



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
“ANTONIO JOSE DE SUCRE”  
VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ  
TRABAJO DE GRADO

**Diseño de un Programa de Mantenimiento  
Predictivo Basado en el Análisis de  
Criticidad de los Motores Eléctricos de  
Inducción Trifásica de Inyección de Agua y  
Transferencia de Crudo de la Planta UM-2  
de la Superintendencia de Mantenimiento  
de PDVSA-PETRODELTA.**

Br. Reinaldo Puga  
C.I 19.095.286

Ciudad Guayana, Noviembre de 2014.

**Diseño de un Programa de  
Mantenimiento Predictivo Basado en el  
Análisis de Criticidad de los Motores  
Eléctricos de Inducción Trifásica de  
Inyección de Agua y Transferencia de  
Crudo de la Planta UM-2 de la  
Superintendencia de Mantenimiento de  
PDVSA-PETRODELTA.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRABAJO DE GRADO**

**Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en un Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.**

Trabajo que se presenta ante el Departamento de Ingeniería Industrial como requisito académico para la aprobación del trabajo de grado.

---

Ing. Natacha Alarcón

Tutor Académico

---

Ing. Eduardo Medrano.

Tutor Industrial

**Ciudad Guayana, Noviembre 2014**

Puga Cordero, Reinaldo Enrique

**Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en un Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.**

Páginas 245

Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica Vice-Rectorado  
Puerto Ordaz Departamento de Ingeniería Industrial

Tutor Industrial: Ing. Eduardo Medrano.

Tutor Académico: Ing. Natacha Alarcón.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRABAJO DE GRADO**

**ACTA DE APROBACIÓN**

Quienes suscriben, miembros del Jurado Evaluador designados para evaluar el Trabajo de Grado, presentado por el **Br. Reinaldo Enrique Puga Cordero**, titular de la **C.I 19.095.286**, titulado “**Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.**” Realizado en el Taller Central de la Planta UM-2 PDVSA-PETRODELTA, consideramos que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos para tal efecto y de acuerdo con los criterios establecidos para la evaluación, lo declaramos: **APROBADO.**

\_\_\_\_\_

Natacha Alarcón

Tutor Académico

\_\_\_\_\_

Jurado Evaluador

\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Medrano

Tutor Industrial

\_\_\_\_\_

Jurado Evaluador

## DEDICATORIA

Primeramente a Dios todo poderoso, por acompañarme a lo largo de mi vida, por protegerme día tras día, por darme salud y toda la fuerza para continuar y lograr este éxito que representa una satisfacción personal, ya que sin el nada es posible.

A mi padre que en paz descase, una terrible enfermedad te alejo de nosotros pero siempre estarás en mi corazón y en cada uno de mis logros no sabes cuánto de extraño. Te amo mi viejo.

A mi madre por su incondicional apoyo y amor durante toda mi vida, por la que siento profunda admiración por ser una mujer luchadora y dedicada.

A mi hermanita por brindarme su apoyo y su cariño siempre.

## AGRADECIMIENTO

A mi Padre Celestial, mi Señor Dios por guiarme y permitirme levantarme todas las veces que he caído. Por darme una hermosa familia, por permitirme poder realizar mis estudios dándome siempre las herramientas necesarias para enfrentar y vencer todas las adversidades y cruzar en mi camino a todas esas personas que no tengo duda que son ángeles enviados por ti para quitar las piedras del camino.

A mi padre Carlos Puga que en paz descanse que contribuyo enormemente para la realización de mis estudios que a pesar de su enfermedad nunca dejo de darme ánimos y sabios consejos para seguir adelante y me dejo una gran enseñanza que llevare por siempre en mi corazón. “Luchar incansablemente por mis sueños hasta el último respiro”.

A mi madre Nancy Cordero por la formación, el apoyo y la motivación brindada. Así como también todos los consejos. Los principios y sobre todo enseñarme a valorar las cosas practicando siempre la humildad.

A mi hermanita Virginia Puga por brindarme su apoyo y cariño siempre.

A la UNEXPO por abrirme todas las puertas; está ha sido una gran casa de estudio para mí donde me he superado personal y profesionalmente.

A la Ing. Natacha Alarcón, por su guía a lo largo de la elaboración de mi trabajo de grado y su apoyo, quien ha sido un ejemplo a seguir.

Al Ing. José Maita por sus sabios consejos a nivel profesional y personal y su apoyo en todo momento.

Al Ing. Eduardo Medrano por brindarme su apoyo en todo lo que necesite para elaborar mi trabajo de grado.

Al personal que labora en la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PRODELTA de GVG por su contribución para la elaboración de este proyecto.

A todos mis amigos karolyna Ocariz, Nathaly Padrino, Susan Mariña, Alieska Romero, Isaac Tabate, Loenel Isasis, Juan Chancellor, Carlos Zambrano, Angys Fonseca que siempre a pesar de todo están cuando los necesito.

A mis profesores por brindarme las herramientas necesarias para poder desarrollarme profesionalmente como Ing. Industrial.



## ÍNDICE GENERAL

Índice General	IX
Índice de Tablas	XIII
Índice de Figuras	XV
Resumen	XIX
Introducción	21
Capítulo I: El Problema	25
Planteamiento del Problema	25
Objetivos	28
Objetivo General	28
Objetivos Específicos	29
Alcance	30
Delimitaciones	31
Limitaciones	31
Capítulo II: Marco Referencial	33
Generalidades de la empresa	33
Reseña Histórica	33
Visión	36
Misión	36
Valores	37
Proceso de Producción de la Planta UM-2	38
Ubicación Geográfica de la Planta UM-2	48
Estructura Organizativa de la empresa	49
Capítulo III: Marco Teórico	50
Mantenimiento Predictivo	51

Organización para el mantenimiento predictivo	51
Metodología de las Inspecciones	53
Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo	54
Análisis de Vibraciones	54
Análisis de Lubricantes	56
Análisis por Ultrasonido	58
Termografía	59
Análisis de FMECA	62
Programa de mantenimiento predictivo	64
Equipos para diagnostico predictivo	69
Motores Eléctricos Trifásicos	77
Partes y funcionamiento del motor eléctrico trifásico	79
Conexión Delta	102
Conexión Estrella	104
Aislamiento	113
Fallas en Motores Eléctricos	119
Análisis de Criticidad de Falla y Efectos	131
Glosario	142
Capitulo IV: Marco Metodológico	142
Tipo de la Investigación	142
Diseño de la Investigación	149
Población y Muestra	150
Técnicas e Instrumentos	151
Procedimiento	153
Capítulo V: Situación Actual	158
Diagrama Causa-Efecto	159

Análisis FODA	161
Gama de Motores Elegidos para el Estudio	168
Método Predictivo de Inspección Visual	169
Equipos con los que Cuenta el Taller Central para realizar los mantenimientos predictivos	175
Capítulo VI: Análisis de Resultados	181
Recopilación de datos de las chapas de los motores	181
Determinar las variables técnicas utilizando técnicas predictivas	191
Variables elegidas para el Diagnostico Predictivo del Motor Eléctrico	192
Utilizando la metodología análisis de criticidad se Tomaron 3 muestras de la población más critica de la planta	193
Rango óptimo para los valores de comportamiento de los motores eléctricos	204
Capitulo VII: Situación Propuesta.	206
Diseño para la implementación del programa de mantenimiento predictivo	206
Etapas de la implementación del diseño	210
Diseño de un modelo de simulación a través de Microsoft Office Excel	215
Matriz FODA Propuesta	223
Instructivo de la Orden de trabajo del Mantenimiento predictivo	225

---

Programa de mantenimiento para 2015	229
CONCLUSIONES	235
RECOMENDACIONES	237
BIBLIOGRAFIA	239
APENDICE	240

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Matriz FODA Situación Actual del Taller Central	167
2. Cámara Termografica	175
3. Vibrometro	176
4. Ultrasonido	177
5. Estroboscopio	178
6. Análisis de corriente, voltaje y Nivel de Aislamiento	179
7. Engrasador	180
8. Chapa técnica del M-420	181
9. Chapa técnica del M-421 A	182
10. Chapa técnica del M-421 B	182
11. Chapa técnica del M-430	183
12. Chapa técnica del M-428 A	183
13. Chapa técnica del M-428 B	184
14. Chapa técnica del M-431	184
15. Chapa técnica del M-417 A	185
16. Chapa técnica del M-417 B	185
17. Chapa técnica del M-406 A	186
18. Chapa técnica del M-406 B	186
19. Chapa técnica del M-406 C	187
20. Chapa técnica del M-406 D	187
21. Chapa técnica del M-433 A	188
22. Chapa técnica del M-433 B	188
23. Chapa técnica del M-433 C	189

---

24. Chapa técnica del M-435 A	189
25. Chapa técnica del M-435 B	190
26. Chapa técnica del M-435 C	190
27. Ejemplo las mediciones y parámetros usados para el diagnóstico predictivo.	191
28. Parámetros de monitoreo por tipo de equipo.	192
29. Categoría de Frecuencias	193
30. Categoría de Impacto	194
31. Frecuencia x Impacto Total M-433 A	196
32. Frecuencia x Impacto Total M-417 A	199
33. Frecuencia x Impacto Total M-431	202
34. Rango Optimo para los valores de comportamiento de los equipos	205
35. Matriz FODA Situación Propuesta para el Taller	224
36. Frecuencia definida para cada técnica seleccionada	229
37. Planificación del mantenimiento predictivo	230
38. Identificación de tareas por color	231

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. PETRODELTA	35
2. Esquemático de campos, estaciones de flujo, gasoductos, Oleoductos y puntos de entrega y fiscalización	38
3. Flujograma del Proceso de Tratamiento de crudo (UM-1)	40
4. Etapas del proceso de tratamiento de crudo.	41
5. Separador de media presión	42
6. Separador de baja presión	42
7. Separador portátil	43
8. Separador horizontal con tanque de calibración	43
9. Separador vertical	44
10. Separador trifásico	44
11. Tratadores de crudo	45
12. Tanque de almacenamiento de crudo	45
13. Flujograma del proceso de tratamiento de agua	46
14. Tratadores de agua WEMCO	47
15. Filtros de agua y tanques de almacenamiento de agua	47
16. Ubicación Relativa Regional de la Unidad Monagas Sur de Petrodelta S.A	48
17. Estructura organizacional de PDVSA Petrodelta.	49
18. Evaluación del Mantenimiento Industrial	50
19. Análisis histórico de un mantenimiento predictivo	52
20. Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo de la planta	54
21. Transformada Tiempo-Frecuencia	55
22. Cámara termografía	70
23. Aplicación de la cámara termografía a un motor eléctrico	70

24. Analizador de calidad de energía Fluke 43B	71
25. Analizador de calidad de energía AEMC	72
26. Analizador de calidad de energía METREL	72
27. Analizador registrador para monitoreo de redes eléctricas	73
28. Analizador de vibraciones portátil VIBCHECK	74
29. Evaluador de circuitos de motor	75
30. Motores eléctrico de inducción trifásica	76
31. Rotor de polos no salientes en un motor síncrono	81
32. Rotor de polos salientes en un motor síncrono	81
33. Motores de inducción asíncronos	82
34. Estator de un motor asíncrono trifásico	83
35. Tensión de servicio	89
36. Tensiones normalizadas para las redes de corriente trifásica	89
37. Conexiones de servicio de los motores trifásicos y sus potencias	90
38. Partes de un motor	91
39. Componentes de un motor trifásico de jaula de ardilla	96
40. Curvas típicas NEMA	97
41. Motor de Inducción	100
42. Conexión Delta	103
43. Operación para uno o dos voltajes	103
44. Conexión Estrella	104
45. Conexión bajo voltaje en paralelo	104
46. Tipo de Conexiones	105
47. Placa características de un motor de inducción	107
48. Carcasa ODP	109



49. Matriz de Criticidad	134
50. Niveles de análisis para evaluar criticidad	135
51. Estimación de la frecuencia de la falla funcional	137
52. Criterios y sus rasgos preestablecidos	137
53. Matriz de Criticidad-PEP 1	139
54. Diagrama Causa-Efecto	159
55. Transferencia de crudo a la venta	168
56. Planta de agua nueva y vieja	169
57. Ruidos anormales	170
58. Vibraciones extrañas	171
59. Fuga de agua salada cercanas al equipo	171
60. Calentamiento de rodamiento	172
61. Comprobación del estado de la pintura	172
62. Observación de signos de corrosión	173
63. Acometidas eléctricas deterioradas	173
64. Sobrecorriente	174
65. Inspección a los motores más críticos de la planta	174
66. Matriz de criticidad M-433 A	197
67. Matriz de criticidad M-417 A	200
68. Matriz de criticidad M-431	203
69. Flujograma del mantenimiento predictivo	207
70. Flujograma de roles y responsabilidades del mantenimiento	211
71. Formato de diagnóstico predictivo	214
72. Nivel de criticidad optima de vibración	216
73. Nivel de criticidad critica termografica	216
74. Nivel de criticidad alerta de RPM M-431	217

75. Nivel de criticidad alerta del RPM M-417 A	218
76. Nivel de criticidad critica del RPM M-433 A	218
77. Nivel de criticidad critico debido a sobrevoltaje M-433 A	219
78. Nivel de criticidad optima del voltaje M-417 A	220
79. Nivel de criticidad critica por disminución del voltaje M-431	220
80. Nivel de criticidad alerta de la corriente M-417 A	221
81. Nivel de criticidad critico por sobrecorriente M-431	222
82. Nivel de criticidad critica por disminución de la corriente	222
83. Nivel de criticidad de alerta del aislamiento	223
84. Instructivo y orden de mantenimiento predictivo 1 parte	227
85. Instructivo y orden de mantenimiento predictivo 2 parte	228
86. Instructivo y orden de mantenimiento predictivo 3 parte	228
87. Cronograma de mantenimiento predictivo Enero-Junio 2015	232
88. Cronograma de mantenimiento predictivo Julio-Diciembre 2015	233

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA**

**“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en un Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.**

**Autor: Reinaldo E. Puga C.**

**Tutor Académico: Ing. Natasha Alarcón**

**Tutor Industrial: Ing. Eduardo Medrano**

**RESUMEN**

La siguiente investigación fue realizada en la empresa estatal petrolera PDVSA-PETRODELTA, específicamente en el Taller Central de la Planta UM-2 Campo Uracoa, en donde se realizó el diseño de un programa de mantenimiento predictivo basado en un análisis de criticidad de los motores eléctricos de inducción trifásica de inyección de agua y transferencia de crudo de la planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA. El diseño de la investigación fue no experimental debido a que la información obtenida de los Motores Eléctricos no fue sometida a ningún tipo de cambios o modificación. Fue del tipo Documental, debido a que se realizaron consultas a manuales de operación, planos, informes técnicos; descriptiva, porque permitió conocer y describir al Sistema operativo de los motores eléctricos de Inyección de

Agua y Transferencia de Crudo; del campo, debido a que se realizaron visitas técnicas a la Planta UM-2. Por los resultados obtenidos en el análisis de criticidad que se realizó se determinó que los motores eléctricos se consideran críticos. Datos que sirvieron para el diseño del programa de mantenimiento predictivo que debe ser aplicado a los mismos.

Palabras Clave: Motor, Criticidad, Mantenimiento, Predictivo.

## INTRODUCCION

Petróleos de Venezuela S.A. es la corporación que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país.

Es por ello que esta empresa necesita emplear procesos cada vez más efectivos y eficientes que permitan conducir a mejoras continuas en la calidad y en la ejecución de las actividades técnicas que involucren los objetivos que persigue PDVSA.

La Superintendencia de Mantenimiento está conformado por ingenieros y técnicos cuyo objetivo primordial consiste en incrementar la disponibilidad de los activos de la planta , a costos razonables, siendo una de sus principales actividades, el definir las acciones de mantenimiento que permitan que los activos continúen desempeñando las funciones para las cuales fueron diseñados, de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional específico; la condición y disponibilidad de sus sistemas productivos es un requisito indispensable para el cumplimiento de metas y objetivos.

Los motores de inducción trifásica ocupan en la actualidad un lugar muy importante dentro de la industria petrolera venezolana, es descrita como una maquina eléctrica capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica; al recibir la energía eléctrica trifásica forman un campo magnético giratorio; lo cual impulsa al rotor a girar. Estas máquinas de inducción en especial las de tipo jaula de ardilla; son las más conocidas y

usadas en la industria por proporcionar grandes ventajas; entre ellas están; robustez, mínimos o nulos requerimientos de mantenimiento, menores costos de operación; debido a que en ocasiones son conectadas directamente a la red eléctrica (frecuencia y voltaje constante) permitiendo accionar cargas a una velocidad esencialmente constante.

Estos hacen posible el proceso de separación trifásica ubicada en Planta de Agua Vieja y Nueva para llevar a cabo el proceso de purificar el agua para llevarlo a las especificaciones correspondientes e inyectarlo en los yacimientos petroleros. También cuenta con los motores ubicados en transferencia de crudo a la venta los cuales se pondrán en funcionamiento dependiendo de la fluencia de crudo que se esté despachando en determinadas situaciones convirtiéndose así en un área de vital importancia para la planta ya que su correcta operatividad garantiza los ingresos financieros de la empresa.

Los motores eléctricos existentes en la planta UM-2 ubicados en la División Carabobo campo Uracoa cuentan con los parámetros de calidad establecidos por la empresa PDVSA-PETRODELTA, pero requieren de máximo mantenimiento y en definitiva una rutina de trabajo forzada debido al deterioro de muchos de estos equipos sobre todo los de media tensión que no cuentan con un respaldo en caso de dañarse alguno de ellos, incluyendo el déficit de personal calificado y no calificado de mantenimiento.

En los últimos años dentro de la empresa PDVSA-PETRODELTA los costos reparación de motores de inducción trifásica que fallaron se han venido incrementando, esto hace necesario un estudio de ingeniería para detectar las principales causas que originan dichos problemas con la

finalidad de definir acciones para minimizar la incidencia de estas y el impacto operacional que tales fallas ocasionan a la empresa.

La Superintendencia de Mantenimiento de la PDVSA-PETRODELTA necesita implementar un programa de mantenimiento basado en condición, en sus equipos críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos, reducción de fallas inesperadas, disminuir el inventario de repuestos así como las actividades de mantenimiento predictivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos rotativos.

Por estos motivos se realizó el **DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA DE INYECCIÓN DE AGUA Y TRANSFERENCIA DE CRUDO DE LA PLANTA UM-2 DE LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO DE PDVSA-PETRODELTA.**

El trabajo de investigación está estructurado en los siguientes capítulos:

**Capítulo I:** Constituido por los Antecedentes, Planteamiento del Problema, Alcance de la Investigación, Delimitaciones y Limitaciones del Proyecto, Justificación e Importancia, Objetivo General y los Objetivos Específicos del Proyecto.

**Capítulo II:** Se presenta información sobre las generalidades de la empresa y la gerencia donde se desarrollara el proyecto.

**Capítulo III:** Se describe las bases teóricas y la definición de términos básicos.

**Capítulo IV:** En esta parte se presenta el tipo de investigación realizada, la población y muestra tomada, las técnicas para recolectar información y los procedimientos necesarios para alcanzar los objetivos.

**Capítulo V:** Se diagnostica la situación actual.

**Capítulo VI:** Análisis de resultados.

**Capítulo VII:** Presentación de las propuestas.



## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), es una de las corporaciones energéticas más importantes del mundo. En la actualidad se desenvuelve dentro de un ambiente competitivo que la impulsa a desarrollar constantemente proyectos de actualización y expansión, con el fin de optimizar sus procesos y garantizar la competitividad futura de la corporación en el mercado y está constituida por tres grandes divisiones: PDVSA Manufacturera y Mercadeo, PDVSA Servicios, PDVSA Exploración y Producción. La ultima cuál es responsable de los sistemas de producción de crudo en sus tres divisiones, Oriente, Occidente y Centro Sur, cubriendo gran parte de la geografía Venezolana.

En la Faja Petrolífera del Orinoco, PDVSA cuenta con la división Carabobo donde se encuentra PETRODELTA, una empresa dedicada a la exploración, explotación, producción y tratamiento de crudo y gas con las condiciones de comercialización que exige el mercado. Opera en el sur del estado Monagas y en el estado Delta Amacuro. Cuenta con seis campos operacionales conocidos como: Uracoa, Bombal, Tucupita, Temblador, Isleño y El Salto.

Actualmente en el campo Uracoa se encuentra la Planta UM-2 encargada de eliminar impurezas tales como sedimentos, gas y agua además de llevarlo a un nivel óptimo de especificaciones técnicas para su comercialización.

El proceso que se lleva a cabo en la Planta UM-2 ubicada en el campo Uracoa se divide en 6 etapas

- 1- Recolección.
- 2- Separación.
- 3- Tratamiento.
- 4- Almacenamiento.
- 5- Bombeo y transferencia.
- 6- Fiscalización.

Esto se logra con motores eléctricos de inyección trifásica que se utilizan como equipos conductores que ponen en funcionamiento las bombas que serían el equipo conducido en este informe nos referiremos en los que se encuentran específicamente en Planta de agua vieja y nueva que impulsan el proceso de purificar el agua que viene de los separadores trifásicos que contienen crudo, agua y gas. Este tratamiento de agua pasa por varias etapas hasta lograr que cumpla con las especificaciones requeridas para luego ser inyectada en los yacimientos petroleros.

También nos enfocaremos en los motores eléctricos de inducción trifásica de transferencia de crudo a la venta los cuales son utilizados para bombearlo cuando ya cumple con las especificaciones óptimas establecidas en el reglamento de PDVSA.

Hoy en día la gestión de mantenimiento no solo supone una parte importante del presupuesto de una empresa, sino que además se hace fundamental conseguir la eficiencia de los equipos y por tanto del proceso productivo, llevándola a sustituir los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel técnico. La gestión de la disponibilidad la práctica de Ingeniería de Confiabilidad la gestión de activos y la medición

de los indicadores; así como la reducción de los costos de mantenimiento, construyen ahora los objetivos primordiales de la empresa.

Enfocando la gestión de mantenimiento como un factor clave para garantizar la disponibilidad y confiabilidad del proceso productivo, las organizaciones tienen la tarea de organizar y gestionar las actividades de mantenimiento de manera que maximice la utilización de los recursos y se logren los objetivos planteados dentro del marco de calidad y medio ambiente.

Esta tarea se cumple con la implementación de un sistema de gestión que se adapte a las características específicas del entorno que una vez implementado sea evaluado y ajustado periódicamente a las exigencias del mismo, a fin de que puedan hacerse efectivos los beneficios que aportan el proceso productivo de la organización.

Se han generado retrasos en la entrega en el tiempo estipulado de la producción final poniendo en riesgo la rentabilidad de la empresa por los altos costos que pueden representar las pérdidas como consecuencia de la producción “diferida de crudo” reflejando ello en pérdidas cuantificables de dinero, lo que a su vez también afecta de manera directa la confiabilidad del proceso.

También es importante resaltar que debido a la ausencia de un Sistema de Control de Inventario se desconoce el número de motores con los cuales cuenta la empresa tanto con los activos en STOCK como los que se encuentran en la Planta UM-2 desconociendo cuales motores han sido desincorporados, trasladados a otras áreas, los operativos y los no operativos. Generando una afectación negativa en la planificación de las actividades preventivas, correctivas y predictivas de esta forma la gestión

de mantenimiento sufre como consecuencia la ineficiencia tomando en cuenta el déficit de motores y la carencia de personal calificado y no calificado ocasionando de esta manera más esfuerzos laborales al personal existente para poder cumplir con el requerimiento mínimo de las actividades diarias y los imprevistos.

Es por esto que la Superintendencia de Mantenimiento y el Taller Central específicamente en los departamentos de mantenimiento eléctrico y mecánico de la empresa PDVSA- PETRODELTA División Carabobo Venezuela ubicada en campo Uracoa Estado Monagas, emprende la realización de un **DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASANDO EN UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA DE INYECCIÓN DE AGUA Y TRANSFERENCIA DE CRUDO DE LA PLANTA UM-2 PARA LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO DE PDVSA-PETRODELTA.**

## **OBJETIVOS.**

A continuación se presentan los objetivos a través de los cuales se rige la investigación realizada.

### **OBJETIVO GENERAL.**

Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1.** Diagnosticar la situación actual de las condiciones de mantenimiento predictivo aplicado a los Motores de Inducción Trifásica de la Planta UM-2 por parte del Taller Central de la empresa PETRODELTA-PDVSA.
- 2.** Recopilar información técnica de los motores eléctricos de inducción trifásica de baja y media tensión a través de un inventario para llevar el registro de los mismos.
- 3.** Seleccionar en la gama de motores que se encuentran en la Planta UM-2 los más importantes para el proceso.
- 4.** Elegir las variables que serán utilizadas para determinar los rangos, frecuencias e instrumentos del examen y los valores de criticidad para esos parámetros técnicos.
- 5.** Revisar si se cuentan con los equipos e instrumentos necesarios para el mantenimiento.
- 6.** Cuáles son los rangos óptimos para los valores de comportamiento de los parámetros técnicos que se van analizar.
- 7.** Diseño de la hoja Excel para la recopilación de datos de las variables.
- 8.** Diseño de la gráfica para representar cada una de las variables examinadas en el análisis indicando en que zona de criticidad se encuentra comparándola con las indicaciones de comportamiento del fabricante.

9. Plantear un procedimiento para la implementación un mantenimiento predictivo.
10. Elaborar instructivo con la orden de mantenimiento a ejecutar que evite una falla.
11. Crear un cronograma de actividades para realizar el mantenimiento predictivo 2015.

### **ALCANCE.**

La relevancia de este estudio se fundamenta en la necesidad que tiene la Superintendencia de Mantenimiento y el Taller central de PDVSA-PETRODELTA, en optimizar el proceso específicamente en las áreas de **Inyección de Agua y Transferencia de Crudo a la Venta** ubicados en la Planta UM-2 y reducir el índice de fallas que presentan los motores de inducción trifásica más críticos instalados tomando en cuenta el déficit actual de los mismos que presenta la industria significando para la empresa pérdida de capital.

La presente investigación arrojará una serie de beneficios que se traducen en disposición de un informe en el que se propone el Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Criticidad de los motores de inducción trifásica.

Se creará una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas, enfocándose en las áreas más importantes además de un soporte técnico para justificar inversiones económicas a futuro requeridas para solventar este problema con la aplicación y prevención de un conjunto de soluciones precisas dirigidas a aumentar la confiabilidad de los motores.

El programa contribuirá con un mejor uso de los recursos evitando retrasos en la entrega de producción final causado por paradas inesperadas de equipos vitales para el proceso.

### **DELIMITACIONES.**

El presente estudio se desarrollara en la División Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco donde se encuentra ubicada la empresa mixta PDVSA-PETRODELTA en la Superintendencia de Mantenimiento específicamente en el Taller Central del campo Uracoa ubicado en el Estado Monagas.

Los motores eléctricos de inducción trifásica son los principales impulsores del proceso de la planta UM-2. Aunque son eficientes y confiables, fallan con mucha frecuencia causando interrupciones en la producción, provocando pérdidas de ingresos que pueden muchas veces extender el costo mínimo del motor como también retrasos importantes de la entrega de producción final.

### **LIMITACIONES.**

- La falta de acceso a las fuentes de información de diversas páginas de interés para el desarrollo de este proyecto en el horario de permanencia dentro de la empresa, éstas son restringidas en pro de la seguridad de los activos de información y en base a las políticas y normas de seguridad de información de la corporación (política PSI-040303), dado que puede contener códigos maliciosos (virus, programas espías, entre otros).

- La poca documentación que se tiene sobre los Motores instalados en la planta sus especificaciones, su historial de mantenimiento y la ubicación de los mismos ya que muchos han sido desincorporados o trasladado a otras áreas creando un descontrol en el manejo de información oportuna.
  - La carencia de algunos equipos y herramientas que permitan elevar la eficiencia en la gestión de mantenimiento.
- Otra limitación viene dada por la manera en que se obtienen algunos de los repuestos para solventar la ausencia o el reemplazo de ellos en los motores, donde existe un mantenimiento programado o correctivo, ya que estos pueden provenir de 3 fuentes distintas de obtención:
- Cuando se requiere un repuesto y no se dispone en el almacén, éste es sacado de las partes de otro de igual especificación y características que se encuentre desincorporado.
  - Los repuestos y materiales que se piden a otras estaciones a nivel local o nacional en calidad de préstamo es la tercera fuente para conseguir de inmediato los insumos, luego se devuelven una vez que tengan entrada en almacén.
  - No menos importante viene dada por la gestión de la Superintendencia de Mantenimiento conjuntamente con el taller central que se encarga de realizar todos los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos de todos los campos: como lo son: Uracoa, Bombal, Tucupita, Temblador y Isleño tomando en cuenta el déficit de personal calificado y no calificado que posee.



## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES DE LA EMPRESA.**

#### **RESEÑA HISTORICA.**

La empresa Harvest Vinccler S.C.A. (HVSCA), tiene sus inicios en Venezuela en Julio de 1992 a través de la firma del Convenio de Servicios de Operación para la reactivación de la Unidad Monagas Sur, entre PDVSA y Benton Vinccler, C.A., consorcio formado por Benton Oil & Gas, Co. (Benton), quien poseía el 80 % de las acciones y Venezolana de Inversiones y Construcciones Clérico, C.A. (Vinccler), con el otro 20 %. Dicho convenio tenía una duración de 20 años para la explotación de reservas de petróleo y gas existentes en esos campos.

En Septiembre de 2002 se firma con PDVSA un acuerdo adicional del convenio para el desarrollo y explotación de las reservas de gas existentes, y a finales de 2003 se completa la primera fase del proyecto y se inicia la entrega de gas a la Unidad Monagas Sur (UMS). Las acciones de Benton Oil & Gas, Co. fueron adquiridas en el año 2004 por la empresa estadounidense Harvest Natural Resources, Inc., razón por la cual se cambió la denominación de Benton Vinccler C.A. a Harvest Vinccler, S.C.A.

En concordancia con las disposiciones del Ejecutivo Nacional, en el mes de Abril del 2006 se firmó un memorando de entendimiento para realizar la migración de los convenios operativos a Empresas Mixtas. A partir de esta fecha Harvest Vinccler S.C.A y la empresa petrolera del estado Petróleos de Venezuela (PDVSA), iniciaron el proceso de

migración que culminó el 25 de Octubre de 2007 con el decreto de transferencia a Petrodelta S.A del derecho a desarrollar las actividades de exploración, extracción, transporte y almacenamiento de Hidrocarburos de acuerdo a las disposiciones de la Ley de Hidrocarburos y las gacetas oficiales 38.430 y 38.706; del 5 de Mayo de 2006 y el 15 de Junio de 2007, respectivamente.

Cabe destacar además que a través de la gaceta 38.706 se aprobó la inclusión de los campos *Temblador* (162,98 km<sup>2</sup>), *El Isleño* (117,82 km<sup>2</sup>) y *El Salto* (475 km<sup>2</sup>) al sur del estado Monagas. Petrodelta S.A, está constituida por la sociedad entre la Corporación Venezolana del Petróleo con un 60% de las acciones y Harvest- Vinccler S.C.A con un 40%.

PDVSA Petrodelta S.A. nace de acuerdo a disposiciones del ejecutivo nacional, según memorando de entendimiento firmado en Abril del 2006 con miras a realizar la migración de los antiguos convenios operativos que poseía la empresa Harvest Vinccler S.C.A, a empresas mixtas. Petróleos de Venezuela (PDVSA), a partir de tal fecha inician el correspondiente proceso de migración que culmino el 25 de Octubre del 2007 con el decreto de transferencia a PETRODELTA, S.A. del derecho de desarrollar las actividades de exploración, extracción, transporte y almacenamiento de hidrocarburos de acuerdo a las disposiciones de la Ley respectiva y las Gacetas Oficiales 34.430 y 38.706; del 5 de mayo del 2006 y 15 de junio del 2007; respectivamente.

PDVSA Petrodelta S.A. es una empresa dedicada a la exploración, explotación, producción y tratamiento del gas, crudo y agua. Opera en el sur del estado Monagas y cuenta con seis campos operacionales conocidos como: Uracoa, Bombal Tucupita, Temblador, Isleño y El Salto; en su totalidad ocupan una superficie de 1060,03 Km<sup>2</sup> aproximadamente

(ver figura 1). En el campo Tucupita se realiza la separación y tratamiento de la producción de crudo y agua. Asociada a los pozos productores. Una vez en especificaciones, el crudo es trasladado a través de oleoductos hasta la Estación de Flujo UM-1 ubicada en Campo Uracoa. La producción de crudo y gas asociada al Campo Bombal es transferida a través de un oleoducto que converge con la producción del Campo Tucupita, hasta la Estación de Flujo UM-1. La Estación de Flujo UM-2 ubicada en Campo Uracoa, recibe el total de la producción de la Unidad Monagas Sur (UMS). En esta instalación se realiza la separación y tratamiento de los fluidos trifásicos (gas, crudo y agua) recolectados, y una vez cumplidos los requerimientos de calidad: el gas y el crudo son transferido a través de un gasoducto y oleoducto, hasta las Estaciones de Recibo: Estación de Válvulas de Transferencia MAMO y EPT-1 de PDVSA respectivamente.

### **CAMPO URACOA**



**Figura 1 PETRODELTA**  
**FUENTE: Departamento de RRHH de Petrodelta.**

## Filosofía de la Empresa

### ***Misión***

Maximizar el valor de los hidrocarburos a la nación, mediante la ejecución de sus actividades en forma eficaz, eficiente y transparente, con conciencia de seguridad y protección ambiental, para consolidar la plena soberanía energética y el desarrollo integral de la nación rumbo al Socialismo Bolivariano.

### ***Visión***

Ser la empresa mixta de referencia, reconocida por la fortaleza técnica y práctica de los valores y principios socialistas de sus trabajadores; con la gestión empresarial transparente orientada al logro de la suprema felicidad social de la nación.

### ***Objetivos***

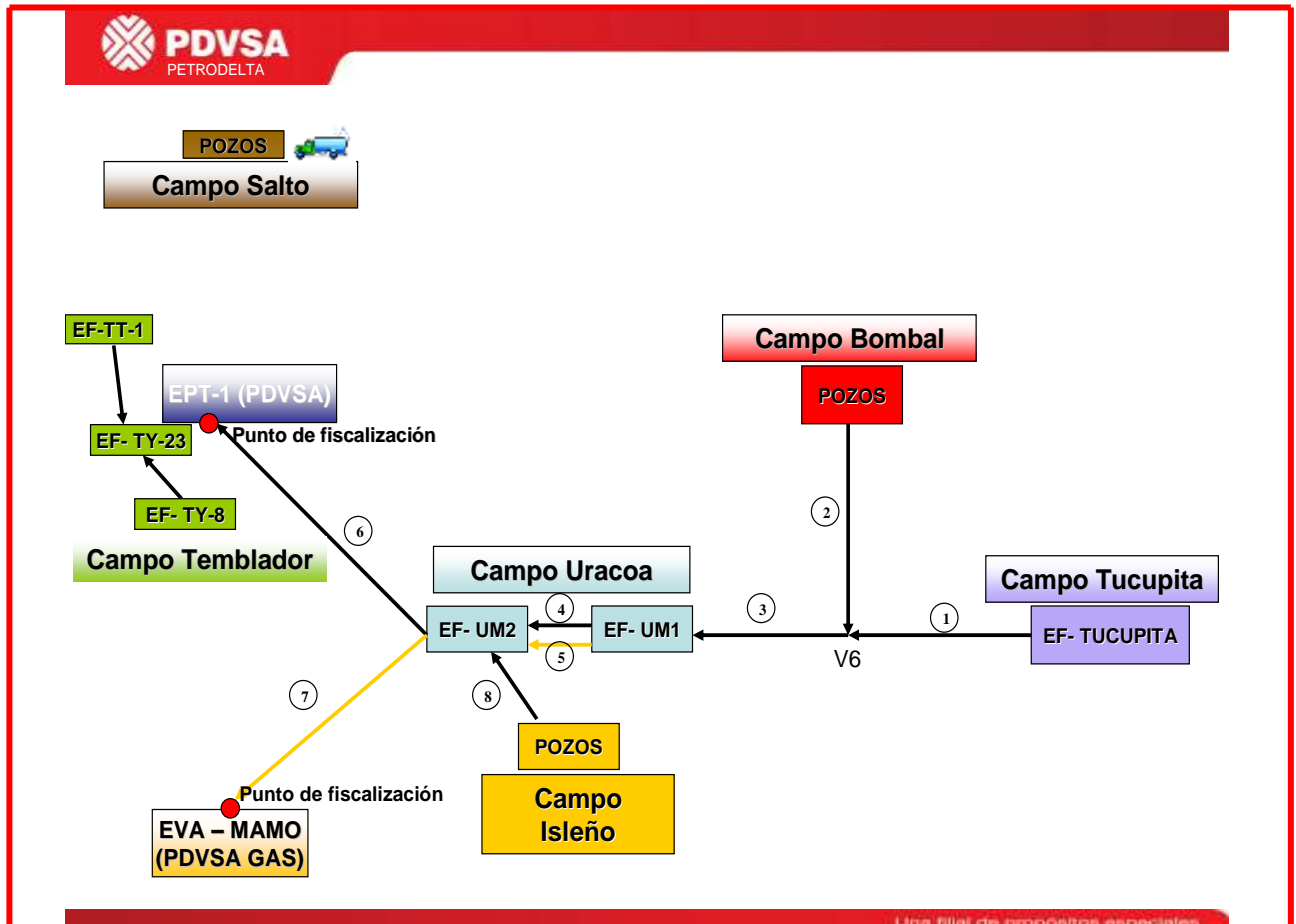
- ✓ Extraer en forma racional y planificada los hidrocarburos contenidos en los yacimientos dados en concesión, enmarcados en los planes estratégicos de la nación.
- ✓ Realizar investigación y estudios de ingeniería que permiten incorporar nuevas tecnologías para optimizar los métodos de extracción y recuperación secundaria de crudo y gas.
- ✓ Efectuar las operaciones cumpliendo con los parámetros establecidos en el marco legal a fin de minimizar daños ambientales.
- ✓ Apalancar el desarrollo de la región mediante la apertura de nuevas fuentes de empleo, apoyando la creación de programas enmarcados en el desarrollo sustentable dirigido a las comunidades circunvecinas.
- ✓ Formar profesionales altamente calificados que promuevan el desarrollo organizacional y contribuyan al crecimiento de la nación.

### **Valores**

Amor.  
Humanidad.  
Hermanidad.  
Ética Socialista.  
Igualdad  
Justicia Social.  
Lealtad.  
Honestidad.  
Transparencia.  
Compromiso.

Firmeza.  
Dignidad.  
Disciplina.  
Solidaridad.  
Combatividad.  
Puntualidad.  
Constancia.  
Deber Social.  
Patriotismo.  
Unidad.

## Proceso de Producción PDVSA-PETRODELTA.



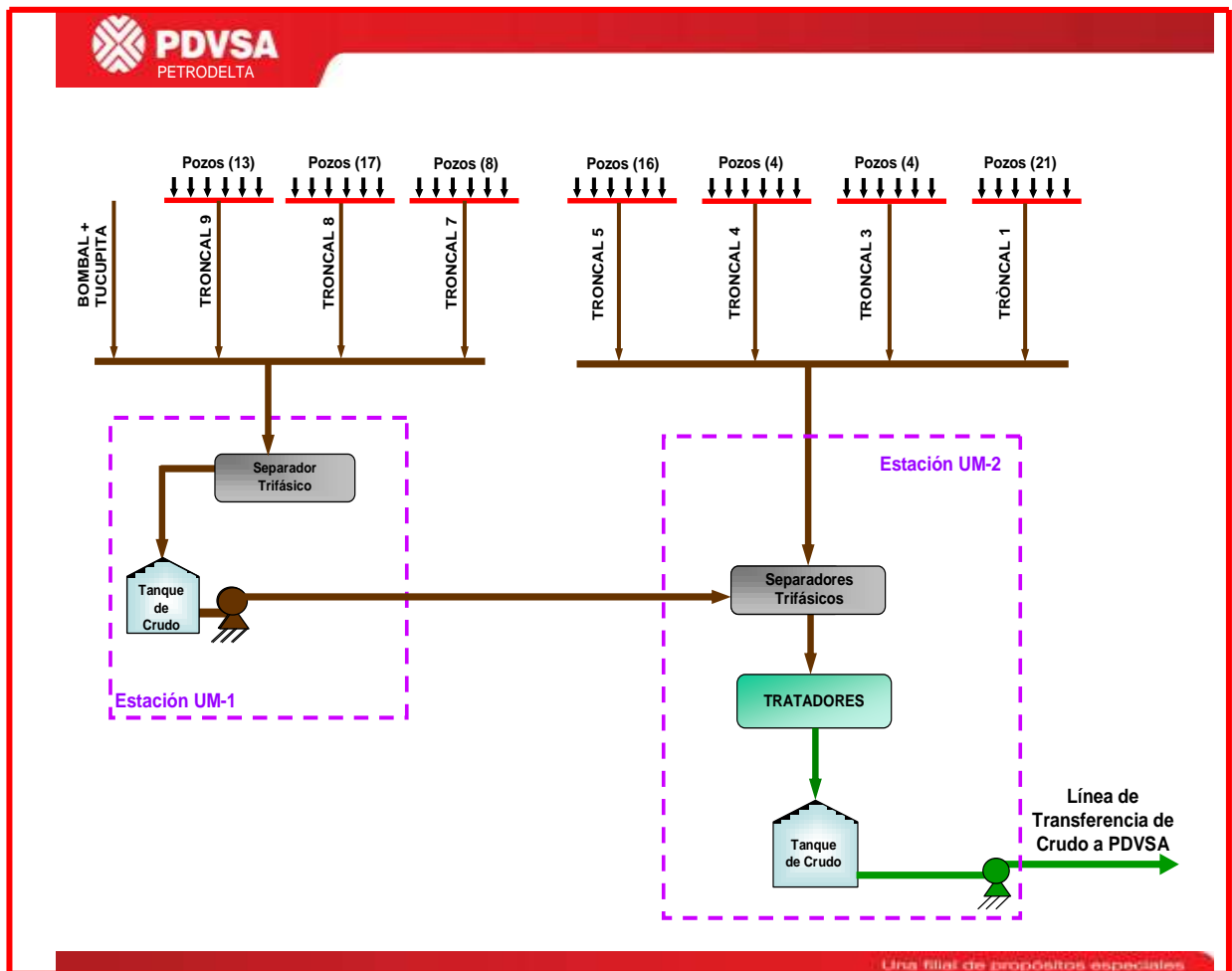
**Figura 2 Esquemático de campos, Estaciones de Flujo, Gasoductos, Oleoductos y Puntos de Entrega y Fiscalización.**  
**FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**

### Manejo del Crudo.

#### Facilidades de producción de crudo.

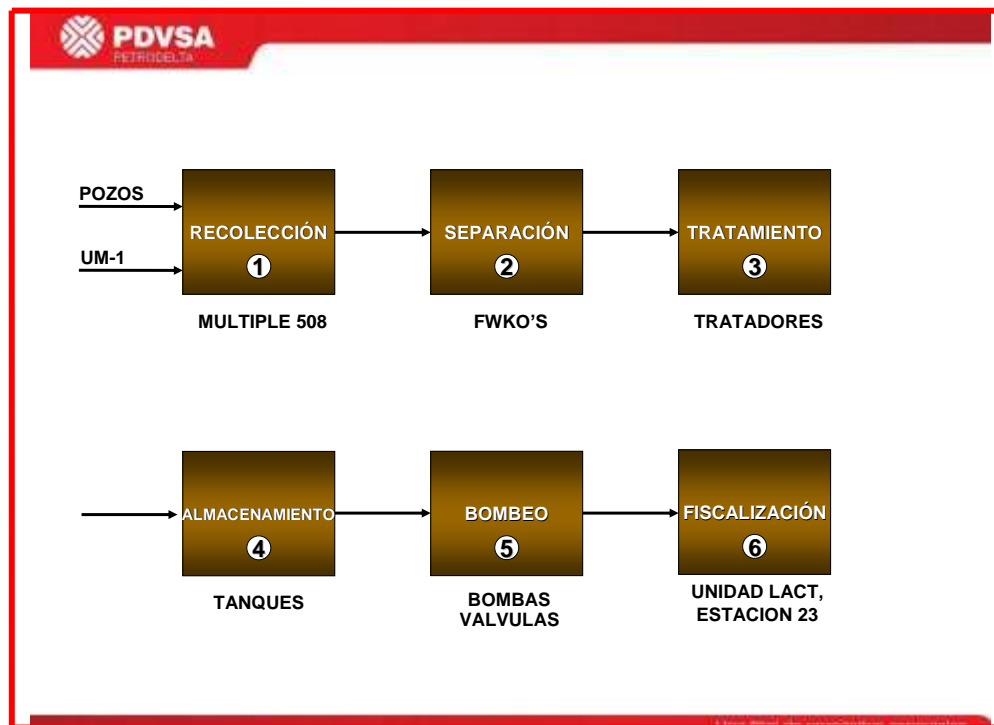
- Campo Uracoa:
  - 3 Separadores Trifásicos.
  - 3 Tratadores de Crudo.
  - Capacidad 60000 BPPD, 120000 BAPD, 110 MMSCFD.
  - Generación de Energía Eléctrica 14 Mwatts.

- Campo Tucupita:
  - 1 Separador Trifásico.
  - Capacidad 30000 BPPD, 125000 BAPD.
  - Generación de Energía Eléctrica 7 Mwatts.
  - Línea de Transferencia de Crudo 10" 37 Km. Tucupita – V6.
  - Línea de Transferencia de Crudo 12" 15 Km. V6 – UM1.
- Línea de Transferencia de Crudo:
  - Longitud de 38 Km.
  - Medición en EPT-1 PDVSA (Estación de Recibo).
- Campo Bombal:
  - Línea de Transferencia de Crudo 10" 10 Km. Bombal – V6.
- Campo Isleño:
  - 2 Separadores de Prueba.
  - Línea de Transferencia de Crudo 16" 7 Km. Isleño – UM2.



**Figura 3 Flujograma del Proceso de tratamiento de crudo (UM-1)**  
(UM-FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.





**Figura 4 Etapas del proceso de tratamiento de crudo.**  
**FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**

Para el manejo de crudo se cuenta con:

- 15 Separadores de baja presión.
- 10 Separadores de media presión.
- 2 Separadores portátiles.
- 13 Tanques de calibración.



**Figura 5 Separador de media presión.  
FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**



**Figura 6 Separador de baja presión.  
FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**

**Separadores de pruebas asociados al sistema de baja presión.**



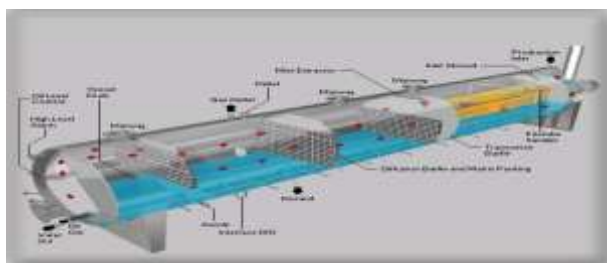
**Figura 7 Separador portátil.**  
**FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**



**Figura 8 Separador horizontal con tanque de calibración.**  
**FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**



**Figura 9 Separador vertical.**  
**FUENTE:** Sala de Control de Petrodelta.



**Figura 10 Separador trifásico.**  
**FUENTE:** Sala de Control de Petrodelta.

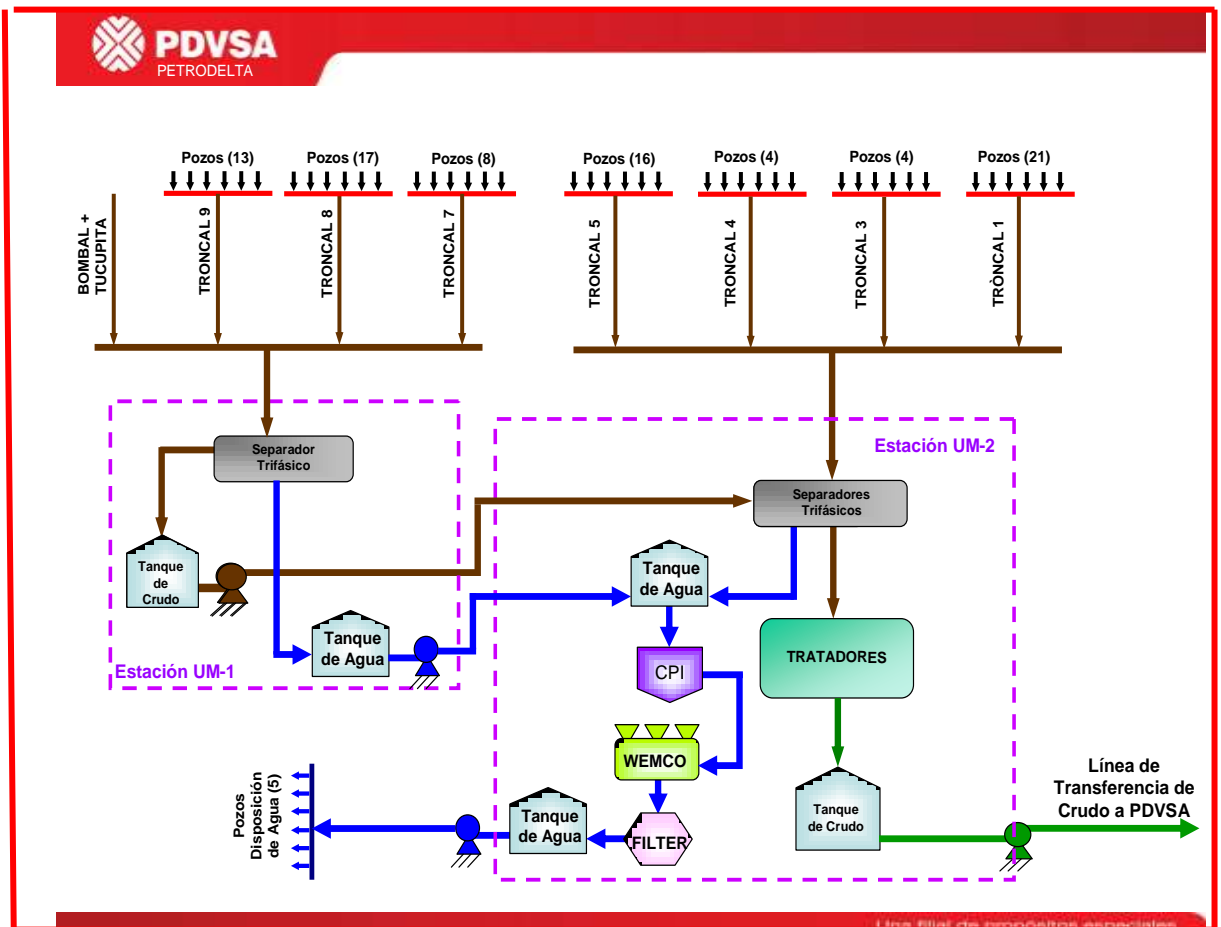


**Figura 11 Tratadores de crudo.**  
**FUENTE: Sala de Control de Petrodelta.**



**Figura 12 Tanque de almacenamiento de crudo.**  
**FUENTE:** Sala de Control de Petrodelta.

## Manejo del agua.



**Figura 13** Flujograma del proceso de tratamiento de agua.  
**FUENTE:** Sala de Control de Petrodelta.





**Figura 14** Tratadores de agua WEMCO.  
**FUENTE:** Sala de Control de Petrodelta

**Filtros de Agua**

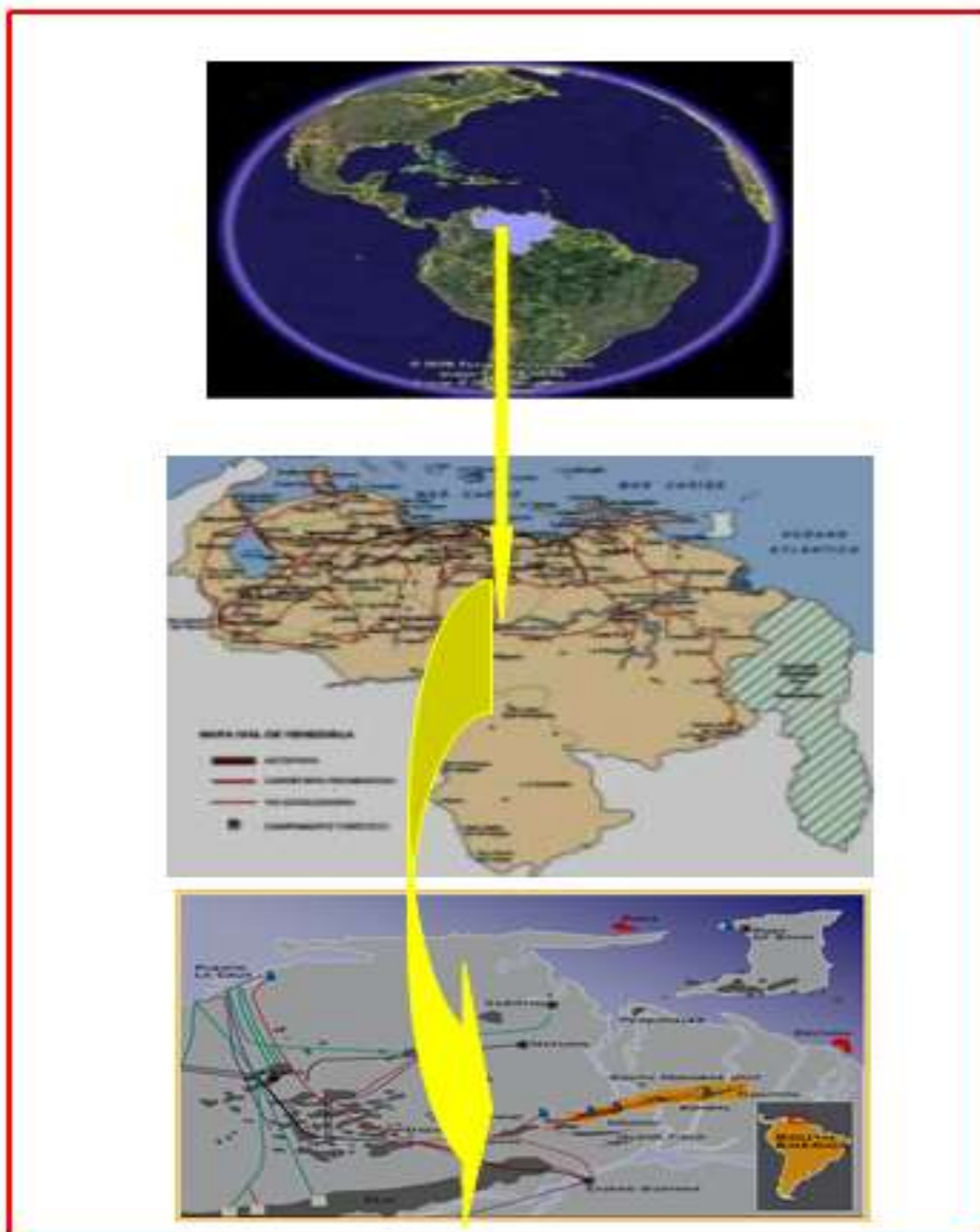


**Tanques de Almacenamiento de Agua**



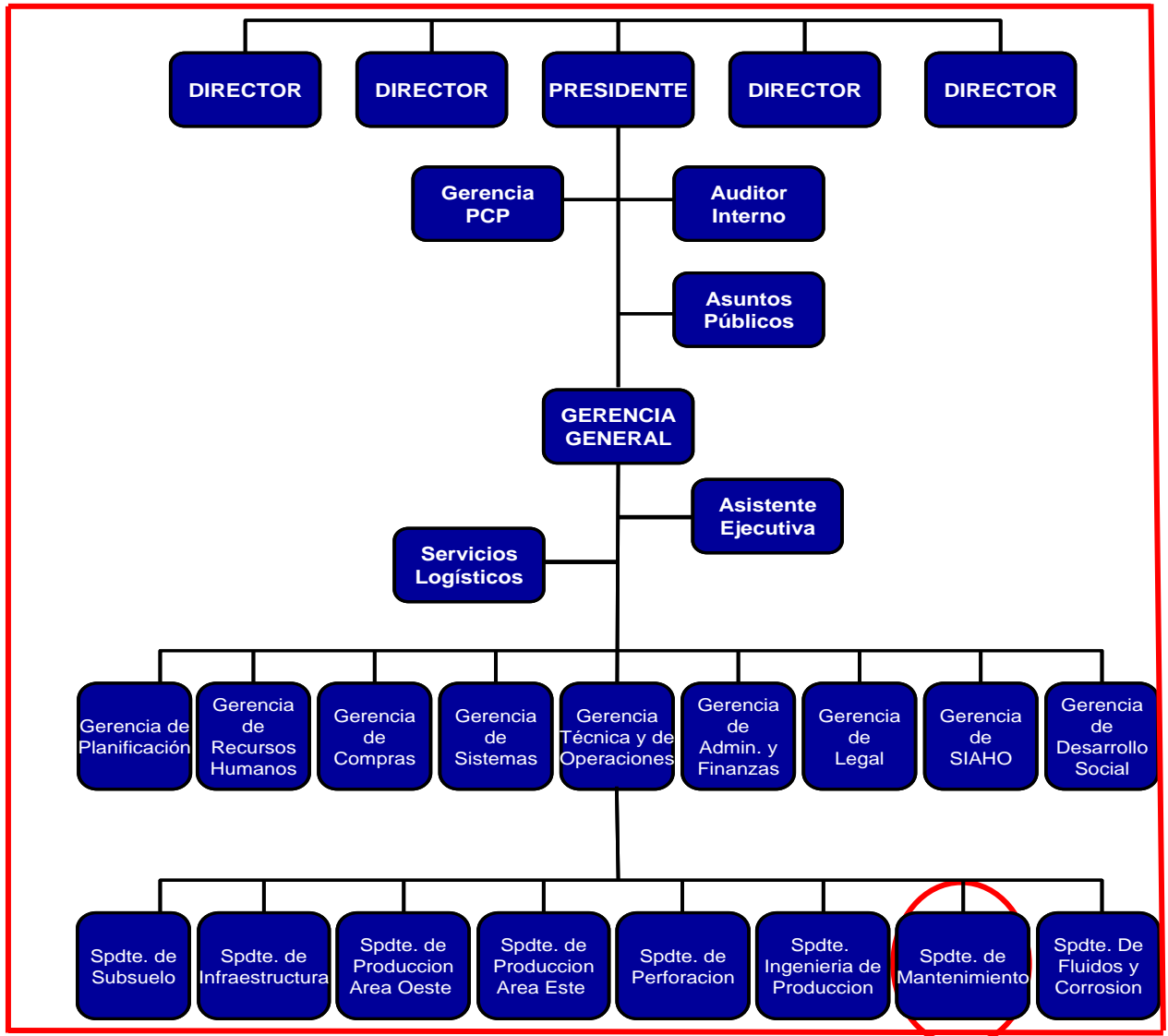
Línea filial de propulsión espacial

**Figura 15** Filtros de Agua y Tanques de Almacenamiento de Agua.  
**FUENTE:** Sala de control de Petrodelta.



**Figura 16 Ubicación Relativa Regional de la Unidad Monagas Sur de Petrodelta S.A**  
**Fuente: Elaboración Propia.**





**Figura 17 Estructura organizacional de PDVSA Petrodelta.**  
 Fuente: Departamento de RRHH de Petrodelta.

### CAPITULO III

### MARCO TEORICO

#### Mantenimiento.

Conjunto de acciones que permite mantener o restablecer un dispositivo a un estado específico de operación, para cumplir un servicio determinado. También puede definirse como de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales. El ingeniero de mantenimiento de hoy debe definir las acciones proactivas y preventivas para minimizar el desgaste de los componentes de la maquinaria y asegurar que esta opere de manera segura, eficiente y confiable, garantizando, además de la integridad del activo físico, la seguridad personal y ambiental. El mantenimiento Mundial ha evolucionado desde sus inicios. **Ver Figura 18.**



**Figura 18: Evolución del Mantenimiento Industrial**  
**Fuente: Revista Mecanálisis (2006).**

## **Mantenimiento Predictivo.**

Sin dudas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad industrial mundial. En los últimos años, la industria mecánica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la enorme necesidad de explotar eficaz y eficientemente la maquinaria instalada y elevar a niveles superiores la actividad del mantenimiento. No remediamos nada con grandes soluciones que presuponen diseños, innovaciones, y tecnologías de recuperación, si no mantenemos con una alta disponibilidad nuestra industria.

Es decir, la Industria tiene que distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz. En otras palabras, la operación correcta y el mantenimiento oportuno constituyen vías decisivas para cuidar lo que se tiene.

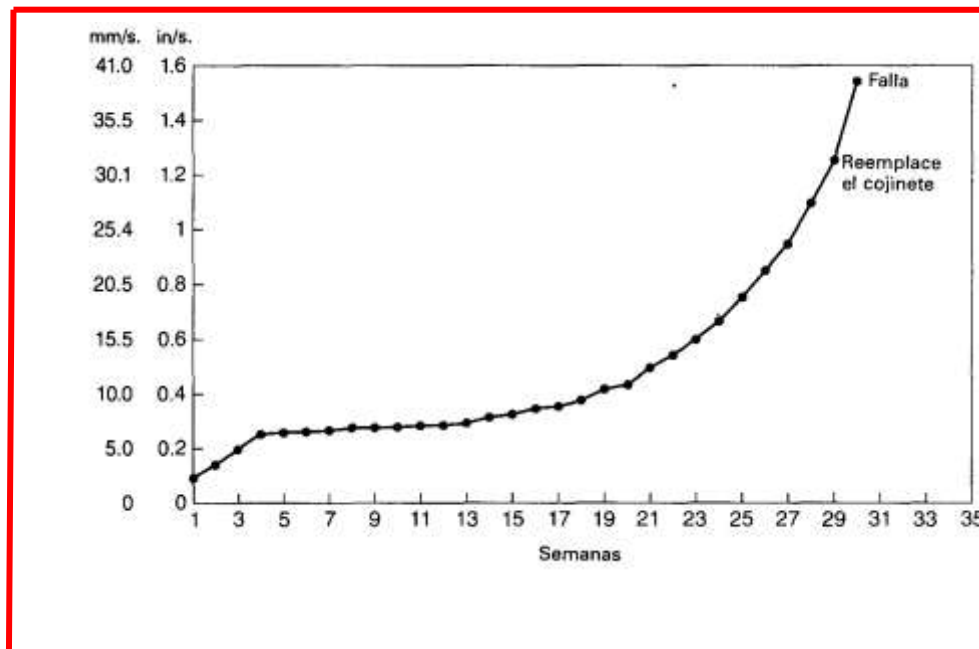
El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

### **Organización para el mantenimiento predictivo.**

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

- Vibración de cojinetes
- Temperatura de las conexiones eléctricas
- Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos hasta que el componente falle. La figura muestra una curva típica que resulta de graficar la variable (vibración) contra el tiempo. Como la curva lo sugiere, deberán reemplazarse los cojinetes subsecuentes cuando la vibración alcance 1,25 in/seg (31,75 mm/seg). Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones.



**Figura 19 Análisis histórico de un mantenimiento predictivo.**

**Fuente: Monografías.**

## METODOLOGÍA DE LAS INSPECCIONES.

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo, se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. De acuerdo a los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

- Vigilancia de máquinas. Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.
- Protección de máquinas. Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.
- Diagnóstico de fallas. Su objetivo es definir cuál es el problema específico. Pronóstico de vida la esperanza a. Su objetivo es estimar

cuánto tiempo más Podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica.

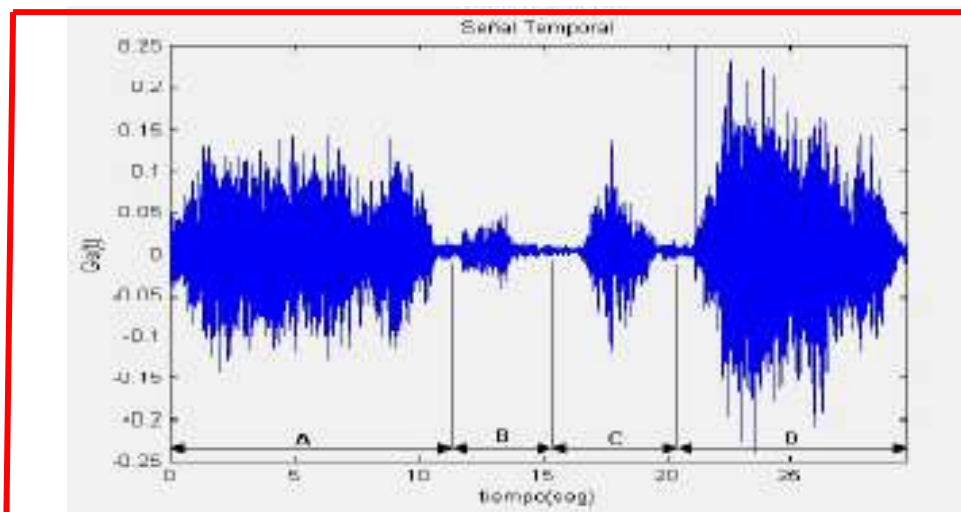
En el último tiempo se ha dado la tendencia a aplicar mantenimiento predictivo o sintomático, sea, esto mediante vibro análisis, análisis de aceite usado, control de desgastes, etc.

### **TÉCNICAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento preventivo entre las cuales tenemos las siguientes:

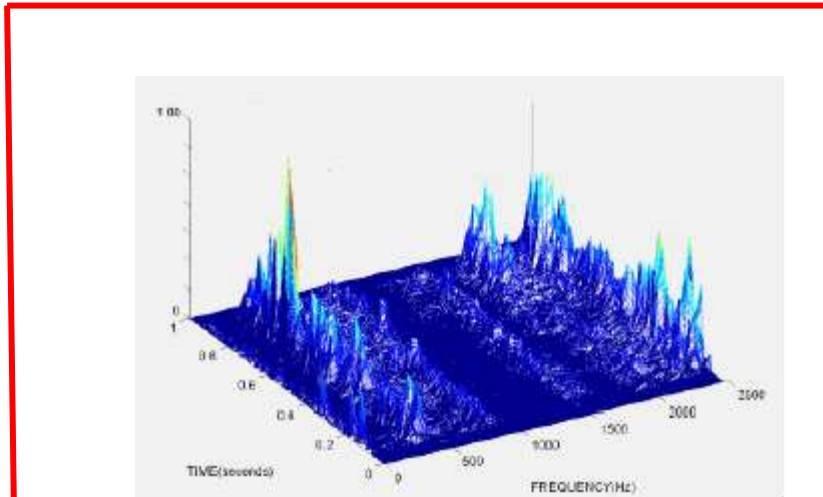
#### **1. Análisis de vibraciones.**

El interés de las Vibraciones Mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alerta que significa un elemento vibrante en una Maquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo.



**Figura 20 Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo de la pala.**

**Fuente: Monografías.**



**Figura 21 Transformada Tiempo-Frecuencia.**  
**Fuente: Monografías.**

El interés principal para el mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en el elemento o máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.

Parámetros de las vibraciones.

- Frecuencia: Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de Vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).
- Desplazamiento: Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- *Velocidad y Aceleración:* Como valor relacional de los anteriores.
- Dirección: Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales.

Tipos de vibraciones.

*Vibración libre:* causada por un sistema vibra debido a una excitación instantánea.

*Vibración forzada:* causada por un sistema vibra debida a una excitación constante las causas de las vibraciones mecánicas

A continuación detallamos las razones más habituales por las que una máquina o elemento de la misma puede llegar a vibrar.

- Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes.
- Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, etc.)

## **2. Análisis de lubricantes.**

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:

**Análisis Iniciales:** se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones de operación

**Análisis Rutinarios:** aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros

**Análisis de Emergencia:** se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o Lubricante, según:



- Contaminación con agua
- Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
- Uso de un producto inadecuado

Equipos:

- Bombas de extracción
- Envases para muestras
- Etiquetas de identificación
- Formatos

Para ver el gráfico seleccione la opción "Descargar" del menú superior

Este método asegura que tendremos:

- Máxima reducción de los costos operativos.
- Máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste.
- Máximo aprovechamiento del lubricante utilizado.
- Mínima generación de efluentes.

En casa muestra podemos conseguir o estudiar los siguientes factores que afectan a nuestra máquina.

**Elementos de desgaste:** Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Cobre, Estaño, Plomo.

**Conteo de partículas:** Determinación de la limpieza, ferrografía.

**Contaminantes:** Silicio, Sodio, Agua, Combustible, Hollibn, Oxidación, Nitración, Sulfatos, Nitratos.

**Aditivos y condiciones del lubricante:** Magnesio, Calcio, Zinc, Fósforos, Boro, Azufre, Viscosidad.

**Gráficos e historial:** Para la evaluación de las tendencias a lo largo del tiempo.

De este modo, mediante la implementación de técnicas ampliamente investigadas y experimentadas, y con la utilización de equipos de la más avanzada tecnología, se logrará disminuir drásticamente:

Tiempo perdido en producción en razón de desperfectos mecánicos.

Desgaste de las máquinas y sus componentes.

Horas hombre dedicadas al mantenimiento.

Consumo general de lubricantes.

### **3. Análisis por ultrasonido.**

Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano.

**Ultrasonido pasivo:** Es productivo por mecanismos rotantes, fugas de fluido, pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. Pudiéndose detectarlo mediante la tecnología apropiada.

#### **El ultrasonido permite:**

Detección de fricción en máquinas rotativas.

Detección de fallas y/o fugas en válvulas.

Detección de fugas de fluidos.

El Ultrasonido permite:

Detección de fricción en máquinas rotativas.

Detección de fallas y/o fugas en válvulas.

Pérdidas de vacío.

Detección de “arco eléctrico”.

Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.

Se denomina Ultrasonido Pasivo a la tecnología que permite el ultrasonido producido por diversas fuentes.

El sonido cuya frecuencia está por encima del rango de captación del oído humano (20-a-20.000 Hertz) se considera ultrasonido. Casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión o vacío producen ultrasonido en un rango aproximado a los 40 KHz Frecuencia con características muy aprovechables en el Mantenimiento Predictivo, puesto que las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente sin producir rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más intenso que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido. Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 KHz. permite con rapidez y precisión la ubicación de la falla.

La aplicación del análisis por ultrasonido se hace indispensable especialmente en la detección de fallas existentes en equipos rotantes que giran a velocidades inferiores a las 300 RPM, donde la técnica de medición de vibraciones se transforma en un procedimiento ineficiente.

De modo que la medición de ultrasonido es en ocasiones complementaria con la medición de vibraciones, que se utiliza eficientemente sobre equipos rotantes que giran a velocidades superiores a las 300 RPM.

Al igual que en el resto del mundo industrializado, la actividad industrial en nuestro País tiene la imperiosa necesidad de lograr el perfil competitivo que le permita insertarse en la economía globalizada. En consecuencia, toda tecnología orientada al ahorro de energía y/o mano de obra es de especial interés para cualquier Empresa.

#### **4. Termografía.**

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Para ver el gráfico seleccione la opción "Descargar" del menú superior

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termografías, 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 gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. Con la implementación de programas de inspecciones termografías en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc. es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante Termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos, radiográfico, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc.

El análisis mediante Cámaras Termografías 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.

## **5. Análisis por árbol de fallas.**

El Análisis por Árboles de Fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente. Nació en la década de los años 60 para la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallos de componentes y/o errores

humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental.

La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él.

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

## **6. Análisis FMECA.**

Otra útil técnica para la eliminación de las características de diseño deficientes es el análisis de los modos y efectos de fallos (FMEA); o análisis de modos de fallos y efectos críticos (FMECA)

La intención es identificar las áreas o ensambles que es más probable que den lugar a fallos del conjunto.

El FMEA define la función como la tarea que realiza un componente -- por ejemplo, la función de una válvula es abrir y cerrar-- y los modos de fallo son las formas en las que el componente puede fallar. La válvula fallará en la apertura si se rompe su resorte, pero también puede tropezar en su guía o mantenerse en posición de abierta por la leva debido a una rotura en la correa de árbol de levas.

La técnica consiste en evaluar tres aspectos del sistema y su operación:

- Condiciones anticipadas de operación, y el fallo más probable.
- Efecto de fallo en el rendimiento.
- Severidad del fallo en el mecanismo.

La probabilidad de fallos se evalúa generalmente en una escala de 1 a 10, con la criticidad aumentando con el valor del número.

Esta técnica es útil para evaluar soluciones alternativas a un problema pero no es fácil de usar con precisión en nuevos diseños.

El FMEA es útil para evaluar si hay en un ensamble un número innecesario de componentes puesto que la interacción de un ensamble con otro multiplicará los efectos de un fallo. Es igualmente útil para analizar el producto y el equipo que se utiliza para producirlo.

El FMEA, ayuda en la identificación de los modos de fallo que es probable que causen problemas de uso del producto. Ayuda también a eliminar debilidades o complicaciones excesivas del diseño, y a identificar los componentes que pueden fallar con mayor probabilidad. Su empleo no debe confinarse al producto que se desarrolla por el grupo de trabajo. Puede también usarse eficazmente para evaluar las causas de parada en las máquinas de producción antes de completar el diseño.

### **Características del mantenimiento predictivo.**

El mantenimiento predictivo presenta las siguientes características:

- Predice el fallo, interviene como consecuencia del cambio en la condición monetaria.
- Practica una diagnosis fundamentada en síntomas, medidos por los monitores con instrumentos a veces muy complejos.
- Las acciones se efectúan antes de que ocurran las fallas.

- La identificación de tendencias y el diagnóstico mediante la detección de la falla con la máquina en operación permite planificar la intervención.

### **Ventajas de mantenimiento predictivo.**

- Se programa el paro para efectuar reparaciones en la fecha más conveniente que incluya lo que respecta a recursos humanos, materiales y equipos.
- Se reduce al mínimo la posibilidad de generar daños a la máquina por una falla forzada.
- Permite que una máquina trabaje hasta la inminencia de la falla, hasta la ineficiencia del procesador o los desperfectos del producto obliguen al paro de la maquinaria.
- Evita las fallas catastróficas que puedan requerir del reemplazo total de la maquinaria, constituye un problema de seguridad para los operadores y el personal y de costos relativamente altos.
- Disminuye las demoras por paradas de los equipos.
- Disminuye los costos asociados al mantenimiento.

### **Programa de mantenimiento predictivo.**

La creación y aplicación de un programa de medición y análisis de variables es fundamental para garantizar la disponibilidad de operación de los equipos.

Existen doce pasos esenciales involucrados en la organización de un programa de mantenimiento predictivo.

#### **Paso 1: Factibilidad de aplicación.**

El primer paso consiste en determinar la factibilidad de establecer un programa. Este paso se fundamenta en un análisis de la condición de la maquinaria existente en la planta en términos de disponibilidad,



confiabilidad, y tiempos muertos, entre otros. Sin embargo, la factibilidad de un mantenimiento en base a la condición es en función de la cantidad y el tipo de máquinas, además de la experiencia del personal en este tipo de servicio.

## **Paso 2: Selección del equipo.**

El segundo, consiste en ubicar el equipo dentro del proceso productivo o sistema operativo, entender su funcionamiento y su filosofía de operación, en función de establecer cuando puede ser detenido, en oportunidad y frecuencia y criticidad dentro de la planta.

El objetivo de este paso es abarcar una criticidad de máquinas donde el programa sea operable, tomando en cuenta los requisitos del personal, los cronogramas de producción y el costo de los tiempos muertos, entre otros.

## **Paso 3: Selección de las técnicas de verificación de condición (Matriz Variables)**

Un paso de suma importancia para la organización del mantenimiento preventivo es la determinación, para cada órgano de las máquinas críticas, de los valores límites de aceptabilidad de las características o variables que queremos medir con el monitoreo (ejemplo, nivel de vibración, espesor de un material, grado de impureza de un lubricante, entre otras).

Esta etapa es impureza de establecer los siguientes aspectos:

- Disposición de instrumentos y técnicas capaces de comprobar el parámetro a ser medido.
- Las variables de medición que permitan la detección de fallas.
- Establecer periodos de medición que indiquen la condición de una máquina y el avance de una falla.

-Definir puntos de medición para obtener valores de medición confiables que permitan una detección de los efectos de la máquina.

#### **Paso 4: Implementación del Sistema de Mantenimiento Predictivo.**

Una vez establecidas las técnicas óptimas para la verificación de cada unidad de la planta, las mismas son integradas en un programa racional que comprende:

- La definición de cronogramas de monitoreo.
- El diseño de un sistema sencillo para el manejo de datos, a saber.
- Recopilación y presentación de informes.
- Un programa de entrenamiento e instrumentación para el personal.

#### **Paso 5: Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable.**

La finalidad de este paso es establecer los niveles normales de los parámetros para la verificación de la condición, que represente un estado aceptable de la máquina. Esto, en realidad, puede establecerse únicamente sobre la base de la experiencia y los datos históricos. Sin embargo, en las etapas iniciales cuando no se dispone de dichos datos, podrán utilizarse como guía las recomendaciones del fabricante y las tablas de índices generales de severidad correspondientes.

En base a dichos niveles “normales” se establecerá límites de acción que representen un deterioro significativo de la condición y proporcionan una advertencia razonable de la falla inminente. Es esencial que los límites fijados sean revisados, según lo determinen la experiencia y los registros de mantenimiento.

#### **Paso 6: Mediciones de referencia de las máquinas.**

Cuando se inicia un programa de mantenimiento predictivo la condición mecánica de la máquina no es evidente, es necesario

establecerla mediante la aplicación de las técnicas de verificación seleccionadas y la comparación entre las mediciones observadas y los límites aceptables preestablecidos.

Cuando la condición de la máquina resulta aceptable, esta pasa a formar parte del programa de verificación rutinaria. Las mediciones de referencia sirven de “patrón”, para la comparación en caso de que se detecte una falta durante la vida útil de la máquina.

### **Paso 7: Medición periódica de la condición.**

Se entra en un ciclo de mediciones y comparaciones, en el cual se monitorea con una frecuencia determinada la condición y se compara su rata de cambio o su tendencia con los límites preestablecidos, éstos últimos pueden reajustarse.

### **Paso 8: Recopilación de datos.**

La recopilación de los datos es una actividad de suma importancia y en la cual radica el éxito del resto del plan. La recopilación puede ser simple o compleja: Un sistema simple puede comenzar con un medidor de vibraciones portátil. Efectuando registros manuales de los niveles de vibración a intervalos regulares pueden detectarse tendencias indeseables.

Los programas de mantenimiento predictivo pueden ser ampliados incorporando instrumentos adicionales o integrando el programa a un sistema más sofisticado que incluya colectores de datos automatizados, computadoras y software (programas lógicos). En el caso de máquinas críticas, tal vez se requieran sistemas de supervisión automática y monitoreo continuo.

### **Paso 9: Registro de datos.**

El método de registro es tan importante como la recopilación, por tanto se le dará mayor énfasis en las secciones de Organización, programa, método, estándar y reporte de las condiciones monitoreadas.

#### **Paso 10: Análisis de Tendencias.**

El análisis de tendencias permita mediante la utilización de técnicas sencillas detectar el deterioro del estado de la máquina, mediante el análisis de tendencias de los datos medidos, después de lo cual la máquina será sometida a un posterior análisis de la condición.

#### **Paso 11: Análisis de la condición.**

Se trata de un análisis profundizado de la condición de la máquina, con la finalidad de confirmar si realmente existe un defecto y llevar a cabo un diagnóstico y pronóstico de la falla, por ejemplo: Tipo de falla, ubicación, medidas correctivas requeridas.

#### **Paso 12: Corrección de las fallas.**

Una vez diagnosticada la falla, será responsabilidad de departamento de mantenimiento organizar las medidas correctivas. En esta etapa es de suma importancia establecer la causa de la condición de falla y corregirla. Los detalles de la falta identificada deberán ser revertidos al programa con el fin de confirmar el diagnóstico y /o perfeccionar las capacidades de diagnóstico del programa.

## **Equipo para diagnóstico.**

Existe una gran variedad de opciones y cada fabricante incorpora cada día más y más ventajas de aplicación, modernos software que permiten una operación amigable, fáciles de operar y manuales para interpretación de datos. Se describe a continuación los equipos más relevantes.

### **1-. Cámara Termográfica.**

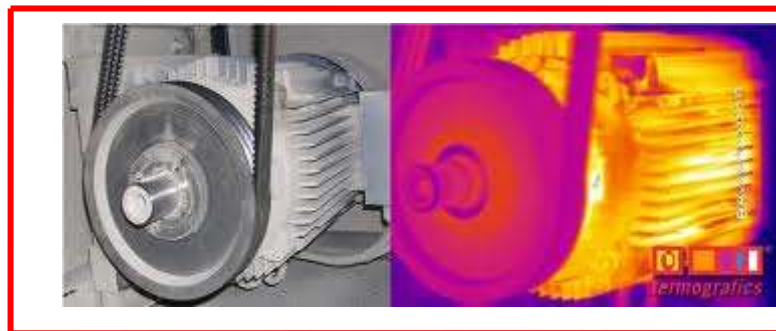
Existe buena variedad de opciones, pero para este espacio únicamente comentaré la cámara Terma Cam P60, cámara infrarroja que permite el monitoreo de toda clase de equipos y maquinaria, cuyas condiciones de operación podrían generar temperaturas fuera de diseño. Como por ejemplo motores eléctricos, transformadores, Disyuntores, Tableros eléctricos de distribución, calderas, etc.

Es versátil y portátil, equipada con software que permite cargar y descargar imágenes y datos en computadora, al igual que una cámara de vídeo, posee las funciones de zoom, puede monitorear rangos de temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una exactitud de  $\pm 2\%$ . Su fuente de alimentación es una batería recargable que puede darnos hasta dos horas continuas de operación y cuenta con sólo 2 kg de peso.

Este es un instrumento de diagnóstico versátil y eficaz. En las siguientes ilustraciones podemos apreciar su diseño ergonómico y versátil y sus distintas aplicaciones.



**Figura 22 Cámara termografica.**  
**Fuente: Google.**



**Figura 23 Aplicación de la cámara termografía a un motor eléctrico.**  
**Fuente: Google.**

## **2-. Analizador de Calidad de Energía.**

Hoy en día un factor crítico de competitividad es el consumo de energía, ya sea que se utilice como la combustión de diferentes tipos de combustible, o como energía eléctrica generada por el mismo medio o por sistemas hidráulicos, independientemente, es un recurso de alto costo de adquisición y que de hecho encarece los precios de los productos o servicios en la industria y el comercio. Por esta razón, en el mantenimiento de análisis de condición se utilizan los equipos ya sea offline u online para monitoreo de la calidad de energía que se pudiera estar generando o utilizando.

Este moderno equipo de monitoreo puede auditar los siguientes factores eléctricos:

- Voltaje y sus fluctuaciones
- Frecuencia y sus fluctuaciones
- Potencia
- Factor de potencia

Existe una buena variedad de opciones entre las que destacan equipo Fluke 43B. Equipo muy versátil y portátil para chequeo offline, cuenta con prensa fija y flexible, además que posee un osciloscopio incorporado, sus rangos de medición son: Medida de la energía (W, VA, VAR), Factor de potencia, fluctuaciones de frecuencia, corrientes de marcha y arranque de motores, etc.

Posee un modo de multímetro, lo que permite hacer mediciones de resistencia y continuidad, y medición de diodos; además, por ser un modelo versátil, posee un medidor de temperatura, y puede monitorear en online hasta 16 días. Y algunas otras ventajas muy importantes.



**Figura 24 Analizador de calidad de energía Fluke 43B.**

**Fuente: Google.**

También podemos mencionar la línea de analizadores AEMC, METREL, ECAMEC, cada uno posee características propias y adaptables a cualquier lugar y circunstancia.



**Figura 25 Analizador de calidad de energía AEMC.**  
Fuente: Google.



**Figura 26 Analizador de calidad de energía METREL.**  
Fuente: Google.





**Figura 27 Analizador registrador para monitoreo de Redes eléctricas.**  
**Fuente: Google.**

### **3-. Analizador de vibraciones.**

Siendo que un factor crítico en cualquier equipo o maquinaria dinámico es la vibración tanto por operación, como por sintomatología en la presencia de fallas o averías, actualmente ha tomado mucho auge esta aplicación y de la misma manera como con los otros equipos, podemos encontrar una gran diversidad y opciones.



**Figura 28 Analizador de vibraciones portátil VIBCHECK.**  
**Fuente: Google.**

#### **4-. Analizador Evaluador de Condiciones de operación de Motores.**

Los motores eléctricos realmente son el corazón de todo equipo y maquinaria. Los vamos encontrar en todo tipo de aplicaciones siendo equipos muy versátiles y muy generosos en su operación, y por lo mismo son objeto de rigurosos controles desde el punto de vista del mantenimiento de Condición, ya que ello nos permite mantener la confiabilidad de equipos y maquinaria.

También en esta área existen muchas opciones y corresponde a cada ingeniero de planta seleccionar los equipos que más se adapten a sus necesidades sin provocar un impacto en sus costos de operación.

El MCE Mtap2 (Motor Circuit Evaluator) es un equipo muy versátil por sus características especiales, fácil de utilizar y es portátil; entre sus características podemos destacar: pruebas en motores de AC y DC y motores especiales; monitores cinco zonas de posible falla, circuito de alimentación, estator, rotor, entrehierro y aislamiento eléctrico.

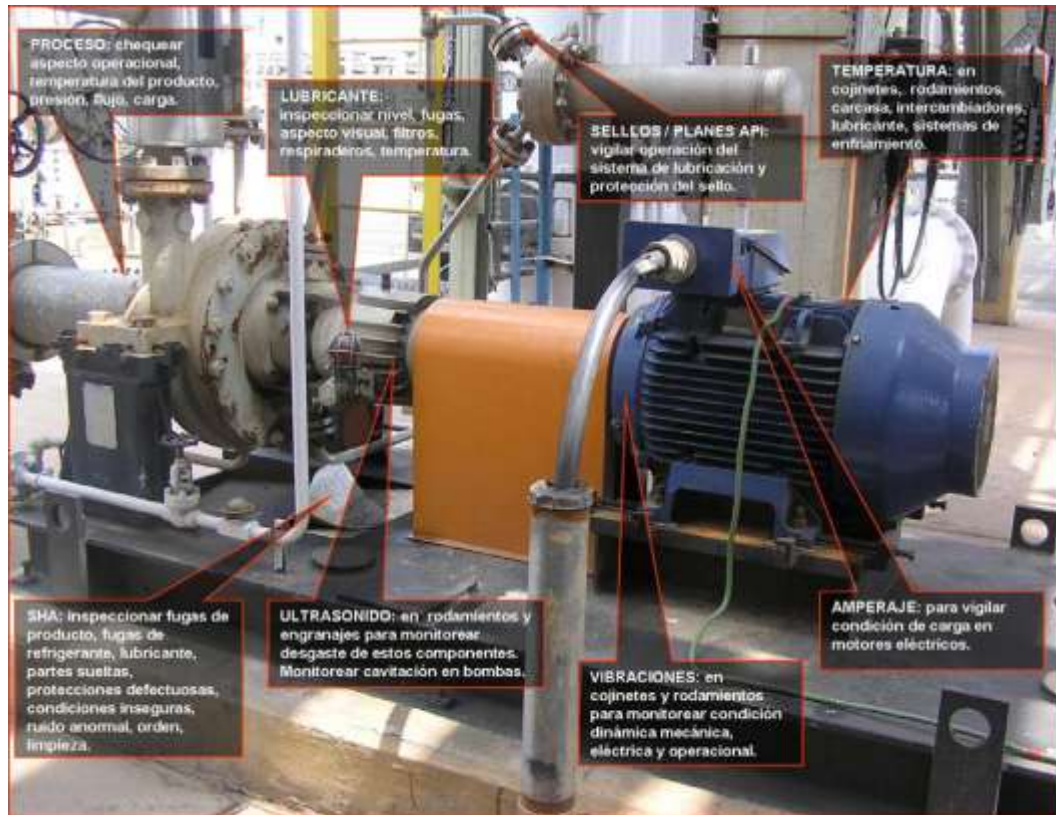


**Figura 29 Evaluador de circuitos de motor.**

**Fuente: Google.**

## **TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS.**

Las tecnologías predictivas son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la maquinaria a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración, entre otras. En los programas de mantenimiento basados en condición, se utilizan distintas herramientas predictivas que permiten inspeccionar aspectos claves, sobre los activos físicos industriales. Algunos de estos aspectos se reflejan en la **figura 30**.



**Figura 30 Motores eléctrico de inducción trifásica.**  
**Fuente: Revista Mecanálisis (2006).**

## **Motores Eléctricos Trifásicos.**

Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

El motor eléctrico trifásico es una máquina eléctrica rotativa, capaz de convertir la energía eléctrica trifásica suministrada, en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator (o parte fija del motor).

Los motores eléctricos trifásicos, se fabrican en las más diversas potencias, desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de fuerza (HP), se los construye para prácticamente, todas las tensiones y frecuencias (50 y 60 Hz) normalizadas y muy a menudo, están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas. Se emplean para accionar máquinas-herramienta, bombas, montacargas, ventiladores, grúas, maquinaria elevada, sopladores, etc.

## **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.**

Cuando la corriente atraviesa los arrollamientos de las tres fases del motor, en el estator se origina un campo magnético que induce corriente en las barras del rotor.

Dicha corriente da origen a un flujo que al reaccionar con el flujo del campo magnético del estator, originará un par motor que pondrá en movimiento al rotor. Dicho movimiento es continuo, debido a las variaciones también continuas, de la corriente alterna trifásica.

Solo debe hacerse notar que el rotor no puede ir a la misma velocidad que la del campo magnético giratorio. Esto se debe a que a cada momento recibe impulsos del campo, pero al cesar el empuje, el rotor se retrasa. A este fenómeno se le llama deslizamiento.

Después de ese momento vendrá un nuevo empuje y un nuevo deslizamiento, y así sucesivamente. De esta manera se comprende que el rotor nunca logre alcanzar la misma velocidad del campo magnético giratorio.

Es por lo cual recibe el nombre de asíncrono o asincrónico. El deslizamiento puede ser mayor conforme aumenta la carga del motor y lógicamente, la velocidad se reduce en una proporción mayor.

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos

campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

## **PARTES Y FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO.**

Independientemente del tipo de motor trifásico del que se trate, todos los motores trifásicos convierten la energía eléctrica en energía mecánica.

- **1. El estator:** está constituido por un enchapado de hierro al silicio, introducido generalmente a presión, entre una carcasa de hierro colado. El enchapado es ranurado, lo cual sirve para insertar allí las bobinas, que a su vez se construyen con alambre de cobre, de diferentes diámetros.
- **2. El rotor:** es la parte móvil del motor. Está formado por el eje, el enchapado y unas barras de cobre o aluminio unidas en los extremos con tornillos. A este tipo de rotor se le llama de jaula de ardilla o en cortocircuito porque el anillo y las barras que son de aluminio, forman en realidad una jaula.
- **3. Los escudos:** están hechos con hierro colado (la mayoría de veces). En el centro tienen cavidades donde se incrustan cojinetes de bolas sobre los cuales descansa el eje del rotor. Los escudos deben estar siempre bien ajustados con respecto al estator, porque de ello depende que el rotor gire libremente, o que tenga "arrastres" o "fricciones".

### **Tipos y características del motor eléctrico trifásico.**

Si el rotor tiene la misma velocidad de giro que la del campo magnético rotativo, se dice que el motor es síncrono. Si por el contrario, el rotor tiene una velocidad de giro mayor o menor que dicho campo magnético rotativo, el motor es asíncrono de inducción.

Los motores eléctricos trifásicos están conformados por dos grandes grupos:

- 1. Motores Síncronos
- 2. Motores Asíncrono

### **Motores Síncronos:**

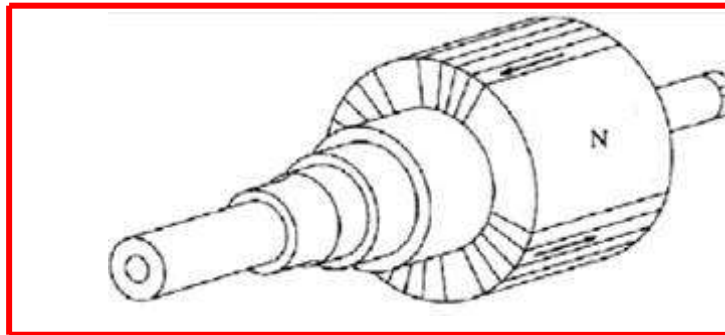
Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Es utilizado en aquellos casos en donde se desea una velocidad constante.

Las máquinas síncronas funcionan tanto como generadores y como motores. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están relacionadas en la generación de energía eléctrica. Para el caso referente a la máquina rotativa síncrona, todas las centrales Hidroeléctricas y Termoeléctricas funcionan mediante generadores síncronos trifásicos. Para el caso del motor se usa principalmente cuando la potencia demandada es muy elevada, mayor que 1MW (mega vatio).

Los motores síncronos se subdividen a su vez, de acuerdo al tipo del rotor que utilizan, siendo estos: rotor de polos lisos (polos no salientes) y de polos salientes.

**Motores de rotor de polos lisos o polos no salientes:** se utilizan en rotores de dos y cuatro polos. Estos tipos de rotores están contruidos al mismo nivel de la superficie del rotor (**Fig. 31**). Los motores de rotor liso trabajan a elevadas velocidades.

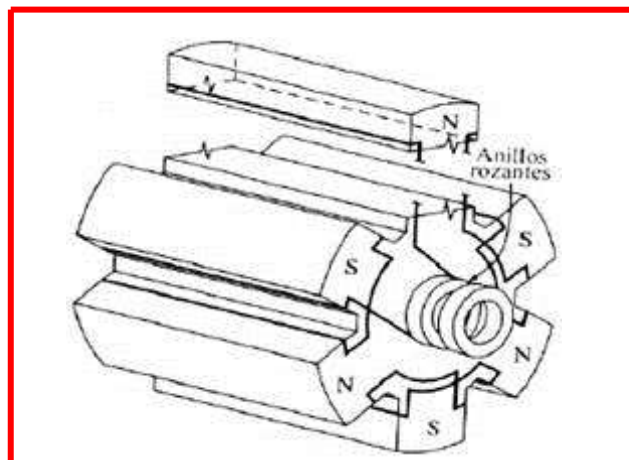




**Figura 31 Rotor de polos no salientes en un motor síncrono.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

**Motores de polos salientes:** Los motores de polos salientes trabajan a bajas velocidades. Un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos. Véase en la (Fig. 32).

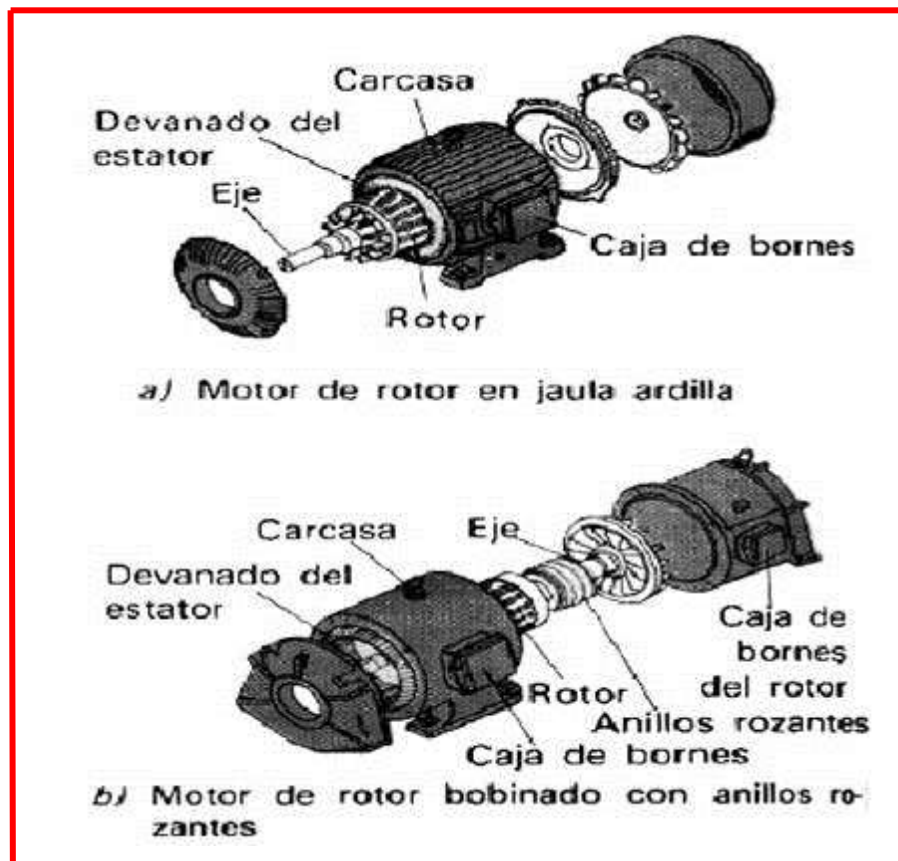


**Figura 32 Rotor de polos salientes en un motor síncrono.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

## Motores asíncronos:

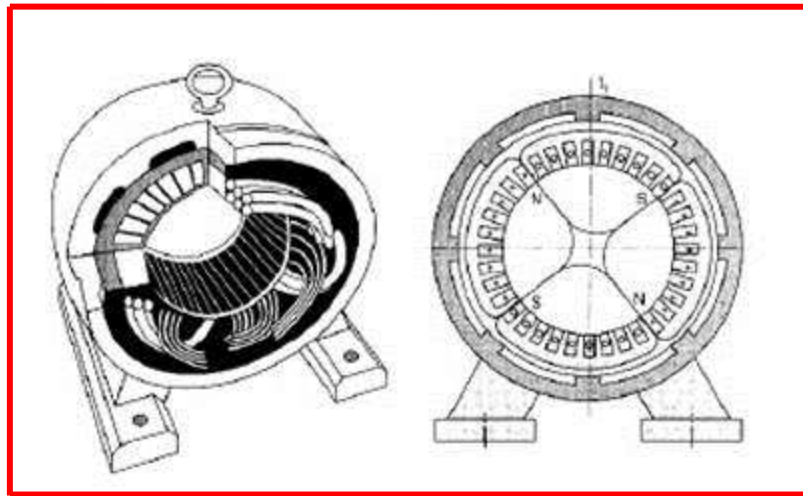
Los motores asíncronos o motores de inducción, son las máquinas de impulsión eléctrica más utilizadas, pues son sencillas, seguras y baratas. Los motores asíncronos se clasifican según el tipo de rotor, en motores de rotor en jaula de ardilla (o motores con inducido en cortocircuito) y en motores de rotor bobinado o de anillos rozantes.



**Figura 33 Motores de inducción asíncronos.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

En los motores asíncronos trifásicos, la energía eléctrica se suministra al bobinado del estator. Como consecuencia de ello, aparece un par aplicado al rotor, y éste girará.



**Figura 34 Estator de un motor asíncrono trifásico.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

Sin lugar a dudas, como toda máquina puesta o no en servicio, la temperatura excesiva del ambiente o causada por un problema con el motor mismo, es un elemento clave a considerar, ya que de ella depende la vida útil de la máquina.

### **Ventajas**

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).

- Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro si emiten contaminantes.

### **Motores de corriente alterna**

Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

Asíncrono o de inducción

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

#### **Jaula de ardilla**

Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas)

- **Trifásicos**

Motor de Inducción.

A tres fases

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son

iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

### **Rotor Devanado**

El rotor devanado o bobinado, como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que el eje de jaula de ardilla.

#### Monofásicos

- Motor universal
- Motor de Inducción
- Motor de fase partida
- Motor por reluctancia
- Motor de polos sombreados

#### Trifásico

- Motor de rotor devanado.
- Motor asíncrono
- Motor síncrono

#### Motor síncrono

Los **motores síncronos** son un tipo de motor de corriente alterna. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectada y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Dónde:

- f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- p: Número de polos que tiene la máquina
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Por ejemplo, si se tiene una máquina de cuatro polos (2 pares de polos) conectada a una red de 50 Hz, la máquina operará a 1.500 revoluciones por minuto.

Funcionan de forma muy similar a un alternador. Dentro de la familia de los motores síncronos debemos distinguir:

- Los motores síncronos.
- Los motores asíncronos sincronizados.
- Los motores de imán permanente.

Los motores síncronos son llamados así, porque la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales. Los motores síncronos se usan en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

## **Arranque de un motor trifásico síncrono**

Existen cuatro tipos de arranques diferentes para este tipo de motor:

- Como un motor asíncrono.
- Como un motor asíncrono, pero sincronizado.
- Utilizando un motor secundario o auxiliar para el arranque.
- Como un motor asíncrono, usando un tipo de arrollamiento diferente: llevará unos anillos rozantes que conectarán la rueda polar del motor con el arrancador.

## **Frenado de un motor trifásico síncrono.**

Por regla general, la velocidad deseada de este tipo de motor se ajusta por medio de un reóstato. El motor síncrono, cuando alcance el par crítico, se detendrá, no siendo esta la forma más ortodoxa de hacerlo. El par crítico se alcanza cuando la carga asignada al motor supera al par del motor. Esto provoca un sobrecalentamiento que puede dañar el motor. La mejor forma de hacerlo, es ir variando la carga hasta que la intensidad absorbida de la red sea la menor posible, y entonces desconectar el motor.

Otra forma de hacerlo, y la más habitual, es regulando el reóstato, con ello variamos la intensidad y podemos desconectar el motor sin ningún riesgo.

## **Usos:**

Los motores eléctricos se utilizan en la gran mayoría de las máquinas modernas. Su reducido tamaño permite introducir motores potentes en máquinas de pequeño tamaño, por ejemplo taladros o batidoras.

### **Cambio de sentido de giro:**

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque, esto se puede realizar manualmente o con unos relevadores
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.
- Para motores de a.c. es necesario invertir los contactos del par de arranque.

### **Regulación de velocidad.**

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander.

### **Motores trifásicos de inducción.**

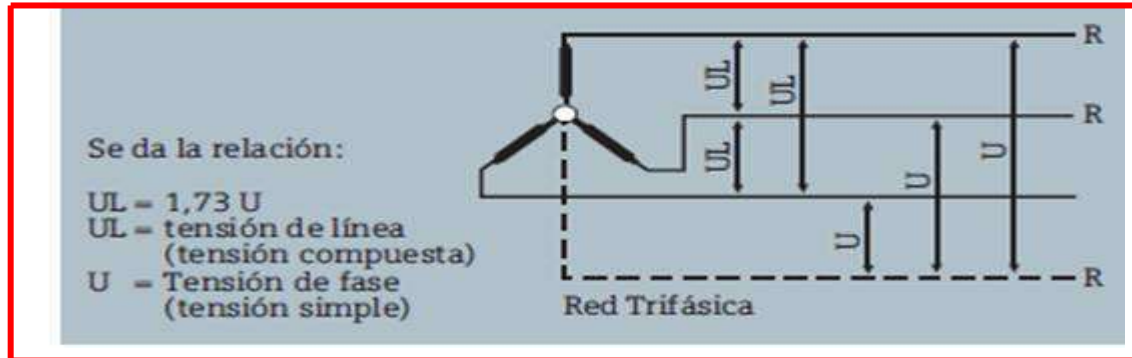
#### **El sistema trifásico.**

Las redes trifásicas de baja tensión están formadas por los tres conductores activos R, S y T, y pueden ejecutarse con o sin conductor neutro. Los conductores neutros están unidos al centro de la estrella del generador o del transformador correspondiente al lado de baja tensión. Dos conductores activos, o uno de ellos y el neutro, constituyen un sistema de corriente alterna monofásica.



### Tensión de servicio.

La tensión existente entre dos conductores activos (R, S, T) es la tensión de línea (tensión compuesta o tensión de la red). La tensión que hay entre un conductor activo y el neutro es la tensión de la fase (tensión simple).



**Figura 35. Tensión de servicio.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

Las tensiones normalizadas para las redes de corriente trifásica, en baja tensión, son las siguientes:

Tensión de línea (V)	Tensión de fase (V)	Denominación usual de la red (V)
208	120	208/120
220	127	220/127
260	150	260/150
380	220	380/220
440	254	440/254

**Figura 36 Tensiones normalizadas para las redes de corriente trifásica.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

### Conexión de motores trifásicos.

Los motores trifásicos se conectan los tres conductores R, S, T. La tensión nominal del motor en la conexión de servicio tiene que coincidir con la tensión de línea de la red (tensión servicio).

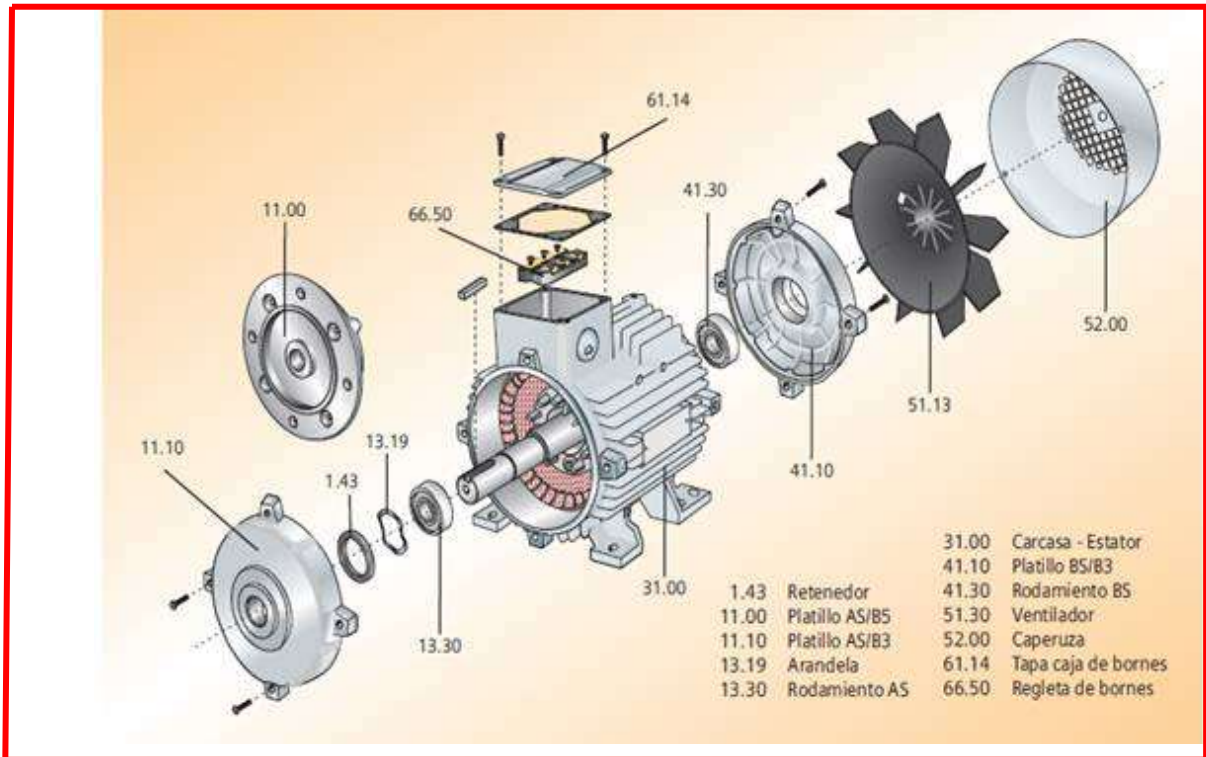
Ejecución del devanado (V)	Tensión de la red (V)	Devanado en	% Potencia nominal de placa	Tipo de arranque permitido
220-260Δ/440Y <sup>9</sup> Tamaños 71-160	220	Δ	80	Directo/Y-Δ
	260	Δ	100	Directo/Y-Δ
	380	Δ	100	Directo
	440	Δ	100	Directo
208 – 220 YY/ 440 Y Tamaños 71-112	208	YY	90	Directo
	220	YY	100	Directo
	440	Y	100	Directo
208-220 ΔΔ / 440 Δ Tamaños 132-280	208	ΔΔ	90	Directo/Y-Δ
	220	ΔΔ	100	Directo/Y-Δ
	380	YY		Directo
	440	Δ	100	Directo/Y-Δ

**Figura 37 Conexión de servicio de los motores trifásicos y sus potencias.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

### Potencia.

Para elegir un motor adecuado, se tendrán en cuenta los datos siguientes: la carga de trabajo (potencia), la clase de servicio, el curso de ciclo de trabajo, los procesos de arranque, frenado e inversión, la regulación de la velocidad de rotación, las variaciones de la red y la temperatura del medio refrigerante.



**Figura 38 Partes de un motor.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

### **Caja de conexiones.**

Los tamaños 71 y superiores, hasta el 220, poseen la caja de conexiones en la parte superior de la carcasa; en los demás motores va instalada a la derecha.

Para la conexión a tierra se dispone, en todos los tipos, de un borne en la caja de conexiones, debidamente marcado; del tamaño 180 en adelante, adicionalmente se tienen bornes de puesta a tierra en las patas. Los motores se suministran con los puentes correspondientes para las diferentes conexiones de sus bobinas.

### **Carcasa.**

La carcasa de los motores de los tamaños 71 a 160 es de aluminio inyectado. Del tamaño 180 en adelante tienen la carcasa en hierro fundido.

### **Platillos.**

Los tamaños AH 71, 80 y 90 se fabrican con platillos de aleación de aluminio; a partir del tamaño 112 los platillos de los motores son de fundición de hierro, tanto en el lado de accionamiento

AS como en el lado de servicio BS.

### **Pintura.**

Los motores llevan dos capas de pintura. Una capa anticorrosiva, que ofrece protección en caso de humedad o de instalación a la intemperie o en locales en los que haya que contar con gases y vapores químicamente agresivos y otra de acabado color gris.

### **Ventilador.**

Los ventiladores para la refrigeración del motor son de plástico en todos los tamaños de la serie 1LA3/5/7 y su acción refrigerante es complementada por la caperuza, fabricada en lámina de acero. Para las series 1LA4 y 1LA6 el ventilador es fundido en aluminio.

## **Fallas de los motores eléctricos**

### **- Servicio de corta duración**

El motor alcanza el calentamiento límite durante el tiempo de funcionamiento prescrito (10-30-60 minutos), la pausa tras el tiempo de funcionamiento debe ser lo suficientemente larga para que el motor pueda enfriarse.

### - Servicio intermitente

Se caracteriza por periodos alternos de pausa y trabajo.

### - Protección contra averías

Si se daña un motor, deben tomarse en cuentas los siguientes factores:

- Clase de máquina accionada.
- Potencia efectiva que debe desarrollar, HP.
- Velocidad de la máquina movida, RPM.
- Clase de transmisión (Acoplamiento elástico o rígido), sobre bancada común o separada, correa plana o trapezoidal, engranajes, tornillos sin fin, etc.
- Tensión entre fase de la red.
- Frecuencia de la red y velocidad del motor.
- Rotor anillos rozantes o jaula de ardilla.
- Clase de arranques, directo, estrella triángulo, resistencias estatóricas, resistencias retóricas, auto transformador, etc.
- Forma constructiva.
- Protección mecánica.
- Regulación de velocidad.
- Tiempo de duración a velocidad mínima.
- Par resistente de la máquina accionada (MKG).
- Sentido de giro de la máquina accionada mirando desde el lado de acoplamiento derecha, izquierda o reversible.
- Frecuencia de arranque en intervalos menores de dos horas.
- Temperatura ambiente si sobrepasa los 40 °C.
- Indicar si el motor estará instalado en áreas peligrosas: Gas, Humedad, etc.

**- El motor funciona en forma irregular**

- Avería en los rodamientos.
- La caja del motor está sometida a tensiones mecánicas.
- Acoplamiento mal equilibrado.

**- No arranca**

- Tensión muy baja.
- Contacto del arrollamiento con la masa.
- Rodamiento totalmente dañado.
- Defecto en los dispositivos de arranques.

**- Arranca a golpes**

- Espiras en contacto.

**- Motor trifásico arranca con dificultad y disminución de velocidad al ser cargado**

- Tensión demasiado baja.
- Caída de tensión en la línea de alimentación.
- Estator mal conectado, cuando el arranque es estrella triángulo.
- Contacto entre espiras del estator.

**- Trifásico produce zumbido internamente y fluctuaciones de corriente en el estator**

- Interrupción en el inducido.

**- Trifásico no arranca o lo hace con dificultad en la conexión estrella**

- Demasiada carga.

- Tensión de la red.
- Dañado el dispositivo de arranque estrella.

**- Trifásico se calienta rápidamente**

- Cortocircuito entre fases.
- Contacto entre muchas espiras.
- Contacto entre arrollamiento y masa.

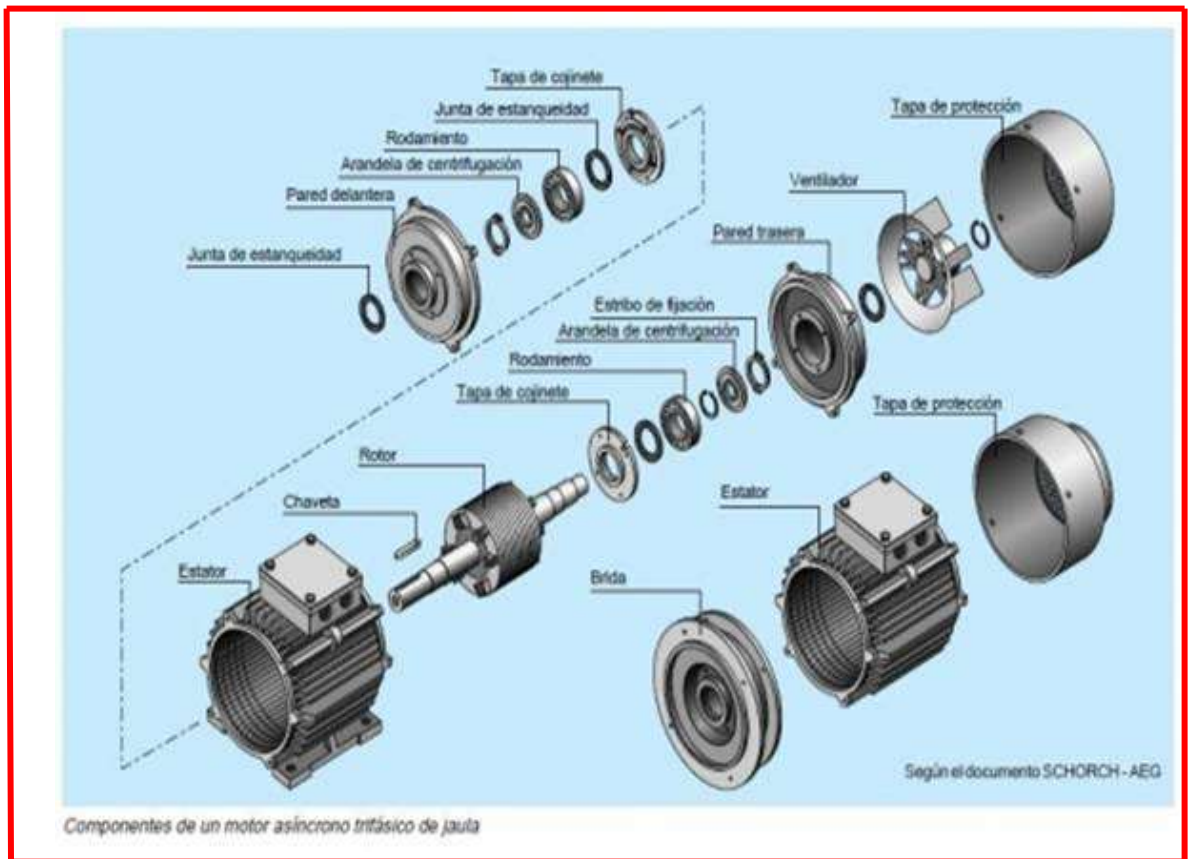
**- Estator se calienta y aumenta la corriente**

- Estator mal conectado.
- Cortocircuito entre fases.
- Contacto entre arrollamientos y masa.

**- Se calienta excesivamente pero en proceso lento**

- Exceso de carga.
- Frecuencia de conexión y desconexión muy rápida.
- Tensión demasiado elevada.
- Tensión demasiado baja.
- Falla una fase.
- Interrupción en el devanado.
- Conexión equivocada.
- Contacto entre espiras.
- Cortocircuito entre fases.
- Poca ventilación.
- Inducido roza el estator.
- Cuerpos extraños en el entrehierro.
- La marcha no corresponde al régimen señalado por la placa.





**Figura 39 Componentes de un motor trifásico de jaula de ardilla.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

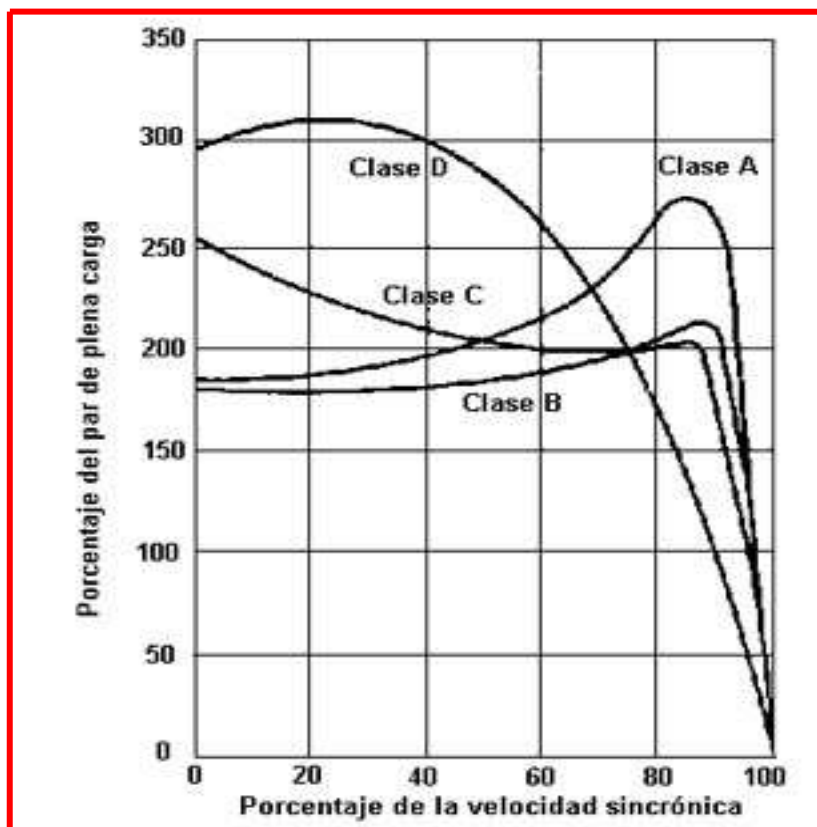
### **Clasificación de Motores tipo jaula de ardilla según NEMA.**

De acuerdo con la terminología establecida por NEMA (Nacional Electrical Manufacturers Association) en Estados Unidos, se encuentran disponibles en el mercado varios tipos de motores de inducción tipo jaula de ardilla constituidos con el propósito de cumplir ciertos requerimientos de arranque y rodamientos. Las características torque- velocidad representativas de los cuadro diseños más comunes se aprecian en la **Figura 39**.

**DISEÑO NEMA A:** Este diseño corresponde a un motor o estándar fabricado a fin de ser usado a velocidad constante, de una muy buena disipación de calor y barras con ranuras profundas en el rotor; durante el



periodo de arranque la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha la densidad se distribuye con uniformidad. Esta diferencia origina alta resistencia y baja reactancia de arranque, con lo cual se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga), el par de arranque es relativamente alto y la baja resistencia del rotor producen una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.



**Figura 40 Curvas típicas NEMA**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

De igual forma, tiene la mejor regulación de velocidad, sin embargo, su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciendo menos deseable para el arranque, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

**DISEÑO NEMA B:** Los motores de este tipo son llamados en algunas ocasiones motores de propósito general; preferidos sobre los de la clase A en el uso de motores mayores aunque el diseño B es semejante al diseño A debido al comportamiento de su deslizamiento-par, las corrientes de arranque varían entre 5 y 6 veces la corriente nominal (75%); no obstante estas corrientes son reducidas por tener una elevada reactancia de dispersión; en los tamaños mayores de 5 HP se utiliza arranque a voltaje reducido. Es utilizado en aplicaciones donde el requerimiento de torque de arranque no es severo, tales como ventiladores, bombas, sopladores y máquinas de herramientas.

**DISEÑO NEMA C:** Este diseño utiliza un motor con doble jaula, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque. Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente sin embargo cuando se empieza en grandes cargas es limitada la disipación térmica del motor debido a la consecuencia de corriente en el desvanado superior.

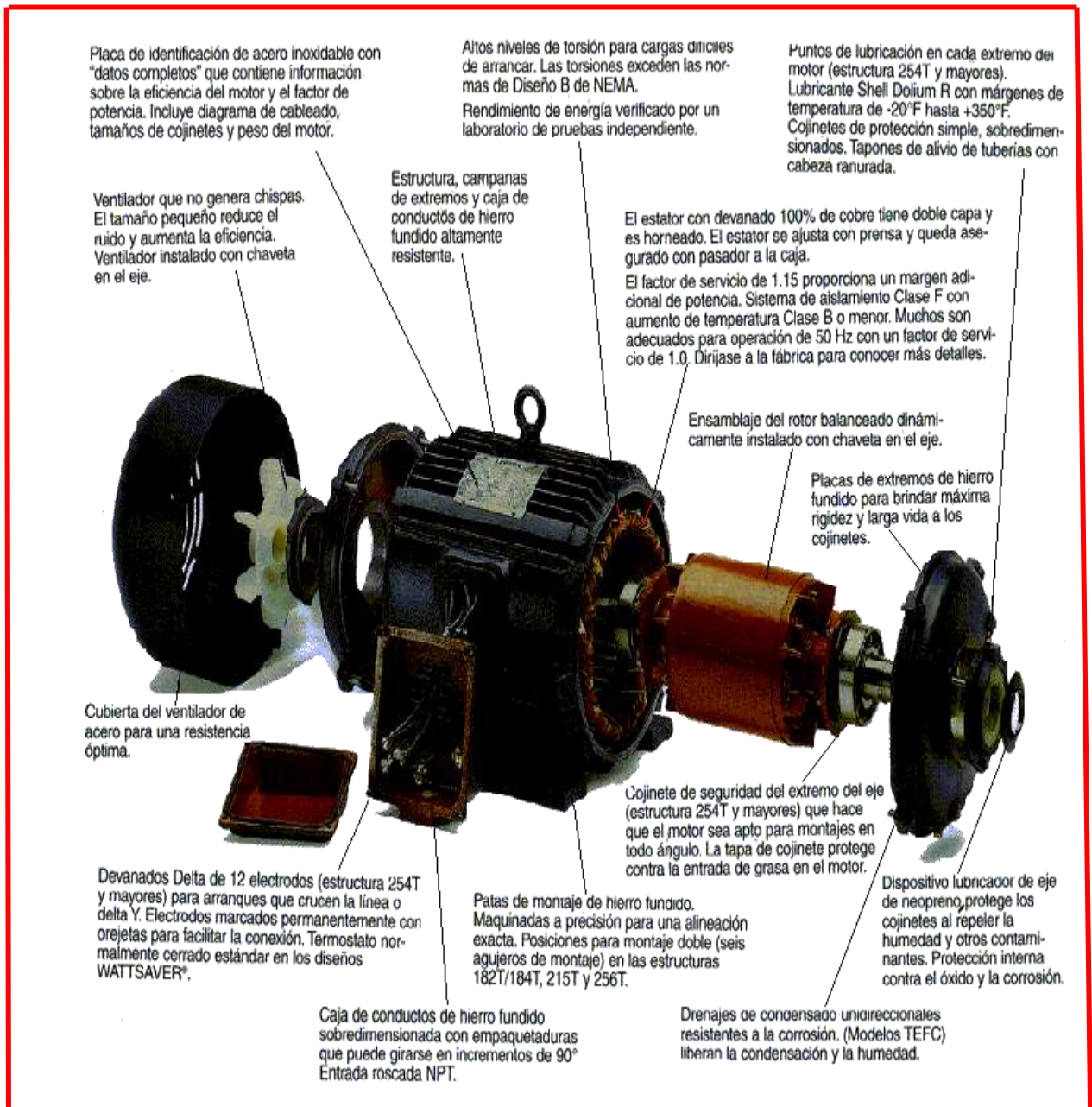
En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobrecalentarse, opera en las mejores condiciones a grandes cargas repentinas de tipo de jaula inercia; utilizados en aplicaciones de difícil arranque como bombas y compresores de pistón.

**DISEÑO NEMA D:** Son conocidos también como motores de alto par de alta resistencia, las barras del rotor son fabricadas en aleación de alta resistencia y son colocadas en ranuras cercanas a la superficie o embebidas en ranuras de pequeño diámetro; diseñados con el propósito de ser usados en servicios pesados de arranque, de mayor aplicación con cargas como cizallas o tronquetes; los cuales necesitan el alto torque en aplicación o carga repentina, es importante señalar que la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

### **Características Constructivas básicas de los Motores de Inducción tipo Jaula de Ardilla.**

El estator consta generalmente un armazón que sirve como alojamiento o cubierta y a la vez como soporte para el núcleo laminado magnético del estator. También contiene las tapas de soporte en los extremos del armazón del estator y contienen los cojinetes que ponen en posición al rotor dentro del estator.

El rotor está compuesto por un núcleo laminado montado sobre la flecha , los devanados secundarios apropiados se colocan en forma adecuada en las ranuras del núcleo cerca del entrehierro y se ponen en cortocircuito o se cierran por medio de una impedancia externa, dicha estructura puede apreciarse en la **Figura 41**.



**Figura 41 Motor de Inducción.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

## **Métodos de arranque para Motores de Inducción tipo Jaula de Ardilla.**

En relación a motores de inducción medianos y grandes debido al alto valor de la corriente en el momento de arranque, en los motores existen varios procedimientos para lograr la puesta en marcha tal como se indica a continuación:

En primer lugar se encuentra el arranque a pleno voltaje en el cual se conecta el motor directamente a las líneas del circuito alimentador. Este método implica un bajo costo en la instalación y mínimo mantenimiento. Si se utiliza cualquier motor, resulta un alto torque de arranque, lo cual en algunos casos puede ser una ventaja o desventaja.

**Arranque con resistencia o reactor:** (a voltaje reducido), se intercala la resistencia en serie con el motor solo en el momento de arranque, el costo de instalación se considera mediano, arranque suave, pero las pérdidas serán considerables por efecto Joule en el arranque, además el torque en ese instante será bajo.

**Arranque por auto-transformador (a voltaje reducido),** se logra un valor del 50%, 60% y 80% de la tensión nominal. Este método implica un bajo costo, excelente para cargas pesadas y se puede utilizar con cualquier motor, en cambio resulta un arranque un poco brusco que en ocasiones podría provocar daños al rotor.

**Arranque en estrella- delta:** el proceso de arranque comienza con las bobinas del motor conectadas en estrella, pasando luego a delta por medio de un juego de succionadores. Este método resulta económico dado que se presenta una corriente de arranque reducida. Por otro lado, el torque inicial es bajo.

**Arranque fraccionado:** el motor se pone en marcha con parte del embobinado conectado y luego, reconecta el resto para una operación

normal. El costo es bajo, al igual que la corriente inicial y el mantenimiento es reducido, pero no es adecuado para los arranques frecuentes. Cuando se parte con toda la carga aplacada puede ocasionar que en los primeros momentos no se logre la velocidad nominal.

**Arranque por equipos de estado sólido:** son equipos electrónicos encargados de modificar la tensión y frecuencia eléctrica del sistema de alimentación del motor con el objetivo de mejorar las condiciones de arranque de la maquina según la aplicación es decir torque bajos o elevados en el arranque, la modificación de la frecuencia se logra gracias a un conjunto de transistores con una secuencia lógica previamente determinada y ajustable por cualquier usuario.

### **Diagramas de conexión**

Todos los motores trifásicos están contruidos internamente con un cierto número de bobinas eléctricas que están devanadas siempre juntas, para que conectadas constituyan las fases que se conectan entre sí, en cualquiera de las formas de conexión trifásicas, que pueden ser:

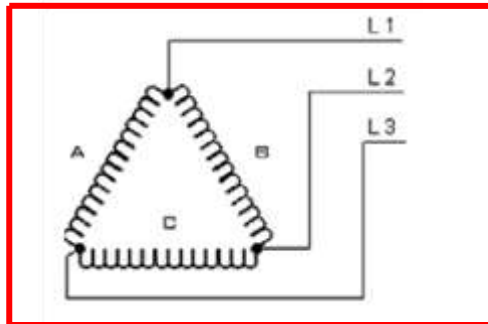
- Delta
- Estrella
- Estrella-delta

### **Delta**

Los devanados conectados en delta son cerrados y forman una configuración en triangulo. Se pueden diseñar con seis (6) o nueve (9) terminales para ser conectados a la línea de alimentación trifásica.

Cada devanado de un motor de inducción trifásico tiene sus terminales marcadas con un número para su fácil conexión. En la figura 4.4, se muestra un motor de 6 terminales con los devanados internos identificados para conectar el motor para operación en delta. Las

terminales o puntas de los devanados se conectan de modo que A y B cierran un extremo de la delta (triángulo), también B y C, así como C y A, para de esta manera formar la delta de los devanados del motor.

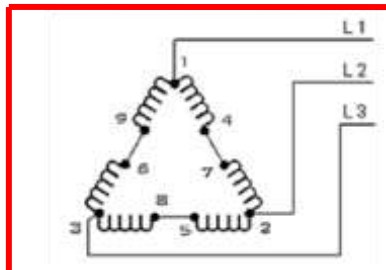


**Figura 42 Conexión Delta.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

Los motores de inducción de jaula de ardilla son también devanados con nueve (9) terminales para conectar los devanados internos para operación en delta. Se conectan seis (6) devanados internos para formar una delta cerrada, tres devanados están marcados como 1-4-9, 2-5-7 y 3-6-8, en éstos.

Los devanados se pueden bobinar para operar a uno o dos voltajes.

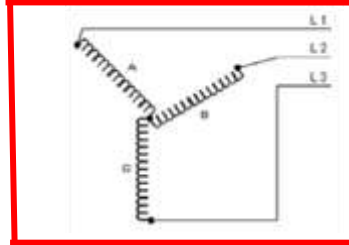


**Figura 43 Operación para uno o dos voltajes.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

## Estrella

Los devanados de la mayoría de los motores de inducción de jaula de ardilla están conectados en estrella. La conexión estrella se forma uniendo una terminal de cada devanado, las tres terminales restantes se conectan a las líneas de alimentación L1, L2 Y L3. Los devanados conectados en estrella forman una configuración en Y.



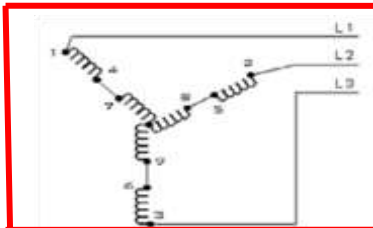
**Figura 44 Conexión Estrella.**

**Fuente: Superintendencia Mantenimiento.**

Un motor conectado en estrella con nueve (9) terminales, tiene tres puntas en sus devanados conectadas para formar una estrella (7-8-9). Los tres pares de puntas de los devanados restantes, son los números: 1-4, 2-5 y 3-6.

Los devanados se pueden conectar para operar en bajo o alto voltaje.

Para la operación en bajo voltaje, éstos se conectan en paralelo; para la operación en alto voltaje, se conectan en serie.



**Figura 45 Conexión bajo voltaje en paralelo.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**



## Conexiones para dos voltajes

Algunos motores trifásicos están contruidos para operar en dos voltajes. El propósito de hacer posible que operen con dos voltajes distintos de alimentación, y tener la disponibilidad en las líneas para que puedan conectarse indistintamente. Comúnmente, las terminales externas al motor permiten una conexión serie para el voltaje más alto y una conexión doble paralelo para la alimentación al menor voltaje.

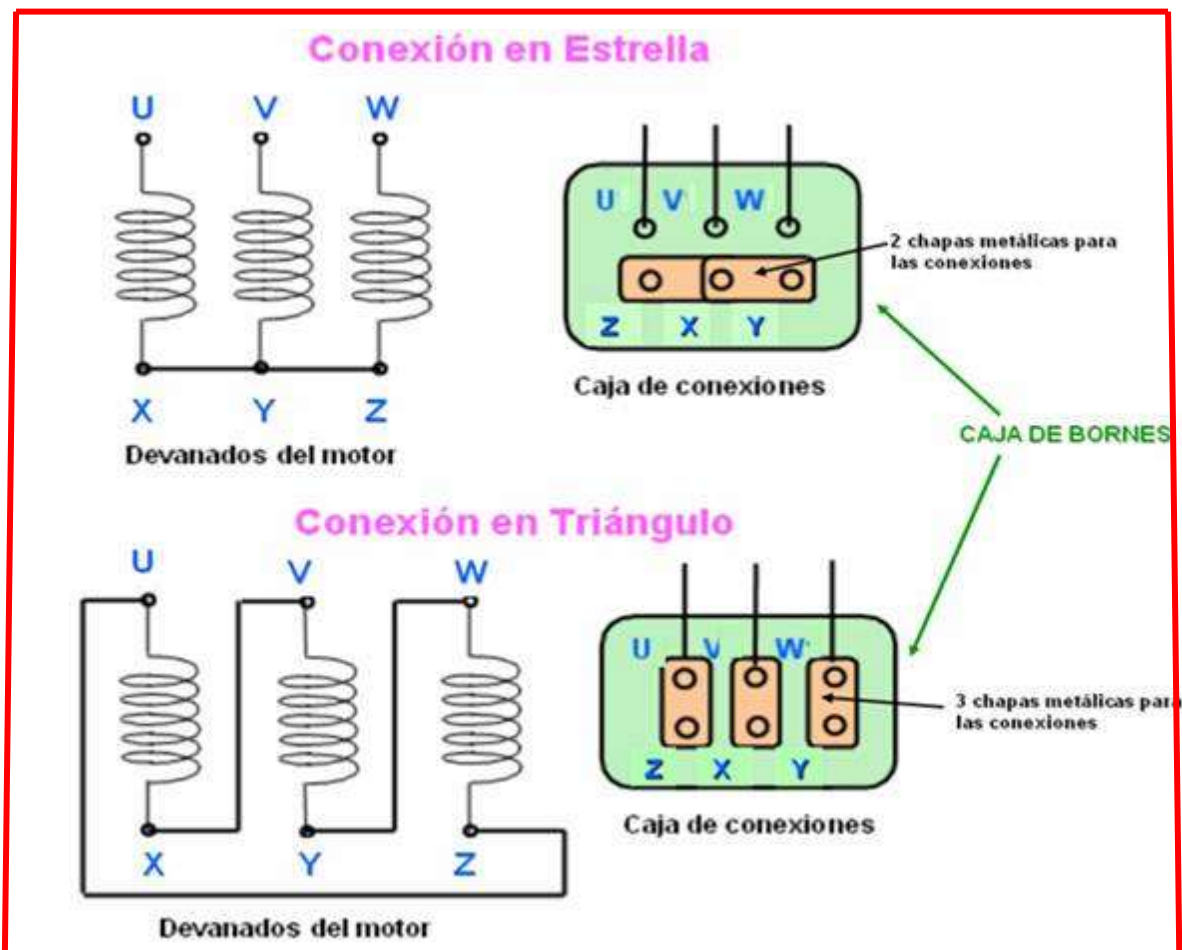


Figura 46 Tipo de Conexiones

Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.

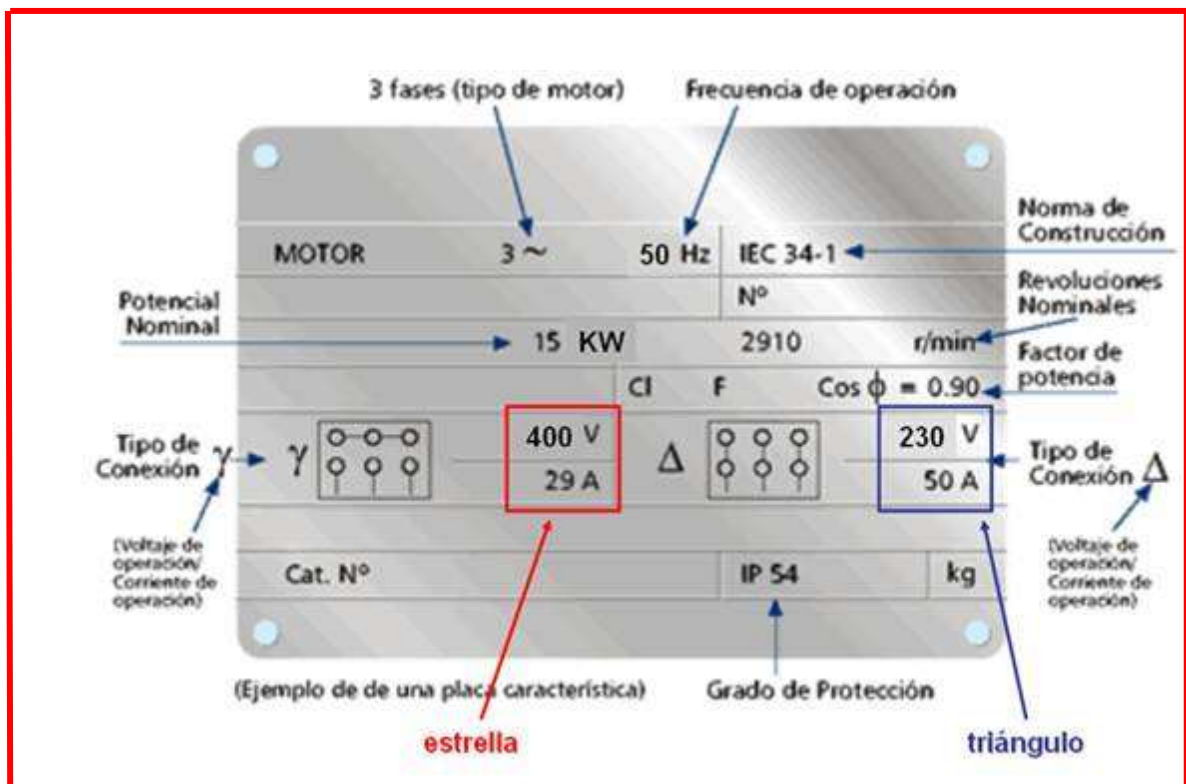
Especificaciones nominales de los Motores de Inducción.

Según el CEN (Código Eléctrico Nacional) que especifica en su sección 430.7 que todo motor debe poseer su placa rotulada, la placa de identificación de un motor de inducción contiene la cantidad mínima de identificación o los valores nominales más importantes asociados con el diseño del motor y los requerimientos de la carga tal como lo ilustra la **Figura 43.**

Todos los datos se basan en los valores de voltaje y frecuencia nominales de placa, los datos mostrados en la placa son los siguientes:

- **Nombre del fabricante:** como su nombre lo indica es simplemente el nombre de la industria que elaboro el motor.
- **Número de serie o código de fecha:** es un número exclusivo de cada motor o diseño para su identificación.
- **Potencia de salida:** consiste en la potencia nominal (HP) que desarrolla el motor en su eje cuando se aplica el voltaje y frecuencia nominales en los terminales del motor, con un factor de servicio 1,0.
- **Tipo de servicio:** es la capacidad de operación del motor, puede ser: continuo o intermitente. Continuo: el motor puede funcionar las 24 horas los 365 días del año. Intermitente: indica que el motor solo opera a plena carga el intervalo de trabajo que se especifique.
- **Elevación de temperatura:** sobre temperatura a la cual el motor cuando se entrega la potencia nominal sin peligro.
- **Velocidad:** es la velocidad de rotación (R.P.M.) del eje del motor cuando se entrega la potencia nominal a la maquina impulsada, con voltaje y frecuencia nominal.
- **Frecuencia:** es la frecuencia eléctrica (HZ) del sistema de suministro para la cual está diseñado el motor.
- **Números de fases:** número de fases para la cual está diseñado el motor, debe concordar con las del sistema suministro.

- **Voltaje:** valor de la tensión de diseño del motor, debe ser medida en las terminales del motor, y no en la línea de alimentación.
- **Corriente:** indica la intensidad de corriente (AMP) absorbida por el motor al voltaje y frecuencia nominal, cuando funciona a plena carga.
- **Factor de servicio:** la norma NEMA MGI-1993, 1.43 lo define como un multiplicador tal que, cuando se aplica al valor de la potencia nominal, indica la carga en hp que puede ser impulsada bajo condiciones específicas.
- **Diseño:** esta es la letra de diseño NEMA, que especifica los valores mínimos de par de rotación a rotor bloqueado, durante la aceleración y la velocidad correspondiente al par máximo, así como la corriente eruptiva máxima de arranque y el valor máximo de deslizamiento. Estos valores se especifican en la NEMA MG 1 secciones 16 y 17.



**Figura 47 Placa características de un motor de inducción.**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

## **Carcasas y ventilación.**

La carcasa provee de protección al motor de los efectos dañinos del medio ambiente en donde se instala. Algunos tipos carcasas protegen también el área circundante de lo que pudiese suceder dentro del motor. Debido a que los lugares donde son colocados los motores varían desde altamente limpios y neutros hasta condiciones sumamente sucias y/o altamente explosivas, las especificaciones para las carcasas se hacen cada vez más rigurosas.

En la mayoría de los motores el calor generado debe ser conducido a una superficie a través del aislamiento eléctrico donde puede ocurrir la disipación del calor por convección, lo cual se le denomina enfriamiento convencional o indirecto. Por el contrario, el enfriamiento directo implica que el medio de enfriamiento está en contacto directo con los conductores. En cuanto a la disipación del calor, se deben hacer consideraciones diferentes en lo concerniente al rotor y al estator. Por ejemplo, un rotor enfriado directamente por aire puede ser usado junto con un estator enfriado directamente por agua o incluso con un estator enfriado de manera convencional. Los conductos de ventilación pueden ser dispuestos de forma axial radial o ambos. El medio de enfriamiento puede ser un gas de baja densidad, aire presurizado. o bien gases o líquidos de mayor densidad.

La selección del método de ventilación depende de varias consideraciones, incluyendo las condiciones ambientales en las cuales la maquina va operar y las características del motor tales como potencia y velocidad angular del eje.

Existen varios tipo estándar y bien definidos de carcasas, todas las cuales varían en el grado de encerramiento y ventilación del motor.

### **Carcasas Abiertas.**

Es el tipo más simple de carcasa. Tiene aberturas de ventilación que permiten el paso de aire externo por encima y alrededor de los devanados del motor, alrededor y en algunos casos, a través de conductos en la masa del núcleo de hierro. Las aberturas están semiresguardadas o completamente protegidas como cuando se agregan cribas a parte de las aberturas o a todas ellas para limitar el acceso a las partes rotatorias del motor.

### **Carcasa a Prueba de Goteo (ODP):**

En este tipo de carcasa abierta. Las aberturas de ventilación están dispuestas de tal manera que la operación satisfactoria del motor no es interferida cuando gotas de líquido o partículas sólidas golpean o entran al almacenamiento dentro de un ángulo de  $15^\circ$  o menos de la vertical. En la **Figura 44** se ilustra la dirección angular que se declara en la definición.



**Figura 48 Carcasa ODP**

**Fuente: Superintendencia de Mantenimiento.**

Nuevamente se aclara que el material que se dirija al motor dentro del ángulo especificado puede llegar a entrar al mismo. El objetivo es que las partículas producidas como resultado de la salpicadura o que reboten desde el piso, no dañen a la maquina pero aún podrían permanecer dentro de ésta.

La aplicación de estos motores radica en plantas procesadoras de alimentos, cuartos de bombas, etc. Los motores con carcasa a prueba de goteo y a prueba de salpicadura, no son apropiados para usarse en atmósferas que contengan polvos abrasivos, o gases explosivos o inflamables.

**Carcasa a prueba de intemperie, tipo II (WP-II):** Es un tipo carcasa abierta cuyos pasajes de ventilación, tanto en la entrada como en la descarga se construyen y se dispone para permitir el paso del aire a alta velocidad y a su vez, que las partículas, llevadas por el mismo, sean descargadas sin entrar a los pasajes internos de ventilación del motor. Se le pueden agregar rejillas de protección.

Las carcasas a prueba de intemperie tipo I y tipo II son usadas generalmente en instalaciones al aire libre, como para el bombeo por turbina, en plantas químicas, refinerías, etc.

**Carcasa Ventilada Externamente:** Es un tipo de carcasa abierta que se encuentra ventilada por un abanico accionado por un motor, el cual estas montado sobre la carcasa. Se le pueden agregar rejillas de protección.

**Carcasa Ventilada por tubos (TAPV):** Es un tipo de carcasa abierta cuyos pasajes de ventilación se construyen para permitir la conexión de tubos o conductos de entrada de aire. Se le denomina motor con ventilación forzada, cuando se hace circular el aire a través de la carcasa por medio de un soplador accionado por un motor externo.

### **Carcasas cerradas.**

Es un tipo de carcasa usada para no permitir el paso del aire exterior de ventilación a las partes internas del motor. Con este tipo de carcasa se pueden usar diferentes métodos de enfriamiento.

- a) **Carcasa Totalmente cerrada no ventilada (TENV):** Es un tipo de carcasa que no tiene manera de dar enfriamiento externo a las partes internas. El motor se enfría por radiación térmica de la superficie exterior a la atmósfera que lo rodea. Los motores con este tipo de carcasa se utilizan en lugares extremadamente sucios, húmedos y con mucho polvo en el ambiente especialmente donde existan espacios reducidos o donde la utilización de un ventilador externo de enfriamiento sea objetable. Se pueden utilizar en minas, fábricas de papel, procesadoras de acero, entre otros.
- b) **Carcasa Totalmente cerrada enfriada por ventilador (TEFC):** Es un tipo de carcasa que proporciona enfriamiento exterior por medio de un ventilador o ventiladores integrados a la máquina, pero externos a las partes encerradas. Cuando se usan rejillas para cubrir las aberturas que dan acceso al ventilador o ventiladores, se aplica el término “protegida”. Estos motores pueden emplearse dentro de la mayoría de las instalaciones donde se pueden utilizar motores TENV.
- c) **Carcasa Totalmente cerrada con enfriamiento Aire-Aire (TEAAC):** Es un tipo de carcasa totalmente cerrada, construida para enfriar el motor por medio de un intercambiador de calor aire-aire. Se hace circular el aire interno del motor, ya sea por medio de un ventilador integrado al rotor o mediante sopladores accionados por separado, a través y alrededor de las partes del motor, y a través del intercambiador de calor. El aire externo se hace circular por medio de un ventilador integrado al rotor o bien sopladores accionados por separado, a través del intercambiador de eliminación de calor, enfriamiento al aire de ventilación del motor.

### **Rodamientos.**

Los rodamientos se clasifican como lisos o chumaceras y antifricción; estos últimos incluyen los de bolas y de rodillos. Sin embargo cada tipo



tiene sus ventajas y desventajas definidas para ciertas clases de servicio, existe el traslape en la adaptabilidad para muchas aplicaciones. Se recalca el hecho que todos los rodamientos se desgastaran, sin importar la aplicación, instalación y cuidados correctos de los rodamientos del motor le permitirán al usuario obtener máxima duración útil de los rodamientos con mínimo mantenimiento.

Los rodamientos están diseñados para soportar cargas de tipo específico. Algunos se destinan a soportar cargas en un solo sentido, otros pueden soportar cargas en dos sentidos. Las cargas pueden ser de empuje (axiales) y radiales, las primeras se definen como fuerzas que actúan paralelas al eje del motor, las radiales son aquellas que actúan como fuerzas perpendiculares al eje del motor.

La duración del cojinete es el tiempo en horas de funcionamiento que transcurrirá antes que aparezca la primera señal perceptible de falla. Es posible predecir esta duración para los rodamientos en determinados fabricantes, pero solo sobre la base de un promedio tomado de un gran número de rodamientos similares probados en las mismas condiciones de funcionamiento. Esta duración se predice en dos formas. La duración mínima condiciones de funcionamiento. Esta duración se predice en dos formas. La duración mínima de un cojinete, que es parte de un grupo de ellos, es el tiempo en que funcionaran el 90% del grupo antes de que aparezcan señales de fallas, la duración media de un cojinete es el promedio de duración, antes de la falla de cada cojinete del grupo y es, más o menos, cinco veces mayor que la duración mínima determinando con los métodos estándar para pruebas.

La temperatura máxima de funcionamiento de los rodamientos suelen estar limitadas por la lubricación de los mismos, sin embargo, en los motores eléctricos también hay que tomar en cuenta la clase de



aislamiento. Si la temperatura desintegra el lubricante ocurrirá la falla inmediata del cojinete.

Las altas temperaturas de funcionamiento reducirán las holguras internas en rodamientos o chumaceras por la expansión.

Un punto importante en el mantenimiento es la instalación del motor con una buena colocación del piñón, polea y acoplamiento, alineados en forma correcta; los choques ocasionados por el golpeteo se transmiten por el eje hasta los rodamientos, lo cual ocasiona puntos brillantes que se traducen en menor tiempo que se traducen en menor tiempo de vida y alto nivel de ruido.

### **Aislamiento.**

La importancia que dentro del proceso de conversión de energía electromecánica tienen los materiales activos (cobre y acero eléctrico) que constituyen a un motor de inducción es incuestionable, sin embargo la función que estos desempeñan no sería posible sin la presencia de un sistema de aislamiento que garantice el flujo de la intensidad de corriente eléctrica a través de los canales adecuados (devanados) para la generación e iteración de los campos magnéticos necesarios durante el proceso.

Su papel dentro del motor permite un buen desempeño térmico y eléctrico principalmente, contribuyendo así a que el motor tenga una vida útil adecuada.

Para satisfacer lo anterior, es necesario que un sistema de aislamiento sea proyectado teniendo en cuenta su desempeño eléctrico y evitar cortocircuitos entre los elementos conductores y con respecto a tierra, esto es, que soporte los niveles de tensión que soportarán entre cada uno de los materiales activos y con respecto a tierra. · Térmico: Conducir el calor

generado por las pérdidas por efecto joule adecuadamente hacia el sistema de refrigeración. •

**Mecánico:** Soportar las vibraciones mecánicas que se presentan debido a la atracción magnética entre conductores y con respecto a los núcleos. En general un sistema de aislamiento de un motor de inducción trifásico tipo jaula en baja tensión está constituido por:

- Aislamiento del alambre magneto
- Aislamiento de ranura
- Aislamiento entre fases de ranura
- Cuña de la ranura
- Aislamiento de cabezales
- Barnices o resinas
- Cintas o hilos de amarrado
- Aislamiento del cable de salida
- Mangas o tubos de silicón

El material que se utilice en cada uno de estos elementos dependerá de los niveles de temperatura y tensión eléctrica que el sistema deba soportar.

Los motores pueden clasificarse de acuerdo con su sistema de aislamiento, tomando como referencia su nivel de tensión o temperatura.

En lo relativo al nivel de tensión pueden dividirse en motores de baja y media tensión. En este artículo sólo se hace referencia a los sistemas de baja tensión. Por definición se considera baja tensión hasta 1kV, caen en esta clasificación los motores industriales de usos general, los cuales trabajan generalmente a: 480-440V, 240-220V y en algunos casos pueden ser proyectados para trabajar a 575V. En general todos estos

niveles de tensión pueden ser cubiertos por sistemas aislantes diseñados para soportar hasta 600-660V.

No influye la frecuencia de la red que se utilice (50 o 60Hz), siempre y cuando esta sea del tipo senoidal, para alimentaciones con señales electrónicas son otras consideraciones adicionales las que tienen que observarse.

### **Grado de protección mecánica.**

Cuando se instalen motores eléctricos en condiciones desfavorables, exentos de polvo, suciedad, humedad, humos corrosivos, agua, etc., la carcasa no tendrá más finalidad que unir los distintos componentes eléctricos del motor como las chapas, boninas, arrollamiento y soportar los cojinetes.

Sin embargo, es raro que los motores se instalen en condiciones ideales. En general siempre hay uno o más factores perjudiciales al funcionamiento del motor. Si las condiciones de funcionamiento son más desfavorables, tendrán que incorporarse en el motor protecciones adicionales, tanto en la parte eléctrica como la mecánica, para garantizar al motor una vida razonable y proporcionar una operación económica con mantenimiento reducido.

### **Causas de fallas en motores de inducción tipo jaula de ardilla.**

Resulta difícil en algunos de los casos determinar la falla en un motor de inducción; por esta razón cuando un motor llega a un taller especializado a fin de realizar una reparación debe ser examinada con cuidado en busca de las posibles causas de la falla; y tener siempre en cuenta el origen de sus averías.

### **Degradación de Aislamiento.**

Los materiales que constituyen los aislamientos de las máquinas, aparatos e instalaciones eléctricas están frecuentemente sometidos a la acción de ambiente que constituye líquidos, gases y vapores corrosivos que ocasionan su lento pero continuo envejecimiento, acabando por su destrucción.

A la acción destructiva de los agentes químicos, se unen la del campo eléctrico, actúa desfavorablemente sobre los aislamientos por medio de las descargas que se producen con las elevadas, descargas muchas veces visible en la oscuridad, especialmente cuando la tensión aumenta, en cuyo caso suele hacerse bien visible en forma de penachos luminosos. El campo eléctrico transforma parte del oxígeno del aire en ozono, de gran poder oxidante que actúa nocivamente e intensivamente sobre los materiales aislantes.

La degradación del sistema de aislamiento eléctrico de los devanados del estator es una causa común de la disminución de la vida útil y de la posterior falla del motor. Esto se debe a numerosas causas tales como la exposición del aislamiento a la humedad, tensión excesiva o daños de origen mecánico o térmico. Las propiedades físicas y dieléctricas de un sistema de aislamiento se deterioran con el tiempo.

### **Selección o aplicación incorrecta.**

En muchas ocasiones la selección o aplicación de los motores son incorrectas, sin embargo existen casos donde el error es pequeño y la maquina se mantiene en operación durante un largo periodo; no obstante esto no es una garantía del funcionamiento normal; debido a que por más pequeño sea el error o avería puede generar problemas en el funcionamiento.

El fabricante de la maquina tiene la responsabilidad de proyectar y definir todos los elementos relacionados con ella, como lo son: conexiones mecánicas, fluidos necesarios, regulación y características del motor eléctrico de accionamiento, posteriormente estos datos y características del motor eléctrico de accionamiento, posteriormente estos datos deben ser comunicados al proyectista de la instalación; así mismo será obligación del constructor de la maquina accionada, controlar el acoplamiento mecánico y las prestaciones del Conjunto, también cumplir con las normas establecidas en la construcción y funcionamiento.

Existen numerosos factores los cuales se deben tomar en cuenta al momento de querer definir el motor eléctrico; entre ellas están:

- Potencia nominal y velocidad de la rotación del motor.
- Datos de la maquina accionada que influyen sobre los ciclos de arranque del motor.
- Acoplamiento mecánico.
- Forma constructiva del motor.
- Características de los motores eléctricos en relación con el ambiente de la instalación.

Cabe destacar la inclinación de someter estos motores a ciclos extensos y severos de trabajo, frenado por contracorrientes (inversión), prolongando tiempo de aceleración, de igual forma es necesario tener en cuenta los problemas ocasionados al exponer las maquinas bajo este esquema; uno de los problemas ocasionados al exponer las maquinas bajo este esquema; uno de los problemas notables son calentamientos excesivos.

### **Instalación Inadecuada.**

Las deficiencias en el montaje del motor pueden generar fallas altamente influyentes en el funcionamiento de las máquinas, por esta razón es de gran importancia mantener acoplamientos y cualquier conexión entre el motor y la carga bien alineados con el propósito de evitar una característica dañina en el funcionamiento del motor como lo es la vibración parámetro representativo a el cual a determinadas velocidades suele ser critica para el motor.

Con el propósito de evitar esta situación se trata de aparatar suficientemente la velocidad crítica de la velocidad nominal. De igual forma la instalación puede presentar inconvenientes si no se siguen los linimentos locales; algunas de ellas establecidas en la sección 430 del Código Eléctrico Nacional (CEN).

El CEN, es el conjunto de normas que rigen las instalaciones eléctricas; donde se establecen los requisitos mínimos de seguridad en las instalaciones con relación a los riesgos humanos y materiales de las mismas.

En general, en una instalación industrial y en particular en un proceso productivo, un sistema accionado por un motor eléctrico; y específicamente cuando este es de gran potencia, requiere resolver distintos problemas implicados en la estrecha colaboración de técnicos con distintas funciones, distintas especialidades, herramientas precisas y la necesidad de contar con personas altamente capacitadas. A su vez, es necesario regirse por las normas elementales e indispensables para cualquier tipo de instalación.

## **Fallas en Motores Eléctricos.**

¿Por qué se averían los motores?

Cuando un motor llega a un taller especializado para su reparación, debe ser examinado con cuidado en busca de la posible causa de la falla. No es fácil localizar con precisión tal causa, pues muchas veces su origen se oculta bajo de devanados quemados u otras averías engañosas. Por ejemplo los devanados pueden estar muy quemados, pero un examen detenido puede descubrir un cojinete dañado que ocasionó el rozamiento del motor contra el devanado del estator. Llevando el análisis más a fondo, ¿por qué falló el cojinete? Fue por desalineación, exceso de carga o sólo falta de lubricación.

Generalidades. Es posible impedir desperfectos de los motores o por lo menos prolongar la duración de éstos, por medio de un mantenimiento preventivo adecuado. Una parte importante del proceso consiste en saber por qué se averían los motores. Se ha encontrado que los orígenes de los problemas en un motor suelen estar comprendidos en una de las siguientes categorías:

1. Condiciones ambientales adversas
2. Selección o aplicación incorrectas
3. Instalación inadecuada
4. Desperfectos mecánicos
5. Fallas eléctricas
6. Desequilibrio de voltaje
7. Falta mantenimiento
- 8 Una combinación de dos o más de los factores anteriores

### **Condiciones ambientales adversas.**

Temperatura del ambiente.

Los motores deben funcionar dentro de la variación límite de su temperatura indicada en su placa de identificación a fin de lograr una larga vida útil. Como ya se dijo en otra parte de este curso: por cada 10°C de aumento en la temperatura de operación del motor por encima de la nominal, la duración de la vida del aislamiento se reduce a la mitad.

El valor normal de la temperatura del ambiente o ambiental (TA) que se considera al diseñar un motor es de 40°C. Si se tiene por ejemplo, un motor con factor de servicio unitario y aislamiento clase 130, que debe trabajar a una temperatura ambiente de 50°C. Su elevación de temperatura (la cual normalmente podría ser de 80°C.) tendrá que reducirse a:

$$ET = 0.9 \times (130 - 50) = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Además de mantener la temperatura ambiente correcta, hay que localizar y eliminar otras fuentes de aumento de temperatura, como la desalineación, sobrecarga, voltaje incorrecto y muchas otras condiciones ambientales perjudiciales que suelen consistir en la presencia de vapores corrosivos, sal suspendida en el aire, y suciedad, polvo y otros contaminantes en exceso. En lugares con tales condiciones es esencial contar con motores cuyas carcasas estén especialmente diseñadas.

La humedad es otra causa común de fallas de motores. Si se condensa en la superficie del aislamiento por cambios de temperatura o por contacto con agua, dicha superficie se volverá altamente conductora, se dañará y producirá la falla inmediata del motor. Además, es posible que el aislamiento absorba humedad con el paso del tiempo, hasta que la resistencia dieléctrica del aislamiento se reduce tanto que ocurre la falla.



### **Altura sobre el nivel del mar.**

Además de considerar un valor máximo para la temperatura de ambiente a la que va a operar el motor, el diseñador también tiene presente la máxima altitud (o altura sobre el nivel del mar, ASM) a la que funcionará, y que se supone de 1.000m. Puede utilizar la siguiente fórmula para calcular la elevación de temperatura corregida de un motor en función de la densidad del aire.

$$ET \text{ corregida} = ET \text{ normal} + ET \text{ del normal por Factor aire } X$$

Donde

ET normal es la temperatura de operación del motor según especificación

Factor aire X es el efecto de la altura sobre la temperatura de operación.

### **Desperfectos mecánicos.**

Una carga excesiva puede dañar con rapidez un motor; éste quizá haya sido al principio del tamaño apropiado para la carga, pero una variación en ésta o en el mecanismo para la impulsión puede producir sobrecarga del motor.

Los cojinetes empezarán a fallar, los engranes pueden trabarse, o pueden presentarse otras causas de fricción o cargas extra. En este caso, el motor consumirá más corriente y se incrementará su temperatura. Si la corriente del motor excede del amperaje nominal a plena carga, aunque sea por un tiempo breve, el rápido sobre calentamiento reducirá la duración del motor. Si se tienen relevadores de sobrecarga del tamaño correcto, se dispararán en caso de una sobre corriente muy intensa.

Las fallas de los cojinetes se encuentran entre las más comunes en cualquier motor. Se calcula que casi el 50% de las quemaduras de motores se deben a un cojinete dañado. Es necesario conocer a fondo los diversos motivos de las fallas de los cojinetes y los procedimientos correctos de mantenimiento para lograr un mayor aprovechamiento del motor.

La desalineación entre el motor y su carga en acoplamientos, engranajes, poleas y bandas es otra causa de falla mecánica. Debe practicarse el balanceo o equilibrado dinámico de todos los componentes para obtener una larga duración del motor, lo cual, además reducirá al mínimo la vibración y problemas asociados.

### **Fallas eléctricas.**

Si el voltaje de suministro es incorrecto o tiene variaciones notables, ocurrirá una avería prematura del motor. El bajo voltaje hace que la corriente normal se incremente. Si la reducción en la tensión aplicada es considerable, el exceso de corriente producirá sobre calentamiento del motor.

Un alto voltaje de alimentación para el motor reduce las pérdidas en los devanados, pero el flujo magnético más intenso ocasiona mayores pérdidas en el núcleo.

Un pequeño incremento en el voltaje de suministro podría reducir el consumo de corriente, sin embargo, un aumento del orden del 10% o más respecto al valor de la placa producirá saturación del hierro y una intensificación considerable en la corriente con el consecuente sobrecalentamiento perjudicial del motor.

### **Desbalance de voltaje.**

Los voltajes trifásicos desequilibrados o desbalanceados pueden ocasionar una grave alteración en la corriente, que puede producir un rápido sobre calentamiento del motor. Es necesario instalar una protección contra este problema, para lo cual suelen ser adecuados los relevadores de sobrecarga.

Ya se utilizan nuevos tipos de tales relevadores para proteger a un motor no sólo contra la caída de fases o monofásico, que en realidad es la forma extrema del desbalanceo de la tensión aplicada.

### **Mantenimiento impropio.**

Casi siempre, el buen mantenimiento preventivo evita o cuando menos demora, una posible falla del motor.

Los técnicos han encontrado en algunas instalaciones condiciones tales como polvo y suciedad en los motores, conductos de ventilación obstruidos, motores sobre calentados, corriente incorrecta en éstos, cojinetes ruidosos, humedad dentro y fuera de la máquina, debido todo ello a la falta de mantenimiento periódico.

En ocasiones, no todos los motores necesitan ni ameritan mantenimiento preventivo, en particular cuando el costo de este último puede ser mayor que reparar el motor. Por otra parte cuando el motor se encuentra en una instalación crítica o es muy grande, costoso o difícil de sustituir, entonces si se justifica un buen programa de mantenimiento adecuado, y se ha descubierto que la producción no sufre interrupciones, los motores duran más y sus costos totales de operación son más bajos.

En otras ocasiones los motores son instalados y olvidados, sin recibir ningún tipo de mantenimiento, ni siquiera una leve limpieza de polvo, este

descuido total de los motores habrá que evitarlo, para ello es bueno crear bitácoras que indiquen el estado de operación del motor, habrá que llenarlas periódicamente, en industrias con personal de mantenimiento dedicado podrán llenarse diario y en otras cada semana y aquellas que no tienen personal de mantenimiento por lo menos una vez al mes.

### **Fallas por operación con una sola fase.**

Un caso de quemadura de tres motores de 100 hp en una planta industrial pone de relieve el hecho de que la protección usual contra sobrecarga en los controladores trifásicos, aunque tenga el ajuste adecuado, no es una seguridad total contra las costosas quemaduras de esos motores cuando quedan alimentados accidentalmente por una sola fase, lo que constituye un desastre demasiado común.

En un sistema eléctrico moderno y con buen mantenimiento instalado en una planta industrial, un caso reciente de costosos daños a motores por la apertura de una fase en el circuito de alimentación puso de manifiesto una triste realidad de la industria eléctrica: el empleo creciente de motores en todos los tipos de sistemas va acompañado de un número también creciente de quemaduras de motores por monofásico.

Aunque el NEC, National Electrical Code (código eléctrico nacional de USA) exige la protección de los motores contra la sobrecarga, no menciona en absoluto la necesidad de proteger contra daños debidos a la operación monofásica accidental que puede producirse en motores trifásicos, cuando uno de los tres hilos de la fase del circuito derivado, o la línea alimentadora de tal circuito. Con tres relevadores de sobrecarga en el arrancador del motor éste se encuentra protegido, por que abren el arrancador en las condiciones de apertura de una fase, pero la realidad

es que sólo constituyen una protección parcial y en condiciones muy específicas de carga y aplicación del motor.

### **Sobrecarga.**

La condición de sobrecarga consiste en la absorción por parte del motor de una corriente mayor a la nominal, debido a un exceso de carga en el eje que demanda, mayor potencia para su accionamiento, por lo cual el motor debe aumentar su potencia de entrada, teniendo como resultado un incremento en la temperatura del estator, que si rebasa los límites térmicos permitidos por el aislamiento del motor, lo somete a condiciones de trabajo indebidas; sin embargo, el sistema de aislamiento del motor puede soportar temperaturas que se excedan de su rango, pero por corto tiempo, ya que el motor tiene capacidad de disipar este calor extra, almacenándolos en la masa de los conductores y en las partes estructurales.

### **Ventilación Deficiente.**

La verificación inadecuada resulta de la reducción del flujo de enfriamiento de las partes del motor, donde se disipa el calor debido a obstrucciones ocasionadas por pantallas, filtros, etc.

Cuando la ventilación es obstruida, un motor que esté operando aun sin carga, puede estar sujeto a altas temperaturas en los devanados del motor.

Generalmente los motores son diseñados para usarse a temperaturas ambientales determinadas (40° C en el trópico), tomando en cuenta este efecto cuando un motor con su carga nominal y con buena ventilación

trabaja en una condición ambiental de temperatura mayor, igualmente, ocasiona incrementos de temperatura similares a los que originan una sobrecarga en condiciones de operaciones normal.

### **Sobrecorriente.**

Se originada por fallas en los motores producidas por cortocircuito en los arrollamientos del estator. Generalmente son línea a línea que pueden ponerse a tierra. Las fallas trifásicas que no se ven conectadas a tierra tienen más probabilidad de ocurrir en las conexiones de los terminales del motor únicamente; se aclara, que debido a los detalles en la aplicación y diseño del motor, ciertas fallas son más frecuentes que otras. Los factores que afectan la magnitud de la corriente de falla son: La fuente de alimentación del motor, la impedancia de arrollamiento, el tipo de falla (fase o tierra) y la ubicación de la falla en el devanado del motor.

### **Arranque Frecuente o Intermitente.**

Cuando se producen arranques repetidos, los periodos de funcionamiento son cortos y es poco el calor disipado por el movimiento del rotor. Los arranques repetidos pueden llevar las temperaturas a valores peligrosos, por encima del valor admisible del calentamiento en los devanados de estator y/o rotor, a menos que exista un tiempo suficiente que permita que se disipe el calor.

Durante el arranque, los cojinetes de manguito o chumaceras no disponen en un principio de la película de aceite que necesitan para trabajar libres de desgaste; esta película se forma cuando el motor comienza a girar, por los arranques sucesivos causan desgaste en este tipo de cojinete.

### **Secuencia incompleta de arranque.**

Se presenta esta situación principalmente en motores cuyo arranque se hace a voltaje reducido. El equipo de control que efectúa la operación de arranque puede verse envuelto en una situación de falla y mantiene la operación del motor a voltaje reducido en forma continua.

Esto es producido por que la carga acoplada al motor es alta y el motor no puede completar la secuencia completa de arranque no pasando el motor por su torque máximo y quedando operando con una corriente elevada aproximadamente de 3 a 4 veces la nominal.

### **Fallas de Rodamientos.**

Es una de las causas más comunes de fallas en motores eléctricos, se estima que la mitad de los motores quemados es por causas de los rodamientos. La falla de los rodamientos se puede deber a muchos factores, entre los más comunes destacan los siguientes: lubricación inadecuada, desalineación del motor con la carga, reemplazos, inadecuados, cargas excesivas, ambientes agresivos, entre otras.

En general, las fallas de los rodamientos pueden ir precedidas por aumentos en el ruido, la temperatura, la aspereza o una combinación de ellos; estos factores, además de las horas de trabajo, son la base para desechar unos rodamientos.

Los cojinetes están diseñados para minimizar la fricción entre las partes estacionarias del motor. Los cojinetes usados en grandes motores son de película de lubricante. Esta película reduce el coeficiente de fricción debido a que el diámetro del eje del motor es más pequeño que el diámetro interior del rodamiento, de manera que el eje tiende a posicionarse excéntricamente en el cojinete.

Los sistemas de rodamientos de los motores eléctricos se suelen diseñar para el empleo de grasas y aceites industriales disponibles en el

mercado. Es importante hacer concordar el grado del lubricante y los periodos para inspección y cambio de las condiciones de funcionamiento del motor, tipo de rodamientos y temperaturas; esta última tiene gran influencia en la selección del lubricante y de sus intervalos de comprobación y cambio.

Unido a los requisitos de lubricación de los rodamientos de motores eléctricos, existen consideraciones adicionales, importantes tales como la protección contra la corrosión. Cuando se utiliza un sistema común de lubricación para el motor y la máquina que impulsa, se deben tener en consideración los requisitos de todos los rodamientos, engranajes y otras piezas lubricadas. En todos los casos, se deben consultar las instrucciones para lubricación dadas por el fabricante del motor, a quien también se debe consultar las instrucciones para lubricación dadas por el fabricante del motor, a quien también se debe consultar las instrucciones para lubricación dadas por el fabricante del motor, a quien también se debe consultar en cuanto a instrucciones para la lubricación en condiciones fuera de lo normal.

El aceite se debe comprobar cada 3 a 6 meses para tener la seguridad de que los rodamientos reciben un suministro adecuado del aceite especificado y libre de contaminantes. Esta comprobación de trabajo del motor.

Los rodamientos suelen estar sellados o blindados en uno o ambos lados. Si tienen sello o blindaje en ambos lados, suelen tener lubricación permanente de fábrica. También pueden ser de un tipo que se lubrique en otras aplicaciones pero, en general, los motores no suelen estar diseñados para agregarles lubricantes. Este tipo de rodamientos impide el escape de la grasa y a menos que posea un sello de plástico que se deslice apretado contra la pista interna no impedirá que el polvo muy fino que pase por el blindaje, contamine la grasa e inutilice el cojinete. Los



rodamientos sellados no tienen duración indefinida en el almacén, pues la grasa se puede solicitar en lugares calientes. En algunas aplicaciones se utiliza un blindaje en el lado que esta hacia el devanado para que a este no llegue un exceso de grasa, pero se puede lubricar por el otro lado.

Se puede conducir entonces, que las fallas en los cojinetes se presentan por problemas mecánicos o por fallas de lubricación. La falla de los cojinetes en general, puede ser debida a una o más de las siguientes causas:

**-Problemas con el lubricante:**

Incorrecta.

Enfriamiento inadecuado del cojinete y/o del lubricante.

Deterioro, saponificación del lubricante.

Existencia de partículas abrasivas en el sistema de lubricación.

**-Problemas mecánicos:**

Falla en el suministro de aceite debido a:

Falla de la bomba del lubricante.

Bajo nivel en la reserva de lubricante.

Obstrucción en el conductor del lubricante.

**-Carga radial excesiva debido a:**

Desalineamiento del eje y cojinetes del motor.

Desalineamiento del acople entre el motor y la carga.

Ajuste incorrecto de los cojinetes.

Eje del rotor arqueado.

Desbalance del rotor.

**-Carga axial o de empuje excesivo debido a:**

Nivelación inadecuada.

Alineamiento axial inadecuado respecto del centro magnético.

Alineamiento axial inadecuado del equipo accionado.

**-Superficie áspera de los cojinetes debido a:**

Rotura por fatiga del material.

Partículas abrasivas.

Corrientes en el eje.

Por otra parte, el desbalance de las corrientes de fase y la presencia de armónicos, son causante de:

Vibración.

Calentamiento de la estructura del rotor.

**Análisis de Criticidad.**

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- **Instalaciones**
- **Sistemas**
- **Equipos**
- **Elementos de un equipo**

De acuerdo con su impacto total del negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación.

Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos.

**Activo:** Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja. Puede ser humano, físico y financiero intangible. Por ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas y equipos, entre otros.

**Acción/recomendación:** Es la asignación para ejecutar una tarea o serie de tareas para resolver una causa identificada en la investigación de una falla o problema.

**Afectación:** Es la limitación y condiciones que se imponen por la aplicación de una ley al uso de un predio o un bien particular o federal, para destinarlos total o parcialmente a obrar de utilidad pública.

### **Análisis de Criticidad de Modo de Falla y Efectos (FMECA, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis):**

Es un método que permite cuantificar las consecuencias o impacto de las fallas de los componentes de un sistema, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

**Causa de falla:** Circunstancias asociadas con el diseño, manufactura, instalación, uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla.

**Confiabilidad operacional:** Es la capacidad de un activo (representado por sus procesos, tecnología y gente) para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de este, dentro de sus límites de diseño y bajo un Contexto Operacional determinado.

**Consecuencia:** Resultado de un evento. Puede existir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente. Por ello, los modelos para el cálculo deben considerar los impactos en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.

**Consecuencia de una Falla:** Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia para el operador, como el de seguridad, el ambiental y el económico.

**Contexto Operacional:** Conjunto de factores relacionados con el entorno; incluyen el tipo de operación, impacto ambiental, estándares de calidad, niveles de seguridad y existencia de redundancias.

**Criticidad:** Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

**Defecto:** Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

**Efecto de falla:** Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

**Falla:** Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

**Falla funcional:** Es cuando el ítem no cumple con su función de acuerdo al parámetro que el usuario requiere.

**Jerarquización:** Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

**Modo de falla:** Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo. Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado. Hechos que pueden haber causado cada estado de falla.

**Mecanismo de falla:** Proceso físico, químico u otro que ha conducido un deterioro hasta llegar a la falla.

**Prioridad:** La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.

**Riesgo:** Este término de naturaleza probabilística está definido como la “probabilidad de tener una pérdida”. Comúnmente se expresa en unidades monetaria. Matemáticamente se expresa como:

$$R(t) = P(t) \times C$$

Donde:

R (t) es el riesgo en función del tiempo P (f) es la probabilidad de ocurrencia de un evento en función del tiempo, y C sus consecuencias.

### **Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.**

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.



**Figura 49 Matriz de Criticidad.**  
Fuente: Aprendizaje virtual Pemex

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

➤ **¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para determinar la criticidad?**

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

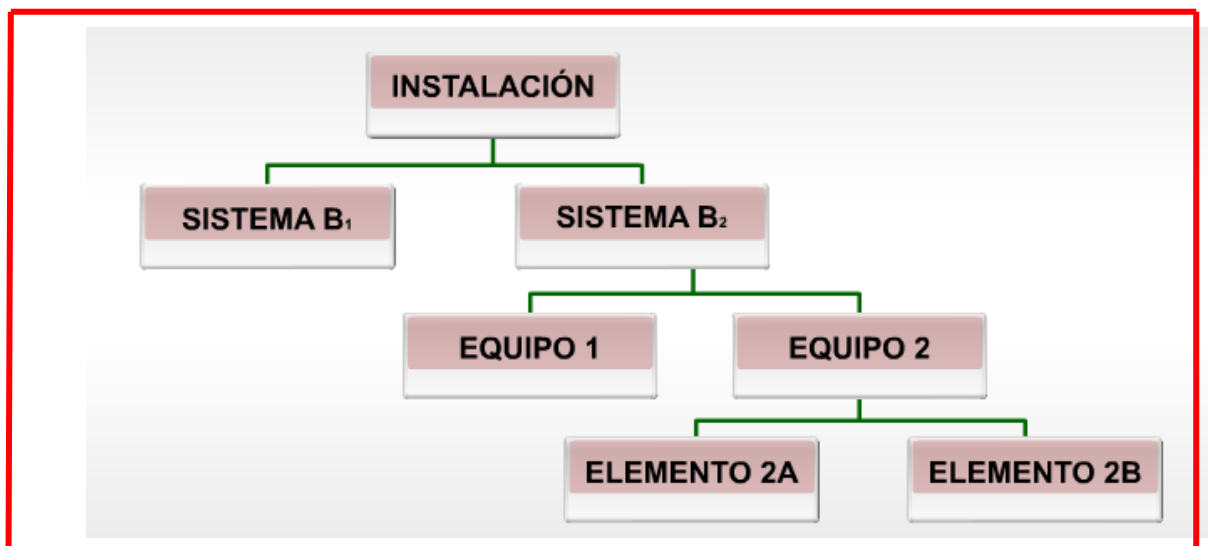
## Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Para realizar en Análisis de Criticidad debes seguir los siguientes pasos:

### ➤ Primer paso-Definir el nivel de análisis:

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activos:

### Niveles de análisis para evaluar criticidad.



**Figura 50 Niveles de análisis para evaluar criticidad.**  
Fuente: Aprendizaje virtual Pemex.

### Información necesaria:

- ✓ Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis.
- ✓ Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).

- ✓ Relación de sistema y equipo por instalación (se requiere a diferentes tipos de sistemas y equipos).
- ✓ Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- ✓ Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- ✓ Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).
- ✓ Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.
- ✓ Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.
- ✓ Registros de los impactos en producción (% pérdida de producción debido a la falla del elemento, equipo, sistema o instalación en estudio, producción diferida y costos relacionados).
- ✓ Registros de los impactos en la seguridad de los procesos.

➤ **Segundo paso-Definir la Criticidad:**

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos:

**Estimación de la frecuencia de la falla funcional:** Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año.

La siguiente tabla muestra los criterios para estimar la frecuencia.

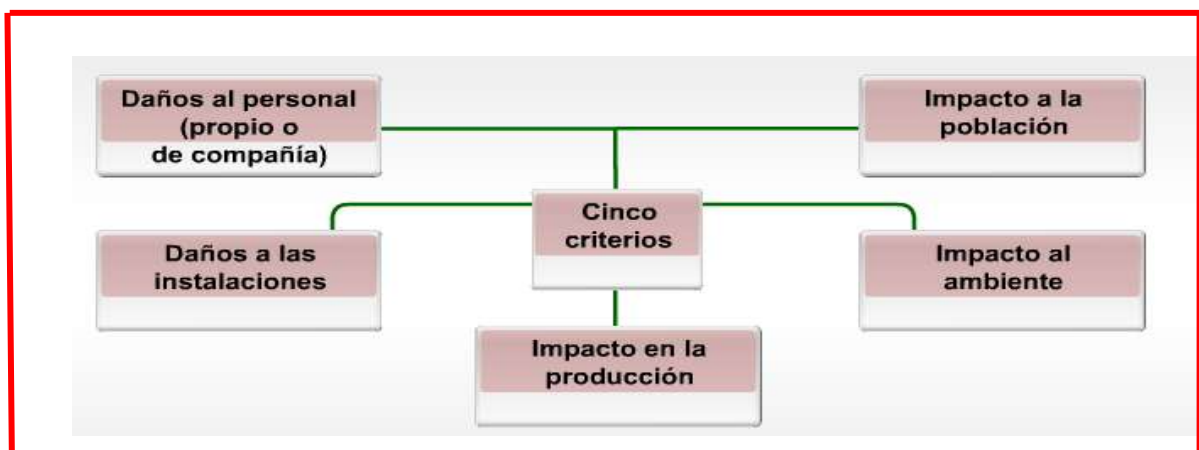


Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año, en caso de no contar con esta información utilizar base de datos genéricos (PARLOC, OREDA, etc.) y si esta no está disponible basarse en la opinión de expertos.

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

**Figura 51 Estimación de la frecuencia de la falla funcional.**  
Fuente: Aprendizaje virtual Pemex.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos.



**Figura 52 Estimación de la frecuencia de la falla funcional.**  
Fuente: Aprendizaje virtual Pemex.

Los daños al personal, impacto a la población y al ambiente serán categorizados considerando los criterios que se indican en la tabla Categoría de los Impactos.

Los Impactos en la Producción (IP) cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre el negocio. Este criterio se evaluará considerando los siguientes factores: Tiempo Promedio para Reparar (TPPR), Producción Diferida, Costos de Producción (aceite y gas).

De la tabla Categoría de los Impactos, el valor ubicado en la columna Categoría se asignará a las consecuencias, y este se empleará para realizar el cálculo del nivel de criticidad. El impacto o consecuencia total de una falla se determina sumando los valores de las categorías correspondientes a cada columna o criterio multiplicado por el valor de la categoría obtenida de la tabla que determina la frecuencia de ocurrencia de falla.

### **Tercer Paso-Cálculo del nivel de criticidad:**

Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula:

**Criticidad = Frecuencia x consecuencia.**

Para las variables se utilizan los valores preestablecidos como “categorías” de las tablas **Categoría de las Frecuencias de Ocurrencia y Categoría de los impactos**, respectivamente.

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada para PEP, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.



**Figura 53 Matriz de Criticidad-PEP 1.**

**Fuente: Aprendizaje virtual Pemex.**

#### **Cuarto paso-Análisis y Validación de los resultados:**

Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.

Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.

#### **Quinto paso-Definir el nivel de análisis:**

El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad. El cual es el objetivo de la aplicación de la metodología.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo

ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

### **Sexto paso-Determinar la criticidad.**

Permite completar la metodología, sin formar parte de la misma. Cuando en la evaluación de un activo obtenemos frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

Dentro de las acciones o actividades que se recomiendan, se pueden incluir la aplicación de otras metodologías de Confiabilidad, con el objeto de:

- Identificar las causas raíz de los eventos de deseados y recomendar acciones que las eliminen mediante el Análisis Causa Raíz (ACR).
- Mitigar los efectos y consecuencias de los modos de falla y frecuencia de las fallas por medio de las aplicaciones de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) e Inspección Basada en Riesgo (IBR).
- Complementar y/o validar los resultados mediante análisis RAM.

### **Séptimo paso-Sistema de Seguimiento de control:**

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de AC.

Los objetivos de Seguimiento y Control son:

- Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la Metodología Análisis de Criticidad.
- Promover la cultura del dato en todos los niveles de la empresa.
- Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar se requiere un nuevo análisis.

**Octavo paso-Análisis y Validación de los resultados:**

Se debe crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de los Análisis de Criticidad realizados a las instalaciones, sistema, equipos y elementos.

## Glosario

**Resistencias de Aislamiento:** Voltaje máximo al que puede exponerse un material sin provocarle perforación alguna; expresado en voltios o kilovoltios por unidad de grosor. También llamada resistencia dieléctrica.

**Resistencias de Calentamiento:** Son las que convierten energía eléctrica en calor.

**Láminas de Calibración:** Instrumento utilizado para la alineación del motor.

**Bobinas:** Es el arrollamiento que va en la parte interna de un motor eléctrico y por medio del bobinado se crean los campos magnéticos para la velocidad (RPM), el bobinado lo puede llevar tanto el estator como el rotor.

**Bridas:** Reborde de un tubo, en forma de arandela plana, que sirve para ajustar o empalmar otro tubo: pon una junta en esa brida y acopla los dos tubos.

**Eje:** Es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación a una pieza o de un conjunto de piezas, como una rueda o un engranaje.

**Intersticios:** Se entiende el saliente o rebajamiento del pistón en el punto muerto superior respecto al lado de contacto del bloque motriz.

**Aparejo:** Es una máquina simple utilizada para mover en forma ascendente o descendente (con modificaciones se puede adaptar a movimientos horizontales), elementos cuyo elevado peso, impide que sea movido por la fuerza de un humano sin ayuda mecánica.

**Visor:** Mide el nivel de aceite que contiene el motor.

**Valor Nominal:** En distintos campos de la ciencia, el valor nominal indica el valor teórico o ideal, de cualquier cosa que pueda ser cuantificable, en oposición al *valor real* que es el que se obtiene en una medición dada.

**Escobilla:** Para realizar esta conexión, se fijan dos anillos en el eje de giro, generalmente de cobre, aislados de la electricidad del eje y conectados a los terminales de la bobina rotatoria. Enfrente de los anillos se disponen unos bloques de carbón, que mediante unos resortes, hacen presión sobre ellos para establecer el contacto eléctrico necesario. Estos bloques de carbón se denominan escobillas y los anillos rotatorios reciben el nombre de colector.

**Anillos Colectores:** Un colector consiste en una corona circular conductiva montada en un eje y aislada de él. Las conexiones eléctricas desde la parte rotativa del sistema, como el rotor de un generador, son hechas hasta el anillo. Las conexiones fijas o escobillas están en contacto con el anillo, transfiriendo la energía eléctrica del exterior, a la parte rotativa del sistema.

**Tensión Eléctrica:** Es el salto de potencial eléctrico o la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.

**Tensión Mecánica:** Es la fuerza interna aplicada, que actúa por unidad de superficie o área sobre la que se aplica. También se llama tensión, al efecto de aplicar una fuerza sobre una forma alargada aumentando su elongación.

**Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

**Pistón:** Su función principal es la de constituir la pared móvil de la cámara de combustión, transmitiendo la energía de los gases de la combustión a la biela mediante un movimiento alternativo dentro del cilindro. Dicho movimiento se copia en el pie de biela, pero se transforma a lo largo de la biela hasta llegar a su cabeza apretada al muñón del cigüeñal, en donde dicha energía se ve utilizada al movilizar dicho cigüeñal. De esta forma el pistón hace de guía al pie de biela en su movimiento alternativo.

**Cojinete:** Es la pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

**Cojinete de Deslizamiento:** Es un cojinete en el que dos casquillos tienen un movimiento en contacto directo, realizándose un deslizamiento con fricción, buscando que esta sea la menor posible. La reducción del rozamiento se realiza según la selección de materiales, y lubricantes.

**Cojinete de Rodamiento:** Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño.
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

**Trabamiento del Eje:** Mantiene fijo el eje del motor antes de su apertura.

**Sellos:** Es un dispositivo que permite unir sistemas o mecanismos, evitando la fuga de fluidos, conteniendo la presión, o no permitiendo el ingreso de contaminación.



**Réle Térmico:** Son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua.

**Termostato Bimetálico:** Son detectores térmicos del tipo bimetálico, con contactos de plata normalmente cerrados. Estos se abren en determinada temperatura.

Los termostatos son conectados en serie o independientes conforme el esquema de conexión.

**Baja Tensión:** De acuerdo con los Artículos 3 y 4 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, las instalaciones eléctricas de baja tensión son aquellas cuya tensión nominal es igual o inferior a 1.000 V para corriente alterna y 1.500 V para corriente continua.

**Biela:** Un elemento mecánico que sometido a esfuerzos de tracción o compresión, transmite el movimiento articulando a otras partes de la máquina. En un motor de combustión interna conectan el pistón.

**Media Tensión:** Son las instalaciones donde la tensión nominal es superior a los 1000 voltios en corriente alterna.

**Termistores (tipo PTC o NTC):** Son detectores térmicos, compuestos de semiconductores que varían su resistencia bruscamente al alcanzar una determinada temperatura. Los termistores son conectados en serie o independientes conforme el esquema de conexión.

**Termo resistencia (Pt100):** Es un elemento de resistencia calibrada. Su funcionamiento se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía linealmente con la temperatura. Los terminales del detector deben ser conectados a un panel de control, que incluye un medidor de temperatura.

**Radiador:** Se conoce por radiador al dispositivo que permite intercambiar calor entre dos medios. Sirve para disipar calor de un objeto o aparato para evitar su sobrecalentamiento o para calentar un espacio o un objeto.

**Sensor de agua:** Un detector de fugas es un dispositivo que posibilita revelar el escape de diferentes éste produce una burbuja en el área de la fuga que es fácilmente visible.

**Ventilador:** Se utiliza el ventilador para asistir un intercambiadores de calor como un disipador o un radiador con la finalidad de aumentar la transferencia de calor entre un sólido y el aire o entre los fluidos que interactúan. Una clara aplicación de esto se ve reflejada en evaporadores y condensadores en sistemas de refrigeración en que el ventilador ayuda a transferir el calor latente entre el refrigerante y el aire, y viceversa.

**Filtros:** Protegen el interior del motor contra contaminación.

**Sistema de Refrigeración:** La refrigeración es el proceso de producir frío, en realidad extraer calor. Para producir frío lo que se hace es transportar calor de un lugar a otro. Así, el lugar al que se le sustrae calor se enfría.

**Voltaje o Tensión:** Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.  
(Volts)

**Potencia:** Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (*watt*).

**Corriente:** Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio.

**Anclajes:** Son dispositivos para la fijación de motores directamente sobre la base, cuando los motores son aplicados con acoplamiento elástico.

**Acoplamiento Elástico:** Los acoplamientos elásticos pertenecen al grupo de acoplamientos flexibles y están especialmente diseñados para absorber choques y vibraciones. Su campo de aplicación más corriente es en la salida de un motor eléctrico, donde existen pares de transmisión generalmente pequeños y medianos.

**Holgura:** Espacio que queda entre dos piezas que han de encajar una en otra.

**Simetría Axial:** Se da cuando los puntos de una figura coinciden con los puntos de otra, al tomar como referencia una línea que se conoce con el nombre de eje de simetría. En la simetría axial se da el mismo fenómeno que en una imagen reflejada en el espejo.

**El reóstato:** Es una de las dos funciones eléctricas del dispositivo denominado resistencia variable, resistor variable o ajustable. La función

reóstato consiste en la regulación de la intensidad de corriente a través de la carga, de forma que se controla la cantidad de energía que fluye hacia la misma.

**Disyuntor:** Es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor o, en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de no causar daños a los equipos eléctricos.

**Extractor Mecánico:** Es una herramienta manual que se utiliza básicamente para extraer las poleas, engranajes o cojinetes de los ejes, cuando están muy apretados y no salen con la fuerza de las manos.

**Rotor:** Es el componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico. Junto con su contraparte fija, el estator, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y máquinas eléctricas en general.

**Mega:** Instrumento para medir el nivel de aislamiento de un equipo.

**Torque:** Es la fuerza de arranque que requiere el motor para romper la inercia del eje.

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLOGICO.

El presente capítulo describe la metodología que se utilizó para la recolección, procesamiento, análisis e interpretación de la información y los datos numéricos en el desarrollo de este estudio.

### TIPO DE ESTUDIO.

El presente estudio se realizó como una investigación no experimental de tipo descriptivo-evaluativo. Es no experimental debido a que no existió manipulación en forma deliberada de la variable independiente, simplemente se procedió a realizar observaciones de situaciones ya existentes. Es de carácter Descriptivo, porque permitió describir y conocer el funcionamiento de cada uno de los motores de inducción trifásica existentes en Planta de agua Nueva y vieja como también los de Transferencia de Crudo a la venta de la Planta UM-2.

### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. Este corresponde a la estructura de la investigación, a la forma como esta va a ser desarrollada, a la manera como la indagación es concebida a fin de obtener respuestas a las interrogantes.

En virtud que la investigación se realizó en su ambiente natural y su fuente fue de primera mano, se considera **de Campo**. Tal y como lo

define Fidias Arias (1999), “La investigación de campo, consiste en la recolección de datos de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables”.

Por otra parte, para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron y analizaron datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos, por ello, esta investigación también se consideró de tipo **Documental**.

## **POBLACIÓN Y MUESTRA.**

Para efectos del presente estudio se consideraran las definiciones de población y muestra establecidas por WEIERS (1989) el cual afirma que la población “es el total de elementos sobre el cual queremos hacer una inferencia basándonos en la información relativa o la muestra”. Y la muestra “la define como la parte de la población que seleccionamos, medimos y observamos”.

Esta investigación posee un solo tipo de población, la **población de equipos**, representada por los motores de inducción trifásica pertenecientes a las áreas de la planta que resultaron con nivel de criticidad máximo, en donde se encuentran los motores de media tensión M-417 A ubicado en el área de Sistema de Transferencia de Crudo a la venta, M-433 A ubicado en el área de Sistema de Inyección Planta Agua Nueva y el motor de baja tensión M-431 ubicado en Sistema de Inyección Planta de Agua Vieja de dentro de las asignadas para el diseño del programa de mantenimiento predictivo de la Planta UM-2 de PDVSA-PETRODELTA.

## **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**

Para diseñar el plan de mantenimiento predictivo de los motores eléctricos de inducción trifásica de la Planta UM-2 de la empresa PDVSA-PETRODELTA se emplearon una serie de técnicas e instrumentos tales como:

### **OBSERVACIÓN DIRECTA.**

La observación directa permitió conocer e identificar cada una de las actividades, tecnología, metodologías y procedimientos de mantenimiento predictivo realizados en el Taller Central de la Planta UM-2 de la empresa PDVSA-PETRODELTA.

### **ENTREVISTA.**

Fueron realizadas de una manera estructurada y abierta, mediante esta práctica fue posible recopilar información técnica, de gran importancia para el desarrollo de este trabajo, por medio de conversaciones con el personal técnico, operadores de planta, personal de mantenimiento, entre otros.

Con la finalidad de obtener una información no sesgada, precisa y detallada acerca de las fallas, labores de mantenimiento y funcionamiento de los equipos, por medio de una serie de preguntas abiertas y aleatorias surgidas de las necesidades pertinentes a dudas o temas específicos, que permitieron realizar un diagnóstico de la situación actual.

## **Aplicación de las tecnologías predictivas.**

Utilizando las herramientas predictivas seleccionadas, se obtuvo la data necesaria para el diagnóstico de la condición de los activos rotativos de la Planta UM-2, incluidos en el programa diseñado.

## **Técnicas de Análisis de Datos.**

### **Análisis de Criticidad.**

Este análisis, permitió la jerarquización de las áreas de la planta, en función de su criticidad, es decir, según el impacto que producen a nivel de operaciones, seguridad y producción, logrando establecer una clasificación de las mismas, con el objeto de determinar los equipos más críticos del sistema.

**Utilizando el método predictivo de Inspección directa visual y lectura de indicadores:**

Mediante este método se realizó una inspección exhaustiva de las causas más probables que generan una falla a los equipos pertenecientes a las áreas con criticidad máxima, así como los efectos que dicho evento puede causar a la organización. La inspección visual sirvió de base para la selección de las herramientas predictivas empleadas en el estudio.

### **Análisis de la Data Predictiva.**

La data recolectada por las herramientas predictivas seleccionadas y aplicadas a los motores eléctricos, fue procesada por herramientas computacionales como Excel las normas ISO y recomendaciones de personal especializado, con la finalidad de detectar problemas y analizar



sus causas, lográndose determinar finalmente, el momento oportuno para corregir eficientemente el problema detectado.

## **REVISIÓN DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.**

La revisión de material bibliográfico incluye la revisión de: Manuales y catálogos suministrados por la Superintendencia de Mantenimiento, la revisión de textos de consulta e informes de mantenimiento con el fin de complementar los fundamentos teóricos del presente informe, la consulta a referencias electrónicas (Intranet de PDVSA-PETRODELTA e Internet) y la revisión de planes de mantenimiento predictivos realizados a equipos similares, los cuales contribuyeron a complementar la información y sustentar teóricamente la propuesta.

## **PAQUETES COMPUTARIZADOS.**

Para el desarrollo, obtención, codificación de los datos, así como la estructuración formal del proyecto de grado, se utilizaron como apoyo los paquetes computarizados Word, Power Point y Excel.

## **PROCEDIMIENTO.**

Para poder cumplir con los objetivos planteados en este estudio se realizaron una serie de pasos que permitieron la obtención de la información necesaria para la realización del plan de mantenimiento predictivo, estos pasos son los siguientes:

## **OBJETIVO GENERAL.**

Diseño de un Programa de Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Criticidad de los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo de la Planta UM-2 de la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Diagnosticar la situación actual de las condiciones de mantenimiento predictivo aplicado a los Motores de Inducción Trifásica de la Planta UM-2 por parte del Taller Central de la empresa PETRODELTA-PDVSA.

- Diagnóstico de la situación actual de los equipos. En esta etapa se hizo una reseña general del proceso en el cual intervienen los motores eléctricos de inducción trifásica de las áreas asignadas para el estudio propuesto, unido a la descripción de la circunstancia actual, a nivel físico, mecánico y operacional, en la que se encuentran dichos equipos. Para lograr esto, se emplearon técnicas como la observación directa de los activos en su entorno operacional, entrevistas con el personal técnico, operadores y mantenedores de los activos, revisión de variables de proceso, entre otros.

También se utilizó el método del Diagrama Causa- Efecto y la metodología de la Matriz FODA.

2. Recopilar información técnica de los motores eléctricos de inducción trifásica de baja y media tensión a través de un inventario para llevar el registro de los mismos.

- Revisión bibliográfica a través de la Recopilación de la información técnica mediante la revisión de archivos, planos, información y recomendación de fabricantes, entre otros, se recolectó una serie de datos técnicos y detalles de diseño de cada uno de los activos en estudio. Toda esta información fue de gran ayuda al momento de monitorear y analizar todas las variables estudiadas para determinar la condición de los activos, debido a que representan uno de los aspectos claves al momento de dar un diagnóstico acertado. Estos datos fueron registrados en gráficos y tablas para facilitar su manejo y posterior análisis.
3. Seleccionar en la gama de motores que se encuentran en la Planta UM-2 los más importantes para el proceso.
- Se realizaron entrevistas directas a los trabajadores del Taller para seleccionar la gama de motores se realizó un inventario de todos los motores existentes en el área de transferencia de crudo a la venta y inyección de agua de la planta UM-2, para observar cuales son los más críticos y tener la ubicación exacta de los mismos.
4. Elegir las variables que serán utilizadas para determinar los rangos, frecuencias e instrumentos del examen y los valores de criticidad para esos parámetros técnicos.
- Consultando el manual del fabricante y utilizando técnicas visuales predictivas basadas en la **ISO 13379 2012**, se identificaron el conjunto de variables operacionales que intervienen en el funcionamiento de los equipos, resumida a través de una matriz de variables.

5. Revisar si se cuentan con los equipos e instrumentos necesarios para el mantenimiento.

- Mediante una inspección visual de observación se verifico si se cuentan con los equipos e instrumentos necesarios para el mantenimiento.

6. Cuáles son los rangos óptimos para los valores de comportamiento de los parámetros técnicos que se van analizar.

- Revisión de fichas técnica, se consultó los manuales de los motores eléctricos de inducción trifásicas a estudiar para determinar los rangos óptimos para el comportamiento de los parámetros técnicos que se van analizar.

7. Diseño de la hoja Excel para la recopilación de datos de las variables.

- Utilizando el paquete computarizado Excel se diseñó la hoja para recopilar los datos de las variables.

8. Diseño de la gráfica para representar cada una de las variables examinadas en el análisis indicando en que zona de criticidad se encuentra comparándola con las indicaciones de comportamiento del fabricante.

- Se diseñó un método de simulación utilizando la herramienta Microsoft Office Excel para representar las variables en la zona de criticidad correspondiente, se utilizó una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla, comparándola con los indicados en el fabricante.

**9.** Elaborar un procedimiento para la implementación un mantenimiento predictivo.

- Se diseñó el plan de mantenimiento predictivo de los equipos en estudio.

**10.** Elaborar instructivo con la orden de mantenimiento a ejecutar que evite una falla.

- Se diseñó en Excel el instructivo.

**11.** Crear un cronograma de actividades para realizar el mantenimiento predictivo 2015.

- Fue realizado sustentado por los informes de mantenimientos rutinarios e entrevistas directas a los trabajadores que la realizan logrando de esta manera elaborar un cronograma de actividades para el mantenimiento predictivo 2015 a través de una frecuencia por días, que se establecerá según las horas de trabajo de cada equipo para evitar cruce de rutinas.

## CAPITULO V

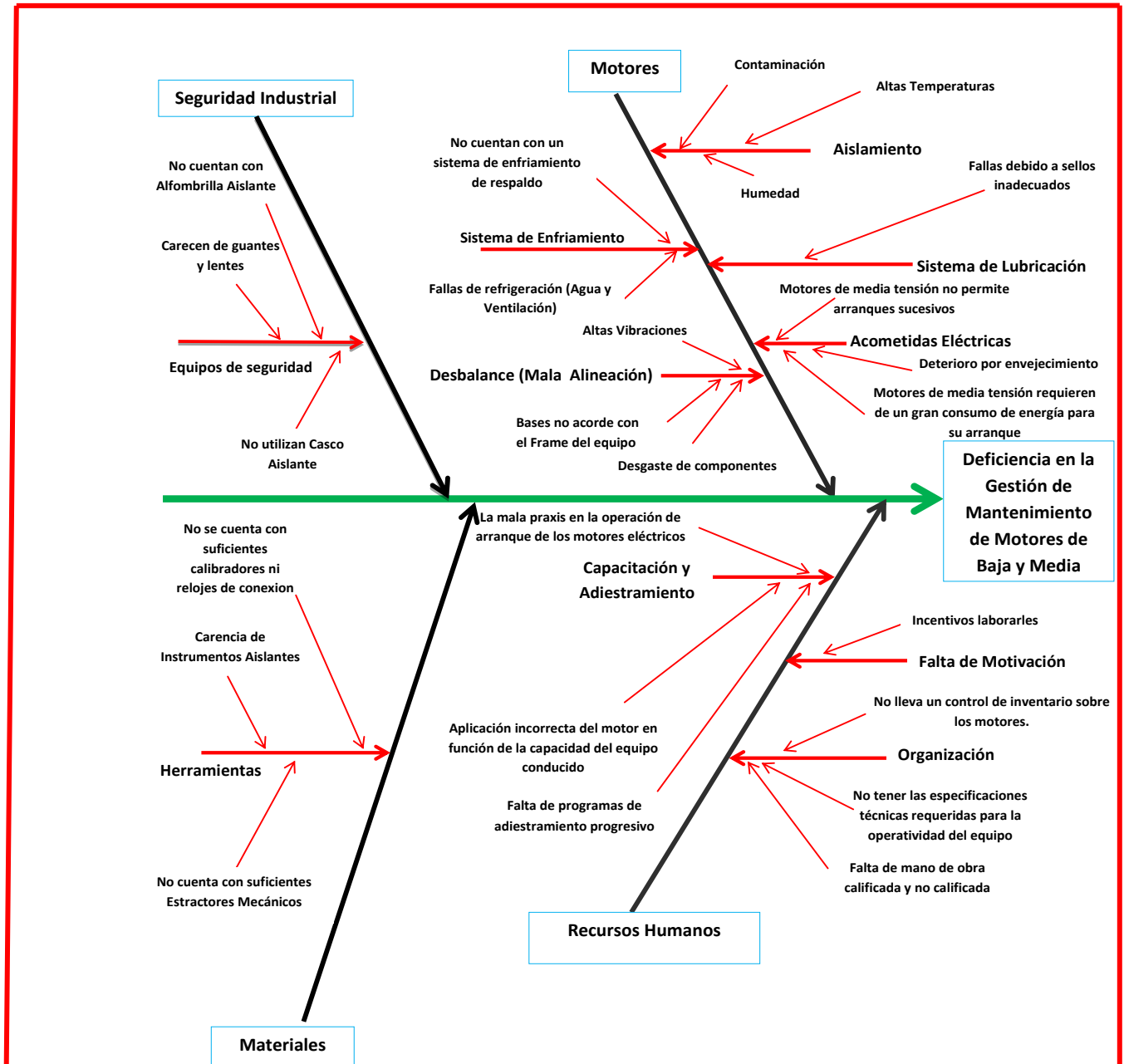
### Situación Actual.

Los motores eléctricos de inducción trifásica de baja y media tensión del Campo Uracoa pertenecientes a la empresa PDVSA-PETRODELTA, están organizados y distribuidos en un conjunto de áreas, dependiendo básicamente del proceso en cual intervine y de la función que estos desempeñan dentro del proceso productivo. El estudio fue enfocado en 3 áreas específicas las cuales son las más importantes para el proceso de la planta UM-2, ya que participan directamente en el proceso de inyección de agua y transferencia de crudo a la venta, dichas áreas deben funcionar conjuntamente para realizar la liberación de agua en los tanques para inyectarlos a los pozos y a su vez lograr bombear la cantidad de crudo establecido con las condiciones óptimas para la venta cumpliendo con las metas diarias dictadas por la empresa.

Con la finalidad de analizar la gestión de mantenimiento del taller y el comportamiento de los motores eléctricos de inducción trifásica de baja y media tensión, se procedió a estudiar separadamente las 3 áreas más importantes de la planta. **Las fotografías de los motores eléctricos de las áreas elegidas para el estudio se pueden observar en el Apéndice.**

## Diagrama Causa- Efecto.

Se construyó un diagrama causa – efecto con el fin de determinar los factores que afectan la gestión del Taller Central e identificar los problemas relacionados con el mismo.



**Figura 54 Diagrama Causa- Efecto.**  
Fuente: Elaboración Propia.

En el Diagrama causa efecto de la Deficiencia en la Gestión de Mantenimiento de los motores de media y baja tensión. Se logró observar que existen condiciones que podrían perjudicar la gestión del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA, como el déficit de personal, herramientas, materiales, la seguridad industrial de la mano de obra que allí labora y las condiciones críticas en las que se encuentran muchos motores eléctricos de inducción trifásica que son vitales para el proceso de la planta UM-2.

Como resultado de la evaluación, se identificaron los aspectos que deben ser mejorados con la aplicación de mecanismos de control y acciones apropiadas a cada uno de ellos. A continuación se señalan estos aspectos para mejorar la gestión de mantenimiento, con el objetivo principal de asegurar la calidad del funcionamiento óptimo de los equipos como del ambiente de trabajo:

- **Motores Eléctricos de Inducción Trifásica:** En el área de Inyección de Agua y Transferencia de Crudo a la venta estos se encuentran en condiciones críticas en cuanto a su operatividad siendo estos vitales para el proceso trifásico que se lleva a cabo en la planta, es importante destacar que muchos de estos equipos eran de segunda mano cuando fueron instalados por primera vez en la planta.
- **Recursos Humanos:** Carecen de personal calificado y no calificado teniendo que asumir muchas veces sobrecargas de trabajo, no gozan de un programa de adiestramiento progresivo los cuales eviten malas praxis en la instalación y mantenimiento de los motores. Todos estos elementos trae como consecuencia la desmotivación del personal que allí labora.
- **Organización:** No cuentan con el historial de mantenimiento de los motores y especificaciones técnicas necesarias para la



operatividad del equipo.

- **Materiales:** Falta de herramientas e instrumentos aislantes para las actividades personal de mantenimiento eléctrico que los protejan de trabajos en áreas de alta tensión que requieren de mucha protección. También carecen de extractores mecánicos los cuales extraen los rodamientos y cojinetes componentes que se deterioran constantemente.

## **ANÁLISIS FODA DEL TALLER DE MANTENIMIENTO DE PDVSA-PETRODELTA.**

El Análisis FODA es utilizado en la presente investigación como una herramienta que permite identificar y examinar las situaciones y/o condiciones presentes en el Taller de Mantenimiento y que influyen de forma directa en el mismo, así como las situaciones y/o condiciones del contexto externo a la Sección y que afectan o pueden afectar de forma significativa el óptimo desarrollo de los procesos que allí se llevan a cabo.

### **ANÁLISIS DEL CONTEXTO INTERNO**

#### **a) Fortalezas**

- El Taller cuenta con un grupo de trabajadores proactivos, con iniciativa y responden a la hora de resolver alguna situación que así lo amerite, además son un personal que está dispuesto cuando sea requerido, ya que por las actividades inherentes al Taller en muchas ocasiones es necesario el trabajo fuera del horario normal, e inclusive fuera del área del mismo.
- Es único en la empresa. El Taller de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA es el responsable de garantizar el buen funcionamiento de todos y cada uno de los equipos de la planta UM-2 que se encuentran en la empresa, lo que representa una gran responsabilidad y fortaleza inherente para el mismo.
- Cuenta con las instalaciones e infraestructura idóneas, teniendo el espacio y la distribución necesaria para el buen desarrollo de sus funciones.

- El ambiente de trabajo es relativamente cómodo y favorable, teniendo en cuenta que los procesos que se llevan a cabo dentro del taller son de mantenimiento y reparación de equipos. Del mismo modo, las áreas dedicadas a las labores administrativas cuentan con el equipamiento necesario para realizar sus funciones.
- Disponibilidad al aprendizaje.
- Experiencia de trabajo en recuperación de equipos rotativos, conocimiento técnico y adaptación positiva a nuevos ambientes laborales.

## **b) Debilidades**

- La falta de normativas y políticas fielmente establecidas en el Taller, ya que las que existen no son conocidas por todos, y actualmente algunas están siendo definidas.
- La escasez de algunos recursos, como lo son herramientas, repuestos, equipos, insumos, entre otros, que juegan un papel importante para el desempeño de las funciones del Taller, y la falta de los mismos, puede causar demoras en los procesos.
- Descoordinación y falta de comunicación entre las oficinas administrativas y el Taller Central con respecto a los planes de mantenimiento, el personal que se encarga de realizar la planificación de los mantenimientos en la planta desconoce en muchas ocasiones la existencia de equipos, ubicación de los mismos, repentinos traslados de equipos a otras áreas.

Además, es más difícil el proceso de adaptación y aprendizaje del personal de nuevo ingreso.

- Ausencia de una Estructura Organizativa y de un Manual de la Organización debidamente estructurado que contenga una descripción clara tanto de las funciones de cada unidad que conforma el Taller como de las funciones que debe ejecutar cada cargo dentro de la misma.
- No existe un programa de adiestramiento permanente y progresivo que permita capacitar a los trabajadores en sus respectivas áreas y de esta forma aumentar la efectividad del desempeño del Taller.
- La falta de personal representa una amenaza para el Taller, ya que en repetidas ocasiones no es suficiente fuerza laboral para cubrir todas las tareas programadas ni las emergencias presentadas en un día.

- La falta de motivación al personal del Taller representa una debilidad para el mismo, ya que esto reduce la disposición y compromiso de los trabajadores para realizar sus actividades.

## **ANÁLISIS DEL CONTEXTO EXTERNO**

### **a) Oportunidades**

- Los eventos de capacitación que se ofrecen en el medio que permiten el intercambio de ideas, conocimiento y la actualización de su personal.
- Interés del entorno para fortalecer el área de mantenimiento.
- Nuevas tecnologías disponibles.
- La restructuración que se está haciendo para el taller y a todas las unidades que lo comprenden, para adecuar las funciones y procesos a la ampliación de sus responsabilidades y a las necesidades de la empresa, así como también mejorar el ambiente de trabajo dentro del mismo.

### **b) Amenazas**

- Existen canales muy largos para algunos procesos inherentes al Taller, como lo son la requisición de repuestos, equipos e insumos necesarios para realizar los procesos del mismo, ya que se deben notificar a la Intendencia de Servicios Generales de la planta y esperar que se realicen las verificaciones para luego hacer los pedidos.
- En algunas oportunidades el mantenimiento realizado queda incompleto debido a escasez de algún repuesto como también la falta de personal para realizar dichas actividades.
- El Taller depende de unidades de la empresa externas al mismo para la capacitación y entrenamiento de su personal, sin embargo, la empresa lleva tiempo sin realizar este tipo de actividades, lo que representa una amenaza para el taller en el sentido Tecnológico, ya que sus trabajadores no se encuentran actualizados en cuanto a nuevas tecnologías y procesos.
- Las herramientas para trabajos eléctricos no cuentan con las especificaciones adecuadas para realizar las actividades ya que no cuentan con aislantes pudiendo causar un accidente laboral.
- Retrasos en el despacho de la producción final.

## **ANÁLISIS FODA DEL TALLER DE MANTENIMIENTO DE PDVSA-PETRODELTA.**

El Análisis FODA es utilizado en la presente investigación como una herramienta que permite identificar y examinar las situaciones y/o condiciones presentes en el Taller de Mantenimiento y que influyen de forma directa en el mismo, así como las situaciones y/o condiciones del contexto externo a la Sección y que afectan o pueden afectar de forma significativa el óptimo desarrollo de los procesos que allí se llevan a cabo.

### **ANÁLISIS DEL CONTEXTO INTERNO**

#### **c) Fortalezas**

- El Taller cuenta con un grupo de trabajadores proactivos, con iniciativa y responden a la hora de resolver alguna situación que así lo amerite, además son un personal que está dispuesto cuando sea requerido, ya que por las actividades inherentes al Taller en muchas ocasiones es necesario el trabajo fuera del horario normal, e inclusive fuera del área del mismo.
- Es único en la empresa. El Taller de Mantenimiento de PDVSA-PETRODELTA es el responsable de garantizar el buen funcionamiento de todos y cada uno de los equipos de la planta UM-2 que se encuentran en la empresa, lo que representa una gran responsabilidad y fortaleza inherente para el mismo.
- Cuenta con las instalaciones e infraestructura idóneas, teniendo el espacio y la distribución necesaria para el buen desarrollo de sus funciones.
- El ambiente de trabajo es relativamente cómodo y favorable, teniendo en cuenta que los procesos que se llevan a cabo dentro del taller son de mantenimiento y reparación de equipos. Del mismo modo, las áreas dedicadas a las labores administrativas cuentan con el equipamiento necesario para realizar sus funciones.
- Disponibilidad al aprendizaje.
- Experiencia de trabajo en recuperación de equipos rotativos, conocimiento técnico y adaptación positiva a nuevos ambientes laborales.

#### **d) Debilidades**

- La falta de normativas y políticas fielmente establecidas en el Taller, ya que las que existen no son conocidas por todos, y actualmente algunas están siendo definidas.
- La escasez de algunos recursos, como lo son herramientas, repuestos, equipos, insumos, entre otros, que juegan un papel importante para el desempeño de las funciones del Taller, y la falta de los mismos, puede causar demoras en los procesos.
- Descoordinación y falta de comunicación entre las oficinas administrativas y el Taller Central con respecto a los planes de mantenimiento, el personal que se encarga de realizar la planificación de los mantenimientos en la planta desconoce en muchas ocasiones la existencia de equipos, ubicación de los mismos, repentinos traslados de equipos a otras áreas.

Además, es más difícil el proceso de adaptación y aprendizaje del personal de nuevo ingreso.

- Ausencia de una Estructura Organizativa y de un Manual de la Organización debidamente estructurado que contenga una descripción clara tanto de las funciones de cada unidad que conforma el Taller como de las funciones que debe ejecutar cada cargo dentro de la misma.
- No existe un programa de adiestramiento permanente y progresivo que permita capacitar a los trabajadores en sus respectivas áreas y de esta forma aumentar la efectividad del desempeño del Taller.
- La falta de personal representa una amenaza para el Taller, ya que en repetidas ocasiones no es suficiente fuerza laboral para cubrir todas las tareas programadas ni las emergencias presentadas en un día.
- La falta de motivación al personal del Taller representa una debilidad para el mismo, ya que esto reduce la disposición y compromiso de los trabajadores para realizar sus actividades.

## ANÁLISIS DEL CONTEXTO EXTERNO

### c) Oportunidades

- Los eventos de capacitación que se ofrecen en el medio que permiten el intercambio de ideas, conocimiento y la actualización de su personal.
- Interés del entorno para fortalecer el área de mantenimiento.
- Nuevas tecnologías disponibles.
- La restructuración que se está haciendo para el taller y a todas las unidades que lo comprenden, para adecuar las funciones y procesos a la ampliación de sus responsabilidades y a las necesidades de la empresa, así como también mejorar el ambiente de trabajo dentro del mismo.

### d) Amenazas

- Existen canales muy largos para algunos procesos inherentes al Taller, como lo son la requisición de repuestos, equipos e insumos necesarios para realizar los procesos del mismo, ya que se deben notificar a la Intendencia de Servicios Generales de la planta y esperar que se realicen las verificaciones para luego hacer los pedidos.
- En algunas oportunidades el mantenimiento realizado queda incompleto debido a escasez de algún repuesto como también la falta de personal para realizar dichas actividades.
- El Taller depende de unidades de la empresa externas al mismo para la capacitación y entrenamiento de su personal, sin embargo, la empresa lleva tiempo sin realizar este tipo de actividades, lo que representa una amenaza para el taller en el sentido Tecnológico, ya que sus trabajadores no se encuentran actualizados en cuanto a nuevas tecnologías y procesos.
- Las herramientas para trabajos eléctricos no cuentan con las especificaciones adecuadas para realizar las actividades ya que no cuentan con aislantes pudiendo causar un accidente laboral.
- Retrasos en el despacho de la producción final.

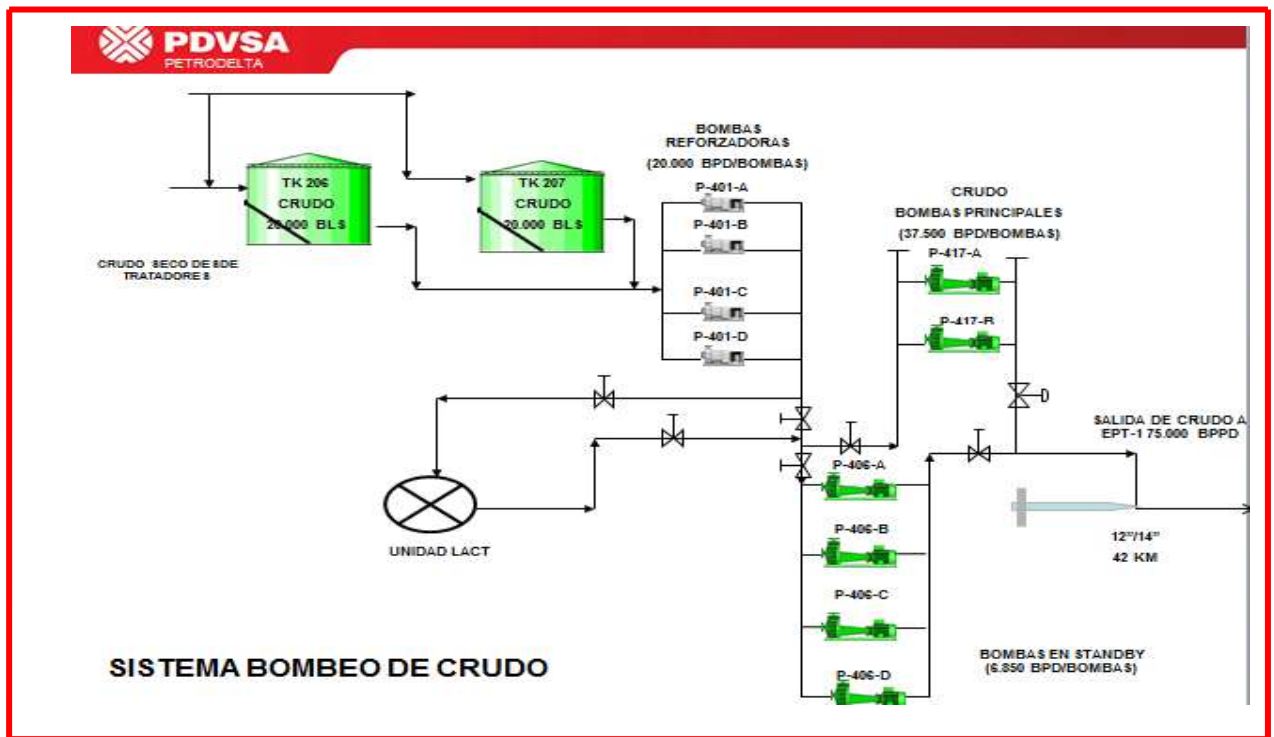
ANÁLISIS FODA.		
<div>FACTORES INTERNOS</div> <div>FACTORES EXTERNOS</div>	FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
	(F1) Personal proactivo. (F2) Único en la empresa. (F3) Cuenta con las instalaciones e infraestructura idóneas. (F4) Ambiente de trabajo cómodo y favorable. (F5) Disponibilidad al aprendizaje. (F6) Conocimiento técnico y adaptación positiva a nuevos ambientes laborales.	(D1) Falta de normativas y políticas. (D2) Escasez de algunos recursos. (D3) Descoordinación y falta de comunicación entre las oficinas administrativas y el Taller Central con respecto a los planes de mantenimiento. (D4) Ausencia de una Estructura Organizativa y de un Manual de la Organización debidamente estructurado. (D5) No existe un programa de adiestramiento permanente y progresivo. (D6) Déficit de personal calificado y no calificado. (D7) Falta de motivación al personal.
<div>OPORTUNIDADES (O)</div> <div>           (O1) Los eventos de capacitación que se ofrecen en la empresa.            (O2) Interés del entorno para fortalecer el área de mantenimiento.            (O3) Nuevas tecnologías disponibles.            (O4) Reestructuración organizativa en el taller.         </div> <div>AMENAZAS (A)</div> <div>           (A1) Canales muy largos para algunos procesos inherentes al Taller.            (A2) El mantenimiento realizado queda incompleto.            (A3) El Taller depende de unidades de la empresa externas.            (A4) No cuentan con herramientas aislantes.         </div>		

**Tabla 1 Matriz FODA Situación Actual del Taller Central**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## Gama de Motores elegidos para el estudio.

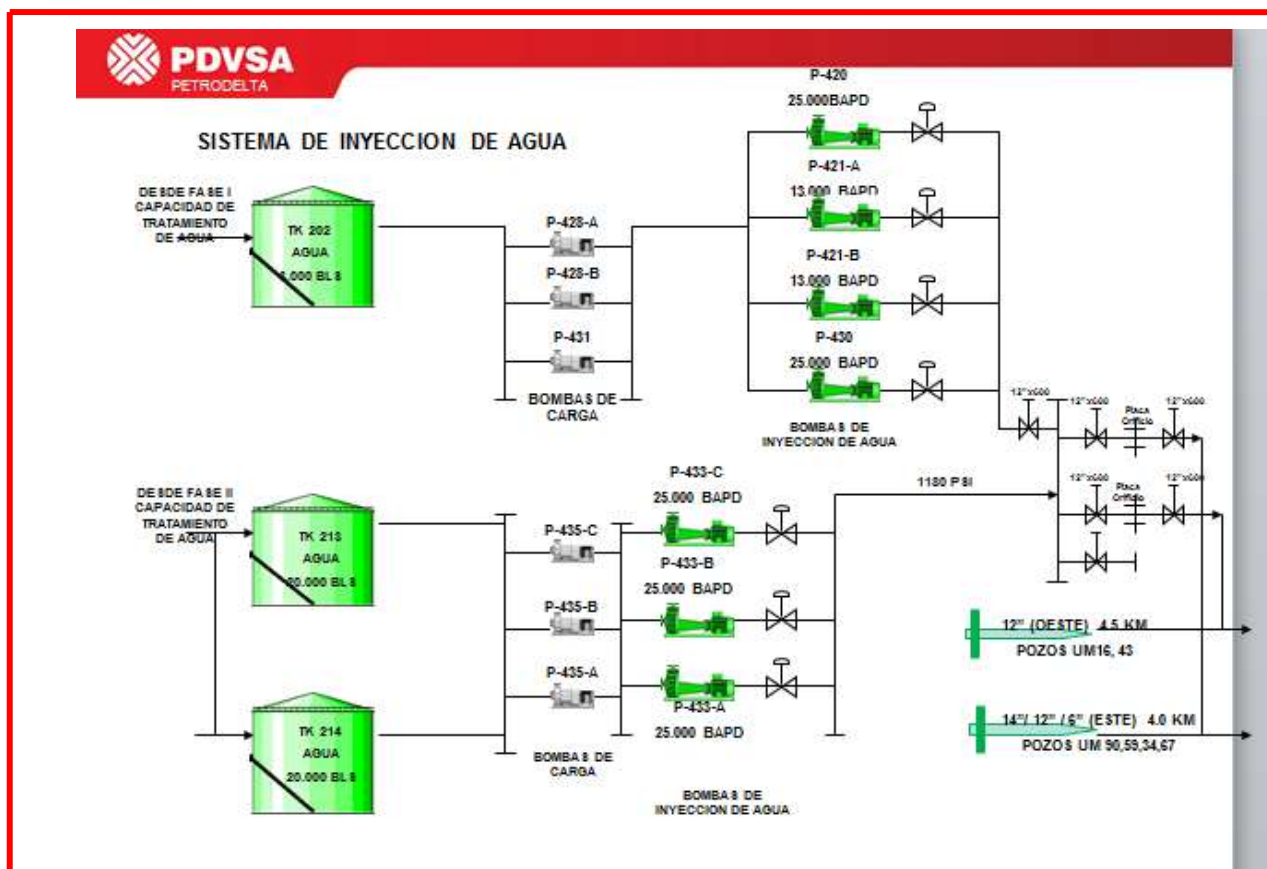
Gama de motores de Planta de Agua Nueva y Vieja como el Área de Transferencia de Crudo más críticos, fueron seleccionados de forma cualitativa.

- M-431
- M-417 A
- M-433 A



**Figura 55 Transferencia de Crudo a la Venta.**  
**Fuente: Sala de Control PDVSA-PETRODELTA.**





**Figura 56 Planta de Agua nueva y Vieja.**  
**Fuente: Sala de Control PDVSA-PETRODELTA.**

### **Método Predictivo de Inspección Visual a los Motores Eléctricos.**

**Utilizando el método predictivo de Inspección directa visual y lectura de indicadores:**

Las inspecciones visuales consistieron en la observación de los motores eléctricos de inducción trifásica, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas diagnosticados fueron:

### **Ruidos anormales.**

- Desbalanceo.
- Eje con alguna anomalía.
- Alineación Incorrecta.
- Rotor fuera de centro.
- Cuerpos extraños en el entrehierro.
- Objetos detenidos entre el ventilador y tapa deflectora.



**Figura 57 Ruidos anormales.**  
**Fuente: Fotografía 2014.**

### **Vibraciones extrañas.**

- Rotor fuera de centro.
- Desbalanceo en la tensión de la red.
- Rotor desbalanceado.
- Combinación de ranuras inadecuadas.
- Rodamientos gastados.



**Figura 58 Vibraciones Extrañas.**  
**Fuente: Fotografía 2014.**

**Fuga de agua salada cercanas al equipo.**

- Válvula dañada.



**Figura 59 Fuga de agua salda cercanas al equipo.**  
**Fuente: Fotografía 2014.**

### **Calentamiento de Rodamiento.**

- Demasiada Grasa.
- Excesivo esfuerzo axial o radial de las correas.
- Falta de Grasa.
- Materiales extraños en la grasa.



**Figura 60 Calentamiento de Rodamiento.**  
Fuente: Fotografía 2014.

### **-Comprobación del estado pintura.**



**Figura 61 Comprobación del estado de la pintura.**  
Fuente: Fotografía 2014.

**-Observación de signos de corrosión.**



**Figura 62 Observación de signos de corrosión.**  
Fuente: Fotografía 2014.

**- Acometidas eléctricas deterioradas.**



**Figura 63 Acometidas eléctricas deterioradas.**  
Fuente: Fotografía 2014.

**Sobrecorriente.**

- Conexiones inadecuadas.
- Tensión de fuera de la nominal.
- Rotor arrastrando en el estator.





**Figura 64 Sobrecorriente.**  
Fuente: Fotografía 2014.



**Figura 65 Inspección a los Motores más críticos de la Planta**  
Fuente: Fotografía 2014.

Equipos con los que cuenta el Taller Central para realizar los mantenimientos predictivo.

### CÁMARA TERMOGRAFICA



### ANALISIS TERMOGRAFICO



**Tabla 2 Cámara Termografica**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## VIBROMETRO



## ANALISIS DE VIBRACION



**Tabla 3 Vibrometro**  
**Fuente: Elaboración Propia.**



## ULTRASONIDO



## ANALISIS DE ULTRASONIDO



**Tabla 4 Ultrasonido.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## ESTROBOSCOPIO



## ANALISIS DE ESTROBOSCOPIO



**Tabla 5 Estroboscopia.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## MEDIDOR DE CORRIENTE ,VOLTAJE Y AISLAMIENTO DEL MOTOR



## ANALISIS VOLTAJE, CORRIENTE Y VERIFICANDO NIVEL DE AISLAMIENTO



**Tabla 6 Análisis de Corriente, Voltaje y Nivel de Aislamiento.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## ENGRASADOR



## LUBRICACION DIALECTRICA



**Tabla 7 Lubricación Dialectrica.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## CAPITULO VI

### ANALISIS DE RESULTADOS.

#### Recopilación de datos de la Chapas de los motores.

Luego de realizar el diagnóstico de las áreas en estudio, se procedió a realizar una recolección de datos técnicos de cada uno de los equipos. A continuación se muestran estos datos:

#### Sistema de Inyección de Agua a Pozos.

##### Planta de Agua Vieja.

Motor Media Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-420	Marca	WEG
	Hp	500
	Voltaje	4160
	Corriente	106 Amps
	Rpm	3576
	Frame	5095
	Temperatura	70°C
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	1201-630503
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 8 Chapa técnica del M-420.

Fuente: Elaboración Propia.

Motor Media Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-421 A	Marca	SIEMENG
	Hp	500
	Voltaje	4000
	Corriente	64,4 Amps
	Rpm	3571
	Frame	5095
	Temperatura	40°C
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	E0932701
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 9 Chapa técnica del M-421 A.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Media Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-421B	Marca	SIEMENG
	Hp	500
	Voltaje	4000
	Corriente	64,4 Amps
	Rpm	3571
	Frame	5095
	Temperatura	40°C
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	E10551-01-1
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 10 Chapa técnica del M-421 B.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Media Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-430	Marca	WESTINGHOUSE
	Hp	900
	Voltaje	4160
	Corriente	106 Amps
	Rpm	3878
	Frame	4009
	Temperatura	40°C
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	6517AA-1
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 11 Chapa técnica del M-430.

Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-428 A	Marca	ELECTRICAL MOTORS
	Hp	20
	Voltaje	230/ 460
	Corriente	32 Amps
	Rpm	1170
	Frame	285T
	Temperatura	40C° AMBIENT
	Hz	60
	Type	CT
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	C507A-Z052047R057M
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 12 Chapa técnica del M-428 A.

Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-428 B	Marca	ELECTRICAL MOTORS
	Hp	20
	Voltaje	230/ 460
	Corriente	52/26 Amps
	Rpm	1170
	Frame	286T
	Temperatura	40Cº AMBIENT
	Hz	60
	Type	CT
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	C507A-205Z047R057M
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 13 Chapa técnica del M-428 B.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Inyección de Agua a Pozos		
M-431	Marca	ELECTRICAL MOTORS
	Hp	20
	Voltaje	230/ 460
	Corriente	52/26 Amps
	Rpm	1170
	Frame	286T
	Temperatura	40Cº AMBIENT
	Hz	60
	Type	CT
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	C507A/Z08Z187R004R-2
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 14 Chapa técnica del M-431.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Sistema de transferencia de crudo a la venta.**

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-417 A	Marca	LOUIS ALLIS
	Hp	1500
	Voltaje	4160
	Corriente	182 Amps
	Rpm	3585
	Frame	7212DS
	Temperatura	80°C
	Hz	60
	Type	JK
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	80146164004
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 15 Chapa técnica del M-417 A.

Fuente: Elaboración Propia.

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-417 B	Marca	DESINCORPORADA
	Hp	
	Voltaje	
	Corriente	
	Rpm	
	Frame	
	Temperatura	
	Hz	
	Type	
	Sf	
	Lubricante	
	Serial	
	Ubicación	
	Observaciones	

Tabla 16 Chapa técnica del M-417 B.

Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-406 A	Marca	RELIANCE ELECTRIC
	Hp	150
	Voltaje	480
	Corriente	162 Amps
	Rpm	3570
	Frame	3095
	Temperatura	40°C Ambient
	Hz	60
	Type	P
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	65BC3J30X
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 17 Chapa técnica del M-406 A.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-406 B	Marca	RELIANCE ELECTRIC
	Hp	150
	Voltaje	480
	Corriente	162 Amps
	Rpm	3570
	Frame	3095
	Temperatura	40°C Ambient
	Hz	60
	Type	P
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	65BC3J30X
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 18 Chapa técnica del M-406 B.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-406 C	Marca	DESINCORPORADA
	Hp	
	Voltaje	
	Corriente	
	Rpm	
	Frame	
	Temperatura	
	Hz	
	Type	
	Sf	
	Lubricante	
	Serial	
	Ubicación	
	Observaciones	

Tabla 19 Chapa técnica del M-406 C.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-406 D	Marca	TECO
	Hp	150
	Voltaje	460
	Corriente	167 Amps
	Rpm	3555
	Frame	3095
	Temperatura	40°C Ambient
	Hz	60
	Type	AEE-XU
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	HFC58046-2
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 20 Chapa técnica del M-406 D.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Sistema de Inyección de Agua a Pozos.**

**Planta de Agua Nueva.**

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-433 A	Marca	WESTINGHOUSE
	Hp	1250
	Voltaje	4000
	Corriente	153 Amps
	Rpm	3571
	Frame	4009
	Temperatura	40°C Ambient
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	6736AA-6
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

**Tabla 21 Chapa técnica del M-433 A.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-433 B	Marca	WESTINGHOUSE
	Hp	906
	Voltaje	4160
	Corriente	106
	Rpm	3578
	Frame	4009
	Temperatura	40°C Ambient
	Hz	60
	Type	VG46
	Sf	1.00
	Lubricante	VG46
	Serial	6320AA-01
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

**Tabla 22 Chapa técnica del M-433 B**

**Fuente: Elaboración Propia.**

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-433 C	Marca	DESINCORPORADA
	Hp	
	Voltaje	
	Corriente	
	Rpm	
	Frame	
	Temperatura	
	Hz	
	Type	
	Sf	
	Lubricante	
	Serial	
	Ubicación	
	Observaciones	

Tabla 23 Chapa técnica del M-433 C  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-435 A	Marca	RELIANCE ELECTRIC
	Hp	20
	Voltaje	460
	Corriente	153 Amps
	Rpm	170
	Frame	285T
	Temperatura	40 Ambient
	Hz	60
	Type	CTC
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	665960-50-Y12Y3000081M
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 24 Chapa técnica del M-435 A.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Baja Tensión Transferencia de Crudo		
M-435 B	Marca	RELIANCE ELECTRIC
	Hp	20
	Voltaje	460
	Corriente	153 Amps
	Rpm	170
	Frame	285T
	Temperatura	40 Ambient
	Hz	60
	Type	CTC
	Sf	1.5
	Lubricante	VG46
	Serial	01UBZ67924910
	Ubicación	UM-2
	Observaciones	

Tabla 25 Chapa técnica del M-435 B.  
Fuente: Elaboración Propia.

Motor Media Tensión Transferencia de Crudo		
M-435 C	Marca	DESINCORPORADA
	Hp	
	Voltaje	
	Corriente	
	Rpm	
	Frame	
	Temperatura	
	Hz	
	Type	
	Sf	
	Lubricante	
	Serial	
	Ubicación	
	Observaciones	

Tabla 26 Chapa técnica del M-435.  
Fuente: Elaboración Propia.

### Determinar las variables utilizando las técnicas predictivas.

Las técnicas predictivas determinan la condición del equipo en el momento que se hagan las mediciones. Estas pronostican la ocurrencia de un evento o falla de un componente, en función del nivel de riesgo y la condición de operatividad de un equipo crítico.

La tabla a continuación muestra algunas de las técnicas y variables medidas dentro del mantenimiento predictivo.

<b>Rendimiento</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Eléctrica</b>	<b>Análisis de aceite, calidad de producto y otros.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consumo de energía.</li> <li>-Eficiencia.</li> <li>-Temperatura.</li> <li>-Termografía.</li> <li>-Presión.</li> <li>-Flujo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Expansión térmica.</li> <li>-Posición.</li> <li>-Nivel de fluido.</li> <li>-Vibración-Desplazamiento</li> <li>-Vibración-Velocidad.</li> <li>-Vibración-Aceleración.</li> <li>-Ruido Auditable.</li> <li>-Ultrasonido: Ondas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Corriente.</li> <li>-Voltaje.</li> <li>-Inductancia.</li> <li>-Resistencia.</li> <li>-Capacitancia.</li> <li>-Campo Magnético.</li> <li>-Aislamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Análisis de aceite.</li> <li>-Análisis de tranzas de hierro.</li> <li>-Dimensiones de producto.</li> <li>-Propiedades físicas de producto.</li> <li>-Propiedades químicas (color, olor, apariencia).</li> <li>-Otras pruebas no destructivas.</li> </ul>

**Tabla 27 Ejemplo de mediciones y parámetros usados para el diagnóstico predictivo.**

**Fuente: ISO 13379. Condition monitoring and diagnostics of machines-General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques, 2012.**

### Variables elegidas para el Diagnostico Predictivo del Motor Eléctrico.

Usando técnicas predictivas se puede revisar y confirmar los hallazgos entre tecnologías. Así, una técnica puede encontrar problemas que no pueden ser detectados con otra. Esta es la principal razón de aplicar varias tecnologías, ya que hay muy pocos beneficios al utilizar solo una o dos técnicas predictivas. Es posible que no se detecten las señales de advertencia que se están presentando, así que los equipos fallaran de cualquier manera.

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, se eligieron una serie de parámetros con la colaboración de la Superintendencia de Mantenimiento que sirven para conocer la condición un equipo, al momento de la medición. En este documento se desarrollara algunas de ellas, implementadas en la Tesis.

Variables a Diagnosticar al Motor Eléctrico	TEMPERATURA
	CORRIENTE
	VOLTAJE
	VIBRACION
	RUIDO (TECNICAS ACUSTICAS)
	RPM
	GRASA
	NIVEL DE AISLAMIENTO

**Tabla 28 Parámetros de monitoreo por tipo de equipo.**  
Fuente: Elaboración Propia.



## Análisis de Criticidad.

Utilizando la metodología análisis de criticidad se tomaron 3 muestras de la población más crítica e importante de la planta para estudiarlas y cuantificarlas.

Para la realización de este análisis se tomó como base fundamental información suministrada por la Superintendencia de Mantenimiento y Sala de Control de PDVSA-PETRODELTA, Campo Uracoa.

<b>CATEGORIAS</b>	<b>TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA EN AÑOS (TMEF)</b>	<b>FRECUENCIA: NUMERO DE FALLAS POR AÑO <math>\lambda</math></b>	<b>INTERPRETACION DE LA PROBABILIDAD</b>
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	ES PROBABLE QUE OCURRA VARIAS VECES AL AÑO
4	$1? TPEF < 10$	$0.1 < ? 1$	ES PROBABLE QUE OCURRA ALGUNAS VECES EN 10 AÑOS
3	$10? TPEF < 100$	$0.01 \lambda ? 0.1$	ES POCO PROBABLE QUE OCURRA UNA VEZ EN 10 AÑOS
2	$100? TPEF < 1000$	$0.001 < ? 0.1$	ES POCO PROBABLE QUE OCURRA EN 100 AÑOS
1	$TPEF < 1000$	$0.001? \lambda$	ES POCO PROBABLE QUE OCURRA EN 1000 AÑOS

**Tabla 29 Categoría de Frecuencias.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

Categoría	Daños al Personal	Impacto en la Población	Impacto al Ambiente	Daño a las Instalaciones	Perdida de la Producción
5	Muerte o incapacidad total, enfermedad en uno o más miembros de la empresa	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente que violen regulaciones y leyes ambientales.	Daños irreparables a las instalaciones que generen altos costos a la empresa.	Mayor al 50% de pérdida de la producción diaria.
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas en uno o más miembros de la empresa requiere suspensión laboral	Incapacidad parcial permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	Daños irreparables a las instalaciones pero que generan altos costos a la empresa.	De 20 % a 50 % de pérdida de la producción diaria.
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Daños reportables.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas, requiere tratamiento médico o primero auxilios.	Daños irreversibles regables sin violación y de regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	Daños irreparables a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa.	De 10 % a 20 % de pérdida de la producción.
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios. Daños reportables.	Puede resultar en heridas o enfermedades leves.	Minimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	Daños mínimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa.	De 5 % a 10% de pérdida de la producción diaria.
1	No se esperan heridas o daños físicos.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales.	Sin daños a las instalaciones	Hasta 5 % de pérdida de la producción diaria.

**Tabla 30 Categoría de Impacto.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Primera Muestra Equipo:** M-433 A.

**Tiempo de reparación:** 1 a 60 días.

**Ubicación:** Sistema de Inyección de Agua.  
Planta de Agua Nueva.

**Modo de falla representativo:** Rodamientos, Cojinetes, Acoples, Ruptura del eje, Problemas de alimentación de energía.

**Frecuencia de Ocurrencia:** Cada 3 meses.

**Condiciones operacionales:** Obsérvese la **Tabla 21**.

**Filosofía Operacional:** Motor Eléctrico de Inducción Trifásica de Media Tensión equipo conductor que activa la bomba de inyección de agua a pozos.



**Daños al personal:** Heridos o daños menores que requieren atención médica o primeros auxilios.

**Daño a las Instalaciones:** Daños a los componentes internos del equipo (rotor, cojinete) por excesiva fricción.

**Impacto a la población:** Heridas leves.

**Impacto ambiental:** Leves fugas de agua salada por daño a la bomba.

**Impacto de producción:** Se perdería el control de los niveles de agua que posee los tanques debido a que la salida en relación a la entrada de fluido sería muy baja y solo se podría mantener esta condición para 3 días, de persistir esta condición se tendrían que regular o cerrar los pozos con mayor aporte de agua y crudo para mantener esta relación estable, como consecuencia se perdería el aporte de importante cantidad de crudo al proceso poniendo en riesgo cubrir las metas diarias de producción de la planta.

Criticidad	Frecuencia Total	×	Impacto
<p><b>Impacto Total= Impacto Ambiental + Impacto Personal + Impacto a la Población + Daños a la instalaciones + Impacto de Producción.</b></p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><b>Impacto ( Categorías) = 2 + 2+ 2+ 4+ 5= 15</b></p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><b>Nivel de criticidad</b> <b>Frecuencia × Impacto Total = 75</b></p>			

**Tabla 31 Frecuencia x Impacto Total M-433 A.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Nivel de Criticidad**  
**75**



**Figura 66 Matriz de Criticidad M-433 A.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Jerarquía de**  
**Criticidad Alta**

**Segunda Muestra Equipo:** M-417 A.

**Tiempo de reparación:** 1 a 60 días.

**Ubicación:** Sistema de Transferencia de Crudo a la Venta.

**Modo de falla representativo:** Rodamientos, Cojinetes, Acoples.

**Frecuencia de Ocurrencia:** Cada 1 mes.

**Condiciones operacionales:** Obsérvese la Tabla 15.

**Filosofía Operacional:** Motor Eléctrico de Inducción Trifásica de Media Tensión, conductor que activa mecanismo de bombeo para la Entrega de producción final con una fluencia de crudo mayor.



**Daños al personal:** Heridos o daños menores que requieren atención médica o primeros auxilios.

**Daños a Instalaciones:** Daños a los componentes internos del equipo (rotor, cojinete) daño directo a la bomba.

**Impacto a la población:** Heridas leves.

**Impacto ambiental:** Leve fuga de crudo por daño a la bomba.

**Impacto de producción:** Al quedar deshabilitado este equipo no se podría despachar la producción con una fluencia de crudo mayor afectando significativamente el tiempo y la eficiencia de la entrega con las especificaciones correspondientes.

Criticidad	Frecuencia Total	×	Impacto
<p><b>Impacto Total= Impacto Ambiental + Impacto Personal + Impacto a la Población + Daños a la instalaciones + Impacto de Producción.</b></p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><b>Impacto ( Categorías) = 2 + 2 +2+ 5+ 5= 16</b></p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><b>Nivel de criticidad</b> <b>Frecuencia × Impacto Total = 80</b></p>			

**Tabla 32 Frecuencia x Impacto Total M-417 A**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Nivel de Criticidad**

**80**

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		Impacto																				

**Criticidad Alta** (A) color rojo  $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$   
**Criticidad Media** (B) color amarillo  $30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$   
**Criticidad Baja** (C) color verde  $5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

**Figura 67 Matriz de Criticidad M-417 A.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Jerarquía de  
Criticidad Alta**



**Tercera Muestra Equipo:** M-431.

**Tiempo de reparación:** 1 a 45 días.

**Ubicación:** Sistema de Inyección de Agua.  
Planta de Agua Nueva.

**Modo de falla representativo:** Rodamientos, Cojinetes, Acoples.

**Frecuencia de Ocurrencia:** Cada 4 meses.

**Condiciones operacionales:** Obsérvese la Tabla 14.

**Filosofía Operacional:** Motor Eléctrico de Inducción Trifásica de Baja Tensión equipo conductor para el bombeo de agua salda hacia el área de inyección al pozo.

**Daños a las Instalaciones:** Daño a la bomba.

**Daños al personal:** Heridos o daños menores que requieren atención médica o primeros auxilios.

**Impacto a la población:** Sin Impacto.

**Impacto ambiental:** Sin impacto.

**Impacto de producción:** Este motor cumple la función de agente conductor para bombear el agua ya tratada proveniente de los tanques para que el motor de media tensión active la bomba para inyectarla a pozo, si este no funcionara, el motor de media tensión no podría cumplir con su función.

Criticidad	Frecuencia	×
Impacto Total		
Impacto Total= Impacto Ambiental + Impacto Personal + Impacto a la Población + Daños a la instalaciones + Impacto de Producción.		
↓		
Impacto ( Categorías) = 1 + 1 +1+ 4+ 3= 10		
↓		
Nivel de criticidad Frecuencia × Impacto Total = 50		

Tabla 33 Frecuencia x Impacto Total M-431  
Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de Criticidad**

**50**



**Figura 68 Matriz de Criticidad M-431.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Jerarquía de  
Criticidad Alta**

Luego de realizar un estudio tomando como muestra dos de los motores más críticos e importantes del proceso que se encuentran ubicado en las áreas de Planta de Agua Nueva y Transferencia de Crudo aplicando de forma cuantitativa la Metodología del Análisis de Criticidad se pudo observar y constatar que su criticidad es semejante, resultados que son respaldados con las entrevistas directas a los trabajadores del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA, Quienes afirman que entre la gama de motores seleccionados para el estudio todos son críticos.

### **Rango óptimo para los valores de comportamiento de los Motores Eléctricos.**

Estos datos fueron consultados en los manuales de los equipos suministrados por la Superintendencia de Mantenimiento información que fue respaldada por las entrevistas hechas a los trabajadores con los cuales se pudo definir los rangos óptimos de operatividad de los motores eléctricos observados en la **(Tabla 34)**.

<b>Motor Eléctrico Trifásico</b>	<b>Análisis Termografico</b>	<b>Rango----→</b>	<b>40 °C a 180 °C</b>
	<b>Análisis de Vibración</b>	<b>Rango--→</b>	<b>0 a 10 Miliesimas.</b>
	<b>Análisis de Ultra Sonido</b>	<b>Rango--→</b>	<b>40 Hertz. Para poder detector fallas en el equipo.</b>
	<b>Análisis Estroboscópico</b>	<b>Rango--→</b>	<b>Valor Nominal del Equipo en su RPM.</b>
	<b>Análisis de Voltaje y Corriente</b>	<b>Rango--→</b>	<b>Valor Nominal del Equipo.</b>
	<b>Nivel de Aislamiento</b>	<b>Rango----→</b>	<b>&gt;1000 MΩ a &gt;50 MΩ</b>

**Tabla 34 Rango óptimo para los valores de comportamiento de los equipos**

**Fuente: Elaboración Propia.**

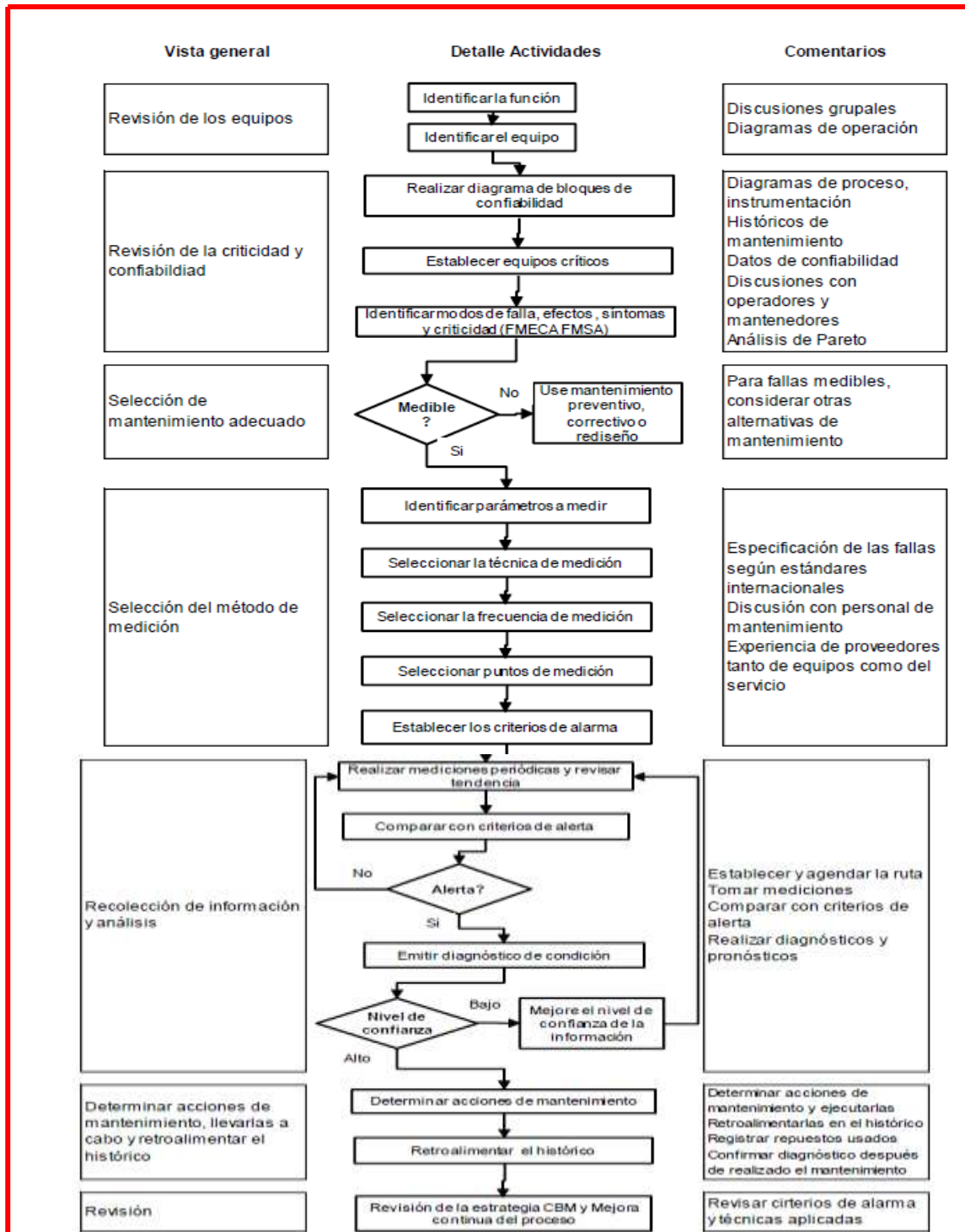
## CAPITULO VII

### SITUACION PROPUESTA.

#### **Diseño para la implementación del programa de mantenimiento predictivo.**

El diseño del programa para la implementación del mantenimiento predictivo como un proceso más, se encuentra en la norma **ISO 17359 2011**, mostrado en la **Figura 80**.

Es un procedimiento genérico que puede ser utilizado en la aplicación de un programa de monitoreo de condiciones, explicado a continuación.



**Figura 69 Flujograma del Mantenimiento Predictivo.**  
Fuente: ISO 17359 2011.

## **Revisión de los equipos.**

**Identificación de equipos:** Listar e identificar claramente todos los Motores Eléctricos de Inducción Trifásica de la planta.

**Identificación de la función:** A través de la pregunta ¿qué es lo que el equipo debe hacer y cuáles son las condiciones operacionales.

**Revisión de criticidad y confiabilidad:** El uso de estos diagramas junto a los factores de fiabilidad y disponibilidad, se recomienda para mejorar el objetivo del momento a la condición.

**Establecer los Motores críticos:** Se recomienda hacer una evaluación de la criticidad de todas las maquinas con el fin de crear una lista priorizada de las que se vayan a incluir (o no) en el programa de monitoreo.

**Identificar modos de falla:** Los estudios **FMEA (Análisis de Modal de Fallas y Efectos)** y **FMECA (Análisis de la Criticidad de los Modos y Fallas)** recomiendan porque generan información sobre la gama de parámetros que se deben medirse para evitar las fallas. Estos, generalmente indican las condiciones que se presentan antes del daño, ya sea por aumento o disminución en un valor medido o por algún otro cambio en una característica.

## **Selección del mantenimiento adecuado.**

Si el modo de falla no tiene síntoma medibles, hay que aplicar las estrategias alternativas de mantenimiento: correctivo, preventivo o modificación (de diseño).

## **Selección del método de medición.**

**Identificar los parámetros a medir:** Según la información obtenida en el análisis de modos de falla, se identifican los parámetros a monitorear según las consecuencias que sus variaciones presenten. El listado de estos parámetros en general se aprecia en la **Tabla 28**.

**Seleccionar las técnicas de medición:** Las técnicas de monitoreo pueden ser muchas. Remotas, locales con mecanismos instalados, semi-permanentes, con el equipo en línea o fuera de ella, etc.

**Establecer los criterios de alarma:** Las alarmas pueden ser valores únicos o múltiples niveles, tanto crecientes como decrecientes o cambios



que ocurren dentro de los límites previamente establecidos de alerta, mientras que no exceda de los límites. Deben establecer criterios para dar la indicación más temprana posible establecer la línea base de medición, debido a que es mejor definir con precisión la condición inicial de equipo

### **Recolección de información y análisis:**

**Realizar mediciones y revisar su tendencia:** El procedimiento general para la recopilación de datos es tomar medidas y compararlas con tendencias históricas, datos básicos o del representante de las máquinas iguales o similares. Las mediciones se toman a lo largo de una ruta programada con cierta periodicidad.

**Comparación con criterios de alerta:** Si los valores medidos son aceptables en comparación con los criterios de alerta / alarma, pero si los valores medidos no son aceptables debe hacerse un diagnóstico. Puede darse el caso de hacer una evaluación de la condición, así no hayan signos de alarma, pero se prevé una falla a futuro, lo que se conoce como pronóstico.

**Mejore el nivel de confianza de la información:** Es necesario asegurar que la tendencia a la cual se le hace seguimiento, contenga datos confiables, de los contrarios hay que proceder a mejorarlos. Remota de datos, modificación a la frecuencia de monitoreo o realizar una toma de datos adicional, comparación con históricos, usar una técnica más especializada o cambiar de proveedor son algunas vías para esta labor.

**Determinación de tareas de mantenimiento a aplicar y hacer la retroalimentación respectiva.**

**Determinar acciones de mantenimiento:** Generalmente dependen de la confianza en el diagnóstico o pronóstico, pero sin importar lo anterior, se recomienda, al menos inspeccionar o generar el mantenimiento correctivo antes que falta sea grave.

**Retroalimentar los históricos:** Tanto las notas de predictivo como las acciones a tomar, de acuerdo a los diagnósticos, deben estar registradas en la Superintendencia de Mantenimiento de PDVSA.PETRODELTA. Cuando estas acciones han sido ejecutadas, es necesario documentales y compararlas con el diagnóstico inicial.

**Revisión:** El mantenimiento en general, es un proceso de mejoramiento continuo. Muchas veces, algunas técnicas no se tienen en cuenta, desde el inicio, por múltiples razones o los criterios de alarma suelen ser muy bajos o muy altos. Después de iniciada la ejecución de las rondas

predictivas, es necesario evaluar todas las variables que permitan mejorar la efectividad del proceso.

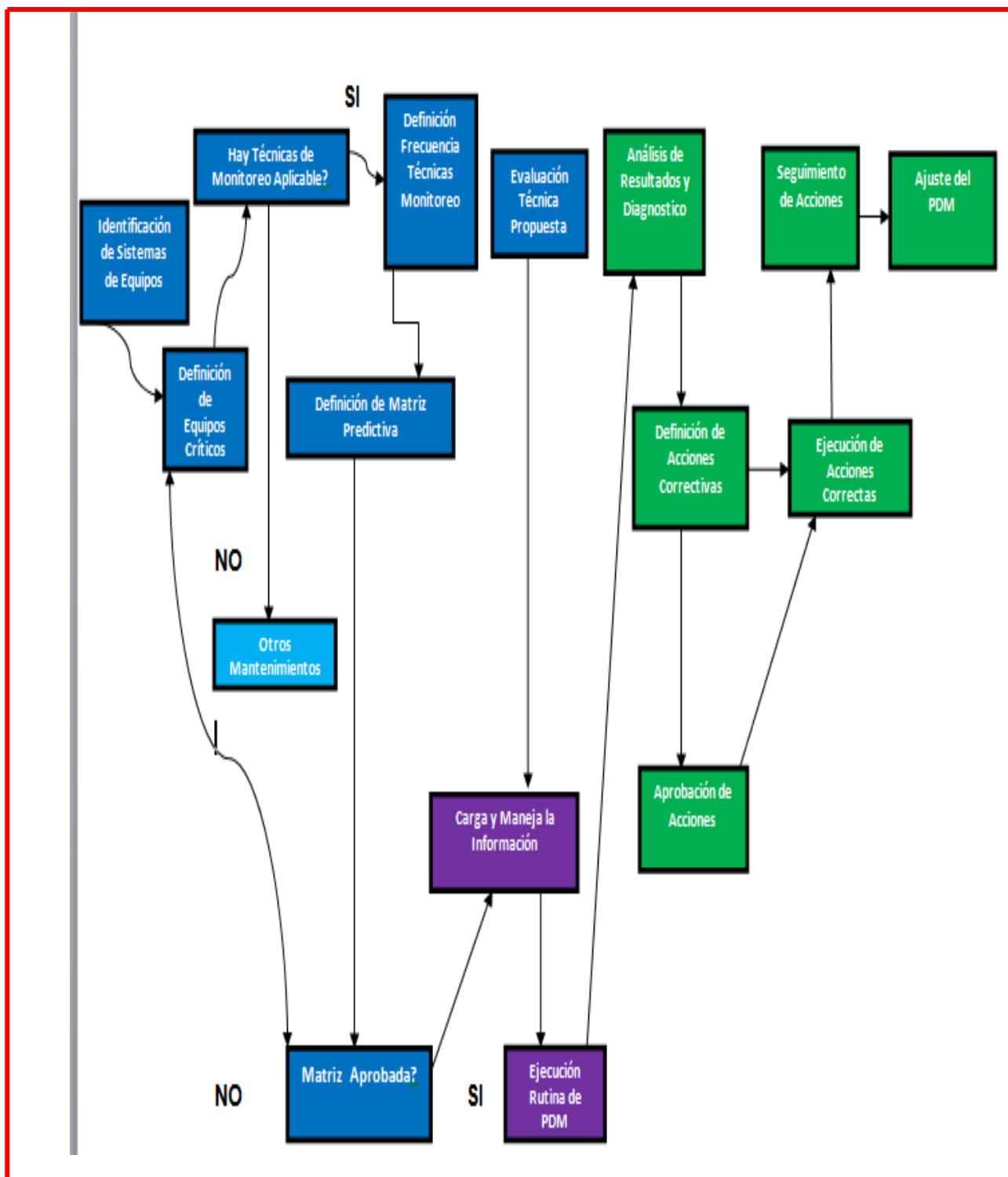
La mejor forma de conocer la efectividad y estado de la implementación, es a través de indicadores con los cuales se puede conocer la brecha respecto a lo esperado, llevando a realizar análisis para cerrarla.

### **Etapas de la Implementación del Diseño.**

Como se comentó anteriormente, la implementación se guio por las actividades descritas en el Diagrama de Flujo de implementación (**Figura 80**). Si bien este flujo describe la implementación del mantenimiento basado en condición, se aprovecharon muchas de sus recomendaciones para iniciar con el mantenimiento predictivo asegurando un orden lógico.

El alcance del proyecto fue definir el programa de mantenimiento predictivo para ser aplicado en los equipos críticos de la Planta UM-2, bajo la ejecución técnicas predictivas con análisis interno de la condición de los activos.

Se definieron los roles y responsabilidades que intervendrán en la implementación y la ejecución del proceso.



**Figura 70 Flujoograma de Roles y Responsabilidades del Mantenimiento.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

En la figura se pueden observar las diferentes actividades que tienen a cargo cada una de las personas que intervienen en el proceso.

- **Ing. Industrial:** Participa en la definición de las técnicas predictivas que se van aplicar, analiza toda la información que se obtiene de la rutina ejecutada, apoya en la definición de las tareas correctivas y les hace seguimiento, por ultimo retroalimenta el mantenimiento en general y realiza los ajustes necesarios en el proceso.
- **Supervisor:** Identifica y define los equipos críticos y técnicas predictivas a aplicar, define y ejecuta tareas correctivas aprobadas, que surgen de las recomendaciones de la rutina realizada.
- **Técnico en Mantenimiento Mecánico:** Encargado de ejecutar la rutina predictiva, es quien manipula el equipo asignado para la labor, interpreta los resultados y realiza el informe para la toma de decisiones.
- **Técnicos Electricistas:** Responsable de mantenimiento eléctrico y otras actividades en Motores Eléctricos además, realiza el acompañamiento respectivo al personal técnico que realiza la rutina predictiva.
- **Técnicos Mecánicos:** Responsables de mantenimiento mecánico y otras actividades en Motores Eléctricos.

### Revisión de los equipos.

Debido a la gran cantidad de Motores Eléctricos que existen en la Planta UM-2 que participan en la producción de crudo, se tomó la decisión de definir los equipos más críticos.

Para definirlos, se aprovechó la información **Utilizando el método predictivo de Inspección directa visual, lectura de indicadores y recolección técnica de los motores eléctricos como también los resultados de la entrevista directa realizada a los trabajadores del Taller.**

Se trabajó con la poca información de los Motores Eléctricos que posee la Superintendencia de Mantenimiento. Dentro de estos encontramos las áreas de Planta de Agua Nueva- Vieja y Transferencia de Crudo a la Venta. (**Áreas Observadas en las Figuras 56 y 57**).

Con el resultado obtenido en el diagrama causa- efecto nace la propuesta de la creación de un sistema de inspección y de diagnóstico en la gestión de mantenimiento del Taller Central.

La elaboración del diseño en Excel de dicho sistema utilizado en el taller, será de gran ayuda para la Superintendencia de Mantenimiento de Señales, debido a que servirá como base y punto de partida para la posterior elaboración e implementación de un sistema manual y practico que debe de proporcionar ventajas inmediatas tales como permitir mantener un mayor control y monitoreo sobre los Motores Eléctricos más críticos de la Planta.

Para desarrollar satisfactoriamente la elaboración del diseño estructural de este sistema, se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Ordenar y organizar la información obtenida en la inspección visual realizada a los Motores.
- 2) Realizar una entrevista al tutor industrial con el objeto de concertar los ídem que requiere que contenga el diseño del sistema a desarrollar, intercambiar ideas y emitir opiniones al respecto.
- 3) Seleccionar las variables correspondientes y necesarias para un diagnostico favorable.
- 4) Se representan los tipos de prioridad de los problemas con las letras A, B, C, D con su respectivo significado.
- 5) Elaborar una hoja en Excel utilizando la herramienta del formato condicional donde se descargarán los datos obtenidos en el diagnóstico.

Se diseñó la hoja de Excel para la recopilación de datos de las variables basándonos en la revisión de los equipos.

 <b>PDVSA</b> PETRODELTA		<b>FORMATO DE DIAGNOSTICO PREDICTIVO</b>	
		<b>INFORMACION GENERAL</b>	
		Codigo: _____ Fecha: _____	
		Area: _____	
		Analista: _____	Firma: _____
		Sp. Mecanico: _____	Firma: _____
		<b>Recomendaciones</b>	
<b>VARIABLES</b>	<b>Valor</b>	<b>Ultrasonido</b>	
Temperatura			
Vibracion			
RPM			
Voltaje		<b>Lubricacion</b>	
Corriente			
Aislamiento			
		<b>Observaciones</b>	
A - Atencion Inmediata ( Emergencia)			
B -Daño severo (Atencion una semana)			
C -Daño preocupante ( Monitoriar)			
D -Daño leve ( Seguir monitoriando)			

**Figura 71 Formato de Diagnostico Predictivo.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

Se diseñó un modelo de simulación en la herramienta de Microsoft Office Excel a través de criterios que consisten en obtener mediante la introducción de valores recaudados por el diagnóstico predictivo, el nivel de criticidad de los parámetros de monitoreo elegidos para el estudio. Señalados en la **tabla 28**.

Esta simulación está regida por el rango de cada variable señalados en la **tabla 34**. Se determinara su nivel de criticidad por colores:

**Verde** --→ Representa el nivel óptimo del parámetro.

**Amarillo** --→ Representa el nivel alerta del parámetro.

**Crítico** ---→ Representa el nivel crítico del parámetro.

Para manejar el rango de criticidad se utilizaron los símbolos:  
(<, > , =).

#### **Las unidades utilizadas fueron:**

- Milésimas para la vibración.
- Grado centígrados (°C) para la temperatura.
- Aislamiento.

El rango utilizado para determinar el nivel de criticidad de la vibración, aislamiento y la temperatura serán igual para todos los motores eléctricos.

- Voltaje.
- Corriente.
- MΩ (Mega Ohmios) para el aislamiento.
- RPM (Revoluciones por minuto).

El rango utilizado para determinar los niveles de criticidad del voltaje, corriente y RPM variaran dependiendo de las especificaciones técnicas de cada motor eléctrico.

Cabe destacar que el Ultrasonido no tiene valor numérico de criticidad solo que a una frecuencia por parte del equipo de 40 Hertz es suficiente para detectar una falla en el equipo (fricción, detección de arco eléctrico y fuga de alguna válvula cercana al equipo.) Las cuales podrán ser señaladas en el diagnóstico predictivo.

Igualmente pasa con la lubricación que se rige por una inspección visual programada.

#### **Nivel de criticidad de la vibración del motor eléctrico.**

	B	C	D	E	F
Vibración					
			10>vib	Critico	
	Milesimas	0 a 10	4,5<vib<10	Alerta	
			4,5>Vib	Optimo	
3,5					

Figura 72 Nivel de Criticidad óptima de Vibración.  
Fuente: Elaboración Propia.

Nivel de criticidad termografica del motor eléctrico.

Termográfico(oC)				
Temp	<	40	Óptimo	
40	Temp	180	Alerta	186
Temp	>	180	Critico	

Figura 73 Nivel de Criticidad crítica Termografica.  
Fuente: Elaboración Propia.



### Análisis del RPM de los Motores Electricos.

Para poder determinar la criticidad el RPM de los Motores se tomó como dato principal el Valor Nominal del equipo evaluando su criticidad de la siguiente manera:

**Ejemplo:**

M-431 ----- Valor Nominal es de 1770 **Óptimo**  
 ----- 1770 menos el 5% = 1681.5 **Alerta**  
 ----- 1770 menos el 10% = 1593 **Critico**

Este método se obtuvo con la entrevista directa de un Ingeniero Eléctrico del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA, cabe destacar que al disminuir el RPM del equipo en consecuencia disminuye la eficiencia del mismo.

**Nivel de criticidad del RPM del M431.**

RPM M-431				
RPM	<	1681,5	Critico	
1681,5	RPM	1770	Alerta	1700
RPM	=	1770	Óptimo	

**Figura 74 Nivel de Criticidad Alerta del RPM M-431.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Nivel de criticidad del RPM del M-417 A.**

RPM M-417 A				
RPM	<	3406	Critico	
3406	RPM	3585	Alerta	3478
RPM	=	3585	Óptimo	

**Figura 75 Nivel de Criticidad Alerta del RPM M-417 A.**  
Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de criticidad del RPM del M-433 A.**

RPM M-433 A				
RPM	<	3392	Critico	
3392	RPM	3571	Alerta	3292
RPM	=	3571	Óptimo	

**Figura 76 Nivel de Criticidad crítica del RPM M-433 A.**  
Fuente: Elaboración Propia.

### Análisis del RPM de los Motores Electricos.

Para poder determinar la criticidad del voltaje de los Motores se tomó como dato principal el Valor Nominal del equipo evaluando su criticidad de la siguiente manera:

**Ejemplo:**

**M-433 A** ----- Valor Nominal es de 4000 **Óptimo**  
----- 4000 menos el 5% = 3800 **Alerta**  
----- 4000 menos el 10% = 3420 **Crítico**

Este método se obtuvo con la entrevista directa de un Ingeniero Eléctrico del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA.

### Nivel de criticidad del voltaje del M-433 A.

Voltaje M-433 A				
Voltaje	<	3420	Crítico	4200
3420	Voltaje	3800	Alerta	
Voltaje	=	4000	Valor Nominal	
Voltaje	>	4000	Crítico	

**Figura 77 Nivel de Criticidad crítico debido a sobrevoltaje M-433 A.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Nivel de criticidad del voltaje del M-417 A.**

Voltaje M-417				
Voltaje	<	3952	Critico	
3952	Voltaje	4160	Alerta	4160
Voltaje	=	4160	Valor Nominal	
Voltaje	>	4160	Critico	

**Figura 78 Nivel de Criticidad óptima del voltaje M-417 A.**  
Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de criticidad del voltaje del M-431.**

Voltaje M-431				
Voltaje	<	437	Critico	
437	Voltaje	460	Alerta	420
Voltaje	=	460	Valor Nominal	
Voltaje	>	460	Critico	

**Figura 79 Nivel de Criticidad crítica por disminución del voltaje M-431.**  
Fuente: Elaboración Propia.

### Análisis del RPM de los Motores Electricos.

Para poder determinar la criticidad de la corriente de los Motores se tomó como dato principal el Valor Nominal del equipo evaluando su criticidad de la siguiente manera:

#### Ejemplo:

M-417 A ----- Valor Nominal es de 182 **Óptimo**

----- 182 menos el 5% = 172,9 **Alerta**

----- 182 menos el 10% = 163,8 **Critico**

Este método se obtuvo con la entrevista directa de un Ingeniero Eléctrico del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA.

#### Nivel de criticidad de la corriente del M-417 A.

Corriente M-417				
Corriente	<	172,9	Critico	
172,9	Corriente	182	Alerta	173,1
Corriente	=	182	Valor Nominal	
Corriente	>	182	Critico	

Figura 80 Nivel de Criticidad alerta de la corriente M-417 A.

Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de criticidad de la corriente del M-433 A.**

Corriente M-433 A				
Corriente	<	145,3	Critico	167
145,35	Corriente	153	Alerta	
Corriente	=	153	Valor Nominal	
Corriente	>	153	Critico	

**Figura 81 Nivel de Criticidad crítica por sobrecorriente M-433 A.**  
Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de criticidad de la corriente del M-431.**

Corriente M-431				
Corriente	<	49,4	Critico	48,4
49,4	Corriente	52	Alerta	
Corriente	=	52	Valor Nominal	
Corriente	>	52	Critico	

**Figura 82 Nivel de Criticidad crítica por disminución de la corriente M-431**  
Fuente: Elaboración Propia.

**Nivel de criticidad del aislamiento de los motores eléctricos.**

Nivel de Aislamiento(MΩ)				
MΩ	<	50	Critico	
50	MΩ	1000	Alerta	789
MΩ	>	1000	Optimo	

**Figura 83 Nivel de Criticidad de alerta del aislamiento.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

**MATRIZ PROPUESTA.**



ANÁLISIS FODA.		
<div>FACTORES INTERNOS</div> <div>FACTORES EXTERNOS</div>	<b>FORTALEZAS (F)</b> (F1) Personal proactivo. (F2) Único en la empresa. (F3) Cuenta con las instalaciones e infraestructura idóneas. (F4) Ambiente de trabajo cómodo y favorable. (F5) Disponibilidad al aprendizaje. (F6) Conocimiento técnico y adaptación positiva a nuevos ambientes laborales.	<b>DEBILIDADES (D)</b> (D1) Falta de normativas y políticas. (D2) Escasez de algunos recursos. (D3) Descoordinación y falta de comunicación entre las oficinas administrativas y el Taller Central con respecto a los planes de mantenimiento. (D4) Ausencia de una Estructura Organizativa y de un Manual de la Organización debidamente estructurado. (D5) No existe un programa de adiestramiento permanente y progresivo. (D6) Déficit de personal calificado y no calificado. (D7) Falta de motivación al personal.
	<b>OPORTUNIDADES (O)</b> (O1) Los eventos de capacitación que se ofrecen en la empresa. (O2) Interés del entorno para fortalecer el área de mantenimiento. (O3) Nuevas tecnologías disponibles. (O4) Reestructuración organizativa en el taller.	<b>ESTRATEGIAS (DO)</b> > Crear manuales de normas, políticas y procedimientos en el marco del proceso de reestructuración que se está dando en el Taller de Mantenimiento. (D1, D2, D6, O1). > Aplicar técnicas de reconocimiento del esfuerzo de los integrantes del Taller, cada vez que así lo amerite, por parte de las autoridades del mismo. (D6, O1). > Proponer una nueva estructura organizativa para el Taller Central que construya o establezca las funciones y responsabilidades de cada cargo y mejorar sus actividades dentro de la empresa. (D3, D4, D6, O1, O3, O4). > Proponer a las autoridades la creación de un programa de adiestramiento y estudio de fuerza laboral para el entrenamiento y capacitación del taller. (D5, D7, O1).
<b>AMENAZAS (A)</b> (A1) Canales muy largos para algunos procesos inherentes al Taller. (A2) El mantenimiento realizado queda incompleto. (A3) El Taller depende de unidades de la empresa externas. (A4) No cuentan con herramientas aislantes.	<b>ESTRATEGIAS (FA)</b> > Proponer la creación de un cargo que se responsabilice por llevar un control de las actividades de mantenimiento y reparación de equipos. (F1, F6, A2). > Realizar seguimiento a los trámites administrativos de taller (F1, A1).	<b>ESTRATEGIAS (DA)</b> > Crear un programa de adiestramiento al personal del Taller que se considere pertinente en el área administrativa para que pueda agilizar los trámites administrativos. (D5, A1, A3).

Tabla 35 Matriz FODA Situación Propuesta para el Taller.  
Fuente: Elaboración Propia.



Luego de haber realizado el primer análisis FODA donde fue completada la planilla con las variables correspondientes a cada factor (fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas) el paso siguiente es el análisis de las mismas y la preparación de las estrategias de acción correspondiente a la realidad evidenciada.

### **Instructivo de la orden de trabajo del mantenimiento predictivo.**

Los trabajos del mantenimiento predictivo los podemos contabilizar por orden de trabajo requerido, decir generando un formato para su fácil cuantificación.

El formato llevara datos como son:

- **Orden de trabajo:** Número de la orden trabajo.
- **Prioridad:** La prioridad de la actividad.
- **Equipo:** De qué equipo se trata.
- **TAG:** El nombre del motor utilizado en la planta.
- **Sistema:** El nombre de la función que realiza el motor.
- **Ubicación:** En qué lugar de la planta se encuentra el equipo.
- **Locación:** En que planta está ubicado el motor.
- **Disciplina:** Personal responsable del mantenimiento a ejecutar.
- **Fecha de solicitud:** Del mantenimiento.
- **Fecha programada:** Para realizar la actividad de mantenimiento.
- **Fecha de Inicio:** Del mantenimiento.
- **Fecha de culminación:** Cuándo? Se terminó de realizar el mantenimiento.
- **Tiempo de respuesta en Días:** Después de haber solicitado el mantenimiento.
- **Descripción de la falla:** Diagnostico predictivo del equipo.
- **Actividad realizada:** Que praxis se le aplico al motor.

- **Avance en %:** Permite monitorear el avance del mantenimiento predictivo.
- **Causas:** Las anomalías que causaron la falla del motor.


Se dividió el total de las horas hombres en dos partes.

La primera en un estimado calculado por el planificador.

La segunda un tiempo real de la realización de la actividad.

- **Cantidad de personas:** Cuantas personas participaron en la actividad realizada.
- **Horas de ejecución de la tarea:** Cuanto tiempo duro realizar la ejecución de mantenimiento al equipo.
- **Total de horas hombres:** Cuanto tiempo duro la actividad de mantenimiento.
- **Realizado por:** Nombre y apellido de los ejecutores del mantenimiento.
- **Revisado por:** Por el supervisor de mantenimiento.
- **Solicitado por:** La planificación semanal.
- **Observaciones y comentarios finales:** Recomendaciones del personal ejecutor del mantenimiento evaluado por prioridades entre otros detalles de vital importancia para garantizar la eficiente operatividad del motor eléctrico.

Se diseñó en Excel un formato para la orden de trabajo que se pueden observar en las **figuras 83,84 y 85**.

Portapapeles		Fuente	Alimentación	Número	Estilos	Celdas	Modificar					
<div>  </div>												
ACTIVIDAD CULMINADA												
ORDEN PENDIENTE POR LLENAR												
ACTIVIDAD PENDIENTE POR CULMINAR												
ACTIVIDAD PENDIENTE POR EJECUTAR												
ORDEN DE TRABAJO (ODT)	PRIORIDAD	EQUIPO	TAG	SISTEMA	UBICACIÓN	LOCACIÓN	DISCIPLINA	FECHA SOLICITUD	FECHA PROGRAMA	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	TIEMPO DE RESPUESTA (DÍAS)

**Figura 84 Instructivo y orden de Mantenimiento predictivo 1 parte.**  
Elaboración Propia.

**Figura 85 Instructivo y orden de Mantenimiento predictivo 2 parte.  
Elaboración Propia.**

**Figura 86 Instructivo y orden de Mantenimiento predictivo 3 parte.  
Elaboración Propia.**

Las frecuencias de inspección iniciales se asignaron inicialmente según la criticidad de los equipos, conjuntamente con la información, específica del Motor Eléctrico tal como las horas de funcionamiento. Las frecuencias iniciales son planteadas según los especialistas del área, y se optimizan, una vez que se logra establecer la tendencia de los datos y se recolecta información mecánica operativa del Motor Eléctrico.

<b>TECNICA DE INSPECCION</b>	<b>Análisis de Vibraciones</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
	<b>Termografía</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
	<b>Lubricantes o Dieléctricos</b>			
	<b>Ultrasonido</b>	<b>6</b>		
	<b>Resistencia de Aislamiento</b>	<b>12</b>		
	<b>Análisis de Corriente y Voltaje</b>	<b>12</b>		
	<b>RPM</b>	<b>6</b>		

**Tabla 36 Frecuencia definida para cada técnica seleccionada.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se observa en la **tabla 36** el análisis de vibraciones y la termografía se realizan cada 3,6 y 12 meses, según la criticidad de los equipos seleccionados; el análisis de lubricantes a los Motores Eléctricos no tiene fecha establecida ya que se tomara por oportunidad, también existe una frecuencia por días, se establecerá según las horas de trabajo de cada equipo. Ultrasonido, se harán cada 6 meses y los análisis (resistencia y corriente) anualmente.

Así como la selección de las rutinas iniciales, fue realizada por la cantidad de equipos, la frecuencia también se planteó así.

Para mostrar los equipos, rutinas y frecuencias a medir, se construye la Matriz de Predictivo. Finalmente, en su forma más sencilla, se muestra en la siguiente tabla.

SISTEMA O AREA	TIPO DE MOTOR	Análisis de Vibraciones	Termografía	Lubricantes y Dieléctricos	Ultrasonido	Resistencia de Aislamiento	Análisis de Corriente y Voltaje	RPM
Sistema de Inyección de Agua Vieja Tensión	M-430 Media	6	12		6	12	12	12
Sistema de Inyección de Agua Vieja Tensión	M-431 Baja Tensión	12	6		6	12	12	
Sistema de Transferencia de Crudo Tensión	M-417 A Media	3	3		6	12	12	12
Sistema de Transferencia de Crudo Tensión	M-406 A Baja	6	6		6	12	12	12
Sistema de Inyección de Agua Nueva Tensión	M-433 A Media	3	3		6	12	12	12
Sistema de Inyección de Agua Nueva Tensión	M-435B Baja	6	6		6	12	12	12

**Tabla 37 Planificación del mantenimiento predictivo.**  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observarse, a pesar que las rutinas de análisis de vibraciones y termografías se establecieron cada tres meses, no son los mismos equipos los que se analizarán cada vez. Por ejemplo: Los motores M-417 A Y M-433 A de sistema de inyección de agua y transferencia de crudo a la venta se inspeccionan bajo termografía, cada 3 meses; pero los motores M-431, M-406 A, M-435 B pertenecientes a las áreas antes mencionadas se analizan cada dos rutinas de termografías (6 meses). Esta decisión se tomó como base en la información de falla y operación de cada uno.

Los criterios fueron establecidos con base en las recomendaciones de otros análisis realizados en equipos similares; fabricantes y lo que dictan las normas referenciales en este proyecto.

## Recolección de Información y análisis.

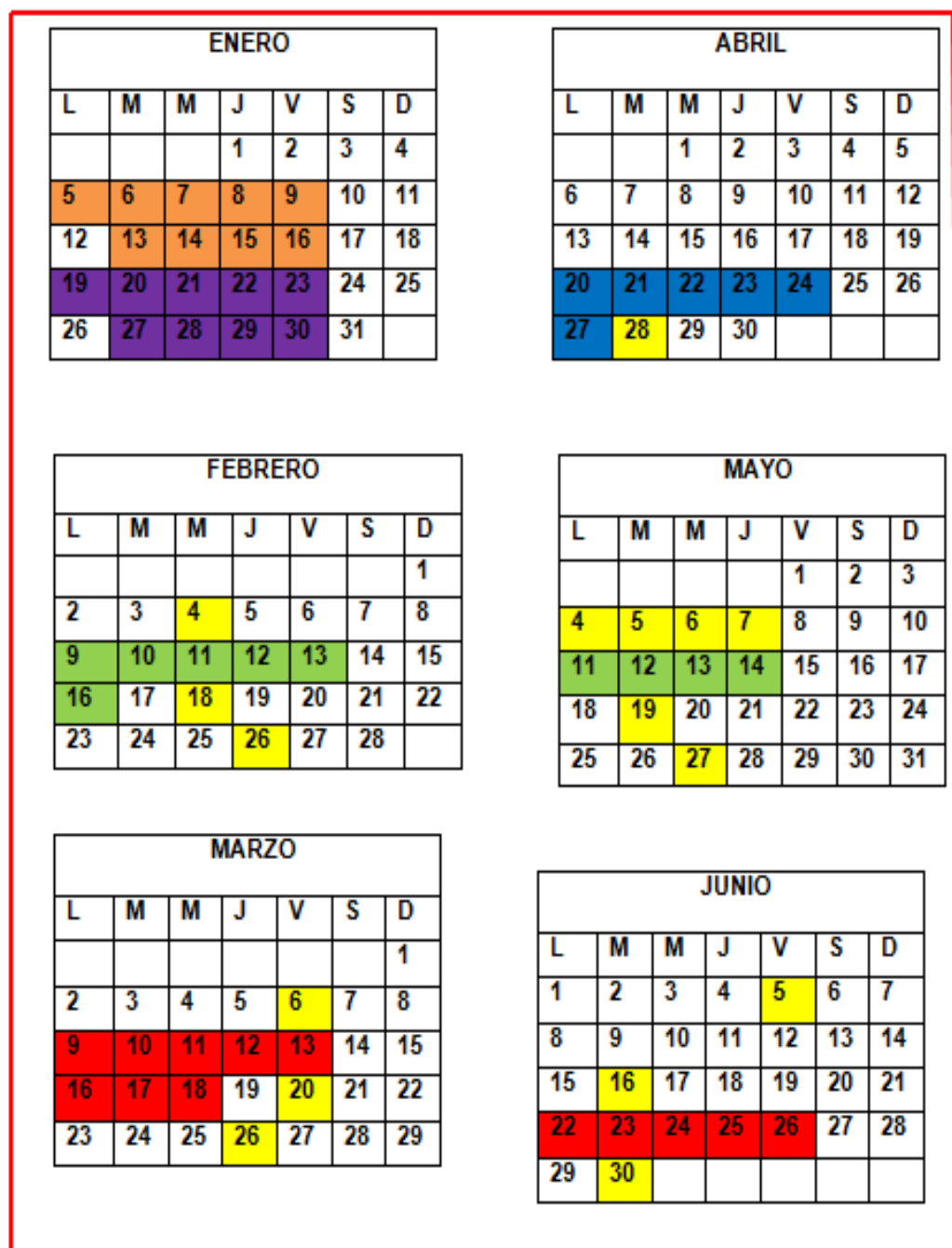
Antes de dar inicio a la ejecución de las rutinas, se establecieron las rondas, frecuencias y se validaron en fechas probables con el personal del Taller Central de PDVSA-PETRODELTA para aplicarlas como se ve en la **Figura 86**. Los colores de la tabla son los mismos establecidos en el calendario anual, propuesto para la ejecución de las técnicas, mostrado en la **Tabla 38**.

	<b>Análisis de Vibraciones</b>
	<b>Termografía</b>
	<b>Lubricantes o Dieléctricos</b>
	<b>Ultrasonido</b>
	<b>Resistencia de Aislamiento</b>
	<b>Análisis de Corriente y Voltaje.</b>
	<b>RPM</b>

**Tabla 38 Identificación de tareas por color.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**La programación varía según las horas de trabajo del equipo.**



**Figura 87 Cronograma de mantenimiento predictivo Enero- Junio 2015.**  
Fuente: Elaboración propia.



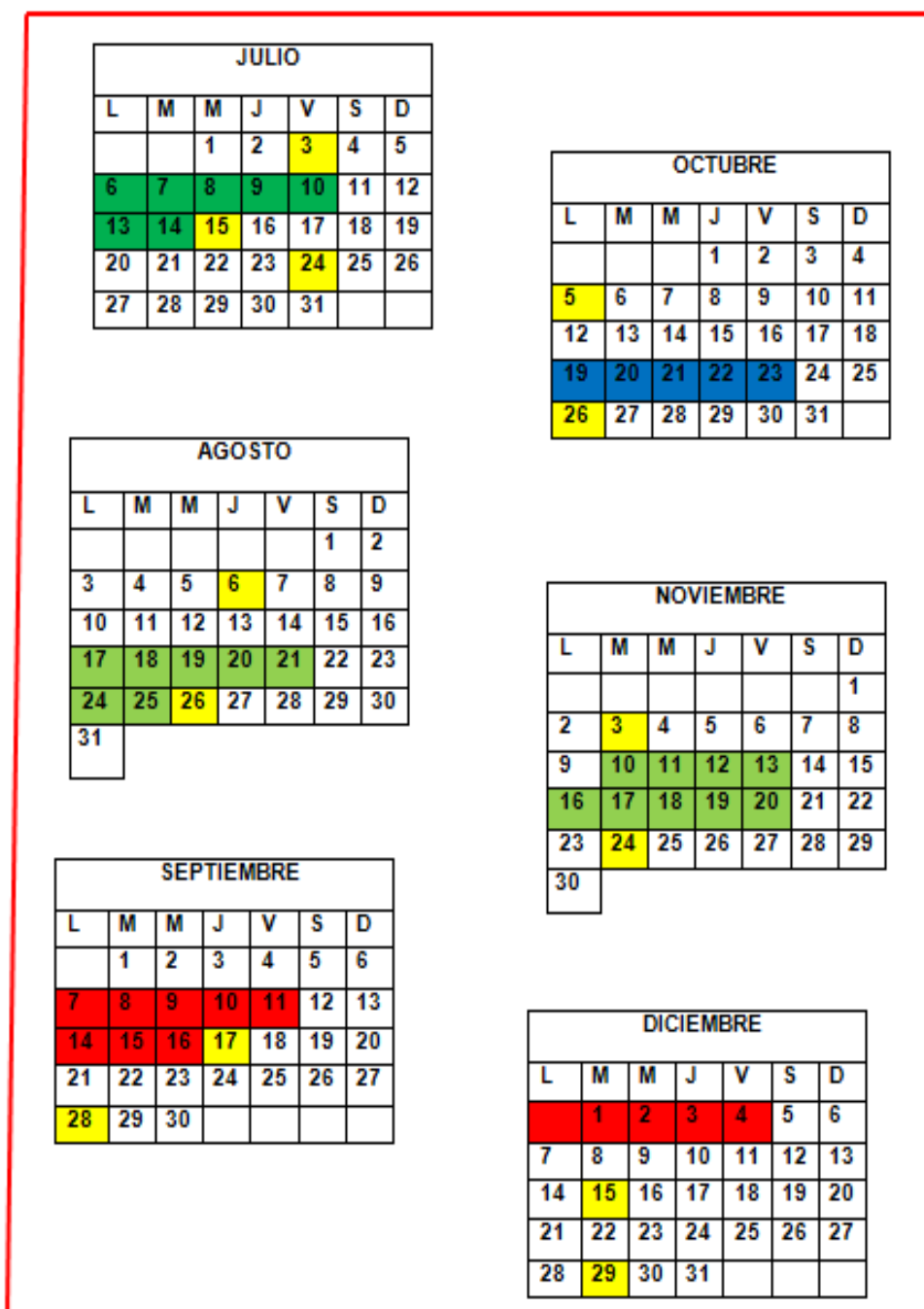


Figura 88 Cronograma de mantenimiento predictivo Julio- Diciembre 2015.  
Fuente: Elaboración propia.

Antes de iniciar, se solicitó a la Superintendencia de Mantenimiento, el suministro de información, para verificar que la técnica aplicada en cada ronda, era la indicada. Para planear y programar adecuadamente cada actividad, para evitar problemas de cruce de rutinas lo que implicaba redoblar el tiempo del personal acompañante.

## CONCLUSIONES

Del desarrollo y análisis del estudio efectuado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Con el diagnóstico inicial realizado a las 3 áreas en estudio, se pudo conocer que los equipos que las integran, presentan anomalías de diversos tipos, como el M-417 A perteneciente a Transferencia de Crudo a la Venta, el M-433 A y M-431 del área de Inyección de Agua que mostraron problemas en rodamientos y sellos, inconvenientes relacionados con la corrosión, sobrecorriente, fugas de agua, fugas de aceite, deterioro de la pintura del equipo, ruidos anormales, vibraciones extrañas, acometidas eléctricas deterioradas, fallas en arrancadores suaves.
2. Con la utilización del método predictivo de inspección visual directa se identificaron la causa de las fallas en los motores, lo que sirvió de base para la selección de las herramientas predictivas y los procedimientos de inspección precisando así, la mejor forma de captar los síntomas en un estado prematuro.
3. La causa que origina mayores demoras en la ejecución del mantenimiento de los equipos, es la falta de repuestos y herramientas en el taller y almacén de la empresa.
4. La recopilación de la información técnica de los activos, permitió recabar datos técnicos de los motores eléctricos, como las revoluciones por segundo, voltaje, corriente tipo de lubricante, frame, temperatura, factor de servicio, los cuales fueron de gran utilidad para realizar el diagnóstico acertado de la condición de los equipos de las vibraciones, termografía, nivel de aislamiento, ultrasonido, lubricación y análisis de corriente y voltaje.
5. Utilizando las técnicas predictivas basados en la norma ISO 13379 y datos suministrados por la Superintendencia de Mantenimiento se pudo determinar las variables que serán utilizadas para medir los rangos de los motores eléctricos, ya que se necesitan aplicar más de dos tecnologías predictivas que señalen con más exactitud de las posibles fallas.
6. Con el respaldo de la Superintendencia de Mantenimiento se consultó los manuales de los motores eléctricos obtuvimos los rangos con los cuales se pudo analizar cada variable elegida para el programa de mantenimiento.

**7.** Se diseñó en Excel una hoja de fácil interpretación para recopilar el comportamiento de las variables elegidas para el mantenimiento a través de un diagnóstico predictivo las cuales podrán ser medidos con los equipos existentes y disponibles en el Taller para esta tarea, como también se creó un formato condicional donde se podrán descargar dichas variables y poder analizar su nivel de criticidad.

**8.** Se diseñó en Excel un cronograma de actividades de mantenimiento predictivo para el 2015 aplicados a los motores eléctricos de las áreas estudiadas de una forma adecuada para evitar cruce de rutinas además vendrá acompañado con un instructivo de trabajo que permitirá llevar un registro y una documentación clara para tener el historial de los equipos los más actualizado posible.

## RECOMENDACIONES

En función del análisis y conclusiones que se obtuvieron con este estudio se recomienda las acciones siguientes:

1. Continuar con la implementación del programa diseñado, a fin de mejorar la efectividad de los Motores Eléctricos M-417 A, M-433 A y M-431 tomando en cuenta el déficit de los mismos, ya que son equipos que afectan directamente la producción diaria de crudo que ponen en riesgo debido su nivel de criticidad.
2. Implementar un sistema de control de inventario de los Motores Eléctricos de baja y media tensión existentes en la Planta UM2, con el fin de llevar un control riguroso del inventario de los filtros, partes y componentes de los Equipos más solicitados e importantes para la corrección de las fallas y mantenimiento preventivo, lo cual permitirá disminuir las demoras en la ejecución del mantenimiento a los equipos, al contar con los repuestos necesarios en el momento requerido.
3. Adquirir el equipo necesario para realizar el análisis de aceite de una forma más científica y tecnológica y no solo depender de una inspección visual del lubricante.
4. Se recomienda que el Taller realice investigaciones con respecto a las tecnologías instaladas en la empresa y las nuevas que se estén instalando, con el fin promover programas de capacitación y motivación para el personal a través de cursos y talleres de adiestramiento de acuerdo a los cargos con la finalidad de mejorar el desempeño del personal y por consiguiente, del Taller.
5. Promover por parte de la Superintendencia de Mantenimiento la realización de reuniones semanales con todo el personal sobre la gestión de mantenimiento tomando en cuenta los proyectos propuestos por los trabajadores, que sean rentables y ayuden al mejoramiento de las actividades y procesos del taller, ayudando de esta manera al proceso de mejoramiento continuo.
6. Como ya es evidente, la falta de personal dentro del Taller afecta su desempeño dentro de la empresa, por lo que se recomienda realizar un estudio de Fuerza Laboral con el fin de determinar la cantidad de personas y los cargos a desempeñar necesarios para que el Taller alcance un nivel de producción óptimo.

**7.** Documentar de una forma rigurosa y detallada el historial de los mantenimientos predictivos realizados por equipo creando una cultura de disciplina y orden con la información.

**8.** Debido a la forma como se plantearon los roles y responsabilidades para la implementación del mantenimiento predictivo en campo Uracoa Planta UM-2 de PDVSA-PETRODELTA, al inicio de la implementación es importante contar con una persona dedicada a trabajar exclusivamente en esto. No es recomendable que trabaje en otras actividades, a menos que sean participaciones puntuales que no implique mucho tiempo, porque la carga laboral que maneja, es alta, datos, agenda etc. Al pasar el tiempo, cuando el predictivo este maduro y la operación la operación le permitirá dedicarse a otras actividades.

## Bibliografía.

**Desarrollo del mantenimiento predictivo.** [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.MantenimientoMundial.com>.

Metodología del Análisis de Criticidad [aprendizaje.virtual@pemex.com](mailto:aprendizaje.virtual@pemex.com).

Motores eléctricos de inducción trifásicos de alta y baja tensión

Línea M - Rotor de anillos - Horizontales

Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento WEG.

Análisis de Motores Eléctricos Mantenimiento Predictivo Ing. Eugenio López.

MORROW, L.C. (1986) **Manual de Mantenimiento Industrial; “Tomo 1”**. México: McGraw-Hill. Decimacuarta impresión. “Maintenance Engineering Handbook”; traducido por Jorge Casas y Otros.

NAVA, J. (1992). **Teoría de mantenimiento. Definiciones y organización**. Mérida. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones Venezuela.

**Fallas de motor Eléctrico** [www.actiweb.es/durelectric/fallas.html](http://www.actiweb.es/durelectric/fallas.html)

<http://www.monografias.com/trabajos93/motores-electricos/motores-electricos.shtml>

<http://www.ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/19-mantenimiento-predictivo>

# APENDICE



**Planta de Agua Vieja.**

**Sistema de Inyección de Agua a Pozos.**



**Apéndice 1 M- 420 Motor de Media Tensión.  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 2 M- 421A Motor de Media Tensión.  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 3 M- 430 Motor de Media Tensión.  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 4 (M-428 A) (M-428 B) (M-431).  
Fuente: Elaboración Propia.**

**Sistema de transferencia de crudo a la venta.**



**Apéndice 5 M- 417 A Motor de Media Tensión.  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 6 M-417 B Motor de Media Tensión Desincorporado.  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 7 Motores de Baja Tensión.**

**Fuente: Fotografía 2014.**



**Planta de Agua Nueva.  
Inyección de Agua a Pozos.**



**Apéndice 8 Motores de Media Tensión (M-433 B) (M-433 A).  
Fuente: Fotografía 2014.**



**Apéndice 9 Motores de Baja Tensión  
Fuente: Fotografía 2014.**