

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MYPIMES DE PRODUCCIÓN
QUE SUBCONTRATAN MANTENIMIENTO.

CESAR AUGUSTO GONZALEZ DIAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2010

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MYPIMES DE PRODUCCIÓN
QUE SUBCONTRATAN MANTENIMIENTO.

CESAR AUGUSTO GONZALEZ DIAZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de Especialista
en Gerencia en mantenimiento

Director
Luis Alberto Mora
Ingeniero Mecánico
Ph.D. Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios, inspiración y dirección en todos los momentos de mi vida, fortaleza y perseverancia en los momentos difíciles. Artífice de todos mis logros y aprendizajes.

A mis padres y hermanos, ya que sin su apoyo y aliento esta meta no se habría cumplido.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	14
1. PYME y MIPYME	16
1.1 DEFINICION	16
1.1.1. Mediana empresa.....	16
1.1.2. Pequeña empresa	16
1.1.3. Microempresa.....	16
1.2. LAS PYMES	17
1.3. REPRESENTACION DE LAS PYMES EN COLOMBIA.....	18
1.4. PLAN DE EFICIENCIA EN LAS PYMES.	19
2. MANTENIMIENTO	21
2.1. DEFINICION DE MANTENIMIENTO.	21
2.2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO.....	22
2.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.....	23
2.4 CATEGORIZACION DEL MANTENIMIENTO.....	23
3. PRIMERA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.	26
3.1 IMPLEMENTACION DE LAS 5'S.....	26
3.1.1 SEIRI.....	26
3.1.2 SEITON.....	27
3.1.3 SEISO	28
3.1.4 SEIKETSU	31
3.2 DETERMINACION DE LA CRITICIDAD DE EQUIPOS.....	34
3.2.1 FORMATO DE ENCUESTA DE CRITICIDAD.....	37
3.2.2 APLICATIVO EXCEL CRITICIDAD.	39
4. SEGUNDA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.....	40
4.1 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.	40
4.1.1 DEFINICIONES.....	40
4.1.2 Formato de Encuesta FMEA.....	44
4.1.3 Formato FMEA.....	45
4.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO.	51
4.2.1 Severidad.....	51

4.2.2	Ocurrencia.....	54
4.2.3	Detección.	54
4.2.4	Valoración de los componentes del RPN.	55
4.3	APLICATIVO EN EXCEL.....	58
5.	TERCERA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.	61
5.1.	DISPONIBILIDAD	61
5.1.1.	Definición	61
5.1.2.	Importancia.	62
5.1.3.	Estado de funcionamiento de un equipo.	62
5.2.	MEDIDAS DE DISPONIBILIDAD.....	63
5.2.1.	Disponibilidad Genérica, Dg.....	63
5.3.	APLICATIVO EXCEL.....	66
5.4.	APLICATIVO MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	67
6.	PRUEBAS PREDICTIVAS A EQUIPOS.	70
6.1.	Vibraciones.	70
6.2.	Termografía.	73
6.3.	Tintas Penetrantes.....	75
6.4.	Radiografía Industrial.....	76
6.5.	Ultrasonido.....	78
6.6.	Partículas magnéticas.....	80
6.7.	Ondas guiadas.....	83
6.8.	MCE max (Equipo).....	84
6.9.	Diagnostico SPT e instalaciones eléctricas.	85
6.10.	Calidad de la energía.....	86
7.	CONCLUSIONES.	88
	BIBLIOGRAFIA.....	90

TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Accidente con baja en jornada de trabajo según grado y tipo de lesión. .	30
Tabla 2. Tabla de colores de seguridad.	32
Tabla 3. Símbolos de seguridad	33
Tabla 4. Parámetros del análisis de criticidad.	35
Tabla 5. Parámetros del análisis de criticidad	37
Tabla 6. Análisis de los modos y los efectos de la falla, formato 1.....	44
Tabla 7. Análisis de los modos y reparación de la falla, formato 2.....	45
Tabla 8. Formato 1 FMEA planteados para carpetas de información (Continuación)	47
Tabla 9. Formato 2 FMEA planteados para carpetas de información.....	49
Tabla 10. Formato 3 FMEA planteados para carpetas de información.....	50
Tabla 11. Parámetros del RPN.....	55
Tabla 12. Formato RPN para modos de falla.(Continuación)	56

ILUSTRACIONES

	Pag.
Ilustración 1. Número de de empresas según tamaño E.A.M. del DANE	18
Ilustración 2. Categorización del mantenimiento.....	24
Ilustración 3. Accidente con baja en jornada de trabajo según grado y tipo de lesión	30
Ilustración 4. Adaptación de la matriz de criticidad.	38
Ilustración 5. Aplicativo Excel.....	39
Ilustración 6. Formato de almacenamiento de fallos.	58
Ilustración 7. Formato RPN. (Continuación).....	58
Ilustración 8. Formato RPN.....	59
Ilustración 9. Presentación del código del la falla.....	60
Ilustración 10. Tiempos de falla, funcionamiento, y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo.	62
Ilustración 11. Aplicativo Disponibilidad.	66
Ilustración 12. Matriz RPN, Criticidad y RPN.	67
Ilustración 13. Tabla de almacenamiento de datos.	68
Ilustración 14. Tabla de almacenamiento de datos.	68
Ilustración 15. Aplicativo de mantenimiento predictivo.....	69
Ilustración 16. Espectro de vibraciones de un rotor desbalanceado.	70
Ilustración 17. Rangos de severidad de vibración para máquinas pequeñas (clase i), máquinas de Tamaño mediano (clase ii), grandes máquinas (clase iii), y turbomáquinas (clase iv).	71
Ilustración 18. Imagen Termografica (Continuación).....	73
Ilustración 19. Imagen de una grieta vista con luz normal y con luz normal.	75
Ilustración 20. Radiografía de soldadura, falta de penetración en junta.....	77
Ilustración 21. Componentes de un equipo de ultrasonido.	79

Ilustración 22. Espectro de ultrasonido	79
Ilustración 23. Prueba de partículas magnéticas.....	81
Ilustración 24. MCEmax (Continuación).....	84

ECUACIONES

	Pag.
Ecuación 1	34
Ecuación 2	34
Ecuación 3	51
Ecuación 4	52
Ecuación 5	63
Ecuación 6	63
Ecuación 7	64
Ecuación 8	64
Ecuación 9	64
Ecuación 10	65
Ecuación 11	65

RESUMEN

TÍTULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MYPIMES DE PRODUCCIÓN QUE SUBCONTRATAN MANTENIMIENTO*.

AUTOR: CESAR AUGUSTO GONZALEZ DIAZ. **

PALABRAS CLAVES: Criticidad, FMEA, RPN, disponibilidad, Pruebas predictivas END.

DESCRIPCION: La presente monografía tiene como fin entregar un aplicativo en Excel que facilite las tareas en el área de mantenimiento predictivo, presentando índices como la criticidad, RPN, disponibilidad y adicionalmente una base de datos de consulta FMEA

En el capítulo 1 se presentan las generalidades de las PYMES y la Mypimes, como las características, tamaño, incidencia entre otras. Adicionalmente menciona un proyecto en el que la eficiencia energética, será uno de los principales objetivos de inversión, excluyendo como base de mejora, el mantenimiento. En el capítulo 2 se presentan los conceptos, definición e importancia del mantenimiento.

En los capítulos posteriores, se presentan 3 fases de implementación, en la primera se plantea la implementación de las 5's, en búsqueda de herramientas que faciliten la ejecución de labores de mantenimiento; adicionalmente se presenta el formato de encuesta y aplicativo para la determinación de la criticidad de equipos que intervienen en el proceso productivo. En la segunda fase, con el análisis de modos y efectos de fallas, se busca fortalecer el departamento de mantenimiento al igual que personal que interviene en el proceso productivo, esto gracias a los formatos de FMEA, con los que se integraran cuadernillos de capacitación y estudio de los elementos del proceso. A su vez se determina el valor total de riesgo de cada máquina, con el fin de focalizar los esfuerzos de mantenimiento.

En los últimos capítulos como fase final, se plantea, la determinación de la disponibilidad de los equipos, jerarquizándolos con el fin de considerar alguna de las pruebas de mantenimiento predictivo planteadas en el capítulo 6 y finalmente se plantean los formatos de encuesta y aplicativo de mantenimiento predictivo.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director: Luis Alberto Mora

SUMMARY

TITLE: PLAN OF PREDICTIVE MAINTENANCE FOR MYPIMES OF PRODUCTION THAT SUBCONTRACT MAINTENANCE.*

AUTHOR: CESAR AUGUSTO GONZALEZ DIAZ.**

KEY WORDS: Criticidad, FMEA, RPN, disponibilidad, Pruebas predictivas END.

DESCRIPTION: The Present monograph has as end deliver the applicative one in Excel that facilitates the tasks in the area of predictive maintenance, presenting indexes as the criticidad, RPN, availability and additional a database of consultation FMEA

In Chapter 1 provides a general overview of SMEs and Mypimes, such as features, size, incidence among others. Also mentions a project in which energy efficiency will be one of the main objectives of investment, excluding as a basis for improvement, maintenance. In Chapter 2 the concepts, definition importance of maintenance.

In the subsequent CHAPTER, there are three implementation phases, the first considers the implementation of the 5's, in search of tools that facilitate the execution of maintenance and additionally presents the survey form and applied for the determination criticality of equipment involved in the production process. In the second phase, the analysis of failure modes and effects, is to strengthen the maintenance department as well as personnel involved in the production process, this thanks to the FMEA formats, with booklets that integrated training and study of the elements of the process. Turn determines the total value of risk for each machine, in order to focus maintenance efforts.

In recent CHAPTER as the final phase, is considered, the determination of the availability of teams, ranked in order to consider some of the predictive maintenance tests raised in Chapter 6 and finally arise survey formats

* Work degree.

** Faculty of engineerings physicist mechanics. School of mechanical engineering. Directress: Luis Alberto Mora

INTRODUCCION

Con la finalidad de implementar las micro, pequeñas y medianas empresas el gobierno nacional expidió la Ley No. 590 del 20 de julio del 2000, con el fin de incrementar sus aptitudes para la generación de empleo, el desarrollo regional, la integración entre sectores económicos, el aprovechamiento productivo de pequeños capitales y teniendo en cuenta la capacidad empresarial de los colombianos.

La MIPYME en el panorama empresarial colombiano representan el 96.4% de los establecimientos, aproximadamente el 63% del empleo; el 45% de la producción manufacturera, el 40% de los salarios y el 37% del valor agregado.

Como consecuencia de la globalización, las MYPIMES se ven en la necesidad de posicionar sus productos en los primeros lugares, con estándares de calidad superior. Una manera para alcanzar esta meta, es buscar altos índices de eficiencia, eficacia y efectividad, trabajando en pro de la productividad de las organizaciones (de procesos y de personas) y de esta manera posicionarla como una empresa competitiva y con tecnología de punta. El gobierno previendo tal necesidad crea el fondo Colombiano de modernización y desarrollo Tecnológico de las micro, pequeñas y medianas empresas, fomipyme, como una cuenta adscrita al Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, manejada por encargo fiduciario, sin personería jurídica ni planta de personal propia, cuyo objeto es la financiación de proyectos, programas y actividades para el desarrollo tecnológico de las Mipymes y la aplicación de instrumentos no financieros dirigidos a su fomento y promoción.

En busca de hacer más eficientes las PIMES en aspectos como el consumo y optimización energética, el con el auspicio del banco BBVA fomenta un programa de eficiencia energética, llamado greenpyme. Los estudios de eficiencia energética

están enfocados a encontrar falencias de diseño tanto eléctrico como mecánico y la disposición de los equipos, de esta manera encontrar un punto óptimo de trabajo con el mínimo de pérdidas.

Dentro de las bases de datos de los diferentes estudios de eficiencia energética realizados por Applus Norcontrol³, se encontraron varias recomendaciones enfocadas al correcto mantenimiento de equipos y elementos, por ejemplo, ajustes de rodamientos, engrase de elementos, limpieza, retorqu coastos, etc. En algunas de estas empresas no funciona un área o departamento de mantenimiento, en lugar de este, el operario de la máquina se encarga de realizar el mantenimiento, en caso de desconocer la falla del equipo, se subcontrata el mantenimiento, con el agravante que el contratista entrega un formato con la tarea ejecutada en la máquina y las recomendaciones de mantenimiento, pero no hay un historial y estudios que permitan ejecutar la trazabilidad del mantenimiento y adecuar un programa de mantenimiento predictivo.

³ Empresa privada de consultoría en ingeniería.

1. PYME y MIPYME.

1.1 DEFINICION⁴.

Para todos los efectos, se entiende por micro incluidas las famiempresas pequeña y mediana empresa, toda unidad de explotación económica, realizada por persona natural o jurídica, en actividades empresariales, agropecuarias, industriales, comerciales de servicios, rurales o urbanos, que responda a dos (2) de los siguientes parámetros

1.1.1. Mediana empresa.

- Planta de personal entre cincuenta y uno (51) y doscientos (200) trabajadores, o
- Activos totales por valor entre cinco mil uno (5.001) a treinta mil (30.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.

1.1.2. Pequeña empresa

- Planta de personal entre once (11) y cincuenta (50) trabaja-dores.
- Activos totales por valor entre quinientos uno (501) y menos de cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.

1.1.3. Microempresa

- Planta de personal no superior a los diez (10) trabajadores o,
- Activos totales excluida la vivienda por valor inferior a quinientos (500) salarios mínimos mensuales legales vigentes.

⁴ Art. 2 Ley 590, 10 de Julio del 2000

1.2. LAS PYMES

Las Pymes en general y las dedicadas al sector industrial en particular, comenzaron a adquirir importancia dentro de la economía argentina en los años 50'y 60' durante la vigencia del modelo de sustitución de importaciones, tan criticado como admirado por los distintos autores especializados. Para el caso a que hacemos referencia, el modelo exhibió gran dinamismo lo que les permitió, en un contexto de economía cerrada y mercado interno reducido realizar un "proceso de aprendizaje" con importantes logros aunque con algunas limitaciones en materia de equipamiento, organización, escala, capacitación, información, etc. En Colombia desde principios de la década de los 60, el gobierno muestra interés por las PYMES por ser unidades de producción flexibles y con componente importante de utilización de mano de obra en muchos sectores de la economía, por lo que se fueron incorporando como elemento para estímulo en la formulación de los planes de desarrollo de los diferentes gobiernos; a mediados de la década de los sesenta, se crea el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT), la Corporación Financiera Popular y el Fondo para el Desarrollo Tecnológico como un primer impulso a las PYMES. Pero es solo a mediados de los años ochenta, cuando se les brinda a esta clase de empresas un apoyo mas intensivo con la promulgación de la Ley 78 de 1988 "Ley de Fomento para la micro ,la pequeña y mediana industria", considerando que se incorporan formalmente como objetivo de una política estatal, al crear por ejemplo organismos de apoyo al sector como el "Consejo Asesor de Política para la PYME" adscrito al Ministerio de Desarrollo Económico, destinado en buena parte a definir el otorgamiento de subsidios para apoyar la transformación tecnológica. Posteriormente surge la Ley 590 de 2000, modificada actualmente por la Ley 905 del 2004, mediante las cuales se presentan clasificaciones y lineamientos para el manejo y desarrollo de las PYMES.

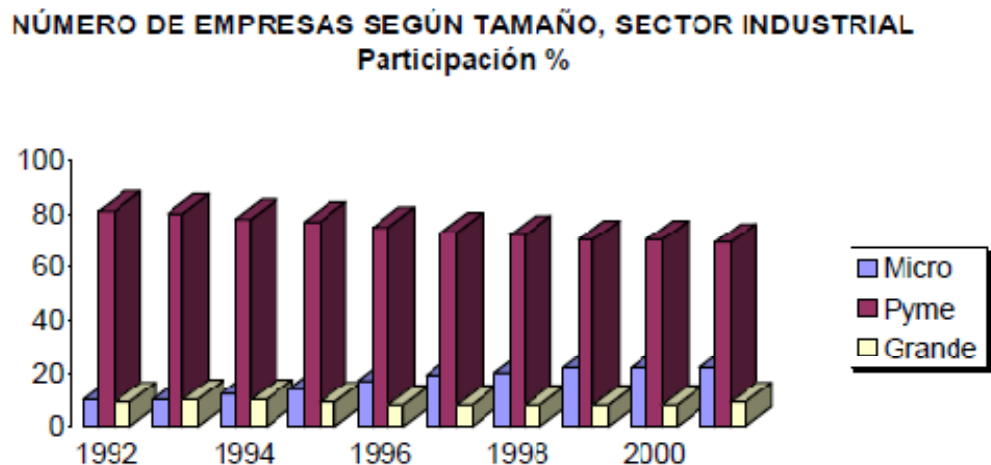
En el caso colombiano, sin embargo han existido limitaciones en términos de información para hacer seguimiento al comportamiento de las PYMES, considerando que la información del DANE derivada de la Encuesta Anual Manufacturera esta disponible desde 1990 al 2001 y la Encuesta Anual de

Comercio y la Encuesta Anual de Servicio están desde 1995 al 2001. La información de la Supersociedades presenta una diferencia significativa en número de empresas con relación a la información anterior y esta disponible entre 1995 y 2002 solo para el sector de Industria. Fedesarrollo por su parte realiza desde 1979 una encuesta de opinión empresarial entre 1100 empresas con un promedio de respuesta de 33%⁵

1.3. REPRESENTACION DE LAS PYMES EN COLOMBIA.

A pesar de las dificultades en términos de información, los análisis de desempeño de estas empresas han permitido afirmar que la actividad empresarial en Colombia, por lo que cambios en su comportamiento requieren un constante seguimiento (Ilustración 1).

Ilustración 1 Número de de empresas según tamaño E.A.M. del DANE



Fuente: Tomado de Arbeláez, Zuleta, Velasco, “Las Micro, pequeñas y medianas empresas en Colombia: diagnóstico general y acceso a los servicios financieros”. Septiembre del 2003.

⁵ Arbelaez, Maria Angélica. Las MIPYMES en Colombia: diagnostico general y acceso a los servicios financieros. Fedesarrollo

1.4. PLAN DE EFICIENCIA EN LAS PYMES.

Greenpyme, el programa de apoyo a la eficiencia energética creado por la Corporación Interamericana de Inversiones (CII) a finales de 2008, se presenta en Colombia. La iniciativa tiene como objetivo promover la eficiencia energética en las pymes a través de la reducción del consumo de energía, manteniendo los niveles de actividad y de calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en el uso de la energía.

En lanzamiento de Greenpyme en Colombia está copatrocinado por la CII y BBVA Colombia y ha reunido además del apoyo del Ministerio de Minas y Energía, a través de la participación en los talleres de la Unidad de Planeación Minero Energética, la experiencia de empresas internacionales comprometidas con el fomento de la sostenibilidad, como son Applus Norcontrol, Telefónica, Zeroemissions y Creara Consultores, que además actúa como coordinador técnico de las jornadas.

La presentación del programa en Colombia contará con intervenciones de representantes de las instituciones y empresas involucradas sobre distintos aspectos relacionados con la eficiencia energética y la competitividad empresarial, como por ejemplo la aportación de las nuevas tecnologías, la financiación de estos proyectos de eficiencia energética o el análisis de experiencias reales.

Las empresas participantes en el programa Greenpyme Colombia que cumplan determinados criterios de elegibilidad y sean seleccionadas por su potencial de ahorro energético podrán recibir de la CII, sin costo, asistencia para la realización de auditorías energéticas y análisis técnicos y de viabilidad para la adopción de tecnologías limpias.

Por su parte, BBVA Colombia, comprometido con el desarrollo del sector empresarial, el apoyo a las pymes y la conservación del medio ambiente, ha decidido unirse a esta iniciativa a través de la financiación de proyectos adelantados por las pequeñas y medianas empresas nacionales encaminadas a disminuir el gasto energético, incrementar la productividad y contribuir a la preservación del medio ambiente.

2. MANTENIMIENTO

Diferentes investigadores presentan al mantenimiento como parte fundamental en el área productiva, administrativa, logística. En la actualidad el mantenimiento ha superado las barreras de la industria para llegar a ser un término aplicable a nuestra vida diaria, ya que no se requiere ser un experto conocedor del tema para aplicarlo.

El conocer determinado procedimiento o funcionamiento confiere al hombre la necesidad de conservarlo, pero a lo largo de la historia, dicha necesidad promueve una nueva rama de estudio llamada mantenimiento, la cual evoluciona en el sector industrial y cronológicamente se ubica antes de 1950 (I etapa del mantenimiento), en la que su enfoque es el producto. En la actualidad nos encontramos en la VI etapa del mantenimiento, enfocada a la gestión y operación integral de activos en forma coordinada.

2.1. DEFINICION DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento es el conjunto armónico de las técnicas utilizadas para asegurar el adecuado funcionamiento de la maquinaria productiva y las instalaciones. En una línea de producción es el conjunto de disposiciones de orden técnico, medios y actuaciones que garantizan la máxima disponibilidad y eficiencia en el cumplimiento de los planes de producción; su eficacia está asociada con la disponibilidad y la confiabilidad con el mínimo costo⁶.

El papel del mantenimiento es el de incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizarse actividades tales como la planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos. Sus funciones van más allá de las reparaciones; su valor se aprecia en la medida en que estas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos⁷

⁶ **Rey Sacristán Francisco**, Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial Tgp Hoshin S.L.

⁷ **Mora Alberto**. Mantenimiento Industrial Efectivo – Editorial COLDI LTDA, 2009.

2.2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO.

En todo proceso productivo, los elementos o maquinaria se encuentran expuestos a agentes internos o externos que deterioran sus componentes, adicionalmente el desgaste que sufre la máquina en su periodo de funcionamiento. En cada parte o unidad de producción se presentan los agentes anteriormente citados, para disminuir su impacto, se hace necesaria una correcta labor de mantenimiento, en la cual se tenga en cuenta, todas las variables que tengan un impacto considerable en los partes constitutivas de la máquina o en el material de esta.

Se hace indispensable contar con un grupo calificado de mantenimiento, un grupo que no solamente tenga como objetivo el funcionamiento de la máquina, con un enfoque netamente correctivo, sino al contrario se requiere un grupo de ingeniería de mantenimiento, que sea capaz de presentar medidas y decisiones predictivas sustentadas con estudios valederos, que permitan que la maquinaria cuente con un alto grado confiabilidad y de esta manera ejercer un valor agregado dentro del ciclo productivo.

En la actualidad las grandes empresas buscan dar a su proceso productivo un nivel de confiabilidad mayor, lo cual contrasta significativamente con algunas pequeñas y medianas empresas, en las que el departamento de mantenimiento es visto como un punto de fuga de capital, esto se debe a que no se cuenta con un departamento de ingeniería de mantenimiento. Contar con personal calificado en el área de mantenimiento es uno de los componentes de éxito de una empresa.

2.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.

El objetivo principal del mantenimiento es el maximizar la disponibilidad, requerida para la producción de bienes y servicios en búsqueda de la preservación de todo lo relacionado en torno a ella. Un plan o estructura de mantenimiento debe contemplar adicionalmente los objetivos complementarios que se citan a continuación, aunque no se expresen de manera explícita:

- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos y materiales, incluyendo recurso humano.
- Optimización de la disponibilidad y confiabilidad de los diferentes equipos involucrados en el proceso administrativo.
- Maximización de la vida útil de la maquinaria y sus componentes.
- Evitar incidentes y accidentes consecuencia de la falla de la máquina o relacionada con esta.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear los costos de mantenimiento respecto al lucro cesante debido a inventarios y elementos relacionados al departamento.

2.4 CATEGORIZACION DEL MANTENIMIENTO.

Se puede definir la categorización del mantenimiento como una metodología en la que por medio de jerarquías se agrupan temáticas conceptuales, de esta manera se facilita su estudio y diferenciación de los temas que lo conforman.

A continuación se mencionan los niveles y categorías del mantenimiento bajo el enfoque sistémico como se aprecia en la Ilustración 2.

Dentro del enfoque sistémico se establece que la relación entre los productores, mantenedores y máquinas, está determinada permanentemente entre la máquina y el mantenimiento-operación, entre estas dos es abierta, esto quiere decir que las

mejores prácticas de trabajo indican que la relación entre mantenimiento y producción, debe hacerse a través de los equipos ya que el personal de producción es conocedora de todos la sintomatología y demás señales que muestra la máquina antes de llegar a falla.

Ilustración 2 Categorización del mantenimiento



Fuente: Mora Alberto Gutierrez, Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento.

Los niveles cuentan con las siguientes características

- **Nivel instrumental:** Abarca todos los elementos reales requeridos para que exista mantenimiento en las empresas, procura el manejo sistémico de toda la información construida (personas, recursos, máquinas...), adicionalmente incluye los elementos necesarios para que existan un sistema de gestión.
- **Nivel operacional:** Engloba a todas las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir de las necesidades y deseos de los demandantes (Acciones preventivas, predictivas...etc.)

- **Nivel táctico:** Contempla las acciones ejercidas en casos particulares, tareas de mantenimiento con un fin determinado, resultado de ello surgen planes de mantenimiento del tipo TPM, RCM,PMO, Clase mundial entre otras.
- **Nivel estratégico:** Lo componen las metodologías que se desarrollan con el fin de evaluar el grado de éxito de las tareas realizadas en el nivel táctico, dentro de este se incluyen índices, rendimientos y demás herramientas que permitan realizar inferencias para alcanzar un mejoramiento continuo.

3. PRIMERA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.

En este capítulo se plantean las bases para la implementación del aplicativo del aplicativo de mantenimiento predictivo. En esta primera fase, se hará referencia a uno de los principios Japoneses *las 5's*, aunque la implementación y ejecución de su metodología no es una labor que se realiza en cortos lapsos de tiempo, adicionalmente requiere la disposición por parte de los operarios y la administración, gracias a las 5's es posible dar el primer paso a la optimización de los diferentes procesos y a el plan de mantenimiento planteado.

Adicionalmente en esta primera fase se analizará la metodología a utilizar para la determinación de la criticidad de los diferentes equipos.

3.1 IMPLEMENTACION DE LAS 5'S

Las 5 S's representan cinco conceptos culturales japoneses, implantados en el ambiente laboral y personal de las empresas japonesas. En las empresas japonesas se busca su implementación, con el fin de aumentar sus sistemas de calidad después de la segunda guerra mundial. Estos conceptos nacen de su raíz religiosa sintoísta y taoísta, que asimilan la limpieza del cuerpo a la limpieza del alma, y se nutren del enfoque budista. A continuación se presentan tres primeros pilares:

3.1.1 SEIRI (*Clasificar*): En los diferentes puestos o lugares de trabajo debe haber sólo lo necesario para desarrollarlo. Todo lo demás, debe estar guardado en el lugar que le corresponde, o ser desechado.

- Propósitos:
 - ✓ Hacer un trabajo fácil al eliminar obstáculos.
 - ✓ Eliminar la concepción de cuidar las cosas que son innecesarias.
 - ✓ Evitar las interrupciones provocadas por elementos innecesarios.
 - ✓ Prevenir fallas causadas por elementos innecesarios.

- Beneficios:
 - ✓ Sitios libres de objetos innecesarios o inservibles.
 - ✓ Más espacios.
 - ✓ Mejor concepción espacial.
 - ✓ Menos accidentes en las áreas de trabajo.
 - ✓ Espacios libres y organizados.
- Normas para Seiri.

Usar tarjetas permite marcar o denunciar que en el sitio de trabajo existe algo innecesario y que se debe tomar una acción correctiva.

- ✓ Tarjetas de Color Rojo: para destacar objetos que no pertenecen al área y deben colorarse lejos del lugar de trabajo o para marcar todo aquello que debe desecharse.
- ✓ Tarjetas de Color Azul: pueden destacar elementos que pertenecen al trabajo realizado, que reducen el espacio en el lugar de trabajo y se debe buscar un sitio mejor para colocarlo.
- ✓ Tarjetas de Colores Intensos: para facilitar su identificación, pueden ser de color fluorescentes, su color ayuda a identificarlos rápidamente aún estando a distancias alejadas.

3.1.2 SEITON (*ordenar*): un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. clasificar los ítems por uso y disponerlos, de esta manera disminuir el tiempo de búsqueda y el esfuerzo. Para hacer esto, cada ítem debe tener una ubicación, un nombre y un volumen designados. Debe especificarse no sólo la ubicación, sino también el número máximo de ítems que se permite.

- Propósitos:
 - ✓ Prevenir las pérdidas de tiempo en la búsqueda de objetos.
 - ✓ Asegurar que lo que entra primero sale primero.

- ✓ Hacer el flujo de producción estable y fácil de trabajar, esto con el fin de evitar retrocesos y además organizar un buen rol de trabajo para eliminar los tiempos de demora.
- ✓ Establecer instrucciones que faciliten la ejecución de las tareas.
- Beneficios:
 - ✓ Facilita el regresar a su lugar los objetos que hemos utilizado.
 - ✓ Ayuda a identificar cuándo falta algo.
 - ✓ Da una mejor apariencia.
- Normas para Seiton:
 - ✓ Organizar racionalmente el puesto de trabajo (proximidad, objetos pesados fáciles de coger)
 - ✓ Definir las reglas de ordenamiento
 - ✓ Hacer obvia la colocación de los objetos:
 - Clasificar los objetos por orden de utilización.
 - De lo que queda, todo lo que se usa menos de una vez por día se deja en el puesto de trabajo
 - De lo que queda, todo lo que se usa menos de una vez por hora está en el puesto de trabajo, al alcance de la mano.
 - Y lo que se usa al menos una vez por hora se coloca directamente sobre el operario.

3.1.3 SEISO (Limpieza): Significa limpiar el entorno de trabajo, incluidas las máquinas y herramientas, lo mismo que pisos, paredes y otras áreas del lugar de trabajo. más importante que limpiar es no ensuciar.

- Propósitos:
 - ✓ Facilitar la elaboración de productos de calidad.
 - ✓ Combinar la limpieza con la inspección de manera que se detecten fallas a tiempo.

- Beneficios:
 - ✓ Alargamiento de la vida útil de los equipos e instalaciones.
 - ✓ Menos accidentes.
 - ✓ Mejor aspecto del lugar de trabajo y de las personas.
 - ✓ Ayuda a evitar mayores daños a la ecología.
- Normas para Seiso:
 - ✓ Limpiar, inspeccionar, detectar las anomalías.
 - ✓ Volver a dejar sistemáticamente en condiciones.
 - ✓ Facilitar la limpieza y la inspección.
 - ✓ Eliminar la anomalía en origen.

Las 3S's anteriores se caracterizan porque después de ejecutadas es notorio el cambio en la PYME, podríamos adjudicar el término de "visuales".

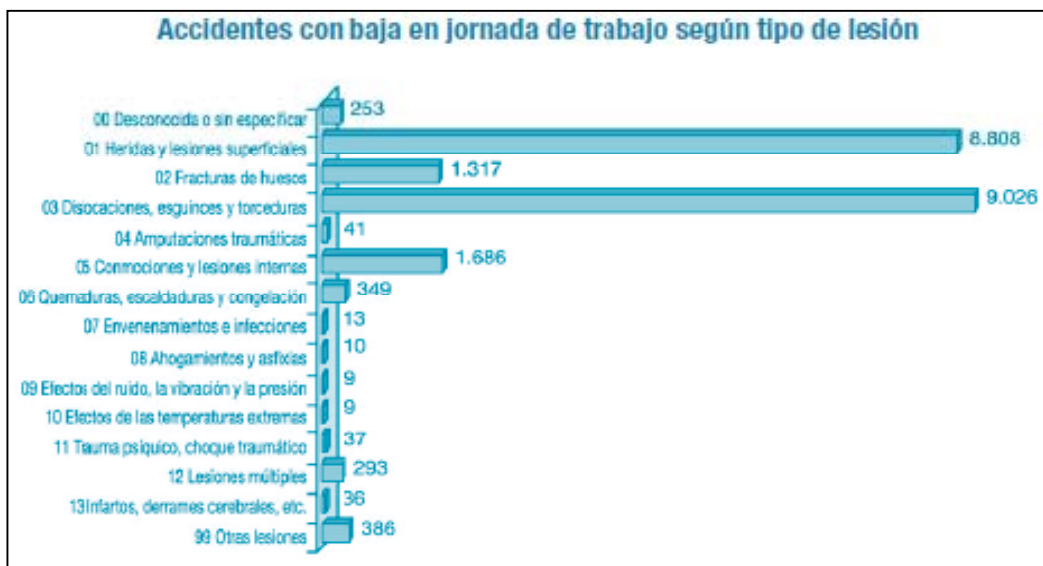
Con la ejecución de las 3's, se busca facilitar las labores de mantenimiento e inspección, a su vez se pretende disminuir de los factores de riesgo; en la ilustración 3 y en la tabla 1, se pueden apreciar las diferentes causales de accidentes (Es posible atribuir un porcentaje considerable a la no implementación de las 5'S), no se puede desconocer la incidencia del caso fortuito como hecho determinante de los siguientes accidentes.

Tabla 1 Accidente con baja en jornada de trabajo según grado y tipo de lesión.

Accidentes con baja en jornada de trabajo según grado y tipo de lesión						
Tipo de lesión	Total nº	Total %	Leve	Grave	Muy Grave	Mortal
00 Desconocida o sin especificar	253	1,14	251	1	-	1
01 Heridas y lesiones superficiales	8.808	39,55	8.788	20	-	-
02 Fracturas de huesos	1.317	5,91	1.251	66	-	-
03 Dislocaciones, esguinces y torceduras	9.026	40,52	9.021	5	-	-
04 Amputaciones traumáticas	41	0,18	28	13	-	-
05 Conmociones y lesiones internas	1.686	7,57	1.668	15	-	3
06 Quemaduras, escaldaduras y congelación	349	1,57	347	2	-	-
07 Envenenamientos e infecciones	13	0,06	13	-	-	-
08 Ahogamientos y asfixias	10	0,04	8	1	-	1
09 Efectos del ruido, la vibración y la presión	9	0,04	9	-	-	-
10 Efectos de las temperaturas extremas	9	0,04	9	-	-	-
11 Trauma psíquico, choque traumático	37	0,17	37	-	-	-
12 Lesiones múltiples	293	1,32	238	34	3	18
13 Infartos, derrames cerebrales, etc	36	0,16	13	12	2	0
99 Otras lesiones	386	1,73	385	1	-	-
TOTAL	22.273	100	22.066	170	5	32

Fuente: Estadística de la siniestralidad de la región de Murcia 2008, instituto de seguridad y salud laboral.

Ilustración 3 Accidente con baja en jornada de trabajo según grado y tipo de lesión



Fuente: Estadística de la siniestralidad de la región de Murcia 2008, instituto de seguridad y salud laboral.

3.1.4 SEIKETSU (Estandarización): Crear las reglas (procedimientos, estándares) para lograr el mantenimiento de las 3 primeras S's. Por ejemplo, horarios fijos de entrada y salida, forma de pago, uso de uniformes, receptáculos para basura, uso de cascos con colores de distintos significados, formatos de formularios, procedimientos de primeros auxilios y contra accidentes, etc.

- **Propósitos:**

- ✓ Prevenir el deterioro de las actividades de: Seiri, Seiton y Seiso.
- ✓ Minimizar o eliminar las causas que provocan la suciedad y un ambiente de trabajo no confortable.
- ✓ Proteger al trabajador de condiciones peligrosas.
- ✓ Estandarizar y visualizar los procedimientos de operación

- **Beneficios:**

- ✓ La basura a su lugar.
- ✓ Estandarizar los métodos operativos.
- ✓ Formar al personal en los estándares mínimos de trabajo.
- ✓ Beneficios de Seiketsu
- ✓ Mejora nuestra salud.
- ✓ Desarrollamos mejor nuestro trabajo.
- ✓ Facilita nuestras relaciones con los demás.

- **Normas para Seiketsu:**

- ✓ Hacer evidentes las consignas: cantidades mínimas, identificación de las zonas
- ✓ Favorecer una gestión visual
- ✓ Estandarizar los métodos operatorios
- ✓ Formar al personal en los estándares

Dentro de este ítem es recomendable realizar la señalización de nuestras distintas áreas de trabajo, a continuación en la tabla dos se presenta el código de colores para las partes constitutivas de las diferentes áreas de la zona de producción.

Tabla 2. Tabla de colores de seguridad.

COLOR	SIGNIFICADO	APLICACIÓN
ROJO	<ul style="list-style-type: none"> - Señales de pare. - Equipos de lucha contra incendio. - Mecanismos de parada de emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Parada. - Prohibición. - Actividad Nociva.
AMARILLO	- Atención	<ul style="list-style-type: none"> - Estructuras de los equipos móviles de transporte elevado. - Señales de precaución. - Interior de guardas de maquinaria. - Escaleras, pasamanos, parte superior e inferior de escaleras peligrosas.
	- Peligro	<ul style="list-style-type: none"> - Bloques de poleas y fijas y diferenciales. - Tuberías que cruzan a nivel en los sitios de trabajo. - Grúas de taller y equipos de utilizados para el transporte de materiales. - Demarcación de áreas de trabajo y almacenamiento.
VERDE	<ul style="list-style-type: none"> - Condición de seguridad - Vías de escape y refugio 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal de marcha para personas y equipos. - Duchas de emergencia.
Amarillo negro		<ul style="list-style-type: none"> - Costados de escaleras. - Frentes sobresalientes o muy bajos de máquinas. - Partes frontales y posteriores de equipos de transporte.
Aluminio		<ul style="list-style-type: none"> - Partes expuestas a radiación solar. - Partes expuestas a altas temperaturas. - Cilindros de gas propano. - Tanques, acero estructural.
Gris		<ul style="list-style-type: none"> - Recipientes para metales, retales y desperdicios. - Armarios, lockers.
Púrpura		<ul style="list-style-type: none"> - Recipientes que contengan materiales radioactivo

Blanco		- Indicación en el piso de recipiente de basura
Negro		- Bases de máquinas. - Bajantes aguas negras.
Azul		- Estación de rescate, equipo y señalización. - Obligación de vestir equipo de protección personal - Color de fondo para indicar equipos en mantenimiento. - Motores y equipos que no formen parte integral de maquinaria y equipos.

Fuente: Colpatria

Tabla 3. Símbolos de seguridad

FORMA	SIGNIFICADO
Círculo	Prohibición
Triángulo	Advertencia
Rectángulo	Información

Fuente: Colpatria

3.1.5 SHITSUKE (Disciplina): Crear el hábito de realizar y mantener estrictamente los procedimientos diseñados, apegarse a las normas establecidas. Quizá esta última S es la más difícil de ejecutar.

- **Propósitos:**

- ✓ Hacer a las personas más disciplinadas y con buenos modales, en otras palabras se necesita fomentar nuevas costumbres, dentro de las se debe hacer énfasis, en eliminar los paradigmas antiguos y adquirir otros más productivos.
- ✓ Tener un personal más pro-activo.

- **Beneficios:**

- ✓ Fomentar el compañerismo y la colaboración para trabajar en equipo.

- ✓ Mantener una salud mental positiva.
- ✓ Cumplir eficientemente con sus obligaciones en su puesto de trabajo.

3.2 DETERMINACION DE LA CRITICIDAD DE EQUIPOS.

El análisis de criticidad es una metodología desarrollada por un grupo de consultoría inglesa llamado THE WOODHOSE PATERNHOSE LIMITED, el análisis permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, gracias a esto, se determina una estructura que proporciona una de las herramientas más eficaces en la toma de decisiones, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas o equipos críticos, determinando los programas y planes de mantenimiento más adecuados del tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo, en algunos casos rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia⁸ (Ecuación 1)

Donde:

Frecuencia = Rango de fallas en un tiempo determinado

Consecuencia = [Ipd × MTTR] + [Cr + Isp + Ia + Isc] (Ecuación 2)

Ipd = Impacto en la producción
MTTR = Tiempo promedio para reparar
Cr = Costos de reparación
Isp = Impacto Seguridad Personal
Ia = Impacto Ambiental
Isc = Impacto satisfacción del cliente

Los componentes de los factores de la ecuación 2 (Ec. 2) y su ponderación, puede ser apreciada en la tabla presentada a continuación.

⁸ Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002

Tabla 4 Parámetros del análisis de criticidad.

PARAMETROS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD	
FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Entre 31 y 50 por año	4
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 48 horas	4
Más de 48 horas	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el número de fallas al año F)	Puntaje
No afecta la producción	0,05F
25% de impacto	0,3F
50% de impacto	0,5F
75% de impacto	0,8F
La afecta totalmente	1F
4. COSTOS DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 3 millones de pesos	3
Entre 3 y 15 millones de pesos	5
Entre 15 y 35 millones de pesos	10
Más de 35 millones de pesos	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad	20
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	20
7. IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Puntaje
No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta	0

Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV	5
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV	10
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 SMMLV	20

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002.

Los parámetros de criticidad utilizados son:

- Frecuencia de Fallas: Es el número de ocasiones en los que uno o varios de los componentes de un sistema se encuentra en falla y conlleva a la pérdida de la función del mismo.
- Tiempo Promedio para Reparar: Es el tiempo promedio para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente.
- Impacto en la Producción: Especifica la consecuencia de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.
- Costo de Reparación: Es el costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento.
- Impacto en la Seguridad Personal: Presenta las opciones en las que se pueden presentar daños en los equipos e instalaciones y el resultado de dichos incidentes pueda o no resultar lesionada el personal operativo.
- Impacto Ambiental: Indica los diferentes daños a equipos e instalaciones ocasionando directamente incumplimiento de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.
- Impacto Satisfacción al Cliente: Presenta cuantitativamente el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a los intereses del cliente. En este caso se considera cliente a las áreas a las cuales se les suministran los servicios industriales.

3.2.1 FORMATO DE ENCUESTA DE CRITICIDAD.

Determinar la criticidad de un equipo no es una tarea de mayor complejidad, cuando se trata de una MYPIME o PYME, en la que contamos con cadenas de producción; en cada línea de producción cada operario tiene criterios diferentes, en los que una etapa es más crítica que otra, por tal razón si la cadena operativa es manejada por varios operarios, es necesario que las encuestas sean diligenciadas por los supervisores, ellos cuentan con el total conocimiento del proceso. Por tal motivo se plantea el siguiente formato de encuesta.

Tabla 5. Parámetros del análisis de criticidad

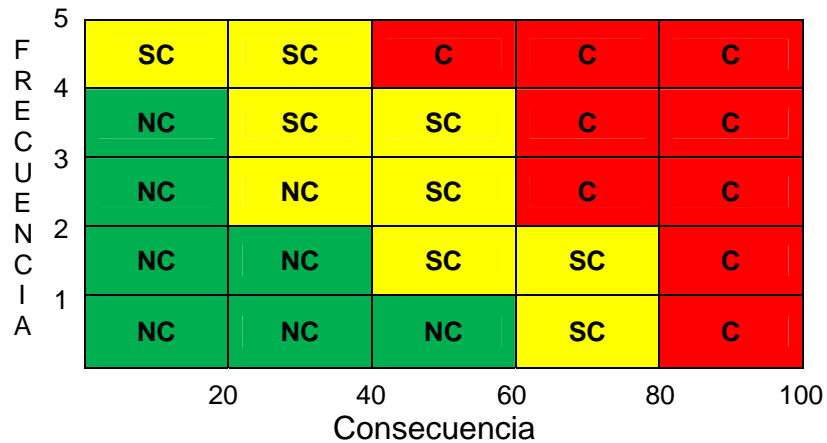
ANALISIS DE CRITICIDAD					
Nombre: _____			Área: _____		
Equipo: _____		Turno: _____		Fecha: _____	
Nota: Diligencie espacios en color blanco según sea al caso					
FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA).		TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)		IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	
No más de 1 por año		Menos de 4 horas		No afecta la producción	
Entre 2 y 15 por año		Entre 4 y 8 horas		25% de impacto	
Entre 16 y 30 por año		Entre 8 y 24 horas		50% de impacto	
Entre 31 y 50 por año		Entre 24 y 48 horas		75% de impacto	
Más de 50 por año		Más de 48 horas		La afecta totalmente	
Ponderación F_{falla}		MTTR		I_{pd}	
COSTOS DE REPARACIÓN		IMPACTO AMBIENTAL			
Menos de 3 millones de pesos		No origina ningún impacto ambiental			
Entre 3 y 15 millones de pesos		Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta			
Entre 15 y 35 millones de pesos		Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta			
Más de 35 millones de pesos		Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad			
C_r		I_a			
IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL			IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE		
No origina heridas ni lesiones			No ocasiona pérdidas económicas en		

		las otras áreas de la planta	
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes.		Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV	
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días		Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV	
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente		Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 SMMLV	
	I_{sp}		I_{sc}
Ponderación ($I_{pd} \times MTTR$)		Ponderación ($C_r + I_a + I_{sp} + I_s$)	
VALOR CRITICIDAD		REVISO	

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002

Cada uno de los equipos puede de acuerdo a la evaluación de criticidad puede ser ubicados en una matriz. (Grafica 4)

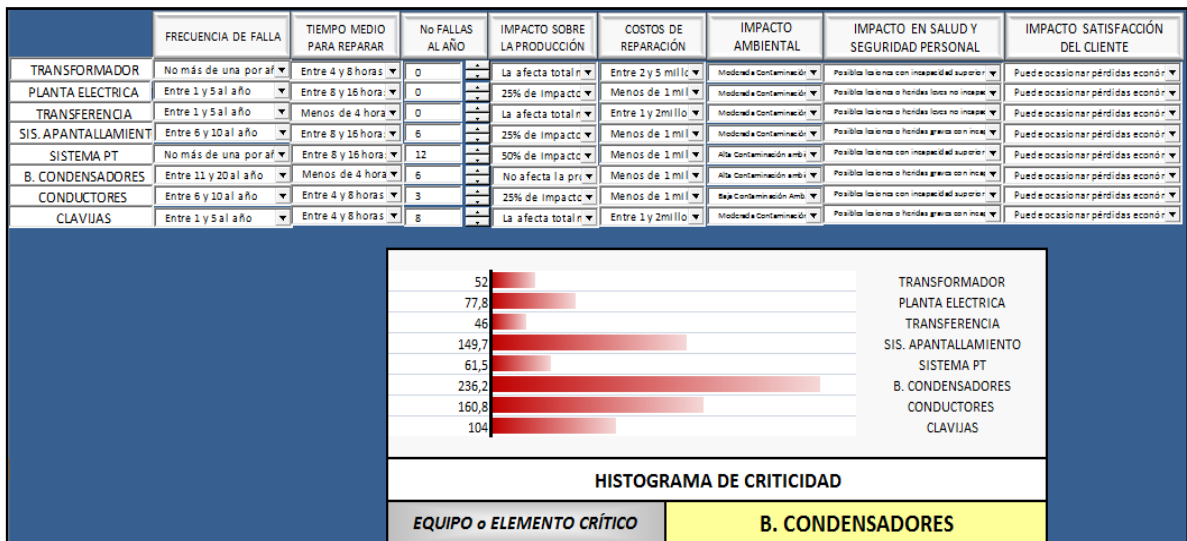
Ilustración 4. Adaptación de la matriz de criticidad.



3.2.2 APLICATIVO EXCEL CRITICIDAD.

A continuación se presenta un modelo, con los ítems utilizados para determinar la criticidad de un equipo, en el modelo se presentan los resultados en histograma, ya que permite visualizar jerárquicamente los equipos estudiados (Ilustración 5). El aplicativo es anexo a la presente monografía.

Ilustración 5. Aplicativo Excel



4. SEGUNDA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.

Una vez conocidos los equipos más críticos del sistema, es necesario profundizar en su función, pero especialmente sus fallas, sus modos y efectos sobre el sistema, por esta razón se presenta como una segunda fase, el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), adicionalmente se presentan los formatos de consignación de datos que a su vez, dará fundamentos al SEIKETSU, de la fase 1 de implementación.

4.1 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

El análisis de modos y efectos de fallos es una herramienta de planificación de la calidad que de forma ordenada y metódica, plantea un método de identificación y busca eliminar los posibles problemas potenciales asociados con el diseño y la fabricación de un producto. Las siglas FMEA, que corresponden a las iniciales de su nombre en inglés: Failure Modes and Effects Analysis.

El FMEA es un procedimiento por el cual cada modo de fallo creíble de cada parte es analizado para determinar los efectos en el sistema y clasificarlos en los distintos modos de fallos para poder analizar la severidad de los efectos (NASA⁹ Internet,1996).

4.1.1 DEFINICIONES.

- Falla: La falla en un equipo es la terminación o degeneración de la propiedad de un elemento para realizar su función. Aunque no puede ser generalizada, ya que son muchos los factores que influyen en la determinación de la misma, por esta razón es posible clasificarlas en:

⁹ Administración Nacional del Espacio y la Aeronáutica

- Falla funcional: Es la ocurrencia no previsible, que no permite al activo alcanzar el estándar de ejecución esperado y trae como ocurrencia que el activo no pueda cumplir su función o la cumpla de forma ineficiente.
 - Falla completa: La pérdida de la disponibilidad y funcionalidad de un elemento o equipo.
 - Falla parcial: Es una falla que no genera la pérdida total del elemento o equipo.
-
- Fallos debido a un mal diseño o a errores de cálculo del equipo: No conocer exactamente las condiciones de trabajo de la máquina, despreciar efectos que luego resultan más importantes de lo que se esperaba o el exceso de simplificación en el aparato para obtener mejores precios, ocasionan errores de diseño que adquirimos con el equipo. El número de fallos atribuibles a este hecho son del orden del 12% del total de fallos. La solución a estos fallos resulta muy difícil si el planteamiento original difiere mucho de la realidad y posiblemente no nos quede otra opción que asumir una tasa de fallos elevada.
-
- Fallos debido a defectos durante la fabricación del equipo: Si se descuidan los controles de calidad de los materiales y piezas que componen el equipo, es muy posible encontrar fallos potenciales incluidos en la máquina que no tardaran en aparecer. Las soluciones pasan por reemplazar las piezas defectuosas de origen. Este tipo de fallos representa el 10.45%.
-
- Fallos producidos por el mal uso de la instalación: Porcentualmente son los más numerosos (el 40%); provienen de su desconocimiento del manejo del equipo, por emplearlo en aplicaciones para las que no está diseñado y, sobre todo, por utilizarlo en regímenes superiores a los especificados por el diseñador.

- Fallos debidos al desgaste natural y al envejecimiento: Estos son los fallos que más comunes. Se trata de roturas, desgastes, abrasiones, corrosión, fatiga, cavitación, etc. Suponen el 10.45%.
- Modos de falla: El modo de falla se define como la causa raíz de cada fallo funcional; en otras palabras, el modo de falla es el origen de cada falla funcional, que provoca la perdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener mas de un modo de falla).

Se define el efecto o la consecuencia de falla como el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad humana y las operaciones (¿qué sucederá cuando ocurra un modo de falla?) (Cada modo de falla puede tener mas de una consecuencia o efecto). Es así como el modo de falla es la descripción física de la manera en la cual la falla ocurre. Algunos ejemplos de modos de falla son: Circuito abierto, fractura, goteo, calentamiento de una superficie, suciedad, excentricidad, etc (Latino,1996,26).

- Efectos de los modos de falla: Los efectos de los modos de falla son los resultados de la falla sobre el sistema, diseño, procesos, o servicio. En esencia los efectos de las fallas tienen que ver con el cuestionamiento: ¿Qué pasaría si esto fallara? ¿Cuál o cuáles serían las consecuencias de la falla? Se debe entender sin embargo que las fallas deben ser vistas desde dos puntos. El primer punto de vista es local, en el cual la falla es aislada y no afecta nada más. El segundo punto de vista es global, en el cual la falla puede y afecta otras funciones y/o componentes. Esta tiene un efecto dominante. En conclusión, la falla con efecto global es mucho más seria que una con efecto local (Stamatis,1995,78).

El efecto de la falla también define la severidad de una falla particular. En realidad, el efecto de la falla tiene relación directa con la severidad. Así si el efecto es serio, la severidad será alta. Estos efectos de las fallas son importantes, porque nos permiten decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto que nivel de mantenimiento preventivo sería necesario (Mosleh,1998,34).

- Severidad: La severidad es un rateo que indica la seriedad del efecto del posible modo de fallo sobre el sistema. La severidad siempre se aplica sobre los efectos de los modos de falla. En realidad hay una correlación directa entre efecto y severidad. Por ejemplo, si el efecto es crítico, la severidad es alta; y por otro lado si el efecto no es crítico la severidad es baja (J.O. Internet,2001).

La severidad se revisa desde la perspectiva del sistema mismo, de otro sistema, del producto, del cliente, y/o de la regulación gubernamental. Para propósitos de evaluación usualmente existe una tabla con los niveles, en donde se reflejan los problemas de la organización conjugados con los del cliente y/o con los de la regulación gubernamental.

- Número de riesgo prioritario: El número de prioridad del riesgo (RPN) es un producto matemático de la seriedad de los efectos (severidad), de la probabilidad que una causa creara el incidente asociado a esos efectos (ocurrencia), y de una capacidad de detectar el incidente antes de que llegue al cliente (detección).

Se utiliza para ayudar a identificar los riesgos más serios, conduciendo a la acción correctiva. El examen de la ecuación revela que el método de RPN para evaluar riesgo es un sobreestimación. La severidad, la ocurrencia, y la detección no se manifiestan igualmente una con respecto a la otra en términos del riesgo (J. O. Internet,1999).

4.1.2 Formato de Encuesta FMEA.

A diferencia de la encuesta de criticidad, en la que se recomendaba, fuera diligenciada por los supervisores, los formatos que se presentan a continuación, se recomiendan sean diligenciadas por todo operario de máquina o equipo.

Tabla 6 Análisis de los modos y los efectos de la falla, formato 1.

ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA		
Nombre: _____		Equipo: _____
Área: _____		Turno: _____ Fecha: _____
Que maquinaria o equipos suministran materia prima al equipo de estudio?		Describa las condiciones de ambientales de maquinaria o equipo a su cargo.
Relacione las características técnicas del equipo a su cargo (De la que tenga conocimiento).		Numere las funciones principales de la maquinaria o equipo a su cargo.
Numere las condiciones operativas de la máquina o equipo a su cargo.		Numere las funciones secundarias de la maquinaria o equipo a su cargo.
En caso de desconocer la razón o causa de la falla, no diligenciar el espacio.		
FUNCIÓN DEL EQUIPO	COMO FALLA EL EQUIPO?	LA RAZON DE LA FALLA ES?

Fuente: Adaptación del material bibliográfico entregado por la UIS.

Con el formato que se presenta a continuación (Tabla 7), se busca enlazar el conocimiento adquirido en el área operativa como en el área de mantenimiento, aunque se presenta como una labor dispendiosa, la encuesta debe ser diligenciada por los encargados de realizar la operación de reparación.

Tabla 7. Análisis de los modos y reparación de la falla, formato 2.

ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - Mantenimiento-		
Nombre: _____		Equipo: _____
Área: _____		Turno: _____ Fecha: _____
<i>COMO FALLA EL EQUIPO?</i>	<i>LA RAZON DE LA FALLA ES.</i>	<i>CUAL ES PROCEDIMIENTO O LA METODOLOGIA DE REPARACIÓN E INDIQUE CADA CUANTO REALIZA EL CITADO MANTENIMIENTO</i>
Que sugerencia tiene para evitar las citadas fallas.		

Fuente: Adaptación Material bibliográfico entregado por la UIS.

4.1.3 Formato FMEA.

Realizadas las encuestas al taller de mantenimiento y a los operarios se procede a adecuar un formato de FMEA, el cual nos permitirá conocer las necesidades de cada una de las máquinas y el periodo de mantenimiento ejecutado por la cuadrilla diligenciado por los Supervisores e ingenieros de los departamentos de mantenimiento y producción.

Los formatos diligenciados, deben ser almacenados en carpetas de capacitación, en un sitio en el que los trabajadores cuenten un espacio para estudiarlos con el fin de facilitar el común aprendizaje trabajadores que intervienen en el proceso productivo.

El perfeccionamiento de los formatos puede tomar varios meses, debido a que se deben depurar formatos, opiniones, conclusiones...etc., con este procedimiento se busca adicionalmente contribuir a la etapa del SEIKETSU, planteada en un capítulo anterior. Se plantea el siguiente formato, compuesto por 3 hojas, a continuación se presentan los conceptos contenidos en ellas:

- Frontera: Al igual que la termodinámica, hace referencia al volumen de control del equipo, en este caso a la función general del equipo, desde la máquina, equipo o función que alimenta el objeto de estudio hasta la salida de cada uno de los procesos o servicios, el objetivo general de este ítem es presentar al trabajador la función general del equipo dentro del proceso productivo, desde su origen hasta el inicio de la otra etapa del proceso productivo o de servicio.
- Interfaces: Son los elementos o equipos con los que interacciona el equipo en estudio, dentro de este ítem intervienen todos agentes que alimentan, nutren, prestan servicios a los diferentes equipos.
- Características técnicas: información que de forma obligatoria o voluntaria tienen que ofrecer los fabricantes de equipos industriales o maquinaria para que los posibles compradores puedan conocer de forma verídica las prestaciones de los mismos, a fin de poder elegir el más apropiado a sus necesidades así como poderlo comparar con el mismo producto que puedan fabricar otros fabricantes¹⁰
- Condición operativa: Abarca todos los fenómenos, características o know how dentro de los cuales la máquina cumple su función sin que se presente cualquier tipo de falla.

¹⁰ wikipedia

- Funciones principales: La función principal hace referencia a la esencia productiva de la máquina, el que produce o que servicio presta dentro del producto final.
- Función secundaria: Son funciones, acciones desarrolladas por determinado equipo que complementan el proceso productivo.
- Modo de falla: se define como la causa raíz de cada fallo funcional; en otras palabras, el modo de falla es el origen de cada falla funcional, que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla).
- Efectos de los modos de falla: Los efectos de los modos de falla son los resultados de la falla sobre el sistema, diseño, procesos, o servicio.

Los formatos sugeridos son los siguientes:

Tabla 8. Formato 1 FMEA planteados para carpetas de información (Continuación)

DEPTO.: _____ MÁQUINA O ELEMENTO _____ COD. BDD: _____		
COMPONENTES: A. _____ B. _____ C. _____ D. _____ E. _____ F. _____ G. _____ H. _____ I. _____ J. _____ K. _____ L. _____ M. _____ N. _____ O. _____ P. _____		FRONTERAS: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ INTERFASES: _____ _____ _____ _____ _____
CARACTERISTICAS TECNICAS: _____ _____ _____	CONDICIONES OPERATIVAS: _____ _____ _____	
FUNCION PRINCIPAL: _____	FUNCION SECUNDARIA: _____	
OBSERVACIONES: _____ _____		

Tabla 9. Formato 2 FMEA planteados para carpetas de información.

DEPTO.:		MÁQUINA O ELEMENTO		COD
CODIGO DE LA FALLA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	

Tabla 10. Formato 3 FMEA planteados para carpetas de información.

DEPTO.: _____ MÁQUINA O ELEMENTO _____ COD. BDD: _____					
CODIGO	EFECTOS DE LA FALLA				
	OCULTO	SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	OPERACIONALES	REPARACIONES

4.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO.

Teniendo en cuenta las medidas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en los equipos es indispensable para un buen ejercicio del proceso FMEA calcular el número de riesgo prioritario RPN para los distintos componentes en las máquinas, procesos o diseños; con el fin de tomar acciones correctivas o preventivas necesarias para el buen funcionamiento de todo el sistema.

El número de prioridad del riesgo (RPN) es un producto matemático de la seriedad de los efectos (severidad), de la probabilidad que una causa creará el incidente asociado a esos efectos (ocurrencia), y de una capacidad de detectar el incidente antes de que llegue al cliente (detección). Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$RPN = S \times O \times D \quad \text{(Ecuación 3)}$$

S = Severidad

O = Ocurrenciar

D = Probabilidad de detección

4.2.1 Severidad.

La severidad es un rateo que indica la seriedad del efecto del posible modo de fallo sobre el sistema. La severidad siempre se aplica sobre los efectos de los modos de falla. En realidad hay una correlación directa entre efecto y severidad. Por ejemplo, si el efecto es crítico, la severidad es alta; y por otro lado si el efecto no es crítico la severidad es baja (J.O. Internet,2001).

El cálculo de la severidad consta de los factores de evaluación y de factores probabilísticos asociados a cada uno de ellos.

La ecuación de severidad es:

$$S = (FO \times K_{FO}) + (SF \times K_{SF}) + (IC \times K_{IC}) + (MA \times K_{MA}) + (CR \times K_{CR}) + (EC \times K_{EC}) \quad \text{Ecuación 4}$$

S = Severidad
FO = Falla Ocultas
SF = Seguridad física
IC = Imagen corporativa
MA = Medio Ambiente
SF = Seguridad física
EC = Efectos en clientes

Los factores **K**, son factores probabilísticos que se encuentran ponderados de la siguiente manera:

$K_{FO} = 0.05$ ó 5%
 $K_{SF} = 0.20$ ó 20%
 $K_{IC} = 0.30$ ó 30%
 $K_{MA} = 0.10$ ó 10%
 $K_{CR} = 0.30$ ó 30%
 $K_{EC} = 0.05$ ó 5%

Los componentes de la ecuación de severidad expresan las consecuencias de un evento, la cual expresa la magnitud de la pérdida. Las consecuencias de acuerdo a la ecuación:

- **Falla Oculta:** Si una máquina que produce cierto producto entre en estado de falla, entonces la consecuencia perdida de la producción puede ser cualquiera en términos del producto o en términos cuantificables de dinero que representa en no producir dicho producto.

Si una máquina puede hacer diferentes tipos de productos, el cómputo de la producción perdida en términos de dinero es mucho más complejo. El costo de la pérdida dependerá de cuantos productos se hubieran producido cuando la falla ocurre (Rodda y otro,1980,420).

Los diferentes productos tienen diversos márgenes de beneficio que deban también estar considerados en valores de la consecuencia de la falla. no existe ninguna fórmula general que incluya este tipo de factores (Minton y otro,1992,70).

- Seguridad física: Esta categoría está lejos de ser la más importante. Las lesiones y las muertes causadas por un fallo del sistema tiene en claro posibles implicaciones de severidad. La pérdida de una vida o el dolor de lesión es imposible cuantificar completamente (Millstone,1985,34).
Los costos de estos ítem salen a menudo del presupuesto corporativo, no del presupuesto individual de la planta. Los fallos de un sistema de seguridad tienen otras implicaciones y consecuencias de los acontecimientos de la seguridad-incidente que pueden afectar la corporación y la planta (Millstone,1985,35).
- Imagen corporativa: La calidad se ha desarrollado de un estatus muy teórico hacia una mirada más en el ámbito de los negocios. Si un sistema falla afecta la calidad de un producto, produce una característica diversa, única y diferente de las consecuencias del fallo. Significa que la producción necesariamente no para, pero que la naturaleza del producto no está en el nivel requerido o esperado por el cliente (Rodda y otro,1980,422).
- Medio ambiente: Esto es una categoría difícil a cuantificar pero su costo en limpieza de los derramamientos ambientales es relativamente fácil de calcular. Los costos aumentan con el alcance de la falla, los modos de fallos desarrollaron la función de que cada falla pudiera ser graduada de manera más precisa para describir las implicaciones potenciales de los daños ambientales de cada una de las fallas potenciales del sistema (Minton y otro,1992,71).

- **Costos de reparación:** Los costos de la categoría de reparación en mantenimiento son datos que requieren una descripción de la consecuencia, dichos datos son recolectados como parte de la actividad cotidiana. Es probable que se puedan encontrar, sin embargo, que los modos de fallo pudieron nunca haber estado registrados y que ninguna base histórica exista de ellos pueden ser computados.

4.2.2 Ocurrencia.

La ocurrencia es el valor tasado correspondiente al número estimado (algunas veces un número acumulativo) de fallas que podrían ocurrir por una causa determinada, en el periodo de vida del sistema diseñado. (Stamatis,1995,117).

La ocurrencia es obligatorio calcularla para cada causa única de fallo. Esta debe ser también el resultado del consenso total del equipo que está a cargo del sistema FMEA (Childs,1997,102).

4.2.3 Detección.

La detección es la valoración de la probabilidad que los sistemas de control propuestos detecten la causa de una falla raíz específica, antes de que la parte sea instalada en el diseño. Para identificar el valor de detección, se debe estimar la habilidad de cada uno de los controles para detectar la falla antes de que esta llegue al cliente (Latino,1996,126).

Si la habilidad de los controles para detectar la falla es desconocida o no se puede estimar la detección, entonces la valuación de detección deberá ser la máxima. (Stamatis,1995,120).

4.2.4 Valoración de los componentes del RPN.

A continuación se presenta los valores asignados a cada uno de los componentes de la ecuación.

Tabla 11. Parámetros del RPN.

PARAMETROS DEL RPN	
FALLOS OCULTOS - FO	Puntaje
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Baja posibilidad que la falla NO sea detectada y ocasiona fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla será siempre oculta y generará fallas múltiples	2
Existe una baja probabilidad que la falla SÍ sea detectada y ocasione fallas múltiples	3
La falla siempre es oculta y ocasiona fallas múltiples graves en el sistema	4
SEGURIDAD FÍSICA - SF	Puntaje
No afecta a personas o a equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
Afecta de 2 a 5 personas y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	2
Afecta a más de 5 personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte a una o mas personas	4
IMAGEN CORPORATIVA - IC	Puntaje
No es relevante	0
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1000 dólares	2
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1000 y 10000 dólares	3
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión superior a 10000 dólares, puede ser irreversible	4
MEDIO AMBIENTE - MA	Puntaje
No afecta al medio ambiente	0
Afecta al M.A. pero se puede controlar. No afecta al ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de los recursos sociales y el ecosistema, es reversible en menos de 6 meses con un valor inferior a 5000 dólares.	2
Afecta la disponibilidad de los recursos sociales y el ecosistema, es reversible en menos de 3 años con un valor inferior a 5000 dólares.	3
Afecta la disponibilidad de los recursos sociales y el ecosistema, es reversible en mas de 3 años o irreversible con un impacto superior a 5000 dólares.	4
COSTO DE REPARACIÓN - CR	Puntaje

Entre 1 y 50 dólares.	0
Entre 51 y 500 dólares.	1
Entre 501 y 5000 dólares.	2
Entre 5001 y 50000 dólares.	3
Más de 50000 dólares.	4
EFFECTO EN CLIENTES - OC	Puntaje
Entre 1 y 50 dólares.	0
Entre 51 y 500 dólares.	1
Entre 501 y 5000 dólares.	2
Entre 5001 y 50000 dólares.	3
Más de 50000 dólares.	4
OCURRENCIA - O	Puntaje
Poco probable – 1 falla en 1 mes.	1
Ocasional – 1 falla en 1 año.	2
Remota – 1 falla en 5 años	3
Poco probable – 1 falla en 20 años.	4
DETECCION - D	Puntaje
Seguro – Siempre se detectarían causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes.	1
Media – Mediana probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes.	2
Baja - Baja probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes.	3
Nula – No se puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de fallo subsecuente.	4

Fuente: Material bibliográfico entregado por la UIS.

A continuación se presenta el formato encuesta a diligenciar por los supervisores y los jefes de mantenimiento de cada área y de esta manera evitar una retroalimentación dispendiosa y tardía entre departamentos.

Tabla 12. Formato RPN para modos de falla.(Continuación)

NUMERO DE RIESGO PRIORITARIO				
Modo de Falla: _____				
Efecto de falla: _____				
Equipo: _____ código: _____ Fecha: _____				
Nota: Diligencie espacios en color blanco según sea al caso				
FALLAS OCULTAS		SEGURIDAD FÍSICA		COSTOS DE REPARACION
No existen		No afecta a personas		Entre 1 y 50 dólares.
Baja posibilidad de NO detección de la falla		Afecta a 1 persona posible incapacidad temporal		Entre 51 y 500 dólares.
Falla oculta		Afecta de 2 a 5 personas, posible incapacidad temporal		Entre 501 y 5000 dólares.
Baja posibilidad de SI detección de la falla		Afecta de 2 a 5 personas, posible incapacidad temporal o permanente		Entre 5001 y 50000 dólares.
La falla es siempre oculta		Genera incapacidad permanente o la muerte a una o mas personas		Más de 50000 dólares.
0.05*FO		0.20*SF		0.30*CR
IMAGEN CORPORATIVA			MEDIO AMBIENTE	
No es relevante			No afecta al medio ambiente	
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos			Afecta al M.A. pero se puede controlar. No afecta al ecosistema	
Afecta credibilidad de clientes, manejo: argumentos e inversión <1000 dólares			Afecta los recursos sociales y el ecosistema. Reversible < 6 meses; inversión < 5000 US.	
Afecta credibilidad de clientes, manejo: argumentos e inversión entre 1000 Y 1000 US.			Afecta los recursos sociales y el ecosistema. Reversible < 3 años; inversión < 50000 US.	
Afecta credibilidad de clientes, manejo: argumentos e inversión >1000 dólares			No afecta al medio ambiente	
0.30*IC			0.10*MA	
EFECTOS EN CLIENTES		OCURRENCIA		PROBABILIDAD DE DETECCION
Entre 1 y 50 US.		1 falla en 1 mes.		Siempre se detectarían causas
Entre 51 y 500 US.		1 falla en 1 año.		Mediana
Entre 501 y 5000 US.		falla en 5 años		Baja
Entre 5001 y 50000 US.		1 falla en 20 años.		Nula.
Más de 50000 US.				
0.05*EF		O		D
Ponderación Severidad			O X D	
RPN		REVISO _____		

Fuente. Adaptación del material académico entregado por la UIS.

4.3 APLICATIVO EN EXCEL.

En el aplicativo, se presenta inicialmente una tabla en Excel en la cual genera de manera intuitiva el consecutivo, el será presentado en la ventana de base de datos de falla que se menciona más adelante, en la Ilustración 6 se presenta como la columna en color gris claro, la cual no debe ser modificada. Las demás columnas del formato deben ser diligenciadas por el jefe o ingeniero de mantenimiento, la cual será de dominio público pero con acceso a modificación restringido.

Ilustración 6. Formato de almacenamiento de fallos.

CODIGO	PLANTA			FALLA FUNCIONAL	FALLA			VALOR TOTAL DE RIESGO
	Codigo Generado	SISTEMA	EQUIPO		FUNCION	MODO	CAUSA	
Tran-1E	Eléctrico	Transformador	suministro de tension	No suministro de tension	proteccion activada	sobretension	Raíz	9,6
Tran-2E	Eléctrico	Transformador	suministro de tension	No suministro de tension	Devanados fundidos	calentamiento	Raíz	19,2
Tran-3E	Eléctrico	Transformador	suministro de tension	No suministro de tension	cañuelas fuera	cortocircuito	Crítica	15,3
Gene-1E	Eléctrico	Generador	suplencia de tension	No suministro de tension	generador fuera	mala conexión	Incipiente	17
Gene-2E	Eléctrico	Generador	suplencia de tension	No arranque	transferencia fuera	no sensores tension	Desconocida	5
Cili-1N	Neumático	Cilindro izquierdo	rotación	No movimiento	no suministro aire	compresor	Incipiente	8
Cili-1N	Neumático	Cilindro derecho	elevacion	No movimiento	sellos rotos	sobrepresion	Raíz	9
Biel-1M	Mecánico	Biela	elevacion lineal	No movimiento	no aire en línea	fugas	Desconocida	5,4
Tran-1E	Electrónico	Transistores	comunicacion	no emision	fundidos	sobrecorriente	Desconocida	19,1
cont-1E	Electromecánico	contactor	activacion	No activacion	no bobinas	sobrecorriente	Raíz	43
cont-2E	Electromecánico	contactor	cierre	No cierre	bobina fundida	calentamiento	Incipiente	19,2
cont-3E	Electromecánico	contactor	apertura	No paertura	nucleo fundido	calentamiento	Incipiente	32
cond-1E	Electrónico	condensador	filtro	No filtra	no conexión	daño mecanico	Crítica	18
tarj-1E	Electrónico	tarjeta	comunicación	No señal	no entrada señal	mala conexión	Raíz	20

Como se puede apreciar en la tabla se presenta las características generales de una falla, en la última columna se consigna el valor RPN el cual es calculado gracias al aplicativo que se presenta a continuación.

Ilustración 7. Formato RPN. (Continuación)

CALCULO DEL RPN	
FALLOS OCULTOS	En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteri
SEGURIDAD FISICA	Afecta de dos a cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal
MEDIO AMBIENTE	Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de
IMAGEN CORPORATIVA	Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.
COSTOS DE OPERACIÓN	Entre 501 y 5.000 dólares
EFECTO EN CLIENTES	Entre 501 y 5.000 dólares
OCURRENCIA	Frecuente - 1 falla en 1 mes
PROB. DETECCION	Baja - Baja probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fa
Valor total de riesgo RPN 25,8	

Los conceptos para la adecuada selección de los parámetros de este formato se encuentran en el numeral anterior, ya que uno de los parámetros mal seleccionado, enfocaría nuestros esfuerzos y tareas de mantenimiento a una falla no crítica.

Diligenciada la tabla de fallos y consignado el valor RPN, el aplicativo de fallos presentara las características de fallo.

Ilustración 8. Formato RPN.

FALLA FUNCIONAL	
No suministro de tension	
F A L L A	MODO
	Devanados fundidos
	CAUSA
	calentamiento
	CLASE
	Raíz

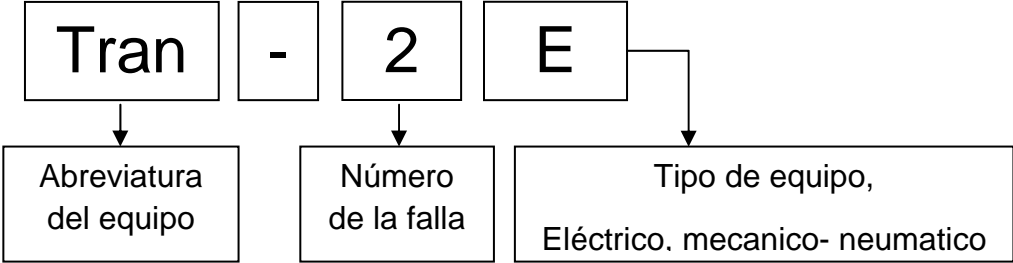
CODIGO DE LA FALLA
Tran-2E
SISTEMA
Eléctrico
EQUIPO
Transformador
FUNCION
suministro de tension
RPN
19,2

ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

INGRESO DE FALLAS

La ubicación de la falla se realiza en el desplegable del código de falla, la cual se clasifica de la siguiente manera:

Ilustración 9. Presentación del código del la falla.



5. TERCERA FASE DE IMPLEMENTACIÓN.

En esta tercera fase de implementación se busca determinar la disponibilidad de los equipos que intervienen en el proceso productivo, aunque no es una fase de gran inversión de tiempo, recursos, y personal. Quienes intervienen en la determinación del parámetro, es el personal de mantenimiento.

5.1. DISPONIBILIDAD

5.1.1. Definición

La probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico se define disponibilidad (Ramakumar,1993,8) (Blanchard y otros,1995,20) (Nachlas,1995,154) (O'Connor,1989,133) (Smith,1986,156) (Leemis,1995,148) (Kececioglu,1995,24) (Diaz,1992,5) (Knezevic,1996,27) (Ebeling,1997,254) (Kelly y otro,1998,3) (Ireson,1996,1-7) (Kapur y otro,1977,225) (Rey,1996,161) (Halpern,1978,348) (Navarro y otros,1997,28) (Avila,1992,22) (Valencia y otro,1983,100) (Olwell,2001,1) (Bolaños,1987,37) (Modarres,1993,5) (Ordoñez,1992,11) (Reliability Glossary Internet,2001) (Availability Internet,1998).

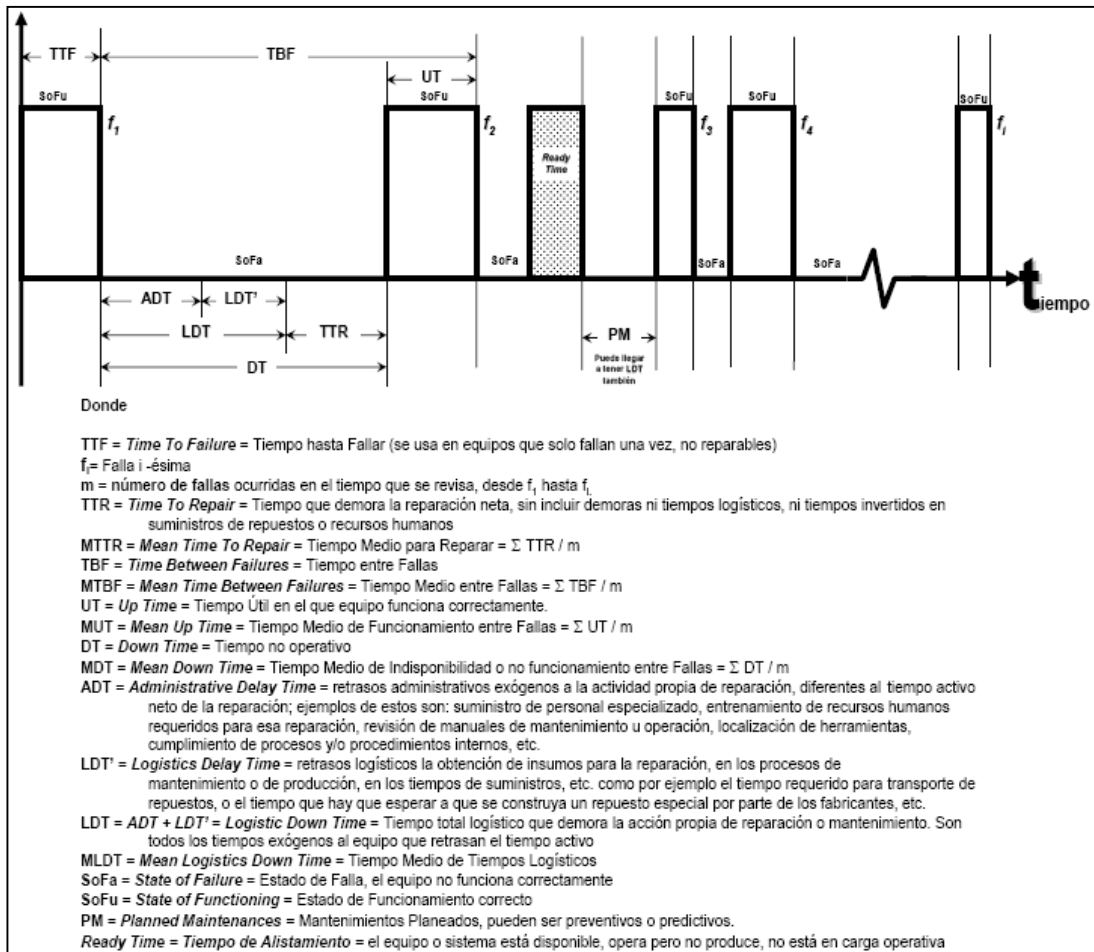
La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el segundo es construir los equipos confiables, y por lo tanto, demasiado costosos que nadie los compraría (Knezevic,1996,27).

5.1.2. Importancia.

La disponibilidad es una consideración importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, satélites, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas, una alta confiabilidad no es suficiente por sí misma para asegurar que el sistema estará disponible cuando se necesite (O'Connor, 1989, 134).

5.1.3. Estado de funcionamiento de un equipo.

Ilustración 10. Tiempos de falla, funcionamiento, y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo.



Fuente: Mora Alberto Gutierrez, Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento.

5.2. MEDIDAS DE DISPONIBILIDAD.

5.2.1. Disponibilidad Genérica, D_g .

Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (No discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras o los ready times), los DT se miden al bulto, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, otros. Es muy útil para empresas principiantes en el tema de predicción del CMD.

Los MUT en la D_g solo se consideran los tiempos en el que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de parada previstas o planeadas por mantenimiento deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar. (Vallejo , y otros, 2004)

$$D_g = \frac{MUT}{MUT+MDT} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

5.2.2. Disponibilidad Inherente, D_i .

Está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación. Ésta puede ser además usada como un parámetro para el diseño, (Hecht y otro,2001,6).

La disponibilidad inherente se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

5.2.3. Disponibilidad Alcanzada, D_a .

La disponibilidad alcanzada se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$D_a = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde $MTBM$ es el tiempo medio entre mantenimientos que incluye mantenimiento preventivo y correctivo y se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$MTBM = \frac{t_d}{m(t_d) + \frac{t_d}{T_{pm}}} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

T_{pm} = el tiempo medio entre tareas de mantenimiento preventivo.

t_d = el diseño del sistema o la vida económica.

$m(t_d)$ = el número esperado de fallas en el intervalo $(0, t_d)$

Y \bar{M} es el promedio del tiempo del equipo en estado SoFa que incluye el mantenimiento programado, pero no incluye las demoras en mantenimiento y el suministro de los repuestos y se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$\bar{M} = \frac{m(t_d)MTTR + \left(\frac{t_d}{T_{pm}}\right)MPMT}{m(t_d) + \frac{t_d}{T_{pm}}} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$MPMT$ = el tiempo promedio de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo puede tener un impacto negativo en la disponibilidad alcanzada si se realiza muy frecuentemente, aún sabiendo que puede incrementar el $MTBF$ (Ebeling, 1997, 256).

5.2.4. Disponibilidad Operacional, Do.

La disponibilidad operacional se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$D_o = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}'} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

\bar{M}' es determinado reemplazando $MTTR = MTTR + MDT + SDT$

Sabiendo que:

MDT = Tiempo medio de retraso en el mantenimiento.

SDT = Tiempo medio de retraso en el suministro de repuestos.

La disponibilidad operativa es muy útil cuando existen equipos en espera para el mantenimiento y órdenes de trabajo para reemplazar partes o componentes (Barringer Internet,1997) (Campbell Internet,1999).

5.2.5. Disponibilidad Operacional generalizada, Dog.

La disponibilidad operacional generalizada se define matemáticamente de la siguiente manera:

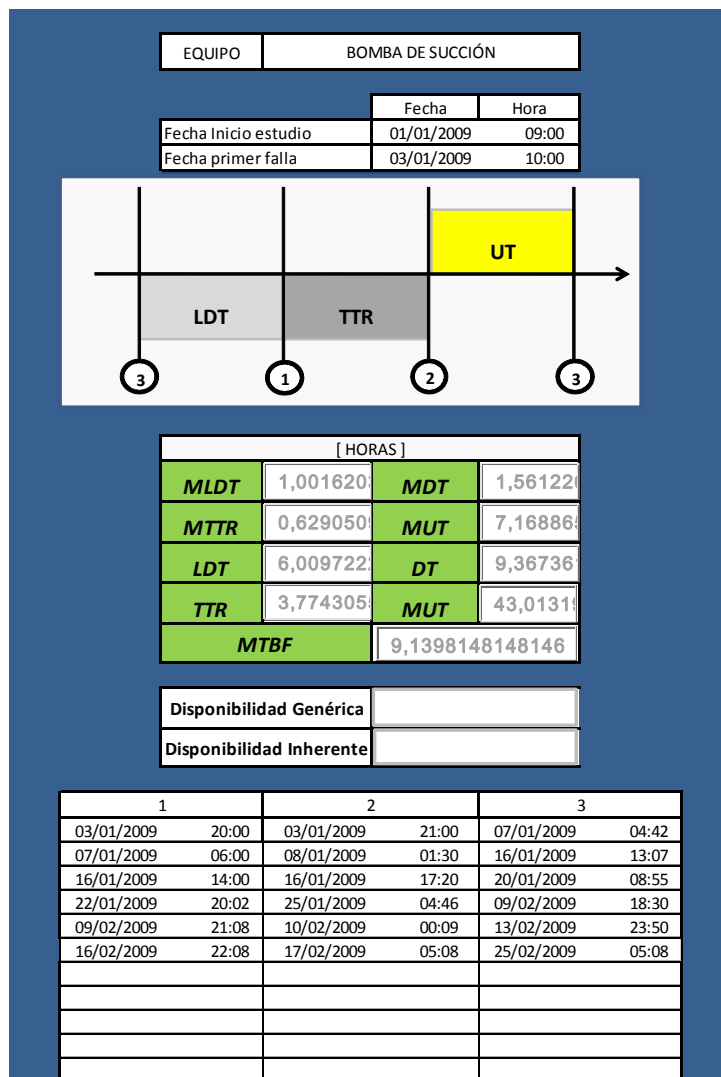
$$D_{og} = \frac{MTBM + ready\ time}{MTBM + ready\ time + \bar{M}'} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Cuando el equipo no está operando continuamente y el tiempo de falla y el intervalo de tiempo de mantenimiento preventivo son medidos en el tiempo operacional, el tiempo no operacional debe ser explicado (Aven,1990,603).

5.3. APLICATIVO EXCEL.

Se presentan varios grupos en el aplicativo con el fin de aplicar este estudio a varias máquinas o elementos, en cada grupo se requiere una fecha y hora de inicio de estudio, pero este dato debe ser ingresado teniendo en cuenta que el equipo se encuentre en funcionamiento y de esta manera dar inicio al estudio.

Ilustración 11. Aplicativo Disponibilidad.



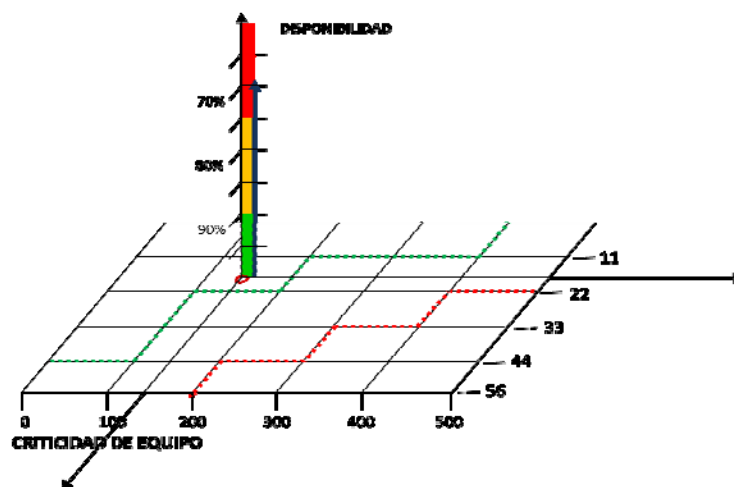
5.4. APLICATIVO MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

El aplicativo de mantenimiento predictivo tiene como fin, sugerir el tipo de mantenimiento requerido por un equipo, teniendo como base los valores de criticidad, disponibilidad y el RPN obtenidos en el análisis del sistema.

Para cada equipo estudiado se plantea la elaboración de una matriz que combine los valores del RPN y de la criticidad del equipo, la cual permite apreciar la importancia del equipo en el proceso productivo. En la matriz presentada en el aplicativo se visualizan unas fronteras con el fin de presentar al lector la existencia de las mismas, pero ya que para cada empresa el valor de criticidad cuenta con un impacto distinto, no se sugieren un valor cuantitativo de frontera.

Teniendo en cuenta que la combinación de los tres factores (Criticidad, disponibilidad y el RPN) como valor numérico, no diagnostican la importancia o el estado de un equipo, la delimitación de los valores de disponibilidad frente a la matriz planteada (Criticidad Vs. RPN), amplían significativamente la asertividad de la decisión tomada, en el tipo de mantenimiento a ejecutar. La matriz se plantea a continuación.

Ilustración 12. Matriz RPN, Criticidad y RPN.



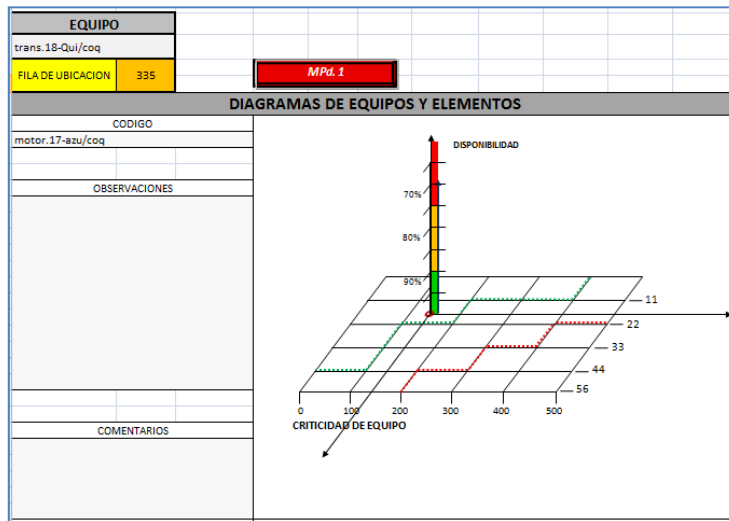
En el aplicativo se solicitan los valores límites permitidos para la disponibilidad del equipo, esto con el fin de sugerir el tipo de mantenimiento a realizar. Los diferentes tipos de mantenimiento deben ser almacenados en la tabla (Ilustración 13), que se encuentra vinculada al aplicativo, y que debe ser diligenciada por el gestor de mantenimiento ó el jefe de mantenimiento de la planta o proceso.

Ilustración 13. Tabla de almacenamiento de datos.

MENU PRINCIPAL		MPd. 1		TIPO DE MANTENIMIENTO												
CODIGO	Equipo	No. Equipo	Seccion	Planta	Criticidad	RPN	disponib.	BASICO			ESTANDAR			CRITICO		
								SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL
motor.17-azu/coq	motor	17	azufre	coque	150	20	69	$\Delta v - \Delta i$	Temperatura	MEGGER	$\Delta v - \Delta i$	Termografia	Vibraciones-D	$\Delta v - \Delta i$	RIG	MCEmax
trans.18-Qui/coq	transformador	18	Quimicos	coque	130	16	80	Temperatura	Retorque	Termografia	Temperatura	Termografia	Aislamiento	F.P.	Aislamiento	Dooble
gener.19-qlq/coq	generador	19	alquitran	coque	70	31	90	$\Delta v - \Delta i$	Vibraciones	Megger	F.P.	Vibraciones	Ondas Recur.	Vibraciones	Ultrasonido	CID
motor.20-des/coq	motor	20	desalinado	coque												
bomba.20-azu/coq	bomba	20	azufre	coque												

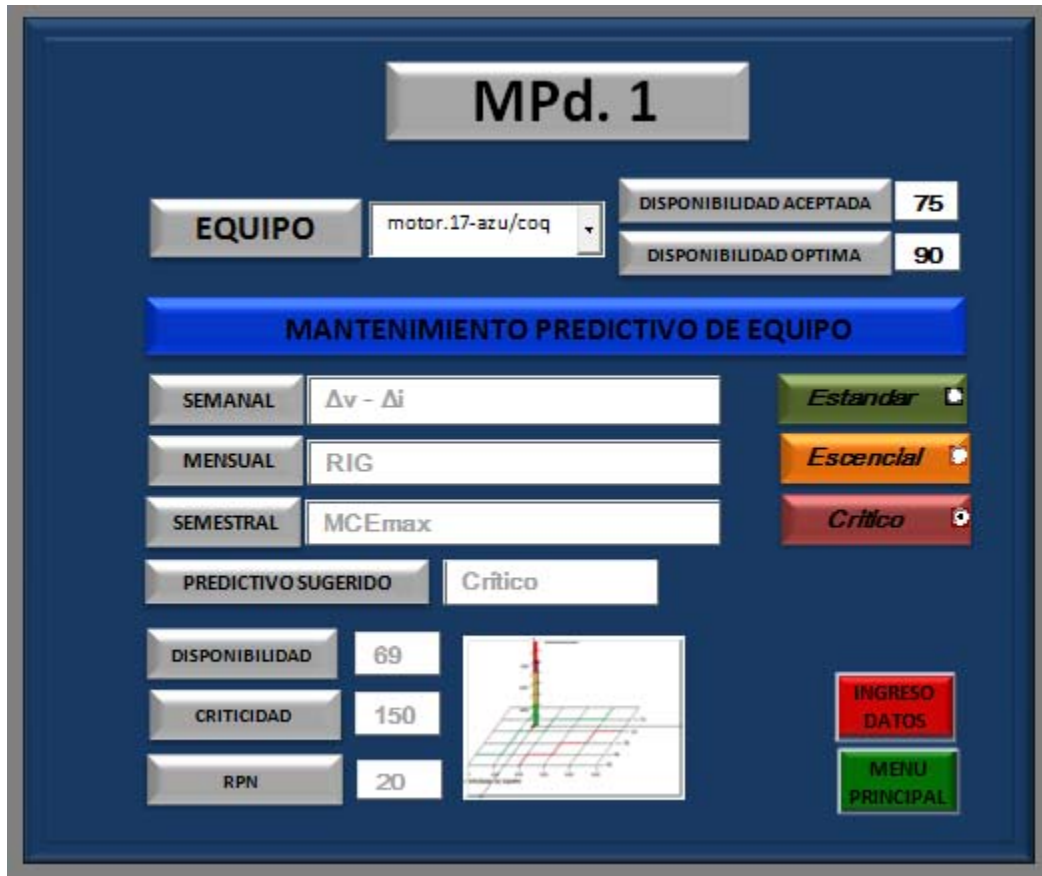
Con el diligenciamiento de la tabla y los límites de disponibilidad aceptados en los elementos que intervienen en el proceso, es posible sugerir el mantenimiento predictivo adecuado con base a los tres índices citados anteriormente. Aunque graficar de manera automática la matriz y el nivel de disponibilidad, no lo permite el aplicativo, este permite ubicarlo por medio de un filtro (Ilustración 13).

Ilustración 14. Tabla de almacenamiento de datos.



Se presenta a continuación la estructura del aplicativo de mantenimiento predictivo.

Ilustración 15. Aplicativo de mantenimiento predictivo.



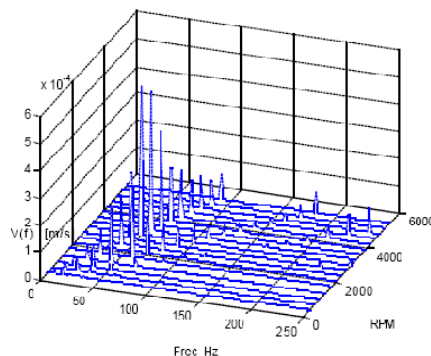
6. PRUEBAS PREDICTIVAS A EQUIPOS.

Teniendo en cuenta los factores de criticidad, RPN, y disponibilidad del equipo es posible vislumbrar cual método predictivo debe ser solicitado para un equipo o maquinaria, en este capítulo se mencionaran algunos los diferentes tipos de pruebas predictivas aplicadas a determinados equipos, con el fin de dar al lector o encargado de mantenimiento, diferentes alternativas de diagnostico.

6.1. Vibraciones.

Cada máquina que está fallando – no importando si la falla es de naturaleza mecánica o eléctrica- genera vibraciones a una específica frecuencia. Por ejemplo, el desbalanceo ocurre a una frecuencia de valor igual a la velocidad de rotación de la flecha. Esto es porque el punto de desbalanceo del rotor, pasa través del sensor de vibración una vez por cada revolución de la flecha. De forma similar, otras frecuencias que son leídas a través de los instrumentos, corresponden a otro tipo de fallas comunes como: des alineamiento, cavitación, defectos en las bandas o bandas flojas, aflojamiento en la cimentación o base, daños en los rodamientos y muchos otros defectos. Un espectro de vibración es una imagen de cálculo de datos que nos muestra los datos de frecuencia contra amplitud. La frecuencia ayuda a determinar el origen de la vibración, mientras la amplitud ayuda a determinar el grado de severidad del problema¹¹.

Ilustración 16. Espectro de vibraciones de un rotor desbalanceado.



Fuente: www.thermografia.com/serv021.htm

¹¹ [http:// www.thermografia.com/serv021.htm](http://www.thermografia.com/serv021.htm)

El valor de severidad de la vibración asociada a un rango de clasificación en particular, depende del tamaño y masa del cuerpo vibrante, las características del montaje del sistema, la salida y el uso que se le da a la máquina. De esta forma es necesario tomar cuenta de varios propósitos y circunstancias concernientes a los diferentes rangos¹².

Ilustración 17. Rangos de severidad de vibración para máquinas pequeñas (clase i), máquinas de Tamaño mediano (clase ii), grandes máquinas (clase iii), y turbomáquinas (clase iv).

RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACION		CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-PK (mm/s)	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.3960	A	A	A	A
0.45	0.6364				
0.71	1.0041				
1.12	1.5839	B	B	B	B
1.8	2.5456				
2.8	3.9598	C	C	C	C
4.5	6.3640				
7.1	10.0409	D	D	D	D
11.2	15.8392				
18	25.4558				
28	39.5980				
45	63.6396				
71	100.4092				

Fuente: www.a-maq.com

La anterior es una de las clasificaciones recomendadas para la escogencia del factor de servicio de una máquina. Pero como se ha dicho no está dada para todas las aplicaciones y por lo tanto puede sustituirse de acuerdo a situaciones particulares que se presenten. El significado de estas clases se presenta a continuación:

¹² www.a-maq.com

- CLASE I: Partes individuales que se conectan a una máquina en operación normal. (Los motores eléctricos que no pasan de 15 kW son ejemplos típicos de esta categoría).
- CLASE II: Máquinas de tamaño medio (generalmente motores de 15 a 75 kW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) montadas sobre cimientos especiales.
- CLASE III: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas sobre cimientos rígidos y pesados, los cuales son relativamente duros en la dirección de medida de vibración.
- CLASE IV: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas en cimientos relativamente flexibles en la dirección de la medida de vibración (por ejemplo, un turbogenerador, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).

Fuera de estas clases, también existen otras dos que se dan para maquinaria extremadamente robusta o especial que necesita factores de servicio aun mas grandes.

- CLASE V: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente rígidos en la dirección de la medida de vibración.
- CLASE VI: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente suaves en la dirección de la medida de vibración; también pertenecen máquinas con rotación de masas flojas

acopladas, tal como golpeteo de eje en un molino; máquinas centrífugas con desbalanceo variable capaces de operar sin componentes conectados; pantallas de vibración, máquinas de prueba de fatiga dinámica y excitadores de vibración usados en plantas de proceso.

6.2. Termografía.

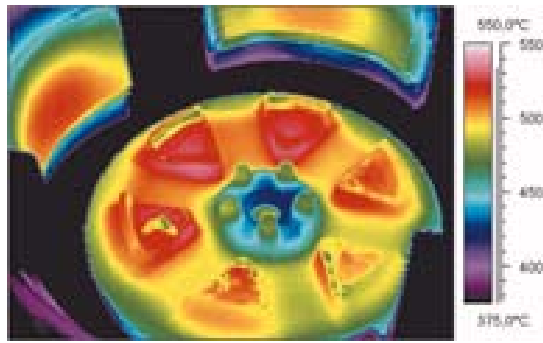
La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. La física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas¹³.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

Ilustración 18. Imagen Termografica (Continuación)

¹³ <http://www.nivelatermografia.net/mantenimiento-predictivo-y-termografia>



Fuente: www.nivelatermografia.net/mantenimiento-predictivo-y-termografia

El análisis mediante Cámaras Termográficas Infrarrojas, está recomendado para:

- Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones de climatización.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

Las ventajas que ofrece el Mantenimiento Preventivo por Termovisión son:

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la Falla.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

6.3. Tintas Penetrantes.

La técnica de las tintas penetrantes está basada en el fenómeno de la capilaridad y permite detectar defectos abiertos a la superficie en todo tipo de material, siempre y cuando este no sea poroso.

La inspección por líquidos penetrantes es usada para la detección de discontinuidades que aparezcan en la superficie de la pieza. Es utilizado en materiales tanto magnéticos como no magnéticos. Tiene la ventaja de ser un ensayo rápido, fácilmente aplicable y relativamente barato. Esta técnica consiste en la aplicación sobre la pieza, luego de la limpieza de la misma, de un líquido "penetrante" de baja viscosidad que, en función de esto penetra por capilaridad en las discontinuidades existentes en la superficie.

Después de esto se limpia nuevamente la pieza, para aplicar otro líquido llamado "revelador". El líquido penetrante aprisionado en la discontinuidad de la pieza será absorbido por el revelador, el cual debido a su coloración o fluorescencia, mostrará las discontinuidades existentes en la pieza¹⁴.

Ilustración 19. Imagen de una grieta vista con luz normal y con luz normal.



Fuente: www.isotec.com.co/liquididos.php

Dentro de las ventajas de este tipo de ensayo encontramos que es muy económico, su inspección es a simple vista, es un ensayo no destructivo y sus resultados son inmediatos.

¹⁴ <http://www.isotec.com.co/liquididos.php>

Dentro de las desventajas se encuentran que solo detecta fallas superficiales, difícil establecimiento de patrones, la superficie a inspeccionar debe estar limpia y sin recubrimientos y no se puede inspeccionar materiales demasiado porosos.

6.4. Radiografía Industrial.

Es un método que utiliza la radiación ionizante de alta energía que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía es atenuada debido a diferencias de espesores o presencia de discontinuidades.

Las variaciones de atenuación o absorción son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente.

Principio básico de la inspección radiográfica. Se basa en la propiedad que poseen los materiales de atenuar o absorber parte de la energía de radiación cuando son expuestos a esta.

La atenuación de la radiación ionizante es:

- Directamente proporcional al espesor y densidad del material.
- Inversamente proporcional a la energía del haz de radiación.

Las diferencias de atenuación producen diferencias en la ionización del bromuro de plata de la película radiográfica y esto provocara (al revelar la película) cambios de densidad radiográfica (grado de ennegrecimiento).

Un área oscura (alta densidad) en una radiografía, puede deberse a un menor espesor o a la presencia de un material de menor densidad como escoria en una soldadura o una cavidad por gas atrapado en una pieza de fundición.

Un área más clara (menor densidad) en una radiografía, puede deberse a secciones de mayor espesor o un material de mayor densidad como una inclusión de tungsteno en una soldadura de arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas de protección.

Para la detección, interpretación y evaluación de discontinuidades internas tales como grietas, porosidades, inclusiones metálicas o no metálicas, faltas de fusión etc., en uniones con soldadura, piezas de fundición y piezas forjadas¹⁵.

Ilustración 20. Radiografía de soldadura, falta de penetración en junta.



Fuente: www.isotec.com.co/liquididos.php

Las ventajas de esta prueba son:

- Pueda usarse en materiales metálicos y no metálicos, ferrosos y no ferrosos.
- Proporciona un registro permanente de la condición interna de un material.
- Es más fácil poder identificar el tipo de discontinuidad que se detecta.
- Revela discontinuidades estructurales y errores de ensamble.

Las limitaciones de esta prueba son:

- Difícil de aplicar en piezas de geometría compleja o zonas poco accesibles.
- La pieza o zona debe tener acceso en dos lados opuestos.

¹⁵ <http://www.monografias.com/trabajos30/radiografia-industrial/radiografia-industrial.shtml>

- No detecta discontinuidades de tipo laminar.
- Se requiere observar medidas de seguridad para la protección contra la radiación.

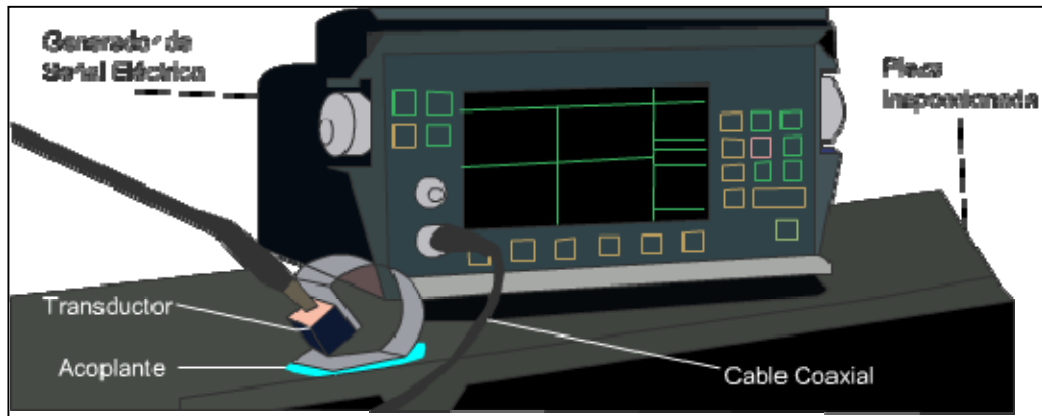
6.5. Ultrasonido.

En la Inspección por ultrasonido (*UT = Ultrasonic Testing*), se utilizan ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sónicas. En el sonido perceptible el número de oscilaciones se encuentra en un rango de entre 16 a 20,000 ciclos/segundo, mientras que al tratarse de ultrasonido es superior a los 20,000 ciclos/segundo. En la inspección de materiales por ultrasonido las frecuencias son, por regla general, notablemente más elevadas y varían entre 0.5 y 25 millones de ciclos/segundo.

Por principio, las ondas ultrasónicas pueden propagarse a través de todos los medios donde existe materia, esto es, átomos. Por el contrario, no pueden propagarse en el vacío, por no existir materia que las sustente. Ya que la inspección ultrasónica se basa en un fenómeno mecánico, se puede adaptar para que pueda determinarse la integridad estructural de los materiales de ingeniería. Sus principales aplicaciones consisten en:

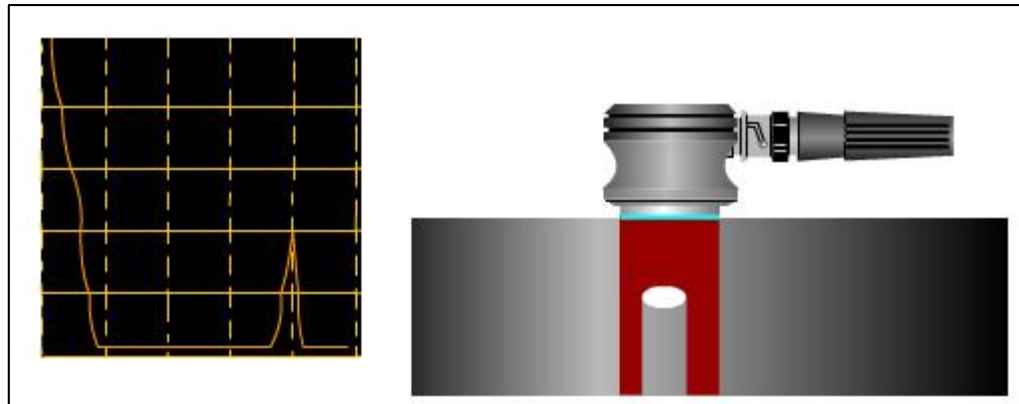
- Detección y caracterización de discontinuidades.
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño de grano y constantes elásticas.
- Definir características de enlaces (uniones).
- Evaluación de la influencia de variables de proceso en el material.

Ilustración 21. Componentes de un equipo de ultrasonido.



Fuente: www.ndtenespanol.org/aprenda.html

Ilustración 22. Espectro de ultrasonido



Fuente: www.ndtenespanol.org/aprenda.html

Ventajas

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido son:

- Un gran poder de penetración, lo que permite la inspección de grandes espesores.

- Gran sensibilidad, lo que permite la detección de discontinuidades extremadamente pequeñas.
- Su aplicación no afecta en operaciones posteriores.
- Los equipos actuales proporcionan la capacidad de almacenar información en memoria, la cual puede ser procesada digitalmente por una computadora para caracterizar la información almacenada.

Limitaciones

Las limitaciones del método de la inspección por ultrasonido incluyen las siguientes:

- La operación del equipo y la interpretación de los resultados requiere técnicos experimentados.
- Es necesario el uso de un material acoplante.
- Son necesarios patrones de referencia, para la calibración del equipo y caracterización de discontinuidades¹⁶.

6.6. Partículas magnéticas.

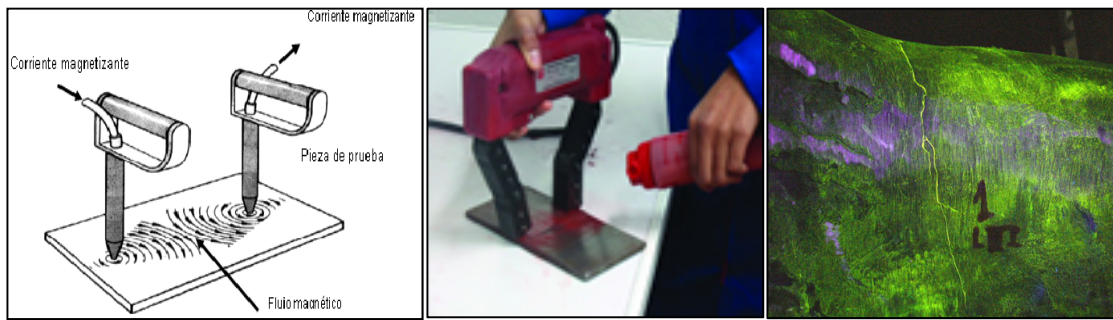
La Prueba de Partícula Magnética es un método de prueba no destructivo (NDT - siglas e ingles) para la detección de imperfecciones sobre o apenas debajo de la superficie de metales ferrosos. Es una técnica rápida y confiable para detección y localización de grietas superficiales por ejemplo.

Un flujo magnético es enviado a través del material. En el lugar de la imperfección se forma un campo de fuga, éste atrae el polvo de hierro que se rocía sobre la superficie. La longitud de la imperfección puede ser determinada de forma muy confiable. La Prueba de Partícula Magnética no indica la profundidad de la imperfección. Los criterios de aceptación definen si la indicación es no-aceptable (un defecto) o no.

¹⁶ <http://www.ndtenespanol.org/aprenda.html>

La Prueba de Partícula Magnética se puede utilizar para todo tipo de metales ferrosos, tales como acero al carbón, acero de baja aleación y hierro fundido. El uso principal de la Prueba de Partícula Magnética es en soldaduras y las zonas afectadas calor. Puede ser aplicada en superficies relativamente ásperas y sucias pero la sensibilidad disminuye por esto. Cuando se requiere sensibilidad máxima se pueden utilizar partículas fluorescentes¹⁷.

Ilustración 23. Prueba de partículas magnéticas



Fuente: www.pe.sgs.com/es_pe/magnetic_particle_testing

Ventajas:

- Se puede inspeccionar las piezas en serie obteniéndose durante el proceso, resultados seguros e inmediatos.
- La inspección es más rápida que los líquidos penetrantes y más económica.
- Equipo relativamente simple, provisto de controles para ajustar la corriente, y un amperímetro visible, conectores para HWDC, FWDC y AC.
- Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- Requiere menor limpieza que Líquidos Penetrantes.
- Detecta tanto discontinuidades superficiales y subsuperficiales.
- Las indicaciones son producidas directamente en la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.

¹⁷ http://www.pe.sgs.com/es_pe/magnetic_particle_testing?serviceld=17540&lobld=20029

- El equipo no requiere de un mantenimiento extensivo.
- Mejor verificación de las discontinuidades que se encuentran llenas de carbón, escorias u otros contaminantes y que no pueden ser detectadas con una inspección por Líquidos Penetrantes.

Desventajas:

- Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.
- Requiere de una fuente de poder.
- Utiliza partículas de fierro con criba de 100 mallas (0.00008 in)
- No detectará discontinuidades que se encuentren en profundidades mayores de 1/4".
- La detección de una discontinuidad dependerá de muchas variables, tales como la permeabilidad del material, tipo, localización y orientación de la discontinuidad, cantidad y tipo de corriente magnetizante empleada, tipo de partículas, etc.
- La aplicación del método en el campo es de mayor costo.
- La rugosidad superficial puede distorsionar las líneas de flujo.
- Se requieren dos o más inspecciones secuenciales con diferentes magnetizaciones.
- Generalmente después de la inspección se requiere de una desmagnetización.
- Debe tenerse cuidado en evitar quemadas por arco eléctrico en la superficie de la pieza con la técnica de puntas de contacto.
- Aunque las indicaciones formadas con partículas magnéticas son fácilmente observables, la experiencia en el significado de su interpretación es muchas veces necesario¹⁸.

¹⁸ <http://www.monografias.com/>

6.7. Ondas guiadas.

Esta basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferromagnéticas y no ferromagnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras.

Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que esta siendo inspeccionada¹⁹.

Aplicaciones de las corriente Eddy en Pruebas No Destructivas

- Medir o identificar condiciones o propiedades tales como: conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, tamaño de grano, condición de tratamiento térmico, dureza y dimensiones físicas de los materiales.
- Detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, como costuras, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones.
- Detectar irregularidades en la estructura del material.
- Medir el espesores de un recubrimiento no conductor sobre un metal conductor, o el espesor de un recubrimiento metálico no magnético sobre un metal magnético.

Ventajas:

- Se aplica a todos los metales, electroconductores y aleaciones.
- Alta velocidad de prueba.
- Medición exacta de la conductividad.
- Indicación inmediata.

¹⁹ <http://www.monografias.com>

- Detección de áreas de discontinuidades muy pequeñas. (0.0387 mm² – 0.00006in²)
- La mayoría de los equipos trabajan con baterías y son portátiles.
- La única unión entre el equipo y el artículo bajo inspección es un campo magnético, no existe posibilidad de dañar la pieza.

Limitaciones:

- La capacidad de penetración esta restringida a menos de 6 mm.
- En algunos casos es difícil verificar los metales ferromagnéticos.
- Se aplica a todas las superficies formas uniformes y regulares.
- Los procedimientos son aplicables únicamente a materiales conductores.
- No se puede identificar claramente la naturaleza específica de las discontinuidades.
- Se requiere de personal calificado para realizar la prueba.

6.8. MCE max (Equipo).

MCE MAX integra las pruebas, diagnóstico, control de inventario, la programación, y la contención de costes. El probador general supervisa todas las zonas de fallas potenciales y permite la notificación inmediata de las condiciones alarmantes en motores. La operación estática y dinámica única permite *MCE MAX* para ser utilizado en todas las aplicaciones y los motores independientemente de su tamaño, tipo o condición. Este probador combina la precisión de los análisis del circuito del motor con la conveniencia del análisis del motor de potencia.

Ilustración 24. MCEmax (Continuación)



Fuente: www.pe.sgs.com/es_pe/magnetic_particle_testing

El probador integral examina las seis zonas de fallas potenciales: estator, rotor, cámara de aire, calidad de la energía, circuito de potencia, y de aislamiento. Cada zona de la falla de motor se clasifica después de cada prueba. Los códigos de color permiten una rápida identificación de problemas potenciales de manera adicional el análisis de datos permite la definición de problemas y el aislamiento de la causa de cada falla de motor potencial²⁰.

6.9. Diagnostico SPT e instalaciones eléctricas.

El sistema de conexión a tierra garantiza la operación normal de los equipos y la seguridad de las personas ante corrientes anormales, otorgando una baja resistencia a estas corrientes nocivas para su disipación a tierra antes que comprometa la seguridad de las personas involucradas o afecte a todos los componentes del sistema eléctrico.

De acuerdo a la normativa Colombiana, todo tipo de equipo o elemento eléctrico debe estar puesto a tierra, con el fin de disminuir posibles tensiones de contacto o transferidas que sobrepasen los índices de soportabilidad del ser humano.

²⁰ <http://www.pdma.com/PdMA-MCEMAX.php>

Los sistemas de puesta son parte esencial de los sistemas eléctricos ya que sin ellos corrientes parasitas, de falla, aislamiento, fuga...etc, afectarían directamente a los equipos o al ser humano, por tal razón se plantea un análisis o diagnóstico del sistema de puesta a tierra e instalación eléctrica. Los estudios que se plantean para tal diagnóstico son:

- Resistencia de puesta a tierra.
- Equipotencialidad de tableros y equipos.
- Tensiones de paso, contacto y transferidas.
- Evaluación RETIE.
- Verificación de la coordinación de protecciones.
- Cargabilidad de transformador.

Los estudios anteriores permiten determinar el estado de la instalación frente al diseño inicial, y si requiere adecuación o repotenciación.

6.10. Calidad de la energía.

La definición de la calidad de la energía es muy amplia. Pero se puede definir como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje suministrado al usuario. Además le concierne la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente la calidad de la energía es el resultado de una atención continua. En años recientes, esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas eléctricos, las cuales, por sí solas resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida, la cual es usada en la iluminación, en la operación de diversos equipos, vídeo, aire acondicionado y sistemas de cómputo, así como en procesos industriales como de servicio, es importante contar con una buena calidad de energía. La energía

eléctrica además se ha empleado en la fabricación de la mayoría de las cosas que utilizamos. Por consiguiente los disturbios y variaciones de voltaje que se producen en la red eléctrica afectan directamente al usuario.

Por dar un ejemplo, las depresiones de voltaje por sólo cinco milisegundos son capaces de hacer que una computadora pierda su información o causar errores, es por esto que el incremento en el equipo de procesamiento de datos (computadoras) ha marcado al problema de la calidad de la energía como un problema muy serio.

Los disturbios no sólo afectan al equipo de los consumidores, sino que también perjudica la operación de la red de suministro. Los disturbios mencionados causan problemas como los que se citan a continuación:

- Operación incorrecta de controles remotos.
- Sobre calentamiento de cables.
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores y motores.
- Errores en medición.
- Operación incorrecta de sistemas de protección, entre otros

Debido a estos problemas, algún componente de cualquier equipo puede sufrir un daño considerable al presentarse algún transitorio que rebase su nivel de aislamiento. Otro ejemplo, un rectificador puede llegar a fallar si es expuesto a un voltaje transitorio arriba de cierto nivel.

Podemos decir, que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario, y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de la compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad²¹.

²¹ www.trilogiamagnetica.com.mx/

7. CONCLUSIONES.

- La ejecución del plan propuesto facilita la implementación de un plan maestro de mantenimiento, ya que se proponen las directivas básicas como lo son las 5's, correcta determinación de la criticidad de los equipos, el análisis de las fallas, su valor total de riesgo y la disponibilidad de equipos, herramientas con las cuales se facilita la determinación del tipo de mantenimiento más adecuado, teniendo como base el aplicativo Mpd1, ya sea un estudio de vibraciones o un estudio MCE Max (en el caso de un motor).
- En las pymes y mipymes se focalizan las labores de mantenimiento a la máquina o elementos de producción más importante, muchas de las veces sin contar con un estudio que sustente el porqué, con el aplicativo de criticidad y RPN se podrán sustentar o cambiar las decisiones tomadas por la empresa.
- El conocer los equipos que intervienen en el proceso productivo es un deber dentro de una empresa, gracias al formato FMEA planteado, no solamente se pretende crear la base de datos para el aplicativo en Excel sino carpetas de capacitación que sean accesibles a todo trabajador y de esta manera facilitar común aprendizaje del personal que interviene en el proceso productivo.
- El aplicativo en Excel presentado es una herramienta básica y sencilla que pretende acoplar los criterios básicos, aunque no es una herramienta

potente como lo es SAP, MP... etc, permite conocer la situación actual de los equipos de la empresa y presenta varias opciones de pruebas en mantenimiento predictivo.

- Es objeto de próximos estudios la vinculación del RPN y tipo de máquina al plan de mantenimiento más adecuado para equipos de equipos, ya que con él se simplificarían las decisiones a tomar en el tipo de prueba a tomar.

BIBLIOGRAFIA.

1. **COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley No. 590.** (10 de Julio de 2000). por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas. Bogotá D.C.
2. **ESPAÑA. INSTITUTO DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL.** Estadística de siniestralidad laboral de la region de Murcia. Murcia. 2008
3. **GONZÁLEZ PAZ, Claudio Julián Y ZAMBRANO BOTERO, Alejandro.** Estudio de estándares y manuales militares. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Medellín.: Universidad EAFIT. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería mecánica, 2002.
4. **IMAI, Masaaki.** Como implementar el Kaizen en el sitio de Trabajo (Gemba). [online]. Kaizen Institute Consulting Group Ltd. McGraw Hill 1998. Disponible en internet: <http://www.itseib.upc.edu/docs/biografia-masaaki.pdf>
5. **LÓPEZ HORTA, Juan Camilo y MONTOYA RESTREPO, José Andrés.** Modos de fallas y análisis de efectos. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Medellín.: Universidad EAFIT. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería mecánica, 2001.
6. **MORA GUTIERREZ, Alberto.** Mantenimiento Industrial efectivo. 1 ed. Medellín, Colombia. Coldi LTDA. 340 p.
7. **OROZCO MAJUL, Roberto Carlos.** Implementación del mantenimiento basado en confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en Buzca S.A.

Trabajo de grado Especialista en mantenimiento. Universidad UIS. Facultad de ingeniería físico-mecánicos. Escuela de ingeniería mecánica. 2009.

8. Disponible en internet: <http://www.thermografia.com/serv021.htm>
9. Disponible en internet: <http://www.a-maq.com>
10. Disponible en internet: <http://www.nivelatermografia.net/mantenimiento-predictivo-y-termografia>.
11. Disponible en internet: <http://www.isotec.com.co/liquidados.php>.
12. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos30/radiografia-industrial/radiografia-industrial.shtml>.
13. Disponible en internet: <http://www.ndtenespanol.org/aprenda.html>.
14. Disponible en internet: http://www.pe.sgs.com/es_pe/magnetic_particle_testing.
15. Disponible en internet: <http://www.monografias.com>.
16. Disponible en internet: <http://www.trilogiamagnetica.com.mx>