los trabajadores y que aumentan su nivel técnico.
5. Establecer un sistema para el desarrollo del mantenimiento productivo y la gestión temprana del equipo.

A partir de todos estos conceptos surge el mantenimiento productivo.

La palabra "Total" tiene 3 significados relacionados con 3 características del TPM. Tales conceptos son los siguientes:

- Eficacia Total: perseguir la eficiencia económica.
- PM Total: establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo mantenimiento preventivo (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla).
- Participación Total: mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel.

El sistema TPM tiene un doble objetivo: cero caídas en producción y cero defectos, cuando esto se ha logrado, el período de operación mejora, los costos son reducidos, el inventario puede ser minimizado, y en consecuencia la productividad se incrementa. Típicamente se requieren 3 años desde la



introducción del TPM para obtener resultados satisfactorios. El costo depende del estado inicial del equipo y de la experiencia del personal de mantenimiento.

Para introducir TPM en la industria, la Alta Dirección debe incorporar el TPM dentro de las políticas básicas de la compañía, y concretar metas, tal como incrementar el período de uso del equipo a más del 80%, reducir las descomposturas en 50%, entre otras. Una vez que las metas han sido establecidas cada empleado debe entender, identificar y desarrollar las actividades de pequeños grupos en el lugar de trabajo, que aseguren el cumplimiento de los fines. En el sistema TPM, los grupos pequeños deben establecer sus propios objetivos basados en las metas globales.

La mayoría de la gente tiene una resistencia innata al cambio, aún con los cambios que tienen consecuencias deseables, sin embargo, el TPM incrementa la productividad, la calidad, reduce los costos, mejora las ganancias, y crea un ambiente favorable para los trabajadores. Aún así la Alta Gerencia de muchas compañías cuestionan el uso del TPM en su firma, aunque se han observado resultados exitosos obtenidos por otras compañías.

Para eliminar tal resistencia por parte de las industrias, se requiere educación preliminar en cada nivel. En Japón, se realizan sesiones de dos días y éstas han sido suficientes para los gerentes de departamento y de sección, tanto como para líderes de grupo; mientras que tres días se requirieron para los ingenieros de apoyo. A los empleados de piso, se les instruye por sus supervisores, acerca de como participar en las actividades de grupo, y se les capacita con una presentación gráfica sobre el TPM.

En México falta mucha cultura laboral, pues obviamente surgen dudas con respecto a la implementación de técnicas y metodologías extranjeras, sobre todo si se tratan de Países desarrollados y con una Cultura de calidad bastante sólida. Sin embargo, se necesita hacer un recuento de la forma en cómo se realiza



actualmente la Administración Gerencial, desde los pilares de una Organización que contemple la tecnología entrante y la resistencia a los cambios. Un programa planeado de mantenimiento y administrado por el departamento de esa especialidad, traería enormes ventajas en la Organización de una Planta de Proceso, pues implica la participación de todos los miembros del proceso y de otras plantas. Por otro lado, es indispensable la capacitación y entrenamiento de los encargados de mantenimiento para mejorar las destrezas y operaciones del mismo. Se necesita también un programa de administración del equipo, para prevenir problemas que ocurren durante nuevas instalaciones o arranque de máquinas.

3.3.2 Eficacia del equipo.

La eficacia del equipo es una medida de valor agregado de la producción a través del equipo. TPM maximiza la eficacia del equipo por medio de dos tipos de actividad.

- Cuantitativa: incrementa la disponibilidad total del equipo y mejora su productividad en un período dado de tiempo.
- Cualitativa: Estabiliza la calidad.

Una meta de TPM es incrementar la eficacia del equipo para que cada parte pueda ser operada en todo su potencial y mantenida a ese nivel. El creer que las cero descomposturas pueden ser alcanzados es un prerrequisito para el logro de TPM.

ÍNDICE DE EFICACIA DEL EQUIPO.

La eficacia puede ser medida utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficacia del equipo} = \text{Disponibilidad} \times \text{Tasa de Desempeño} \\ \times \text{Tasa de Calidad.}$$



La Disponibilidad (tasa de operación): se mejora eliminando las descomposturas, ajustes de arranque y las detenciones.

La tasa de Desempeño: se mejora eliminando las pérdidas de velocidad, detenciones menores y ocio.

La tasa de calidad: se mejora eliminando los defectos en el proceso, durante los arranques

Las tasas pueden ser determinadas en cada área de trabajo. El alto nivel de eficacia solo se logrará cuando las tres tasas sean altas.

Los siguientes principios deben ser aplicados cuando se esté mejorando la eficacia:

- "Hacer medidas detalladas y exactas"
- "Establecer prioridades"
- "Establecer metas claras"

Para calcular las tasas a utilizar, es necesario revisar los siguientes conceptos:

1. Tiempo de carga: se refiere a la disponibilidad neta del equipo durante un período dado. En otras palabras es el tiempo total disponible para operación menos los tiempos necesarios para descanso, encuentros, etc. (inevitables).
2. Tiempo de operación: es el tiempo de carga menos el tiempo en el que el equipo está detenido debido a descomposturas, ajustes, cambio de herramienta y otros paros. Es el tiempo en el que el equipo está en operación.
3. Tiempo de operación neto: es el tiempo en el que el equipo es operado estable y a constante velocidad. Al tiempo de operación se le resta el tiempo perdido por paros menores y por pérdida de velocidad.
4. Tiempo valuable de operación: es el tiempo neto de operación, menos el tiempo estimado que se requiere para re-trabajar los productos



defectuosos. Es el tiempo durante el cual los productos aceptables son manufacturados.

5. Tiempo de ciclo ideal: es el tiempo diseñado para la producción de una unidad.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de carga} - \text{Tiempos caídos}}{\text{Tiempo de carga}}$$

$$\text{Tasa de desempeño} = \frac{\text{Producción} \times \text{ciclo de tiempo ideal}}{\text{Tiempo de operación}}$$

$$\text{Tasa de calidad} = \text{producción.}$$

Los niveles para la eficacia del equipo, difieren dependiendo de la industria, de las características del equipo, y sistemas de producción involucrados. La eficacia del equipo promedia de 40 a 60 por ciento en las compañías investigadas por el *Japan Institute for Plant Maintenance* (JIPM). Este estándar puede ser elevado a 85 o 95 por ciento, a través de varias actividades de mejora, enfocándose a la reducción y eliminación de las pérdidas de eficacia del equipo.

3.3.3 Mantenimiento Autónomo.

Idealmente quién opera el equipo debería darle mantenimiento, y originalmente, esas dos funciones fueron combinadas. Hoy, muchos gerentes comprenden que un factor decisivo en la competitividad, es un equipo más eficiente. En el fondo, el mantenimiento autónomo es prevención del deterioro.

El mantenimiento desempeñado por los operadores del equipo o mantenimiento autónomo, pueden contribuir significativamente a la eficacia del equipo. La producción eficiente depende de las siguientes actividades:



1. Actividades de producción.

- Contemplan la prevención del deterioro: Operar el equipo correctamente, mantener las condiciones básicas del equipo, hacer los ajustes adecuados, anotar datos referentes a descomposturas y malos funcionamientos, colaborar con mantenimiento en el estudio de mejoras.
- Medición del deterioro: Hacer inspecciones diarias, la realización de ciertas inspecciones periódicas.
- Restauración del equipo: Hacer reparaciones menores, hacer reportes de descomposturas y mal funcionamiento; asistir en reparar las descomposturas esporádicas.

2. Actividades del departamento de mantenimiento.

- Mejorar la confiabilidad del equipo: Debe ser de las altas prioridades del departamento.
- Guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo: El mantenimiento autónomo solo puede ser establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento.
- Otras actividades: Investigar y desarrollar tecnología de mantenimiento, seleccionar los estándares de mantenimiento, conservar los reportes de mantenimiento, etc.

A) Establecer las condiciones básicas del equipo.

Es una importante actividad en mantenimiento autónomo, incluye limpieza, lubricación y fijación.

1. Promover la limpieza: Significa remover suciedad, aceite, polvo y cosas que se adhieren a las máquinas, dados, plantillas, materia prima, piezas de trabajo, etc. Los efectos dañinos de una inadecuada limpieza son muy numerosos, típicamente aparecen en las siguientes formas:



- Partículas de diversos tamaños. Producen resistencia como fricción, desgaste, trabas, bloqueos y fallas eléctricas. Esto causa pérdida en precisión, mal funcionamiento del equipo y descomposturas.
- En ciertos tipos de equipo automático, la presencia de partículas de polvo puede causar un mal funcionamiento, ocio y detenciones menores.
- En el ensamblado de partes eléctricas de control el polvo y la suciedad en las plantillas y herramientas causan fallas eléctricas.
- En galvanizado, las piezas contaminadas en el electrolito producen defectos.

Además los operadores pueden tener alguna resistencia psicológica para inspeccionar cuidadosamente un equipo sucio. Limpiar es inspeccionar, al tocar y ver cada parte del equipo detectan defectos ocultos y anomalías como vibración, calentamiento y ruido. Además se gana respeto por el equipo dando una limpieza inicial, pues se generan también muchas preguntas como: qué clase de mal funcionamiento ocurre cuando las partes están sucias, que causa esta contaminación, como puede prevenirse, hay una manera fácil de hacerlo, qué partes están desgastadas, etc.

Para enfatizar los objetivos de la limpieza se deben tomar los siguientes puntos:

1. La importancia de las condiciones básicas y qué hacer para mantenerlas.
2. Los puntos importantes de limpieza.
3. El significado de la frase "limpiar es inspeccionar".

Los supervisores y líderes de grupo pueden hacer buen uso de las ideas y ahínco de los operadores para mejorar el equipo. Activamente pueden lograrlo animando a los operadores a proponer formas prácticas de mejorar el equipo y aprender métodos particulares de mejora.



Usando la experiencia ganada en la limpieza y prevención de la contaminación, los operadores identifican las condiciones óptimas para su equipo. El grupo de mantenimiento autónomo debe entonces preparar los estándares de operación requeridos para mantener esas condiciones. El mayor obstáculo para la adherencia a los estándares ocurre cuando no es la misma gente quién los fija a quién los debe seguir. Más bien, se tiene que forzar a los operadores a seguir los estándares, y los supervisores deben apoyar sus esfuerzos de la siguiente manera:

- Aclarando los estándares y cómo seguirlos.
- Explicando claramente porque los estándares deben ser seguidos y qué pasa cuando no son seguidos.
- Estando seguro de que los operadores tienen las suficientes destrezas para seguir los estándares.
- Proveer el ambiente necesario para asegurar que el tiempo es suficiente.

Si la motivación, habilidad y oportunidad no están presentes, los estándares no podrán ser obedecidos, no importa que tan duro traten los supervisores para que se logre. La mejor manera de asegurar la adherencia a los estándares es dejar que los fijen quienes los van a seguir.

❖ **Promover la Lubricación.**

Asegurar la apropiada lubricación es el segundo punto para que los operadores ayuden a establecer las condiciones básicas del equipo, esto es descuidado por la razón de que no siempre está conectado con descomposturas y defectos de calidad. Las siguientes son las razones más comunes para la falta de una apropiada lubricación:

- La lubricación no ha sido enseñada en su importancia para mostrar las pérdidas causadas por una mala lubricación o por la ausencia de ello.



- Los estándares de lubricación (puntos de lubricación, tipos y cantidades de lubricantes, intervalos de lubricantes y herramientas) están incompletos o no bien enseñados.
- Hay muchos tipos de lubricantes o de puntos a lubricar.
- No se permite suficiente tiempo para lubricar.
- Muchos puntos de lubricación son inaccesibles, así que la lubricación toma mucho tiempo.

Para reducir el tiempo de lubricación es necesario hacer varias mejoras, tales como cambiar la localización de los lubricantes, adecuando un sistema de lubricación, uso de etiquetas de instrucción y haciendo los niveles de aceite claramente visibles.

❖ **Promover la apropiada Fijación.**

Los operadores están en la mejor posición para asegurar diariamente que todos los fijadores son apretados apropiadamente. La apropiada fijación es la tercera forma en la que los operadores ayudan a establecer las condiciones básicas del equipo. Las tuercas y tornillos flojos y otros medios de fijación pueden causar pérdidas mayores directa o indirectamente, pueden causar fracturas en los dados, plantillas y herramientas y producir productos defectuosos. Los problemas también ocurren cuando se fijan piezas y se desconoce el apropiado torque resultando en piezas sueltas o apretadas de manera dispareja. Para eliminar piezas sueltas y eliminar vibración se deben usar piezas de presión, colocar marcas o puntos de referencia en las tuercas y tornillos para ayudar y visualizar fácilmente las piezas flojas.

❖ **Inspección general.**

En los programas de mantenimiento autónomo los operadores son entrenados para conducir inspecciones de rutina. Tres razones son las más comunes para que esto no funcione adecuadamente:



- La inspección es demandada pero los trabajadores no son animados a prevenir el deterioro (falta de motivación por falta de dirección).
- La inspección es demandada pero no se permite suficiente tiempo para realizarla (falta de oportunidad).
- La inspección es demandada pero las destrezas necesarias no son enseñadas (falta de habilidad).

Los problemas con la inspección son inevitables cuando los ingenieros de mantenimiento preparan hojas de inspección y simplemente se la pasan a los operadores considerando que su trabajo ha concluido cuando las hojas se llenan. Los operadores necesitan considerable tiempo antes de que puedan conducir inspecciones apropiadamente. Los intervalos adecuados para inspección en mantenimiento autónomo pueden ser a diario, cada diez días, mensual, cada tres meses. Poco tiempo debe destinarse a la inspección diaria, enfocándose solamente al deterioro del equipo que afecta la seguridad y calidad del producto. El intervalo para cada inspección se determina a través de la experiencia y dependiendo del equipo y su ambiente.

Muchas compañías han encontrado que incrementando el conocimiento y destrezas de los operadores (sin llegar al nivel de los trabajadores de mantenimiento), adquieren habilidad para evitar las anomalías. La palabra anormal no se refiere a efectos anormales, si una máquina se descompone y se para o produce productos defectuosos, esos son efectos, y lo que lo causó son anomalías causales. Los operadores al detectar anomalías pueden ser llamados "sensores humanos".

Si se acepta el reto de desarrollar operadores con esas destrezas, se debe entrenarlos bien. El currículum a ser enseñado depende en las necesidades de los trabajadores, por ejemplo como acondicionar y operar la máquina adecuadamente, como conducir una inspección, y otros aspectos.

El material más importante para el entrenamiento son los manuales y las hojas de chequeo, considerando qué información técnica se requiere saber para



conducir inspecciones, se deben proveer suficientes detalles en las funciones básicas, mecanismos y componentes de las unidades a ser inspeccionadas junto con los nombres y funciones de las partes, los criterios y métodos de inspección, aparición, causas y tratamiento del deterioro. Cubriendo estos tópicos completamente se enseñará a los operadores la importancia de las condiciones básicas del equipo. Los manuales por sí solos no transmiten un completo entendimiento de los temas, se deben usar ayudas como modelos cortados, gráficas entendibles, partes deterioradas o quebradas, etc.

El orden del entrenamiento no puede ser decidido por los asesores de mantenimiento nada más, ya que se involucran muchos factores. El programa de entrenamiento se extiende por un período largo y es costoso, debe ser planeado y aprobado por la Alta Dirección.

El entrenamiento es más efectivo llevado en dos pasos; los líderes de grupo son enseñados primero por mantenimiento, entonces toman el papel de profesores, comunicando lo que han aprendido a los miembros del grupo, al educar a su propio grupo los líderes aprenden las responsabilidades de liderazgo. Los instructores de mantenimiento deben asegurar que los líderes entiendan el contenido de la instrucción, si la educación basada en grupos prospera, ellos deben instruir a los líderes a enseñar y cómo presentar la información efectivamente.

Durante la actividad de inspección, la cooperación del departamento de mantenimiento es crucial. En esta etapa en el proceso de desarrollo de TPM, los operadores descubren una gran cantidad de deterioro. Más de la mitad de los mal funcionamientos encontrados tendrán que ser reparados por mantenimiento.

Cada vez que una inspección general de un equipo se complete, los grupos deberán considerar qué inspección de rutina se requiere para mantener el estado mejorado del equipo y preparar los estándares preliminares de inspección autónoma.



B) Seiri y Seiton.

Seiri (organización) y *Seiton* (buen arreglo), son principios fundamentales para la administración del lugar del trabajo. Son fáciles de promover, pero difícil de ponerlo en práctica. *Seiri*, involucra la identificación de objetivos a ser administrados y la selección de estándares relevantes. *Seiton* se refiere a la adherencia al conjunto de estándares; las actividades de grupo regularmente se enfoca en mejoras que hace fácil de cumplir los estándares.

Para mantener las condiciones básicas del equipo y la inspección del mismo, el papel de los operadores en mantenimiento autónomo, incluye lo siguiente:

- Corregir la operación y preparación / ajuste. (Seleccionando las condiciones de operación y checando la calidad del producto).
- Rápida y pronta detección, tratamiento confiable y reporte de condiciones anormales. (descomposturas, defectos de calidad, seguridad, etc.)
- Apunte de datos en la condición de operación, calidad y procesamiento.
- Servicios menores de máquinas, plantillas y herramientas.
- Control de cualquier otro objeto para la confiabilidad de lo anterior.

C) Implementando mantenimiento autónomo en siete pasos.

Estas etapas o pasos son basadas en la experiencia de muchas compañías que han implementado el TPM prósperamente. Representan una óptima división de responsabilidades entre los departamentos de producción y mantenimiento al llevar a cabo las actividades de mantenimiento y mejora. Dichas etapas se mencionan a continuación:

1. Limpieza inicial: Remoción completa de polvo y contaminantes del equipo.
2. Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles. Eliminar la fuente de polvo y tierra, mejorar la accesibilidad de áreas que son difícil de limpiar y lubricar, reducir el tiempo para limpieza y lubricación.



3. Estándares de limpieza y lubricación. Seleccionar los estándares para limpieza, lubricación y fijación que serán fácilmente mantenidos en intervalos cortos, el tiempo requerido para el trabajo diario / periódico debe ser claramente especificado.
4. Inspección general. Conducir el entrenamiento sobre las destrezas de acuerdo con los manuales de inspección, encuentra y corrige defectos menores en inspecciones generales, modificando el equipo para facilitar la inspección.
5. Inspección autónoma. Desarrolla y usa la lista de verificación para mantenimiento autónomo (estandariza la limpieza, lubricación e inspección para fácil aplicación).
6. Organización y mantenimiento del lugar de trabajo. Estandariza varios elementos del lugar de trabajo, para mejorar la eficacia del proceso, calidad del producto y la seguridad del ambiente: reduce los tiempos de preparación y ajuste, elimina el trabajo en proceso. Estandariza el manejo de materiales en el taller. Recolecta y registra datos para la estandarización. Controla los estándares y procedimientos para materias primas, trabajo en proceso, productos, partes de repuesto, dados, plantilla, y herramientas.
7. Implementa el programa de mantenimiento autónomo completamente, desarrollando metas para la compañía, comprometa en actividades de mejora continua, mejore el equipo basado en el registro del análisis de MTBF (Mean Time Between Failures).

Además para implementar el mantenimiento autónomo prósperamente, se deben considerar los siguientes elementos importantes:

1. Educación introductoria y entrenamiento. Antes de iniciar cualquier actividad se debe estar seguro de que todos los departamentos relacionados y personal entiendan los objetivos y beneficios en el desarrollo de TPM, se requiere que cada uno explique los detalles de la



- implementación de TPM y en particular las funciones del mantenimiento autónomo.
2. Cooperación entre departamentos. Los gerentes de todos los departamentos deben estar de acuerdo en cómo el área de mantenimiento apoyará los esfuerzos de la jurisdicción de producción para ejecutar el mantenimiento autónomo.
 3. Actividades de grupo. La mayoría de las actividades son desempeñadas por pequeños grupos en los cuales todo el personal participa. Los grupos pueden ser divididos en sub o mini grupos de aproximadamente cinco a diez miembros. Los líderes de grupo de cada nivel vienen a ser miembros de pequeños grupos del nivel superior y sirve como eslabón entre niveles. Para manejar tal estructura promocional efectivamente se puede requerir una oficina administrativa del comité TPM.

El mantenimiento autónomo no es una actividad voluntaria. Todos los participantes deben entender que las actividades de mantenimiento autónomo son obligatorias y necesarias, además, esas actividades son vitales, son necesariamente parte del trabajo diario.

Práctica. El entendimiento viene a través de la práctica más bien que del razonable entendimiento. La educación y el entrenamiento deben ser progresivos. La implementación del mantenimiento autónomo depende de la combinación del desarrollo gradual de destreza, aprendizaje experimental y cambio de actitudes. Cada paso construye conocimiento, experiencia y entendimiento adquirido en el paso previo. Las mejoras claras, apropiadas y concretas deben ser articuladas con las metas para producir resultados.

Los operadores deben determinar los estándares a seguir. Son los operadores quienes seleccionan los estándares y criterios para limpieza, lubricación, inspecciones, preparaciones y ajuste, operaciones, etc; además ellos deben adquirir las destrezas necesarias para desarrollar esas tareas autónomamente.



La gerencia debe auditar el progreso del mantenimiento autónomo. La administración y algunos asesores deben auditar las actividades de los grupos en cada paso y ofrecer guías y apoyo en las áreas problemáticas; se debe animar y proporcionar liderazgo a cada grupo TPM.

El uso de modelos ayuda al mejor entendimiento de las labores, seleccionando piezas de equipos o grupos individuales de TPM para servir como guías en el desarrollo del programa TPM.

Corregir los problemas del equipo rápidamente es una meta propuesta por TPM, si el departamento de mantenimiento no puede resolver las nuevas demandas pronto, o las condiciones del taller no mejoran, el mantenimiento autónomo no progresará y los grupos pequeños fallarán. Para evitar este problema serio, el departamento de mantenimiento debe planear por anticipado como responder adecuadamente, reevaluando su fuerza de trabajo, programando trabajo, horas extras, y uso de contratistas.

Toma tiempo el perfeccionar el mantenimiento autónomo. Es vital el afinar cada etapa antes de pasar a la siguiente, si es apresurado los progresos serán superficiales.

3.3.4 Entrenamiento en Mantenimiento Productivo Total.

En los últimos años el movimiento para incrementar la productividad y una producción de costo competitivo ha conducido a más equipo sofisticado y operado a altas velocidades. La experiencia del personal de mantenimiento y producción es limitada a ediciones y tecnologías relacionadas a sus propias áreas de responsabilidad. Bajo estas circunstancias el TPM no progresará.

Para llevar a cabo las actividades de TPM, la compañía requiere de personal con fuerte destreza en mantenimiento relacionada al equipo. Los operadores deben ser instruidos con su propio equipo y desarrollar experiencia práctica y destreza necesaria para mantener operando bien el equipo. Los



operadores deben entender la estructura y funciones de su equipo demasiado bien para operarlo apropiadamente. El personal de mantenimiento debe tener destreza y conocimiento para que los operadores confíen en ellos.

Los operadores de equipo desempeñan cuatro tipos de trabajo de mantenimiento simple para mantener el equipo trabajando “suavemente”:

1. Llevan una revisión del equipo al arrancar, revisan el nivel de aceite en el sistema hidráulico, buscan vibraciones inusuales u otras anomalías.
2. Periódicamente revisan la temperatura, la velocidad, etc. durante la operación continua, escuchando ruidos y/o vibraciones inusuales.
3. Revisan el tablero de instrumentos regularmente para ver el nivel de corriente y ven otros medidores de corriente y presión.
4. Se aseguran que el equipo está bien lubricado y se agregue el lubricante que se requiera.

Finalmente cuando notan una condición que pudiera ser un problema de seguridad o mecánico, informan al departamento de mantenimiento quién deberá ser capaz de encontrar la anomalía. Aunque el personal de mantenimiento se empeña en arreglar las descomposturas tan rápido y eficientemente como es posible, sus deberes van más allá del tratamiento de fallas del equipo. El personal de mantenimiento ha sido siempre responsable por asegurar la operación confiable de las máquinas y otro equipo usado por el departamento de producción, sus deberes incluyen:

- Planeación del mantenimiento periódico.
- Medición periódica de vibración y temperatura.
- Estimación óptima del intervalo de reemplazo de partes.
- Planear y seleccionar óptimamente el lubricante, material y partes de máquinas.
- Corregir las debilidades de diseño del equipo.
- Restaurar el equipo descompuesto rápidamente.



- Proveer educación y entrenamiento de mantenimiento a los operadores de equipo.
- Mejorar sus destrezas de mantenimiento y aprender nuevas tecnologías.

A) Entrenamiento de mantenimiento para los operadores de equipo.

Día tras día los operadores deben mantener el equipo operando normalmente, pero ellos raramente entienden el funcionamiento del equipo que usan. En TPM las funciones de mantenimiento que se enseñan a los operadores salvan esa situación. El programa de entrenamiento de mantenimiento para operadores de equipo recomendada por TPM incluye una semana de información básica y entrenamiento en la compañía, seguida por una instrucción diaria, uno por uno en el taller de la fábrica por personal de mantenimiento. Los tópicos cubiertos en el entrenamiento incluyen manejo y mantenimiento de:

- Tuercas y tornillos.
- Flechas y coples.
- Baleros.
- Engranés.
- Trasmisión de poder.
- Empaques.
- Lubricantes y lubricación.

Algunos otros cursos ayudan a promover el completo mantenimiento a través de:

Entrenamiento para instructores. Este curso ayuda a preparar instructores para los programas de entrenamiento interno. La experiencia lograda como entrenadores, prueba sus destrezas de mantenimiento, y provee una oportunidad para practicar el liderazgo.

Curso de procedimientos de mantenimiento. Para llevar a cabo las reparaciones actuales, los trabajadores necesitan procedimientos estándares y valores de referencia para actividades como remover tuercas y tornillos, o remover



engranes sin utilizar marcas de referencia y reensamblarlos para que los dientes cacen adecuadamente.

Curso de alambrado eléctrico e instrumentación. Aunque las fallas mecánicas son las fallas más obvias de descomposturas de equipo, las fallas también ocurren por alambrado eléctrico e instrumentación. Las causas de esas fallas son mucho más difíciles de fijar y generalmente requieren mucho más tiempo para repararlas. Algunas veces las conexiones eléctricas sueltas causan fallas y en otras los circuitos eléctricos son la causa. El personal de mantenimiento debe enseñar las bases del control de circuitos usando programas de simulación, para poder identificar las fallas simples y conexiones sueltas.

Monitoreo de máquinas. La tendencia hacia máquinas mayores en sofisticación, tamaño y rapidez está produciendo estructuras de máquinas complejas que requieren mantenimiento basado en las condiciones y el uso de varias técnicas nuevas de monitoreo y diagnóstico.

Para llevar a cabo las actividades de TPM, la compañía requiere de personal con fuerte destreza en mantenimiento relacionada al equipo. Los operadores deben ser instruidos con su propio equipo y desarrollar experiencia práctica y habilidad necesaria para mantener operando bien el equipo. Los operadores deben entender la estructura y funciones de su equipo demasiado bien para operarlo apropiadamente. El personal de mantenimiento debe tener maestría y conocimiento para que los operadores confíen en ellos. Los operadores de equipo desempeñan cuatro tipos de trabajo de mantenimiento simple para mantener el equipo trabajando eficientemente:

1. Llevan una revisión del equipo al arrancar, revisa el nivel de aceite en el sistema hidráulico, vibraciones inusuales u otras anomalías.
2. Periódicamente revisan la temperatura, velocidad, etc. durante la operación continua, escuchando todo el tiempo que pudiera haber ruido y vibraciones inusuales en el equipo.



3. Revisan el tablero de instrumentos regularmente para ver el nivel de corriente y ve otros medidores de corriente y presión.
4. Se aseguran que el equipo está bien lubricado y se agregue el lubricante que se requiera.

Finalmente cuando nota una condición que pudiera ser un problema de seguridad o mecánico, informa a mantenimiento quién debe ser capaz de encontrar la anomalía. Aunque el personal de mantenimiento se empeña en arreglar las descomposturas tan rápido y eficiente como es posible, sus deberes van más allá del tratamiento de fallas del equipo. El personal de mantenimiento ha sido siempre responsable por asegurar la operación confiable de las máquinas y otro equipo usado por el departamento de producción, sus deberes incluyen:

- Planeación del mantenimiento periódico.
- Medición periódica de vibración y temperatura.
- Estimación óptima del intervalo de reemplazo de partes.
- Planear y seleccionar óptimamente el lubricante, material y partes de máquinas.
- Corregir las debilidades de diseño del equipo.
- Restaurar el equipo descompuesto rápidamente.
- Proveer educación y entrenamiento de mantenimiento a los operadores de equipo.
- Mejorar sus destrezas de mantenimiento y aprender nuevas tecnologías.

3.3.5 Midiendo la eficacia en TPM.

Para integrar un programa de TPM más efectivamente a través de la compañía o planta, deben ser claramente identificados los problemas corrientes, el potencial para su solución y los beneficios a ser ganados. La eficacia de TPM es medida por dos razones: ayuda a establecer prioridades para proyectos de mejora



dándole exactitud y reflejando sus resultados. La medición de la eficacia revela los frutos de los esfuerzos diarios, aísla puntos en los que debemos enfocarnos y ayuda en planear las contramedidas.

Para implementar TPM efectivamente, debemos saber qué áreas en la planta tienen problemas y cuales son, requieren índices que muestren exacta y continuamente donde se necesita la mejora y que clase de resultados se pueden esperar. Tales índices enfocan actividades de mejora señalando los aspectos más importantes, facilitan la pronta identificación y respuesta al cambio, plantean juicios más exactos, y ayudan a promover las actividades de TPM más eficientemente.

Los resultados de las actividades de TPM son también medidos usando índices que muestran exacta y claramente la eficacia relativa de las actividades y medidas de mejora en las diferentes plantas o divisiones. Un cercano monitoreo en todos los niveles ayuda a mantener y mejorar resultados; promueve el desarrollo más eficientemente y nos ayuda a entender y prevenir caídas repentinas en la eficacia.

❖ Índices de confiabilidad y mantenimiento.

Las siguientes medidas son usadas para clasificar y administrar las descomposturas:

$$\text{MTBF (Mean Time Between Failures)} = \frac{\text{detenciones totales}}{\text{tiempo de carga}}$$

$$\text{MTTR (Mean Time To Repair)} = \frac{\text{tiempo de detención total}}{\text{total de detenciones}}$$



A) Actividades de mantenimiento.

Los índices para medir la eficiencia del departamento de mantenimiento difieren, dependiendo del tipo de trabajo de mantenimiento que se hace y como se organiza. Sin embargo se deben dirigir las siguientes preguntas generales:

- ¿Hasta que término está cumpliéndose el trabajo de acuerdo al plan?
- ¿Hasta que término está el trabajo ayudando a levantar las tasa de operación y calidad del producto?
- ¿Está el trabajo usando los métodos más efectivos y económicos en lo que está haciendo?

trabajos de BD

Tasa BM(Breakdown Maintenance) = -----

total de trabajos de mantenimiento

El total de trabajos de mantenimiento es igual al trabajo total hecho en descomposturas esporádicas, mejoras y mantenimiento planeado o preventivo.

horas-hombre en BM

Tasa BM horas-hombre = -----

horas-hombre totales en mantenimiento

total de trabajos ejecutados en PM

Tasa de cumplimiento PM = -----

total de trabajos PM planeados



B) Índices de medición relacionados a PQCDMSM.

Varios índices se utilizan en el control de artículos PQCDMSM (productivity, quality, cost, delivery, industrial hygiene and safety, morale).

P = Productividad

Mide los índices de productividad de la mano de obra, valor agregado por persona, efectividad del equipo, tasa de operación, tasa de desempeño, número de trabajos de mantenimiento en descomposturas, tiempo medio entre descomposturas (MTBF), tiempo de preparación y ajuste, número de detenciones menores, número de máquinas por persona.

Q = Calidad

Mide los índices relacionados con la calidad como; Cp, número de reclamos.

C = Costo

Mide los índices en la tasa de reducción de personal como; tasa de reducción de costos de mantenimiento, tasa de reducción de costos en partes de repuesto, tasa de reducción de costo de energía, pérdidas por tiempos caídos.

D = Envíos

Mide los índices en retrasos en las entregas como; tiempo de inventario, tasa de rotación de inventario.

S = Seguridad

Mide la cantidad de accidentes que requieren discontinuar el trabajo.

M = Morale

Mide el número de sugerencias de mejora, y el número de juntas de grupos pequeños.

Cada tasa o índice usado para medir la eficacia de TPM tiene ventajas y desventajas, por ejemplo, algunos índices no pueden expresar los resultados de ciertas áreas. Los índices de eficiencia del departamento de mantenimiento, en particular difieren de acuerdo al tamaño de la compañía y la configuración de su equipo. Los índices desarrollados entonces, deben ser usados en el entendimiento de que son sujetos de ciertas limitaciones.



CAPITULO IV.

PROPUESTA PARA CONTROL PREVENTIVO DE RIESGOS BASADA EN EL SISTEMA TPM.

4.1 Enfoque Sistémico y Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM).

La ingeniería es una actividad que a través de la aplicación de las ciencias de la naturaleza, experiencias vividas (Reglas del arte y tecnologías) y conocimientos sociales tiene como finalidad la creación de *Sistemas Tecnológicos* útiles a la sociedad durante un determinado ciclo de vida. Así pues, un Sistema Tecnológico es un ente artificial compuesto de otros sistemas artificiales que tiene unas propiedades identificables y deseables y, sobre todo, una misión que cumplir durante su ciclo de vida.

Por otro lado, el término *Proyecto* se entiende como el proceso de creación de un sistema tecnológico. En alguna ocasión se utiliza la palabra Proyecto como sinónima del sistema a crear. También se utiliza para designar un documento que describe el sistema a crear.

La *Ingeniería de Sistemas* es una metodología de trabajo para afrontar la creación de un sistema complejo de una forma estructurada y progresiva. Es, por lo tanto, una metodología del proyecto. Es una parte fundamental y que últimamente ha cobrado vital importancia al llevar a cabo un proyecto, pues se encarga de ver y medir el impacto en la implementación de nuevas tecnologías y filosofías de operación en un centro de trabajo a través del *Enfoque Sistémico*.



4.1.1 Principios de la Ingeniería de Sistemas.

Aunque la teoría de sistemas es muy amplia, se puede concluir que se basa en los siguientes principios:

1. Todo sistema forma parte de un sistema de orden superior.
2. Todo sistema se puede descomponer en subsistemas por lo que el término de sistema o subsistema es equivalente.
3. Todo sistema tiene propiedades (que es preciso definir o identificar) y que son dependientes de las de sus componentes.
4. Un sistema tecnológico tiene un ciclo de vida que puede dividirse en etapas claramente diferenciadas:
 - a) Análisis: (de oportunidad o viabilidad del sistema), en la que se plantea una necesidad u oportunidad de crear (o engendrar) un sistema útil a la sociedad durante un periodo de tiempo. Esta etapa se inicia con una idea y finaliza con la demostración de su viabilidad o factibilidad. Lo esencial de esta etapa es la formulación del problema a resolver o la misión del sistema y está caracterizada por la realización de estudios de diferentes alternativas que puedan satisfacerla.
 - b) Definición: (o concepto) del sistema, que pretende definir la solución al problema (u oportunidad) planteado en la etapa anterior. Dicha solución se concreta en un documento de propuesta de sistema y se indican sus propiedades globales. Dicho documento adopta la forma de proyecto conceptual o básico, y su objetivo es dar a conocer el sistema seleccionado a los diferentes implicados en su creación.
 - c) Implementación: comprende todas las actividades involucradas en el desarrollo del sistema (diseño, Ingeniería, compras, construcción). Esta etapa estará caracterizada por su elevado costo en personal y en materiales, y en ella se producirán las especificaciones para que



todos los suministradores y colaboradores puedan realizar la parte de trabajo que les corresponda.

- d) Verificación y explotación: en la que se comprueba que el sistema responde a lo previsto y queda en operación para obtener de él los beneficios que lo motivaron. En esta etapa el sistema queda en poder de la Propiedad que deberá operarlo y mantenerlo.
 - e) Desactivación: El sistema ya no es útil y debe eliminarse, reciclarse o renovarse. Esta etapa deberá preverse en el momento de diseño y dará lugar a un valor residual (positivo o negativo) en el proceso de evaluación del sistema.
5. El proceso de creación del sistema (proyecto) contempla los anteriores puntos. Su evaluación o etapa analítica debe contemplar todo el período de vida útil, su definición deberá basarse fundamentalmente en las etapas 4 y 5 y su implementación en las reglas del arte disponibles en el momento de la misma. En general, el planteamiento y resolución de cada etapa procede de la imaginación o modelamiento de las etapas posteriores.
 6. El modelamiento o simulación del sistema consiste en prever los resultados del mismo a través de herramientas específicas que permitan evaluar o verificar el comportamiento de todas sus propiedades. En general, pueden utilizarse modelos físicos (maquetas), conceptuales (documentos y planos), y matemáticos (cálculos). En la actualidad, la mayoría de estos modelos pueden basarse en la informática.
 7. El proceso de creación de un sistema no es obra de una sola persona o entidad. En él intervienen multitud de actores: la propiedad, la ingeniería, los suministradores, las administraciones públicas, entidades financieras, entre otras. Es importante comprender este concepto para otorgar a cada uno su rol específico, y de esta manera distribuir adecuadamente la información para que cada sector pueda realizar su actividad.



4.1.2 El TPM como un Sistema.

El concepto de sistema parte del concepto de los elementos y el todo, ya discutido en la antigüedad por Hesíodo (siglo VIII a.C.) y Platón (siglo IV a.C.) Sin embargo, el estudio de los sistemas como tal no se desarrolló sino hasta la segunda guerra mundial, cuando se puso de relieve el interés del trabajo interdisciplinario y la existencia de analogías (isomorfismos) en el funcionamiento de los sistemas biológicos y automáticos. Este estudio tomaría relevancia cuando, en los años cincuenta, Ludwig von Bertalanffy propone su Teoría General de Sistemas. La complejidad de un sistema viene determinada por la necesidad de integrar un gran número de subsistemas que en su conjunto definen las propiedades del sistema global a proyectar. Asimismo, debido a su diversidad se requiere la utilización de gran número de disciplinas de la Ingeniería clásica.

La aparición del **enfoque de sistemas** tiene su origen en la incapacidad manifiesta del método de pensamiento tradicional (analítico), para resolver problemas complejos. El método científico tradicional, basado en las nociones de reduccionismo, repetitividad y refutación, fracasa ante fenómenos muy complejos por varios motivos:

- El número de variables que interactúan es mayor del que los científicos pueden controlar, por lo que no es posible realizar experimentos verdaderamente confiables.
- La posibilidad de que factores desconocidos influyan en las observaciones es mucho mayor.
- Y como consecuencia, los modelos cuantitativos son muy vulnerables.

El problema de la complejidad se hace especialmente patente en las ciencias que involucran la actividad humana, que deben tratar con un gran número de factores sociales, económicos, tecnológicos y naturales fuertemente



interconectados. En este caso la dificultad se multiplica por la imposibilidad de llevar a cabo experimentos y por la propia intervención del hombre como sujeto y como objeto (racional y libre) de la investigación.

La mayor parte de estos problemas tiene que ver con actividades de gestión: organización, planificación, control, resolución de problemas, toma de decisiones, entre otros. En nuestros días estos problemas aparecen por todas partes: en la administración, la industria, la economía, y otras esferas de la actividad humana.

Así, el *enfoque de sistemas* aparece para abordar el problema de la complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades, que complementa al reduccionismo científico.¹³ Fueron los biólogos quienes se vieron en primer lugar en la necesidad de pensar en términos de *totalidad*. El estudio de los seres vivos exigía considerar a éstos como una *jerarquía organizada en niveles*, cada uno más complejo que el anterior. En cada uno de estos niveles aparecen propiedades emergentes que no se pueden explicar a partir de los componentes del nivel inferior, sencillamente porque se derivan de la interacción, y no de los componentes individuales.

Estos estudios ponen de manifiesto la existencia de analogías (isomorfismos) en la estructura y comportamiento de sistemas de naturaleza muy distinta (sistemas biológicos, mecánicos, eléctricos, etc.) Así es como Wiener y Bigelow¹⁴ descubren la ubicuidad de los procesos de *realimentación*, en los que informaciones sobre el funcionamiento de un sistema se transmiten a etapas anteriores formando un bucle cerrado que permite evaluar el efecto de las posibles acciones de control y adaptar o corregir el comportamiento del sistema.

¹³ Puede encontrarse una completa presentación de las ideas de sistemas en Checkland P. **"Systems Thinking, Systems Practice"** (Wiley, 1999).

¹⁴ Rosenblueth, A., N. Wiener, y J. Bigelow, **"Behavior, purpose and teleology, in Canefield"**, 1966.



El objetivo último de von Bertalanffy, el desarrollo y difusión de una única meta-teoría de sistemas formalizada matemáticamente, no ha llegado a cumplirse. En su lugar, de lo que podemos hablar es de un **enfoque de sistemas** o un pensamiento sistémico que se basa en la utilización del concepto de sistema como un todo irreductible.

El método analítico “clásico” supone la posibilidad de resolver una entidad en partes: a) la entidad se supone constituida de tales partes y éstas serían discernibles, b) existe la posibilidad de aislar cadenas de causa y efecto, y c) se atomiza para buscar “unidades”. Supone, además, que la interacción de las partes es lo suficientemente pequeña como para ser despreciable, por tanto, se procede a aislar dichas partes y después se les suma. Este proceso de “sumar” implica un principio de superposición lineal que permite la descripción del todo en términos de los comportamientos de las partes. Este tipo de pensamiento implica una visión determinista del mundo como un ente mecánico que se rige por leyes que no admiten indeterminación alguna.

Los logros científicos obtenidos con esta visión no están en tela de juicio, sin embargo, de manera relativamente reciente, surgen ciertas dificultades que impiden la aplicación o utilización de aquel tan fecundo método. Entre tales dificultades pueden mencionarse las siguientes:

- Las condiciones expuestas, en general, no valen para aquellas entidades en donde las partes interactúan (donde se dan interacciones no triviales, interacciones fuertes).
- La imposibilidad de aislar cadenas causales, sobre todo en las ciencias “bio-sociales”.



Ludwig von Bertalanffy propone, entonces, la necesidad de reorientar el conocimiento (para ello recurre a teorías como la de Kuhn)¹⁵ desde la física subatómica hasta la historia, por el rumbo de una Teoría General de Sistemas (TGS), y expone algunos de los hitos en este esfuerzo de reorientación.

Dicha reorientación tiene dos momentos teóricos importantes: la aparición de la teoría de sistemas abiertos y posteriormente la aplicación de expresiones y modelos matemáticos, con lo que es posible referirse, contundentemente, a una TGS.

Desde el punto de vista epistemológico, existen críticas que resultan inadmisibles porque la TGS, expuesta por L. von Bertalanffy, propone, como sustento, precisamente eso que sus críticos le niegan, a saber:

- La reivindicación del concepto de causa final y, con ello, la readmisión de la noción de teleología.¹⁶
- La imposibilidad de sostener un proceso (material o teórico) de descomposición en “partes simples”.

Es así como en un pasado relativamente reciente la ciencia se ocupaba de reducir los fenómenos a la interacción entre sus partes “elementales” (en tanto que se les suponía aislables unas de otras, investigables por sí mismas), hoy el

¹⁵ Thomas S. Kuhn ha sido el primero en estudiar detalladamente la estructura de las revoluciones científicas, introduciendo con ello una especie, de Nueva Filosofía de la Ciencia, que somete a reflexión no sólo la problemática lógica, sino también la problemática histórica del proceso científico. **"The structure of scientific revolutions"**, 1962.

¹⁶ "Doctrina de las causas finales". Los escolásticos sentaron el principio de que "todo lo que se hace, se hace con algún fin". La doctrina está en contradicción con el mecanicismo, que no necesita causas ni fines.



énfasis se coloca en las nociones de totalidad y jerarquía, en problemas de organización que no pueden reducirse a acontecimientos locales, en relaciones que surgen de la totalidad y que no son manifiestas en el comportamiento de las partes.

Lo más notable es que este tipo de pensamiento surge en muchas de aquellas disciplinas especializadas. Con ello, se sugiere la existencia de modelos, principios generales y leyes que se aplican a todos los sistemas independientemente de la naturaleza de las entidades en ellos incorporadas, del carácter de las fuerzas que actúan en ellos y del tipo de relaciones que se establecen entre los elementos; entonces, se trataría de encontrar principios universales que sean aplicables a los sistemas en general: el estudio de esto constituye la Teoría General de Sistemas (TGS), en la que se incorpora, inmediatamente la noción de isomorfismo que permite que ciertos modelos puedan ser transferidos de un campo a otro sin caer en analogías arbitrarias.¹⁷

Desde el punto de vista de la TGS, un sistema puede ser entonces cualquier conjunto organizado de cosas o partes que interactúan de manera interdependiente, y se relacionan formando un todo unitario y complejo. Cabe aclarar que los elementos o partes que componen al sistema, no se refieren al campo físico (objetos), sino más bien al funcional. De este modo los elementos o partes pasan a ser funciones básicas realizadas por el sistema.

¹⁷ Los críticos de tal “Teoría General” han anotado que: a) la teoría es trivial (es decir, que se aplica para galaxias o manzanas); b) la teoría es desorientadora porque procede por medio de analogías superficiales (“el organismo social”); o c) la teoría impide hacer reducciones que han sido muy fértiles (los fenómenos de la vida explicados desde la biología molecular).



Es sobre esta base de un nuevo pensamiento científico, que se desarrollan ciertos principios que, en cierto modo, dan cuerpo a la Teoría General de Sistemas. Entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes:

- **Un sistema puede ser Abierto o Cerrado.** Un sistema abierto se define como aquél que todo que se encuentra inmerso en un entorno y que este entorno influye sobre el sistema mismo. Por otro lado, un sistema cerrado es aquél en el que se puede establecer su comportamiento tomando en cuenta sólo sus propios elementos constitutivos.
- **Principio de Equifinalidad.** En un sistema cerrado el estado final está determinado por las condiciones iniciales; si las condiciones iniciales se alteran, el estado final se altera. Tal principio no es válido en sistemas abiertos, es decir, estados finales idénticos pueden alcanzarse a partir de condiciones iniciales diferentes y de diferentes maneras. Este es el principio de equifinalidad.

En particular, este principio puede dar cuenta de la contradicción entre la degradación de los sistemas, de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, y la evolución de los organismos (sistemas) hacia niveles de complejidad creciente, según Darwin. En el caso de la biología, el azar y la necesidad juegan un papel esencial en los procesos de *autoorganización*. Pero entonces, ¿en qué se basa esa estabilidad, ya que, según la tesis de Boltzmann, los sistemas organizados en principio son los más inestables?. Por otra parte, dicha complejidad no atañe solamente a los organismos vivientes, sino también a las estructuras de la sociedad: ¿cómo pueden existir sistemas tan complejos como las organizaciones humanas? ¿cómo se las arreglan para evitar el caos permanente?. Así, de acuerdo con el principio de equifinalidad, la oposición entre Carnot y Darwin ha sido reemplazada por una complementariedad cuyas implicaciones apenas comienzan a entenderse.



- **Principio de Teleología.** En el desarrollo de la ciencia, de manera progresiva, se marginó la noción de teleología, de direccionalidad o finalidad. La tarea de la ciencia era analítica, es decir, consistía en aislar “trenes” causales y en reducir en lo real a unidades más pequeñas. Este esquema se ha revelado como insuficiente y han aparecido conceptos tales como totalidad, organicidad y holismo, entre otros. Según este principio, todo sistema tiene uno o varios propósitos. Los elementos (u objetos), como también las relaciones, definen una distribución que trata siempre de alcanzar un objetivo.

- **Principio de Retroacción.** Apoyándose en nociones surgidas de la teoría de la información, se puede constatar la existencia de un proceso de autorregulación que garantiza la estabilidad o la dirección de la acción. Un cambio en una de las unidades del sistema, con probabilidad producirá cambios en las otras. El efecto total se presenta como un ajuste a todo el sistema, pues existe una relación de causa - efecto. Un fenómeno que surge de esta relación es el de la *Homeostasis*, es decir, el equilibrio dinámico entre las partes del sistema. Los sistemas tienen una tendencia a adaptarse con el fin de alcanzar un equilibrio interno, frente a los cambios externos del entorno.

- **Principio de Sincronía/Diacronía.** Todo sistema funciona, en un instante determinado, mediante la interrelación simultánea y regular de las partes que lo constituyen. Este enunciado describe la esencia de la sincronía de los sistemas. Por ejemplo, el sistema cardiovascular de un ser humano simultáneamente permite la oxigenación de la sangre y la de los tejidos, y ambas funciones se encuentran entrelazadas en cualquier momento. El principio de diacronía se refiere, por otra parte, al concepto de evolución a través del tiempo, como consecuencia de una contradicción (de tipo



dialéctica, tal como la concibe Hegel) constante entre dos o más elementos, que origina una mejora o adaptación evolutiva sobre el sistema.

- **Principio de Organización.** Existe una organización en todos los niveles de un sistema. Una organización podrá ser entendida como un sistema o subsistema o un supersistema, dependiendo del enfoque. El sistema total es aquel representado por todos los componentes y relaciones necesarios para la realización de un objetivo, dado un cierto número de restricciones.

Se ha desarrollado hasta aquí una breve exposición sobre las principales características de los sistemas y del enfoque sistémico, para comprender los principios que dan fundamento a la teoría de los Sistemas de Calidad, como una aplicación del enfoque sistémico a la administración de procesos de ingeniería.

El Mantenimiento Productivo Total representa, en este sentido, un ejemplo claro de sistema que contiene todas las características anteriormente descritas, en contraposición con la visión analítico-reduccionista de los tipos de mantenimiento tradicional, ya descritos en el capítulo anterior.

Debido a que este tipo de *Mantenimiento Productivo Total* involucra en sus bases, filosofías de calidad, y requiere de la participación de todos los miembros involucrados en la producción, desde la operación hasta la *Alta Dirección*, se tiene un *Sistema Complejo* cuyo tratamiento requiere una visión con un enfoque sistémico. Este enfoque permite descomponer la complejidad del sistema estudiado en jerarquías, con límites bien definidos, usando las técnicas de modelación de sistemas, y sus herramientas ayudan a la identificación y descripción de las relaciones entre los factores críticos y sus fuerzas propulsoras y restrictivas en la construcción de una red de relaciones de causa y efecto que tendrá un impacto en el desempeño del sistema. Tal abordaje representa una ventaja, que puede contribuir para mejorar la capacidad analítica de los equipos y difundir la realización y el uso de éstos estudios.



En la tabla 4.1 se muestran las características existentes en los sistemas de mantenimiento tradicional (que emplea el enfoque analítico), y el TPM (que hace uso del enfoque sistémico), en relación a los principios antes descritos.

Tabla 4.1 Características del Mantenimiento Tradicional y TPM.

Aspecto	Mantenimiento Tradicional	Sistema TPM
Sistema Abierto /Cerrado	<p>Este tipo de mantenimiento funciona como un sistema cerrado, pues su comportamiento se establece sólo tomando en cuenta los propios elementos que lo conforman. En el mantenimiento tradicional prácticamente no existe interacción entre el objeto, el sujeto del mantenimiento, y factores externos a éstos, sino que la relación es unívoca desde el sujeto al objeto, y basada en reglas o procedimientos predeterminados en los que el sujeto no decide sobre su aplicación.</p>	<p>El Mantenimiento Productivo Total (TPM), constituye un sistema abierto, pues en él interactúan todos sus elementos con factores externos. El sistema TPM interactúa directamente con otros departamentos dentro de la misma organización como Ventas, Contabilidad, Producción, y en general, con el entorno de la empresa, como el comportamiento de los mercados, y otros.</p>
Equifinalidad	<p>Debido a que el mantenimiento tradicional funciona como un sistema cerrado, para alcanzar una finalidad (como la de mantener adecuadamente un equipo), se requiere que todas las condiciones iniciales se pongan en marcha de acuerdo a los procedimientos ya establecidos. Si algo se altera durante el desarrollo de esta actividad, el objetivo no se cumple.</p>	<p>En este tipo de sistemas, en el que participa todo el personal de una empresa, es evidente que no puede haber un estado o condición inicial a partir de la cual se pueda seguir una trayectoria definida hasta un estado o condición final, pues la cantidad de factores que entran al sistema e interactúan con él es enorme. El resultado final (las tareas de mantenimiento), por tanto, es consecuencia de una gran variedad de factores iniciales (internos y externos al sistema), y la interacción entre ellos, sea cual sea, no impide alcanzar el objetivo final.</p>



Tabla 4.1 (continuación) Características del Mantenimiento Tradicional y TPM.

Aspecto	Mantenimiento Tradicional	Sistema TPM
Teleología	<p>El propósito del Mantenimiento Tradicional es meramente el tener en buen estado los equipos de proceso, basándose únicamente en un mantenimiento preventivo o correctivo, sin realmente corregir las fallas en la operación, administración, control y calidad en los centros laborales. Aquí, los encargados de mantenimiento son los únicos capacitados para realizar dichas tareas, mientras que el resto del personal estará encargado de sus tareas específicas, sin prácticamente tener conocimiento y participación en el mantenimiento de los equipos.</p>	<p>El objetivo principal de este sistema es muy variado y complejo, pues promueve la obtención de cero fallas, cero defectos, aumentar la calidad en el proceso, mejorando la efectividad de los equipos con un mantenimiento autónomo, el cual se logrará con la capacitación de todo el personal involucrado; promoviendo de esta manera, la participación de todas las personas de la organización, de modo que su finalidad tiene un alcance mucho más amplio y complejo que el mantenimiento tradicional. De hecho, el objetivo de esta Tesis es demostrar que los fundamentos de TPM sirven también para prevenir riesgos de proceso, disminuyendo los accidentes por averías en equipos.</p>
Retroacción	<p>Cuando se lleva a cabo este tipo de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, se sigue un manual de procedimientos preestablecido y de estructura rígida, de tal forma que cuando se requiera una nueva revisión o cuando falle otro equipo, se echará mano del mismo procedimiento que se ha seguido con anterioridad, y sólo algunas veces se corregirá la técnica en sí o se agregarán nuevas técnicas de mantenimiento; pero, en todo caso, su aplicación será siempre posterior a la actividad que originó la modificación.</p>	<p>Este sistema de mantenimiento autónomo demanda la participación de todos los involucrados en la organización, de tal forma que se discutan las revisiones y ajustes en los procedimientos de mantenimiento. Así, todos pueden aportar sus experiencias y conocimientos, y sugerir acerca de los mejores métodos de mantenimiento, teniéndose así una retroalimentación continua, y, lo más importante, flexible y rápidamente aplicable. Esto favorece, entre otras cosas, el mejoramiento en los procedimientos de calidad de la empresa.</p>



Tabla 4.1 (continuación) Características del Mantenimiento Tradicional y TPM.

Aspecto	Mantenimiento Tradicional	Sistema TPM
Sincronía/Diacronía	<p>En este tipo de mantenimiento no puede existir sincronía, ya que las actividades se hacen de manera secuencial y no simultánea. Se sigue siempre una línea de procedimientos rígidos independientes de otros en tiempo y función.</p> <p>Como consecuencia, no puede existir tampoco diacronía, pues la evolución no es posible sin movimiento ni interacción proveniente del principio de retroacción antes descrito.</p>	<p>Este sistema mantiene una sincronía entre todos los factores que intervienen en el proceso de mantenimiento, así como también con el entorno, debido a que las actividades no son secuenciales sino interrelacionadas en todas las áreas, no sólo productivas, sino administrativas dentro de la empresa. Del mismo modo, a partir del principio de retroacción, existe diacronía en la medida en que el sistema se va adecuando a las modificaciones constantes hechas por el propio personal, considerando siempre la influencia de los cambios sobre el sistema de los factores provenientes de dentro y fuera del mismo.</p>
Organización	<p>Aquí el principio de organización, se encuentra restringido a los programas o procedimientos que se aplican, y sólo compete al área o departamento de mantenimiento la realización del ordenamiento o jerarquización de los mismos.</p>	<p>El TPM funciona en todos los niveles de la empresa, por lo que las actividades de mantenimiento adquieren el carácter de la misma organización.</p>

Todo lo anterior sirve para reafirmar el carácter sistémico del Mantenimiento Productivo Total, con lo que se procederá a continuación a discutir sobre las características de un proceso industrial, tomando en cuenta esta misma visión del enfoque de sistemas.



4.1.3 La necesidad de implementar el TPM en los Procesos Industriales.

En el apartado anterior se demostró el carácter sistémico del TPM. Este enfoque sistémico, como se verá es también una valiosa herramienta cuando se tratan de analizar los procesos industriales.

Un Proceso Industrial es un arreglo de infraestructura que cumple con un determinado conjunto de actividades enlazadas entre sí que, partiendo de uno o más entradas, las transforma generando un bien o un servicio.

La industria es un enorme sistema que comprende a otros subsistemas, es decir, que depende de áreas productivas, en donde se llevan a cabo tareas muy específicas relacionadas con el giro de la empresa. Dichos subsistemas deben tener perfectamente definida su organización interna, la cual resulta compleja al interactuar con otras áreas dentro de la misma empresa, así pues las actividades de cualquier organización pueden ser concebidas como subsistemas integrantes de un proceso determinado. Sin embargo, cabe mencionar que la industria es un sistema que a su vez pertenece a un supersistema o entorno, como puede ser la sociedad en general, haciendo el carácter de sus interacciones aún más complejo.

Todos los procesos industriales cuentan con una estructura organizacional compleja, su estudio requiere tratarse con un enfoque sistémico. No obstante, es necesario hablar del paradigma sistémico, en donde la estructura del supersistema evoluciona con el tiempo, modificándose por la influencia de factores externos (entorno). Sin embargo, conserva implícita una relación entre las actividades que lleva a cabo, y la manera en cómo éstas modifican su estructura interna al recibir y enviar respuestas del entorno, cambiando en cierto modo, la respuesta final que se espera. Sin embargo, debe mantenerse siempre una retroalimentación de información para hacer funciones correctivas durante el proceso de evolución y no alterar en esencia el objetivo final del proceso.



En el siguiente diagrama se representa el **Paradigma Sistémico**¹⁸, antes mencionado.

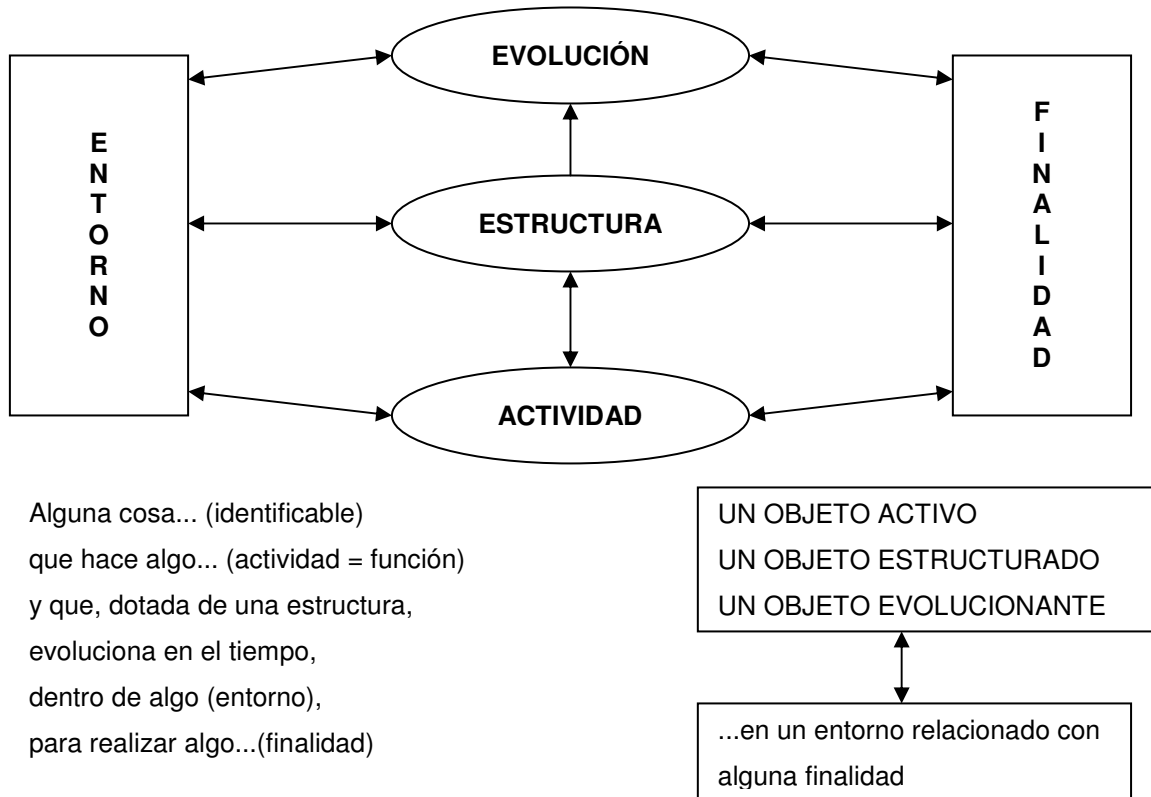


Figura 4.1 Esquema del Paradigma Sistémico.

No obstante, el enfoque de sistemas estudia este tipo de problemas complejos de una forma general, partiendo de dividir el todo en sistemas de menor complejidad y que requieran para su diseño menor número de disciplinas. La forma de realizar dicha división lleva una metodología que se basa en los siguientes conceptos:

- Dividir en sistemas, cuyas propiedades se puedan identificar, definir y comprobar separadamente. Esto dará lugar a un conjunto (árbol) de especificaciones que definen cada subsistema.

¹⁸ Integración del Paradigma Sistémico. (Apuntes de Enfoque de Sistemas del Dr. Carlos Escobar Toledo, Maestría en Ingeniería y Administración de Proyectos, Facultad de Química, PROVEEDOR).



- Asignar estos subsistemas a un equipo especializado, que deberá organizar, controlar y demostrar que se cumplen los objetivos o planes definidos en cada caso.

El proceso de subdivisión finaliza cuando es posible delimitar un equipo o grupo que cumpla una tarea específica y a su vez, cumpla con las condiciones requeridas.

En este tipo de procesos, ya sea en el ramo de la transformación, generación de energía, extractiva, o alimenticia, esta íntimamente involucrado el factor humano. De ahí la importancia de que en la administración de los procesos se apliquen sistemas basados en el factor humano.

El comportamiento humano nunca es totalmente previsible, ya que las personas son complejas, que responden a diferentes impulsos e intereses. De esta manera, las organizaciones son vistas como subsistemas dentro de sistemas. Se tiene entonces, sistemas también complejos que dependen de elementos en constante interacción, produciendo un todo. Si el Globalismo o totalidad es un cambio en una de las unidades del sistema, es muy probable que produzca cambios en el resto de los elementos. El efecto total se presenta como un ajuste a todo el sistema, existiendo una relación de causa-efecto y presentándose dos fenómenos importantes: entropía¹⁹ y homeostasia.²⁰

¹⁹ Entropía es la tendencia de los sistemas a desgastarse, a desintegrarse, debido a un relajamiento de los estándares y un aumento de la aleatoriedad. La entropía aumenta con el correr del tiempo. Si aumenta la información, disminuye la entropía, pues la información es la base de la configuración y del orden. De aquí nace la negentropía, o sea, la información como medio o instrumento de ordenación del sistema.

²⁰ Homeostasia: es el equilibrio dinámico entre las partes del sistema. Los sistemas tienen una tendencia a adaptarse con el fin de alcanzar un equilibrio interno frente a los cambios externos del entorno.



Talcott Parsons²¹ opinó sobre la visión global desde el punto de vista de organización, mencionando que la integración es una parte de un sistema mayor, desarrolló el sistema del funcionalismo estructural, para cuya comprensión es indispensable su esquema denominado AGIL (las siglas corresponden con lo que Parsons consideraba cuatro imperativos funcionales necesarios en todo sistema):

1. **A** (Adaptación): todo sistema debe comprender las situaciones externas, adaptarse a su entorno y adaptar el entorno a sus necesidades.
2. **G** (Goal attainment), capacidad para alcanzar metas: un sistema debe definir y alcanzar sus metas fundamentales.
3. **I** (Integración): El sistema debe regular la interrelación entre sus componentes. También debe controlar la relación entre los otros imperativos funcionales: A, G y L.
4. **L** (Latencia: mantenimiento de patrones): un sistema debe proporcionar, mantener y renovar la motivación de los individuos y las pautas culturales que lo integran.

El sistema de acción social de Parsons, (muy influenciado por Max Weber²²), se divide en cuatro subsistemas que corresponden con las partes del esquema AGIL:

1. Sistema social (Integración).
2. Sistema cultural (Latencia).
3. Sistema de la personalidad (Capacidad para alcanzar metas).
4. Organismo conductual (Adaptación)

²¹ Talcott Parsons nació en Colorado Springs, en 1902. Se licenció en Amherst College en 1924 y realizó sus cursos de doctorado en la London School of Economics. En 1937 publicó *The Structure of Social Action*, libro que no sólo daba a conocer los teóricos de la sociología más relevantes como Weber, sino también sentaba las bases para el desarrollo de su propia teoría.

²² Max (Karl Emil Maximilian) Weber nació en Erfurt el 21 de abril de 1864. Weber hijo estudió derecho, economía e historia en Heidelberg, Berlín y Göttingen. En 1913 tiene la parte principal de su colaboración para el libro colectivo *Grundriss der Sozialökonomik* (Elementos de economía social).



En su análisis, los sistemas inferiores suministran las condiciones que requieren los sistemas superiores, y los sistemas superiores controlan a los que están en un nivel inferior en la jerarquía. El funcionalismo estructural se establece con los siguientes supuestos:

- Los sistemas tienen como característica principal, el orden e interdependencia de las partes.
- Tienden hacia un orden o equilibrio que se mantiene por sí mismo.
- Los sistemas pueden ser estáticos o entrar en un proceso ordenado de cambio.
- Una parte del sistema influye en la forma que adoptan las otras partes.
- Los sistemas mantienen límites con sus ambientes.
- La distribución e integración son procesos fundamentales para el equilibrio de un sistema.
- Los sistemas tienden al auto-mantenimiento.

T. Parsons contempla el sistema social en constante interacción, y como unidad básica del mismo utiliza el concepto rol-estatus. El estatus hace referencia a una posición en el sistema estructural y el rol a lo que hace el actor en esa posición. Se considera al actor como un conjunto de estatus y roles. Además, definió una serie de prerequisites funcionales de todo sistema social:

1. Los sistemas sociales deben estar estructurados de manera que sean compatibles con otros sistemas.
2. El sistema social debe contar con el apoyo de otros sistemas.
3. Debe satisfacer una parte significativa de las necesidades de los actores.
4. Debe fomentar en sus miembros una participación suficiente.
5. Debe ejercer control sobre las conductas potencialmente desintegradoras.
6. Si surge un conflicto lo debe controlar.
7. Requiere un lenguaje para poder sobrevivir.



8. Para la integración del sistema social es necesario que se interne en el individuo una serie de normas y valores, que llegue a convertirse en parte de la conciencia de los actores. De este modo, cuando los personajes persiguen sus intereses particulares, sirven a la vez a los intereses generales.

Todos estos sistemas y subsistemas conforman la sociedad, considerada como una colectividad relativamente autosuficiente cuyos miembros pueden satisfacer todas sus necesidades individuales y colectivas y vivir dentro de su marco.

De esta manera, si se trata un sistema complejo como lo es un Proceso industrial, desde el enfoque sistémico, obtenemos subsistemas pertenecientes a sistemas, los cuales interactúan con otros sistemas formando un todo, al que se puede designar como un supersistema aún más complejo, dentro del cual surgen organizaciones que tendrán tareas muy específicas, y que obedecen a intereses muy particulares y se ven continuamente modificadas por su entorno, pero al mismo tiempo, tienden a la adaptación y evolución en su estructura.

Un Proceso Industrial es sistema con organizaciones internas. E. Schein,²³ propone una relación de aspectos, que una teoría de sistemas debería considerar en la definición de organización:

- La organización debe ser considerada como un sistema abierto.
- Debe ser concebida como un sistema con objetivos o funciones múltiples.
- Debe ser visualizada como un sistema constituido de muchos subsistemas que están en interacción dinámica unos con otros.

²³ Schein, Edgar H, 1985; La Cultura Empresarial y el Liderazgo (Una Visión Dinámica). "Los grupos pueden formarse sobre la base de la proximidad física, de un destino compartido, de una profesión común, de una experiencia común de trabajo, de una raíz étnica similar, o de un rango similar (como trabajadores o directivos). Desde que un grupo tiene un pasado, tiene una cultura".



- Al ser los subsistemas mutuamente dependientes, un cambio en uno de ellos, afectará a los demás.
- La organización existe en un ambiente dinámico que comprende otros sistemas.
- Los múltiples eslabones entre la organización y su entorno hacen difícil definir las fronteras de cualquier organización.

También señala que existen tres niveles para comprender la cultura de una organización, los cuales son: el nivel fáctico que incluye el comportamiento y es observado directamente, el nivel de valores que solo puede ser observado indirectamente y el nivel de supuestos básicos subyacentes, que son casi siempre inconscientes, y que sólo pueden ser inferidos a partir de lo observable.

La cultura de una organización proporciona el contexto social para desarrollar su trabajo. Guía a sus miembros para tomar decisiones, en la determinación de cuánto tiempo y energía se invierten, en la elección de que hechos se examinan con atención y cuáles se rechazan de plano.

También plantea que la cultura es un modelo de creencias y expectativas que mantienen en común y profundamente a los miembros de una organización. Esta convicción da lugar a los valores, la situación ideal de ser de la compañía y sus integrantes. Estos valores originan normas situacionales sobre la "forma como hacemos las cosas por aquí", que se evidencian en el comportamiento observable. Este comportamiento normativo se convierte en la base para la validación de las creencias y los valores desde los cuales se originaron las normas. Aquí se forma un circuito cerrado de creencias – valores – normas – creencias que constituyen el proceso de desarrollo cultural y se le atribuye la tenacidad que muestran las culturas.



En el siguiente esquema se muestra con mayor claridad, la interdependencia de los factores que menciona Schein:

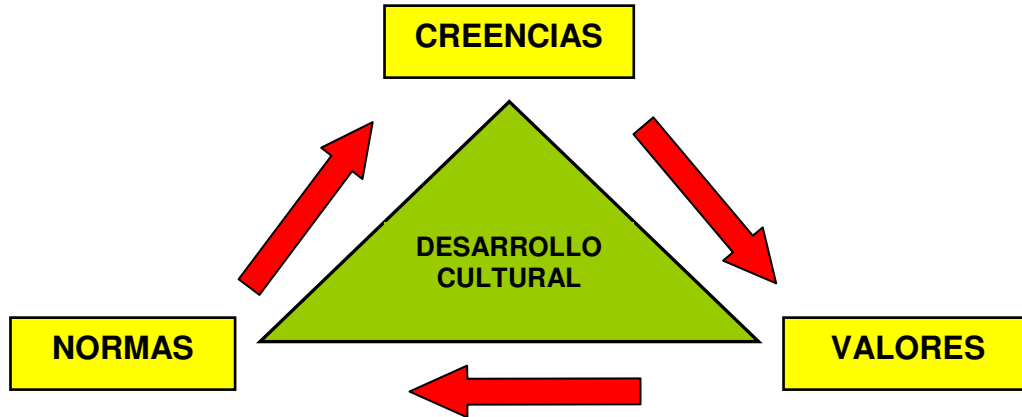


Figura 4.2 Esquema de la Cultura Organizacional de Schein que interpreta la Interdependencia de factores.

Nuevamente se observan las interacciones e interrelaciones de los factores sociales que intervienen en un sistema social, el cual inevitablemente influye en otros sistemas de carácter político, económico, industrial, organizacional, entre otros. Es por esto que un Proceso Industrial, el cual consta de una serie de elementos, que activamente participan en la organización del mismo, debe tratarse como un sistema complejo, digno de emplear el enfoque sistémico, para ello, se recurre a Katz y Kahn,²⁴ los cuales desarrollaron un modelo de organización más amplio y complejo, aplicando lo que plantea la Teoría de Sistemas y la teoría de organizaciones. (Véase como un ejemplo claro de un Proceso Industrial como sistema organizacional). Según su modelo, la organización presenta las siguientes características:

1. Importación (entrada): la organización recibe insumos del ambiente y necesita provisiones energéticas de otras instituciones, personas o del medio. Ninguna estructura social es autosuficiente.

²⁴ Katz y Kahn con su Modelo de las Organizaciones (1995), tratan de dar una explicación de los procesos sociales y de las organizaciones.



2. Transformación (procesamiento): los sistemas abiertos transforman la energía disponible. La organización procesa y transforma insumos en productos acabados, mano de obra, servicios, entre otros.
3. Exportación (salidas): los sistemas abiertos exportan ciertos productos hacia el medio.
4. Los sistemas como ciclos que se repiten: el funcionamiento de cualquier sistema consiste en ciclos repetitivos de importación-transformación-exportación. La importación y exportación son transacciones que envuelven al sistema en ciertos sectores de su ambiente inmediato, la transformación o procesamiento es un proceso contenido dentro del propio sistema.
5. Entropía negativa: los sistemas abiertos necesitan moverse para detener el proceso entrópico y reabastecerse de energía manteniendo indefinidamente su estructura organizacional. A dicho proceso se le llama entropía negativa o negentropía.
6. Información como insumo, retroalimentación negativa y proceso de codificación: los sistemas vivos reciben como insumos, materiales conteniendo energía que se transforman por el trabajo hecho. También reciben información, proporcionando señales sobre el ambiente. La entrada de información más simple es la retroacción negativa (negative feedback), que permite al sistema corregir sus desvíos de la línea correcta. Las partes del sistema envían información de cómo operan a un mecanismo central y mantiene así la dirección correcta. Si dicha retroacción negativa es interrumpida, el estado firme del sistema desaparece. El proceso de codificación permite al sistema reaccionar selectivamente respecto a las señales de información para las cuales esté programado. Es un sistema de selección de entradas a través del cual, los materiales son rechazados o aceptados e introducidos a su estructura.
7. Estado firme y homeostasis dinámica: los sistemas abiertos se caracterizan por un estado firme, ya que existe un influjo continuo de energía del exterior y una exportación continua de los productos del sistema. La tendencia más



simple del estado firme es la homeostasis, pero su principio básico es la preservación del carácter del sistema, o sea, un equilibrio casi-estacionario. Los sistemas reaccionan al cambio o lo anticipan por intermedio del crecimiento que asimila las nuevas entradas de energía en la naturaleza de sus estructuras. La homeostasis es un mecanismo regulador.

8. Diferenciación: la organización, como todo sistema abierto, tiende a la diferenciación, o sea, a la multiplicación y elaboración de funciones, lo que le trae también multiplicación de papeles y diferenciación interna.
9. Límites o fronteras: como sistema abierto, la organización presenta límites o fronteras, esto es, barreras entre el ambiente y el sistema. Definen el campo de acción del sistema, así como su grado de apertura.

Es importante señalar que un sistema abierto es dinámico, y dentro de una organización se necesita recurrir a la propagación de mecanismos, ya que les falta la estabilidad de los sistemas biológicos. Es así como crean estructuras de recompensas para vincular a sus miembros al sistema, establecen normas, valores y dispositivos de control. Mientras que en la Teoría de Sistemas se habla de homeostasia dinámica (o mantenimiento del equilibrio por ajuste constante y anticipación), se usa el término dinámica de sistemas en las organizaciones sociales: el sistema principal y los subsistemas que lo componen hacen que se vuelva cada vez más auténtico de aquello que básicamente es. Para sobrevivir (y evitar la entropía), la organización social debe asegurarse de una provisión continua de materiales y hombres (entropía negativa).

Por otro lado, cabe mencionar la diferencia entre la eficiencia y la eficacia organizacional, la primera se refiere a cuanto de entrada de una organización surge como producto y cuanto es absorbido por el sistema. La eficiencia se relaciona con la necesidad de supervivencia de la organización. Mientras que la eficacia organizacional se relaciona con la extensión en que todas las formas de rendimiento para la organización se hacen máximas. La eficiencia busca



incrementos a través de soluciones técnicas y económicas, y la eficacia busca la maximización del rendimiento para la organización, por medios técnicos y económicos (eficiencia) y por medios políticos (no económicos).

Entonces al tratar el estudio de un Proceso Industrial visto como una organización multidisciplinaria, y por tanto compleja, es necesario recurrir al enfoque sistémico, pues con lo anteriormente descrito se puede deducir que este tipo de Procesos, tiene las características básicas del Análisis Sistémico. Las cuales se mencionan a continuación:

- Punto de vista sistémico: la moderna teoría visualiza a la organización como un sistema constituido por cinco partes básicas: entrada, salida, proceso, retroacción y ambiente.
- Enfoque dinámico: el énfasis de la teoría moderna es sobre el proceso dinámico de interacción que ocurre dentro de la estructura de una organización.
- Multidimensional y multinivelado: se considera a la organización desde un punto de vista micro y macroscópico. Es micro cuando es considerada dentro de su ambiente (sociedad, comunidad, país); es macro cuando se analizan sus unidades internas.
- Multimotivacional: un acto puede ser motivado por muchos deseos o motivos. Las organizaciones existen porque sus participantes esperan satisfacer ciertos objetivos a través de ellas.
- Probabilístico: la teoría moderna tiende a ser probabilística. Sus variables pueden ser explicadas en términos predictivos y no con certeza.
- Multidisciplinaria: busca conceptos y técnicas de muchos campos de estudio. La teoría moderna presenta una síntesis integradora de partes relevantes de todos los campos.
- Descriptivo: busca describir las características de las organizaciones y de la administración. Se conforma con buscar y comprender los fenómenos organizacionales y dejar la escogencia de objetivos y métodos al individuo.



- **Multivariable:** tiende a asumir que un evento puede ser causado por numerosos factores interrelacionados e interdependientes. Los factores causales podrían ser generados por la retroacción.
- **Adaptativa:** como sistema organizacional debe adaptarse a los cambios del ambiente para sobrevivir. Se genera como consecuencia una focalización en los resultados en lugar del énfasis sobre el proceso o las actividades de la organización.

La Teoría de Sistemas (TS) se basa en la teoría del hombre funcional. El individuo desempeña un papel dentro de la organización, interrelacionándose con los demás individuos, como un sistema abierto. En sus acciones basadas en roles, mantiene expectativas respecto al rol de los demás y envía a éstos sus expectativas propias. Esa interacción altera o refuerza el papel. Las organizaciones son sistemas de roles, en las cuales los individuos actúan como transmisores de roles y organizadores. Este tipo de tareas y roles es en el que se basa el Mantenimiento Productivo Total (TPM), pues se encarga de definir las tareas básicas del mantenimiento a todos los involucrados del proceso, los cuales deberán participar de manera activa y autónoma, aplicando sus propios criterios y siguiendo normas con el fin de evitar paros innecesarios o fallas de equipo, promoviendo así un trabajo más eficiente en la Planta. Asimismo, promueve el trabajo en equipo, es multimotivacional, considera los factores internos de la Planta, así como su entorno. Y finalmente, tal como se propone en esta tesis, señalar que el sistema TPM es una valiosa herramienta en la Prevención de Riesgos de Proceso, cuando se analiza su función con un enfoque sistémico.

Una cuestión complementaria a este argumento es la siguiente: ¿cómo un proceso industrial, cuyo comportamiento es totalmente sistémico y complejo, dependiente de un sinnúmero de variables y relaciones tecnológicas y humanas, puede acoplarse de manera efectiva con un tipo de mantenimiento tradicional, constreñido a una visión analítico-reduccionista, que, si bien puede ser funcional



dentro de ciertos límites, no considera la complejidad de los principales actores del mantenimiento mismo, es decir, no contempla el carácter humano de la gente encargada de las actividades que dan forma al mantenimiento mismo?. La respuesta estriba tal vez en el hecho de que los sistemas como el Mantenimiento Productivo Total han aparecido plenamente en forma hace poco tiempo, y su adaptación a los sistemas productivos aún se encuentra en desarrollo.

Así pues, un razonamiento basado en la pura lógica establece que a un sistema complejo, como un proceso industrial, sólo puede aplicarse **efectivamente** un sistema de mantenimiento que considere esa complejidad como parte de su estructura y funcionamiento, un sistema pensado para organizaciones humanas, no mecánicas; un sistema que no se conforme con analizar las partes y aplicarles reglas rígidas y limitadas, sino un sistema que integre los aspectos de la producción y el mantenimiento, basado en el hecho de que son los mismos operadores de los equipos quienes mejor los conocen.

En el siguiente punto se estudiará la relación existente entre los resultados de algunos análisis HazOp realizados para CLIENTE en distintas plantas de las Refinerías “Ing. Antonio M. Amor” y “Francisco I. Madero”, ubicadas en Salamanca, Gto. Y Cd. Madero, Tamps, respectivamente, entre los años 1999 y 2003, por un equipo de trabajo de la Facultad de Química de la PROVEEDOR, dirigido por el Dr. M. Javier Cruz Gómez. (Departamento de Ingeniería Química. Laboratorio E-212).



4.2 Estudio comparativo de recomendaciones y protecciones de Análisis de Riesgos de Proceso (HazOp), referentes a mantenimiento.

El presente apartado tiene como finalidad, reafirmar la relación entre el mantenimiento de equipos de proceso, con la incidencia de eventos (fallas o paros) que provocan riesgos en la seguridad de las Plantas Petroquímicas. Esta relación es en la que se fundamenta la hipótesis de esta tesis. Finalmente, en el capítulo siguiente, se analizará con detalle un caso de estudio basado en la operación de una planta de hidrocarburos del Sistema Nacional de Refinerías de Petróleos Mexicanos; en este caso de estudio se podrá demostrar que la implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total puede, por sí sola, ser una importante herramienta para la disminución y prevención de riesgos de procesos, comparándolo con un sistema de mantenimiento tradicional.

La metodología que se aplicará para la realización de este estudio será la siguiente:

- Se estudiarán los resultados de los Análisis HazOp realizados a nueve Plantas del Sistema Nacional de Refinerías (SNR) de CLIENTE, ocho de ellas ubicadas en la Refinería “Ing. Antonio M. Amor” de Salamanca, Gto., y una perteneciente a la Refinería “Francisco I. Madero”, en Cd. Madero, Tamps.
- El análisis consistirá en:
 1. Revisión detallada del total de las recomendaciones vertidas en los análisis HazOp, así como de las protecciones con las que se cuenta por cada causa enumerada, en cada desviación, en todos los nodos del proceso.



2. Enumeración y clasificación por categoría de riesgo, de protecciones y recomendaciones por causa, respecto al total de causas analizadas en el HazOp.
3. Tratamiento estadístico de los datos obtenidos, relacionados con mantenimiento.

➤ Análisis de resultados. Corroboración o refutación de la hipótesis propuesta.

4.2.1 Descripción de los análisis HazOp estudiados.

Los análisis HazOp que se consideran para el siguiente estudio, fueron realizados por los equipos de trabajo de la Facultad de Química de la PROVEEDOR, bajo la coordinación del Dr. M. Javier Cruz Gómez, (departamento de Ingeniería Química. Laboratorio E-212), en las plantas del SNR descritas a continuación:

Tabla 4.2 Lista de Análisis HazOp estudiados.

NÚM.	NOMBRE DE LA PLANTA / UBICACIÓN	No. Y NOMBRE DE PROYECTO PROVEEDOR	RESPONSABLES POR PROVEEDOR / CARGO	RESPONSABLES POR CLIENTE / CARGO	FECHA DE REALIZACIÓN
1	Área Norte RG-2 de Almacenamiento de Gas L.P.	Proyecto FQ-310. Análisis de Riesgos en el Área Norte RG-2 de Almacenamiento de Gas L.P.	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. M. en C. Cornelio de la Cruz G. Coord. del Análisis HazOp.	Ing. Artemio Zamudio. Responsable de Operación.	Julio-1999.
2	Almacenamiento de gas L.P. (RG-1), Área Sur.	AR-001/1999. Análisis de Riesgos en el Área Sur de Almacenamiento de Gas L.P.	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. M. en C. Cornelio de la Cruz G. Coord. del Análisis HazOp.	Ing. Artemio Zamudio. Responsable de Operación.	Nov.-1999.



CAPÍTULO IV. PROPUESTA PARA CONTROL PREVENTIVO DE RIESGOS BASADA EN EL SISTEMA TPM.



NÚM.	NOMBRE DE LA PLANTA / UBICACIÓN	No. Y NOMBRE DE PROYECTO PROVEEDOR	RESPONSABLES POR PROVEEDOR / CARGO	RESPONSABLES POR CLIENTE / CARGO	FECHA DE REALIZACIÓN
3	Planta Catalítica (FCC).	Proyecto FQ-332 Análisis de Riesgos y Operabilidad en la Planta Catalítica (FCC).	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. Ing. Malvárez C. Coord. del Análisis HazOp.	Ing. G. Lara Ramírez Ing. Juan J. E. Ruíz Ingeniero de Mantenimiento de Plantas	Nov.-2000.
4	Desparafinadora de Aceites Lubricantes (LG).	FQ-332-II. Análisis de Riesgos en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes (LG).	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. Ing. A. Malvárez C. Coord. del Análisis HazOp.	Ing. G. Lara Ramírez Ing. Juan J. E. Ruíz Ingeniero de Mantenimiento de Plantas	Nov.-2001
5	Planta U-7 Hidrotratadora de Destilados Intermedios.	FQ-366/2003 Análisis de Riesgo de Proceso (ARP's) con actualización de 60 Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's).	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. Ing. C. Baltazar B. Coordinador del Análisis HazOp.	Ing. José A. Morales. Jefe de Sector	Nov.-2003.
6	Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502.	Proyecto FQ-348/2002. Análisis de Riesgos de Proceso (ARP's) en la Planta U-502.	Dr. M. Javier Cruz Gómez. Responsable de Proyecto. Ing. Ramón G. Pineda. Coordinador del Análisis HazOp.	Personal de la Planta U-502.	Jun.-2002.



4.2.2 Escenarios de los análisis HazOp, referentes a mantenimiento.

Se estudiaron los análisis HazOp anteriormente descritos, para poder enumerar las recomendaciones y protecciones que se refieren a mantenimiento, así como para ordenarlas de acuerdo con la clase de riesgo a la que pertenecen. En las tablas 4.3 a 4.8, se muestran los resultados de este conteo.

Tabla 4.3 Estudio del Análisis HazOp del Sector de Almacenamiento de Gas LP, Área Norte, Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	12	5	3	4	32
2	14	1	7	6	30
3	17	1	7	9	30
4	7	0	5	2	25
Total	50	7	22	21	117

Tabla 4.4 Estudio del Análisis HazOp del Sector de Almacenamiento de Gas LP, Área Sur, Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	2	0	2	0	10
2	3	1	1	1	7
3	3	0	3	0	7
4	2	0	0	2	8
5	1	0	1	0	4
Total	11	1	7	3	36



Tabla 4.5 Estudio del Análisis HazOp de la Planta Catalítica (FCC), Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	2	0	2	0	8
2	7	0	7	0	11
3	2	0	2	0	4
4	0	0	0	0	2
5	3	0	3	0	15
6	3	0	2	1	20
7	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	5
9	4	0	4	0	12
10	1	0	1	0	10
11	2	0	1	1	5
12	6	1	5	0	13
13	6	0	6	0	14
14	8	1	6	1	13
15	0	0	0	0	1
16	4	1	3	0	4
17	1	0	1	0	11
Total	49	3	43	3	149

Tabla 4.6 Estudio del Análisis HazOp Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes (LG). Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	1	0	1	0	5
2	4	0	4	0	4
3	9	0	9	0	9
4	2	1	1	0	2
5	5	2	3	0	5
6	3	1	2	0	5
7	0	0	0	0	8
8	0	0	0	0	4
9	0	0	0	0	3
10	0	0	0	0	5
11	0	0	0	0	4
12	0	0	0	0	1
13	1	0	1	0	5
Total	25	4	21	0	60



Tabla 4.7 Estudio del Análisis HazOp Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios (U-7).
"Ing. Antonio M. Amor", Salamanca, Gto.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	12	0	0	12	23
2	12	2	2	8	21
3	17	0	0	17	29
4	11	10	0	1	14
5	12	8	0	4	18
6	8	6	0	2	18
7	4	4	0	0	6
8	10	10	0	0	11
9	4	4	0	0	4
10	7	7	0	0	11
11	5	5	0	0	8
12	12	5	0	7	22
Total	114	61	2	51	185

Tabla 4.8 Estudio del Análisis HazOp Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502.
Refinería "Francisco I. Madero." Cd. Madero, Tamps.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
1	7	0	0	7	8
2	10	0	3	7	10
3	16	0	7	9	17
4	5	0	1	4	7
5	11	0	4	7	14
6	10	5	3	2	21
7	5	1	3	1	10
8	1	1	0	0	6
9	1	0	0	1	2
10	7	0	0	7	7
11	15	4	2	9	17
12	19	10	1	8	19
13	36	4	25	7	36
14	39	12	19	8	39
15	35	19	16	0	35
16	20	2	18	0	26
17	7	0	1	6	7
18	24	0	5	19	24



Tabla 4.8 (continuación). Estudio del Análisis HazOp Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502. Refinería “Francisco I. Madero.” Cd. Madero, Tamps.

Nodo	No. de Escenarios con Recomendaciones y Protecciones directamente relacionadas con Mantenimiento.	Clase A	Clase B	Clase C	No. de escenarios en el nodo.
19	8	5	0	3	8
20	12	4	0	8	13
21	24	0	14	10	24
22	33	0	27	6	33
23	15	0	13	2	15
24	13	0	3	10	13
25	13	3	7	3	13
26	9	0	4	5	13
27	11	8	2	1	11
28	2	0	2	0	5
29	2	0	2	0	5
30	2	0	2	0	6
31	23	7	4	12	24
32	43	2	1	40	44
33	27	2	3	22	27
Total	505	89	192	224	559

4.2.3 Tratamiento Estadístico de los Datos. Análisis de los resultados.

Empleando los datos de las tablas anteriores, se procede a realizar cálculos estadísticos, los cuales se resumen en la Tabla 4.9. Las abreviaturas P y R, se refieren a las Protecciones y Recomendaciones respectivamente. En este punto es necesario hacer énfasis en que para el caso del análisis que aquí se presenta, estos dos términos se consideran equivalentes, pues sea que ciertas actividades de mantenimiento se encuentren ya en práctica (lo que las convierte en Protecciones) o que se sugiera su aplicación (Recomendaciones), la finalidad de los dos conceptos, dentro del estudio que se realiza en esta Tesis, es la misma: la de ejecutar tareas tendientes a mejorar la productividad y la seguridad, a través de la disminución de paros por descompostura o daño de los equipos, y la prevención de riesgos de proceso, basada en el correcto funcionamiento de los equipos.



Tabla 4.9 Análisis de los estudios HazOp para seis Plantas Petroquímicas, que presentan el porcentaje de incidencia de escenarios, para Protecciones y Recomendaciones relacionados con Mantenimiento.

HazOp de Planta.	% de Escenarios con P y R referentes a Mantenimiento.	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo A	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo B	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo C
Almacenamiento de Gas L.P. Área Norte RG-2.	42.7	6	18.8	18
Almacenamiento de Gas L.P. (RG-1), Área Sur.	30.6	2.8	19.4	8.3
Planta Catalítica (FCC).	32.9	2.0	28.9	2.0
Desparafinadora de Aceites Lubricantes (LG).	41.7	6.7	35.0	0.0
Planta U-7 Hidrotratadora de Destilados Intermedios.	61.6	33.0	1.1	27.6
Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502.	90.3	15.9	34.3	40.1
Promedio:	49.9	11.1	22.9	16.0

Como puede verse en la tabla anterior, la incidencia de escenarios en los que se considera al mantenimiento como recomendación o protección, es alta, esto es visible de inmediato en los resultados que se expresan en la tabla: en el estudio de los seis análisis HazOp a Plantas Petroquímicas, el porcentaje mínimo de escenarios referentes a mantenimiento, es del 30.6%. En el caso particular de la Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos (U-502), nueve de cada diez escenarios, están relacionados con el mantenimiento de equipo, líneas, accesorios



e instrumentos. Estas discrepancias pueden entenderse si se comprende que el Análisis de Riesgos y Operabilidad de Procesos, es una herramienta que se basa fundamentalmente en el trabajo de equipos multidisciplinarios cuya experiencia y conocimiento de las condiciones de los procesos que se analizan, van generando múltiples ideas como resultado de la interacción de distintas aportaciones. (por cierto que aquí nuevamente entra en juego un grupo organizacional que se comporta como un sistema complejo). Por esta razón, es posible que las apreciaciones hechas por un equipo de trabajo difieran notablemente de las de otro grupo.

Haciendo un análisis en los casos en que el mantenimiento está íntimamente relacionado con protecciones y recomendaciones, se tienen datos muy interesantes. Por ejemplo, al considerar la relevancia que se tiene en la ocurrencia de éstos escenarios, se debe considerar el tipo de clase a la que corresponden. En las primeras cuatro plantas, se puede apreciar una tendencia mayor en porcentaje para una clase B, sin embargo, en el caso de la planta Hidrotratóadora de Destilados Intermedios (U-7), se presenta un mayor porcentaje de recomendaciones y protecciones en mantenimiento de clase A. Y, por otro lado, en la Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502, se tiene un mayor porcentaje en la clase C. De cualquier modo, es claro que, en general, la tendencia de las protecciones y recomendaciones relacionadas con mantenimiento caen en mayor proporción dentro de las clases de riesgo B y C, que si bien representan una condición de riesgo intermedio a bajo, no es despreciable. Esto último, en cierto modo resulta lógico, pues usualmente las recomendaciones clase A que se vierten en un HazOp, tienen que ver principalmente con aspectos de operación y modificaciones al diseño de instrumentación y accesorios relacionados con la seguridad, como las válvulas de relevo. En este sentido, la implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total, puede garantizar que la prevención de riesgos se enfoque en atender dichos aspectos de diseño y/o operación (riesgos clase A), dejando



cubierta buena parte de las categorías de riesgo menos urgentes (riesgos clase B y C), con el simple hecho de contar con un sistema TPM.

Por otra parte, el dato que revela la magnitud de la relación Mantenimiento – Análisis de Riesgos es el promedio del porcentaje de escenarios que contienen al menos una recomendación o protección referente a mantenimiento, con respecto al total de escenarios que se analizan en el HazOp. Como puede verse en la Hipótesis de este documento, se planteaba que dicho porcentaje se encontraba entre 30 y 50%. Dicha hipótesis, de acuerdo a los resultados de la Tabla 4.9, resulta cierta, al menos para la muestra que se estudió, pues el promedio a que se hace referencia es de 49.9%. Si bien esta cifra no se encuentra respaldada por un estudio extenso sobre una muestra mayor de estudios HazOp, se puede inferir que dicho porcentaje difícilmente descendería de un 30%, pues las actividades de mantenimiento en una planta industrial son imprescindibles, ya sea como un factor de protección ante eventuales riesgos, o bien, como un área que no puede ser pasada por alto cuando se carece de ella, o es deficiente.

Finalmente, una vez establecida la importancia de la relación entre Mantenimiento y Prevención de Riesgos, y habiendo considerado la necesidad de implementar el Sistema TPM dentro de las industrias, como un nuevo enfoque que toma en cuenta los complejos factores humanos dentro de una organización industrial, en contraposición con el mantenimiento tradicional, se procede a continuación, a desarrollar un caso de estudio en el que se analizan y comparan los dos tipos de mantenimiento (tradicional y TPM), en su aplicación y funcionamiento dentro de un proceso industrial real, de una planta de hidrocarburos.



4.3 Métodos de Mejora TPM.

La metodología de mantenimiento para el análisis y eliminación de averías se orienta a los siguientes puntos:

➤ **Comprender y conocer el equipo profundamente.**

En los últimos años se ha venido insistiendo que las empresas que pretendan mantenerse competitivas en los mercados del futuro, deberán preocuparse por mejorar el conocimiento de todo el personal y garantizar que existe un proceso de adquisición y transferencia efectiva de experiencias o conocimiento entre todos los trabajadores. Este es el punto de partida del TPM, ya que busca crear una organización empresarial en continuo aprendizaje y de mejora del conocimiento del personal técnico y operativo.

El TPM fue creado para crear capacidades estratégicas competitivas en las empresas, fundamentadas en el recurso conocimiento de los trabajadores y la aplicación de un modelo de gestión integral del equipamiento. El TPM busca que el operario conozca lo mejor posible los equipos donde interviene diariamente, su estructura interna, funciones, restricciones, precisión y medios de seguridad, para de esta forma, pueda participar activamente en el cuidado y conservación del equipo. Sin este conocimiento no será posible llegar a identificar los factores causales profundos. Por este motivo, las metodologías TPM se apoyan en el aprendizaje continuo a partir de la experiencia y contacto diario con los equipos.

➤ **Reflexión sobre los fenómenos.**

Los fenómenos son considerados cuidadosamente y en forma lógica. Se emplea un tiempo para realizar la reflexión sobre los fenómenos identificados y en lo posible, se verifica la hipótesis directamente sobre cada uno de los componentes de la máquina que se estudia. Se pretende evitar que el grupo humano tome decisiones con la única información tomada a partir de una tormenta de ideas. Este tipo de metodología permite adquirir conocimiento, no solo para la



eliminación de los factores causales, sino que permite preparar al equipo para realizar aportes innovadores de cambio de diseño y modificaciones que permitan mejorar el rendimiento de la máquina.

➤ **Priorizar la información con cuidado y método.**

El experto japonés Shirose manifiesta que la priorización es necesaria para estudiar en forma ordenada una situación. Sin embargo, debido a una priorización realizada con poco conocimiento del equipo e información, se pueden descartar factores vitales para eliminar las pérdidas crónicas. En el procedimiento sugerido dentro del TPM se debe conocer profundamente el equipo para lograr establecer esta prioridad en los factores causales, de lo contrario, se deberá evitar la priorización y será necesario actuar en la mayoría de los factores causales posibles.

4.3.1 Técnicas TPM empleadas para el estudio de averías.

El TPM aporta varias metodologías poderosas para cumplir con los requisitos expuestos previamente. Las técnicas de mayor utilización son las siguientes:

- Análisis PM (Physical Method). Esta técnica se concentra en el análisis de los principios físicos del problema en estudio.
- Análisis Porqué-Porqué. Esta técnica emplea un proceso de diagnóstico riguroso.
- Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

1. Análisis PM (Physical Method).

El análisis PM es una forma diferente de pensar sobre los problemas y del contexto donde éstos se presentan. Consiste en el análisis de los fenómenos (P de la palabra inglesa Phenomena) anormales tales como fallas del equipamiento



en base a sus principios físicos y poder identificar los mecanismos (M de la palabra inglesa Mechanisms) de estos principios físicos (P de la palabra inglesa Physically) en relación con los cuatro inputs de la producción: equipos, materiales, individuos y métodos).

El principio básico del análisis PM es entender en términos precisos físicos que es lo que ocurre cuando la máquina, o sistema se avería o produce defectos de calidad y la forma como ocurren. Esta es la única forma de identificar la totalidad de factores causales y de esta manera eliminar estas pérdidas. Esta técnica considera todos los posibles factores en lugar de tratar de decidir cual es el que tiene mayor influencia.

Fundamentos del análisis físico.

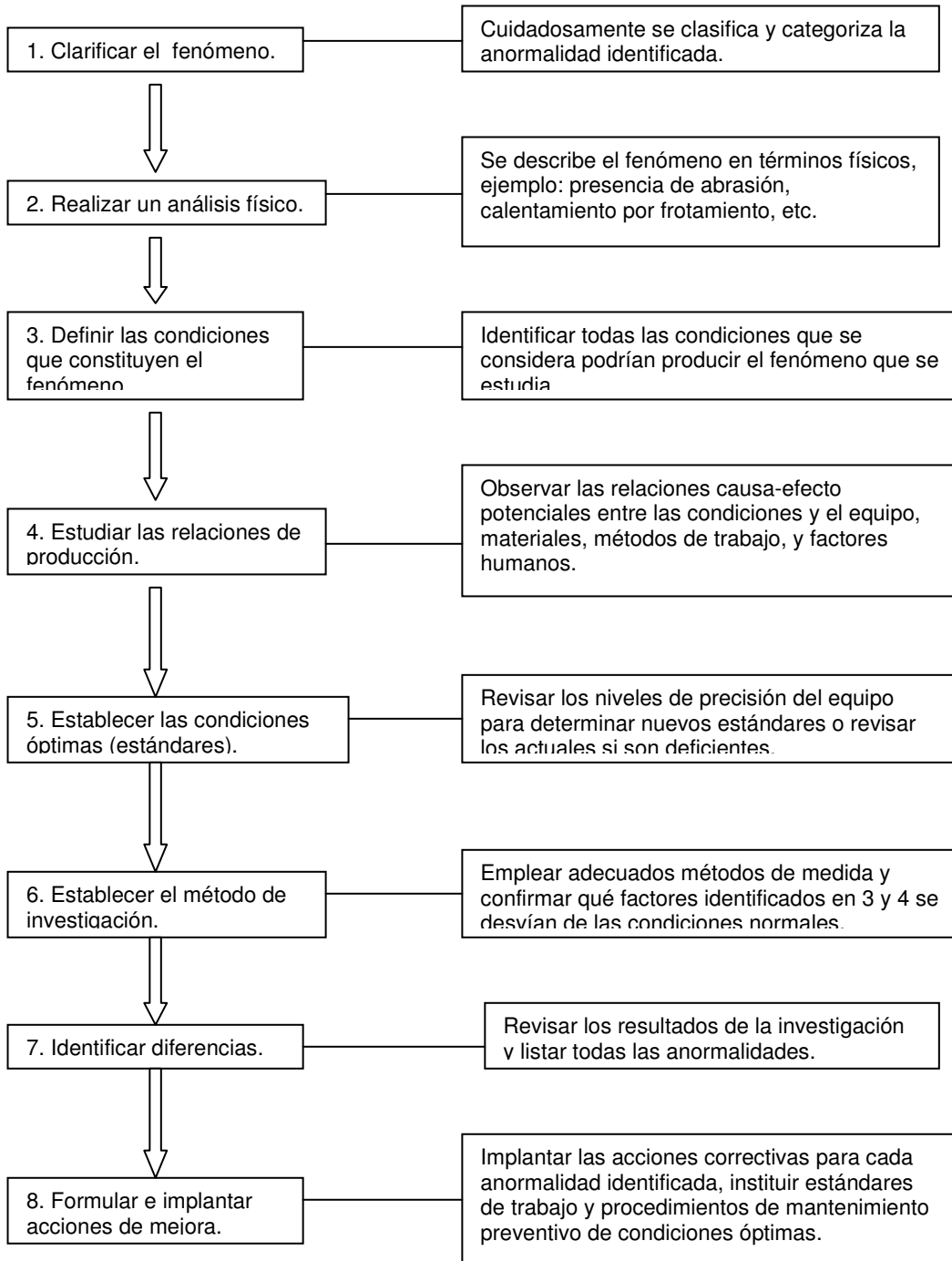
La investigación lógica de la forma en que ocurre el fenómeno en términos de principios físicos y cantidades, se ha visto que es el fundamento de la metodología de análisis PM. Desde el punto de vista de los equipos un análisis físico significa emplear los principios operativos del equipo para clarificar la forma como los componentes interactúan y producen el problema o la avería crónica. Se pretende estudiar y conocer en primer término, la forma como se presenta la desviación de la situación natural del equipo, en lugar de pretender abordar las causas de esta desviación desde el primer momento. El objetivo fundamental de esta metodología es llegar a comprender lo mejor posible la forma como se presentó el fallo y la forma como intervinieron las diferentes piezas y conjuntos del equipo para la generación del problema.

Proceso del análisis PM.

Dado que el enfoque del análisis PM estratifica los fenómenos anormales adecuadamente. El siguiente paso consiste en investigar todos los factores y el grado en que ellos contribuyen al problema. Todo esto es necesario para poder eliminar estos factores a través de planes de acción y sistemas de control.



Los pasos a seguir para la aplicación del análisis PM se muestran en el siguiente diagrama:





2. Análisis Porqué- Porqué.

Esta técnica es conocida como: "Know-why", "conocer-porqué", "técnica porqué, porqué, porqué" o "quinto porqué". Esta técnica se emplea para realizar estudios de las causas profundas que producen averías en el equipo. El principio fundamental de esta técnica es la evaluación sistemática de las posibles causas de la avería empleando como medio la inspección detallada del equipo, teniendo presente el análisis físico del fenómeno.

En las áreas de mantenimiento se ha utilizado para la búsqueda de factores causales. Es un método alternativo del conocido Diagrama de Causa Efecto o de Ishikawa. Esta técnica de calidad presenta el inconveniente de recoger un gran número de factores, pero no prioriza entre ellos cuáles son los que verdaderamente contribuyen a la presencia de la avería. La técnica porqué - porqué evita en los análisis de averías de equipos que el grupo de estudio se desvíe e identifique causas cualitativas y complejas de verificar como causas potenciales del problema de la falla de las máquinas.

Esta técnica es una buena compañera del método PM si se emplea previamente. En casos con alto grado de deterioro se recomienda este procedimiento. Esta técnica estudia mediante preguntas sucesivas las causas de una avería mediante un proceso deductivo o socrático. Cada respuesta que se aporte el grupo de estudio debe confirmar o rechazar la respuesta. Si se acepta una cierta afirmación, nuevamente se pregunta cuál es la causa de la "causa".

Una vez identificado el fenómeno en estudio (avería), se realiza un análisis físico del fenómeno en igual forma como se efectuó en el método PM. De este análisis se identifican posibles factores causales, los cuales se someterán a inspección para verificar la validez de la siguiente manera:

Este proceso se continúa hasta el momento en que se identifican acciones correctivas para la causa. Las acciones correctivas se registran en un plan de mejora o plan Kaizen. Se espera que el diagnóstico no requiera de más de cinco rondas. Una vez finalizado este proceso se pueden seleccionar otras causas en



las diferentes rondas y se repite el procedimiento. De esta forma se analizan la totalidad de posibles factores causales, obteniendo un plan general de mejora para el equipo.

2. Análisis Modal de Fallos y Efectos AMFE.

Esta es una técnica de ingeniería conocida como el análisis FMEA o (Failure Mode and Effect Analysis) usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, desde el diseño, proceso y operación de un sistema, antes que este pueda afectar al cliente (Omdahl 1988; ASQC 1983). El análisis de la evaluación puede tomar dos caminos: primero, empleando datos históricos y segundo, empleando modelos estadísticos, matemáticos, simulación ingeniería concurrente e ingeniería de fiabilidad que puede ser empleada para identificar y definir las fallas (Stamatis 1989). No significa que un modelo sea superior a otro. Ambos pueden ser eficientes, precisos y correctos si se realizan adecuadamente.

El AMFE es una de las más importantes técnicas para prevenir situaciones anormales, ya sea en el diseño, operación o servicio. Esta técnica parte del supuesto que se va a realizar un trabajo preventivo para evitar la avería, mientras que las técnicas empleadas en la actualidad, se orientan a evaluar la situación anormal cuando ésta ya ha ocurrido. Este es el factor diferencial del proceso AMFE. Esta técnica nació en el dominio de la ingeniería de fiabilidad y se ha aplicado especialmente para la evaluación de diseños de productos nuevos.

El AMFE se ha introducido en las actividades de mantenimiento industrial gracias al desarrollo del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad o RCM - Reliability Center Maintenance- que lo utiliza como una de sus herramientas básicas. En un principio se aplicó en el mantenimiento en el sector de aviación (Plan de mantenimiento en el Jumbo 747) y debido a su éxito, se difundió en el mantenimiento de plantas térmicas y centrales eléctricas. Hoy en día, el AMFE se utiliza en numerosos sectores industriales europeos, y se ha asumido como una



herramienta clave en varios de los pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Los Propósitos del AMFE son:

- Identificar los modos de fallas potenciales y conocidas.
- Identificar las causas y efectos de cada modo de falla.
- Priorizar los modos de falla identificados de acuerdo al número de prioridad de riesgo (NPR) o - frecuencia de ocurrencia, gravedad y grado de facilidad para su detección.

El fundamento de la metodología es la identificación y prevención de las averías que conocemos (se han presentado en el pasado) o potenciales (no se han presentado hasta la fecha) que se pueden producir en un equipo. Para lograrlo es necesario partir de la siguiente hipótesis:

“Dentro de un grupo de problemas, es posible realizar una priorización de ellos.”

Existen tres criterios que permiten definir la prioridad de las averías:

- Ocurrencia (O).
- Severidad (S).
- Detección (D).

La ocurrencia es la frecuencia de la avería. La severidad es el grado de efecto o impacto de la avería. Detección es qué tan fácil es detectable su identificación.

Existen diferentes formas de evaluar estos componentes. La forma más usual es el empleo de escalas numéricas llamadas criterios de riesgo. Los criterios pueden ser cuantitativos y/o cualitativos. Sin embargo, los más específicos y utilizados son los cuantitativos. El valor más común en las empresas es la escala de 1 a 10. Esta escala es fácil de interpretar y precisa para evaluar los criterios. El valor inferior de la escala se asigna a la menor probabilidad de ocurrencia, menos



grave o severo y más fácil de identificar la avería cuando esta se presente. En igual forma un valor de 10 se asignará a las averías de mayor frecuencia de aparición, muy grave donde de por medio está la vida de una persona y existe una gran dificultad para su identificación.

4.3.2 Formulación de los principios de la herramienta administrativa surgida a partir de TPM.

Después de estudiar y describir cada una de las técnicas que emplea el TPM, se puede hacer un recopilado de los principios fundamentales que trata este método, y que sirven como una herramienta administrativa diseñada para crear una cultura laboral con mayor organización, en la que colaborarán todos los involucrados en la empresa, desde el encargado de limpieza, hasta la Alta Dirección, todo esto con el fin de obtener mejores beneficios en la producción y alcanzar un ambiente laboral más ameno y seguro. A continuación se mencionarán algunos de estos principios o fundamentos, que sustentan las teorías de calidad como el TPM.

Principios Organizativos:

- Este sistema de calidad va enfocado a generar un ambiente totalmente organizado, con la participación de todos los empleados, originando así, una mejora en la calidad del ambiente de trabajo, promoviendo una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto por las normas, incrementando de esta manera, la moral y la conciencia de los equipos de trabajo.
- Se busca originar un ambiente óptimo, donde la participación, colaboración y creatividad sean una realidad, y inculcando en los empleados, la búsqueda constante de conocimiento y aprendizaje permanente.
- Verificar que realmente el número de empleados por equipo de trabajo sea el adecuado, pues se deberá contar con el número



óptimo de personas por equipo laboral. Que el dimensionamiento de las plantillas de personal sea el adecuado.

- Originar un ambiente de respeto y disciplinado, en donde la comunicación, sea el principal factor a desarrollar durante toda la administración. Crear redes de comunicación eficaces.

Principios de Seguridad:

- Capacitar a todos los involucrados en la empresa, para conocer los diferentes riesgos naturales a los que se encuentra sujeto, así como el saber identificarlos y detectarlos a tiempo, para evitar condiciones peligrosas o riesgosas a la salud. Propiciar las condiciones ambientales laborales más apropiadas.
- Crear una cultura de seguridad, para incrementar la capacidad de los empleados a identificar problemas potenciales, y la búsqueda de acciones correctivas a éstos.
- Crear una conciencia del porqué de ciertas normas, y no solamente preocuparse porque las lleven a cabo, y de esta manera propiciar la prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes.
- Eliminar de manera radical las fuentes de contaminación y polución, presentes en la organización de la empresa, creando conciencia en todos los empleados, de que una empresa segura y limpia conllevará a un ambiente más ameno.

Principios de Productividad:

- Eliminar pérdidas que afectan la productividad de las plantas, a partir de mecanismos de organización y comunicación entre grupos de trabajo. Todos están esterados de la manera en que se realiza la administración de la empresa.



- Mejora de la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, capacitando al personal acerca del funcionamiento de los equipos involucrados en la producción, reduciendo así los costos de mantenimiento.
- Propiciar la mejora de los sistemas productivos, con la adaptación tecnológica constante, mediante ideas de optimización con los recursos con los que ya se cuenta, para obtener mejores resultados en la calidad del producto final, y un menor costo financiero por recambios en el proceso.
- Crear actitudes competitivas desde la empresa o industria, para promover un aumento en la capacidad de respuesta a los movimientos de los mercados.

El TPM como un sistema integrado de procesos:

El TPM es un sistema integrado de procesos y no debe verse como un grupo de acciones simples de limpieza, gestionar automáticamente la información de mantenimiento o aplicar una serie de técnicas de análisis de problemas. El TPM es una estructura de gestión industrial que involucra procesos de dirección, gestión del conocimiento, arquitectura organizativa y dirección del talento humano.

Para ello es de vital importancia el entrenamiento y desarrollo de habilidades de operación, las cuales tienen que ver con la forma correcta de interpretar y actuar de acuerdo a las condiciones establecidas para el buen funcionamiento de los procesos. Es así como el reconocimiento adquirido a través de la reflexión y experiencia acumulada en el trabajo durante un tiempo, ha servido como pilar para fundamentar los principios de TPM. Este requiere de un personal que haya desarrollado habilidades para el desempeño de las siguientes actividades:

- Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
- Comprender el funcionamiento de los equipos.
- Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.



- Poder analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- Capacidad para conservar el conocimiento y enseñarlo a otros compañeros.
- Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

Asimismo, la planificación es un instrumento fundamental para el desarrollo del TPM en la industria. Se considera como un verdadero mapa que orienta la implantación de cada uno de los pilares de TPM en forma coherente, de acuerdo con las restricciones y características de cada empresa.

4.3.3 Objetivos del TPM en la Industria Química.

Evidentemente, la Industria Química reúne unas características muy particulares, tales como:

- Regímenes de producción muy diversos, variedad de productos, producción continua integrada, producción por lotes.
- Diversidad de equipos y sistemas.
- Utilización de equipo estático.
- Control centralizado.
- Corrosión, obstrucciones, fugas fisura, desgaste, roturas, quemaduras, fatiga, cortocircuitos, cables rotos, cavitación, entre otros.
- Muy alto consumo de energía y fluidos: electricidad, gas, aire comprimido, agua, vapor, etc.
- Uso de equipo redundantes activos y pasivos.
- Elevado riesgo de accidentes, incidentes y de contaminación.
- Ambiente de trabajo hostil y difícil.
- Grandes paradas anuales (cuando se realizan) para hacer Mantenimiento, que implica un importante monto de pérdidas de



producción. Estas paradas algunas veces se encuentran programadas previstas y aceptadas por la empresa, sin embargo, algunas veces no es así, lo que origina aún más pérdida por paros no programados.

Por lo anterior, cabe mencionar que el TPM será una herramienta organizacional muy importante e interesante en la Industria Química. Así pues, es importante resaltar que el TPM proporciona dos tipos de beneficios: los tangibles y los intangibles.²⁵

Tangibles:

- Aumento de Eficiencia Global: 40%.
- Descenso de la tasa de defectos de los procesos: 90%.
- Descenso de reclamaciones de los clientes: 70%.
- Reducción de los costos de producción: 30%.
- Reducción de *stocks* de productos y trabajos en curso: 50%.
- Accidentes: 0.
- Incidentes por contaminación: 0.
- Mejoras: 6 veces mejor que antes.

Intangibles:

- Aceptación de responsabilidades por parte de los trabajadores que no recurrirán a departamentos indirectos. Dejar de lado intermediarios y eliminar así burocracias.
- Eliminación de múltiples averías, fallos disfunciones.
- Ambiente de “puedo hacerlo yo”.
- Lugares de trabajo limpios, estéticos, ordenados.
- Clientes más contentos.

²⁵ Emilio Lezana García. “T.P.M. en la Industria Química”. T.M.I., S.L. Ingeniería Química. Octubre-1998.



Etapas de Implementación:

Debido a las especificaciones de la Industria Química, será necesario trabajar sobre 12 etapas importantes, las cuales se mencionan a continuación:

1. Optimización.
2. Eliminación de pérdidas.
3. Mantenimiento autónomo.
4. Mantenimiento planificado.
5. Formación y adiestramiento.
6. L.C.C. (*Life Cycle Cost*) de los equipos.
7. Hacia un mantenimiento de calidad.
8. Actividades de departamento administrativo y de apoyo.
9. Gestión de Seguridad y Medio Ambiente.
10. Diagnóstico y mantenimiento predictivo.
11. Gestión del Equipo.
12. Desarrollo de productos y diseño de equipos.

El TPM y la mejora continua en la Industria Química:

La mejora debe ir avanzando a través de las siguientes etapas:

- a) Evitando fallos de proceso que hagan necesaria la parada de la planta:
Sus causas son debidas a propiedades físicas de los materiales, fugas por corrosión o por fisuras, obstrucciones, contaminación, dispersión del polvo, errores humanos de operación. La solución radica en la localización de la fuente u origen.
- b) Eliminación de los fallos de máquina:
Por medio de seis medidas tendentes al cero averías: 1. Llevar a la máquina hacia sus condiciones básicas. 2. Aplicar y seguir estrictamente sus condiciones de uso. 3. Eliminar las condiciones que causan el



deterioro acelerado. 4. Evitar el deterioro y envejecimiento. 5. corregir debilidades de diseño. 6. Mejorar las capacidades de las personas.

c) Fomentar medidas contra fallos y daños de los equipos:

En la industria química conviene dividir los sistemas en cinco grupos a los que TPM recomienda ciertas medidas (véase la tabla 4.3).

Tabla 4.3 Medidas a Implementar de Mantenimiento para cada Grupo de Maquinaria.

Medidas contra fallos de los equipos.	
Grupo	Medidas
1. Maquinaria rotativa.	Las mencionadas en el punto b) + análisis de vibraciones.
2. Columnas y tanques.	Técnicas de diagnóstico, medición, líquidos penetrantes, radiografía, etcétera, realizados por mantenimiento especializado.
3. Tuberías y válvulas.	Revisión de tuberías y soportes por mantenimiento especializado. Chequeos diarios por mantenimiento autónomo para encontrar fugas, obstrucción, corrosión, vibraciones y válvulas defectuosas.
4. Equipo eléctrico.	Por razones de seguridad sólo el personal de mantenimiento especializado intervendrá en pupitres, celdas, subestaciones.
5. Instrumentación.	En un programa de mantenimiento autónomo diario se puede incluir chequeo de contaminación interna, entrada de polvo, obstrucción de filtros, defectos elementales de instrumentos. La mayor parte de las imprecisiones, bloqueos y otras anomalías de los instrumentos obedecerá a esas causas.



CAPITULO V. CASO DE ESTUDIO.

5.1 Aplicación de TPM en una Planta de Hidrocarburos.

5.1.1 Descripción de la Planta.

La Planta Hidrotradora de Destilados Intermedios (U-7), fue diseñada por Bechtel Corporation en el periodo de 1967-1968, para hidrotratar 14,000 BPD de Diesel y/o Kerosina, la ingeniería básica corrió a cargo de la compañía U.O.P. Fue inaugurada y puesta en operación oficialmente en Marzo 1969. Se aplica el método denominado “UNIFINING” de U.O.P. (Para las referencias de equipos y corrientes descritas a continuación, se requiere observar el Diagrama de Proceso incluido en el Anexo I, de esta Tesis).

“UNIFINING” es un proceso de refinación catalítica en el que se emplea una combinación de catalizador selectivo e hidrógeno para modificar la estructura de los compuestos de azufre, oxígeno, nitrógeno y compuestos olefínicos. Este mejoramiento en la carga, se obtiene con una muy pequeña pérdida de rendimiento. El hidrotratamiento reduce el contenido de azufre a menos de 5% en peso en el diesel y menor de 0.3% en peso en la Turbosina, tal como se aprecia en las siguientes tablas:

Carga

	CARGA				H ₂ –85% Mol	
	BLS/D	LB/H	API	S(% Peso)	MMSCFD	LB/H
Kerosina	14,000	166,593	42.0	0.48	2.00	1,084
Diesel	14,000	180,875	28.3	1.22	4.4	2,188

**Productos**

	Gas Residual		Domo Fraccionadora		Producto Hidrotratado			
	MMSCFD	LB/H	BLS/D	LB/H	BLS/D	LB/H	API	S (%PESO)
Kerosina	0.90	2,124	124	1,280	13,887	164,305	43.0	0.01
Diesel	1.895	4,938	162	1,733	13,897	176,448	31.1	0.10

Las plantas primarias AS, SA, RD y AA envían su diesel amargo y la turbosina a unos tanques de cúpula fija, de los que se toma la carga de las unidades 7 y 8.

Actualmente se procesan pocos lotes de turbosina en la U-7, ya que ésta es tratada en la planta Merox de turbosina de esta refinería.

La hidrodesulfuración es un proceso de refinación catalítica que utiliza un catalizador selectivo, en combinación con una corriente de gas rica en hidrógeno, para descomponer los compuestos de azufre, oxígeno, nitrógeno, cloruros y compuestos metálicos, así como para saturar las olefinas presentes en el diesel. También elimina agua, obteniendo un producto seco y libre de impurezas. Todas estas mejoras en el diesel se logra con poca o una mínima pérdida del producto.

Para llevar a cabo lo anterior, la carga se mezcla con una corriente rica en hidrógeno proveniente de las plantas U-6/9 con una pureza mínima del 85%. La mezcla de hidrógeno e hidrocarburos se precalienta en los cambiadores carga/efluentes del reactor y se vaporiza parcialmente en el calentador a fuego directo, antes de entrar al reactor.

La hidrogenación se lleva a cabo a través del lecho catalítico fijo de catalizador cuyos principios activos son cobalto-molibdeno. La hidrogenación se lleva a cabo en un reactor catalítico a una presión de 54 Kg/cm² y una temperatura de 340-355°C, para el Diesel y de 280-305°C para la Turbosina.



El efluente del reactor se enfría y se condensa parcialmente al intercambiar calor con las corrientes de carga al reactor.

La separación de fases se efectúa en el separador de alta presión en el cual los gases e hidrocarburos no condensados se envían a la succión del compresor de recirculación 7/8K-1 (ver diagrama), el cual recircula el gas rico en hidrógeno hacia la carga líquida.

El líquido separado del efluente de reacción se envía a la sección de agotamiento de diesel y posteriormente a la sección de fraccionamiento en la cual se obtiene el diesel como producto principal y como productos secundarios la gasolina amarga y el gas amargo.

Para la descripción de las unidades hidrodesulfuradoras de diesel y turbosina, se consideran las siguientes secciones:

- Sección de Reacción.
- Sección de Agotamiento.
- Sección de Fraccionamiento.

SECCIÓN DE REACCIÓN.

La carga de diseño de esta unidad es de 14,000 bls/día, y considerando el sobrediseño de la misma actualmente la carga a la unidad es de 15,500 bls/día.

La corriente de alimentación a las unidades llega a la succión de las bombas de carga 7GM-1A/B, para enviarla a la sección de reacción a alta presión. El flujo a la sección se mantiene constante con los controladores 7FRC-3 y 7FRC-4, a través del sistema de precalentamiento de carga al reactor 7C-1.



Estos controladores de carga son fijados por el operador especialista del Cuarto de Control. La corriente de descarga de la bomba de carga se divide en dos corrientes: una que entra a los cambiadores 7E-1A/B/C/D (carga vs productos del reactor) y otra a los cambiadores 7E-1E/F/G/H (carga vs productos del reactor) por fuera de tubos. El hidrógeno para el proceso o hidrógeno de reposición se obtiene de las plantas generadoras de hidrógeno, U-6 y U-9, así como de las plantas HDS-1 y HDS-2.

Los compresores de hidrógeno de recirculación 7KT-1/8KM-1, son compresores dúplex del tipo reciprocante de un paso, es decir, el 7KT-1 tiene dos cilindros compresores, el 7KT-1A para la Unidad-7 y el 7KT-1B para la Unidad-8, accionados por una turbina, y el 8KM-1 tiene dos cilindros compresores el 8KM-1A para la Unidad-7 y el 8KM-1B para la Unidad-8 accionados por un motor eléctrico de alta potencia. El hidrógeno fresco medido en 7FRC-25 y el hidrógeno de recirculación se juntan y se miden en 7FR-8, esta corriente se divide en dos, una que se junta con la corriente de diesel o turbosina (o nafta pesada) a la entrada de los cambiadores 7E-1A/1B/1C/1D y se mide en 7FI-28, otra con la corriente de diesel ó kerosina (o nafta pesada) a la entrada de los cambiadores 7/8E-1E/1F/1G/1H y se mide en 7FI-27.

Las dos corrientes líquidas ya mezcladas con el gas hidrógeno se envían al calentador de fuego directo, 7F-1, por dos serpentines de entrada, donde alcanza la temperatura requerida de entrada al reactor de hidrotratamiento. El calentador está diseñado para quemar gas combustible y combustóleo, debido a las cargas bajas procesadas al inicio de la operación de las unidades y por el alto contenido de azufre en el combustóleo, se decidió usar únicamente gas combustible para dar la temperatura requerida del proceso; actualmente se continúa utilizando gas combustible, ya que las normas ecológicas son más estrictas.

Los calentadores 7F-1 están protegidos por la acción de baja presión en el suministro de gas combustible a quemadores y pilotos, por lo que se tienen



instalados los interruptores de baja presión 7PCL-6 que envían una señal de corte a las válvulas automáticas 7PRC-5VB. También cuentan con señal luminosa en Sistema de Control Distribuido, indicando en 7PAL-6 alarma por baja presión de gas combustible, además se tiene indicación de temperatura a la entrada de los serpentines en TI-30 y TI-31 y a la salida en TI-6 y TI-5.

La salida de los dos serpentines se une en un cabezal común con indicación de temperatura en TI-32.

Las corrientes de diesel, turbosina o nafta pesada de FCC e hidrógeno provenientes del calentador 7F-1 forman la carga al reactor a una temperatura de 340°C-355°C para el diesel y de 280°C-285°C para la turbosina y nafta pesada de FCC, y entra al reactor 7C-1, en donde se llevan a cabo todas las reacciones que son descritas en la química del proceso. Para el control de temperatura de carga al reactor se cuenta con el TRC-1.

Los reactores cuentan con un indicador de presión diferencial 7PDI-1 en el sistema de control distribuido para conocer la caída de presión a través del lecho catalítico, lo cual es un índice del grado de carbonización que puede tener el catalizador. Se tiene también una indicación de temperatura a la entrada en 7TIE-32 y en la salida en 7TIE-8.

La presión en el reactor es controlada por el control de presión 7PRC-24, instalado en el separador de alta presión 7C-3. El incremento de temperatura en el reactor es función del tipo de carga y de la cantidad de contaminantes que contenga, por lo tanto, es recomendable alimentar la carga al reactor a la mínima temperatura a la cual el catalizador está activado para llevar a cabo las reacciones de hidrotreamiento. Solo será necesario aumentar la temperatura si los productos no alcanzan la especificación o si el catalizador presenta menos actividad por envejecimiento o por carbonización.



Operando el reactor a la mínima temperatura permisible se logrará una mayor vida del catalizador. La temperatura de operación del reactor influye sobre las reacciones que se llevan a cabo, siendo diferente el efecto sobre cada tipo de reacción, Todas las reacciones de hidrotratamiento dependen del hidrógeno presente, siendo más efectivas cuando la presión parcial del hidrógeno es mayor.

La corriente efluente del reactor, a 360°C-372°C para el diesel y de 281°C-286°C para la kerosina o nafta pesada de FCC, pasa por el lado de los tubos de los cambiadores 7E-1A/B/C/D/E/F/G/H cediendo calor en estos y enfriándose en el soloaire 7EM-2A/B/C/D, para llegar al separador de alta presión 7C-3 a una temperatura de 50°C-55°C.

La temperatura de alimentación al 7C-3 se indica en TI-33. El separador cuenta con alarma y disparo por alto nivel 7LAH-10 y 7LCH-12 para parar al motor o turbocompresor que esté operando. También cuenta con una pierna de separación para separar el agua amarga de los hidrocarburos gaseosos.

Para evitar la formación de cristales de hidrosulfuro de amonio (NH_4HS) en los tubos del soloaire 7EM -2A/B/C/D y tuberías conexas, se inyecta agua de lavado (condensado), con la bomba 7GM-2A.

SECCIÓN DE AGOTAMIENTO.

La corriente líquida del separador de alta presión 7C-3 se envía a control de nivel a la sección de agotamiento con el controlador 7LIC-4 precalentándose primero en los cambiadores 7E-5A/5B (carga al agotador vs producto a tanques) antes de entrar al agotador 7C-4 en el plato No. 10.

La finalidad de esta sección es la de eliminar los gases incondensables tales como H_2 , H_2S , e hidrocarburos ligeros. La torre agotadora 7C-4 cuenta con



platos tipo válvula. El calor requerido para su operación es suministrado a los fondos de la torre por un flujo de vapor. El vapor se controla por medio del controlador de flujo 7FRC-11.

Los vapores del domo se condensan en los soloaires 7EM-3A/B, el condensado generado se recibe en el acumulador 7C-5. En este separador se cuenta con el control de presión 7PRC-11.

De la torre agotadora 7C-4, los hidrocarburos líquidos condensados se envían directamente a la corriente de fondos del agotador. El acumulador 7C-5 tiene una pierna separadora de agua amarga la cual se envía a control de nivel con el controlador 7LIC-6 al sistema de aguas amargas de la U-11. Los gases incondensables amargos son enviados a control de presión con el controlador 7PRC-11 a la planta U-11 para su endulzamiento.

El agua amarga de la pierna del separador de alta presión 7C-3 también se envía a control de nivel al sistema de aguas amargas de la Unidad-11 con el controlador 7LIC-3, y la fase gaseosa del separador de alta presión se envía a la succión de los compresores de gas de recirculación 7/8KT-1 o 7/8KM-1.

SECCIÓN DE FRACCIONAMIENTO.

El fondo del agotador 7C-4 se envía a la fraccionadora 7C-6 por medio del controlador 7LIC-5 intercambiando calor en los cambiadores 7E-6A/B (carga a la fraccionadora vs. producto a tanques).

La torre fraccionadora consta de platos tipo válvula y opera a una temperatura en el domo indicada en el 7TIE-14 y una temperatura en el fondo indicada en el 7TIE-13 y 7TIE-15.



La finalidad de la torre 7C-6 es eliminar del diesel o turbosina las fracciones más ligeras de hidrocarburos que corresponden a los cortes de gasolinas, consta de dos secciones: la parte de agotamiento y la parte de rectificación. El calor necesario para hacer la rectificación lo da el calentador a fuego directo 7F-2, la zona de convección consta de tubos aletados y la zona de radiación esta construida con tubos lisos del mismo diámetro.

Los vapores del domo de la fraccionadora están formados por el corte de gasolina amarga necesario para sacar en especificación el diesel producto a tanques. Ya que la gasolina es un producto secundario su temperatura se ajusta en el soloaire 7EM-7A/B. Los vapores del domo condensados se reciben en el acumulador 7C-7. La presión de la fraccionadora es controlada con el 7PRC-18, el cual actúa sobre dos válvulas automáticas la 7PRC-18VA, para reponer presión en la fraccionadora con gas combustible y 7PRC-18VB para controlar la presión de la fraccionadora enviando los no condensables al 31C-6. Estas válvulas están en la línea de salida de vapores del acumulador 7C-7.

Con la bomba 7GM-7A/B de reflujo a la fraccionadora y a control de nivel con el 7LIC-10 la gasolina amarga se utiliza para controlar la temperatura de operación del domo de la fraccionadora con los controladores en cascada 7TRC-3 y 7FRC-14. El excedente se envía a la U-13 o a la planta HDS-II.

El fondo de la fraccionadora se envía una parte a la succión de la bomba 7GM-5A/B, como flujo de recirculación a través del calentador 7F-2, el cual recibe la carga por cuatro serpentines controlada por cuatro controles de flujo 7FRC-15, 7FRC-16, 7FRC-33 y 7FRC-34, cada serpentín con indicación de temperatura 7TIE-34, 7TIE-35, 7TIE-36 y 7TIE-37.



A la salida del calentador se tienen cuatro serpentines con indicación de temperatura, 7TIE-21, 7TIE-22, 7TIE-40 Y 7TIE-41, los cuatro serpentines descargan en un cabezal común con indicación de temperatura 7TIE-23 (salida conjunta) y la otra parte se envía a la succión de la bomba 7GM-4A/B como producto dentro de especificación, utilizándose su temperatura para calentar la carga al agotador 7C-4 con el controlador TRC-2 (by pass de 7E-5A/B), y con TRC-5 (by pass de 7E-6A/B) calentar la carga de alimentación a la fraccionadora.

El producto a tanques después de intercambiar calor pasa por el soloaire 7EM-4A/4B para enfriarse, su temperatura se indica en el 7TIE-10. Finalmente el producto se envía a los tanques de producto terminado.

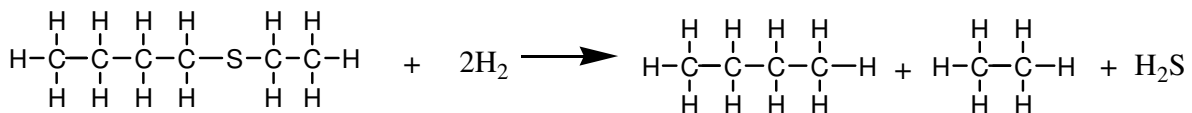
5.1.2 Química del Proceso.

Las reacciones de hidrodesulfuración son esencialmente la hidrogenación selectiva de los compuestos de azufre, nitrógeno, oxígeno, metales y la saturación de olefinas presentes en la carga.

Mediante estas reacciones los contaminantes de la carga se descomponen para dar lugar a la formación de hidrocarburos puros y compuestos que contengan el contaminante y que pueda ser eliminado del producto.

A continuación se presentan reacciones típicas que ilustran la forma como se descomponen los contaminantes.

Eliminación de azufre:

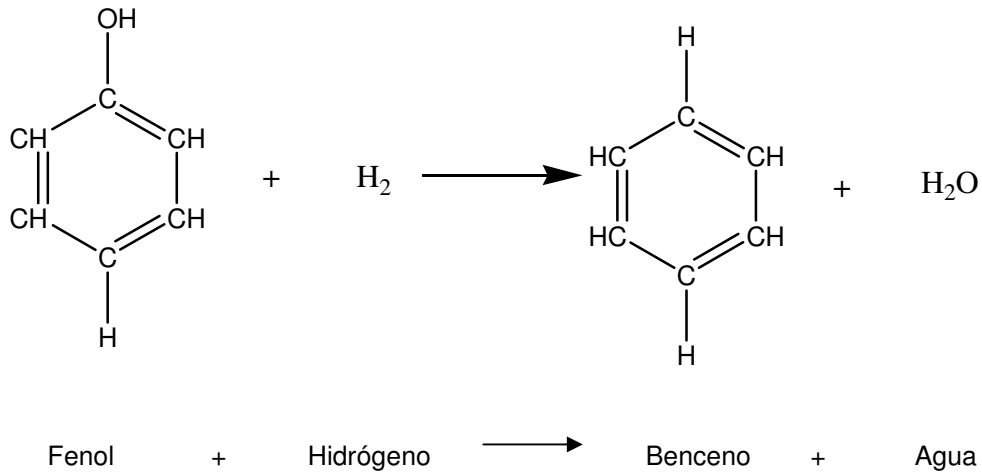


Etil Butil Sulfuro + Hidrógeno \longrightarrow Butano + Etano + Ácido Sulfhídrico



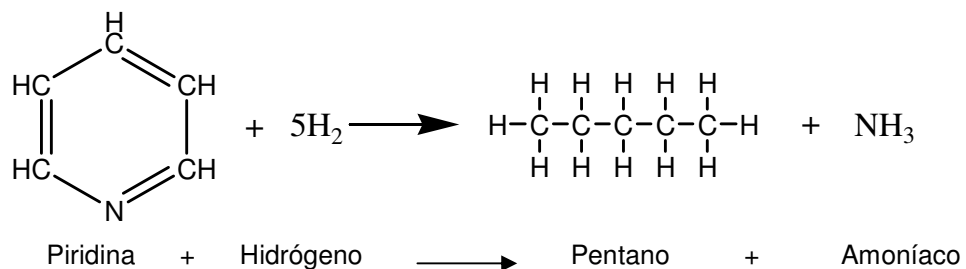
Compuestos oxigenados:

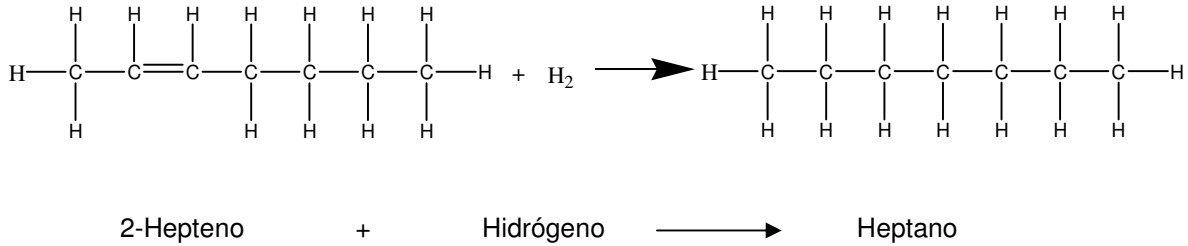
El oxígeno se encuentra disuelto o contenido en compuestos heterocíclicos de azufre o nitrógeno o en forma de peróxido ó compuestos fenólicos. Estos compuestos se transforman en agua e hidrocarburos.



Compuestos de nitrógeno:

En productos del petróleo, el nitrógeno se encuentra junto con el azufre. Esencialmente se encuentra en compuestos heterocíclicos siendo por ello más difícil la hidrodensnitrificación, que la hidrodensulfuración. Las reacciones típicas para la eliminación de nitrógeno son las siguientes:



**Saturación de olefinas:**

El efecto térmico producido por las reacciones de hidrotratamiento es en general exotérmico, es decir producen calor. Sin embargo únicamente la saturación de olefinas y la descomposición de compuestos de nitrógeno, produce grandes cantidades de calor.

Todas las reacciones que se verifican en el proceso de hidrotratamiento consumen hidrógeno, según se ha indicado en las reacciones químicas mencionadas. En cargas que provienen de procesos de desintegración las olefinas son mayores consumidoras de hidrógeno, debido principalmente a sus altas concentraciones. También se consumen cantidades considerables de hidrógeno en la desulfuración.

Eliminación de metales:

Los metales en la forma de compuestos órgano-metálicos, se eliminan aparentemente por descomposición, aunque el mecanismo exacto de eliminación no se conoce, los metales se retienen en el catalizador ya sea por adsorción o por reacción química.



Eliminación de haluros:

Los haluros orgánicos esencialmente se descomponen sobre el catalizador. Las sales inorgánicas resultantes que se depositan en los cambiadores, pueden removerse subsecuentemente por lavado con agua, minimizando con ello los problemas de corrosión y ensuciamiento del equipo.

Oxígeno disuelto en tanques de almacenamiento:

El oxígeno disuelto promueve la formación de gomas en la carga, y da por resultado una rápida incrustación del equipo de intercambio de calor. Cuando la carga a la planta proviene directamente de destilación no hay problema, pero cuando proveniente de almacenamiento deberá contarse con techo fijo pero con atmósfera de gas inerte o gas combustible.

Contaminantes diversos:

Los venenos pueden provocar baja actividad y disminución en el tiempo de vida del catalizador y se pueden dividir en dos grupos:

- Venenos reversibles. Comprende el carbón depositado sobre la superficie del catalizador, el cual puede ser eliminado por una combustión controlada (regeneración).
- Venenos irreversibles. Constituidos por compuestos metálicos que se depositan sobre la superficie del catalizador, ocasionando pérdida de la actividad del mismo, la cual no puede ser restablecida.



Variables de Proceso.

A continuación se describen las principales variables del proceso para mantener una operación estable de la unidad.

La operación de hidrotratamiento se controla por la selección de las condiciones del proceso en el reactor. Las variables de proceso seleccionadas afectarán la actividad y vida del catalizador por influencia de la cantidad de carbón depositado. El catalizador usado en el proceso es particularmente sensible a los descontroles de la unidad. Las combinaciones de alta temperatura en el reactor, baja circulación de hidrógeno y baja presión en el reactor pueden dañar el catalizador y acortar la vida del mismo.

Para mantener la actividad del catalizador apropiada y obtener la máxima duración del mismo, se deberá mantener operando la unidad a condiciones de diseño estables.

El origen y propiedades de la carga, así como la cantidad de flujo de la misma, afectan la calidad del producto. Puede haber algunos cambios en la calidad de los productos, en la medida que el catalizador envejece. Estos cambios normalmente serán compensados ajustando las condiciones del proceso.

Las variables principales en el reactor de proceso son:

1.- Temperatura.

La variable principal con que se controlan las reacciones de hidrotratamiento es la temperatura de entrada al reactor. Su efecto sin embargo es ligeramente diferente para cada una de las reacciones que se llevan a cabo.



La desulfuración aumenta cuando la temperatura se incrementa. Las reacciones de desulfuración empiezan a llevarse a cabo a temperaturas abajo de 260°C, y la velocidad de reacción llega a ser bastante rápida a 345°C.

La saturación de las olefinas tiene un comportamiento similar al de la reacción de desulfuración con respecto a la temperatura, excepto que la velocidad de reacción se estabiliza a temperaturas más elevadas. A temperaturas muy altas se establece una aparente condición de equilibrio, que tiene como límites el grado de saturación. Esto puede ser la causa de que a temperaturas mayores de operación quede en el producto, la mayor cantidad residual de olefinas, que las que permanecerían en un tratamiento a temperaturas menores.

La descomposición de los compuestos de oxígeno y nitrógeno, requiere una temperatura algo más elevada que la saturación de olefinas o la desulfuración, y la velocidad de estas reacciones no parece estabilizarse de la misma manera a temperaturas elevadas.

A temperaturas elevadas, el craqueo de diesel puede ocasionar un acelerado depósito de coque que origina una reducción de la efectividad del catalizador.

A medida que el catalizador se vaya desactivando, será necesario aumentar la temperatura de entrada al reactor.

La temperatura de operación de entrada se establecerá con base en la calidad del producto. La temperatura de entrada debe estar por abajo de la temperatura normal de operación hasta que se determine la calidad del producto, es decir a la menor temperatura posible. El reactor está diseñado para operar a la máxima temperatura requerida, la cual no puede ser rebasada. Por lo tanto, la temperatura máxima de entrada estará limitada por el incremento de temperatura en el reactor, el cual es función de la calidad de la carga y del grado deseado de hidrotratamiento.



2.- Espacio velocidad.

El espacio velocidad se define como el flujo de alimentación volumétrica por unidad de volumen de catalizador.

El espacio velocidad puede ser variado, cambiando el flujo de alimentación o la cantidad de catalizador en el reactor. El último no está bajo el control del operador, mientras el primero no se considera ordinariamente una variable de operación. Sin embargo, una reducción en el espacio velocidad por reducción en el flujo de alimentación ocasionará un incremento en la hidrogenación.

3.- Presión parcial de hidrógeno.

Las reacciones de hidrotratamiento son generalmente llevadas a un grado mucho mayor de conversión con presiones parciales de hidrógeno altas.

La presión parcial de hidrógeno, aumenta al operar el reactor a presiones altas o cuando se opera con relaciones hidrógeno/hidrocarburo altas. Las condiciones de diseño para las presiones y el flujo de gas en las unidades, han sido óptimamente escogidas, así que las variaciones normales en la presión o en el flujo de gas hidrógeno no afectará significativamente la calidad del producto.

En general, presiones parciales altas, resultarán en un mayor tiempo de vida del catalizador debido a la disminución de depósitos de coque. La caída de presión en la cama del reactor, puede aumentar progresivamente durante la corrida, debido a ensuciamiento y/o depósito de carbón. La máxima caída de presión permitida de la cama, está determinada por la fuerza de los soportes de la cama del reactor.



4.- Relación hidrógeno / carga.

El hidrógeno debe normalmente estar circulando a la entrada del reactor a un flujo tan alto como sea posible. Relaciones más altas dentro de la capacidad del equipo no son perjudiciales, en cambio, cuando se opera a recirculaciones bajas, se aumenta el depósito de carbón sobre el catalizador.

La relación de recirculación de hidrógeno por barril de carga puede incrementarse de la siguiente manera:

- a) Aumentando la carga del compresor.
- b) Disminuyendo la carga líquida a recirculación constante.
- c) Aumentando la presión del separador de alta, lo que significa circular más gas.

Sin embargo existen varias circunstancias que disminuyen la relación de recirculación de hidrógeno sin cambiar las condiciones de operación y son las siguientes:

- a) Disminución del por ciento de hidrógeno en el gas de recirculación.
- b) Aumento en la caída de presión en el circuito del reactor (el compresor circulará menos gas).
- c) Pérdida de eficiencia en el compresor debido a dificultades mecánicas.
- d) Por esta razón la relación de recirculación de hidrógeno por barril de carga, deberá verificarse periódicamente utilizando gráficas apropiadas, que determinen la relación de recirculación de hidrógeno y la cantidad de carga.



Catalizador:

Los catalizadores están formados por compuestos de cobalto, molibdeno, fósforo y sodio. De hecho, los metales están presentes como sulfuros, aunque en el catalizador nuevo o regenerador están presentes en forma de óxidos. La conversión de óxidos a sulfuros, ocurre rápidamente durante la operación inicial. Estos catalizadores se han diseñado específicamente para promover las reacciones de hidrogenación deseadas, y suprimir las reacciones laterales no deseadas.

Los catalizadores no se ven afectados por la mayoría de los componentes que contienen las cargas y que se conocen como venenos en otros procesos de refinación catalítica.

Las variables del proceso afectan la vida del catalizador al hacer variar la deposición del carbón. Al principio existe un incremento moderado en la deposición de carbón sobre el catalizador durante los primeros días de operación, pero la velocidad de deposición cae pronto a un valor muy pequeño bajo condiciones adecuadas de operación. Un control de la formación de carbón, se obtiene vigilando la relación de hidrógeno/hidrocarburo, así como manteniendo las temperaturas a los niveles adecuados.

La temperatura es un factor menos crítico con respecto a la vida del catalizador. A temperaturas más altas se favorecen las reacciones que dan lugar a la formación de carbón, pero a la vez también se aumenta la habilidad del hidrógeno para controlar la deposición de carbón sobre el catalizador.



5.1.3 Análisis TPM de la Planta, por nodos.

La metodología para la realización de los análisis que a continuación se presentan, tiene como objetivo verificar algunos escenarios de riesgo, en los que tratará de demostrarse que la implementación de un sistema TPM puede ser una herramienta muy eficiente para la prevención de riesgos de proceso.

Se seleccionaron los cinco nodos que tienen mayor número de recomendaciones y/o protecciones relacionadas con mantenimiento, ya sea porque se trate de equipos o líneas de proceso críticos, o porque involucren un mayor número de variables, lo que sin duda enriquece la cantidad de elementos susceptibles de análisis.

Una vez seleccionado un nodo, se estudia cada uno de los escenarios correspondientes al mismo, con sus respectivas recomendaciones y/o protecciones referentes a mantenimiento, consideradas en el HazOp. Se contrastan las rutinas o actividades que normalmente se realizan de acuerdo a los programas de mantenimiento tradicional de la Planta, con los procedimientos que sería posible implementar mediante un sistema de Mantenimiento Productivo Total, poniendo énfasis en sus beneficios y ventajas, desde una visión sistémica.

Con respecto al arreglo de los nodos y su distribución, deberá tomarse como referencia el Diagrama de Nodos correspondiente, incluido en el Anexo I.

De este modo, los nodos seleccionados (véase Tabla 4.7) para el análisis, se describen en la siguiente tabla:

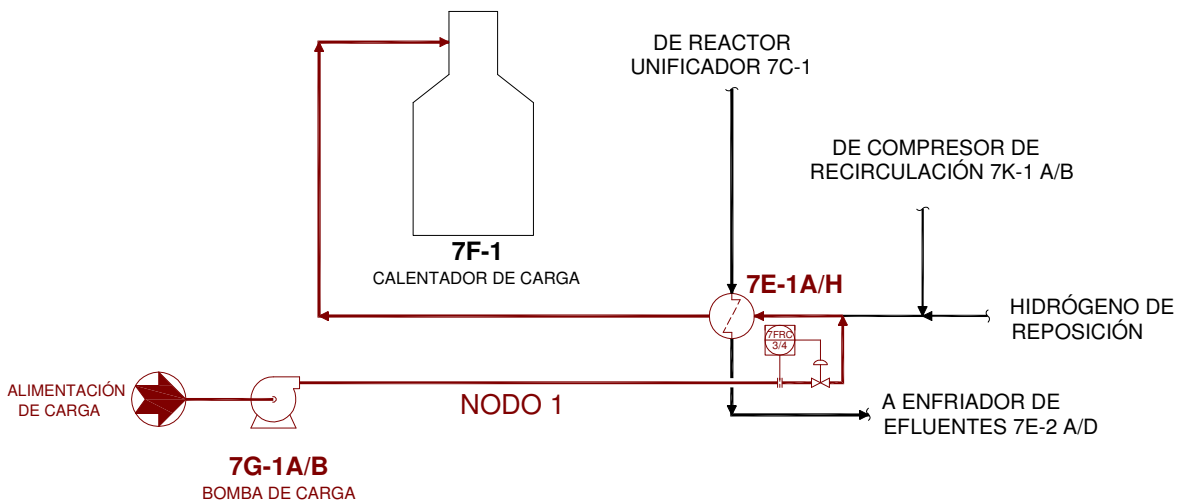


No. Nodo	Nombre	No. de Escenarios con Recomendaciones y/o Protecciones referentes a Mantenimiento.	No. Total de Escenarios.	Porcentaje de Escenarios referentes al Mantenimiento.
1	Línea de carga (límite de batería a bomba de carga 7GM-1A/B, bomba de carga 7GM-1A/B, precalentadores de carga 7E-1A/H)	6	9	66.6
2	Calentador de Carga 7F-1	5	6	83.3
3	Reactor 7C-1	10	11	90.9
5	Separador de alta presión 7C-3	6	6	100
12	Torre Fraccionadora 7C-6	6	6	100

Tabla 5.1 Nodos seleccionados para el análisis TPM de escenarios de riesgo de la Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios (U-7). “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

Nodo 1.

Línea de carga (límite de batería a bomba de carga 7GM-1A/B, bomba de carga 7GM-1A/B, precalentadores de carga 7E-1A/H).





CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
<p>1. No flujo en la Carga.</p>	<p>Falla de Bomba de carga 7-GM-1A/B.</p>	<p>1. Contar oportuno con el refaccionamiento para la bomba de carga. 2. Dar seguimiento estadístico a las fallas presentadas por el equipo dinámico.</p>	<p>Programa de mantenimiento preventivo y predictivo a equipo dinámico. Respuesta de Mantenimiento correctivo ante eventuales fallas.</p>	<p>Propone rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Éstas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para supervisar la ausencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión de la eficiencia de la lubricación, sellado y alineación de las bombas.</p>
	<p>Falla en el lazo de control 7FRC-3/4 en posición de cerrado.</p>	<p>1. Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.</p>	<p>Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.</p>	<p>Supervisión periódica visual por patrullaje operacional de instrumentos. Se debe realizar un registro estadístico de funcionamiento para verificar precisión. Programa de limpieza constante. Programación periódica para recalibración del instrumento.</p>
<p>2. Menos flujo.</p>	<p>Obstrucción en pinchanchas en succión de bombas 7GM-1A/B.</p>	<p>1. Limpieza de filtros de succión oportuna. 2. Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.</p>	<p>Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.</p>	<p>En el caso de accesorios, debe contarse con el refaccionamiento oportuno, así como una revisión auditiva en el equipo, para ver si existen problemas en la succión. Es indispensable el patrullaje operacional constante y la buena capacitación del personal para detectar anomalías en el funcionamiento del equipo. Realizar paros programados para limpieza oportuna de filtros de bombas.</p>



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
2. Menos flujo.	Falla mecánica de la bomba 7GM-1A/B.	1. Programa de Mantenimiento predictivo y preventivo mecánico.	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.	Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Éstas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación, sellado y alineación de las bombas. Cambiar de manera oportuna el aceite de sellos y lubricación.
3. Mas flujo.	Falla en el lazo de control 7 FRC-3/4 abriendo la válvula.	1. Programa de Mantenimiento preventivo a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a lazos de control.	Realización de limpieza y recalibración periódica a lazos de control. Supervisión visual continua por patrullaje operacional a dicho lazo de control, para ello, se requerirá una adecuada capacitación hacia los operadores, así como de la participación activa por parte de los mismos. Se deberá registrar periódicamente, las revisiones que se hicieron, así como las actividades que se realizaron en su debido momento. Hacer paros periódicos para la apropiada limpieza y refaccionamiento en instrumentos del lazo de control. Supervisar y verificar el correcto funcionamiento del sistema de aire de instrumentos.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
3. Mas flujo.	Directo abierto en operación normal.	1. Programa de capacitación al personal operativo. 2. Recorridos de patrullaje operacional.	Programa de capacitación al personal operativo.	Aunque éste tipo de operación no es meramente de mantenimiento, si se encuentra íntimamente relacionado con el sistema TPM, pues éste promueve una mejora continua en los procesos, con la adecuada capacitación del personal, el cual deberá participar activamente en todas y cada una de las actividades de supervisión en equipos e instrumentos críticos de proceso, así como de los no tan críticos. Se realizarán patrullajes operacionales en toda la planta, para detectar cualquier anomalía en el funcionamiento de los equipos o instrumentos de proceso.
4. Más presión.	Falla en lazo de control en válvula 7 FRG-3/4 en cerrado.	1. Programa de Mantenimiento preventivo en lazos de control. 2. Programa de Mantenimiento eléctrico y de instrumentos.	Programas de Mantenimiento eléctrico y de instrumentos y lazos de control.	Se recomiendan hacer paros periódicos para la apropiada limpieza y refaccionamiento en instrumentos del lazo de control. Supervisar y verificar el correcto funcionamiento del sistema de aire de instrumentos. Realización de limpieza y recalibración periódica a lazos de control. Supervisión visual continua por patrullaje operacional a dicho lazo de control, para ello, se requerirá una adecuada capacitación hacia los operadores, así como de la participación activa por parte de los mismos.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
4. Más presión.	Falla en lazo de control en presión 7 PRC-24 en cerrado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de Mantenimiento preventivo a lazos de control. 2. Calibración de la 7 PSV-2 a 58 kg/cm². 	Programas de Mantenimiento preventivo a lazos de control.	Patruillajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.
	Obstrucción de los serpentines del calentador 7 F-1.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpieza periódica y revisión de posibles fugas de gas en bridas o conexiones. 	Programa de Mantenimiento de equipo mecánico.	Revisión es periódicas visuales a líneas de combustible del calentador 7 F-1. Se proponen hacer paros programados para la limpieza de los serpentines, así como del reemplazo de piezas en mal estado, para ello, se debe contar siempre con piezas de repuesto, y realizar chequeos constantes a las líneas del calentador.
5. Menos presión.	Falla mecánica de la bomba 7 GM-1A/B.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de Mantenimiento predictivo y preventivo de equipo mecánico. 2. Programa de rotación de equipo dinámico. 	Programa de Mantenimiento de equipo mecánico y dinámico.	Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Éstas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación, sellado y alineación de las bombas. Cambiar de manera oportuna el aceite de sellos y lubricación.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
5. Menos presión.	Cavitación de la bomba 7 GM-1A/B	<ol style="list-style-type: none">1. Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.2. Programa de rotación de equipo dinámico.	Programa de Mantenimiento de equipo mecánico.	Capacitación y participación activa de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación, sellado y alineación de las bombas.
	Fugas por bridas o conexiones.	<ol style="list-style-type: none">1. Procedimiento de apriete de bridas.2. Pruebas de hermeticidad en líneas después de una reparación.3. Programa de inspección visual de líneas.4. Patrullaje operacional.	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.	Se requiere que todo el personal que labora en la planta, tenga los conocimientos básicos acerca del mantenimiento mecánico en las líneas de operación, así pues, operadores, ingenieros y personal especializado, se ocupen de las revisiones periódicas y supervisen cotidianamente cada línea de operación. Se requiere asimismo, que mantengan comunicación estrecha entre ellos, y reporten cada una de las actividades de mantenimiento y reparación que se ha realizado.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
5. Menos presión.	Fracturas en líneas de acero inoxidable por corrosión.	<ol style="list-style-type: none">1. Procedimiento para el cuidado de aceros inoxidables austeníticos en paros de Planta.2. Inspección de soldaduras con líquidos penetrantes y radiografías en reparación de planta.3. Inspección visual de líneas.	Programa de Mantenimiento a líneas de acero inoxidable.	Los operadores deben tener pleno conocimiento de las condiciones de operación de la planta, pues son ellos los principales involucrados en el proceso, para detectar cualquier anomalía en el proceso, y así evitar daños que puedan surgir debido a esta condición. El registro de cada supervisión debe ser claro e indicar: fecha, hora, No línea, nombre de operador, y la posible falla a realizarse. Dicho reporte deberá tenerse siempre a la mano, y un ingeniero de proceso deberá revisar y reportar periódicamente a su superior, acerca de los métodos, técnicas que se han seguido para prevenir posibles fallas.
6. Baja relación H2/Carga líquida.	Falla del compresor 7 K-1A/B	<ol style="list-style-type: none">1. Que el relevo siempre se encuentre disponible.2. Refaccionamiento para el compresor 7 K-1A/B.	Programa de Mantenimiento preventivo para el compresor.	Se harán revisiones periódicas minuciosamente en todo el compresor, asimismo, cotidianamente se deberá analizar las condiciones de operación en el mismo, para detectar cualquier anomalía. El personal especializado llevará un registro claro, sencillo y esquemático, de las partes en las que es más probable una falla, o en los elementos más críticos a realizar paro. Realizar paros periódicos del equipo, para revisión, limpieza y refaccionamiento, para ellos se debe considerar, si se requiere un relevo, para evitar la pérdida de costos en la producción.

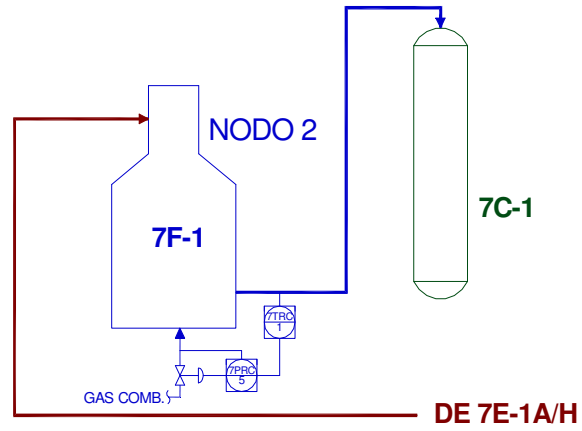


CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

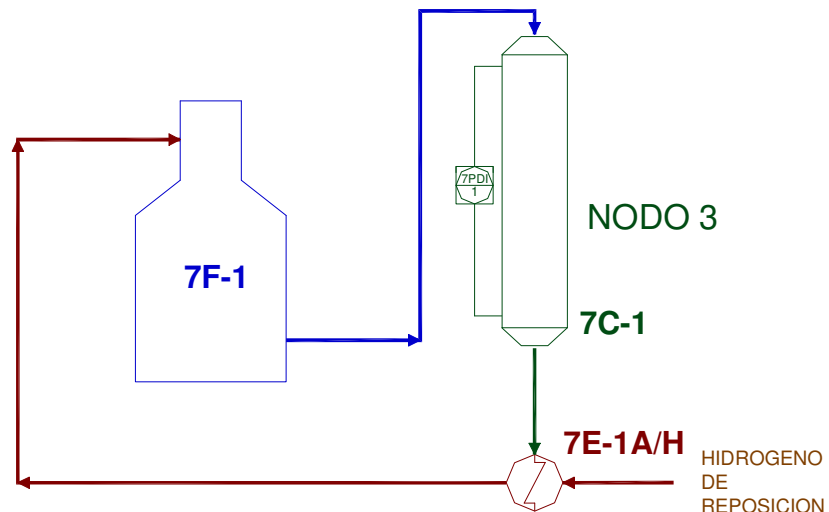
Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
6. Baja relación H ₂ /Carga líquida.	Falla de hidrógeno de reposición.	<ol style="list-style-type: none">1. Que el relevo de la U-6 y U-9 siempre se encuentre disponible.2. Refaccionamiento disponible para el 6 K-1A/B de U-6 y U-9.	Programa de Mantenimiento a 6 K-1A/B.	Los operadores deben tener pleno conocimiento de las condiciones de operación de la planta, pues son ellos los principales involucrados en el proceso, para detectar cualquier anomalía que pudiera surgir en el proceso. El personal de mantenimiento, deberá registrar los conceptos de repuesto con los que se cuenta, y mantener estrecha comunicación con los operarios de las siguientes plantas. Es responsabilidad de ellos, mantener informados a los operadores e ingenieros, acerca de las maniobras a seguir en caso de detectar algún deterioro o defecto.



Nodo 2.
Calentador de Carga 7 F-1.



Nodo 3.
Reactor 7 C-1.





CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

**Nodo 2.
Calentador de Carga 7 F-1.**

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
1. Alta Temperatura.	Falla de lazo de control 7 TRC-1 a 7 PRC-5.	1. Programa de mantenimiento preventivo a lazos de control.	Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Los operadores deben tener pleno conocimiento de las condiciones de operación de la planta, pues son ellos los principales involucrados en el proceso, para detectar cualquier anomalía que pudiera surgir en el proceso. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.
	Presencia de carbón en los serpentines del calentador.	1. Programa de inspección preventiva a calentadores en operación.	Manual de procedimientos de la Planta.	Tener un amplio conocimiento de las condiciones de operación de la planta. Hacer patrullajes operacionales y supervisar que todo se encuentre en buenas condiciones. Hacer revisiones visuales sobre el equipo y reportarlo todo en una bitácora para posteriores revisiones.
2. Baja Temperatura.	Falla de lazo de control 7 TRC-1 a 7 PRC-5 en cerrado.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
2. Baja Temperatura.	Baja eficiencia en combustión.	1. Dar mantenimiento y tener en condiciones óptimas el analizador de O ₂ .	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Se propone monitoreo constante al instrumento, así como un registro estadístico de su funcionamiento. Debido a que se trata de un instrumento de mantenimiento especializado, se requiere de mantener una plantilla de personal capacitado para dar mantenimiento a este tipo de instrumentos.
	Mampara de la chimenea del 7 F-1 abierta.	1. Mantenimiento mecánico de la mampara del calentador.	Programa de mantenimiento mecánico.	Patrullaje operacional para verificar condiciones de manera visual. Programación de paros programados para mantenimiento mecánico de la mampara.
3. No flujo de H ₂ al calentador.	Falla del compresor 7/8 K-1A/B.	1. Que el relevo siempre esté disponible. 2. Refaccionamiento disponible para el 7/8 K-1A/B.	Programa de mantenimiento preventivo para el 7/8 K-1A/B.	Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Estas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación y sellado del compresor, además de las tareas de mantenimiento preventivo del mismo. Cambiar de manera oportuna el aceite de sellos y lubricación.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
4. Más presión.	Falla del lazo de control 7 PRC-24 cerrando válvula automática.	1. Programa de mantenimiento a lazos de control.	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Los operadores deben tener pleno conocimiento de las condiciones de operación de la planta, pues son ellos los principales involucrados en el proceso, para detectar cualquier anomalía que pudiera surgir en el proceso. Deben estar perfectamente relacionados con el proceso, y tener conocimiento acerca de cómo funcionan los lazos de control. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.
5. Menos presión.	Falla del lazo de control 7 PRC-24 abriendo válvula automática.	1. Programa de mantenimiento a lazos de control.	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Los operadores deben estar perfectamente relacionados con el proceso, y tener conocimiento acerca de cómo funcionan los lazos de control. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.
	Abierta la 7 HIC-4.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Revisar y monitorear las condiciones de proceso, así pues, deben hacerse revisiones periódicas acerca del vástago de la válvula para que no presente anomalías en su cierre y apertura, y evitar trabaduras. Hacer paros programados para su limpieza.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
5. Menos presión.	Falla de la PSV-2 calzada.	1. Programa de calibración y revisión de PSV's.	Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	Los operadores deben tener pleno conocimiento de las condiciones de operación de la planta, pues son ellos los principales involucrados en el proceso, para detectar cualquier anomalía que pudiera surgir en el proceso. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. Se debe contar con personal especializado en este tipo de control, el cual deberá llevar un estricto registro estadístico de la PSV, e informar en un reporte periódico, así como mantener estrecha comunicación con los operarios de la planta, para registrar cualquier anomalía.
	Falla del compresor 7 K-1A/B.	1. Programa de mantenimiento preventivo al compresor. 2. Relevo y refaccionamiento siempre disponible para el K-1A/B.	Programa de mantenimiento preventivo al compresor K-1A/B.	Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Estas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación y sellado del compresor, además de las tareas de mantenimiento preventivo del mismo.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

**Nodo 3.
Reactor 7 C-1.**

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
<p>1. No flujo de carga líquida.</p>	<p>Falla de la bomba de carga 7 GM-1A/B.</p>	<p>1. Contar oportuno con el refaccionamiento para la bomba de carga. 2. Dar seguimiento a la estadística de fallos presentados por el equipo dinámico.</p>	<p>Programa de mantenimiento preventivo de equipo dinámico.</p>	<p>Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Estas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Cambiar de manera oportuna el aceite de sellos y lubricación.</p>
<p>2. No flujo de H₂.</p>	<p>Falla del compresor 7 K-1A/B.</p>	<p>1. Se debe contar siempre con el refaccionamiento oportuno para el 7 K-1A/B. 2. Que el relevo se encuentre disponible.</p>	<p>Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.</p>	<p>Capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión en la eficiencia de la lubricación y sellado del compresor, además de las tareas de mantenimiento preventivo del mismo. Participación activa de operadores, especialistas, ingenieros de proceso, y supervisión continua de ingenieros superintendentes.</p>



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
3. Menos flujo de H ₂ .	Baja eficiencia del compresor K-1A/B.	<ol style="list-style-type: none">1. Contar con el compresor de relevo.2. Se debe contar siempre con el refaccionamiento oportuno para el 7 K-1A/B.	Programa de Mantenimiento preventivo del compresor.	Cambiar de manera oportuna el aceite de sellos y lubricación. Capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Registros periódicos de las supervisiones y revisiones al compresor en cuestión.
	Falla de hidrógeno de reposición.	<ol style="list-style-type: none">1. Refaccionamiento para el compresor de hidrógeno.2. Que el compresor de H₂ de reposición de relevo de la U-6 y U-9 esté siempre disponible.	Programa de operación y mantenimiento del compresor de H ₂ de reposición.	Tener amplio conocimiento y capacitación del compresor, para el servicio de hidrógeno de reposición, asimismo, los operadores y personal de planta, deberá estar completamente involucrado con las maniobras de operación y el correcto funcionamiento del equipo.
4. Más flujo de carga líquida.	Falla en el lazo de control 7 FRC-3/4 abriendo la válvula.	<ol style="list-style-type: none">1. Programa de Mantenimiento preventivo a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo de instrumentación.	Los operadores deben estar perfectamente relacionados con el proceso, y tener conocimiento acerca de cómo funcionan los lazos de control. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
4. Más flujo de carga líquida.	Directo de la 7 PRC-4 abierto en operación.	<ol style="list-style-type: none"> Programa de capacitación a personal operativo. Recorridos operacionales (patrullaje). 	Programa de capacitación operacional.	Este sistema propone, como uno de sus principios, la participación de los operarios, por lo que se recomienda fundamentalmente, la capacitación del personal, pues siendo los principales actores que intervienen en el proceso, deben estar completamente involucrados en el mismo.
5. Más Temperatura.	Falla del lazo de control en cascada 7 TRC-1/7PRC-5 abriendo válvula 7 PRC-5V.	<ol style="list-style-type: none"> Programa de Mantenimiento preventivo a instrumentos. 	Programa de Mantenimiento preventivo a instrumentos.	Participación Total: mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel. Especialistas comprometidos con la mejora en los procedimientos de mantenimiento, y estrecha comunicación con todos los que laboran en la planta.
6. Menos temperatura.	Falla del lazo de control en cascada 7 TRC-1/7PRC-5 cerrando automática 7 PRC-5V.	<ol style="list-style-type: none"> Programa de Mantenimiento preventivo a instrumentos. 	Programa de Mantenimiento preventivo a instrumentos.	Los operadores deben estar perfectamente relacionados con el proceso, y tener conocimiento acerca de cómo funcionan los lazos de control. Patrullajes operacionales y chequeos constantes hacia este lazo de control, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
6. Menos Temperatura.	Baja relación de H ₂ /carga líquida.	<ol style="list-style-type: none">1. Que el relevo del 7 K-1A/B y 6 K-1A/B siempre se encuentre disponible.2. Refaccionamiento oportuno de los compresores.	Programa de Mantenimiento preventivo a compresores.	Establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo mantenimiento preventivo (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla). Participación activa y amplio conocimiento de las condiciones de operación por parte de los operarios.
7. Más presión.	Falla del lazo de control en cascada 7 PRC-24 cerrando válvula automática 7 PRC-24V.	<ol style="list-style-type: none">1. Programa de mantenimiento preventivo a lazos de control.	Programa de mantenimiento preventivo de instrumentación.	El operador deberá estar perfectamente involucrado con las condiciones de operación, así como de todo el funcionamiento de dicho lazo de control. Participación Total: mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel. Especialistas comprometidos con la mejora en los procedimientos de mantenimiento, y estrecha comunicación con todos los que laboran en la planta.
	Falla de la 7 PSV-2, no actuó.	<ol style="list-style-type: none">1. Programa de calibración a válvulas de alivio.	Programa de procedimientos de calibración a PSV's.	Establecer un sistema de mantenimiento autónomo que se realice por los operarios, después de que hallan sido debidamente capacitados y hayan adquirido la destreza para que puedan prevenir y corregir fallas, para ello necesitarán el apoyo y asesoría de expertos en este tipo de intrumentos.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
8. Menos Presión.	Falla del lazo de control en cascada 7 PRC-24 abriendo válvula automática 7 PRC-24V.	1. Programa de Mantenimiento preventivo a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo de instrumentación.	Establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo mantenimiento preventivo (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla). Participación activa y amplio conocimiento de las condiciones de operación por parte de los operarios.
	Que quede calzada la 7 PSV-2.	1. Programa de calibración de válvulas de alivio.	Programa de procedimientos de calibración para PSV's.	Con este sistema se garantiza una eficiencia mayor en la producción por cero fallas o averías, para ello se recomienda que los operarios tengan amplio conocimiento del programa de calibración y estén relacionados con el funcionamiento de este tipo de aparatos. Deben reportar cualquier anomalía, y ellos mismos contribuir en que se sigan al pie de la letra las condiciones de operación, verificando de manera visual, y algunas veces, asegurándose que no haya problemas al cierre y/o apertura de las válvulas.
	Abertura de la HIC-4 accidentalment e.	1. Capacitación del personal de operación.	Programa de procedimientos y Manual de operación de la planta.	Aunque no se trate de un problema meramente de mantenimiento, cabe señalar que este sistema propone, como uno de sus principios, la participación de los operarios, por lo que se recomienda fundamentalmente, la capacitación del personal, pues siendo los principales actores que intervienen en el proceso, deben estar completamente involucrados en el mismo.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
8. Menos Presión.	Fugas por bridas y conexiones.	1. Selección de empaques de acuerdo al diseño de Bechtel. 2. Procedimiento para revisar la tornillería de equipos en las instalaciones en operación.	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.	Llevar a cabo actividades de mejora diseñadas para aumentar la eficacia del equipo y evitar las pérdidas por averías, preparación y ajustes, por tiempos muertos y paradas pequeñas, por reducción de velocidad, Defectos de Calidad y trabajos rehechos, y finalmente, pérdidas de Arranque.
	Ruptura de tubería en los sosloaires 7 E-2A/D.	1. Procedimiento para la supervisión de líneas en operación. 2. Testigo de inhibidor de corrosión. 3. Inyección de inhibidor de corrosión.	Manual de procedimiento para inhibición de corrosión.	El mantenimiento desempeñado por los operadores del equipo o mantenimiento autónomo, pueden contribuir significativamente a la eficacia del equipo. La producción eficiente dependerá de las actividades de producción. Se debe contemplar la prevención del deterioro; operar el equipo correctamente, mantener las condiciones básicas del equipo, hacer los ajustes adecuados, anotar datos referentes a descomposturas y malos funcionamientos, colaborar con mantenimiento en el estudio de mejoras. Hacer inspecciones diarias, la realización de ciertas inspecciones periódicas. Y por otro lado, se requieren hacer reparaciones menores, reportar descomposturas y mal funcionamiento; y asistir en reparar las descomposturas esporádicas.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
8. Menos Presión.	Ruptura de tubería en los sosoaires 7 E-2A/D.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Procedimiento para la supervisión de líneas en operación. 2. Testigo de inhibidor de corrosión. 3. Inyección de inhibidor de corrosión. 	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico y Manual de procedimiento para inhibición de corrosión.	Llevar a cabo actividades de mejora diseñadas para aumentar la eficacia del equipo y evitar las pérdidas o paros no programados. Realizar patrullajes operacionales, y tener claro conocimiento de los procedimientos y cantidades a agregar en las soluciones, para evitar la corrosión en los tubos de los equipos soloaires.
9. Corrosión Generalizada.	Presencia de cloruros.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pruebas con líquidos penetrantes y radiografiado en los equipos expuestos a ésta. 	Manual de procedimiento para pruebas de corrosión en equipos, especializado.	Esta técnica es una muestra más del mantenimiento correctivo, pues se corrige ya que se ha presentado el daño. No obstante, TPM garantiza no tener este tipo de emergencias, pues se prevén todos los posibles escenarios para garantizar el buen funcionamiento de los equipos. Sin embargo, cabe señalar este tipo de pruebas, para resaltar la importancia que tiene la implementación de éste sistema de calidad, enfocado a la mejora continua, disminuyendo pérdidas y evitando fallas, y por tanto, paros no programados.
	Ataque por hidrógeno.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pruebas con líquidos penetrantes y con ultrasonido, a soldaduras y muestras estructurales. 	Manual de procedimiento para pruebas de corrosión en equipos, especializado.	Aplica lo anteriormente descrito.
	Corrosión bajo esfuerzo (SCC).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pruebas con líquidos penetrantes y con ultrasonido, a soldaduras y muestras estructurales. 	Manual de procedimiento para pruebas de corrosión en equipos, especializado.	Aplica lo anteriormente descrito.

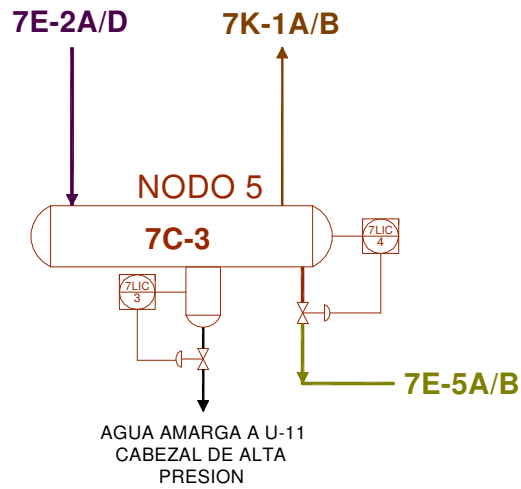


CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

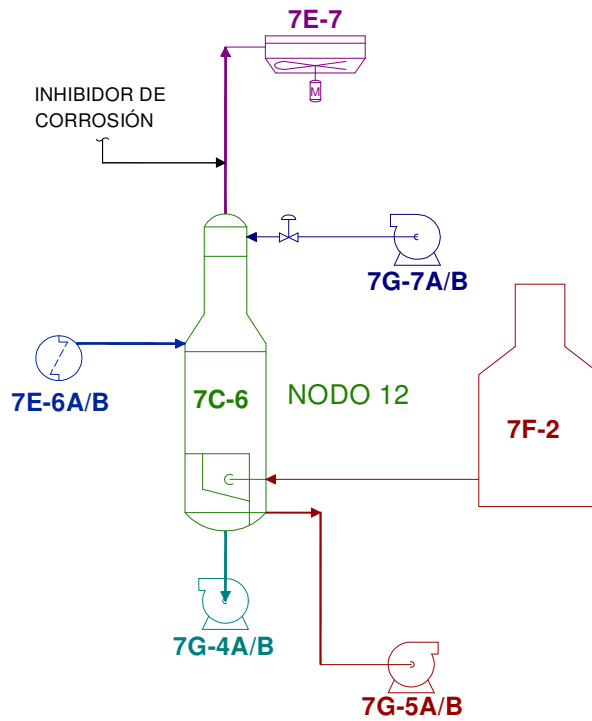
Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
9. Corrosión Generalizada.	Ataque con H ₂ S al metal base.	1. Pruebas con líquidos penetrantes y con ultrasonido, a soldaduras y muestras estructurales.	Manual de procedimiento para pruebas de corrosión en equipos, especializado.	Aplica lo anteriormente descrito.
10. Menos aterrizamiento.	Sulfatación de la conexión a tierra.	1. Programa de Mantenimiento del sistema de tierras.	Programa de Mantenimiento especializado para el sistema de tierras.	Aunque es una tarea especializada, que quizá competa sólo a los ingenieros eléctricos, es indispensable tener informados a todos los elementos que intervienen directamente con el proceso, de tal forma que tengan en conocimiento las técnicas y/o procedimientos a seguir en caso de que algún sistema pudiera, quizá no tener falla total, pero sí requeriría atención emergente y dar el mantenimiento adecuado, el cual se daría por alguno de los involucrados, sin perder tiempo en esperas de personal especializado.
	Falso contacto en las tierras.	1. Programa de Mantenimiento del sistema de tierras.	Programa de Mantenimiento especializado para el sistema de tierras.	Todos los operarios de la planta, estarán comprometidos con la seguridad de la planta, por lo que se sugiere que participen apoyando en el mantenimiento, aplicando sus conocimientos y poniendo a juicio su criterio. Se obtendrá así, una organización inteligente, que actuará según las condiciones, con el fin de prever posibles fallas o disminuyendo considerablemente los accidentes. Aquí se aprecia claramente que se tratará de un sistema complejo, que al estar capacitado es mayormente consiente y eficiente en las labores, que actúa con un enfoque sistémico.



Nodo 5.
Separador de alta presión 7 C-3.



Nodo 12.
Torre Fraccionadora 7 C-6.





**Nodo 5.
Separador de alta presión 7 C-3.**

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
1. Menos nivel de hidrocarburos.	Falla de lazo de control de nivel 7 LIC-4 abriendo válvula.	1. Programa de Mantenimiento preventivo para lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo para instrumentación.	Los especialistas (instrumentistas), deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que ser á establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse periódicamente cada una de las supervisiones, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.
1. Menos nivel de hidrocarburos.	Directo 7 LIC-4V abierto en operación normal.	1. Programa de mantenimiento preventivo a válvulas.	Programa de mantenimiento preventivo mecánico.	Se dará patrullaje operacional para la prevención del deterioro, operando el equipo correctamente, manteniendo las condiciones básicas del equipo, haciendo los ajustes adecuados, anotando datos referentes a descomposturas y malos funcionamientos, colaborando con mantenimiento en el estudio de mejoras. Así se logrará medir el deterioro, haciendo inspecciones diarias, y realizando ciertas inspecciones periódicas. si es necesario, se hará la restauración del equipo, haciendo reparaciones menores, reportes de descomposturas y mal funcionamiento; asistir en reparar las descomposturas esporádicas y conocer los procedimientos.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
2. Más nivel.	Falla de lazo de control de nivel 7 LIC-4 cerrando válvula.	1. Programa de Mantenimiento preventivo para lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo para instrumentación.	Los especialistas (instrumentistas), deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que ser a establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse periódicamente cada una de las supervisiones, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.
	Falla de lazo de control de nivel 7 LIC-4 cerrando válvula automática.	1. Programa de Mantenimiento preventivo para lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo para instrumentación.	Establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo mantenimiento preventivo (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla). Participación activa y amplio conocimiento de las condiciones de operación por parte de los operarios.
3. Más Presión.	Falla de lazo de control de nivel 7 LIC-24 cerrando válvula automática.	1. Programa de Mantenimiento preventivo para lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo para instrumentación.	Establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo mantenimiento preventivo (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla). Participación activa y amplio conocimiento de las condiciones de operación por parte de los operarios.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
3. Más Presión.	Falla de la 7 PSV-2, no actuó.	1. Programa de Mantenimiento de válvulas de alivio.	Manual de Procedimientos de Calibración para válvulas de alivio.	Es responsabilidad directa del personal especializado, realizar las tareas de mantenimiento descritas en los manuales de procedimientos. Sin embargo, es el compromiso de todo el personal que labora en la planta, conocer e identificar las posibles averías o problemas que se presenten en válvulas de éste tipo. Es necesario que lleven a cabo las rutinas de apertura y cierre, que garanticen la no hermeticidad de dichas válvulas de control de proceso.
	Falla del compresor 7/8 K-1A/B.	1. Contar con el compresor de relevo. 2. Se debe contar siempre con el refaccionamiento oportuno para el 7 K-1A/B.	Programa de Mantenimiento preventivo del compresor.	Capacitación de operadores e ingenieros para detectar la presencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la realización de patrullaje organizacional. Rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Registros periódicos de las supervisiones y revisiones al compresor en cuestión.
4. Menos presión.	Falla de lazo de control de nivel 7 PRC-24 cerrando válvula automática 7 PRC-24V.	1. Programa de Mantenimiento de válvulas de alivio.	Manual de Procedimientos de Calibración para válvulas de alivio.	Los Instrumentistas, deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que ser á establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse todas las supervisiones en campo, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
4. Menos presión.	Que quede calzada la 7 PSV-2.	1. Programa de calibración de válvulas de alivio.	Manual de Procedimientos de Calibración para válvulas de alivio.	Es responsabilidad directa del personal especializado, realizar las tareas de mantenimiento descritas en los manuales de procedimientos. Sin embargo, es el compromiso de todo el personal que labora en la planta, conocer e identificar las posibles averías o problemas que se presenten en válvulas de éste tipo. Es necesario que lleven a cabo las rutinas de apertura y cierre, que garanticen la no hermeticidad de dichas válvulas de control de proceso.
5. Corrosión generalizada.	Ataque por H ₂ y/o H ₂ S.	1. Inyección de inhibidor de la corrosión en equipo de proceso. 2. Programa de calibración en líneas, nipletería y equipo. 3. Inspección ultrasónica del recipiente. 4. Inspección visual durante paros programados.	Manual de procedimientos de calibración de líneas y equipos. Especialistas en radiografiado en equipos.	Se deben comprometer todos los operarios de la planta a realizar tareas de inspección minuciosa, pero también será necesario hacer paros programados para realizar pruebas de radiografiado a los equipos para asegurar que se encuentran en perfectas condiciones, y así tener mayor comunicación y organización dentro de la planta.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
6. Menos aterrizamiento.	Sulfatación de las conexiones a tierra.	1. Programa de Mantenimiento del sistema de tierras.	Programa de Mantenimiento especializado para el sistema de tierras.	Aunque es una tarea especializada, que quizá competa sólo a los ingenieros eléctricos, es indispensable tener informados a todos los elementos que intervienen directamente con el proceso, de tal forma que tengan en conocimiento las técnicas y/o procedimientos a seguir en caso de que algún sistema pudiera, quizá no tener falla total, pero sí requeriría atención emergente y dar el mantenimiento adecuado, el cual se daría por alguno de los involucrados, sin perder tiempo en esperas de personal especializado.
	Falso contacto en las tierras.	1. Programa de Mantenimiento del sistema de tierras.	Programa de Mantenimiento especializado para el sistema de tierras.	Todos los operarios de la planta, estarán comprometidos con la seguridad de la planta, por lo que se sugiere que participen apoyando en el mantenimiento, aplicando sus conocimientos y poniendo a juicio su criterio. Se obtendrá así, una organización inteligente, que actuará según las condiciones, con el fin de prevenir posibles fallas o disminuyendo considerablemente los accidentes. Aquí se aprecia claramente que se tratará de un sistema complejo, que al estar capacitado es mayormente consiente y eficiente en las labores, que actúa con un enfoque sistémico.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Nodo 12. Torre Fraccionadora 7 C-6.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
1. Menos nivel.	Falla en el lazo de control 7 LRC-8 abriendo válvula automática.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Los Instrumentistas, deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que se á establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse todas las supervisiones en campo, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.
	Falla en el lazo de control 7 TRC-3/7 FRC-14 abriendo válvula automática	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Es responsabilidad directa del personal especializado, realizar las tareas de mantenimiento descritas en los manuales de procedimientos para instrumentos. Sin embargo, es el compromiso de todo el personal que labora en la planta, conocer e identificar las posibles averías o problemas que se presenten en válvulas de éste tipo. Es necesario que lleven a cabo las rutinas de supervisión visual de condiciones, que garanticen la no-falla de dicho lazo de control de proceso.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
1. Menos nivel.	Fugas por bridas o conexiones.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Procedimiento de apriete en bridas y conexiones. 2. Supervisión visual de líneas en operación. 	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.	Llevar a cabo actividades de mejora diseñadas para aumentar la eficacia del equipo y evitar las pérdidas por averías, preparación y ajustes, por tiempos muertos y paradas pequeñas, por reducción de velocidad, Defectos de Calidad y trabajos rehechos, y finalmente, pérdidas de Arranque.
2. Más nivel.	Falla de las bombas 7 G-4A/B.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 	Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.	<p>Propone rutinas de revisión de funcionamiento de equipos dinámicos durante la operación normal de los mismos. Éstas implicarían la capacitación de operadores e ingenieros para supervisar la ausencia de ruidos o vibraciones extrañas en el equipo, mediante la aplicación de patrullaje operacional. Adicionalmente, se promovería la aplicación de paros programados del equipo para realizar tareas de supervisión de la eficiencia de la lubricación, sellado y alineación de las bombas.</p>
	Falla del lazo de control 7 LIC-10 abriendo válvula automática.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de Mantenimiento a lazos de control. 	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Es responsabilidad directa del personal especializado, realizar las tareas de mantenimiento descritas en los manuales de procedimientos para instrumentos. Sin embargo, es el compromiso de todo el personal que labora en la planta, conocer e identificar las posibles averías o problemas que se presenten en válvulas de este tipo.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
2. Más nivel.	Falla del lazo de control 7 LRC-8 cerrando válvula.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Los Instrumentistas, deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que será establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse todas las supervisiones en campo, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.
3. Más Temperatura.	Falla de la cascada 7 TRC-3/7 FRC-14 cerrando automática.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Aplica lo descrito en el párrafo anterior.
	Falla de la cascada 7 TRC-4/7 FRC-16 abriendo automática.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Aplica lo descrito en el párrafo anterior.
4. Menos temperatura.	Falla de la cascada 7 TRC-3/7 FRC-14 cerrando automática.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Aplica lo descrito en el párrafo anterior.
	Falla de la cascada 7 TRC-4/7 FRC-16 abriendo la válvula automática.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Aplica lo descrito en el párrafo anterior.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
5. Más presión.	Falla del lazo de control 7 PRC-18 cerrando válvula 7 PRC-18VB.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Los Instrumentistas, deberán guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo, que será establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento en instrumentación, para verificar un grado mayor de confiabilidad en los lazos de control. Deberá reportarse todas las supervisiones en campo, y se llevará un estricto control estadístico de los registros tomados en los mismos.
6. Menos presión.	Falla del lazo de control 7 PRC-18 cerrando automática 7PRC-18VA o abriendo automática 7PRC-18VB.	1. Programa de Mantenimiento a lazos de control.	Programa de Mantenimiento preventivo a Instrumentos.	Aplica lo descrito en el párrafo anterior.
	7PSV-11 caizada	1. Programa de calibración de válvulas de relevo.	Manual de Procedimientos de Calibración para válvulas de relevo.	Es responsabilidad directa del personal especializado, realizar las tareas de mantenimiento descritas en los manuales de procedimientos. Sin embargo, es el compromiso de todo el personal que labora en la planta, conocer e identificar las posibles averías o problemas que se presenten en válvulas de este tipo. Es necesario que lleven a cabo las rutinas de apertura y cierre, que garanticen la no hermeticidad de dichas válvulas de control de proceso.



CAPÍTULO V. CASO DE ESTUDIO.

Escenario	Causa	Recomendaciones o Protecciones relacionadas con Mantenimiento	Rutina o Actividad de Mantenimiento Tradicional de la Planta	Rutina o Actividad propuesta según Sistema TPM
6. Menos presión.	Fugas por bridas y conexiones.	1. Procedimiento de apriete en bridas y conexiones. 2. Inspección visual de líneas, equipos y nipletería.	Programa de Mantenimiento preventivo mecánico.	Llevar a cabo actividades de mejora diseñadas para aumentar la eficacia del equipo y evitar las pérdidas por averías, preparación y ajustes, por tiempos muertos y paradas pequeñas, por reducción de velocidad, Defectos de Calidad y trabajos rehechos, y finalmente, pérdidas de Arranque.





VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

RESULTADOS.

En los capítulos precedentes, se ha venido desarrollando prevención de riesgos de proceso, basado en la noción de un Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM). De esta relación, surge de inmediato una interrogante: ¿por qué enfocar el Sistema TPM hacia la prevención de riesgos?. La respuesta tiene que ver primero, con el hecho de que el sistema TPM fue diseñado originalmente, como un sistema administrativo que persigue la elevación de los niveles de productividad y competitividad de las empresas, integrando las actividades de operación y mantenimiento en una sola tarea, bajo la suposición de que son los operadores u obreros, quienes mejor conocen el desempeño de los propios equipos; pero el sistema TPM, no se había reconocido nunca como un sistema con otra posible utilidad. El objetivo de esta tesis en parte, intenta demostrar que dicho sistema puede funcionar dentro de una empresa, por sí mismo, y sin necesidad de realizar adecuaciones mayores al mismo, como una herramienta de prevención de riesgos de proceso, que como se analizará más adelante, puede cubrir aspectos básicos y necesarios para la seguridad en una planta.

La segunda parte de la respuesta a la cuestión anteriormente planteada, proviene del hecho de que la idea del mantenimiento tradicional supone, que su función, no es otra sino la de que los equipos e instalaciones industriales, presenten el menor número de fallas posibles durante su operación, pero dejando de lado aspectos que hoy se vuelven relevantes, dentro de las nuevas culturas organizacionales en la búsqueda de la eficiencia máxima y la calidad, como parte de su desempeño.



Este trabajo de tesis, se inició desarrollando brevemente definiciones o fundamentos, acerca de conceptos como riesgo, análisis de riesgos para plantas de proceso, análisis HazOp, y una introducción general a el Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM).

En el capítulo IV, se planteó una metodología que propone aplicar el sistema TPM a las empresas, bajo la noción de que el TPM es fundamentalmente una herramienta organizacional con carácter *Sistémico*, lo que significa, que toma en consideración, varios aspectos notables y complejos de las organizaciones tales como:

- a) Las organizaciones están compuestas por individuos, pero éstos no son engranes que funcionen como parte de la maquinaria de la planta como tal, sino que contienen aspectos relacionados con la conducta humana, que los hacen elementos complejos participantes de una organización que tiene como finalidad, aumentar la producción en la industria misma. Por ello, es necesario analizar sus intereses individuales y potenciar su desempeño profesional, capacitándolos y ejerciendo influencia motivacional en cada uno de ellos.
- b) Que por tratarse de una herramienta con carácter sistémico, es aplicable a otros sistemas, como son las organizaciones; es decir, se propone aplicar herramientas sistémicas a los sistemas. Esto contrasta con la aplicación de un Mantenimiento Tradicional, herramienta con carácter mecanicista, que al ser aplicada a las organizaciones, no puede evolucionar dentro de éstas, y por tanto, falla en su aplicación, pues fue diseñada desde épocas en las que las empresas y/o industrias se reconocían así mismas como un conjunto de engranes corporativos. Hoy se reconoce en la Administración moderna, que los miembros de una organización,



mantienen estrechas y complejas relaciones, no sólo con otros miembros de la organización, sino con su entorno inmediato fuera de ésta, así como con el conjunto de organizaciones humanas que constituyen toda la sociedad.

- c) El hecho de que los procesos industriales mismos, y en particular los de la industria química, son también, debido a su complejidad, y la forma en cómo las variables se interrelacionan, sistemas. Aquí, se aplica nuevamente la noción expresada en el párrafo anterior: que la mejor forma de tratar o estudiar sistemas es mediante la utilización de herramientas sistémicas, no mecanicistas.

La segunda parte del capítulo IV, comprende el planteamiento de un estudio comparativo, a partir de la hipótesis planteada al inicio de esta tesis. Dicha hipótesis expresa que un porcentaje que oscila entre el 30 al 50% de los escenarios que se proponen y estudian en un Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp) para una planta de proceso, contienen protecciones y recomendaciones que tienen que ver con actividades preventivas, predictivas o correctivas de mantenimiento de equipos y sistemas auxiliares; por lo tanto, la implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), debe funcionar y ser suficiente por sí misma, como una herramienta efectiva para controlar y disminuir considerablemente los riesgos de proceso. Lo anterior, significaría que una empresa que pusiera en práctica un sistema TPM, podría reducir automáticamente factores de riesgo en un porcentaje considerable.

Después de haber realizado el estudio comparativo respectivo apoyándose en la información recabada a partir de los análisis HazOp realizados para seis plantas del Sistema Nacional de Refinerías de PEMEX, en el cual se hizo un recuento del total de escenarios de riesgo con recomendaciones y protecciones



referentes a mantenimiento, se concluyó que éstas ascendían a un porcentaje de prácticamente el 50% del total de escenarios de riesgo planteados en dichos análisis HazOp. La relevancia de este hallazgo, es fundamental, pues valida la relación tan cercana que existe entre los dos aspectos que aquí se estudian: por un lado, la importancia del mantenimiento para la prevención de riesgos, y por el otro, la necesidad del reconocimiento de esta relación, tan pocas veces analizada a fondo, pues estos dos aspectos, seguridad y mantenimiento, no han sido relacionados suficientemente: o bien al mantenimiento se le considera un área de actividades poco agradables y cuya finalidad primordial es la de evitar paros operativos, o, por otro lado, las técnicas de análisis de riesgos restan importancia a las labores de mantenimiento como factor decisivo en la prevención de riesgos. Se concluyó también que la sola implementación de un sistema TPM, puede garantizar que la prevención de riesgos se enfoque en atender aspectos de diseño y/o operación (riesgos clase A, es decir, los más importantes), dejando cubierta buena parte de las categorías de riesgo menos urgentes (riesgos clase B y C).

Por lo demás, y dado que el análisis del sistema de Mantenimiento Productivo Total en lo referente a los aspectos relacionados con productividad, eficiencia y costos, es ya un tema ampliamente discutido en numerosas fuentes bibliográficas, no ha sido necesario profundizar en dichos aspectos durante el desarrollo de esta tesis.

Para finalizar, se ha desarrollado en el capítulo V, un caso de estudio a partir de una análisis HazOp de una Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios, U-7, de la Refinería “Antonio M. Amor”, en Salamanca, Gto. La metodología para la realización de dicho caso de estudio, tuvo como objetivo verificar algunos escenarios de riesgo, en los que se demostró, no sólo que la implementación de un sistema TPM puede ser una herramienta muy eficiente para la prevención de riesgos de proceso, que no sólo cubre los aspectos de un programa de mantenimiento tradicional, sino que también, en la mayoría de los



escenarios analizados, complementa estas actividades, poniendo énfasis en los aspectos ligados a la cultura de calidad organizacional y buenas prácticas operacionales.

Así pues, como se mencionó en el Capítulo IV, la incidencia de escenarios en los que se considera al mantenimiento como recomendación o protección, es alta, esto es visible de inmediato en los resultados que se expresaron en la Tabla 4.9. Por otra parte, el dato que revela la magnitud de la relación Mantenimiento – Análisis de Riesgos es el promedio del porcentaje de escenarios que contienen al menos una recomendación o protección referente a mantenimiento, con respecto al total de escenarios que se analizan en el HazOp. Como puede verse en la Hipótesis de este documento, se planteaba que dicho porcentaje se encontraba entre 30 y 50%. Dicha hipótesis, de acuerdo a los resultados de la Tabla 4.9, resulta cierta, al menos para la muestra que se estudió (un recopilado de seis estudios HazOp de plantas petroquímicas), pues el promedio a que se hace referencia es de 49.9%. Si bien esta cifra no se encuentra respaldada por un estudio extenso sobre una muestra mayor de estudios HazOp, se puede inferir que dicho porcentaje difícilmente descendería de un 30%, pues las actividades de mantenimiento en una planta industrial son imprescindibles, ya sea como un factor de protección ante eventuales riesgos, o bien, como un área que no puede ser pasada por alto cuando se carece de ella, o es deficiente.

A continuación, y con el fin de ser más ilustrativo a la demostración de la Hipótesis de este trabajo, se ilustra la Tabla 4.9, en ella se muestra el porcentaje total de escenarios, en los que se involucra al mantenimiento como protección y/o recomendación en la prevención de riesgos.



VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tabla 4.9 Análisis de los estudios HazOp para seis Plantas Petroquímicas, que presentan el porcentaje de incidencia de escenarios, para Protecciones y Recomendaciones relacionados con Mantenimiento.

HazOp de Planta.	% de Escenarios con P y R referentes a Mantenimiento.	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo A (Inversión Adicional. de mayor prioridad)	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo B (Mantto. Programado. Menos urgentes)	% de Escenarios con P y R. Clase de Riesgo C (Acciones Preventivas. Necesarias, no emergentes)
Almacenamiento de Gas L.P. Área Norte RG-2.	42.7	6	18.7	18
Almacenamiento de Gas L.P. (RG-1), Área Sur.	30.5	2.8	19.4	8.3
Planta Catalítica (FCC).	32.9	2.0	28.9	2.0
Desparafinadora de Aceites Lubricantes (LG).	41.7	6.7	35.0	0.0
Planta U-7 Hidrotratadora de Destilados Intermedios.	60.6	33.0	1.1	27.6
Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos U-502.	90.3	15.9	34.3	40.1
Rango:	30.5% - 90.3%	2.0% - 33.0%	1.1% - 35.0%	0.0% - 40.1%
Media:	44.7	7.85	25.3	14.0
Desviac. Std:	12.1	5.6	7.6	11.2



En dicho estudio, se sometieron a consideración los nodos que tendrían mayor relevancia en el proceso, pues involucran equipos críticos, y a su vez, los nodos que tienen mayor índice de recomendaciones y/o protecciones relacionadas con el mantenimiento de la planta. No se creyó necesario incluir un mayor número, pues este trabajo de tesis resultaría bastante extenso. Se seleccionaron cinco nodos (los que contienen el mayor número de recomendaciones y/o protecciones relacionadas con mantenimiento, ya sea porque se trate de equipos o líneas de proceso críticos, o porque involucren un mayor número de variables).

Enseguida se muestra nuevamente la Tabla 5.1, en la que se representa de manera numérica, la cantidad de escenarios que tienen involucrado al mantenimiento como protección y/o recomendación de dicho estudio, de un total de escenarios que se consideran, pueden efectuarse en dicha Planta petroquímica. Cabe mencionar que en algunos escenarios, en los que las protecciones y recomendaciones no se referían directamente al mantenimiento como tal, sí cubrían, por otro lado, tareas o funciones que el Sistema TPM comprende dentro de sus principios básicos; es decir, que si bien no se trataba de funciones específicas de mantenimiento, la implementación del sistema como tal, cubriría automáticamente estos otros aspectos, tales como: capacitación a todo el personal involucrado en la producción de la planta en aspectos relacionados al mantenimiento en general, seguridad y buenas prácticas, asesoramiento de especialistas en la materia, manejo estadístico de incidentes como se realiza en la Norma ISO, entre otras.



Tabla 5.1 Nodos seleccionados para el análisis TPM de escenarios de riesgo de la Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios (U-7). “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.

No. Nodo	Nombre	No. de Escenarios con Recomendaciones y/o Protecciones referentes a Mantenimiento.	No. Total de Escenarios.	Porcentaje de Escenarios referentes al Mantenimiento.
1	Línea de carga (límite de batería a bomba de carga 7GM-1A/B, bomba de carga 7GM-1A/B, precalentadores de carga 7E-1A/H)	6	9	66.6
2	Calentador de Carga 7F-1	5	6	83.3
3	Reactor 7C-1	10	11	90.9
5	Separador de alta presión 7C-3	6	6	100
12	Torre Fraccionadora 7C-6	6	6	100

CONCLUSIONES.

Por lo descrito anteriormente, se puede llegar a la conclusión que este trabajo de tesis comprueba la Hipótesis a la que fue sometido dicho estudio. Así pues, se comprueba que en un estudio HazOp para una planta petroquímica, el mantenimiento es una tarea de gran relevancia en la prevención de riesgos, pues ya sea como una protección ya implementada, o una recomendación a implementar, es una actividad fundamental y que debe realizarse en cualquier planta de este tipo, y por qué no decirlo, en cualquier empresa que involucre equipos y maquinaria. Por otro lado, siendo esta actividad vital en la producción misma, el Sistema de Mantenimiento Productivo Total, es una herramienta muy valiosa que se enfoca en el mantenimiento, pero desde el enfoque organizacional, de capacitación, motivacional, de calidad y con una cultura laboral más eficiente. En



dicho sistema, debe existir la participación activa de todos los involucrados en la producción, desde la Alta Dirección, hasta los operadores de menor rango, debe mantenerse una mayor coordinación y comunicación para realizar las tareas de manera más eficiente.

De esta manera, se concluye que esta metodología es ampliamente aplicable a cualquier industria química que cuente con equipo y maquinaria involucrada en su proceso. Es por ello, que esta tesis plantea la necesidad del uso de este tipo de Sistemas de Calidad como el TPM, en las industrias y empresas, en las que se requiere un manejo adecuado de sus recursos humanos vistos como entes complejos que son parte de un sistema aún más complejo, dicho de otro modo, son parte de un sistema al que debe tratarse con un enfoque sistémico. Se requieren mayores especialistas de todas las áreas que tengan conocimiento de todas y cada una de las actividades de la planta (“todos saben todo”), para que con ello el mantenimiento no sólo sea de los especialistas en mantenimiento, sino de cualquiera de los involucrados en la producción. El mantenimiento debe ser organizacional y promover la calidad en cada individuo, efectuado por cualquiera de los que laboran en la planta, debe ser un compromiso común y fomentar la participación de cualquiera, así como la comunicación interna y externamente.

De manera que esta tesis propone que un sistema concebido originalmente para mantenimiento (orientado en principio hacia el incremento de la productividad), puede funcionar –adicionalmente y de manera considerable- como una efectiva técnica de prevención de riesgos en las empresas. Se propone una metodología que ayude a minimizar factores de riesgo en plantas de proceso, a partir de un Sistema de Mantenimiento Productivo Total.

Es aquí donde surge la inquietud de echar mano a este tipo de herramientas, que en países de primer mundo han ayudado a incrementar los niveles productivos y eficientar el trabajo humano. Es aquí donde la sociedad laboral debe comprometerse a dejar de lado viejos vicios y manías que sólo retrasan el avance



tecnológico, social y cultural del país, reflejándose en un retroceso en las políticas laborales y limitando el crecimiento económico del mismo.

Es importante resaltar la necesidad de implementar este tipo de sistemas administrativos y de calidad en las industrias en México, y en particular en las industrias químicas, en las que el manejo de sustancias peligrosas incrementa considerablemente el grado de riesgo, por lo que se hace imprescindible contar con un mayor número de profesionales especialistas en este tipo de sistemas en el país. Poner en práctica, a corto plazo en la industria nacional estas nuevas filosofías de calidad, se antoja muy difícil en estos momentos en el que el desarrollo de las mismas en otros países, como China, Japón y sus vecinos, se encuentra muy avanzado. A estas alturas, en las que la globalización, y la integración de mercados regionales parece ser el denominador común, probablemente México obtendría mayores beneficios sociales y económicos de la utilización amplia y adecuada de estas herramientas de competitividad, productividad y eficiencia, que si se fomenta únicamente la creación de una cultura de calidad nacional.

Lo ideal sería contar con un grupo de excelentes innovadores, otro de especialistas competentes e interlocutores técnico-aplicativos; y muchos usuarios educados dentro de una Cultura de calidad básica muy difundida.

El papel de las Universidades en este contexto, es fundamental, no sólo como formadoras de recursos humanos para el sector, sino como las instituciones donde, de manera natural, se puede realizar investigación en estas áreas administrativas de la Ingeniería.

Los académicos, por su parte, se encuentran obligados, en este sentido, a capacitarse, tanto o más que los alumnos, para no quedarse rezagados en sus propios métodos de enseñanza, pero sobre todo para mantener un aceptable nivel de interacción con sus alumnos en el aprovechamiento de estas nuevas herramientas o Sistemas de Calidad.

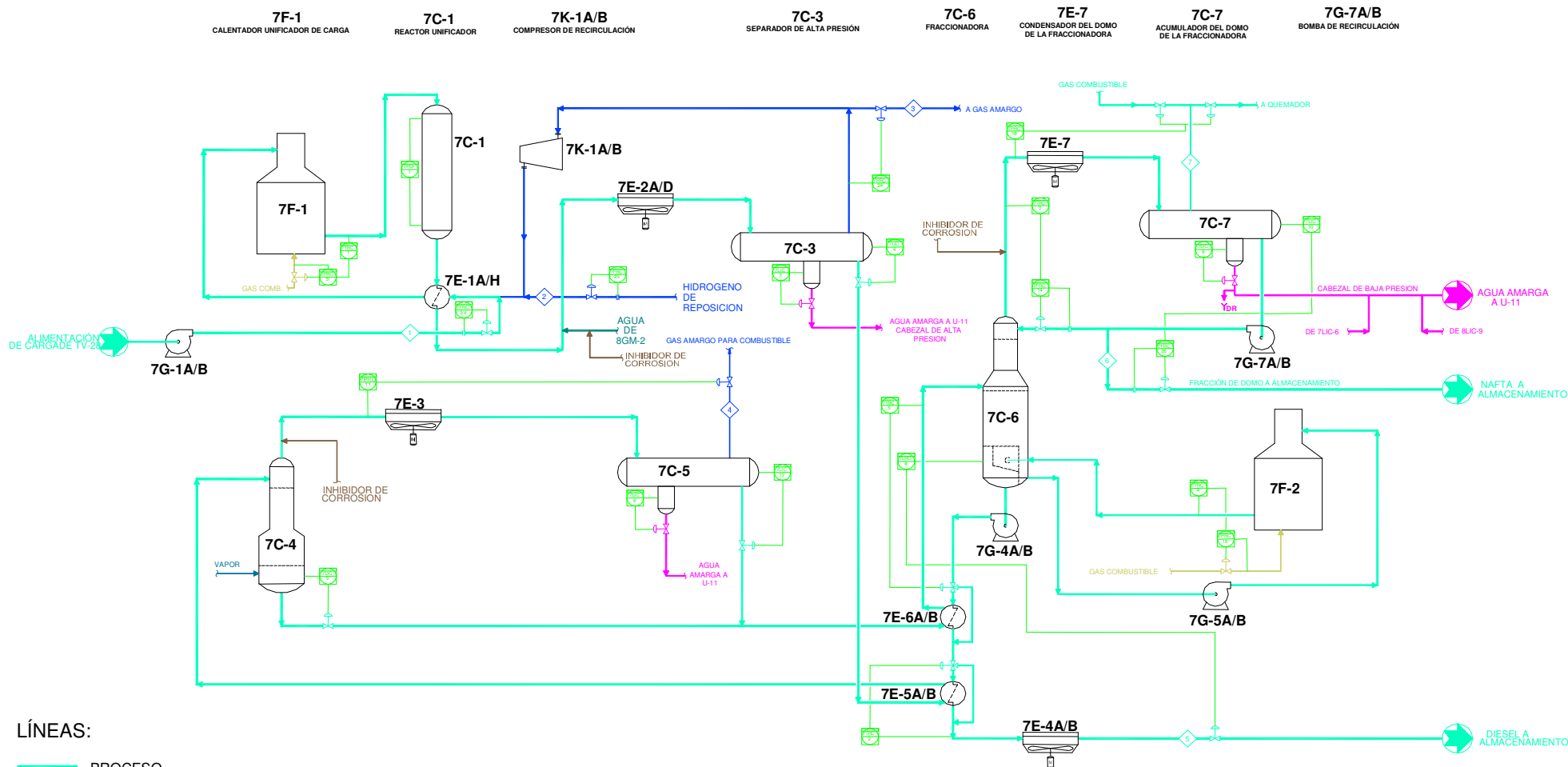


A N E X O I .

- **Diagrama de Proceso de la Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios “U-7”. Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.**
- **Diagrama de Nodos de la Planta Hidrotratadora de Destilados Intermedios “U-7”. Refinería “Ing. Antonio M. Amor”, Salamanca, Gto.**



ANEXO I



LÍNEAS:

- PROCESO
- HIDRÓGENO
- INSTRUMENTACIÓN
- GAS AMARGO

7G-1A/B
BOMBA DE CARGA

7E-1A/H
INTERCAMBIADOR
EFLENTE/ALIMENTACIÓN

7E-2A/D
ENFRIADOR DE EFLENTE

7E-6A/B
INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL
FONDO Y LA ALIMENTACIÓN DEL
FRACCIONADOR

7G-4A/B
BOMBA DE ALIMENTACIÓN
A LA TORRE AGOTADORA

7F-2
REHERVIDOR DE LA FRACCIONADORA

7C-4
TORRE AGOTADORA

7E-3
CONDENSADOR DEL
DOMO DEL AGOTADOR

7C-5
ACUMULADOR DEL
DOMO DEL AGOTADOR

7E-5A/B
INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL
FONDO Y LA ALIMENTACIÓN DEL
AGOTADOR

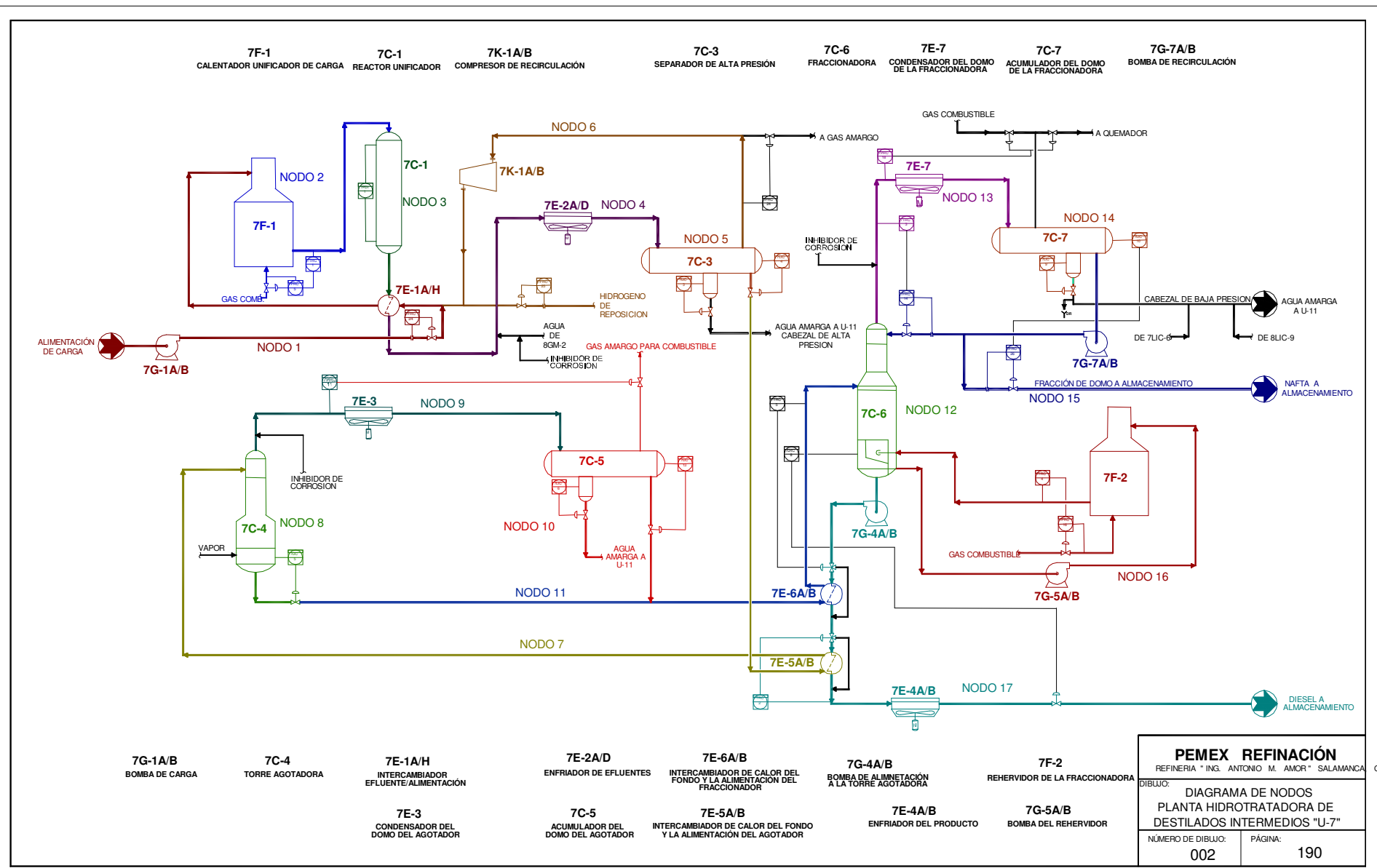
7E-4A/B
ENFRIADOR DEL PRODUCTO

7G-5A/B
BOMBA DE ALIMENTACIÓN
AL REHERVIDOR

EMPRESA: CLIENTE	
DIBUJO: DIAGRAMA DE PROCESO PLANTA HIDROTRATADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS "U-7"	
NÚMERO DE DIBUJO: 001	PÁGINA: 189



ANEXO I



- | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|---|---|--|--|---|
| 7G-1A/B
BOMBA DE CARGA | 7C-4
TORRE AGOTADORA | 7E-1A/H
INTERCAMBIADOR EFLENTE/ALIMENTACIÓN | 7E-2A/D
ENFRIADOR DE EFLUENTES | 7E-6A/B
INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL FONDO Y LA ALIMENTACIÓN DEL FRACCIONADOR | 7G-4A/B
BOMBA DE ALIMENTACIÓN A LA TORRE AGOTADORA | 7F-2
REHERVIDOR DE LA FRACCIONADORA |
| | | 7E-3
CONDENSADOR DEL DOMO DEL AGOTADOR | 7C-5
ACUMULADOR DEL DOMO DEL AGOTADOR | 7E-5A/B
INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL FONDO Y LA ALIMENTACIÓN DEL AGOTADOR | 7E-4A/B
ENFRIADOR DEL PRODUCTO | 7G-5A/B
BOMBA DEL REHERVIDOR |

PEMEX REFINACIÓN	
REFINERÍA "ING. ANTONIO M. AMOR" SALAMANCA GTO.	
DIBUJO: DIAGRAMA DE NODOS PLANTA HIDROTRATADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS "U-7"	
NÚMERO DE DIBUJO: 002	PÁGINA: 190



BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS:

1. BESTRATÉN Belloví, M. y Gil A.(1995). **Seminario sobre Gestión, Organización y Economía de la Prevención en la Empresa.** Ed. INSHT. MINTRAB. España.
2. BESTRATÉN Belloví, M. et al (1990). **Seguridad en el Trabajo.** Ed. INSHT. MINTRAB. España.
3. CAMALEÑO C. (1998). **Mejora radical, ahorros y economías de un Sistema de Gestión Integrada de Prevención de Riesgos.** Capital Humano Nro. 116, pág. 44
4. GARCÍA, J. (1989). **Protección e Higiene del Trabajo.** Universidad de Matanzas. Cuba.
5. HERNÁNDEZ J. (1998). **Factores Humanos y Seguridad.** MINBAS.UE. Cuba.
6. LIND, N C.(1989) **El Riesgo en la Sociedad Tecnológica Moderna.** Mapfre Seguridad. Nro. 34. Segundo Trimestre. España.
7. MANSO L. et al (1998). **Seguridad y Salud en el Trabajo. Capital Humano** Nro. 116, pág. 32 España.



8. MARTÍNEZ, M A. (1991). Criterios económicos en la inversión de Seguridad MAPFRE Seguridad. Nro. 41. Primer Trimestre. España.
9. MORÉ G. y Carmentate, G.(1996). Gestión de Recursos Humanos. MINTRAS. Cuba.

ARTÍCULOS:

1. **American Institute Chemical Engineer, Aiche**. Curso de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp". (1998)
2. **Center for Chemical Process Safety**. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. AIChE. Nueva York. 1989.
3. **Crowl, D. A. y Louvar, J. F.** Chemical Process Safety, Fundamentals With Applications Prentice Hall. Englewood Cliffs. 1990.
4. **Dow Chemical Company – AIChE**. Dow's Fire and Explosion Index Hazard Clasification Guide. 6ª. Edit. American Institute of Chemical Engineers. New York.
5. **Hauptmanns, U.** Análisis de Árbol de Fallos. De Bellaterra Barcelona. 1986.
6. **Lezana G., Emilio**. Director- Gerente de T.M.I., S.L. TPM en la Industria Química. Ingeniería Química, Octubre, 1998.



7. **Prugh, R. W.** Application of Fault Tree Analysis. Chemical Engineering Progress. 1980.
8. **R.M. Sherrod and W.F. Early.** Risk Assessment and Risk management for the chemical process industry, Hazard and Operability Studies. Van Nostrand Reinhold. pp.112. 1991.
9. **Santamaría, J. M. y Braña, P. A.** Análisis y reducción de Riesgos en la Industria Química. Fundación MAPFRE. Barcelona. 1994.
10. **Toledo, A. Javier y Dorce, M. A.** Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL. Guía técnica, 1994.

TESIS:

1. **DOMÍNGUEZ, Jessica M.** Análisis de Riesgos en la Sección de Reacción, Estabilización y Lavado Caústico de una Planta de Isomerización. México, 2002.
2. **RODRÍGUEZ, Julieta P.** Evaluación Cuantitativa de los Riesgos en Administración de Proyectos. México, 2003.



PÁGINAS ELECTRÓNICAS:

1. CELA, Camilo José. **Dinámica Heurística**. Accesible en: <http://www.heuristicos.com/scrri/hazopconceptos.htm>. Cursos interactivos virtuales, México, 2005. Fecha de consulta: 04/02/05.
2. CONAMYPE© 2005. **Herramientas de Gestión para MIPYMEs**. Disponible en: http://www.conamype.gob.sv/cajadeherramientas/mipymes/como_admin/mantenimiento.htm. San Salvador, El Salvador. Fecha de consulta: 07/06/05.
3. EL PRISMA. **Apuntes de Ingeniería Industrial**. Disponible en: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=apuntes.asp>. Fecha de consulta: 16/05/05.
4. FONG, A. Isabel **El Petróleo y su Proceso de Refinación**. Artículo consultado en: www.monografias.com/trabajos5/petroleo/petroleo.shtml. Fecha de consulta: 17/07/05.
5. GONZÁLEZ, J. Guadalupe. **Artículos de Gestión de Mantenimiento**. Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20mantenimiento.htm>. Fecha de consulta: 15/05/05.
6. GÓMEZ, Samuel R. **Mantenimiento Productivo Total TPM**. Con dirección electrónica: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp>. Fecha de consulta: 30/05/2005.
7. GRUPO PIRELLI, **TPM**. Página Web disponible en: www.ar.pirelli.com/tpm.jhtml. Fecha de consulta: 18/05/05.



8. LEES, Frank P. **Loss Prevention in the Process Industries.** Portal de consulta en: http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm. Fecha de consulta: 03/04/05.
9. LEFCOVICH, Mauricio. **TPM – Mantenimiento Productivo Total. Un paso más hacia la excelencia empresarial.** Trabajo publicado en www.ilustrados.com. Fecha de consulta: 16/05/05.
10. LÓPEZ, Carlos A. **Aseguramiento de la Calidad y Sistemas de Calidad.** Sitio Web disponible en la siguiente dirección: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=sistemas+de+calidad.htm>. Fecha de consulta: 05/06/05.
11. LUNA, Jerónimo P. **Pasos hacia un Sistema de Calidad.** Página Web: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=sistemas+de+calidad>. Fecha de consulta: 15/06/05.
12. MOLINA, José G. **Mantenimiento y Seguridad Industrial.** Disponible en: <http://search.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=seguridad+industrial>. Fecha de consulta: 27/04/05.
13. MONOGRAFÍAS. **Cursos de Mantenimiento y Seguridad Industrial online.** Portal de consulta en Internet disponible en: http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=cursos_gratis_seguridad_industrial.htm. Fecha de consulta: 18/05/05.



14. ROSAS, Ernesto L. **Propuesta para la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM).** Disponible en: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=mantenimiento+tpm>. Fecha de consulta: 17/05/05.
15. RUIZ, Erick. **El Petróleo y su Proceso de Refinación.** Artículo disponible: <http://keyword.netscape.com/ns/boomframe.jsp?query=funcionamiento+plantas+hidrotratadoras.shtml>. Fecha de consulta: 11/07/05.
16. WIKIPEDIA. **¿Qué es el Mantenimiento Productivo Total?**. Portal electrónico de consulta variada, en: <http://es.wikipedia.org/wiki/TPM>. Fecha de consulta: 16/05/05.
17. ZAPATA H., Jorge A. **Mantenimiento.** Artículo consultado en: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/MANTEMIMIENTO.doc>. Fecha de consulta: 17/05/05.