



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Electromecánica

Informe Final de Práctica de Especialidad para optar por el grado de  
Licenciado en Ingeniería en Mantenimiento Industrial

**Proyecto Administrativo:**

Mantenimiento Preventivo aplicado a Aerogeneradores Neg Micon NM750.

**Proyectos de Diseño:**

Análisis de Vibraciones en Cajas Multiplicadoras y Generadores, aplicados a fallas en rodamientos y engranajes.

Programa de implementación de un Historiador de datos en los Aerogeneradores por medio de PLCs de comunicación.

Planta Eólica Aeroenergía S.A.

Realizado por Carlos Vargas González

Tejona, Tilarán. 2004



Profesor Asesor:                    Ing. Gustavo Jiménez

Asesor en la Empresa:        Ing. José Ángel Prati

Nota a la versión impresa:

El informe completo con la totalidad de los anexos se muestra en el documento digital de Microsoft Word que lleva como nombre Informe Final de Práctica. Algunos anexos se omiten por motivo de espacio.

## Dedicatoria

En la base de esta práctica está el señor José Ángel Prati.

El es quien merece la dedicatoria.

También el profesor Gustavo Jiménez por su paciencia

(a quien le deseo éxitos).

Sin embargo, también deben figurar en ella

aquellos que pasean conmigo por la vida:

Miguel, mis familiares,

mis compañeros de estudio, los héroes;

aquellos que entran y salen,

y aquellos que están por entrar.

A la promesa de las energías limpias.

A la promesa del FUTURO.

## Tabla de Contenidos

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Dedicatoria.....	3
Glosario para términos provenientes del idioma Inglés.....	12
1. Resumen.....	133
2. Introducción.....	155
2.1. Tendencias del Mantenimiento.....	15
2.1.1 El Mantenimiento Correctivo.....	15
2.1.2 El Mantenimiento Preventivo.....	16
2.1.3 El Mantenimiento Predictivo.....	17
2.1.4 El Mantenimiento de Precisión.....	26
2.1.4 El Mantenimiento de Precisión.....	27
2.1.5 El Mantenimiento Programado.....	27
2.1.6. El TPM, el RCM y el RCM 2.....	28
2.2 Los Controladores Lógicos Programables (PLC).....	29
2.2.1 Los PLCs.....	29
2.2.2 Conceptos fundamentales de la comunicación electrónica.....	30
2.2.3. Sensores Analógicos y Digitales.....	32
2.2.4. PLC Mitsubishi FX <sub>1N</sub> - 14MR.....	32
2.2.5. Funciones lógicas y elementos básicos del lenguaje de Escalera del PLC Mitsubishi FX <sub>1N</sub> - 14MR.....	33
2.3. Explicación básica del funcionamiento de los Aerogeneradores Neg Micon NM750. ....	34
2.4. Explicación básica del funcionamiento del Programa iHistorian y el OPC.....	35
2.5. Explicación básica del funcionamiento del programa Prism4 de SKF y el Colector de datos CMVA-55 Microlog para análisis de Vibraciones.....	36
3. Reseña sobre la Planta Eólica de Aeroenergía S.A.....	37
3.1 Historia de Aeroenergía S.A. ....	37
3.2 Organigrama de la empresa.....	37
3.3 Tecnología utilizada.....	38
4. Mantenimiento Preventivo aplicado a Aerogeneradores Neg Micon M1800, 750kW.....	39
4.1 Definición del problema.....	39
4.2 Fuentes de información.....	41
4.3 Codificación del Parque.....	42
4.3.1 Codificación del Parque.....	42
4.3.2. Codificación de los bloques de mantenimiento.....	43
4.4 Diagramas de la máquina.....	44
4.5 Diseño de la documentación.....	44
4.5.1. Solicitud o Orden de trabajo.....	44
4.5.2. Historial de las Máquinas.....	45
4.5.3. Documento de Datos Técnicos.....	45
4.5.4. Reporte de fallas.....	46
4.5.5. Valores de Funcionamiento Global.....	46

4.5.6. Reportes de Mano de Obra Directa.....	47
4.5.7. Solicitud de compra de repuestos, materiales y herramientas. ....	47
4.6 Manuales de Mantenimiento .....	48
4.7 Inspecciones .....	48
4.8 Programación de actividades de mantenimiento propuestas .....	49
4.9 Procedimientos frente a Alarmas .....	50
4.10 Aspectos de Seguridad o Precaución .....	51
4.11 Análisis costo beneficio del Proyecto Administrativo de la Práctica de Especialidad .....	52
4.12 Recomendaciones.....	53
5. Análisis de Vibraciones en Cajas Multiplicadoras y Generadores, aplicado a fallas en rodamientos y engranajes en Generadores Eólicos Neg Micon NM 750. ....	54
5.1 Definición del Problema .....	54
5.2 Aislamiento de Señales externas a los elementos por analizar .....	55
5.3 Análisis de Vibraciones en la Caja .....	55
5.3.1 El Problema de Analizar Vibraciones en cajas. ....	55
5.3.2 Información adquirida. Verificación, estudio y consecución de datos restantes. ....	56
5.3.3. Selección de puntos en la caja.....	58
5.4 Análisis de Vibraciones en los Generadores.....	59
5.4.1 El Problema de Analizar Vibraciones en Generadores .....	59
5.4.2 Presentación de los datos de vibraciones para el Generador Elin.....	59
5.4.3. Selección de puntos.....	60
5.5. Selección de tipos de medición pertinentes .....	600
5.6. Configuración final de todos los puntos en el Software Prism 4 .....	61
5.7 Sistema de Análisis de los datos. ....	61
5.7.1. Paso 1 del Análisis de Datos .....	61
5.7.2. Paso 2 del Análisis de Datos .....	62
5.7.3. Paso 3 del Análisis de Datos .....	62
5.8 Análisis de los datos colectados en la Caja de la Turbina 1 .....	62
5.9 Conclusiones sobre la Turbina 1 .....	63
5.10 Sobre el estudio de vibraciones a 1210 rpm. ....	63
5.11 Análisis costo-beneficio del Análisis de Vibraciones.....	64
5.12 Conclusiones y recomendaciones .....	65
6. Programa de implementación de un Historiador de datos en los Aerogeneradores por medio de PLCs de comunicación.....	66
6.1. Definición del problema.....	66
6.2 Objetivos del Proyecto .....	69
6.3 Etapas en el desarrollo del Proyecto .....	70
6.3.1. Primera etapa de implementación.....	70
6.3.2. Segunda etapa de implementación.....	71
6.3.3. Tercera etapa de implementación .....	72
6.3.4. Cuarta etapa de implementación.....	72
6.4. Resultados de la primera etapa de desarrollo del proyecto. ....	72
6.4.1 Información técnica de programación del PLC .....	72
6.4.2. Información sobre el dispositivo TAC 84c .....	73
6.4.3. Conexión de la tarjeta de comunicación FX <sub>1N</sub> - 485 BD .....	74

6.4.4. Propuesta de diagrama escalera para comunicar el TAC 84c por RS-485. ....	74
6.4.5. Diagrama escalera para comunicar el sensor de RPM .....	75
6.4.6. Propuesta de sensor de nivel de aceite .....	75
6.4.7. Propuesta de sensor de flujo de aceite .....	76
6.4.8. Cotización de PLC Mitsubishi FX <sub>1N</sub> -485 DB, con dispositivos de entradas analógicas, Módulo Modbus y tarjeta de comunicación RS 485. ....	77
6.4.9. Despliegue de datos en pantalla .....	78
6.5. Análisis de Costos del Proyecto .....	78
6.6. Conclusiones .....	79
6.7 Recomendaciones.....	79
7. Fuentes de información.....	80
8. ANEXOS.....	82
Anexo 1: Codificación del Parque .....	83
Anexo 2: Codificación de las partes de la Turbina y equipos a mantener .....	84
Anexo 3: Esquemas de la Máquina.....	85
Anexo 4: Manuales de Mantenimiento .....	85
Anexo 5: Inspecciones .....	108
Anexo 6: Gantt para el año 2004 .....	135
Anexo 7: Flujo gramas frente a Alarmas .....	136
Anexo 8: Reporte mensual de Fallas .....	137
Anexo 9: Reporte de Mano de obra directa .....	138
Anexo 10: Formato de pagos y compras.....	139
Anexo 11: Imágenes de la máquina .....	140
Anexo 12: Tendencia de Valores Globales de Vibración.....	141
Anexo 13: Hoja de Análisis de Valores Globales.....	142
Anexo 14: Hoja de Análisis de Espectros .....	143
Anexo 15: Ejemplo de Análisis para la Turbina 9 .....	144
Anexo 16: Ejemplo de Análisis de Espectros .....	145
Anexo 17: Ejemplo de Análisis para la Turbina 1 .....	146
Anexo 18: Ejemplo de Análisis de Espectros .....	147
para la Turbina 1 .....	147
Anexo 19: Información sobre Vibraciones en la Caja Multiplicadora Flender PEAC 4300.4 proporcionada por Flender .....	148
Anexo 20: Frecuencias de Falla en los rodamientos de la Caja Multiplicadora .....	149
Anexo 21: Frecuencias de Falla en los engranes de la caja multiplicadora .....	153
Anexo 22: Puntos de medición de vibraciones en la caja, señalamiento y codificación de rodamientos .....	154
Anexo 23: Frecuencia de giro en los piñones de la caja por el Método Analítico de Tabulación. .....	155
Anexo 24: Muestra de Cálculo de las frecuencias de los Rodamientos Traseros y Delanteros del Generador .....	157
Anexo 25: Frecuencias de falla del Rodamiento Trasero y Delantero del Generador.....	158
Anexo 26: Puntos de medición de vibraciones en el Generador .....	159
Anexo 27: Configuración de las mediciones de Velocidad .....	160
Anexo 28: Configuración de las mediciones de Enveloping .....	161

Anexo 29: Configuración de las mediciones de Aceleración .....	162
Anexo 30: Cálculo de la vida nominal del rodamiento del generador.....	163
Anexo 31: Cotización de Electricidad Americana sobre el software del Proyecto del Historiador de datos .....	164
Anexo 32: Manuales digitales para la conexión y programación del PLC Mitsubishi FX <sub>1N</sub> y sus dispositivos. ....	165
Anexo 33: Información sobre sensores y dispositivos por comunicar .....	166
Anexo 34: Diagrama de escalera del sensor de RPM .....	167
Anexo 35: Información técnica del aceite de la caja .....	168
Anexo 36: Diagrama de instalación del sensor de nivel buscado .....	169
Anexo 37: Información sobre el sensor de flujo Hydac .....	170
Anexo 38: Información Técnica y enlaces a catálogos y documentos electrónicos .....	171

## Índice de Tablas y Figuras

	Página
Tabla: 2.1.3.1. Tabla de severidad para valores de Enveloping y diversas aplicaciones.	21
Tabla 2.1.3.2. Tabla de severidad en los Valores Globales para velocidad de la Norma ISO 2374.	26
Tabla A.1.1. Codificación del Parque	83
Tabla A.2.1. Codificación de partes de la Turbina y equipos	84
Tabla A.4.1. Manual de Mantenimiento del Generador	86
Tabla A.4.2. Manual de Mantenimiento del Freno de Disco	88
Tabla A.4.3. Manual de Mantenimiento de la Caja	90
Tabla A.4.4. Manual de Mantenimiento del Freno Aerodinámico y Rotor	92
Tabla A.4.5. Manual de Mantenimiento de la Torre	96
Tabla A.4.6. Manual de Mantenimiento de la Transmisión	98
Tabla A.4.7. Manual de Mantenimiento del Sistema de Orientación	99
Tabla A.4.8. Manual de Mantenimiento del panel de control y sensores	101
Tabla A.4.9. Manual de la Subestación y la Malla de Tierra	104
Tabla A.4.10. Manual de Mantenimiento de los Transformadores	105
Tabla A.4.11. Manual de Mantenimiento de la Torre	107
Tabla A.5.1. Hojas de inspección Generador B, C, EX	108
Tabla A.5.2. Hoja de inspección Freno de Disco B, C, Ex	111
Tabla A.5.3. Hoja de inspección de la Caja Multiplicadora B, C, Ex	114



Tabla A.5.4.	Hoja de inspección Rotor, Estación, Tip, Aspa B, C, Ex	117
Tabla A.5.5.	Hoja de inspección de la torre B, C, Ex	120
Tabla A.5.6.	Hoja de inspección Transmisión B, C	123
Tabla A.5.7.	Hoja de inspección de Guiñada B, C, Ex	125
Tabla A.5.8.	Hoja de inspección de paneles de control y sensores B, C, Ex.	128
Tabla A.5.8.	Hoja de inspección de paneles de control y sensores B, C, Ex.	129
Tabla A.5.9.	Hoja de inspección Subestación y malla de tierra Ex.	131
Tabla A.5.10.	Hoja de inspección de Transformadores Ex.	132
Tabla A.5.11.	Hoja de inspección de la Torre de Meteorología Ex.	133
Tabla A.5.12.	Hoja de inspección de inspecciones generales B.	134
Tabla A.13.1.	Hoja de análisis de Valores Globales.	142
Tabla A.14.1.	Hoja de análisis de Espectros	143
Tabla A.15.1.	Análisis para turbina 9.	144
Tabla A.16.1.	Análisis de espectros de Turbina 9	145
Tabla A.17.1.	Análisis de turbina 1	146
Tabla A.18.1.	Análisis de espectros para turbina 1	147
Tabla A.20.1.	Velocidad y frecuencia de rotación de salida	149
Tabla A.20.2.	Rodamientos en el eje del engrane helicoidal (NJ 2224 EC/C3) (D, G)	149
Tabla A.20.3.	Rodamientos del eje del Engrane Sol del Sistema Planetario (SL 182960-INA) (I)	149

Tabla A.20.4.	Rodamientos del Engrane Sol del Sistema Planetario (SL181860-INA) (H)	150
Tabla A.20.5.	Rodamientos en los ejes de los Planetarios (24132CC/C3) (B)	150
Tabla A.20.6.	Rodamiento en la salida de la caja del lado del generador (22226 EC3) (F)	151
Tabla A.20.7.	Rodamiento de salida de la caja del lado del generador (NJ 2224 E3/C3) (E)	151
Tabla A.20.8.	Rodamiento en la entrada de la caja (SL 181868-INA) (A)	152
Tabla A.20.9.	Rodamiento en la entrada de la caja (SL 181892-INA) (C)	152
Tabla A.21.1.	Engranajes de la caja en las diferentes etapas	153
----		
Tabla A.23.1.	Tabla de cálculos por el método de Tabulación	156
Tabla A.23.2.	Tabla de velocidades y frecuencias de los ejes de la Caja Multiplicadora	156
Tabla A.24.1.	Tabla de datos de los rodamientos del generador	157
Tabla A.24.2.	Frecuencias de falla en el generador	157
Tabla A.25.1.	Marca y designación de los rodamientos del generador	158
Tabla A.25.2.	Velocidad y frecuencia del generador	158
Tabla A.25.3.	Frecuencias de falla en la Caja Multiplicadora	158
Tabla A.27.1.	Configuración de las mediciones de velocidad	160
Tabla A.28.1.	Configuración de las mediciones de Enveloping	161
Tabla A.29.1.	Configuración de las mediciones de Aceleración	162
Tabla A.38.1.	Enlaces a documentos electrónicos	171
Figura 2.1.3.1	Evolución de la falla: Vibración vs Tiempo	19
Figura 2.1.3.2	Análisis de armónicos en bajas y altas frecuencias	23

Figura 2.1.3.3	Etapas en la evolución de una falla	24
Figura 2.1.3.4	Cascada de espectros de vibraciones	25
Figura 3.2.1.	Organigrama de Aeroenergía S.A.	37
Figura 6.4.2.1.	Comunicación RS-485 del TAC 84c	73
Figura 6.4.3.1.	Conexión de la tarjeta de comunicación 485 en el PLC	74
Figura A.22.1	Puntos de medición en la Caja Multiplicadora	154
Figura A.23.1.	Distribución interna de la Caja Multiplicadora	155
Figura A.26.1	Puntos de medición en el Generador Elin	159
Figura A.34.1	Diagrama escalera para control del RPM	167

## **Glosario para términos provenientes del idioma Inglés**

Enveloping: Traducido por SKF como Envolver. Técnica matemática de análisis

SEE: Spectral Emitted Energy o Energía Espectral Emitida. Técnica de análisis.

HFD: High Frequency Detection. Detección de Altas Frecuencias. Técnica de análisis.

FFT: Fast Fourier Transform. Transformada Rápida de Fourier. Función Matemática.

Trafo: Abreviatura de Transformador en inglés.

Tip: Punta móvil del aspa.

Slip Ring: Anillos deslizantes. Dispositivo de transmisión de señales eléctricas.

Nylon: Material de los conos en las aspas.

Coolant: Anticongelante. Líquido que mejora las propiedades del agua.

OPC: OLE for Process Control. Norma para dispositivos de control de procesos.

PLC: Programmable Logic Controller. Controlador Lógico Programable.

RCM: Reliability Centered Maintenance. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

TPM: Total Productive Maintenance. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Buffer: Lugar de la memoria RAM.

Send: Función de enviar información.

Receive: Función de recibir información.

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis. Análisis de Modos de Falla y Efectos.

Impeller: Impulsor.

Bearing: Rodamiento.

Service: Servicio de inspecciones de mantenimiento.

Sensar: Percibir un fenómeno y representarlo por medio de una señal.

## 1. Resumen

Este resumen presenta los tres innovadores proyectos realizados en la Planta Eólica Aeroenergía S.A. durante el primer semestre del año 2004.

El proyecto administrativo plantea el problema y una solución al complejo Mantenimiento Preventivo para este tipo particular de tecnología. Los rasgos principales del Mantenimiento Preventivo como la codificación, los manuales, las inspecciones y la planificación se conservan. No obstante, el documento se complementa con procedimientos o diagramas de flujo para control de alarmas, con diagramas de las máquinas y también con una gran recopilación de información digital básica para el mantenimiento ágil del parque, obtenida a lo largo de la investigación.

El proyecto de Análisis de Vibraciones en Cajas Multiplicadoras y Generadores, aplicados a fallas en rodamientos y engranajes representó un reto en la búsqueda de información y el análisis de los sistemas. El objetivo del Plan fue lograr un sistema de Análisis de Vibraciones completo y lo más simple posible para este tipo de máquina en particular. En él se realizan análisis y cálculos para estimar el comportamiento de las vibraciones en los sistemas de cajas planetarias y en los generadores de Aeroenergía S.A. A lo largo del estudio se hace uso de información producto de la persistencia y meses de indagación. El proyecto detalla desde la configuración de las mediciones y rutas para la toma de datos hasta las particularidades matemáticas. El resultado es una metodología única que contempla todas las etapas del Análisis de Vibraciones y plantea los próximos pasos a seguir en estas técnicas predictivas. Por otro lado, por su impacto directo en la operación, el mantenimiento y la gestión del equipo resulta fácil de justificar económicamente.

La gran ventaja del análisis de vibraciones en turbinas eólicas es que refleja el estado real de la máquina de manera bastante fidedigna y permite intervenciones en el momento mismo en que los datos se analizan sin esperar a que los activos se deterioren; tarea imposible de realizar por otros medios de diagnóstico.

Como tercer proyecto se presenta la primera de cuatro fases de desarrollo de un Historiador de datos de proceso en los Aerogeneradores por medio de PLCs de comunicación serial 485. En él se seleccionan sensores y dispositivos para ampliar el rango de acción de las alarmas existentes y lograr la comunicación y almacenamiento de sus datos de manera permanente.

De esta forma, los tres proyectos versan sobre aspectos esenciales de los sistemas eólicos y por ello implican un hito en el manejo del parque como totalidad. Con la conclusión de la práctica, se espera la continuidad de los proyectos por parte de la administración de Aeroenergía S.A. por el valor que encierran para la empresa.

## **2. Introducción**

A continuación, se expone conceptos básicos para la comprensión del presente documento.

### ***2.1. Tendencias del Mantenimiento<sup>1</sup>***

Por “Mantenimiento de Máquinas” debe entenderse el conjunto de acciones destinadas a conservar o llevar de nuevo el equipo a su funcionamiento óptimo, bajo ciertos estándares de operación y seguridad.

#### **2.1.1 El Mantenimiento Correctivo**

El primero de los paradigmas de Mantenimiento consiste en dejar que la máquina falle para intervenirla. El Mantenimiento Correctivo es y ha sido funcional cuando la producción no es un aspecto apremiante, cuando los costos ocasionados por dar otro tipo de mantenimiento a la máquina son más elevados que dejarla fallar o cuando no tiene sentido darle otro tipo de mantenimiento. Por ello, el Mantenimiento Correctivo ofrece como ventajas una inversión mínima y relativamente pocos gastos administrativos. No obstante, este paradigma acarrea gastos elevados por destrucción y deterioro de partes de la máquina, pérdidas que no se pueden enmendar en la producción y una gran cantidad de repuestos en bodega. Incluso, por la premura de reanudar el funcionamiento de la máquina, la máquina recibe muchas veces una solución temporal e indeseable para resolver su problema.

---

<sup>1</sup> Todo este apartado se basa en la información detallada en: “Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF” y “Folleto del curso de Administración del Mantenimiento I”.

### **2.1.2 El Mantenimiento Preventivo**

El Mantenimiento Preventivo nació por la necesidad de mejorar los resultados del paradigma de Mantenimiento Correctivo.

Con el Preventivo, las empresas decidieron no dejar que las máquinas fallaran y se propusieron minimizar los paros imprevistos y sus elevados costos. Dentro de las acciones por tomar en un Preventivo, están las de estudiar las máquinas, hacer inspecciones para verificar su condición, probar las máquinas, hacer ajustes y estudiar los momentos óptimos para el cambio de piezas que están prontas a fallar. Este paradigma mejoró considerablemente los resultados del anterior sistema pero también tenía implícitas ciertas desventajas. El Mantenimiento Preventivo se popularizó porque las máquinas fallaban menos, operaban en mejores condiciones y porque los operadores y técnicos utilizaban herramientas administrativas útiles para obtener experiencia y mejores resultados. Sin embargo, pronto se descubrió que en las rutinas de mantenimiento se cambiaba piezas que aún contaban con una vida útil considerable; que muchas catástrofes no eran evitables sólo con los criterios de Prevención; que los gastos por cambios innecesarios de piezas aumentaron y que las empresas estaban lejos de lograr que sus máquinas no fallaran. Estas necesidades no satisfechas darán cabida a los siguientes paradigmas de mantenimiento.

Cuando se habla de Mantenimiento Preventivo se habla de documentación. Entre los documentos usuales está la "Orden de Trabajo", el "Historial de la máquina", el "Reporte de fallas", el "Cálculo de los valores de funcionamiento global", los "Reportes de mano de obra directa", la "Solicitud de compra de repuestos, materiales y herramientas", el "Informe de movimiento de los repuestos en bodega" y la "Solicitud de salida de repuestos y materiales de la Bodega".



Por eso, cuando se diseña un Programa de Mantenimiento Preventivo intervienen varios aspectos para lograr una propuesta específica para el sitio. En un Programa Preventivo se seleccionan las máquinas que entrarán dentro del mantenimiento, se valora su deterioro, se busca información técnica sobre la máquina, se codifica, se define los parámetros de funcionamiento global, se define los objetivos del Programa de Mantenimiento Preventivo y se hace divisiones de las máquinas en Partes y SubPartes. Además, se elabora un Manual de Mantenimiento Preventivo, se determina los repuestos necesarios para las inspecciones diseñadas, se calcula la disponibilidad de mano de obra para el mantenimiento y se procede a programar las inspecciones con fechas bajo el esquema de Gantt.

Eso explica porqué dentro del esquema básico del manual de mantenimiento se observa información sobre la codificación, la descripción, la frecuencia de las inspecciones, el tiempo de duración, el tipo de acción propuesta y la cantidad de técnicos necesarios para una inspección determinada.

Pese a sus desventajas, el Mantenimiento Preventivo es aún hoy una tendencia muy utilizada dados su facilidad de aplicación y relativo bajo costo.

### **2.1.3 El Mantenimiento Predictivo**

A raíz de necesidades más imperantes en las empresas, celosas de la producción y las soluciones rápidas para los problemas, han surgido nuevos paradigmas de Mantenimiento, como el Mantenimiento Predictivo, el TPM, el RCM, el RCM 2, el Mantenimiento de Precisión y otros que resultan aplicables en empresas con una gran cantidad de máquinas, muchas actividades de mantenimiento y producción, un manejo de personal considerable, y un alto volumen de decisiones y coordinación.

El Mantenimiento Predictivo o “a Condición” pretende usar nuevas tecnologías para determinar la situación actual del equipo, monitorear su condición a lo largo del tiempo y lograr la detección de fallas e intervenciones en el momento justo en que deben realizarse por medio de la corrección de la raíz del problema. Lo usual dentro del Mantenimiento Predictivo es el Análisis de Vibraciones, las Termografías, el Análisis de aceite, los Ultrasonidos, los Rayos X y los Líquidos penetrantes, entre otros. Por medio de estas herramientas ingenieriles se pretende entender el funcionamiento de las máquinas y responder a preguntas básicas: el cómo, cuándo y porqué fallarán. Las desventajas que presentan las técnicas predictivas en general son: el alto costo inicial del equipo, lo indispensable de la capacitación del personal y, finalmente, el tiempo y la experiencia necesarias para que los resultados se tornen tangibles.

El Análisis de Vibraciones para rodamientos y engranajes fue inventado por la empresa SKF con el objetivo de obtener una herramienta de detección de problemas en máquinas rotativas. Los problemas detectables por medio del Análisis de Vibraciones son los de Soltura mecánica, Desbalance, Desalineación, Eje Torcido, Soltura de cojinetes, Fallas en la pista interior, en la pista exterior, en la canasta o en los elementos rodantes de los rodamientos, Fallas en los sistemas de engrane y Problemas de lubricación principalmente.

Para lograrlo, se vale de diversos tipos de instrumentos y métodos de análisis numéricos que toman las señales de vibración, las convierten en señales de Transformada Rápida de Fourier (FFT o Fast Fourier Transform) y usualmente despliegan resultados en forma de frecuencias y amplitudes de vibración de las que se vale el analizador de vibraciones para obtener un diagnóstico. La evolución de las fallas en las máquinas rotativas a partir del Análisis de Vibraciones inician de manera acústica e indetectable para el oído humano, luego continúa en forma de vibración y termina en forma de ruido hasta que la falla ocurre. Este comportamiento se muestra en la figura 2.1.3.1.

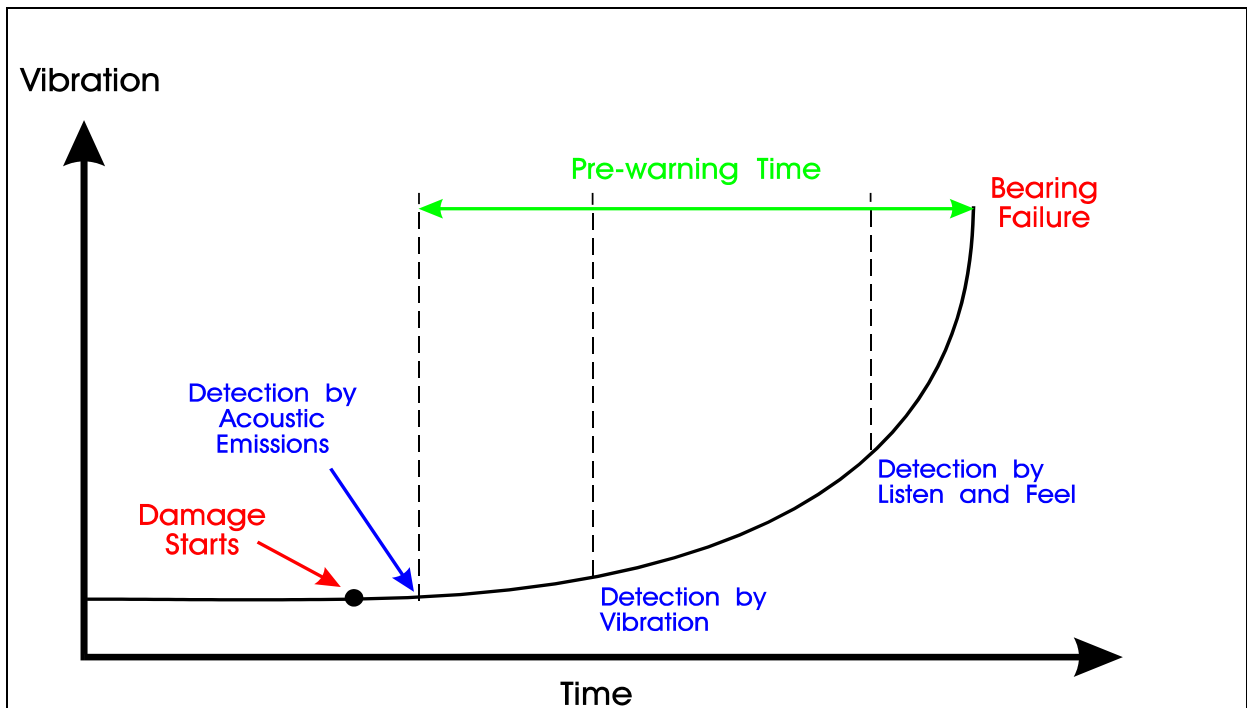


Figura 2.1.3.1. Evolución de la falla: Vibración vs Tiempo<sup>2</sup>

Para determinar la gravedad de las amplitudes para cada tipo de problema, el analizador debe recurrir a la Norma 2372 y a los estándares del fabricante. Si el personal de la planta no conoce los datos del fabricante debe al menos saber las velocidades de giro de los elementos. Debe conocer el tipo de rodamiento, el número de dientes de los engranajes y el número de aspas de las turbinas, para que por medio de ecuaciones y modelos matemáticos se pueda llegar a las frecuencias de falla.

Las ecuaciones simplificadas para encontrar las frecuencias de falla de los rodamientos por ejemplo, son los siguientes<sup>3</sup>:

- a.  $F_i = \text{BPFI (problemas en la pista Interior)} = 0.6 (fr) (n)$
- b.  $F_e = \text{BPFO (problemas en la pista exterior)} = 0.4 (fr) (n)$
- c.  $F_b = \text{BSF (Problemas en los roles)} = (dm/(2d)) (fr) (1 - (d/dm)^2 (\cos^2 \beta))$

<sup>2</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

<sup>3</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

$$d. F_t = FTF \text{ (Problemas en la canasta)} = (fr/2) (1 - (d / d_m) (\cos \beta)),$$

$f_r$  es la frecuencia de giro del rodamiento,  $n$  es el número de esferas por rodamiento,  $d_m$  es el diámetro del rodamiento de centro a centro de las esferas,  $d$  es el diámetro de la pista interna y  $\beta$  es el ángulo de ataque del rodamiento.

Las frecuencias de falla de los engranes o de las turbinas en general (i.e. ventiladores) se obtienen de la multiplicación de la frecuencia de giro de los engranes por el número de dientes o aspas. En las cajas de transmisión es necesario saber la configuración de las ruedas, el número de dientes y la velocidad de cada rueda, así como el tipo de rodamiento que utilizan los ejes para poder determinar los datos básicos para el análisis.

Los parámetros más comunes por considerar son el Desplazamiento, Velocidad, Aceleración, la fase, el Enveloping, el SEE (Spectral Emitted Energy) y el HFD (High Frequency Detection). Las señales de desplazamiento son utilizadas cuando las velocidades de rotación son bajas o cuando el movimiento de la máquina es indeseable. Para problemas en bajas frecuencias, como es el caso de la Soltura mecánica, el Desbalance, la Desalineación, el Eje Torcido y la Soltura de cojinetes, se utiliza la lectura de velocidad y la referencia de fase. Los problemas de alta frecuencia (como los problemas en engranajes, aspas y rodamientos), son detectados por medio de análisis de aceleración y para ello no es necesario tomar la referencia de fase.

La señal de Enveloping se obtiene de la manipulación de la señal de FFT. Una vez que la señal de la Transformada de Fourier se realiza, el colector de datos registra las señales de las armónicas de las frecuencias más significativas y las suma. Esto aumenta la amplitud original de la señal. De esta forma, la señal de Enveloping muestra picos que son producto de la señal principal original más las armónicas de esa misma señal. Esta técnica es utilizada por su efectividad en la detección de fallas en sus etapas más tempranas. Al ver el espectro, el analizador sabrá discernir fácilmente a cuáles frecuencias debe prestar atención y buscará a qué problema se refieren esas frecuencias.

A continuación se presenta una tabla de severidad para mediciones en Enveloping y diversas aplicaciones.

**Tabla: 2.1.3.1.** Tabla de severidad para valores de Enveloping y diversas aplicaciones<sup>4</sup>

SEVERIDAD		DIAMETRO DEL EJE (m m) / VELOCIDAD (rpm)		
F m a x 500 H z	1000 H z	Ø 200 a 500 m m < 500 rpm	Ø 50 a 300 m m 500 a 1800 rpm	Ø 20 a 150 1800 a 3600 rpm
0,075	0,1	BUENO	BUENO	BUENO
0,35	0,5	-----	-----	-----
0,55	0,75	SATISFACTORIO	-----	-----
0,75	1	-----	SATISFACTORIO	-----
1,5	2	-----	ALERTA	SATISFACTORIO
3,5	4	-----	-----	-----
7,5	10	NO ADMISIBLE	-----	ALERTA
			NO ADMISIBLE	NO ADMISIBLE

<sup>4</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

El SEE es una técnica especial para detección de problemas de lubricación o de inicio de problemas en cojinetes. El SEE registra muy altas frecuencias y tiene como resultado un número que engloba la energía emitida en un rango del espectro de FFT. Con estos datos se puede identificar una lubricación insuficiente, la contaminación del fluido o el comienzo de un defecto en el rodamiento. El HFD es un número global producto del análisis de las vibraciones en un rango de altas frecuencias y bajas amplitudes. El uso del HFD es especial para corroborar la tendencia de un rodamiento a fallar pero no indica nada acerca de las causas de la falla.

Los sensores más usados son los de aceleración, pues por medio de ellos el analizador de vibraciones puede integrar la señal y obtener las lecturas de velocidad; también puede obtener la señal de Enveloping, principalmente. Los acelerómetros funcionan por el efecto piezoeléctrico, muchos de ellos son aptos para alta temperatura y requieren de dispositivos electrónicos para producir su señal.

El análisis de los espectros implica no solo la identificación de frecuencias puntuales, sino también la interpretación de las frecuencias de los armónicos múltiples de las frecuencias de falla, en bajas y altas frecuencias. Como se muestra en la Figura 2.1.3.2, el determinar que una falla está presente implica la existencia de armónicos de la frecuencia de la falla.

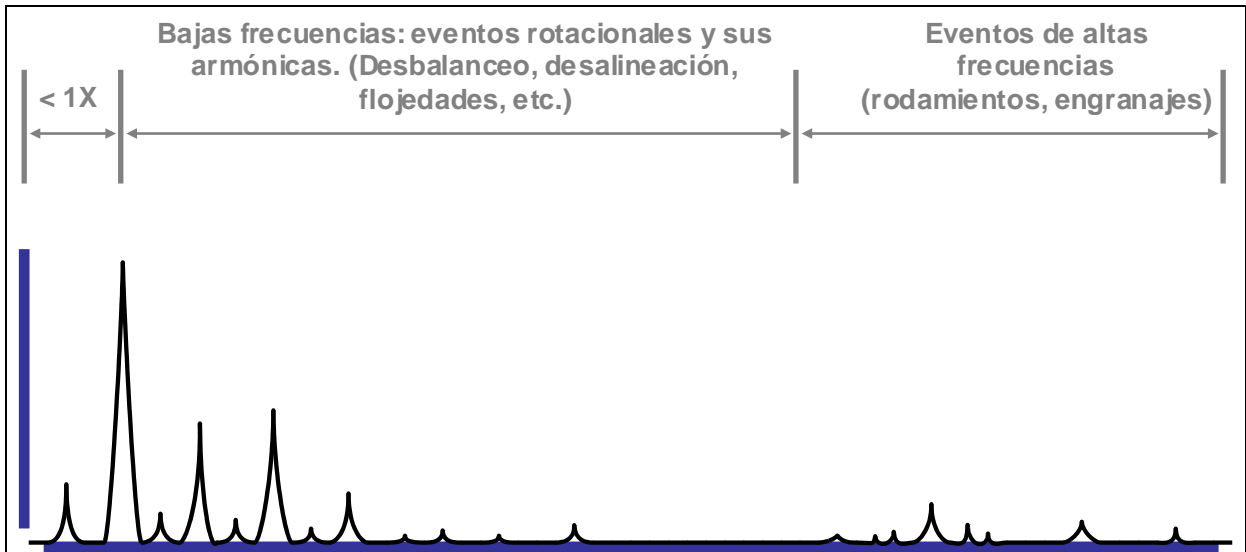


Figura 2.1.3.2 Análisis de armónicos en bajas y altas frecuencias<sup>5</sup>

Las fallas evolucionan por etapas. En la primera etapa no existen mayores amplitudes en la frecuencia de falla ni en sus armónicas. En la segunda etapa las armónicas de la frecuencia de falla aparecen. En una tercera etapa aparecen defectos en las frecuencias de falla. Y finalmente, aparecen bandas laterales en las armónicas y en las frecuencias de falla. Estas etapas pueden ser vistas en la figura Figura 2.1.3.3.

<sup>5</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

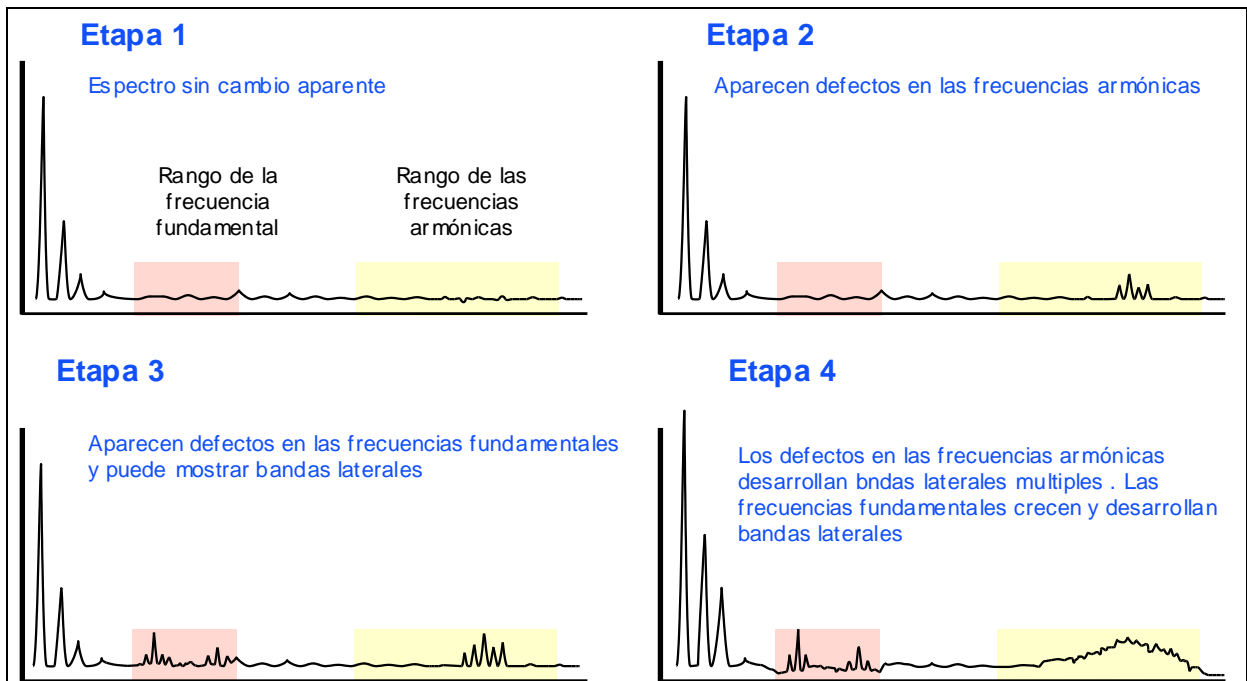


Figura 2.1.3.3 Etapas en la evolución de una falla<sup>6</sup>

Si se considera estos aspectos, además de contar con la experiencia y con las recomendaciones del fabricante, el personal de vibraciones puede iniciar su monitoreo.

Una de las formas más comunes de hacer monitoreo de vibraciones consiste en visualizar los registros de vibraciones de diferentes días desplegadas bajo una misma línea de coordenadas o en forma de cascada. De esta manera, el analizador de vibraciones percibe los cambios y el nacimiento de fallas en sus etapas tempranas tal y como se observa en la Figura 2.1.3.4.

<sup>6</sup> Tomado de “Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF”.



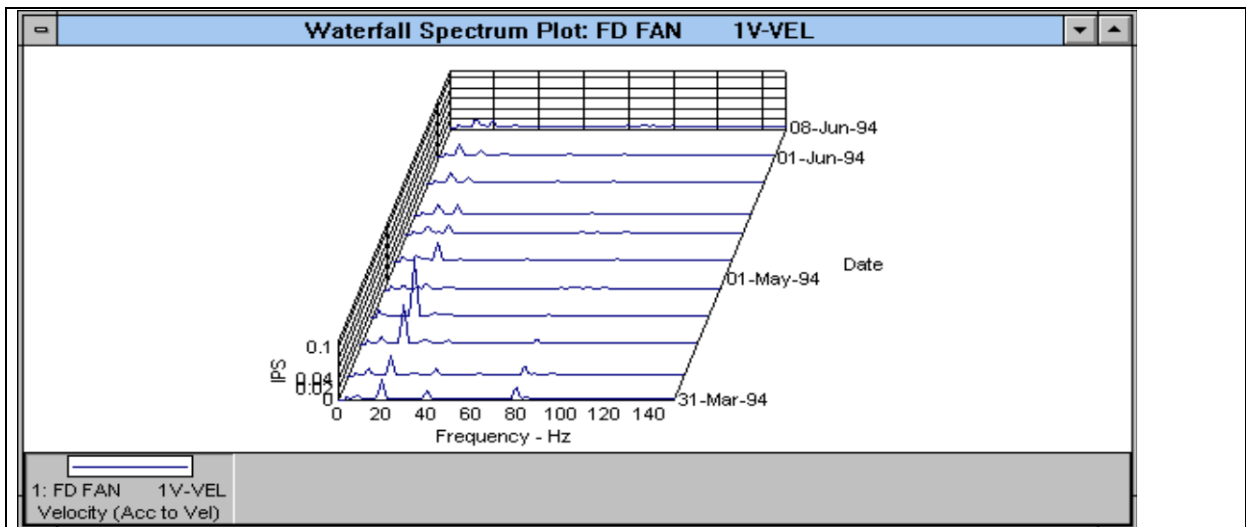


Figura 2.1.3.4 Cascada de espectros de vibraciones<sup>7</sup>

Una forma de reconocer la gravedad de la condición de un punto cualquiera en la máquina, sin saber la causa y el porqué, es el monitoreo de los Valores de Tendencia Global en Velocidad cuya normativa es la ISO 2372 de la Figura 2.1.3.6.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

<sup>8</sup> Un Hp equivale a 746 W.

**Tabla 2.1.3.2** Tabla de severidad en los Valores Globales para velocidad de la Norma ISO 2374<sup>9</sup>

Vibration Severity Range Limits (Velocity) From ISO 2372		Vibration Severity Ranges for Machines Belonging to:					
In/Sec (PK)	MM/Sec (RMS)	Class I < 20 HP	Class II 20-100 HP	Class III > 100 HP	Class IV > 100 HP		
0.015	0.28	A	A	A	A (Good)		
0.025	0.45						
0.039	0.71	B	B	B			
0.062	1.12						
0.099	1.80	C	C	C	B (Allowable)		
0.154	2.80						
0.248	4.50	D	D	C	C (Tolerable)		
0.392	7.10						
0.617	11.2			D	D	D	D (Not Permissible)
0.993	18.0						
1.540	28.0						
2.480	45.0						
3.940	71.0						

**A: Good**  
**B: Allowable**  
**C: Tolerable**  
**D: Not Permissible**

**Suggested Classifications:**

Class I: Small (up to 15kW) machines and subassemblies of larger machines.

Class II: Medium size (15kW to 75kW) machines without special foundations, or machines up to 300kW rigidly mounted on special foundations.

Class III: Large rotating machines rigidly mounted on foundations which are stiff in the direction of vibration measurement.

Class IV: Large rotating machines mounted on foundations which are flexible in the direction of vibration measurement.

<sup>9</sup> Tomado de "Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF".

#### **2.1.4 El Mantenimiento de Precisión**

Según la tendencia, se espera que el siguiente paradigma dentro de las filosofías del mantenimiento sea el Mantenimiento de Precisión. Basado en el Mantenimiento Correctivo, el Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento de Precisión trataría de que cuando se realice un trabajo de reparación, la máquina quede en las mejores condiciones posibles. Ello implica una ardua tarea de entrenamiento en herramientas y refacciones de calidad, calibración, balanceo y alineación de máquinas. Por los altos costos y la complejidad de este mantenimiento se espera que sea exitoso en áreas donde la expectativa de fallos sea mínima y donde el valor de la maquinaria sea elevado lo suficiente como para deteriorar el equipo con un mal mantenimiento.

#### **2.1.5 El Mantenimiento Programado**

El Mantenimiento Programado es un tipo de mantenimiento circunstancial que resuelve problemas de manera programada fuera del Mantenimiento Preventivo. Estas tareas surgen de la toma de conciencia sobre problemas, nace de incidentes recientes, de la realización rutinaria del mantenimiento preventivo, de la necesidad de modificar parámetros en las máquinas, de la avería y cambio de una máquina o de alguna actividad inconclusa en las rutinas de mantenimiento preventivo. Dentro de un Plan de Mantenimiento Preventivo debe dejarse el tiempo suficiente para poder realizar Mantenimiento Programado. Los Aerogeneradores implican una gran cantidad de Mantenimiento Programado. Así, en un mismo parque un problema que se encuentra en una máquina tiende a hacerse presente inmediatamente en el resto del parque y por ello deben programarse acciones correctivas de forma pronta.

### **2.1.6. El TPM, el RCM y el RCM 2**

El TPM, el RCM y RCM 2 son técnicas que implementan las filosofías fundamentales del Mantenimiento (Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo y de Precisión) basadas principalmente en la toma de decisiones y en el personal.

El objetivo del TPM (Total Productive Maintenance) o Mantenimiento Productivo Total es centrarse en aquellas funciones que permitan preservar el funcionamiento de los equipos bajo estándares de operación deseables. Por ello se apuesta a equipos de trabajo altamente capacitado (Empowerment) que puedan tomar decisiones por sí mismos (Mantenimiento Autónomo) mediante un esquema de organización horizontal donde la solución de los problemas sea definida en una acción conjunta. El TPM busca, a su vez, la simplificación de las metas, el entendimiento de las máquinas, el trabajo conjunto con el área de producción, la implementación de procedimientos, el aprovechamiento de la sinergia y la motivación del personal, y el mejoramiento continuo. Por ello se dice que el TPM impacta principalmente en la cultura de la empresa. El éxito del TPM se ha mostrado en empresas donde la coordinación entre Producción y Mantenimiento es fuerte así como donde la producción y el manejo del personal puede resultar complejo.

El RCM y el RCM2 (Reliability Centered Maintenance) o Mantenimientos Centrados en la Confiabilidad Operacional son tendencias de gestión que pretenden la optimización de la confiabilidad operacional de las máquinas seleccionadas por parte del equipo de trabajo mediante la meditación y la programación de las medidas más adecuadas. Valora la criticidad y prioridad de cada activo en relación con cómo afecta la producción y cómo atenta contra la seguridad y el ambiente. Ambos utilizan los FMEAs (Failure Mode and Effect Analysis) o Análisis de Modos y Efectos de Falla para deducir las mejores acciones por tomar. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se ha mostrado efectivo en procesos complejos en los que la solución de las fallas no parece obvia.

## **2.2 Los Controladores Lógicos Programables (PLC)**

### **2.2.1 Los PLCs**

Los PLCs o Controladores Lógicos Programables nacieron con la idea de reemplazar los antiguos sistemas de control basados en contactores, “relays” y demás dispositivos de naturaleza mecánica y eléctrica. No obstante, los PLC han ido más allá de ser controladores de entradas y salidas. También realizan operaciones matemáticas y comunican información por medio de redes bajo diversos protocolos de comunicación, entre otras funciones.

Los PLCs son usualmente programados por medio de Lenguaje de Escalera o Ladder. Estos lenguajes permiten obtener información rápidamente de manera visual mediante la utilización de funciones lógicas estandarizadas.

Es importante resaltar que un proyecto de automatización o comunicación por medio de PLCs difícilmente puede iniciarse sin haber elegido un controlador, pues cada marca ofrece diferentes formas de programar y diferentes funciones.

### **2.2.2 Conceptos fundamentales de la comunicación electrónica**

Algunos de los conceptos principales de la comunicación son los siguientes:<sup>10</sup>

- a) Bit: Mínima unidad de medida de información con dos estados posibles.
- b) Byte: Secuencia de 8 bits
- c) Word o Palabra: Línea de bits.
- d) Protocolo de comunicación: El protocolo de comunicación es el conjunto de reglas que definen el formato y la transmisión de datos entre dispositivos electrónicos.
- e) Protocolo de Texto ASCII: Es el protocolo más sencillo y lento. La comunicación es basada en texto. Requiere de 7 bits y está contenido en campos de 8 bits.
- f) Protocolo Modbus: Protocolo de Comunicación especial para comunicación de programas de computadoras y aplicaciones de automatización.

---

<sup>10</sup> Todas estas definiciones, con la excepción de las de la comunicación Serial, fueron basadas en las definiciones de la página: [hyperdictionary.com](http://hyperdictionary.com)

- g) Puertos serial: RS-485, RS-232, RS-422: La comunicación RS-232 utiliza señales representadas por voltajes con referencia a una señal de tierra. Es utilizada para conexiones punto a punto (un dispositivo, una conexión). La comunicación RS-485 y RS-422 es parecida por su par trenzado de cables con voltajes alternados de 0 a 5 Volt. No obstante, el RS-422 usa dos pares de cables por lo que puede transmitir y recibir de punto a punto. El RS-485 funciona para comunicación multipunto, con muchos dispositivos conectados en un mismo cable bajo direccionamientos y sistemas de Esclavo y Maestro<sup>11</sup>.
- h) Baud Rate: unidad de medición de la capacidad de envío de información de un canal. Un baudio equivale a un estado por segundo.
- i) Bit de paridad: es un bit agregado a una transmisión de datos binaria con tal de identificar por medio de un 1 o un 0 si la transmisión de datos es un número "even" o "odd" (par o impar).
- j) Bit de término (Stop Bit): Una vez que todos los bit de una línea se han transmitido, se posiciona un 1 como bit de término seguido del bit de paridad. Este bit denota el fin de una unidad de información.
- k) Buffer: Lugar temporal en la memoria RAM donde los datos esperan para ser enviados a otras locaciones de memoria o a otros dispositivos.

---

<sup>11</sup> Tomado de la dirección: <http://www.hw.cz/english/docs/rs485/rs485.html>

### **2.2.3. Sensores Analógicos y Digitales**

Los sensores digitales son utilizados en casos donde existen dos estados posibles, como encendido - apagado, o presente - no presente. Ese es el caso de los sensores de RPM, los sensores de proximidad, los interruptores y demás. Lo usual es encontrar que las salidas de estos sensores son de 24 Volt.

Los sensores analógicos son utilizados para sensar parámetros que crecen o decrecen progresivamente y poseen una densidad de datos significativa. Usualmente los sensores analógicos reflejan por medio de rangos de corriente de 4 a 20 mA, estados que van desde un nivel inferior hasta un nivel superior. Las típicas mediciones analógicas son de temperatura, viento, flujo, etc.

### **2.2.4. PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub>-14MR**

La particularidad de la PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub>-14MR reside en su tarjeta de RS-485. Esta tarjeta la habilita para comunicarse vía puerto serial con otros dispositivos que también estén diseñados para comunicarse por RS-485. Además contiene una serie de funciones para manipular los datos.

Para diseñar y monitorear los programas en el PLC Mitsubishi FX, se utiliza el programa Melsec GX Developer. Este software permite acceder a las funciones, monitorear las variables, diseñar las decisiones lógicas y comunicar el PLC.



### **2.2.5. Funciones lógicas y elementos básicos del lenguaje de Escalera del PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub>- 14MR**

En el lenguaje visual de escalera el elemento principal es el contactor. El contactor se representa por dos líneas paralelas y verticales, con la letra X y un número que lo diferencia de otros contactores. Los contactores usan el mismo concepto que los interruptores: cuando son activados se cierran (eso es cierto cuando los contactores son normalmente abiertos) con lo que permiten el paso de energía entre las dos líneas de los lados del diagrama. Con las señales de entrada, los PLC toman decisiones, realizan operaciones o almacenan y transfieren información.

El otro elemento básico de los diagramas son las salidas, que son encerradas entre paréntesis y denotadas con una Y más un número que la identifica. Las salidas actúan como interruptores de elementos en el proceso real. Las salidas activan las máquinas o los dispositivos a partir de las señales y estímulos en las entradas, o a partir de decisiones en el programa del PLC.

Algunas de las funciones principales son: RST (Reset), C0 (Contador), T250 (Timer), Mov (Mover datos), Div (División de datos) y End (Fin de la programación). La función Reset sirve para volver la cuenta a cero en algunas funciones como los temporizadores, los contadores, y otros. La función del Contador es sumar la cantidad de veces que se pulsa un contactor en la entrada designada para ello. Cuando la cuenta llega a un valor determinado, se activa un contactor del contador.

Los temporizadores se parecen a los cronómetros en su función. Cuando son energizados en la entrada de disparo, los temporizadores inician la cuenta del tiempo hasta que algo la detiene.

El comando Move es utilizado para mover datos de un lugar de memoria a otro.

Los lugares de memoria se designan con la letra D más un número diferenciador. La función del comando División es la de efectuar una división de dos valores en memoria y almacenar el resultado en otro Buffer. Finalmente, la función End fuerza al PLC a reconocer la conclusión del programa. Al declarar End al final del diagrama de escalera el PLC funciona de forma más rápida que si no tuviera esa función.

### ***2.3. Explicación básica del funcionamiento de los Aerogeneradores Neg Micon NM750.***

Las turbinas eólicas Neg Micon NM750 utilizadas en Aeroenergía son sistemas con tres aspas en el rotor, sistema de freno en las puntas de las aspas (Tips), Caja multiplicadora de velocidad y un generador asincrónico. Además de esos componentes tiene sistemas de orientación con el viento para el mayor aprovechamiento de la energía, tiene un sistema de freno de disco en el rotor y cuenta con un complejo sistema de monitoreo y control de variables.

La función de la caja multiplicadora de velocidad está en el generador. El generador está conectado a la malla del ICE y por ello el campo en el estator gira a 1812 rpm aproximadamente para 4 polos. Ahora bien, las aspas por sí solas no pueden girar a 1812rpm con la simple acción del viento. Por ello debe diseñarse el sistema para que gire a una velocidad mucho menor y que esta sea incrementada en la caja multiplicadora de velocidad.

La parte superior de la turbina es llamada góndola. La góndola se sitúa a 40 metros sobre la tierra. Dentro de los aspectos de seguridad debe tomarse en cuenta que trabajar a esas alturas, con un alto nivel de vibraciones, una gran cantidad de dispositivos en movimiento, suciedad y calor, puede resultar peligroso y por ello las tareas de mantenimiento se dificultan.

## **2.4. Explicación básica del funcionamiento del Programa iHistorian y el OPC<sup>12</sup>.**

El programa “iHistorian” es un software innovador de almacenamiento de datos especial para procesos industriales. El iHistorian está en capacidad de coleccionar datos cada 1/1000 segundos. Los datos pueden ser manipulados por sistemas comunes de bases de datos como SQL. Esto proporciona una mayor practicidad a la herramienta. Con el iHistorian los datos entran provenientes del proceso hacia el servidor OPC y de allí a módulos de visualización donde ayudan al personal a tomar decisiones administrativas. Es compatible con las principales marcas de sistemas de control del mercado porque opera bajo el concepto de OPC.

OPC significa *OLE for Process Control*. Las siglas OLE representan Object Linking and Embedding (Vínculo y fijación de objetos), que es un sistema distribuido de objetos creado por Microsoft. La OPC es entonces una especificación hecha para simplificar las tareas de comunicación en la industria, a partir de sistemas de direccionamiento y compatibilidad con productos Microsoft. Así, el usuario o cliente puede conectarse a un proceso moderado por un PLC y observar los datos que le envía el servidor. Ese servidor opera como un programa en la computadora que aplica la especificación de OPC.

Además, General Electric ha concebido el programa “info Agent” con tal de poder transferir la información a diferentes computadoras y proporcionar conectividad con redes.

---

<sup>12</sup> Basado en la información de la página web: [www.softwaretoolbox.com](http://www.softwaretoolbox.com)

## ***2.5. Explicación básica del funcionamiento del programa Prism4 de SKF y el Colector de datos CMVA-55 Microlog para análisis de Vibraciones***

El programa Prism4 es utilizado por diferentes tipos de tecnologías en análisis de vibraciones de la empresa SKF. Prism4 permite diseñar las rutas de análisis de vibraciones y determinar los parámetros de cada punto. Con la ruta de mediciones lista, el personal encargado puede proceder a descargar la ruta en la máquina colectora de datos CMVA-55 Microlog y con ello tomar las señales de las máquinas.

Con los datos de las máquinas en el Microlog, el personal puede cargar los datos en la computadora y visualizar las tendencias de vibración, los espectros y los valores globales, entre otros. En ese sentido, el programa Prism4 se convierte en una herramienta de base de datos.

### 3. Reseña sobre la Planta Eólica de Aeroenergía S.A.

#### 3.1 Historia de Aeroenergía S.A.

La empresa Aeroenergía S.A. se construyó en 1994 con el propósito de co-generar energía eólica en conjunto con el ICE con el amparo de la Ley No. 7200. Esta ley ha regido la generación autónoma y paralela de energía en Costa Rica. El contrato de compra – venta con el Instituto Costarricense de Electricidad se firmó el 14 de abril de 1997.

#### 3.2 Organigrama de la empresa

Aeroenergía es una empresa pequeña con una estructura simple como se muestra en el Organigrama.

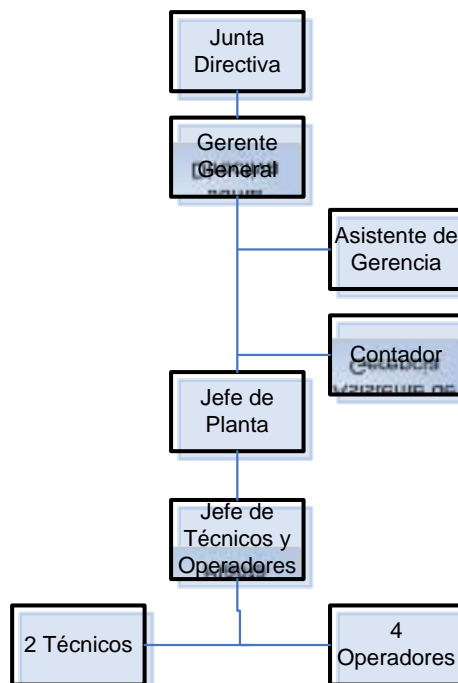


Figura 3.2.1. Organigrama de Aeroenergía S.A.

### ***3.3 Tecnología utilizada***

El diseño original de las turbinas corresponde a la M1800 NM750 de la empresa Neg Micon, con paso fijo, dos velocidades y generadores asíncronos de 1812 y 1210 rpm (de 750 y 250 kW). La máquina viene equipada con sistema de sensores y un controlador WP3000 que coordina las acciones de la turbina y dispara alarmas en caso de fallo.

Como se puede observar en los manuales de la máquina que se presentan en el Anexo 38, la máquina está equipada con un rotor, tres aspas, un eje, una caja multiplicadora, acoples y un generador. Además contempla motores y frenos de orientación lateral para hacer frente al viento en cualquier momento, y un complejo sistema de control.

## **4. Mantenimiento Preventivo aplicado a Aerogeneradores Neg Micon M1800, 750kW**

### ***4.1 Definición del problema***

Conocedores de la diferencia entre el estilo del Mantenimiento Industrial común y el Mantenimiento de Aerogeneradores, Aeroenergía S.A. aceptó el proyecto de Mantenimiento Preventivo como forma de probar con nuevas herramientas para hacer frente a las tareas diarias en la planta.

El campo de la energía eólica está aún en su etapa de desarrollo. Por eso, cada día se encuentra mejores diseños de aerogeneradores y formas de dar mantenimiento al equipo. El mantenimiento de los aerogeneradores difiere en gran medida del Mantenimiento Industrial por varios motivos. La mayoría de los componentes de la turbina se encuentra en sitios de difícil acceso, en condiciones incómodas y peligrosas. Es por ello que la estancia en el sitio debe ser la mínima y eso dificulta el acercamiento con la máquina para aprender de ella. Además limita poder asumir las tareas de mantenimiento debido a la falta del equipo adecuado para efectuar múltiples tareas.

Bajo regímenes de viento fuertes, como es el caso usual de ciertos periodos en la zona de Tilarán, Guanacaste, el acceso a la máquina no es posible e incluso las máquinas deben detenerse ante una operación insegura con vientos por encima de los 25 m/s. En esas condiciones, la máquina no volverá a iniciar su funcionamiento sino hasta que el viento se mantenga a menos de 18 m/s durante un mínimo de diez minutos.

Dadas algunas cuestiones de seguridad, lo impredecible del viento, los elevados costos de tener la máquina detenida con vientos adecuados para la producción eléctrica y lo pequeño del parque, el mantenimiento necesita de una comunicación rápida que se despliegue a todos los niveles de la empresa para la toma de una decisión determinada. La flexibilidad y eficiencia necesarias en esta aplicación hace del sistema de Órdenes de trabajo un sistema inaplicable. En cambio, la comunicación, análisis y autorización de las intervenciones se realiza por vía telefónica, vía radio-transmisor o por Internet y estos medios resultan más adecuados a un parque de 9 turbinas donde las intervenciones son poco usuales y deben ser decididas con rapidez.

Frente a dichas particularidades de los parques eólicos, el fabricante Neg Micon A/S desarrolló un tipo de mantenimiento basado en Alarmas y por inspecciones que se realizan cada 6 meses y cada 2 años, llamados Service B y C respectivamente.

El Service A corresponde a una rigurosa inspección al inicio de las operaciones del parque. Este sistema de Service tiene una naturaleza altamente preventiva y programada con aplicaciones eventuales de técnicas predictivas como el análisis de aceite y el análisis de vibraciones. Usualmente, estas inspecciones se realizan entre septiembre y octubre, o en abril, cuando los vientos son escasos y la pérdida de energía derivadas de detener las turbinas es menor.

Algunos de los documentos del Mantenimiento Preventivo que Aeroenergía mantiene al día son: el Historial de la máquina (bitácora ubicada en el Panel de Control de cada turbina), el Reporte de fallas, los Valores de funcionamiento global (Curva de potencia versus velocidad de viento), los Reportes de mano de obra directa (Informe semanal de labores), y la Solicitud de compra de repuestos, materiales y herramientas.



De los documentos usuales, el Informe de movimiento de los repuestos en bodega, o la Solicitud de salida de repuestos y materiales de la Bodega no son utilizados porque la bodega es relativamente pequeña. La experiencia de Aeroenergía muestra que no es conveniente tener muchos repuestos en bodega por lo caro de las partes, porque algunos de ellos pueden ser obtenidos en la Planta eólica Movasa y por el deterioro normal. En caso de visualizarse la necesidad de repuestos se hace una requisición a Neg Micon Dinamarca y en cuestión de días los repuestos llegan a la Planta.

Gran parte de la información de la máquina es considerada por Neg Micon A/S como confidencial. Eso obstruye la posibilidad de dar un mantenimiento certero por parte de los dueños de las máquinas.

En ese sentido, la tarea fundamental de esta práctica de especialidad es estudiar la máquina, los múltiples cambios que ha sufrido, coleccionar información de sus partes, recopilar parte de la experiencia de los encargados del mantenimiento de Aeroenergía y traducirla en el diseño y programación un Plan de Mantenimiento con su respectivo Manual de Mantenimiento, sus diagramas detallados, imágenes y sus inspecciones.

#### ***4.2 Fuentes de información***

El presente trabajo de Mantenimiento Preventivo se ha basado en la experiencia que ha dejado el quehacer de las inspecciones o Service en manos de terceros a lo largo de los años. De esta forma, ha sido difícil determinar la efectividad de las acciones que se recomiendan en las presentes inspecciones, principalmente en aquellos casos nuevos que nunca han sido probados en estas máquinas.

## **4.3 Codificación del Parque**

### **4.3.1 Codificación del Parque**

Toda codificación en la Planta Aeroenergía comienza con las letras AE. Este inicio de código es necesario para evitar problemas en una eventual ampliación del uso de este documento y su posible utilización conjunta con la Planta de Energía Eólica Movasa.

Las componentes ingenieriles principales del parque se dividen en este documento en Turbinas, Subestación, Transformadores de las turbinas, Transformador del edificio y Torres de Meteorología. Por ello, cada uno de estos componentes tiene su propio código. Las Turbinas se denotan con la letra T más el consecutivo del número con el cual están ordenados en el Parque. Ejemplo: Turbina 1: AE-T01.

La Subestación está codificada con las letras SE. Ejemplo: Subestación: AE-SE.

Los transformadores de las turbinas se denotan con el código de la turbina a la que pertenecen más la letra T. Ejemplo: Transformador de T1: AE-T01-T.

El Transformador del Edificio se denota con TE. Ejemplo: Transformador del Edificio: AE-TE.

Las Torres Meteorológicas se denotan con TM más un consecutivo. Ejemplo: Torre Meteorológica 1: TM-1. La lista completa de la codificación se muestra en el [Anexo 1](#).

### **4.3.2. Codificación de los bloques de mantenimiento**

La codificación de las partes de la turbina se ha unido con la codificación de otros elementos que no están en la turbina (como por ejemplo, la subestación). Esto tiene el fin de usar esta codificación en los Manuales de Mantenimiento y en las inspecciones.

Las diferentes partes se han designado con números y no con letras porque muchas veces es difícil encerrar en abreviaturas los conceptos que engloba un bloque de mantenimiento.

En el presente trabajo se han conformado bloques de máquinas que desde el punto de vista del mantenimiento están muy relacionadas. Ese caso se presenta con el bloque de la Estación Hidráulica, el Aspa y el Tip, en la cual la interrelación es muy significativa, pese a que los sistemas son diferentes.

La codificación puede observarse en el [Anexo 2](#).

#### ***4.4 Diagramas de la máquina***

Al inicio de la práctica, Aeroenergía poseía esquemas básicos facilitados por Neg Micon sobre máquinas similares a la M1800 (NM 750). Sin embargo, a lo largo de los años a las máquinas originales les han cambiado el generador, la caja, los sistemas de enfriamiento y algunos otros sistemas. De esta forma, los diagramas originales no correspondían más a las máquinas actuales. Por este motivo los diagramas fueron re-dibujados en Autocad con la idea de poder rotular sus componentes y facilitar el entendimiento del Programa de Mantenimiento.

Los esquemas se muestran en el [Anexo 3](#)

#### ***4.5 Diseño de la documentación***

Como se mencionó en la introducción, en Aeroenergía se llevan una serie de documentos que cumplen las funciones de la documentación básica del Mantenimiento. La explicación de los documentos es la siguiente:

##### **4.5.1. Solicitud o Orden de trabajo**

Como se indicó en la sección Definición del Problema, en Aeroenergía no se utiliza la Orden de trabajo principalmente porque los problemas de las máquinas deben ser comunicados rápidamente. En cuestión de minutos, todos en la empresa deben conocer el problema para poder encargarse de él o proponer una solución.

### **4.5.2. Historial de las Máquinas**

Neg Micon utiliza una bitácora en el Panel de Control al pie de la Turbina. En esa bitácora se explican las labores de los Service y de otras intervenciones. Esa bitácora no se pasa a una versión electrónica, sino que se deja en el papel. Sin embargo, la única información que se lleva en la bitácora de la turbina es el detalle del trabajo, la producción acumulada, la fecha, la hora y el responsable de las labores.

Además de que el técnico apunte los acontecimientos en la bitácora de la Turbina, el operador del Parque anota en la bitácora de operaciones las labores de mantenimiento que ocurren en las máquinas. En el futuro, las hojas de Inspecciones darán información sobre las intervenciones.

### **4.5.3. Documento de Datos Técnicos**

Parte de los datos técnicos de la Máquina se han obtenido del Manual de Operación de Micon y de un archivo llamado: datos\_tech\_750.pdf. Antes de esta práctica ningún manual o documento contenía la información unificada ni completa, de ahí parte de la misión del presente documento.

Otros datos han sido tomados directamente de las máquinas y su información buscada en Internet o solicitada al Fabricante. Pese a que la información es limitada, actualmente se cuenta con una buena cantidad de datos. Esa información se encuentra vinculada en la tabla del [Anexo 38](#).

#### **4.5.4. Reporte de fallas**

El documento de Control de Alarmas es el que sustituye al tradicional Reporte de Fallas. Además de reportar fallas, el Control de Alarmas también indica los paros manuales de la máquina que ocurren cuando se realizan los Service. El reporte completo despliega información del tipo de Alarma por la que ha sido detenida, el número de turbina, la fecha en la que ocurrió la alarma, el número de error al que corresponde, la descripción del error, las condiciones de viento, producción, tiempo total de operación desde que inició la máquina, la persona informada de la alarma, el operador que se hizo cargo de la alarma, el detalle del problema, la hora en la que entró a funcionar de nuevo la turbina, el régimen de viento en el cual entró y el tiempo total durante el que estuvo detenida por la falla.

Este documento se lleva en versión electrónica e incluye la disponibilidad de las máquinas durante determinado periodo de tiempo (mes).

El documento se puede observar en el [Anexo 8](#)

#### **4.5.5. Valores de Funcionamiento Global**

En los Generadores Eólicos el patrón más significativo es la Curva de potencia versus velocidad de viento. Este dato es registrado por el Medidor de Calidad de Energía Mutilin de la General Electric. Los datos se guardan con un formato electrónico propio del programa. Así, los operadores deben guardar la curva de potencia tres veces al día.

#### **4.5.6. Reportes de Mano de Obra Directa**

Los encargados del mantenimiento llevan Informes semanales de labores. Estos informes se llevan a mano y puede observarse en el [Anexo 9](#)

#### **4.5.7. Solicitud de compra de repuestos, materiales y herramientas.**

La solicitud de salida de repuestos y materiales de la bodega no es utilizada porque la bodega es relativamente pequeña y las labores no son tan frecuentes como en aplicaciones industriales o de mayor escala. Las solicitudes de compras son planteadas oralmente al Jefe de Planta y al personal. Para ello, no se llena ninguna documentación. Cuando existe una compra o pago de alguna labor, se llena un formato en una hoja de Excel con el detalle de lo ocurrido.

Esa hoja de Excel se observa en el [Anexo 10](#).

## ***4.6 Manuales de Mantenimiento***

Los Manuales de Mantenimiento contienen información sobre las subdivisiones de cada parte de la máquina, aclara la función de la parte, la codifica, estima una acción de mantenimiento adecuada para el programa, le asigna una periodicidad, un número determinado de técnicos, y estima un tiempo de realización de la tarea. Este manual es una guía básica para la reflexión sobre el diseño de las inspecciones. Los manuales se muestran en el [Anexo 4](#). Los datos técnicos y los enlaces a manuales se observan en el [Anexo 38](#). Los detalles acerca de la ubicación de cada parte se pueden observar en las fotos del [Anexo 11](#) o en los esquemas del [Anexo 3](#).

En los manuales, no se utiliza codificación para aludir al tipo de inspecciones, pues puede provocar confusiones.

## ***4.7 Inspecciones***

Las inspecciones están basadas en gran medida en el sistema de Neg Micon de Service tipo B y C; y del Mantenimiento Programado. Las inspecciones del presente documento fueron confeccionadas con la experiencia del personal de Aeroenergía, las recomendaciones del fabricante y la meditación sobre las tareas más acertadas de mantenimiento. Para aquellas tareas que no habían sido contempladas en los Service, se diseñó un tipo de inspección llamado Ex (Extras).



Las inspecciones indican la parte a la que le dan mantenimiento, el número de inspección e información sobre el resultado de la inspección con un espacio para hacer anotaciones. Además existe una casilla para llenar el tiempo real de finalización de la labor de manera que se pueda estimar mejor el tiempo de las labores futuras. En el momento de realizar las inspecciones se debe cambiar el código de la inspección, e imprimir. Antes de realizar la inspección debe llenarse la fecha en la que se realiza la inspección.

Las inspecciones pueden verse en el [Anexo 5](#)

#### ***4.8 Programación de actividades de mantenimiento propuestas***

Como se mencionó en la Introducción, las actividades de mantenimiento se realizan en época de poco viento. Usualmente eso ocurre entre setiembre y octubre y de manera menos evidente en otros meses, para el caso de Tilarán. No obstante, si en determinado año el viento es bueno para la generación, la administración no permitirá que turbina se detenga y el mantenimiento no podrá realizarse. Por ello se dice que la Programación es una propuesta cuyo cumplimiento no depende del personal de la planta sino de las condiciones de operación en el momento.

El Gantt que se observa en el [Anexo 6](#)

## ***4.9 Procedimientos frente a Alarmas***

Las turbinas de Neg Micon M1800 (NM750) cuentan con un sofisticado sistema de alarmas que muestra el momento en que alguna anomalía se presenta. Parte de este trabajo de Mantenimiento Preventivo contempla el diseño de diagramas de flujo con instrucciones sobre cómo hacer frente a una alarma. Por ello, se han confeccionado diagramas de Flujo en el programa Microsoft Visio. Por cuestiones de tiempo y practicidad, las alarmas con diagramas de flujo son un porcentaje pequeño del total de alarmas del sistema. Sin embargo, fueron escogidas aquellas más frecuentes e importantes.

Los diagramas pueden observarse en el [Anexo 7](#).

#### ***4.10 Aspectos de Seguridad o Precaución***

Las tablas de inspecciones llevan notas de seguridad o precaución junto al número de la inspección. Los aspectos de precaución son descritos a continuación:

P1: Máquina en Service. Generador desconectado. Freno asegurado. Mínimo dos personas en la inspección. Cortar la comunicación del Panel con el Parque.

P2: Si para revisar los dispositivos es necesario intervenir el Panel, entonces se debe apagar la turbina. Poner la máquina en Service. Desconectar la alimentación. Desconectar la comunicación. Mínimo dos personas en la inspección. Freno asegurado.

P3: Cuidado con los elementos rotativos. Cuidado con el sensor esférico de vibración.

P4: Igual que P1. Además, desconectar la alimentación del dispositivo intervenido.

P5: Igual que P1. Además, anclar el freno para que las aspas queden en Y. Linga de seguridad atada al Rodamiento Principal. Casco.

P6: Igual que P5. Además, apoyar apropiadamente las plataformas de Sky Damper a la torre para trabajar en las aspas.

P7: Arnés y casco puesto. Alertar al personal. Cuidado en el manejo de herramientas y accesorios.

P8: Desconectar las turbinas. Aterrizar la subestación. Interrumpir los alimentadores.

P9: Cuidado con aislar los polos de la batería.

P10: Cuidado. Posibilidad de descargas eléctricas.

#### ***4.11 Análisis costo beneficio del Proyecto Administrativo de la Práctica de Especialidad***

Con base en el contrato logrado entre el ICE y Aeroenergía S.A. se puede deducir un monto promedio de producción por turbina por hora de \$45. El tiempo de la práctica fue de 5 meses. El costo administrativo que representa el practicante es de \$541 (con un salario de \$325 al mes). Un análisis rápido que no tome en cuenta el valor del dinero en el tiempo, indica que Aeroenergía vería paga su inversión según el siguiente cálculo

$$0 = \$45 \times h - \frac{5}{3} \times \$325; \quad h = \frac{5 \times \$325}{3 \times \$45} = 12 \text{ horas}$$

cuando se logre 12 horas menos de paro en una turbina bajo el nuevo esquema. Eso corresponde a disminuir los tiempos de paro en un 7,6%, si se toma en cuenta que en el mes de marzo del 2004, las turbinas permanecieron detenidas 157,5 horas. Eso es fácilmente asequible pues con la información y herramientas del Programa de Mantenimiento Preventivo las decisiones se tomarán más rápido y las máquinas pasarán menos tiempo detenidas.

Otros beneficios no cuantificados del programa son: los Sistemas de inspecciones, los Procedimientos frente a alarmas y la Programación de las actividades de Mantenimiento. Por ello, el proyecto en realidad se paga en menos de las 12 horas indicadas.

#### **4.12 Recomendaciones**

Para lograr un nivel óptimo en el funcionamiento del mantenimiento y en vista del nivel de operaciones que la empresa Aeroenergía tendría que asumir en caso de una expansión, la empresa debería realizar actividades para fortalecer la visión de la toma de decisiones en conjunto y del trabajo en equipo.

Además, por la planificación y la complejidad de las labores de mantenimiento en estas condiciones, el personal debería capacitarse en técnicas de montaje, alineación y cambio de piezas para poder asumir cada vez más funciones en las máquinas. El personal debería adoptar la filosofía del Kaisen o del Mejoramiento Continuo de los Planes de Mantenimiento Preventivo que se ha expuesto en esta práctica y poder mejorar las inspecciones y la información contenida en este documento.

## **5. Análisis de Vibraciones en Cajas Multiplicadoras y Generadores, aplicado a fallas en rodamientos y engranajes en Generadores Eólicos Neg Micon NM 750.**

### ***5.1 Definición del Problema***

Al inicio de la práctica, la empresa Neg Micon ya había realizado análisis de vibraciones en las cajas y los generadores. No obstante, esa información nunca llegó a manos de la empresa.

Por ese motivo y por la dificultad de detectar problemas en condiciones tan difíciles, además de las particularidades vibratorias de este tipo de tecnología, la empresa Aeroenergía decidió iniciar un programa de Análisis de Vibraciones aplicado a los rodamientos de los generadores, a los engranes y rodamientos de las cajas multiplicadoras y los rodamientos del rodamiento principal.

La idea original era utilizar el equipo de la Escuela de Mantenimiento del Instituto Tecnológico de Costa Rica (CMVA 55 Microlog). Sin embargo, el equipo no estaba en buenas condiciones. Por ello, la reparación, la espera y el pago de una póliza por parte de Aeroenergía fueron necesarios.

Además, no existía en la Escuela alguien anuente a explicar el uso correcto del software ni de la toma de mediciones, por lo cual se tuvo que aprender todas las partes del proceso del Análisis de Vibraciones. No obstante, se debe resaltar la participación de los profesores Eligio Astorga, Juan Carlos Miranda y Manuel Mata, todos de la Escuela de Mantenimiento, en la revisión del proyecto.

## ***5.2 Aislamiento de Señales externas a los elementos por analizar***

Las turbinas Neg Micon NM750 (como las presentes en Aeroenergía) poseen una serie de amortiguadores laterales en la parte trasera de la góndola, amortiguadores en los apoyos del Generador, amortiguadores en los apoyos de la Caja Multiplicadora y amortiguadores en los acoples flexibles que unen los ejes de la máquina.

Al realizar el análisis de vibraciones se supone que este conjunto de amortiguadores logrará impedir que las vibraciones del vaivén de la torre, las aerodinámicas propias del aspa, las producidas por otras máquinas en el entorno y las producidas por fluctuaciones eléctricas instantáneas interfirieran en gran medida con las propias de las fallas de los mecanismos. No obstante, se sabe que esto no es posible. Para remediarlo no queda más que la experiencia que permita discernir las señales que son causadas por fallas posibles de aquellas que son producidas por agentes externos.

## ***5.3 Análisis de Vibraciones en la Caja***

### ***5.3.1 El Problema de Analizar Vibraciones en cajas.***

Las Cajas Multiplicadoras de Flender PEAC 4300.4 son máquinas muy compactas y con gran cantidad de elementos rodantes. Esto le suma complejidad al análisis de vibraciones por la gran cantidad de ruido en las señales vibratorias de los múltiples elementos y por tener relativamente poca masa en la cual disipar las vibraciones.

En los programas de Análisis de Vibraciones quien dicta los patrones admisibles de vibración en Aceleración y Enveloping es la empresa fabricante a través del estudio de su propio producto. No obstante, al solicitar información las empresas Flender y Neg Micon han presentado datos insuficientes o de dudosa aplicación.

De ahí que parte del problema de no poder determinar posibles fallas con certeza en los primeros meses del Análisis de Vibración, se debiera a que el personal debe aprender por su cuenta cómo funciona la máquina y cómo se comportan sus vibraciones. El funcionamiento promedio de los mecanismos en diversos puntos se ha estimado por medio de una tabla de Excel y un sistema de promedios simples. Esta hoja se observa en el [Anexo 12](#).

### **5.3.2 Información adquirida. Verificación, estudio y consecución de datos restantes.**

La información facilitada por la empresa Flender se encuentra en el [Anexo 19](#).

La empresa Flender no envió ningún tipo de confirmación de que esos datos fueran aplicables a las Cajas Multiplicadoras de Aeroenergía. El problema principal es que en Europa, con un sistema eléctrico de 50 Hz, las cajas giran a 1510 rpm en la etapa de salida. En Costa Rica, las cajas giran a 1812 rpm. Ese aspecto cambia considerablemente las frecuencias.



#### *5.3.2.1. Rodamientos*

En el caso de los rodamientos de la caja, las frecuencias fueron calculadas para 1812 rpm y sus armónicas fueron estimadas. Las tablas con la información reacondicionada se muestra en el [Anexo 20](#). No obstante, debe agregarse que estos datos son dudosos. Hace algún tiempo, las cajas empezaron a fallar a nivel mundial y con ellas, las cajas de Aeroenergía sufrieron un cambio en algunos rodamientos. En las siguientes etapas, Aeroenergía debe procurar verificar los datos de vibraciones con la empresa Flender.

Además, los rodamientos en la caja fueron demarcados con letras. Estas letras se observan en el diagrama de la caja que se observa en el [Anexo 22](#).

#### *5.3.2.2. Engranajes*

Las frecuencias de los engranajes brindados por la empresa Flender fueron reacondicionados. Estos datos se muestran en el [Anexo 21](#).

Para este tipo de caja se hace un análisis adicional en el [Anexo 23](#). Este análisis determina la frecuencia de giro en los piñones de la caja por el Método Analítico de Tabulación.

### **5.3.3. Selección de puntos en la caja.**

Los puntos en la caja que se muestran en el [Anexo 22](#) fueron escogidos para los siguientes fines. El punto 1 monitorea los piñones planetarios, la rueda sol, la rueda de la carcaza y los rodamientos B C e I. El punto 2 monitorea los mismos aspectos que el punto 1.

El punto 3 sensa el rodamiento A. El punto 4 monitorea los rodamientos G y D y los engranajes en la etapa intermedia. El punto 5 sensa los rodamientos G y F. El punto 6 determina las vibraciones en D y E y en la etapa final de velocidad.

El punto 7 determina el desalineamiento o los problemas de vibración axial.

El punto 20 sensa las vibraciones del rodamiento H y los engranes de la etapa intermedia. El punto 21 determina las vibraciones en los rodamientos E y F y las fallas en la etapa de salida del reductor.

## **5.4 Análisis de Vibraciones en los Generadores**

### **5.4.1 El Problema de Analizar Vibraciones en Generadores**

El principal problema en los generadores Elin ha sido la falta de respuesta de la empresa sobre datos de Análisis de Vibraciones. A raíz de la falta de información, los cálculos de las frecuencias de falla de los rodamientos del generador fueron realizados en el [Anexo 24](#).

Además, se procedió a realizar un cálculo del promedio de los valores globales en todos los puntos del generador para determinar un nivel estándar y normal de vibración en esos lugares. Esos valores pueden ser apreciados en la hoja de Excel que aparece en el [Anexo 12](#).

### **5.4.2 Presentación de los datos de vibraciones para el Generador Elin**

Finalmente, después de acondicionar los datos, las frecuencias de falla para el generador se presentan en el [Anexo 25](#).

### **5.4.3. Selección de puntos**

El sensor fue puesto en el generador de manera radial lateral en el punto 10 para el rodamiento delantero y en el punto 11 para el rodamiento trasero. Además existe otro punto denominado 12 que toma los datos axiales del generador con tal de saber si tiene problemas en el eje.

Estos puntos pueden ser apreciados en el [Anexo 26](#).

### ***5.5. Selección de tipos de medición pertinentes***

Según corresponda, en los puntos donde los elementos sensados giren a bajas velocidades, la medición será de Velocidad.

Cuando los puntos por medir reflejen datos de elementos con velocidades de giro considerables, o se esté en presencia de engranajes y rodamientos, se tomarán mediciones en Velocidad, Enveloping y Aceleración.

Cuando los datos del punto deban reflejar desalineaciones y problemas en el eje se tomarán mediciones por Velocidad.

## **5.6. Configuración final de todos los puntos en el Software Prism 4**

Los puntos en Velocidad se configuraron de la manera presentada en el [Anexo 27](#).

Los puntos en Enveloping han sido configurados como se muestra en el [Anexo 28](#).

La configuración de los puntos en Aceleración se observan en el [Anexo 29](#).

## **5.7 Sistema de Análisis de los datos.**

En vista de que no existe información de severidad de aceleración o patrones normales de vibración proporcionada por los fabricantes de esta aplicación, se optó por el siguiente sistema: a lo largo de las mediciones en los diferentes puntos de la máquina se ha conformado una hoja de Excel donde se incluye los datos de los valores globales obtenidos de las últimas mediciones del Reporte del Software. El propósito de la hoja de Excel es tabular los datos para comparar todas las máquinas del parque y calcular un promedio simple de cada punto con la idea de tener un *estándar*.

Esa hoja de Excel se observa en el [Anexo 12](#)

### **5.7.1. Paso 1 del Análisis de Datos**

Esa hoja debe ser actualizada con cada medición para mejorar el valor tomado como estándar de cada punto. Debe tenerse el cuidado de verificar que la expresión matemática es correcta.

### **5.7.2. Paso 2 del Análisis de Datos**

En el paso 2 se debe llenar el formato del [Anexo 13](#). Con ese formato se establecen los valores globales, se determina la severidad de esa medición, se compara con los valores promedio de la hoja de Excel. Finalmente, se determina si es necesario mirar los espectros de determinados puntos en busca de fallas. Se incluye un ejemplo desarrollado de este formato en el [Anexo 15](#).

### **5.7.3. Paso 3 del Análisis de Datos**

En el formato presente en el [Anexo 14](#) se analizan los espectros. En la hoja se denota las frecuencias más relevantes, se vincula esas frecuencias a posibles fallas, se analiza el estado de las vibraciones en bajas y altas frecuencias de manera que se pueda determinar en qué etapa se encuentra la falla y se decida si es conveniente intervenir la máquina. El ejemplo está disponible en el [Anexo 16](#).

## ***5.8 Análisis de los datos colectados en la Caja de la Turbina 1***

Los pasos 1, 2 y 3 del análisis de los datos para la turbina 1 se puede observar en los [Anexos 17](#) y [18](#). Después del Paso 2 se decide observar los espectros de los puntos 4, 6, 10, 11 y 12. En el Paso 3 se analizan los espectros y se tabula las cualidades de los espectros para concluir si se debe intervenir la máquina o no.

### **5.9 Conclusiones sobre la Turbina 1**

Las conclusiones sobre el Análisis de Vibraciones se escriben sobre el formato del Análisis de Espectros del [Anexo 18](#). En el caso de la turbina 1, se concluyó que el problema con el eje debe ser intervenido. Probablemente, las vibraciones reflejen problemas de desalineación y para saberlo con certeza debe utilizarse equipo especial para desalineación. Después de un diagnóstico sobre el problema, debe procederse a solucionarlo. Las demás vibraciones deben seguir siendo monitoreadas para obtener conclusiones.

### **5.10 Sobre el estudio de vibraciones a 1210 rpm.**

Las turbinas de Aeroenergía rara vez se conectan a 1210 rpm. El periodo en el que se realizó el estudio de práctica no coincidió con las temporadas de vientos bajos. De esta forma, todos los datos y las mediciones necesarias para hacer análisis de vibraciones con 1210 rpm no estuvieron disponibles.

### **5.11 Análisis costo-beneficio del Análisis de Vibraciones**

En la práctica con Aeroenergía, el costo de obtener el equipo fue el pago de c60.000 (menos de \$140) del monto de la póliza del seguro por daño. Además de ello, el tiempo de la práctica fue de 5 meses. El salario estimado del practicante es menor de \$325 (c130.000) por mes. El costo por proyecto es una tercera parte de lo pagado al practicante más la póliza. Con ello se puede obtener el costo del Proyecto.

$$\text{Costo del Análisis de Vibraciones por cada rodamiento} = \frac{(\$140 + 5/3 * \$325)}{9 \times 2} = \$37.5$$

Para analizar el costo-beneficio del análisis de vibraciones se verá su efecto sobre la vida de un solo rodamiento en un generador. Según los cálculos de SKF, el 90% de los rodamientos como el usado en el generador duraría 6 años y 7 meses bajo las mismas condiciones, tal como se muestra en el [Anexo 30](#). No obstante, los rodamientos de Aeroenergía no tienen una vida tan larga. El costo de cada rodamiento del generador es de \$2500.

De esta forma, el programa de Análisis de Vibraciones *se justifica al extender la vida de cada rodamiento de generador en 1 mes y 5 días*. La razón es que un rodamiento tiene un costo por hora de \$2500/ 57850 h (\$0.0432/h). Con ello se obtiene el tiempo de retorno.

$$\text{T de retorno por rodamiento} = \$37.5 / (\$0.0432 / \text{h}) = 868 \text{ h} = 1 \text{ mes, } 5 \text{ días.}$$

Esto se puede lograr fácilmente al determinar problemas en los ejes o rodamientos y proceder a lubricar o balancear. No obstante, este cálculo no estima los beneficios del análisis en la Caja Multiplicadora.



### ***5.12 Conclusiones y recomendaciones***

El Análisis de Vibraciones puede ser una herramienta muy útil para este tipo de tecnología en especial. Por esa razón es importante que se le de continuidad al proyecto aplicado a Rodamientos y Engranajes. No obstante, es recomendable extender el análisis de vibraciones con tomas de referencias de fase para determinar problemas en ejes; toma del HFD en los puntos más importantes de la Ruta y la toma del SEE para reconocer problemas de lubricación en los rodamientos del generador y los rodamientos de entrada y salida de la Caja Flender.

Por otro lado, se debe iniciar una evaluación más técnica de la desalineación en los generadores con el objetivo de corregir los problemas lo antes posible.

## **6. Programa de implementación de un Historiador de datos en los Aerogeneradores por medio de PLCs de comunicación**

### ***6.1. Definición del problema***

El problema por resolver desde un inicio era la necesidad de tomar datos constantemente del proceso para que el Historiador se volviera una herramienta de decisiones administrativas. En el contrato con el ICE Aeroenergía se compromete a cumplir con cierta cantidad de energía cada mes. De no cumplirse ese monto, el ICE aplica sanciones. Por ello, un sistema de monitoreo de variables, permitiría a lo largo de los años hacer posible un estudio de las condiciones, predecir el comportamiento de ciertos rubros y disminuir la posibilidad de ser multados por incumplimiento de cantidad de energía.

La idea original del proyecto era conectar la red de controladores WP3000 de las turbinas con una computadora y que en ella el programa iHistorian de la casa fabricante General Electric grabara los datos más importantes. No obstante, esto no fue posible porque según los fabricantes de los controladores WP3000 (Mita Teknik) los sistemas no son compatibles con los OPC de General Electric.

Luego de la respuesta dada por Mita Teknik, se pidió una cotización a la empresa Electricidad Americana para que asumiera el diseño del proyecto. La idea entonces ya no era tomar los datos del controlador WP3000, sino conectar sensores (anemómetros, sensores de rpm y sensores de temperatura) extra y dispositivos (el dispositivo de Vibración Tac 84 y el relé de protección SEG) que no habían sido comunicados en el proceso y enlazarlos todos con un PLC para transferir datos a la Computadora y luego al programa iHistorian.

La empresa Electricidad Americana envió la solicitud a la representante SisFlex S.A. en México. Las empresas SisFlex y Electricidad Americana contestaron a la solicitud con una lista de software por un monto de \$28,046.00 más impuestos (que no incluye el Hardware) ([Anexo 31](#)).

Los administradores de Aeroenergía consideraron que el proyecto no parecía justificable dados esos costos. Por ello, se buscó incrementar los beneficios del proyecto por medio de la inclusión en el proyecto de sensores de flujo y de nivel de aceite en las cajas. Estos sensores arrojarían alarmas en caso de que una fuga o obstrucción en el circuito de aceite ocurriera. Las fallas en el circuito hidráulico no son monitoreables en este momento por medio del sistema de Mita Teknik.

Cuando se pidió a SisFlex que asumiera la selección de los sensores de flujo y de nivel, la comunicación con ellos se perdió. De esa forma, todo el proyecto quedó en nuestras manos. Se consultó con la empresa de los Aerogeneradores Neg Micon sobre los sensores. Neg Micon contestó que en anteriores ocasiones ellos habían intentado sensar flujo y nivel de aceite en las cajas multiplicadoras sin buenos resultados.

Ante esta nueva negativa, se procedió a hacer requisiciones de sensores de flujo y nivel de aceite para dicha aplicación. Las empresas consultadas fueron Elvatron S.A., SPC y JRControles. De todas esas empresas, la única que dio respuesta fue Elvatron, sin embargo hasta la fecha no han encontrado una forma adecuada de medir dichos parámetros.

En ese momento, ya faltaba un mes para la conclusión del tiempo de práctica. Entonces fue cuando se procedió a consultar a la profesora Ana Lucía Morera, de la Escuela de Electromecánica, para solicitarle un PLC. Este, debía tener un módulo Modbus para los dispositivos de la turbina, una serie de entradas digitales y un módulo de entradas analógicas. El único PLC disponible tenía una tarjeta de comunicación RS-485 y entradas digitales. La conexión por Modbus y por vía analógica no era posible por medio de ese PLC y por ello, la implementación de gran parte del proyecto debía ser postergada.

Se procedió entonces a pedir el PLC a la Escuela de Electromecánica, a replantear los objetivos y a programar las siguientes etapas de desarrollo del Proyecto. El tiempo faltante para la conclusión de la práctica en el momento de la adquisición del PLC era de dos semanas.

## **6.2 Objetivos del Proyecto**

Por medio de una PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub> – 485 BD, se conectará:

- a) El dispositivo de Vibración Tac 84C. Protocolo de Texto, ASCII. RS 485.
- b) El relé de protección SEG. Modbus.
- c) Anemómetro. Entrada Analógica.
- d) PT100. Sensor de temperatura. Entrada Analógica.
- e) Sensor de RPM. Entrada digital.
- f) Sensor de flujo de aceite. Entrada analógica.
- g) Sensor de nivel de aceite. Entrada analógica.

Al lograr manejar los diferentes dispositivos y sensores, el PLC debe conectarse por OPC Server al iHistorian. Por último, debe configurarse el programa iHistorian para almacenar los datos leídos.

## **6.3 Etapas en el desarrollo del Proyecto**

### **6.3.1. Primera etapa de implementación**

La primera etapa consta de:

- a) Adquisición de información del PLC para programar el controlador.
- b) Adquisición de información sobre la comunicación del dispositivo TAC 84c.
- c) Conexión de la tarjeta de la comunicación RS 485 del PLC.
- d) Propuesta de diagrama escalera para transferir datos del TAC 84c por RS-485.
- e) Diagrama escalera para manipular la información del sensor de RPM.
- f) Propuesta de sensor de nivel de aceite.
- g) Propuesta de sensor de flujo de aceite
- f) Cotización de PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub>-485 DB, con dispositivos de entradas analógicas, Módulo Modbus y tarjeta de comunicación RS 485.
- g) Desplegar los datos comunicados en un cuadro.

### **6.3.2. Segunda etapa de implementación**

La segunda etapa consta de:

- a) Adquirir el equipo de PLC con los módulos requeridos.
- b) Adquirir un sensor de nivel de aceite en la caja multiplicadora.
- c) Adquirir un sensor de flujo de aceite en la entrada de la caja multiplicadora.
- d) Adquirir el módulo de comunicación Modbus del relé de protección SEG.
- e) Comunicar vía Modbus el relé SEG con el PLC.
- f) Comunicar los PT100 y anemómetros al PLC, en las entradas analógicas.
- g) Desplegar los datos comunicados en pantalla.

### **6.3.3. Tercera etapa de implementación**

La tercera etapa consta de:

- a) Comunicar el sensor de nivel de aceite con el PLC.
- b) Comunicar el sensor de flujo de aceite con el PLC.
- c) Estudiar la configuración de los datos en el demo del programa iHistorian.

### **6.3.4. Cuarta etapa de implementación**

La cuarta etapa consta de comunicar todos los datos del PLC al Historiador y configurar el programa para coleccionar datos.

## ***6.4. Resultados de la primera etapa de desarrollo del proyecto.***

### **6.4.1 Información técnica de programación del PLC**

Se ha obtenido el manual de programación II en papel. Este manual se aplica a las versiones de Mitsubishi FX 1S, FX 1N, FX2N y FX2NC y por lo tanto sirve para la programación del PLC en las siguientes etapas.



Además de este manual se adquirió una serie de archivos digitales que se observan en el [Anexo 32](#). Sin embargo, al leer los manuales se llega a la conclusión de que falta la continuación del manual S-080006-B (Manual del Módulo de comunicación Q), que tiene la solución definitiva de la comunicación del TAC 84c en el Capítulo 13: Comunicación con código ASCII. Ese manual es el SH-080007-B.

#### 6.4.2. Información sobre el dispositivo TAC 84c

En el [Anexo 33](#) se observa el único documento técnico que los diseñadores del Dispositivo TAC 84 han facilitado.

En ese archivo se muestra que la comunicación del TAC 84c está cableada para comunicación de un par en 485. El pin de 485 A, enlaza internamente el envío y la recepción de datos A; el pin 485 B es el nodo del envío y la recepción de datos de B.



Figura 6.4.2.1. Comunicación RS-485 del TAC 84c<sup>13</sup>

Además de ello, se sabe que transfiere datos a 9600 baudios, que se comunica por protocolo de texto ASCII, que su Identificador de Nodo es 1 y que al encender despliega en pantalla un ID de Programa 10011101.

<sup>13</sup> Tomado del archivo TAC 84c del Anexo 33.

### 6.4.3. Conexión de la tarjeta de comunicación FX<sub>1N</sub> - 485 BD

Como el TAC 84c está internamente cableado a un par, la tarjeta que recibe la señal también debe estar conectada para comunicación como un par agrupado de terminales de send y receive. En la figura siguiente se observan las conexiones y la resistencia necesaria para realizar dicha configuración.

#### 3.4.3 FX<sub>2N(1N)</sub>-485-BD and FX<sub>2N(1N)</sub>-485-BD

##### 1) One-pair Wiring

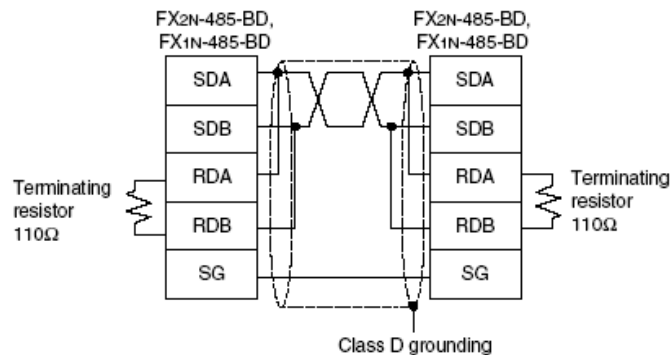


Figura 6.4.3.1. Conexión de la tarjeta de comunicación 485 en el PLC<sup>14</sup>

### 6.4.4. Propuesta de diagrama escalera para comunicar el TAC 84c por RS-485.

Debido al limitado tiempo que quedaba entre la adquisición del PLC, la información y el fin de la práctica la comunicación serial no pudo ser desarrollada plenamente en esta etapa del proyecto. No obstante, sí queda una idea clara de cómo desarrollar la comunicación.

<sup>14</sup> Tomado del archivo JY992D69901-E.pdf que aparece en el Anexo 32.

En el Manual Digital Completo de Programación (que se ofrece en el [Anexo 32](#)) y en el Manual en papel se puede observar la Función RS desarrollada por Mitsubishi para la comunicación de Dispositivos Externos vía Serial. Esta información se encuentra en el apartado FNC 80 – 89: External FX Serial Devices en 5-94; o bien en la hoja 236 del documento en formato PDF.

#### **6.4.5. Diagrama escalera para comunicar el sensor de RPM**

La información del sensor de RPM no se presenta en el Anexo 31. Pero se sabe que envía pulsos de 24 Volt tres veces por cada vuelta del rotor (tiene tres aldabas reflectoras distribuidas a 120°).

Con ello, se construyó el diagrama de escalera presente en el [Anexo 34](#).

#### **6.4.6. Propuesta de sensor de nivel de aceite.**

Sobre este aspecto, la empresa Neg Micon fue consultada. Ellos informaron haberlo intentado sin resultados en el pasado. Pese a ello, Aeroenergía está interesada en realizar el trabajo. Para esto hay que escoger un sensor que se adapte a las condiciones de temperatura, presión y viscosidad del aceite de la caja (la hoja de datos del aceite de la caja se ve en el [Anexo 35](#)).

La temperatura del aceite es de 70°C y la presión es siempre menor a 16 bar. La idea es utilizar el espacio donde actualmente existe una mirilla. El esquema se observa en el [Anexo 36](#).

En la imagen se observa que la actual mirilla tiene una raya que indica el nivel deseable de aceite. El nivel mínimo (Alarma por bajo nivel) es a 1 cm por debajo de esa raya. El máximo nivel (Alarma por exceso de aceite) debe estar a 1cm por encima de la raya roja. Además, en el Anexo se observa un archivo con una propuesta de tecnología a utilizar. Son sensores analógicos de nivel. Este sensor estaría en un contenedor sujeto a las tomas de la mirilla actualmente instalada en la caja. El sensor debe estar diseñado para soportar las condiciones de operación. Una ventaja de estos sensores de nivel es su reducido costo.

#### **6.4.7. Propuesta de sensor de flujo de aceite**

De la misma forma en que luego de que se preguntó sobre el sensor de nivel en la caja, la empresa Neg Micon aseguró haber intentado poner un sensor de flujo en circunstancias parecidas sin resultados.

Al buscar una solución, se encontró que la empresa Hydac que fabrica las bombas que suplen aceite a la caja fabrica sensores de flujo para la bomba utilizada en las turbinas. En una ocasión la empresa Hydac fue consultada sin contestación. El catálogo general del sensor se muestra en el [Anexo 37](#).

**6.4.8. Cotización de PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub>-485 DB, con dispositivos de entradas analógicas, Módulo Modbus y tarjeta de comunicación RS 485.**

La cotización pedida al Ing. Alexander Agüero de la empresa Hi-TEC incluye

- a) PLC FX1N-14MR con 8 entradas de 24 Vdc, 6 salidas relé, alimentación de 120 V: 300,00\$
- b) Tarjeta de comunicación RS-485 FX1N-485-BD: 56,00\$
- c) Cable de programación SC09: 222,00\$
- d) Software de programación original: 617,00\$

TOTAL: \$1.195,00

I.V: \$155,35

**TOTAL I.V.I: \$1.350,00**

La inclusión de un módulo analógico de 2 canales, en el rango de 4 a 20 mA le añadiría \$216 más impuesto a la cotización inicial (\$244). El monto final del equipo es de \$1594. La entrega es inmediata. Este conjunto de elementos contiene todo lo necesario para desarrollar todas las etapas del proyecto. Un costo adicional se debería a los sensores de nivel y de flujo, y el módulo Modbus del Relé SEG. Los elementos adicionales (sensores principalmente) podrían costarle al proyecto unos \$800 más, para un posible total de \$2394.

#### **6.4.9. Despliegue de datos en pantalla**

Los PLC Mitsubishi pueden desplegar los datos con el comando Entry Data Monitor o Monitoreo de entrada de datos. Allí se puede vigilar cualquier Buffer o dispositivo del PLC.

### **6.5. Análisis de Costos del Proyecto**

En este documento se ha explicado que la producción promedio por turbina por hora es de \$45. Se puntualizó que el costo de los materiales del proyecto podría estar valorado en \$2394. A este dato se suma el costo de la práctica de especialidad (estimado en \$541) y el costo del software iHistorian (con valor de \$4163).

De esa forma se obtiene que el proyecto se pagaría con un total de 6 días, 13 horas, en total de turbinas detenidas, como se muestra a continuación.

$$\$2394 + \$541 + \$4163 = \$45 \times \text{Horas de turbina detenida}$$

$$H = 157 \text{ horas, } 44 \text{ minutos} = 6 \text{ días, } 13 \text{ horas.}$$

Ese tiempo distribuido entre las 9 turbinas corresponde a 17 horas, 30 minutos. Esas 17 horas, 30 minutos corresponden al 11% de tiempo de paro del parque en marzo del 2004 (mes en el cual el tiempo de paro fue de 157,5 horas). De esa forma, se pagaría la inversión si se logra evitar un 11% de las horas de paro, por nueve meses.

No obstante, este proyecto está en capacidad de evitar gastos por reparaciones de bombas, por deterioro de la góndola, por deterioro en la caja y por sanciones ante el incumplimiento de la cuota de energía prometida al ICE al mes. Esos son aportes extra que no están cuantificados en la justificación y que disminuyen el tiempo de retorno de la inversión.

## **6.6. Conclusiones**

La principal conclusión es que el proyecto implica una inversión de tiempo importante y su realización es posible. Además se trata de un proyecto costoso y con un alto nivel de complejidad técnica. Se ha demostrado que muchos de los elementos necesarios para desarrollar el proyecto deben ser comprados y seleccionados cuidadosamente, así como que la programación del PLC es un aspecto que amerita de tiempo.

## **6.7 Recomendaciones**

Antes de proceder con las siguientes etapas de desarrollo debe encontrarse la solución a los sensores de flujo y de nivel de aceite y debe poderse configurar experimentalmente la comunicación a la computadora con un sistema de PLC que incluya entradas Modbus, analógicas, digitales y vía puerto serial para asegurar desde el inicio las ventajas de la inversión.

Se recomienda la continuidad del proyecto y la evaluación meticulosa de cada etapa en el desarrollo de la idea.

## 7. Fuentes de información

### Libros

- Hamilton H. Mabie y Charles F. Reinholz. Mecanismos y Dinámica de Máquina. Segunda Edición. Editorial Limusa S.A. Mexico, 1999.

### Folleto, recopilaciones y manuales

- Miranda, Juan Carlos. Compilación de Material sobre Análisis de Vibraciones de SKF. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2004.

- Valverde, Jorge. Folleto del curso de Administración del Mantenimiento I. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002.

- Manual de operaciones de Neg Micon, M1500 M1800. Micon A/S. Versión en Inglés. Artículo número 18.275.00 GB.

### Archivos digitales

- Información sobre el PLC FX<sub>1N</sub> – 485BD:  
JY992D69901-E.pdf

- Archivo digital sobre el Dispositivo de Vibración TAC 84c  
TAC 84c.pdf

-Presentación de Power Point sobre el programa de Re-acondicionamiento en las Cajas Flender:  
presentation\_master\_UK\_180200.ppt



## Información de internet

- Información sobre sensor de flujo de Aceite Hydac:

[http://212.88.134.40/index\\_start.php](http://212.88.134.40/index_start.php)

-Diccionario Hyperdictionary de términos técnicos en Internet:

<http://www.hyperdictionary.com/dictionary>

- Página Web sobre comunicación serial:

<http://www.hw.cz/english/docs/rs485/rs485.html>

- Información sobre OPC (OLE for Process Control):

[http://www.softwaretoolbox.com/Tech\\_Support/TechExpertiseCenter/OPC/OPCWhatIsIt/opcwhatisit.html](http://www.softwaretoolbox.com/Tech_Support/TechExpertiseCenter/OPC/OPCWhatIsIt/opcwhatisit.html)

## **8. ANEXOS**

## Anexo 1: Codificación del Parque

Tabla A.1.1. Codificación del Parque

Descripción	Nombre	Código
Lugar	Parque Aeroenergía	AE
Turbina	Turbina 1	T01
Turbina	Turbina 2	T02
Turbina	Turbina 3	T03
Turbina	Turbina 4	T04
Turbina	Turbina 5	T05
Turbina	Turbina 6	T06
Turbina	Turbina 7	T07
Turbina	Turbina 8	T08
Turbina	Turbina 9	T09
Subestación	Subestación	SE
Transformador	Transformador Turbina 1	T01-T
Transformador	Transformador Turbina 2	T02-T
Transformador	Transformador Turbina 3	T03-T
Transformador	Transformador Turbina 4	T04-T
Transformador	Transformador Turbina 5	T05-T
Transformador	Transformador Turbina 6	T06-T
Transformador	Transformador Turbina 7	T07-T
Transformador	Transformador Turbina 8	T08-T
Transformador	Transformador Turbina 9	T09-T
Transformador	Transformador Edificio	TE
Torre meteorológica	Torre meteorológica 1	TM-1

[Volver](#)

## Anexo 2: Codificación de las partes de la Turbina y equipos a mantener

**Tabla A.2.1.** Codificación de partes de la Turbina y equipos

Parte	Función	Código	Estudio de la Parte <sup>1</sup>	FMEA <sup>15</sup>
Generador	Generar energía trifásica	01	<a href="#">AET-1</a>	<a href="#">AET-1</a>
Freno hidráulico del eje	Bloquear el rotor de la turbina	02	<a href="#">AET-2</a>	<a href="#">AET-2</a>
Caja Multiplicadora de Velocidad	Convertir la velocidad de giro de 26 a 1812 rpm.	03	<a href="#">AET-3</a>	<a href="#">AET-3</a>
Sistema de Rotor, Estación, Aspa y Tip	Producir el giro o frenar las aspas	04	<a href="#">AET-4</a>	<a href="#">AET-4</a>
Torre	Permitir el ascenso del personal a la góndola	05	<a href="#">AET-5</a>	<a href="#">AET-5</a>
Transmisión: Eje y rodamiento principal	Transmitir el movimiento del rotor hasta la caja	06	<a href="#">AET-7</a>	<a href="#">AET-7</a>
Sistema de orientación	Mover la turbina lateralmente	07	<a href="#">AET-8</a>	<a href="#">AET-8</a>
Paneles de control y sensores	Controlar la máquina y su óptimo funcionamiento	08	<a href="#">AET-10</a>	<a href="#">AET-10</a>
Subestación y Malla de Tierra	Transmitir la energía proveniente de las torres hacia la red del ICE	SE	<a href="#">AET-11</a>	<a href="#">AET-11</a>
Transformadores	Elevar el voltaje de la electricidad proveniente de las torres hacia la subestación	T	<a href="#">AET-13</a>	<a href="#">AET-13</a>
Torre de Meteorología	Monitorear nuevos posibles sitios	TM	<a href="#">AET-13</a>	<a href="#">AET-13</a>

[Volver](#)

<sup>15</sup> Los Estudios de la parte y los FMEA son sólo como una opción. A medida que se necesiten se irán realizando.

## Anexo 3: Esquemas de la Máquina

[Generador](#)

[Freno de Disco](#)

[Caja Multiplicadora](#)

[Estación Hidráulica, Tip, Rotor y Aspa](#)

[Torre](#)

[Transmisión: Eje y rodamiento principal](#)

[Sistema de Orientación o Guiñada](#)

[\*\*Volver\*\*](#)

## Anexo 4: Manuales de Mantenimiento

### Parte: Generador

Código: AET-01



[Volver](#)

**Tabla A.4.1.** Manual de Mantenimiento del Generador

<i>Sub-Parte</i>	<b>Función</b>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo Estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Superficie del generador	Proteger los dispositivos internos	1.1	Limpieza Visual	B C B C	10 5	2
Colectores de grasa	Evitar derrames	1.2	Visual	B C	5	2
Rodamiento trasero y delantero	Giro libre del rotor	1.3	Lubricar Temperatura	Ex Ex	15 10	2
Caja de conexiones	Fija la conexión del estator	1.4	Visual	B C	5	2
Sellos del Generador	Sella el interior del generador	1.5	Visual	B C	5	2
Radiador	Enfría el agua	1.6	Visual Limpieza	B C B C	5 10	2
Coolant del Radiador	Mejora las propiedades del agua	1.7	Control	B C	10	2

Bomba de agua	Hacer circular el agua	1.8	Visual Socado	Ex Ex	10 10	2
Protecciones térmicas, sobrecargas y contactores	Proteger el generador	1.9	Revisión Visual	B B	20	2
Cableado eléctrico de potencia	Portar la energía	1.10	Visual	B	20	2
Acople	Transmitir el movimiento desde la caja	1.11	Socado Calibrar	B C C	20 60	2
Tornillos de la Base del Generador	Fijar el cuerpo a la góndola	1.12	Socado	C	10	2
Mangueras, uniones y purga de agua	Circular el agua, y purga aire.	1.13	Visual	B C	10	2
Eje	Transporta el giro mecánico	1.14	Limpieza Corrosión	Ex	10	2

**Parte: Frenos de Disco**

**2TWA-36 Sime-Stromag**

Código: AET-02



[Volver](#)

**Tabla A.4.2. Manual de Mantenimiento del Freno de Disco**

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo Estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Disco de freno	Sirve de superficie de frenado	2.1	Visual Ajuste	B C	5 30	2
Pastilla de freno	Aplica el torque contrario al giro	2.2	Alarma Cambio		40	2
Mangueras y uniones	Llevan el aceite de la bomba a las mordazas	2.3	Visual	B C	5	2
Acumulador cercano a la bomba	Mantiene aceite a presión para evitar arranques de la bomba	2.4	Visual	B C	5	2
Acumulador cercano al disco	Mantiene el aceite a presión, y se usa en modo soft.	2.5	Visual	B C	5	2
Acople	Conecta mecánicamente el freno, el generador y la caja	2.6	Visual Resocado	B B	5 10	2
Bomba	Posibilita la circulación de aceite	2.7	Visual Auditivo	B C B C	10 5	2



Aceite	Fluido a presión que permite aplicación de fuerza	2.9	Muestra Cambio	Ex Ex	30 40	2
Conexiones eléctricas	Energizan el motor y envían señales	2.10	Visual	Ex	30	2
Cobertor	Proteger al personal	2.11	Limpieza	Ex	10	2
Seguro de posición en Y	Permitir el anclaje de las aspas	2.12	Visual	Ex	5	2
Pistón	Transmitir la fuerza a las zapatas	2.13	Visual	Ex	10	2
Nivel de aceite	Indicar cuánto aceite contiene la bomba	2.14	Visual	B C	5	2
Zapata de freno	Servir de superficie de contacto	2.15	Visual Ajuste	B C B C	5 5	2
Prensas de freno	Transmitir la fuerza a la zapata	2.16	Visual Ajuste	B C B C	5 40	2
Tornillo de alivio	Permitir retraer el pistón y soltar el freno	2.17	Visual	Ex	5	2
Electro válvulas y válvula de alivio	Abren o cierran el paso del aceite con señales eléctricas	2.18	Visual Prueba	Ex	20	2

**Parte: Caja multiplicadora de Velocidad  
Flender PEAC 4300.4**



Código: AET-03

[Volver](#)

**Tabla A.4.3. Manual de Mantenimiento de la Caja**

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Engranajes internos	Aumentar la velocidad de giro	3.1	Visual Vibración Muestra	B C M B C Ex	30	2
Rodamientos de la caja	Soportar los ejes en movimiento	3.2	Vibración Muestra	M B C Ex	30 20	2 2
Acople	Acople la caja con el eje principal	3.3	Socado	B C	10	2
Sellos de la caja	Sella el interior de la caja del entorno.	3.4	Visual	B C	5	2
Amortiguador	Fijar la máquina a la góndola	3.5	Socado	B	10	2
Tapa de Registro	Sujetar el registro. Permitir monitoreo	3.6	Visual Socado	B B	5	2
Eje del amortiguador	Disipar las vibración entre la góndola y la caja	3.7	Socado	B C	10	2
Uniones y mangueras	Conducir el aceite	3.8	Visual	B C	5	2

Filtro	Limpiar el aceite de impurezas	3.9	Cambio	Ex	30	2
Bomba	Hacer circular el aceite	3.10	Visual Auditivo Socado	B C B C B C	20	2
Aceite	Evacuar el calor de la caja	3.11	Visual Muestra Cambio	B B Ex	5 10 30	2
Ventilador y radiador	Evacuar el calor del aceite de la caja	3.12	Visual	B C	5	2
Electro válvula cerca del filtro	Cierran o abren el paso al aceite	3.13	Prueba	Ex	10	2
Válvula Térmica Wahlen	Bloquea el paso directo a la caja al subir la temperatura	3.14	Prueba	Ex	20	2
Válvula manual cerca del filtro	Permite la purga y cambio de aceite.	3.15	Prueba	Ex	20	2
Tapas y registros traseros	Para agregar partes o monitoreo	3.16				
Nivel de aceite	Indica la cantidad de aceite en cárter	3.17	Visual	B C	5	2
Válvula manual inferior en lado de alta velocidad	Permite purgar el aceite del cárter	3.18	Prueba	Ex	20	2

**Parte: Estación hidráulica, Tips,  
Rotor y Aspas**

Código: AET-04

[Volver](#)



**Tabla A.4.4.** Manual de Mantenimiento del Freno Aerodinámico y Rotor

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Motor de Estación Hidráulica	Producir el movimiento de la bomba	4.1	Prueba	B C	25	2
Bomba de Estación Hidráulica	Generar presión y la circulación de aceite para el Tip	4.2	Prueba	B C	25	2
Electro válvulas de la Estación	Permite o impide el paso del aceite hacia el pistón	4.3	Prueba Visual	B C B C	25 5	2
Caja de conexión de Estación	Contiene las señales y la potencia de la Estación	4.4	Visual	B	10	2
Uniones y mangueras de Estación	Permiten el trasiego del aceite	4.5	Visual Socado	B C B C	20 30	2
Tornillos de fijación Estación	Fijan la Estación a la torre	4.6	Visual Socado	B C B C	5 10	2
Tapa y agujero inserción de aceite.	Permiten el cambio, el muestreo y la renovación del aceite	4.7	Visual	B C	5	2

Acumulador de la Estación	Contiene el aceite a presión	4.8	Visual Socado	B C B C	5 5	2
Sensor de presión. Estación	Sensar la presión	4.9	Visual	B C	5	2
Aceite	Permite la retracción del pistón	4.10	Cambio	Ex	30	2
Slip Rings	Transmite señales de control de la estación	4.11	Visual	B C	20	2
Cables de transmisión de datos de Slip Ring	Transmite señales de control de la estación	4.12	Visual	B C	10	2
Cables de tensión del Tip	Transmitir el movimiento	4.13	Visual	Ex	120	3
Eje del aspa	Transmitir el movimiento	4.14	Visual	Ex	20	3
Pieza mecanizada del aspa	Orientar el giro del aspa	4.15	Visual Aceitado	Ex	20	3
Conos de Nylon	Fijan el Tip en posición retraída	4.16	Cambio	Ex	20	3
Muecas de montaje del Tip	Fijar el aspa	4.17	Visual	Ex	10	3
Marcos de aspas, cubos y extensiones.	Sujetar piezas y plataforma	4.18	Socado	C	100	3
Pistón	Recibir señales, ejercer fuerza	4.19	Visual Socado Cambio	B C C Ex	10 15 20	2

Cables de potencia	Llevar la energía necesaria para el motor	4.20	Visual	B C	15	2
Ejes empotrados en aspas	Soporte estructural	4.21	Visual	B C	15	2
Resortes	Producir estiramiento	4.22	Visual	Ex	10	2
Caja de registro en aspas	Permitir las inspecciones	4.23	Visual Socado	Ex Ex	10 10	2
Unión del pistón con cables	Transfiere el movimiento al Tip	4.24	Visual	B C	10	2
Perfiles metálicos del pistón	Fijan el pistón	4.25	Visual Socado	B C C	10 15	2
Acoples entre cable del tip y elementos	Transfiere el movimiento al Tip	4.26	Visual	Ex	20	2
Cable de tierra	Conduce sobrecargas hacia malla de tierra	4.27	Visual	B C	5	2
Eje de movimiento del Tip	Permite la extensión del tip	4.28	Visual	Ex	10	2
Ángulo de Aspas	Detemina el equilibrio dinámico de las aspas	4.29	Ajuste	Ex	15	2
Superficie del rotor, las aspas y extensiones	Convertir el viento en torque para el rotor	4.30	Limpieza Pintura	C C	180 180	3

Registros del Rotor	Permitir el acceso al rotor	4.31	Visual Socado	B C B C	20 20	2
---------------------	-----------------------------	------	---------------	------------	----------	---

## Parte: Torre

Código: AET-05

[Volver](#)



**Tabla A.4.5. Manual de Mantenimiento de la Torre**

Sub-Parte	Función	Código	Acción	Periodo	Tiempo Estimado (Min)	Técnico
Cables de arnés	Sostiene al técnico en caso de caer	5.1	Visual	B C	20	2
Pernos en la base de la torre	Sujetan la torre al cimiento	5.2	Visual Socado Cambio	B C C Ex	20 40 120	2
Mecanismo de la Puerta Principal	Permiten la apertura y el cierre de la puerta	5.3	Visual Aceite	B C B C	5 5	2
Plataformas de ascenso	Permiten el descanso al subir	5.4	Visual	B C	15	2
Escalera	Medio de ascenso a la góndola	5.5	Visual Socado	B C C	15 40	2
Luces	Permitir la visibilidad en todas condiciones	5.6	Visual	B C	20	2
Extintores	Extinguir fuego dentro de la torre	5.7	Cambio	Ex	30	2
Luz de navegación aérea	Alertar a aeronaves la posición de las torres	5.8	Visual	B C	5	2



Grúa	Elevar herramientas y otros, a la góndola	5.9	Visual Prueba	B C B C	10	2
Contrapeso detrás del Generador	Amortiguar el nivel de vibración	5.10	Visual Prueba	B C	10	2
Compuertas del techo de la góndola	Descubrir la góndola	5.11	Visual	B C	5	2
Costuras laterales soldadas	Unir las placas que conforman la torre	5.12	Visual Prueba	B C Ex	15 180	3
Cimientos de acero y cemento	Afirmar la torre a la tierra	5.13	Prueba	Ex	120	3
Placas o caras de la torre	Formar la estructura de la torre	5.14	Prueba	Ex	180	3
Cables de potencia y separador	Conducir los cables y la electricidad	5.15	Visual	B C	15	2
Collarines de la torre	Unir las etapas de la torre	5.16	Visual	C	25	3
Superficie de la torre	Soportar el peso de la turbina	5.17	Visual Pintura	C C	120 240	3

**Parte: Transmisión**

**Rodamiento principal y Eje**

Código: AET-06



[Volver](#)

**Tabla A.4.6. Manual de Mantenimiento de la Transmisión**

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Acople del eje principal con la Caja	Transmitir el movimiento	6.1	Socado	C	15	2
Acople del eje principal con el rotor	Transmitir el movimiento	6.2	Socado	C	15	2
Cepillo contra sobrecargas	Desviar sobrecargas a tierra	6.3	Visual	B C	5	2
Rodamiento Principal	Transmitir movimiento del rotor	6.4	Socado	C	20	2
Eje principal	Transmitir movimiento del rotor	6.5	Visual Limpieza	B C B C	5 20	2
Sellos	Aislar los diferentes mecanismos del ambiente	6.6	Visual Engrase	B C	5 20	2
Marco del cubo	Unen el rotor con el rodamiento principal	6.7	Socado	C	20	2

**Parte: Sistema de orientación**

Código: AET-07

[Volver](#)



**Tabla A.4.7. Manual de Mantenimiento del Sistema de Orientación**

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Pastillas del freno de fricción	Aplicar torque de freno	7.1	Visual Calibrar	B C	30	2
Pernos de sujeción del freno	Fijar el freno a la torre	7.2	Socado	C	20	2
Cubierta del freno y sus pernos	Impedir entrada de suciedad al freno	7.3	Visual	B C	5	2
Motores de guiñada	Orientar nacelle	7.4	Visual Socado Lubricado Corrosión	B C C C B C	5 20 20 5	2
Acople interno del motor de guiñada	Transmitir giro del reductor al piñón	7.5				
Protección y contactor del motor	Proteger y energizar motor	7.6	Visual	B	10	2
Caja de conexión eléctrica	Conectan la potencia al motor	7.7	Visual	B	10	2

Piñón de guiñada	Transmite el torque a la corona	7.8	Visual Lubricar	B C B C	5 15	2
Tapa inferior del piñón	Sostienen el piñón a la altura de la rueda	7.9	Cambio	Ex	40	2
Corona dentada	Mueve la góndola con el torque del piñón	7.10	Visual Lubricar	B C C	5 20	2
Pernos de sujeción del motor	Fijan el motor a la torre	7.12	Visual Resocar	B C C	5 20	2
Disco de freno y sensor	Indicar el giro	7.13	Visual	B	5	2
Cableado de potencia de los motores	Transmite la potencia eléctrica a los motores	7.14	Visual	B	10	2
Pernos o sistema de sujeción de corona	Mantener la corona en posición	7.15	Visual Lubricar Resocar	B C B C C	5 20 25	2

## Parte: Paneles de control y sensores

Código: AET-08

[Volver](#)



**Tabla A.4.8.** Manual de Mantenimiento del panel de control y sensores

<i>Sub-Parte</i>	Función	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Barras de los breakers	Transmitir la potencia desde el breaker al trafo	8.1	Monitoreo	Ex	10	2
Aterrizado	Protege el sistema contra descargas	8.2	Visual	Ex	5	2
Contactory contactor auxiliar	Conectan y desconectan la potencia con señales de control	8.3	Visual Alarma	B C	10	2
Fusibles	Proteger los dispositivos contra sobrecarga eléctrica	8.4	Visual Alarma	B C	10	2
Banco capacitivo	Proporciona energía reactiva al generador	8.5	Visual Alarma	B C	10	2
Breakers	Interrumpir la corriente frente a sobrecargas	8.6	Visual Alarma	B C	5	2
Sensores de corriente y voltaje	Sensar los parámetros para disparar alamas en caso de anomalía	8.7	Visual Alarma	B C	5	2

WP2060	Sincronizar las entradas y salidas de los generadores	8.8	Visual Alarma	B C	5	2
WP3000	Controla el funcionamiento de la turbina	8.9	Visual Cambio	B C Ex	5 120	2
Tiristores	Regula la onda de la señal	8.10	Visual Alarma	B C	5	2
Transformador	Convierte la energía de un voltaje a otro	8.11	Visual Alarma	B C	5	2
Sensores de velocidad	Sensar la velocidad de giro de las máquinas rotativas	8.12	Visual Alarma	B C	5	2
Veletas	Sensar la dirección del viento	8.13	Visual Alarma	B C	5	2
Anemómetros	Sensar la velocidad del viento fuera de la góndola	8.14	Visual Alarma	B C	5	2
Sensor de bola de vibración	Alarmar por nivel excesivo de vibraciones	8.15	Visual Alarma	B C	5	2
Tac 84	Sensar el nivel de vibraciones en la góndola	8.16	Visual Alarma	B C	5	2
Relé SEG	Sacar la turbina de alimentación por frecuencia o voltaje	8.17	Visual Alarma	B C	5	2
PT-100	Sensar la temperatura	8.18	Visual Alarma	B C	5	2

Sensor de compuerta de las escaleras	Impedir el paso de personal no capacitado a la góndola con la turbina energizada	8.19	Visual Alarma	B C	5	2
Sensores de presión hidráulica y en Tips	Sensar la presión	8.20	Visual Alarma	B C	5	2
Sensor de velocidad de guiñada	Sensar la velocidad y la dirección de la guiñada	8.21	Visual Alarma	B C	5	2
Sensor de freno liberado	Alerta cuando el freno mecánico sobre el eje no está aplicado	8.22	Visual Alarma	B C	5	2
Sensor de torsión de cables	Alerta por cables arrollados	8.23	Visual Alarma	B C	5	2
Filtros del panel	Impedir la entrada de polvo	8.24	Cambio	Ex	20	2
Caja de control en la góndola	Energiza diferentes dispositivos	8.25	Visual	Ex	10	2

## Parte: Subestación y Malla de Tierra

Código: AET-09



[Volver](#)

**Tabla A.4.9.** Manual de la Subestación y la Malla de Tierra

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Interruptor de la Subestación	Interrumpe el alimentador	9.1	Visual	Ex	60	3
Banco y cargador de baterías	Protegen el equipo de control de la subestación	9.2	Visual Medición	Ex Ex	10 30	2
Equipo de Multilin	Monitorea la condición de la subestación	9.3	Visual	Ex	20	2
Aire Acondicionado	Mantiene las condiciones del ambiente	9.4	Visual Cambio	Ex Ex	20 10	2
Maya de tierras	Protege la subestación y fija el neutro	9.5	Prueba	Ex	120	3



## Parte: Transformadores

Código: AET-10

[Volver](#)



**Tabla A.4.10.** Manual de Mantenimiento de los Transformadores

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Superficie y pintura exterior del Trafo	Proteger los componentes internos del ambiente	10.1	Tratado	Ex 5 años	120	2
Devanados y Armadura del Trafo	Convertir voltajes	10.2	Alarma			
Bujes (bushings)	Sostienen las terminales aislándolos de la caja	10.3	Visual	Ex	20	2
Tanque de de circulación de aceite	Almacena el aceite	10.4	Tratado	Ex 5 años	120	2
Aceite	Medio por el cual se evacua el calor a cierta presión	10.5	Visual Prueba	Ex Ex	10 10	2
Aletas de enfriamiento	Maximizar el área de evacuación de calor del aceite	10.6	Visual	Ex	15	2
Cableado de mediana tensión subterráneo	Transmitir la potencia de los generadores a diferente voltaje hacia la subestación	10.7	Visual	Ex	15	2
Puesta a tierra	Protege las instalaciones contra descargas	10.8	Visual	Ex	10	2

Pernos de sujeción del Trafo al cimiento	Mantener el transformador en posición, inmóvil	10.9	Visual Socado	Ex Ex	10 15	2
Fusibles de las fases	Proteger el transformador contra sobre corriente	10.10	Alarma	Ex	20	2

## Parte: Torres de Meteorología

Código: AET-11

[Volver](#)

**Tabla A.4.11. Manual de Mantenimiento de la Torre**

<i>Sub-Parte</i>	<i>Función</i>	<i>Código</i>	<i>Acción</i>	<i>Periodo</i>	<i>Tiempo estimado (Min)</i>	<i>Técnicos</i>
Estructura	Sostener los dispositivos	11.1	Visual Socado	Ex Ex 6 M	15 20	3
Controlador WP1000	Registrar los datos	11.2	Prueba	Ex 6 M	15	2
Cajas	Proteger los dispositivos	11.3	Visual	Ex 6 M	10	2
Cables de señales	Transportar los datos	11.4	Visual	Ex 6 M	10	2
Anemómetro	Sensar la velocidad del viento	11.5	Visual	Ex 6 M	10	2
Veleta	Sensar la dirección del viento	11.6	Visual	Ex 6 M	10	2
Sensores	Tomar diversas variables	11.7	Visual	Ex 6 M	10	2

## Anexo 5: Inspecciones

**Tabla A.5.1.** Hojas de inspección del Generador B, C, EX

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION		<div style="border: 2px solid black; width: 60px; height: 60px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">                 B             </div>		
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Generador		<b>Código</b> AE-T01-01		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Generador</b>						
01 P1	Revisión de los colectores de grasa y los sellos del Generador. Anotación:					
02 P1	Revisión de las conexiones de la caja del generador. Anotación:					
03 P2	Chequeo de protecciones, los contactores y los dispositivos eléctricos Anotación:					
04	Búsqueda de muestras de corrosión o deterioro. Limpieza Anotación:					
<b>Subparte Cables</b>						
05	Revisión del deterioro del cableado a lo largo de la turbina. Anotación:					
<b>Subparte Radiador</b>						
06	Búsqueda de deterioro en tapa de radiador y las uniones de mangueras Anotación:					
07	Control de la cantidad de coolant: Anotación:					
08	Revisión y limpieza de las rejillas y serpentines del radiador: Anotación:					
<b>Subparte Mangueras y uniones</b>						
09	Revisión general de fugas, corrosión y problemas en las uniones. Anotación:					
<b>Subparte Acople del lado del generador</b>						
10	Problemas de desbalanceo y estado general de los acoples Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

**Máquina** AEROGENERADOR

**Parte** Generador

**Código** AE-T01-01

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Generador</b>						
01 P1	Revisión de los colectores de grasa y los sellos del Generador. Anotación:					
02 P1	Revisión de las conexiones de la caja del generador. Anotación:					
03 P2	Chequeo de las protecciones térmicas, los contactores y otros Anotación:					
04	Búsqueda de muestras de corrosión o deterioro. Limpieza Anotación:					
05	Revisión, ajuste de amortiguador de soporte. M24 – 8.8 y 390 Nm Anotación:					
<b>Subparte Cables</b>						
06	Revisión del deterioro del cableado a lo largo de la turbina. Anotación:					
<b>Subparte Radiador</b>						
07	Búsqueda de deterioro en tapa de radiador y las uniones de mangueras Anotación:					
08	Control de la cantidad de coolant: Anotación:					
09	Revisión y limpieza de las rejillas y serpentines del radiador: Anotación:					
<b>Subparte Mangueras y uniones</b>						
10	Revisión general de fugas, corrosión y problemas en las uniones. Anotación:					
<b>Subparte Acople del lado del generador</b>						
11	Problemas de desbalanceo y estado general de los acoples. Ajuste de los pernos en los acoples Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION



<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Generador	<b>Código</b> AE-T01-01
---------------------------------	------------------------	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Generador</b>						
01 P3	Análisis de Vibraciones mensual Anotaciones:					
02 P1	Lubricación de los rodamientos y chequeo de los colectores de grasa. Mobiltemp SHC 100, 60 gr. Cada 3000 h. Anotación:					
03	Revisión de la temperatura de los rodamientos: con ello se puede complementar el monitoreo del estado de los rodamientos. Cada mes. Temperatura estándar es de 60 °C Anotación:					
04	Pruebas de desempeño eléctrico. Curva de potencia, monitoreo de corriente, inspección de devanados. Cada 5 años. Anotación:					
<b>Subparte Eje</b>						
05 P1	Limpieza y búsqueda de corrosión en el eje. Con el Service B. Anotación:					
<b>Subparte Bomba de agua</b>						
06	Revisión de fugas. Con el Service B. Anotación:					
07	Revisión y ajuste de las bases y sus pernos. Con el Service B. Anotación:					
08	Revisión del grado de corrosión. Con el Service B Anotación:					
09 P4	Revisión del motor y sus conexiones. Con el Service B Anotación:					
10 P2	Revisión de los elementos térmicos, contactores, auxiliares. Con el Service B. Anotación:					

**Tabla A.5.2.** Hoja de inspección Freno de Disco B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			B	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Freno de disco		<b>Código</b> AE-T01-02		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Disco y Pastillas</b>						
01 P1	Revisión de la superficie del disco Anotación:					
02 P1	Revisión y ajuste de las pastillas del disco y el sensor Anotación:					
<b>Subparte Bomba</b>						
03 P3	Revisión del estado de los rodamientos, estado del acople, estado de los sellos, alineación del eje, estado del impeller (Verla trabajando). Anotación:					
04	Revisión de fugas. Anotación:					
05 P4	Revisión del nivel de aceite con la bomba apagada. Anotación:					
06	Revisar el estado de la corrosión en todos los dispositivos de freno. Anotación:					
<b>Subparte Acople</b>						
07 P1	Revisar y ajustar alineación. Socar tornillos Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Freno de disco	<b>Código</b> AE-T01-02
---------------------------------	-----------------------------	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
--------	------------	-----------------	-----------------	---------	----	---

**Subparte Disco y pastillas**

01 P1	Revisión de la superficie del disco. Anotaciones:					
-------	--	--	--	--	--	--

02 P1	Revisión, ajuste de alineación de la pastilla con disco. Anotación:					
-------	--	--	--	--	--	--

**Subparte Armadura**

03 P1	Ajustar los pernos, las tuercas y soportes de todo el mecanismo Anotación:					
-------	---	--	--	--	--	--

04 P1	Resocar los pernos del disco de apriete Anotación:					
-------	---	--	--	--	--	--

**Subparte Bomba**

05 P1	Revisión del estado de los rodamientos, estado del acople, estado de los sellos, alineación del eje, estado del impeller (Verla trabajando con el Generador apagado). Anotación:					
-------	---	--	--	--	--	--

06 P3	Revisión de fugas. Anotación:					
-------	----------------------------------	--	--	--	--	--

07 P4	Revisión del nivel de aceite con la bomba apagada. Anotación:					
-------	--	--	--	--	--	--

**Subparte Todo el conjunto del freno**

08	Probar el freno. Anotación:					
----	--------------------------------	--	--	--	--	--

09	Revisar el estado de la corrosión en todos los dispositivos de freno. Anotación:					
----	---	--	--	--	--	--



Empresa AEROENERGIA  
Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

EX

**Máquina**  
AEROGENERADOR

**Parte Freno de disco**

**Código** AE-T01-02

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Pistón</b>						
01	Revisión de sellos y obstrucciones. Cada tres años. Anotaciones:					
02	Cambio de la pastilla con el disparo de una alarma					
<b>Subparte Bomba</b>						
03 P4	Revisión y ajuste de las bases y sus pernos. Revisión del grado de corrosión general. Con service B. Anotación:					
04 P4	Revisión del motor y sus conexiones. Con service B Anotación:					
05 P4	Pruebas al aceite de freno Hydro TL 15. Cada 2 años. Anotación:					
06 P4	Cambio del líquido de freno Hydro TL 15. Cada 5 años. Anotación:					
07 P2	Revisión de protección térmica, contactores, auxiliares Con Service B. Anotación:					
<b>Subparte Parte eléctrica</b>						
08 P1	Revisión de las electroválvulas. Con service B Anotación:					
<b>Subparte Acumuladores</b>						
09	Revisión de la superficie de los acumuladores. Con service B. Anotación:					
<b>Subparte Anclaje en posición Y</b>						
10	Revisión del estado del anclaje. Con service B. Anotación:					

**Tabla A.5.3.** Hoja de inspección de la Caja Multiplicadora B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			B	
Máquina AEROGENERADOR		Parte Caja Multiplicadora		Código AE-T01-03		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Engranés y los rodamientos de la Caja</b>						
01 P1	Inspección visual de dientes: picaduras, marcas, virutas, lubricación. Anotaciones:					
02 P1	Toma de muestra de Aceite para Análisis. Anotación:					
<b>Subparte Caja</b>						
03 P4	Revisión del nivel de aceite. Con la turbina y la bomba detenida. no puede estar a más o a menos de dos centímetros de la raya Anotación:					
04 P1	Revisión y ajuste de los pernos y amortiguadores de la caja. Anotación:					
05 P1	Resocado de pernos del acople con el Eje Principal					
06 P1	Revisión del estado de los sellos de la Caja. Anotación:					
07	Revisar el estado de la corrosión y la pintura de la caja. Anotación:					
<b>Subparte Bomba Hydac</b>						
08 P1	Revisión del estado de los rodamientos, estado del acople, estado de los sellos, alineación del eje, estado del impeller (Verla trabajando). Anotación:					
09	Revisión y ajuste de las bases y sus pernos. Anotación:					
10	Revisión del grado de corrosión. Anotación:					
<b>Subparte Radiador</b>						
11	Revisión de deterioro de los sellos, tapa, uniones de las mangueras Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

**Máquina** AEROGENERADOR

**Parte** Caja Multiplicadora

**Código** AE-T01-03

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Engranés y los rodamientos de la Caja</b>						
01 P1	Inspección visual de dientes: picaduras, marcas, virutas, lubricación. Anotaciones:					
02 P1	Toma de Aceite. Análisis de aceite. Toma de una muestra de aceite. Anotación:					
<b>Subparte Caja</b>						
03 P4	Visual. Revisión del nivel de aceite. Con la turbina y la bomba detenida. No puede estar a más o a menos de dos centímetros de la raya Anotación:					
04 P1	Ajuste. Revisión y ajuste de los pernos y amortiguadores de la caja. Anotación:					
05	Visual. Revisión del estado de los sellos de la Caja. Anotación:					
06	Visual. Revisar el estado de la corrosión y la pintura de la caja. Anotación:					
<b>Subparte Bomba Hydac</b>						
07 P1	Visual, Auditivo. Revisión del estado de los rodamientos, estado del acople, estado de los sellos, alineación del eje, estado del impeller (Verla trabajando). Anotación:					
08	Revisión y ajuste de las bases y sus pernos. Anotación:					
09	Revisión del grado de corrosión. Anotación:					
<b>Subparte Radiador</b>						
10	Revisión de deterioro de los sellos, tapa, uniones de las mangueras Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

EX

**Máquina** AEROGENERADOR

**Parte** Caja Multiplicadora

**Código** AE-T01-03

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T	Ok	X
<b>Subparte Engranajes y los rodamientos de la Caja</b>						
01	Análisis de vibraciones. Mensual. Anotaciones:					
02 P1	Revisión de viruta en el fondo del contenedor cada cambio de filtro. Anotación:					
<b>Subparte Caja</b>						
03 P4	Cambio de aceite. Anotación:					
<b>Subparte Bomba Hydac</b>						
04 P3	Revisión de fugas. Cada Service B Anotación:					
05 P4	Revisión del motor y sus conexiones. Cada service B. Anotación:					
06 P2	Revisión de los elementos térmicos, contactores, contactores auxiliares Cada service B. Anotación:					
<b>Subparte Mangueras, juntas y válvula manual y válvula térmica</b>						
07	Revisión de corrosión, uniformidad del material y fugas en mangueras. Cada service B. Anotación:					
08	Revisión de válvulas y electroválvulas. abrir y cerrar. Cada Service B. Anotación:					
09	Revisión del funcionamiento de válvula térmica de By-pass Wahlen. Anotación:					
<b>Subparte Radiador</b>						
10	Revisión y limpieza de las rejillas, del motor y serpentines del radiador. Cada service B. Anotación:					
11 P4	Revisión de conexiones del motor de ventilador. protección y contactor Cada service B. Anotación:					

**Tabla A.5.4.** Hoja de inspección Rotor, Estación, Tip, Aspa B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA		HOJA DE INSPECCION			<b>B</b>	
Departamento de Mantenimiento						
<b>Mantenimiento Preventivo</b>						
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Rotor, Estación, Tip, Aspa		<b>Código</b> AE-T01-04		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T(min)</b>	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Marcos de todo el conjunto</b>						
01 P5	Revisar el deterioro de los marcos metálicos que sujetan la <i>estación hidráulica</i> , del <i>marco del acumulador</i> , del <i>marco del pistón</i> , del <i>cubo</i> en general y las extensiones. Anotación:					
<b>Subparte Estación Hidráulica</b>						
02 P5	Revisar el deterioro de mangueras y uniones. Resocar uniones. Revisar fugas generales. Revisar estado de acumuladores, del pistón. Anotación:					
03 P5	Revisar la conexión de la tierra del pistón. Anotación:					
04	Revisar la presión. La presión debe rondar por 80 bar Anotación:					
05 P5	Revisar la firmeza del sensor de presión, las tapas de aceite y la electroválvula Anotación:					
06 P5	Revisión de la caja de conexiones					
<b>Subparte Slip Rings</b>						
07 P3	Revisión de los Slip. Verificar que todos los datos de la estación hidráulica se comunican con el parque. Verificar el funcionamiento mecánico Anotación:					
<b>Subparte Funcionamiento General</b>						
08 P5	Debe probarse desde el rotor cada uno de los tips, sacando y retrayendo el mecanismo Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Rotor, Estación, Tip, Aspa	<b>Código</b> AE-T01-04
---------------------------------	--	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Tornillos y Marcos</b>						
01 P5	Resocar los tornillos de a) la Estación al rotor, b) Cubo al eje, c) Cubo a las extensiones, d) Marco del pistón, e) caja de registro en aspa, f) registro de rotor Anotación:					
02 P5	Revisar corrosión de marcos metálicos de a) estación b) marco de acumulador, c) marco de pistón, d) cubo Anotación:					
<b>Subparte Estación Hidráulica</b>						
03 P5	Revisar deterioro en manguera, acumulador, pistón. Anotación:					
04 P5	Revisar la conexión de la tierra del pistón. Anotación:					
05	Revisar la presión. Anotación:					
06 P5	Revisar firmeza de sensor de presión, válvulas, tapas. Anotación:					
<b>Subparte Slip Ring</b>						
07 P3	Revisión de los Slip Ring. Comunicación de datos. Anotación:					
<b>Subparte Aspa y rotor</b>						
08 P6	Limpiar las aspas y el rotor y retocar la pintura. Anotación:					
09 P6	Revisar con galga las aletas metálicas.					
<b>Subparte Funcionamiento general</b>						
10 P6	Debe probarse desde el rotor cada uno de los tips. Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION



<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Rotor, Estación, Tip, Aspa	<b>Código</b> AE-T01-04
---------------------------------	--	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Estación Hidráulica</b>						
01 P5	Cambiar el pistón cada 5 años. Cambiar sellos y revisar el bástago. Anotaciones:					
02 P5	Cambio de aceite. Se puede probar un cambio de aceite cada 5 años. Anotación:					
<b>Subparte Tip</b>						
03 P6	Revisar el cable del Tip desde el registro del aspa cada 4 años. No reventaduras. Firmeza en la unión de los hilos. Anotación:					
04 P6	Revisar manualmente que el mecanismo del Tip funcione desde la caja del tip, bajando y subiendo el tip Anotación:					
05 P6	Lubricar el piñón helicoidal que permite el giro del tip cada 4 años desde el registro. Anotación:					
06 P6	Cambiar los conos de Nylon cada 3 años. Anotación:					
07 P5	Revisión del eje del aspa. Cada vez que se inspeccione el aspa. Anotación:					
08 P5	Ajuste del ángulo del aspa desde el rotor. Anotación:					

**Tabla A.5.5.** Hoja de inspección de la torre B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			B	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte Torre</b>		<b>Código</b> AE-T01-05		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Escaleras</b>						
01 P7	Resocar, revisar la estructura, sujeción, agarre de escalera. Anotación:					
<b>Subparte Accesorios</b>						
02 P7	Revisar uniformidad y sujeción en extremos de arnés. Anotación:					
03 P1	Revisar funcionamiento de grúa sin atascarse. Deterioro Anotación:					
04 P7	Revisar interruptores, luz de navegación, luces, cables Anotación:					
05 P1	Revisar que el movimiento lateral del contrapeso sea leve Anotación:					
06 P7	Revisar que cables estén unidos al separador, sin fisuras Anotación:					
<b>Subparte Cerrojos de puerta, compuertas del nacelle, plataformas</b>						
07	Revisar y aceitar el mecanismo del cerrojo Anotación:					
08 P1	Revisar pines de cierre, prensas, brazos de las compuertas Anotación:					
09 P1	Resocar y revisar plataformas y tapas. Firmes y sin soltura. Anotación:					
<b>Subparte Costuras soldadas y superficie de la torre</b>						
10 P1	Analizar las costuras, revisarlas visualmente. Anotación:					
11 P6	Revisar corrosión y pintar las torres en puntos corroídos. Anotación:					



Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

**Máquina** AEROGENERADOR

**Parte** Torre

**Código** AE-T01-05

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Escaleras</b>						
01 P7	Resocar tuercas, estructura, sujeción con torre. Agarre Anotación:					
<b>Subparte Accesorios</b>						
02 P7	Revisar cable de arnés. Uniforme y sujeto en extremos Anotación:					
03 P1	Revisar que grúa no atasque. Deterioro. Anotación:					
04 P7	Revisar cobertor, contacto, fluorescente, cables. Revisar unión de cable con separador y su deterioro. Anotación					
05 P1	Revisar que movimiento lateral de contrapeso sea leve Anotación:					
06 P1	Resocar todos los pernos. Revisar corrosión. Revisar la posición, sujeción, deterioro de collarines. Anotación:					
<b>Subparte Puerta, compuertas de nacelle, plataformas y tapas</b>						
07	Revisar y aceitar el mecanismo del cerrojo Anotación:					
08 P1	Revisar pin de cierre, las prensas del techo del nacelle Anotación:					
09 P1	Resocar, revisar plataforma y tapa. Firmes. Anotación:					
<b>Subparte Costuras soldadas y superficie de la torre</b>						
10 P1	Analizar las costuras, revisarlas visualmente. Revisar corrosión y pintar las torres por corrosión. Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

EX

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Torre		<b>Código</b> AE-T01-05		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T (min)</b>	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Extintores</b>						
01	Rellenar los extinguidores. Los extintores deben ser rellenados cada año. Anotaciones:					
<b>Subparte Costuras y estructura</b>						
02	Analizar las costuras, los cimientos y la estructura por Técnicas No Destructivas. Cada 5 años. Anotación:					
03	Pintura de la torre por corrosión. Revisar cada 3 años.					
<b>Subparte Pernos de la base</b>						
04	Cambio de los pernos de la base de la torre. Cada 4 años.					

**Tabla A.5.6.** Hoja de inspección Transmisión B, C

Empresa AEROENERGIA		HOJA DE INSPECCION		<b>B</b>		
Mantenimiento Preventivo						
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Transmisión		<b>Código</b> AE-T01-06		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T</b> (min)	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Rodamiento y eje principal</b>						
01 P1	Engrasar y ajustar los sellos. Anotaciones:					
02 P1	Revisar el estado de la pintura e indicios de corrosión. Anotación:					
03 P1	Ajustar la escobilla contra sobrecargas eléctricas. Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
Departamento de Mantenimiento

HOJA DE INSPECCION



**Mantenimiento Preventivo**

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Transmisión	<b>Código</b> AE-T01-06
---------------------------------	--------------------------	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
--------	------------	-----------------	-----------------	---------	----	---

<b>Subparte Rodamiento y eje principal</b>						
--	--	--	--	--	--	--

01 P1	Engrasar y ajustar los sellos. Anotaciones:					
02 P1	Revisar el estado de la pintura e indicios de corrosión. Anotación:					
03 P1	Ajustar la escobilla contra sobrecargas eléctricas. Anotación:					
04 P1	Revisar y resocar los tornillos de los extremos del eje. Anotación:					
05 P1	Revisar y resocar los tornillos de los marcos y los cimientos del Bearing Anotación:					
06 P1	Limpieza del eje y del rodamiento. Anotación:					
07 P1	Resocado de acoples del rotor con el rodamiento y del eje con la caja					

**Tabla A.5.7.** Hoja de inspección de Guiñada B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			B	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Sistema de guiñada		<b>Código</b> AE-T01-07		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T</b> (min)	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Frenos de guiñada</b>						
01 P4	Revisar y calibrar la alineación del freno y del sensor de velocidad. Anotación:					
02 P4	Revisar y calibrar el juego de los rodamientos Anotación:					
03 P4	Revisar sellos del freno, que no estén deteriorados. Anotación:					
04 P1	Control de corrosión y lubricación de los dientes Anotación:					
05 P4	Lubricación del freno. Anotaciones:					
<b>Subparte Corona</b>						
06 P4	Revisar y controlar los sellos de corona. Anotación:					
07 P1	Revisar corrosión en dientes de corona. Lubricar Anotación:					
08 P1	Engrasar la corona Anotación:					
<b>Subparte Motores de guiñada</b>						
09 P1	Revisar corrosión en dientes. Lubricar los dientes. Anotación:					
10 P1	Revisar el estado de la pintura y la corrosión. Anotación:					
11 P4	Revisión de los sellos, las conexiones, cable, contactor, protección. Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

C

Máquina		Parte Sistema de guiñada		Código AE-T01-07		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Frenos de guiñada</b>						
01 P4	Revisar y calibrar alineación del freno y del sensor Anotación:					
02 P4	Revisar y calibrar el juego de los rodamientos Anotación:					
03 P4	Revisar el deterioro de los sellos del freno. Control de la corrosión y la lubricación de dientes Anotación:					
04 P1	Lubricación del freno. Anotación:					
05 P1	Revisar y ajustar el juego de los dientes del freno Anotación:					
06 P1	Revisar y resocar tornillos de sujeción del freno Anotación:					
<b>Subparte Corona</b>						
07 P4	Revisar y resocar la sujeción de la corona. Revisar corrosión en dientes de corona. Lubricar. Revisar y controlar sellos de corona. Engrasar Anotación:					
<b>Subparte Motores de Guiñada</b>						
08 P4	Revisar y resocar los tornillos fijadores del motor. Anotación:					
09 P4	Revisar el nivel de aceite del reductor del motor Anotación:					
10 P4	Revisar, lubricar en dientes. Revisar sellos Anotación:					
11 P4	Revisar el estado de la pintura y la corrosión Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

EX

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Sistema de guiñada		<b>Código</b> AE-T01-07		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T</b> (min)	<b>Ok</b>	<b>X</b>
	<b>Subparte Motor de guiñada</b>					
01 P4	Lubricar el motor cada 3 años. Anotación:					
02 P1	Cambio de tornillos de la tapa inferior de los dientes de guiñada cada 3 años Anotación:					

**Tabla A.5.8.** Hoja de inspección de paneles de control y sensores B, C, Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			<div style="border: 2px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">                     B                 </div>	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Paneles de control y sensores			<b>Código</b> AE-T01-08	
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T</b> (min)	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Sensores</b>						
01 P2 P4	Revisión y chequeo de funcionamiento de los sensores de a) sensor de torsión en cables, b) sensores de RPM, c) sensor de vibración, d) desgaste en las pastillas de freno, e) veletas, f) anemómetro, g) sensores de temperatura, h) sensor de guiñada, i) botón de switch general. Anotación:					
02 P2 P4	Revisión y chequeo en el resto de los sensores Anotación:					
<b>Subparte Controladores y paneles</b>						
03 P4	Revisión de las terminales de las conexiones, contactores y dispositivos del panel. Anotación:					
04 P2	Revisión de las fuentes y los dispositivos de poder del tablero. Anotación:					
<b>Subparte Estructura</b>						
05 P7	Revisión de los separadores de los cables de potencia. Anotación:					



Empresa AEROENERGIA  
Departamento de Mantenimiento

HOJA DE INSPECCION

C

**Mantenimiento Preventivo**

**Máquina**  
AEROGENERADOR

**Parte** Paneles de control y  
sensores

**Código** AE-T01-08

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Sensores</b>						
01 P2 P4	Revisión y chequeo de funcionamiento de los sensores de a) sensor de torsión en cables, b) sensores de RPM, c) sensor de vibración, d) desgaste en las pastillas de freno, e) veletas, f) anemómetro, g) sensores de temperatura, h) sensor de guiñada, i) botón de switch general. Anotación:					
02 P2 P4	Revisión y chequeo en el resto de los sensores Anotación:					
<b>Subparte Controladores y paneles</b>						
03 P4	Revisión de las terminales de las conexiones, contactores y dispositivos. Anotación:					
04 P2	Revisión de las fuentes y los dispositivos de poder del tablero. Anotación:					
<b>Subparte Estructura</b>						
05 P7	Revisión de los separadores de los cables de potencia Anotación:					

Empresa AEROENERGIA  
 Mantenimiento Preventivo

HOJA DE INSPECCION

Ex

<b>Máquina</b> AEROGENERADOR	<b>Parte</b> Paneles de control y sensores	<b>Código</b> AE-T01-08
---------------------------------	--	-------------------------

Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Controladores y paneles</b>						
01 P4	Cambio de WP3000 cada 3 años. Anotación:					
02 P4	Revisión de las conexiones y los switches en las cajas de control de la góndola. Cada Service B Anotación:					
03 P4	Revisión de la conexión a tierra. Cada Service B Anotación:					
<b>Subparte Estructura</b>						
04 P4	Cambio de filtros de los ventiladores en los paneles de control. Cada Service B. Anotación:					

**Tabla A.5.9.** Hoja de inspección Subestación y malla de tierra Ex

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			Ex	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Subestación y Malla de Tierra		<b>Código</b> AE-09		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Interruptores</b>						
01 P8	Revisión del desgaste de los contactos interruptivos Cada 2 años. Anotación:					
<b>Subparte Baterías</b>						
02 P9	Lavar vent plugs batería con agua, secar. Cada 2 años Anotación:					
03	Medir a) niveles de electrolitos, b) el voltaje (El voltaje en terminales debe ser $N \times U$ , donde N es el número de baterías conectadas y U es el voltaje de flotación por celda), c) gravedad específica d) temperatura. Mensual. Anotación:					
<b>Subparte Multilin y los sensores en la Subestación</b>						
04 P10	Revisar de las conexiones, el cableado. Cada dos años. Revisar consistencia de datos de multilin con Turbinas. Anotación:					
<b>Subparte Acondicionamiento del aire</b>						
05	Limpiar filtros de aire acondicionado. Cada mes. Revisar Equipo Compacto de aire acondicionado. Anotación:					
06	Revisión de humedad. Mensual Anotación:					
<b>Subparte Maya</b>						
07	Toma de mediciones y diagnóstico. Revisar deterioro. Anual. Anotación:					

**Tabla A.5.10.** Hoja de inspección de Transformadores Ex

Empresa AEROENERGIA		HOJA DE INSPECCION			EX	
Mantenimiento Preventivo						
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Transformadores		<b>Código</b> AE-T01-10		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
<b>Subparte Fusibles</b>						
01 P4	Cambiar fusibles de fase cuando se dispara una alarma. Anotación:					
<b>Subparte Armazón del transformador</b>						
02 P4	Retoque de la pintura cada 5 años Anotación:					
03	Inspeccionar visualmente en busca de fugas. Mensual. Anotación:					
04	Reafirmado de anclajes de Transformador al cimiento Mensual. Anotación:					
<b>Subparte Parte eléctrica</b>						
05 P10	Puntos calientes en terminales del transformador. Mensual. Anotación:					
06 P10	Revisión de cableado, dispositivos, maya a tierra. Anual Anotación:					
07 P10	Revisión del cableado de mediana tensión. Anual Anotación:					
<b>Subparte Aceite</b>						
08 P10	Análisis de aceite. Anual. Anotación:					
09 P10	Verificar presión y temperatura de operación en plena carga. La presión puede ser + 1 bar o - 1 bar. Mensual. Anotación:					

**Tabla A.5.11.** Hoja de inspección de la Torre de Meteorología Ex

Empresa AEROENERGIA Departamento de Mantenimiento		HOJA DE INSPECCION			Ex	
<b>Mantenimiento Preventivo</b>						
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Torre de meteorología		<b>Código</b> AE -11		
<b>Número</b>	<b>Inspección</b>	<b>Hora de inicio:</b>	<b>Hora de salida:</b>	<b>T(min)</b>	<b>Ok</b>	<b>X</b>
<b>Subparte Sensores, cajas y los cables</b>						
01 P10	Revisión y lubricación de los sensores móviles con rodamientos cada 6 meses Anotación:					
02 P10	Revisar el estado de los cables y las cajas, su desgaste y corrosión cada 6 meses. Anotación:					
<b>Subparte Controladores WP1000</b>						
03	Entrevistar el controlador para corroborar que está funcionando bien. Corroborar que la comunicación está en buen estado. Cada 6 meses. Anotación:					
04 P10	Revisar que los cables estén firmemente conectados. Cada 6 meses Anotación:					
05 P10	Revisar visualmente el interior del controlador. No deben verse dispositivos corroídos o parcialmente quemados. Cada 6 meses Anotación:					
<b>Subparte Estructura</b>						
06 P10	Revisión de la corrosión y la pintura cada 6 meses Anotación:					
07	Resocar las tuercas de los cimientos, verificar las soldaduras, resocar y verificar el estado de los anclajes y los cables. Cada 6 meses Anotación:					

**Tabla A.5.12.** Hoja de inspección de Inspecciones generales B

Empresa AEROENERGIA Mantenimiento Preventivo		HOJA DE INSPECCION			<b>B</b>	
<b>Máquina</b> AEROGENERADOR		<b>Parte</b> Inspecciones generales		<b>Código</b> AE-T01-12		
Número	Inspección	Hora de inicio:	Hora de salida:	T (min)	Ok	X
01	Corroborar que la góndola se posicione de cara a la dirección del viento. Visualmente Anotación:					
02	Revizar el nivel y el tipo de ruido y vibración de las máquinas trabajando. Auditivo. Anotación:					
03	Revizar el frenado de disco como único dispositivo de frenado. Anotación:					
04	Revizar el frenado aerodinámico como único dispositivo de frenado. Anotación:					
05	Controlar e imprimir los setpoints. Anotación:					
06	Imprimir los errores Anotación:					
07	Imprimir la curva de potencia Anotación:					

## Anexo 6: Gantt para el año 2004

[Gantt 2004: Inspecciones tipo B y Ex](#)

[Volver](#)

## Anexo 7: Flujogramas frente a Alarmas

[Alarm 1](#)

[Alarm 13](#)

[Alarm 47](#)

[Alarm 48](#)

[Alarm 120 y 121](#)

[Alarm 130](#)

[Alarm 221](#)

[Alarm 223](#)

[Alarm 300 y 302](#)

[Alarm 322](#)

[Alarm 415](#)

[Alarm 422](#)

[Alarm 437](#)

[Alarm 438](#)

[Alarm 600](#)

[Alarm 601](#)

[Alarm 602](#)

[Alarm 620](#)

[Alarm 715](#)

[Alarm 722](#)

[Alarm 904](#)

[Alarm 906](#)

[Volver](#)



## Anexo 8: Reporte mensual de Fallas

Documento electrónico

Este es un ejemplo correspondiente al mes de febrero del año 2004

[ALARMA0204.xls](#)

[Volver](#)

## **Anexo 9: Reporte de Mano de obra directa**

[Reporte Semanal de Labores de Encargados del Mantenimiento](#)

[Volver](#)

[Volver](#)

## Anexo 10: Formato de pagos y compras

[Ejemplo de formato de Pago](#)

[Volver](#)

## Anexo 11: Imágenes de la máquina

[Imágenes de las partes de la turbina](#)

## **Anexo 12: Tendencia de Valores Globales de Vibración**

[Tendencia de Valores Globales](#)

[Volver](#)

## Anexo 13: Hoja de Análisis de Valores Globales

**Tabla A.13.1.** Hoja de análisis de Valores Globales

Empresa AEROENERGIA		<b>Análisis de Valores Globales de Vibración en Velocidad</b>			
<b>Turbina:</b>		<b>Día:</b>		<b>Hora:</b>	
<b>Velocidad del viento:</b>		<b>Potencia:</b>		<b>Producción acumulada:</b>	
Punto Medición	Valor global	Severidad	Valor promedio	Ver Espectros	
				Si	No
<b>Semana No:</b>	<b>Anotaciones generales:</b>				
<b>Tomó las mediciones:</b>			<b>Analizó los datos:</b>		

[Volver](#)

## Anexo 14: Hoja de Análisis de Espectros

Tabla A.14.1. Hoja de análisis de espectros

Empresa AEROENERGIA							
<b>Turbina:</b>			<b>Día:</b>			<b>Hora:</b>	
<b>Velocidad del viento:</b>			<b>Potencia:</b>			<b>Producción acumulada:</b>	
Punto Medición	Frecuencias observadas (Hz)	Posibles fallas	Armónicos		Etapa de falla	Intervenir	
			Bf	Af		Si	No
<b>Semana No:</b>		<b>Anotaciones generales:</b>					
<b>Tomó las mediciones:</b>				<b>Analizó los datos:</b>			
<b>Conclusiones:</b>							

Posibles fallas:

A: Pista interior del Rodamiento

B: Pista exterior del Rodamiento

C: Elementos Rodantes

D: Canasta

E: Desalineación, Desbalance, eje torcido; o demás problemas con el eje.

F: Problemas en los dientes de los engranajes.

## Anexo 15: Ejemplo de Análisis para la Turbina 9

**Tabla A.15.1.** Análisis para turbina 9

Empresa AEROENERGIA <span style="float: right;"><b>Análisis de Valores Globales de Vibración en Velocidad y Enveloping</b></span>					
<b>Turbina: 9</b>		Día: 13/05/2004		Hora: 10:50	
<b>Velocidad del viento: -----</b>		Potencia: -----		Producción ----- acumulada:	
Punto Medición	Valor global	Severidad	Valor promedio	Ver Espectros	
				Si	No
P1 Vel	2,4	B Permisible	1,87		
P1 Env	5,28	Alerta			
P2 Vel	3,22	B Permisible	2,27		
P2 Env	6,16	Alerta			
P3 Vel	1,61	A Bien	1,6		
P4 Vel	3,91	B Permisible	2,17		
P4 Env	4,43	Alerta			
P5 Vel	1,85	A Bien	2,32		
P5 Env	3,67	Satisfactorio			
P6 Vel	1,83	A Bien	1,6		
P7 Vel	1,53	A Bien	1,8		
P10 Vel	5,89	C Tolerable	5	X	
P10 Env	13,26	No admisible		X	
P11 Vel	5,12	C Tolerable	4,79	X	
P11 Env	4,6	Alerta		X	
P12 Front Vel	3,42	B Permisible	4,93	X	
Semana No:		Anotaciones generales:			
Tomó las mediciones:			Analizó los datos:		



## Anexo 16: Ejemplo de Análisis de Espectros

### Turbina 9

Tabla A.16.1. Análisis de espectros de Turbina 9

Empresa AEROENERGIA							
Turbina: 9		Día: 13/05/2004			Hora: 10:50 am		
Velocidad del viento: -----		Potencia: -----			Producción ----- acumulada:		
Punto Medición	Frecuencias observadas (Hz)	Posibles fallas	Armónicos		Etapa de falla	Intervenir	
			Bf	Af		Si	No
P10 Vel	30, 80, 150	A, E			1		
Acc	146, 176, 1250, 1286			1x			
Env	30	Fallas en etapas tempranas	x	x			
P11 Vel	30, 90, 150	A, E			1		
Acc	30, 86, 146, 555			1x			
Env	30						
P12 Front Vel	30, 150, 180	F	x	x	3		
Semana No:	Anotaciones generales: datos insuficientes. Tendencia a falla en Bearing delantero.						
Tomó las mediciones: Carlos V.			Analizó los datos: Carlos V.				
Conclusiones: Gran cantidad de vibraciones en 30 Hz. Problemas en el eje.							

Posibles fallas:

A: Pista interior del Rodamiento

B: Pista exterior del Rodamiento

C: Elementos Rodantes

D: Canasta

E: Desalineación, Desbalance, eje torcido; o demás problemas con el eje.

F: Problemas en los dientes de los engranajes.

[Volver](#)

## Anexo 17: Ejemplo de Análisis para la Turbina 1

Tabla A.17.1. Análisis de turbina 1

Empresa AEROENERGIA						
Turbina: 1			Día: 15/05/2004		Hora: 12:06 pm	
Velocidad del viento: -----			Potencia: -----		Producción ----- acumulada:	
Punto	Medición	Valor global	Severidad	Valor promedio	Ver Espectros	
					Si	No
P1	Vel	2,33	B Permissible	1,87		
P1	Env	2,86	Satisfatorio	3,11		
P2	Vel	3,7	B Permissible	2,27		
P2	Env	3,02	Alerta	2,71		
P3	Vel	2,45	B Permissible	1,6		
P4	Vel	3,93	B Permissible	2,17		
P4	Env	13,05 - 6,25	No admisible	5,6	X	
P5	Vel	2,85	B Permissible	2,32		
P5	Env	6,5	Alerta	3,61		
P6	Vel	2,7	B Permissible	1,6		
P6	Env	8,3	No admisible	4,25	X	
P7	Vel	1,88	A Bien	1,8		
P10	Vel	7,2	C Tolerable	5	X	
P10	Env	7,02 - 2,25	No admisible	3,14	X	
P11	Vel	5,85	C Tolerable	4,79	X	
P11	Env	3,54 - 2,22	Alerta	2,24		
P12	Front Vel	12,34	D No permisible	4,93	X	
Semana No:		Anotaciones generales: Se debe corregir la alineación.				
Tomó las mediciones:			Analizó los datos:			

[Volver](#)

## Anexo 18: Ejemplo de Análisis de Espectros para la Turbina 1

**Tabla A.18.1.** Análisis de espectros para turbina 1

Empresa AEROENERGIA									
Turbina: 1			Día: 13/05/2004			Hora: 10:50 am			
Velocidad del viento: -----			Potencia: -----			Producción ----- acumulada:			
Punto	Medición	Frecuencias observadas (Hz)	Posibles fallas	Armónicos		Etapa de falla	Intervenir		
				Bf	Af		Si	No	
P4	Vel	5				3			
	Env	5, 55				Logarítmica	Monitorear		
	Acc	1870				Side bands			
P6	Vel	30, 200, 1870, 2080	E, B,						
	Env	10, 200, 3740, 3950	E, B			Forma de U	Monitorear		
	Acc	1870	A			Side bands			
P10	Vel	30	E			1	Monitorear		
	Acc	-							
	Env	240	C				Monitorear		
P11	Vel	30, 90	E, B			1	Monitorear		
	Acc	30, 93	E, B			1			
	Env	-							
P12	Front Vel	5, 30	E			1	X		
Semana No:		Anotaciones generales:.							
Tomó las mediciones: Carlos V.				Analizó los datos: Carlos V.					
Conclusiones: El problema con el eje debe ser intervenido. Las demás vibraciones deben ser monitoreadas para obtener conclusiones.									

A: Pista interior del Rodamiento

B: Pista exterior del Rodamiento

C: Elementos Rodantes

D: Canasta

E: Desalineación, Desbalance, eje torcido; o demás problemas con el eje.

F: Problemas en los dientes de los engranajes.

[Volver](#)

## **Anexo 19: Información sobre Vibraciones en la Caja Multiplicadora Flender PEAC 4300.4 proporcionada por Flender**

[Información de Flender sobre Monitoreo a Condición](#)

[Tabla de Frecuencias en los rodamientos de Flender](#)

[Tabla de frecuencias para Engranajes de Flender](#)

[Volver](#)

## Anexo 20: Frecuencias de Falla en los rodamientos de la Caja Multiplicadora

**Tabla A.20.1.** Velocidad y frecuencia de rotación de salida

Frecuencia de rotación			
1812	RPM	30.2	Hz

**Tabla A.20.2.** Rodamientos en el eje del engrane helicoidal (NJ 2224 EC/C3) (D, G)

Tipo de frecuencia	Detalle	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior)	93,460	111,97	224	336	448	560	672	784	896	1008	1120
Fe	BPFO (pista exterior)	68,600	82,18	164	247	329	411	493	575	657	740	822
Fb	BSF (elementos rodantes)	60,69	72,71	145	218	291	364	436	509	582	654	727
Ft	FTF (problemas en la canasta)	4,040	4,84	10	15	19	24	29	34	39	44	48

**Tabla A.20.3.** Rodamientos del eje del Engrane Sol del Sistema Planetario (SL 182960-INA) (I)

Tipo	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (Pista interior)	39,720	47,58	95	143	190	238	286	333	381	428	476
Fe	BPFO (Pista exterior)	33,200	39,77	80	119	159	199	239	278	318	358	398
Fb	BSF (ruedas)	23,09	27,66	55	83	111	138	166	194	221	249	277
Ft	FTF (canasta)	0,95	1,14	2	3	5	6	7	8	9	10	11

**Tabla A.20.4.** Rodamientos del Engrane Sol del Sistema Planetario (SL181860-INA) (H)

Tipo de frecuencia	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (Inner Race; pista interior )	61,600	73,80	148	221	295	369	443	517	590	664	738
Fe	BPFO (Outer Race; pista exterior )	55,070	65,97	132	198	264	330	396	462	528	594	660
Fb	BSF (Ball Spin Frequency; elementos rodantes )	37,07	44,41	89	133	178	222	266	311	355	400	444
Ft	FTF (problemas en la canasta)	0,98	1,17	2	4	5	6	7	8	9	11	12

**Tabla A.20.5.** Rodamientos en los ejes de los Planetarios (24132CC/C3) (B)

Tipo de frecuencia	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior )	12,200	14,62	29	44	58	73	88	102	117	132	146
Fe	BPFO (pista exterior )	9,500	11,38	23	34	46	57	68	80	91	102	114
Fb	BSF (elementos rodantes )	7,890	9,45	19	28	38	47	57	66	76	85	95
Ft	FTF (problemas en la canasta)	0,45	0,54	1	2	2	3	3	4	4	5	5

**Tabla A.20.6.** Rodamiento en la salida de la caja del lado del generador (22226 EC3) (F)

Tipo	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior)	260,98	312,65	625	938	1251	1563	1876	2189	2501	2814	3127
Fe	BPFO (pista exterior)	191,72	229,68	459	689	919	1148	1378	1608	1837	2067	2297
Fb	BSF (elementos rodantes)	158,19	189,51	379	569	758	948	1137	1327	1516	1706	1895
Ft	FTF (problemas en la canasta)	10,65	12,76	26	38	51	64	77	89	102	115	128

**Tabla A.20.7.** Rodamiento de salida de la caja del lado del generador (NJ 2224 E3/C3) (E)

Tipo	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior)	246,57	295,39	591	886	1182	1477	1772	2068	2363	2659	2954
Fe	BPFO (pista exterior)	180,98	216,81	434	650	867	1084	1301	1518	1735	1951	2168
Fb	BSF (elementos rodantes)	160,1	191,80	384	575	767	959	1151	1343	1534	1726	1918
Ft	FTF (problemas en la canasta)	10,65	12,76	26	38	51	64	77	89	102	115	128

**Tabla A.20.8.** Rodamiento en la entrada de la caja (SL 181868-INA) (A)

Tipo	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior)	13,030	15,61	31	47	62	78	94	109	125	140	156
Fe	BPFO (pista exterior)	11,77	14,10	28	42	56	71	85	99	113	127	141
Fb	BSF (elementos rodantes)	7,890	9,45	19	28	38	47	57	66	76	85	95
Ft	FTF (problemas en la canasta)	0,19	0,23	0	1	1	1	1	2	2	2	2

**Tabla A.20.9.** Rodamiento en la entrada de la caja (SL 181892-INA) (C)

Tipo de frecuencia	Detalle del Tipo	Hz (1510 rpm)	Hz (1810 rpm)	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (pista interior)	12,230	14,65	29	44	59	73	88	103	117	132	147
Fe	BPFO (pista exterior)	10,97	13,14	26	39	53	66	79	92	105	118	131
Fb	BSF (elementos rodantes)	7,370	8,83	18	26	35	44	53	62	71	79	88
Ft	FTF (problemas en la canasta)	0,19	0,23	0	1	1	1	1	2	2	2	2

[Volver](#)



## Anexo 21: Frecuencias de Falla en los engranes de la caja multiplicadora

**Tabla A.21.1.** Engranes de la caja en las diferentes etapas<sup>16</sup>.

Tipo	Detalle del Tipo	0.5	N	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
Etapa Epicíclica	Conjunto de planetarios y sol	15	30	60	91	121	151	182	212	243	273	303	334
Etapa intermedia	Engranes en paralelo (morado)	102	204	408	612	816	1020	1224	1428	1632	1837	2041	2245
Etapa de salida	Engranes de salida (blanco)	467	934	1869	2803	3738	4673	5607	6542	7477	8411	9346	10281

[Volver](#)

<sup>16</sup> La tabla muestra las frecuencias a la mitad de la frecuencia principal (0.5), a la frecuencia principal (N) y a las diferentes armónicas (xh).

## Anexo 22: Puntos de medición de vibraciones en la caja, señalamiento y codificación de rodamientos

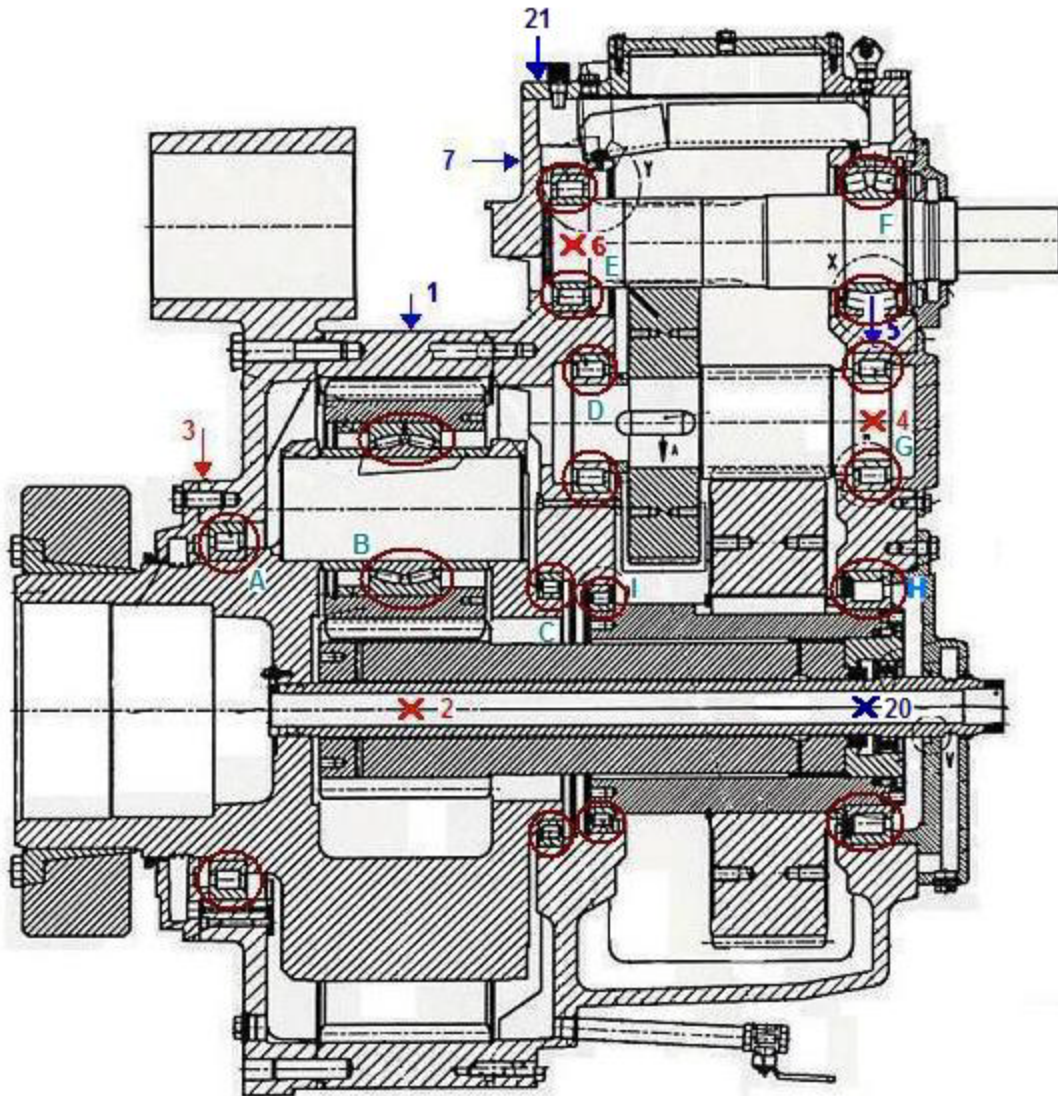


Figura.A.22.1. Puntos de medición en la Caja Multiplicadora

[Volver](#)

## Anexo 23: Frecuencia de giro en los piñones de la caja por el Método Analítico de Tabulación.

En la siguiente figura se muestra una imagen de la Caja Flender PEAC 4300.4

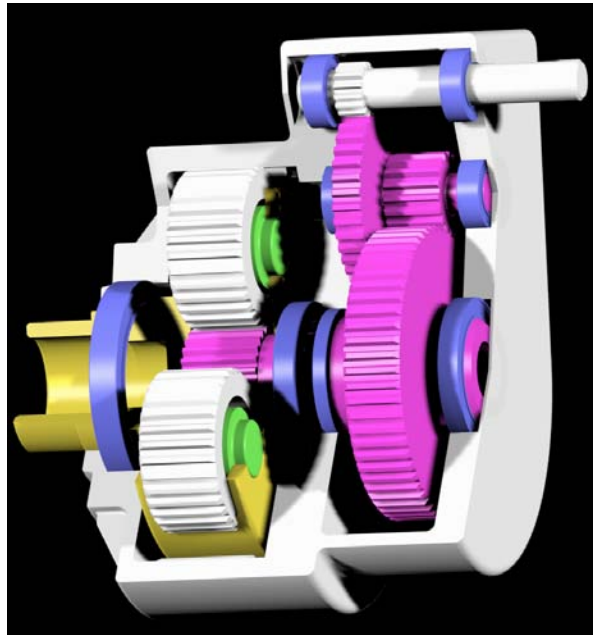


Figura.A.23.1. Distribución interna de la Caja Multiplicadora<sup>17</sup>

Para una configuración planetaria igual a la presentada por la Caja Flender se presenta la tabla básica del Método de Tabulación<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Tomado de la Presentación de las mejoras en las Cajas Multiplicadoras

<sup>18</sup> Esta tabla fue tomada del libro Mecanismos y Dinámica de Máquina. Hamilton H. Mabie y Charles F. Reinholz.

**Tabla A.23.1.** Tabla de cálculos por el método de Tabulación

	Corona	Rueda sol	Piñón Planetario	Brazo transmisor
Movimiento con el Brazo relativo al bastidor	+1	+1	+1	+1
Movimiento relativo al brazo	-1	+ N1/N2	- N1 / N3	0
Movimiento total relativo al bastidor	0	1 + (N1/N2)	1 – (N1/N3)	+1

De esta forma, se obtienen las velocidades de cada elemento, sabiendo que se cuenta con 68 dientes en la corona de la carcaza, 26 dientes en el piñón planetario, 16 dientes en la rueda sol, que la relación de velocidades en la etapa intermedia es 24.04 y la relación de velocidades en la etapa de salida es 67.466.

**Tabla A.23.2.** Tabla de velocidades y frecuencias de los ejes de la Caja Multiplicadora

Velocidades de giro de los ejes en la Caja			
Velocidad en el brazo de entrada	$i = 1$	26 rpm	0.43 Hz
Velocidad en el piñón planetario	$i = -1.615$	42 rpm	0.7 Hz
Velocidad en la rueda sol	$i = 5.25$	136.5 rpm	2.275 Hz
Velocidad en la etapa intermedia	$i = 24.04$	625 rpm	10.41 Hz
Velocidad en la etapa de salida	$i = 67.466$	1812 rpm	30.2 Hz

[Volver](#)

## Anexo 24: Muestra de Cálculo de las frecuencias de los Rodamientos Traseros y Delanteros del Generador

**Tabla A.24.1.** Tabla de datos de los rodamientos del generador

Tabla de Datos	
n bolas	8 bolas
fr	1812 rpm    30.2 Hz
dm	190 mm
d	56 mm
$\beta$	40°

**Tabla A.24.2.** Frecuencias de falla en el generador

Frecuencia		Ecuación	Resultado (Hz)
Fi	BPM	$0.6 (fr)(n_{esferas})$	144.96
Fe	BPM	$0.4 (fr)(n_{esferas})$	96.64
Fb	BSF	$\frac{dm(fr)}{2d} [1 - ((d/d_m)^2 (\cos(\beta))^2)]$	48.620
Ft	FTF	$\frac{fr}{2d} [1 - ((d)(\cos(\beta)))]$	11.690

[Volver](#)

## Anexo 25: Frecuencias de falla del Rodamiento Trasero y Delantero del Generador

**Tabla A.25.1.** Marca y designación de los rodamientos del generador

Marca	Designación
SKF	6324/C3VL0241

**Tabla A.25.2.** Velocidad y frecuencia del generador

Frecuencia de rotación			
1812	RPM	30.2	Hz

**Tabla A.25.3.** Frecuencias de falla en la Caja Multiplicadora

Tipo de frecuencia	Detalle del Tipo	Hz	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Fi	BPFI (Inner Race; pista interior )	144.9	290	435	580	725	870	1015	1160	1305	1450
Fe	BPFO (Outer Race; pista exterior )	96.6	193	290	387	483	580	676	773	870	966
Fb	BSF (Ball Spin Frequency; elementos rodantes )	48.6	97	146	194	243	292	340	389	438	486
Ft	FTF (Fundamental Train Frequency; problemas en la canasta)	11.6	23	35	47	58	70	82	94	105	117

[Volver](#)

# Anexo 26: Puntos de medición de vibraciones en el Generador

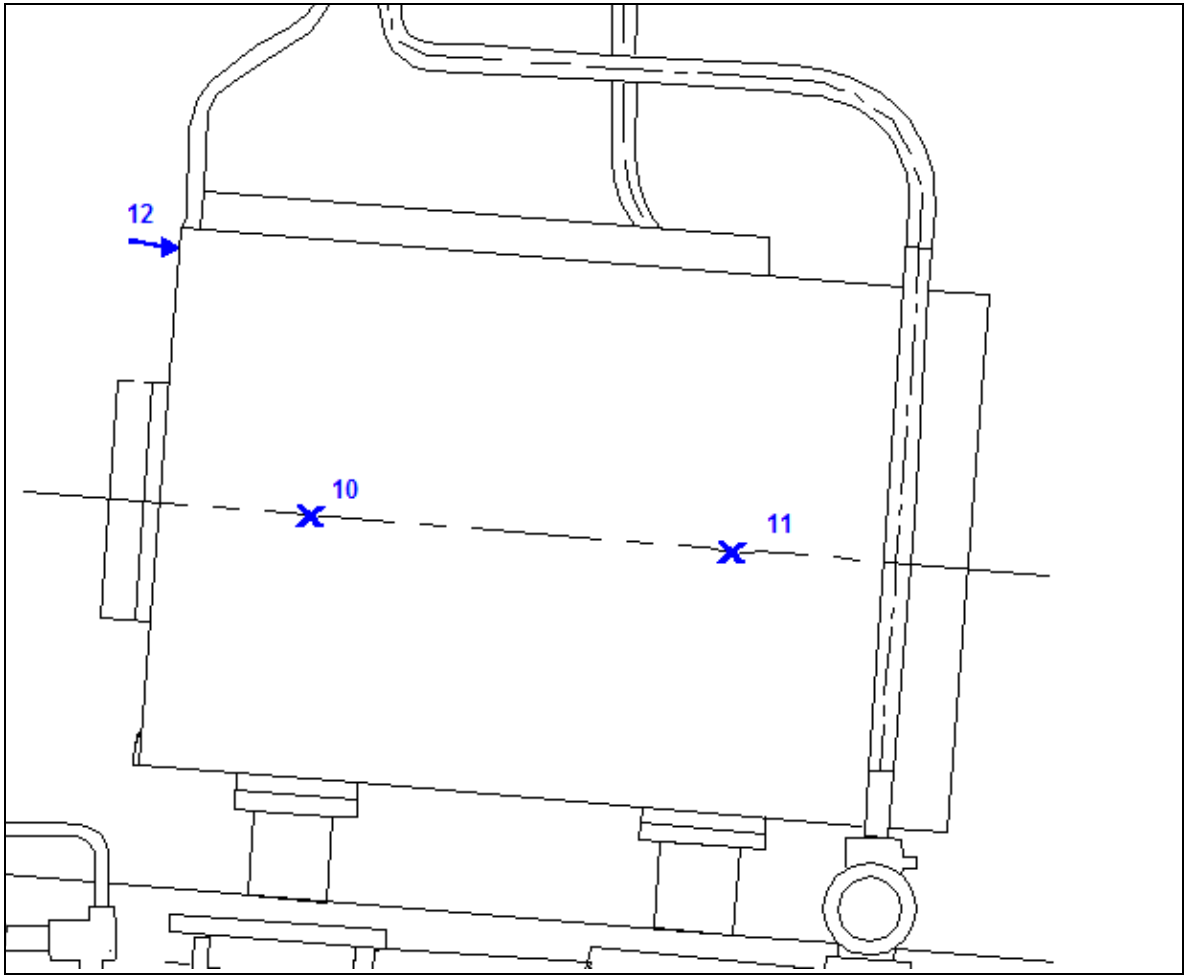


Figura A.26.1 Puntos de medición en el Generador Elin

[Volver](#)

## Anexo 27: Configuración de las mediciones de Velocidad

**Tabla A.27.1.** Configuración de las mediciones de velocidad

Configuración de mediciones de Velocidad		
Full scale	10 mm/sec	El máximo esperable de los datos de velocidad es 10 mm/sec. Después de ese valor, una falla es obvia.
Input mV/EU	100	Este es el valor del sensor original del equipo.
Detection	RMS	Las tablas de la Norma ISO 2374 están en RMS
Low Frecuency limit	2 Hz	El limites de baja frecuencia debe ser un valor bajo.
Save Data	FFT and Time	Al salvar los datos en modo FFT and Time, se toma en cuenta el valor de la señal en el tiempo y se obtienen mejores señales
AutoCapture	Always	Con el modo de captura de datos en Always se agilizan las mediciones
Frequency Type	Fixed Span	El tipo Order Track es especial para toma de fases. En esta ocasión, la toma de fase no se aplica.
Speed	136 RPM	Esta velocidad cambia conforme cambia el punto a medir.
Start Frequency	0 Hz	Se inicia en 0 Hz con tal de no perder las señales en bajas frecuencias.
Lines	400	El número de lineas recomendable es 400. Un valor menor implica menos capacidad de análisis, y un valor mayor implica una toma de datos más lento.
End Frecuency	4000 Hz	Este dato puede cambiar a partir de la velocidad del elemento monitoreado.
Storage Depht	12	Para planes de monitoreo de vibraciones a largo plazo este dato debe incrementarse.
Window	Hanning	Este parámetro se usa para medición generales.
Averages	3	El número de datos con el cual obtiene el promedio debe ser bajo para agilizar la medición y evitar medidas sobrecargadas.
Speed Ratio	1	

[Volver](#)



## Anexo 28: Configuración de las mediciones de Enveloping

**Tabla A.28.1.** Configuración de las mediciones de Enveloping

Configuración de mediciones de Velocidad		
Full scale	25 gE	El máximo esperable de los datos de velocidad es 25 gE. Ese valor es exagerado y no debería pasar de 10 gE.
Input mV/EU	100	Este es el valor del sensor original del equipo.
Detection	Peak to Peak	Usualmente los valores de Enveloping se miden de pico a pico.
Input Filter Range	500 Hz to 10 kHz	Para aplicaciones de 1800 rpm se usa el filtro 3 de Enveloping.
Save Data	FFT and Time	Al salvar los datos en modo FFT and Time, se toma en cuenta el valor de la señal en el tiempo y se obtienen mejores señales
AutoCapture	Always	Con el modo de captura de datos en Always se agilizan las mediciones
Frequency Type	Fixed Span	El tipo Order Track es especial para toma de fases. En esta ocasión, la toma de fase no se aplica.
Speed	1810 RPM	Esta velocidad cambia conforme cambia el punto a medir.
Start Frequency	0 Hz	Se inicia en 0 Hz con tal de no perder las señales en bajas frecuencias.
Lines	400	El número de líneas recomendable es 400. Un valor menor implica menos capacidad de análisis, y un valor mayor implica una toma de datos más lento.
End Frequency	4000 Hz	Este dato puede cambiar a partir de la velocidad del elemento monitoreado.
Storage Depth	12	Para planes de monitoreo de vibraciones a largo plazo este dato debe incrementarse.
Window	Hanning	Este parámetro se usa para medición generales.
Averages	3	El número de datos con el cual obtiene el promedio debe ser bajo para agilizar la medición y evitar medidas sobrecargadas.
Speed Ratio	1	

[Volver](#)

## Anexo 29: Configuración de las mediciones de Aceleración

**Tabla A.29.1.** Configuración de las mediciones de Aceleración

Configuración de mediciones de Velocidad		
Full scale	6 Gs	El máximo esperable de los datos es de 6 Gs.
Input mV/EU	100	Este es el valor del sensor original del equipo.
Detection	Peak	Usualmente los valores de Aceleración se miden en pico.
Low Frequency Limit	2 Hz	Este valor debe ser bajo.
Save Data	FFT and Time	Al salvar los datos en modo FFT and Time, se toma en cuenta el valor de la señal en el tiempo y se obtienen mejores señales
AutoCapture	Always	Con el modo de captura de datos en Always se agilizan las mediciones
Frequency Type	Fixed Span	El tipo Order Track es especial para toma de fases. En esta ocasión, la toma de fase no se aplica.
Speed	1810 RPM	Esta velocidad cambia conforme cambia el punto a medir.
Start Frequency	0 Hz	Se inicia en 0 Hz con tal de no perder las señales en bajas frecuencias.
Lines	400	El número de líneas recomendable es 400. Un valor menor implica menos capacidad de análisis, y un valor mayor implica una toma de datos más lento.
End Frequency	4000 Hz	Este dato puede cambiar a partir de la velocidad del elemento monitoreado.
Storage Depth	12	Para planes de monitoreo de vibraciones a largo plazo este dato debe incrementarse.
Window	Hanning	Este parámetro se usa para medición generales.
Averages	3	El número de datos con el cual obtiene el promedio debe ser bajo para agilizar la medición y evitar medidas sobrecargadas.
Speed Ratio	1	

[Volver](#)

## Anexo 30: Cálculo de la vida nominal del rodamiento del generador

El dato del  $L_{10h}$  es la vida alcanzada por al menos el 90% de una serie de rodamientos idénticos bajo las mismas condiciones y un buen funcionamiento.

El cálculo del  $L_{10h}$  para el rodamiento del Generador (6324/C3VL0241) es el que sigue:

$$L_{10h} = (1000000/60 \times n) (C/P)^p$$

Donde  $n = 1812$  es igual a la velocidad en rpm de giro del eje;  $C = 208 \text{ kN}$  es la capacidad de carga dinámica y corresponde a un dato de catálogo;  $P = 1.15$  toneladas es la carga dinámica correspondiente al peso del rotor principal distribuido en dos apoyos (el peso del eje del generador es mucho menor que el del eje principal); y  $p = 3$  para rodamientos de bolas (dato de catálogo).

Sustituyendo los valores:

$$L_{10h} = (1000000/60 \times 1812) (208000\text{N}/1150 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ N/Kgf})^3 = 57850 \text{ h} = 6 \text{ años}, 7 \text{ meses.}$$

[Volver](#)

## **Anexo 31: Cotización de Electricidad Americana sobre el software del Proyecto del Historiador de datos**

[Cotización del Software](#)

[Volver](#)

## **Anexo 32: Manuales digitales para la conexión y programación del PLC Mitsubishi FX<sub>1N</sub> y sus dispositivos.**

[Manual del hardware de la Tarjeta de FX<sub>1N</sub>-485BD](#)

[Manual del Módulo de comunicación de la serie Q](#)

[Manual de comunicación por RS-485, RS-232, RS-422](#)

[Manual del Hardware del PLC FX<sub>1N</sub>](#)

[Manual Completo de Programación](#) (Para observar la función RS ver página 237)

## **Anexo 33: Información sobre sensores y dispositivos por comunicar**

[Dispositivo de vibraciones TAC 84c](#)

[Anemómetro](#)

[PT100: Sensor de temperatura](#)

[SEG: Relé de protección por bajo voltaje o baja frecuencia](#)

## Anexo 34: Diagrama de escalera del sensor de RPM

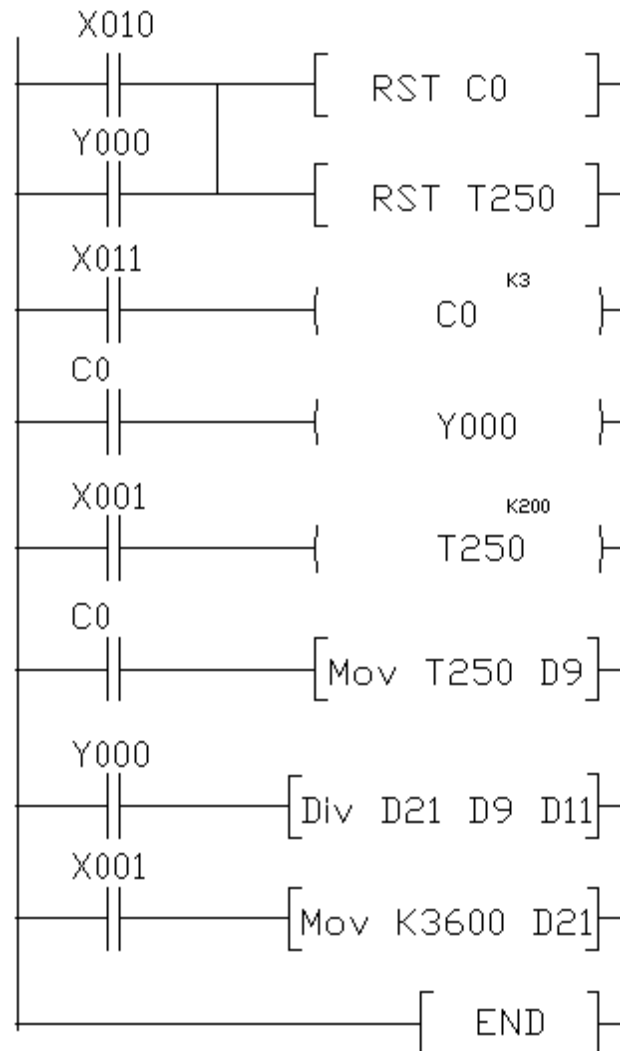


Figura A.34.1 Diagrama escalera para control del RPM

Notas: El sensor funciona con pulsos de 24V, por ello se conecta como la entrada digital X11. El programa necesita hacer reset antes de iniciar el sensado. El reset es X10. El X10 debe presionarse por un momento solamente. Para activar el sensor debe dejarse activa la entrada X1.

## **Anexo 35: Información técnica del aceite de la caja**

[Aceite de la Caja Multiplicadora \(Mobil Gear\)](#)

[Volver](#)



## **Anexo 36: Diagrama de instalación del sensor de nivel buscado**

La imagen puede apreciarse mejor en su archivo digital

[Diagrama propuesto de colocación del Sensor de Nivel](#)

[Tecnología de Sensor propuesto](#)

[Volver](#)

## **Anexo 37: Información sobre el sensor de flujo Hydac**

[Catálogo del sensor de flujo Hydac](#)

[Volver](#)

## Anexo 38: Información Técnica y enlaces a catálogos y documentos electrónicos

**Tabla A.38.1.** Enlaces a documentos electrónicos

Catálogos e información digital	
Líneas de transmisión y postes: Cálculos de diseño	<a href="#">PDF: linea2</a>
Aspas LM: Información general.	<a href="#">PDF: General+info</a>
Aspas LM: protección contra descargas	<a href="#">PDF: Lightning+Prot</a>
Aspas LM: Manual de Instalación y Mantenimiento	<a href="#">JPEG: Carpeta</a>
Aspas LM: Información de LM	<a href="#">PDF: Información LM</a>
Contactores ABB: EH, EK	<a href="#">PDF: EH700_Manual</a>
Arrancador EH 700: Esquema físico	<a href="#">PDF: EH700S9</a>
Contactores ABB: Guía de Inspección y Mantenimiento	<a href="#">PDF:EH_700_Service_Manual</a>
Contactores ABB: Datos de Placa	<a href="#">EXCEL: Placa de contactor</a>

Generador: Datos de Placa	<a href="#">JPEG: generador_plate</a>
Comunicación: Diagrama de fibra óptica	<a href="#">PDF: fiber_optic_park</a> <a href="#">PDF: fiber_optic_park_PC</a>
Torres Meteorológicas: Controlador WP1000	<a href="#">PDF: IC1000_Weather_St</a>
Breaker ABB: Catálogo técnico	<a href="#">PDF: Isomax_es</a>
Breaker ABB: Catálogo técnico, protección para motores.	<a href="#">PDF: MotorProtection_en</a>
Breaker ABB: Información general	<a href="#">PDF: PromoIsomax_ES</a>
Relé SEG Main Decoupling Relay: Catálogo	<a href="#">PDF: SEG_MRN3</a>
Panel de Control: Thyristor	<a href="#">PDF: Thyristor</a>
Mita Teknik A/S: Presentation general	<a href="#">PDF: Wind_GB</a>
WP3000: Información general	<a href="#">PDF: WP3000_controller</a>
Fibra Optica: Tarjeta WP 3045 de interfase de fibra óptica	<a href="#">PDF: WP3045_1_Board</a>

RS-232: Tarjeta WP 3046 interfase de RS-232	<a href="#">PDF: WP3046_Board</a>
Panel: Display WP3059	<a href="#">PDF: WP3059_Display</a>
Transformadores de medición de voltaje WP3090: Información General	<a href="#">PDF: WP3090</a>
Módulo de conexión WP4060: Información general	<a href="#">PDF: WP4060_Connection</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1	<a href="#">PDF: iec60034-1{ed10.2}b</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Enmienda 1. Parte 1	<a href="#">PDF: iec60034-1-amd1{ed10.0}b</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Enmienda 2. Parte 1	<a href="#">PDF: iec60034-1-amd2{ed10.0}b</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2	<a href="#">PDF: iec60034-2{ed3.0}b.img</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Correcciones a la Parte 3	<a href="#">PDF: iec60034-3-cor1{ed4.0}b</a>

Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Parte 14. Vibraciones mecánicas	<a href="#">PDF: iec60034-14{ed2.0}b</a>
Norma 60034-1: Máquinas eléctricas rotativas. Carga y elevación de la temperatura	<a href="#">PDF: iec61986{ed1.0}b</a>
Generador: Mobil Temp SHC 100	<a href="#">HTML: Mobiltemp SHC 100</a>
Generador: Conceptos teóricos para turbinas eólicas y su electrónica de potencia	<a href="#">PDF: ris-r-1205</a>
Sensor: RPM: Carta técnica	<a href="#">PDF: sensor_rpm</a>
Análisis de Vibraciones: Programa de SKF para Condition Monitoring en turbinas eólicas	<a href="#">PDF: SKF_DATA</a>
Motores de Guiñada: información técnica y de diseño. Parte 1	<a href="#">PDF: 300_1</a>
Parte 2	<a href="#">PDF: 300_2</a>
Parte 3	<a href="#">PDF: 300_3</a>
Parte 4	<a href="#">PDF: 300_4</a>

Parte 5	<a href="#">PDF: 300_5</a>
Parte 6	<a href="#">PDF: 300_6</a>
Parte 7	<a href="#">PDF: 300_7</a>
Motores de Guiñada: Aplicaciones eólicas	<a href="#">PDF: 700_eolico_uk</a>
Motores de Guiñada: Información técnica	<a href="#">PDF: bn_1</a> <a href="#">PDF: bn_2</a>
Motores de Guiñada: Manual de Instalación, operación y servicio	<a href="#">PDF: man300ind</a>
Motores de Guiñada: Información técnica	<a href="#">PDF: mancafsbn1</a> <a href="#">PDF: mancafsbn2</a>
Estación Hidráulica: Sensor de presión Danfoss	<a href="#">PDF: 03M33</a>
Estación Hidráulica: Catálogo de AVN	<a href="#">PDF: Profilemagazine</a>
Estación Hidráulica: Acumulador AVN	<a href="#">PDF: Acumulador</a>
Estación Hidráulica: Bomba	<a href="#">PDF: Bomba</a>
Estación Hidráulica: Tipos de Bomba	<a href="#">PDF: Tipos de Bomba</a>

Estación Hidráulica: Slip Ring	<a href="#">PDF: slip_ring</a>
Turbina M1500: Manual en español	<a href="#">JPEG: Carpeta</a>
WP3000: Alarmas, notas y programación	<a href="#">Word: Carpeta</a>
Turbina NM750: Datos Técnicos	<a href="#">PDF: DATOS_TECNICOS_750_44</a>
WP3000: Alarmas	<a href="#">PDF: r_statuskoderoversigt_5_2_gb</a> <a href="#">PDF: r_statuskoderudvidet_5_3_gb</a>
Sensores: Veletas	<a href="#">PDF: OD04_1</a> <a href="#">PDF: OD05_1H</a>
Sensores: PT100	<a href="#">PDF: PT100_100.60</a>
Sensores: Anemómetro: Datos	<a href="#">PDF: PV01_2</a>
Sensor de torsión de cables: Datos	<a href="#">PDF: SIEK-UV1</a>
Motor del ventilador: Instalación, alineación	<a href="#">PDF: AEG_Motors_spanish</a>
Motor del ventilador: Catálogo de motores	<a href="#">PDF: MOTORES_AEG</a>
Comunicación: Convertidor de RS-232 a fibra óptica	<a href="#">PDF: Standard_LS16</a>



Comunicación: Programa WPMS: Información	<a href="#">PDF: wpms</a>
Comunicación: Programa WPMS: Web Browser	<a href="#">PDF: WPMS_WEB</a>
Turbina NM750: Especificaciones Técnicas	<a href="#">PDF: NM750_44_GB</a>
Transmisión: Recloser	<a href="#">PDF: 28030</a>
Transmisión: Recloser: Procesador	<a href="#">PDF: recloser</a>
Subestación: Cargador de baterías	<a href="#">PDF: cargador_baterias</a>
Subestación: interruptores	<a href="#">PDF: sk1021dgb</a>
Transformadores: Información	<a href="#">PDF: GET-6859B</a>
Freno de disco: Ejemplo con información	<a href="#">PDF: 035_nce_shd5</a>
Caja Multiplicadora: Bomba Hydac	<a href="#">PDF: BombaHydace5702</a>
Subestación: Cargador SAFT	<a href="#">PDF: cargador_saft</a>
Acoples: Centa link	<a href="#">PDF: centa</a> <a href="#">PDF: Centalink</a>

Turbina NM750: Certificado Danés	<a href="#">PDF: CertificadoDanesTurbina</a>
Turbina NM750: Datos Técnicos	<a href="#">PDF: datos_tech_750</a>
Control: Esquema eléctrico de la turbina	<a href="#">PDF: ESQUEMA ELECTRICO</a>
Grasa general: Mobilith	<a href="#">PDF: glxxengrsmomobilitshseries</a>
Grasa generador: Mobiltemp	<a href="#">PDF: glxxengrsmobiltempshseries</a>
Aceite Caja Multiplicadora	<a href="#">PDF: glxxenindmomobilgearshcxmpseries</a>
Generador: Bomba: Catálogo	<a href="#">PDF: Grundfos literature- 1865BombaAgua</a>
Generador: Bomba: Manual de instalación y operación	<a href="#">PDF: InstallationandOperationGrundfos</a>
Subestación: Multilin: Información Software	<a href="#">PDF: Multilin239-d9_6</a>
Caja Multiplicadora: Presentación de las mejoras en la Caja	<a href="#">Power Point: presentation_master_UK_180200</a>
Freno de disco: Sistema de Softbrake: Información	<a href="#">PDF: softbrake</a>

Caja Multiplicadora: Esquema	<a href="#">JPEG: flender</a>
Caja Multiplicadora: Información de Analisis de Vibracion, Flender	<a href="#">PDF: condition_monitoring_of</a>
Caja Multiplicadora: Datos de Vibración, Flender	<a href="#">PDF: GEARFREQUENCYC4300</a>
Reportes de Service B	<a href="#">Excel: Turbina 1 (aeroenergia #1)</a> <a href="#">Excel: Turbina 3 (aeroenergia #3)</a>