

**SISTEMA PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
DINÁMICO DE LAS VIBRACIONES DEL EJE DE LA TURBINA
DE LAS UNIDADES 13 Y 19 EN EL
COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “RAUL LEONI”**



U
N
E
X
P
O

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA

“ **ANTONIO JOSÉ DE SUCRE** ”

VICE - RECTORADO DE PUERTO ORDAZ

DEPARTAMENTO DE ING. ELECTRICA

CATEDRA: TRABAJO DE GRADO

SISTEMA PARA EL ANÁLISIS
DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO
DE LAS VIBRACIONES DEL EJE DE LA TURBINA
DE LAS UNIDADES 13 Y 19 EN EL
COMPLEJO HIDROELÉCTRICO
“RAUL LEONT”

Realizado por:

Guido Bassotti

CI: 14403719

Tutor Industrial:

Ing. Juan Barillas

Tutor Académico:

Ing. Carlos Pietri



CIUDAD GUAYANA , MARZO DEL 2004





UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ **ANTONIO JOSÉ DE SUCRE** ”
VICE - RECTORADO DE PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE ING. ELECTRICA
CATEDRA: TRABAJO DE GRADO

**SISTEMA PARA EL ANÁLISIS
DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO
DE LAS VIBRACIONES DEL EJE DE LA TURBINA
DE LAS UNIDADES 13 Y 19 EN EL
COMPLEJO HIDROELÉCTRICO
“RAUL LEONT”**

Realizado por: Br. Bassotti, Guido CI 14403719
Trabajo de Investigación que se presenta para
cumplir con el requisito de Trabajo de Grado.



CIUDAD GUAYANA , MARZO DEL 2004



BASSOTTI HERRERA, Guido Andrés

Sistema para el Análisis del Comportamiento Dinámico de las Vibraciones del Eje de la Turbina de las Unidades 13 y 19 en el Complejo Hidroeléctrico “Raúl Leoni”, EDELCA. 2004.

Tesis de grado. 103 paginas.

Bibliografía pagina 104

Información Digital en CD anexo.

Pagina Web: <http://www.geocities.com/guidobassotti/Tesis.htm>

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”

Vice - Rectorado de Puerto Ordaz, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Tutor Académico: Ing. Carlos Pietri

Tutor Industrial: Ing. Juan Barillas

1-Vibración 2-Monitoreo Señales 3-Datos de Unidades Generadoras 4-
Aplicaciones Excel 5-Extracción de datos SQL



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA.
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITECNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ.
TRABAJO DE GRADO**

**Sistema para el Análisis del Comportamiento Dinámico
de las Vibraciones del Eje de la Turbina de las Unidades 13 y 19
en el Complejo Hidroeléctrico “Raúl Leoni”
EDELCA. 2004.**

Guido Bassotti

Aprobado por la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”
Vice-rectorado Puerto Ordaz; Departamento de Ingeniería Eléctrica

Firmas

Tutor Industrial
Ing. Juan Barillas _____

Tutor Académico
Ing. Carlos Pietri _____

Jurado
Ing. Alexander Millán _____



DEDICATORIA

Éste trabajo, producto de mi gran esfuerzo, se lo quiero dedicar:

A **DIOS** y a la **Virgen**, porque siempre me acompañan en cualquier acción, proyecto, meta, que me propongo en esta vida, y han hecho que siempre salga adelante.

A mi **Familia** que siempre me ha dado su apoyo incondicional y que me han permitido siempre cumplir todas mis metas estando a mi lado.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a mis tutores, el Ing. Carlos Pietri y al Ing. Juan Barillas por haberme apoyado en todo y haberme dado ánimos cuando decaía.

Al Ing. Pedro Onore, al Ing. Pedro Miguel Perez y al Ing. Freddy Ruiz por haber me dado esta oportunidad de aprendizaje.

A todos mis compañeros de trabajo: Ing. Carlos González, Ing. Karina Martínez, Ing. Juan Carlos Nevot, Ing. Daniel Flores, Ing. Erick Briceño, Ing. José Frontado, Jesús Velásquez, Miguel Fuentes, Erlin Castillo, Sergio García, Dora Pietri.

A Rubén Peña, Rodolfo Verde, José Camara, Mary Flores, Hely Briceño, José Luis Lujan y a todo el personal de la sala de control de Guri

A todas estas personas y a otras personas que no recuerdo en estos momentos, les estoy infinitamente agradecida por la ayuda prestada desinteresadamente para la realización de este trabajo, a todos les digo MUCHAS GRACIAS.



Bassotti, Guido (2004) Sistema para el Análisis del Comportamiento Dinámico de las Vibraciones del Eje de la Turbina de las Unidades 13 y 19 en el Complejo Hidroeléctrico “Raúl Leoni”. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Vice - Rectorado de Puerto Ordaz. Tutor Académico: Ing. Carlos Pietri. Tutor Industrial: Ing. Juan Barillas

RESUMEN

En el siguiente libro se muestra un Sistema para el Análisis del Comportamiento Dinámico de las Vibraciones del Eje de la Turbina de las Unidades 13 y 19 en el Complejo Hidroeléctrico “Raul Leoni”. El presente informe fue realizado empleando un diseño no experimental descriptivo de campo. Se realizó un sistema para el análisis dinámico de las señales de vibraciones globales de las unidades 13 y 19 con respecto a otras variables presentes en el sistema SCADA. La necesidad de mejorar las condiciones del monitoreo de vibraciones planteo como objetivo desarrollar a nivel del Centro de Control de Guri una aplicación que permitiese realizar la recolección y análisis de las señales de Vibraciones provenientes del Monitor que supervisa el eje de las turbinas N°13 y N°19. Los resultados obtenidos muestran la importancia del monitoreo de las vibraciones y de la utilización de herramientas de análisis estadísticos y de bases de datos en el análisis de vibraciones. Estas herramientas se encuentran combinadas en la herramienta de hoja de calculo Excel que permite graficar curvas de tendencias, ordenar y filtrar datos y usar funciones estadísticas y de búsqueda. La observación grafica de los valores de vibración de las unidades generadoras junto con otros parámetros permite observar su comportamiento y detectar cambios para condiciones específicas de operación.



Bassotti, Guido (2004) System for Analyzing the Dynamic Behavior of the Vibration of the Turbine Shaft in Units 13 and 19 at the Hydroelectric Complex “Raul Leoni”. Department of Electrical Engineering, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Vice - Rectorado de Puerto Ordaz. Tutor Académico: Ing. Carlos Pietri. Tutor Industrial: Ing. Juan Barillas

ABSTRACT

In the following book a System for Analyzing the Dynamic Behavior of the Vibrations of the Turbine Shaft in Units 13 and 19 of the Hydroelectric Complex "Raúl Leoni" is shown. The following report was carried out using a field descriptive non experimental design. It carries out a system for the dynamic analysis of the signal of global vibrations of the units 13 and 19 with regard to other present variables in the SCADA system. The necessity to improve the conditions of the vibrations monitoring outlines as objective to develop at level of the Control Center of Guri a software application that would allow to gather and analyze the Vibrations signals coming from the Monitor that supervises the shaft of the turbines N°13 and N°19. The obtained results show the importance of the vibrations monitoring and the use of tools of statistical analysis and databases in the analysis of vibrations. These tools are combined in the spreadsheet software Excel that allows to graph tendencies and to order and to filter data and to use statistical functions and searches. The graphic observation of the values of vibration of the hydroelectric units together with other parameters allows to observe its behavior and to detect changes for a specific condition of operation.



ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Titulo	Pagina
	ANTEPORTADA.....	S/N
	PORTADA.....	S/N
	CONTRAPORTADA.....	S/N
	ACTA.....	iii
	DEDICATORIA.....	iv
	AGRADECIMIENTOS.....	v
	RESUMEN.....	vi
	ABSTRACT.....	vii
	INTRODUCCIÓN.....	1
1.	CAPÍTULO I: LA EMPRESA.....	3
	1.1 ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ C. A (EDELCA).....	3
	1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	3
	1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	3
	1.4 CRONOLOGÍA DE LA EMPRESA.....	4
	1.5 OBJETIVOS DE LA EMPRESA.....	8
	1.6 VISIÓN.....	9
	1.7 MISIÓN.....	9
	1.8 VALORES DE LA EMPRESA.....	9
	1.9 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA.....	9
	1.9.1 Nivel Central.	10
	1.9.2 Nivel Regional.	10
	1.9.3 Nivel Local.	10
	ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA:	11
	ORGANIGRAMA DEL DPTO. DE MODERNIZACIÓN.....	12
	1.10 FUNCIONES DEL P.M.P.G.	12
2.	CAPÍTULO 2: EL PROBLEMA.....	14
	2.1 ANTECEDENTES	14
	2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
	2.3 ALCANCE DEL PROYECTO	15
	2.4 JUSTIFICACIÓN	16
	2.5 DELIMITACIÓN	16
	2.6 LIMITACIÓN	16
	2.7 OBJETIVO PRINCIPAL	17
	2.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.	CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	18
	3.1 GENERADORES HIDROELÉCTRICOS	18
	3.1.1 TURBINAS HIDRÁULICAS	18
	3.1.12 Ubicación	19
	3.1.13 Características	19
	3.1.14Componentes	20



	Detector de Vibración, definición, componentes.	21
	Detector de Temperatura	21
	3.1.17 Funcionamiento de la Turbina	23
	3.1.18 Protecciones de la Turbina	23
	3.1.2 EXCITATRIZ	24
	3.1.3 GOBERNADOR.....	24
	3.1.4 ROTOR	25
	3.1.5 ESTATOR	25
	3.1.6 TRANSFORMADOR DE POTENCIA	25
	3.2 VIBRACIONES	26
	3.2.1 Movimiento Oscilatorio	26
	3.2.2 Movimiento Armónico	27
	3.2.3 Vibración	28
	3.2.3.1 Tipos de Vibraciones	30
	3.2.3.2 Causas de Vibraciones	31
	3.2.3.3 Análisis de Vibraciones	34
	3.2.3.4 Criterios de aceptabilidad del nivel de vibración.	41
	3.2.3.5 Sensores de Vibración	42
	Sensores de desplazamiento	42
	Transductores de Velocidad	44
	Transductores de Aceleración (Acelerómetros)	44
	3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MONITOR DE VIBRACIONES.....	45
	3.3.1 Sonda de Proximidad Universal PCS-202-S.....	45
	3.3.2 Módulo de Linearización LIN-202.....	46
	3.3.3 Monitor PCU-100.....	47
	3.4 SISTEMA CONTROL COMPUTADOR GURI “SCCG”	55
	3.4.1 Configuración principal del sistema.....	55
	3.4.2 Software del SCCG.....	58
	3.5 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS.....	62
	3.5.1 Macros Excel VBA.....	62
	3.5.2 Herramientas de Análisis de Excel.....	63
	3.5.3 Nociones de Estadística.....	67
	3.6 SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	70
	3.7 SISTEMA DE VARIABLES.....	71
4.	CAPÍTULO 4: DISEÑO METODOLÓGICO.....	74
	4.1 TIPO DE ESTUDIO.....	74
	4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	74
	4.3 INSTRUMENTOS.....	75
	4.4 PROCEDIMIENTOS.....	76
5.	CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....	79
	5.1 INSTALACIÓN DE SEÑALES.....	79
	5.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN EL SCCG Y APLICACIONES EN UNIX.....	81
	5.2 APLICACIÓN EN EXCEL VBA	85
	5.3 ANÁLISIS DE VIBRACIONES.....	91
	5.4 MEJORAS EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES.....	100



CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
GLOSARIO.....	106
ANEXOS.....	110
ANEXO A: Manual de Usuario	111
ANEXO B: Vibraciones.sql.....	121
ANEXO C: OrdenDatos.c.....	123
ANEXO D: Script Unix Vibraciones.....	126
ANEXO E: Macros Excel VBA.....	127
ANEXO F: Tablas de niveles vibratorios, Normas.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Titulo	Pagina
	Capítulo 3	
3.1	Tabla 3.1: Ubicación Turbinas.....	19
3.2	Tabla 3.2: Protección PCU-100.....	23
3.3	Tabla 3.3: Datos de las Excitatrices.....	24
3.4	Tabla 3.4: Comparación de valores globales	36
3.5	Tabla 3.5: Frecuencias Sincronas observadas en el Generador.....	38
3.6	Tabla 3.6: Frecuencias Asincronas observadas en el Generador.....	39
3.7	Tabla 3.7: Frecuencias Sincronas en el Eje y la Turbina.....	40
3.8	Tabla 3.8: Comandos SQL y SQL *Plus empleados:	62
3.9	Tabla 3.9: Variables en Estudio	72
	Capítulo 5	
5.1	Tabla 5.1: Volumen de Datos.....	81
5.2	Tabla 5.2: Lista de gráficos creados.....	88
5.3	Tabla 5.3: Vibraciones máximas.....	91
S/N	Tabla de Datos Estadísticos.....	99
S/N	Tabla de zonas de operación.....	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura	Titulo	Pagina
	Capítulo 1	
1.1	ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	11
1.2	ORGANIGRAMA DEL DPTO. DE MODERNIZACIÓN.....	12
	Capítulo 3	
3.1	Caja del monitor de vibraciones	21
3.2	Ubicación de Sensores de la Turbina.....	22



3.3	Movimiento Armónico.....	27
3.4	Frecuencias típicas de rangos de operación para transductores de vibración tradicionales.....	29
3.5	Sensor de proximidad típico.....	42
3.6	Campo eléctrico capacitivo.	43
3.7	Componentes de un sensor de proximidad capacitivo.	44
3.8	Transductor de velocidad típico.....	44
3.9	Acelerómetro Típico.....	45
3.10	Modulo de acondicionamiento LIN-202.....	46
3.11	Monitor de vibraciones PCU-100.....	47
3.12	Principales componentes procesadas de la señal de entrada de vibración.....	50
3.13	Base de datos de ORACLE.....	60
	Capítulo 4	
4.1	Esquema de la metodología empleada.....	78
	Capítulo 5	
S/N	Conexión de Señal de Vibraciones AN-016	80
S/N	Procesamiento y Almacenamiento de Datos	84
5.1	Hoja de datos cargados.....	85
5.2	Menú principal de software para análisis.	86
5.3	Hoja de datos estadísticos.....	87
5.4	Hoja de Tiempos de Operación de las Unidades.	88
5.5	Potencia y Vibraciones en el tiempo.	92
5.6	Potencia y Vibraciones datos ordenados por Potencia.	93
5.7	Potencia y vibraciones datos filtrados ordenados por potencia.....	94
5.8	Grafico de Corriente de Campo y Vibración filtrado.....	95
5.9	Corriente de Excitación de y Vibración ordenado por Corriente.....	96
5.10	Grafico de Vibración versus Eficiencia ordenando por Eficiencia.	96
5.11	Vibraciones y Temperatura ordenado por fecha.....	97
5.12	Eficiencia, Potencia y Vibración vs Caudal ordenado por caudal.	98



CAPÍTULO 1

LA EMPRESA.

1.1 ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ C. A. (EDELCA)

La Empresa C.V.G. EDELCA, fue creada el 23 de Enero de 1963 como consecuencia de las necesidades energéticas del país en su desarrollo social e industrial.

Esta es una empresa que forma parte de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), C.V.G. EDELCA tiene como función producir, distribuir, transportar y comercializar Energía Eléctrica a precios competitivos en forma confiable.

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Central Hidroeléctrica "Raúl Leoni" (CHRL), se encuentra ubicada en Guri (estado Bolívar), en el cañón Nekuima a 100 kilómetros aguas arriba de la desembocadura del Río Caroní en el Río Orinoco.

1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

La primera referencia que se tiene acerca del interés de aprovechar el río Caroní con fines hidroeléctricos se remonta en año 1912 cuando el explorador inglés Lonaldd Dalton, publicó en Londres, su libro "Venezuela" donde describía los saltos del río y referencia que en vista del enorme potencial de energía de las cataratas del Caroní, parecía que hasta el Puerto de Tablas (hoy San Félix), no se haya convertido en una ciudad importante y floreciente.



Fue precisamente el gobierno del General Eleazar López Contreras, para el año 1938, cuando se autorizó oficialmente la explotación de la Guayana Venezolana incluida en el estado Bolívar y el actual estado Delta Amacuro. A raíz de esto, surgen esfuerzos investigativos que se iniciaron con estudios preliminares de las Hoyas hidrográficas de los ríos Cuyuní y Caroní, dichas explotaciones fueron conducidas por un grupo de ingenieros que para el año 1939 presentaron una descripción detallada sobre la geología y otros aspectos de interés para el desarrollo de la región, de igual forma se recomendaba explotar el hierro existente en la zona para lo cual se requería abundante energía, las pequeñas plantas Diesel no eran capaces de suministrar.

Inicialmente la comisión estuvo adscrita al Ministerio de Fomento, posteriormente fue entregada a la Corporación Venezolana de Fomento (C.V.F.) y luego a la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.).

1.4 CRONOLOGÍA DE LA EMPRESA.

1946: El estado venezolano creó la Corporación Venezolana de Fomento (C.V.F.) y dentro de las primeras tareas realizadas por esta Corporación, figuró el análisis sobre la posibilidad de aprovechar el potencial hidroeléctrico del río Caroní.

1947: La CVF firmó contrato con la empresa norteamericana BURNS & ROE, que inició los estudios necesarios para el diseño de un Plan Nacional de Electrificación. Estos estudios determinaron la conveniencia de aprovechar los saltos inferiores del bajo Caroní mediante la construcción de una central generadora de electricidad para satisfacer la demanda del país.

1949: La firma de consultores BURNS & ROE, presentó un informe donde recomendaba el aprovechamiento hidroeléctrico del río Caroní, especialmente en los saltos inferiores.

1953: Creación de la Comisión de Estudios para la electrificación del Caroní, adscrita al Ministerio de Fomento. Esta Comisión inició los estudios y trabajos para la construcción de la primera central hidroeléctrica sobre el río Caroní y mediante el aporte de las firmas "Sir William Halcrow and Partner" y "Kennedy and Donkin" definió un anteproyecto.

1955: Con base en los estudios de factibilidad llevados a cabo en años anteriores, se decidió emprender la construcción de la Central Hidroeléctrica Macagua I.



1956: Se inició la construcción de esta Central como soporte del desarrollo de la industria del hierro y el acero, a través de la naciente Siderúrgica Nacional. Simultáneamente con la construcción de Macagua I, se iniciaron los primeros estudios relativos al desarrollo integral del Bajo Caroní en el Campamento "Las Babas", 100 kilómetros aguas arriba de Macagua, en el Cañón de Nekuima.

1959: Comenzó a funcionar la primera de las seis unidades generadoras de la Central Hidroeléctrica Macagua I. La inversión realizada, incluyendo las unidades de fabricación alemana, tipo Francis, tuvo un costo equivalente al 10% del presupuesto nacional de este año. San Félix, Puerto Ordaz y la Siderúrgica Nacional comenzaron a recibir energía eléctrica de esta primera central construida en el río Caroní.

1960: El presidente de la República, señor Rómulo Betancourt, mediante decreto número 430 creó la Corporación Venezolana de Guayana, el 29 de Diciembre de este año.

A este organismo se le confirieron las atribuciones que detentaba la Comisión de Estudios para la Electrificación del Caroní, creándose las Divisiones de Operaciones de Centrales Hidroeléctricas y Construcción de Centrales Hidroeléctricas.

1961: La Central Hidroeléctrica Macagua I inició su funcionamiento a plena capacidad con la puesta en marcha de sus seis unidades, con un total de 360 MW. Ese mismo año comenzaron los estudios de factibilidad para la construcción de la Central Hidroeléctrica de Guri. Tanto los estudios técnicos como económicos le fueron encomendados a la empresa norteamericana Harza Engineering Co. International.

1962: Culminaron los estudios preliminares para la construcción de esta Central Hidroeléctrica.

1963: El 23 de Julio se constituyó formalmente la empresa CVG ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ, C.A. (EDELCA), de acuerdo con el artículo 31 del Estatuto Orgánico de la Corporación Venezolana de Guayana. Se le asignó la buena pro al Consorcio Guri, formado por las empresas Kaiser Engineering and Constructors Inc., Macco International, Tecon International Inc., Merrit Chapman and Scott Overseas Corp., Construcciones Christian Nielsen y Técnica Constructora. A fines de este año comenzaron los trabajos de construcción de campamentos, movimiento de tierra y trazado de las vías de acceso al sitio seleccionado para ejecutar la presa de Guri en el Cañón de Nekuima.



1964: Se desvió el Río Caroní hacia su margen derecha permitiendo el acceso a la zona de trabajos para ejecutar el Proyecto Guri.

1965: Se efectuó el primer vaciado de concreto de esta Central Hidroeléctrica.

1966: Creación de la empresa sin fines de lucro Cambio de Frecuencia, C.A. – CAFRECA, que llevó a cabo el Cambio de Frecuencia de 50 a 60 ciclos por segundo en las zonas servidas por la C.A. La Electricidad de Caracas y Luz Eléctrica de Venezuela para lograr así la unificación de la frecuencia eléctrica en todo el país. Se otorgaron los contratos para la construcción del Sistema de Transmisión a 400 kV.

1967: Realización de la Operación Rescate, dirigida a preservar y conservar con fines ecológicos las especies de animales en peligro de desaparecer producto de la formación del Lago de Guri. Esta Operación, considerada la más grande que se ha efectuado en América, ameritó la colaboración de diversos Organismos y de la etnia Maquiritare.

1968: El 23 de Agosto de este año fue firmado el Contrato de Interconexión, dando origen al Sistema Interconectado Nacional, que integraban las empresas Edelca – Cadafe y C.A. La Electricidad de Caracas. El 8 de Noviembre el Presidente de la República, Doctor Raúl Leoni, inauguró la Primera Etapa de la Hidroeléctrica de Guri.

1969: Comenzó a operar la primera Línea de Transmisión a 400 kV Guri – El Tigre – Sta. Teresa, con una longitud de 570 kilómetros, incorporándose Venezuela al grupo de países con Sistemas de Extra Alta Tensión.

1974: El presidente de la República, Señor Carlos Andrés Pérez, confirió por decreto el nombre del Ex-Presidente de la República, Raúl Leoni, a la Hidroeléctrica de Guri.

1975: Entró en operación la segunda Línea de Transmisión a 400 kV Guri – Sta. Teresa.

1976: Finalización de las obras civiles de la Primera Etapa de Guri, con diez (10) unidades de generación en la Casa de Máquinas No. 1.

1977: Elaboración de las columnas de concreto para el apoyo del viaducto en construcción (Guri).

1978: Firma del contrato con el Consorcio BRASVEN e inicio de la ejecución de la etapa final de Guri. Se concluyó la primera etapa de la obra alcanzando una capacidad máxima de 2.065 Mw/hr.

1979: Comenzó la construcción de las Líneas a 800 kV Guri – La Horqueta y Guri – La Arenosa.



1980: Edelca asumió directamente las directrices para guiar el proceso de construcción de la Etapa Final de Guri.

1982: Se firmaron nuevos convenios con las empresas contratistas que se encargaron de la construcción de las cuatro áreas principales para la ejecución de la Etapa Final de Guri.

1984: Entró en operación la primera unidad de la Casa de Máquinas No. 2 Guri - Etapa Final. Funcionamiento de las líneas de transmisión a 800 kV Guri – La Horqueta y Guri – La Horqueta, convirtiéndose Venezuela en el quinto país del mundo con líneas de Ultra Alta Tensión en operación.

1985: Inicio del desvío del río para la construcción de las estructuras principales de la Central Hidroeléctrica Macagua II.

1986: El 8 de Noviembre el Presidente de la República, Doctor Jaime Lusinchi, inauguró la Central Hidroeléctrica Guri, con una capacidad instalada de 10.000 MW. Representa la culminación de un esfuerzo de 23 años de notable acción creadora, convirtiéndose esta Central, por algunos años, en la de mayor capacidad instalada en el mundo.

1988: Inicio de los trabajos de construcción de las estructuras principales de concreto de la Central Macagua II, con dos Casas de máquinas y una Capacidad instalada de 2540 MW.

Firma del segundo contrato del Sistema Interconectado Nacional que integran las empresas Edelca – Cadafe – C.A. La Electricidad de Caracas – Enelven.

1991: Entrada en operación comercial de la Segunda Etapa del Sistema de Transmisión a 800 kV. Febrero 1991, primer desvío del río Caroní en el sitio de las obras de la central Hidroeléctrica Caruachi para permitir la construcción de las estructuras civiles principales.

1992: Entrada en operación de la interconexión eléctrica Venezuela - Colombia a 230 kV por la zona de la Goajira. Puesta en servicio del Aliviadero de Macagua II.

1993: Inicio de la construcción de Caruachi, la cual está instalada en el bajo Caroní y contará con una capacidad de 2160 MW/hr.

1995: Culminación de las obras Civiles del Proyecto Macagua II. Puesta en servicio de la primera unidad de la Casa de Máquinas III.

1996: Puesta en servicio de la primera unidad de la central Macagua II.

1997: El 23 de Enero, el Presidente de la República, Doctor Rafael Caldera, inauguró la Central Hidroeléctrica Macagua II y mediante decreto en homenaje al sistema democrático y a la



continuidad administrativa, designa a esta obra con la fecha representativa del inicio de la democracia en nuestro país.

1998: Entrada en operación de la última unidad de generación de la Central Hidroeléctrica Macagua II. Entrada en operación comercial de la Línea de Transmisión Yaracuy – Tablazo – Cuatricentenario a 400 kV.

1999: Puesta en servicio comercial las Líneas de Transmisión Palital – El Furrial y San Gerónimo – José a 400 kV.

Septiembre 1999, vaciado del millón de metros cúbicos de concreto en la Central Hidroeléctrica Caruachi.

2001: Julio 2001, segundo desvío del río Caroní a través de los ductos ubicados en la parte inferior del aliviadero de la presa de Caruachi.

Septiembre 2001, cierre de la margen izquierda del río para permitir la construcción de la presa de enrocamiento en Caruachi.

2002: El 25 de Enero 2002, con la presencia del presidente de la República Bolivariana de Venezuela, Hugo Chávez Frías, se iniciaron las obras preliminares de la Central Hidroeléctrica Tocoma. Mayo 2002, instalación del rodete (turbina) tipo kaplan en la Unidad N° 1 de la Central Hidroeléctrica Caruachi.

2003: Entra en operación comercial la Central Hidroeléctrica Caruachi, y una vez culminada, en el 2006, aportará una energía firme de 11.300 millones de kilovatios hora al año, que serán incorporados al Sistema Interconectado Nacional para satisfacer la creciente demanda del sector. En Guri reinician operaciones las unidades 13 y 19 luego de su modernización y rehabilitación.

1.5 OBJETIVOS DE LA EMPRESA.

- Generar y transmitir energía eléctrica de origen hidráulico en forma confiable.
- Desarrollar y distribuir con los proyectos necesarios de acuerdo con el crecimiento de la población para abrir la demanda eléctrica de la región de Guayana y el resto del país.
- Aprovechar proyectos y construir, administrar, desarrollar y explotar el vasto potencial hidroeléctrico, en la parte alta y baja del río Caroní para el desarrollo de la nación Venezolana.



- Ampliar la cobertura de los servicios de EDELCA a un creciente número de clientes y sectores de la economía.

1.6 VISIÓN

Ser una Empresa líder en la prestación del servicio eléctrico comprometida con la conservación del medio ambiente, con un mercado diversificado a nivel nacional e internacional; dotada de tecnologías de vanguardias y conformada por un recurso humano competente; orientada a la obtención de adecuados índices de calidad, rentabilidad y eficiencia que satisfaga los requerimientos de nuestros clientes, empleados, accionistas, comunidades, proveedores y el desarrollo integral del país.

1.7 MISIÓN

Producir, transportar y comercializar energía eléctrica a precios competitivos en forma confiable y en condiciones de eficiencia y rentabilidad.

1.8 VALORES DE LA EMPRESA

- Identificación con la empresa.
- Personal capacitado.
- Empresa equilibrada desde el punto de vista financiero.
- Trabajo en equipo.
- Responsabilidad, equidad y justicia.
- Promover la calidad de vida de su personal.

1.9 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA.

EDELCA, desde sus comienzos fue dividida en tres niveles, ubicados en la región central y en la región Guayana.

Estos son:



- Nivel Central (Caracas).
- Nivel Regional (Puerto Ordaz).
- Nivel Local (Guri, Macagua).

1.9.1 Nivel Central.

Tiene su sede en Caracas y está constituida por la asamblea de accionistas, la junta directiva, la presidencia, la gerencia de dirección de finanzas y administración, la dirección de planificación y transmisión y la dirección de proyectos Guri. Este nivel es el que posee los más altos poderes administrativos, de planificación general y ventas de los contratos de la energía eléctrica.

1.9.2 Nivel Regional.

Este nivel está ubicado en la ciudad de Puerto Ordaz, sus funciones son las de administrar y supervisar las operaciones de las centrales Macagua y Guri. Además se encuentra ubicado en la división de despacho de carga y se encarga de controlar el servicio de energía eléctrica.

1.9.3 Nivel Local.

Tiene su sede en Macagua y Guri, se constituye básicamente por cuatro divisiones: Distrito Macagua. Planta administrativa Guri, y de inspección.



Figura 1.1: ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA:

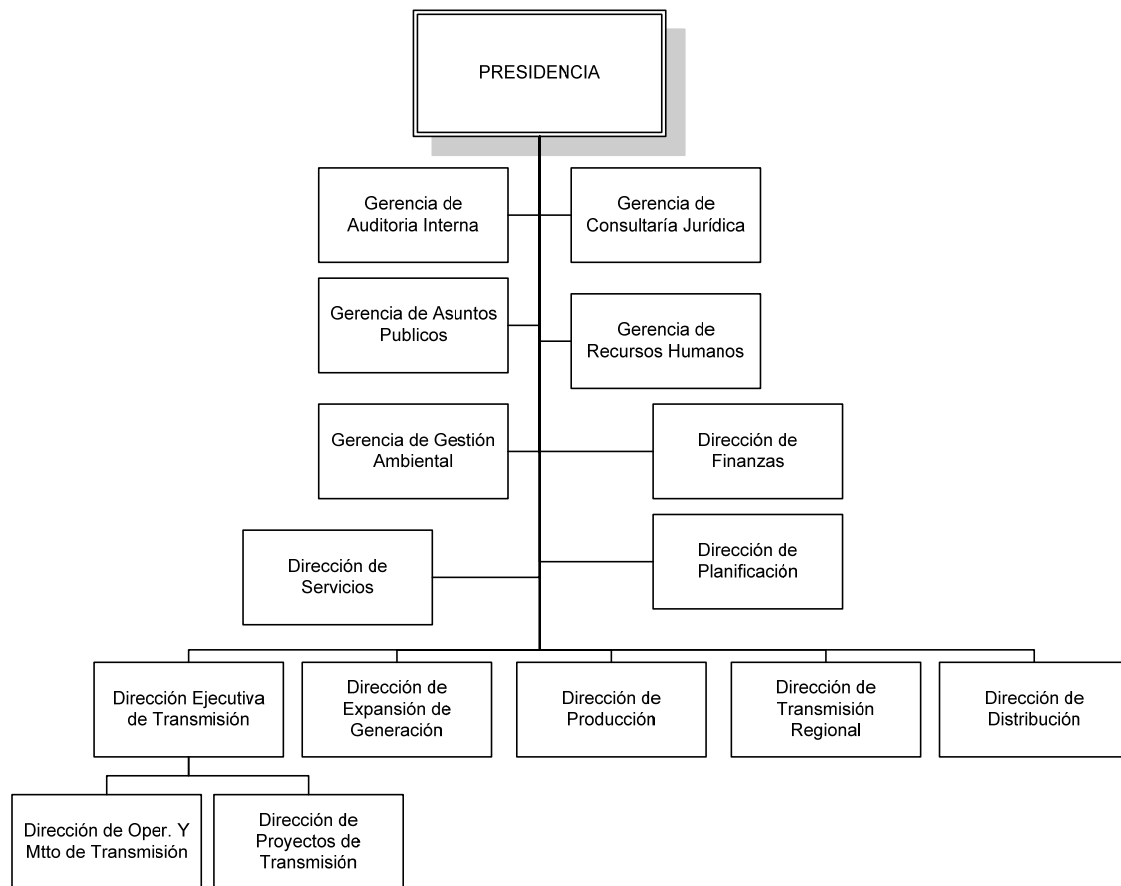
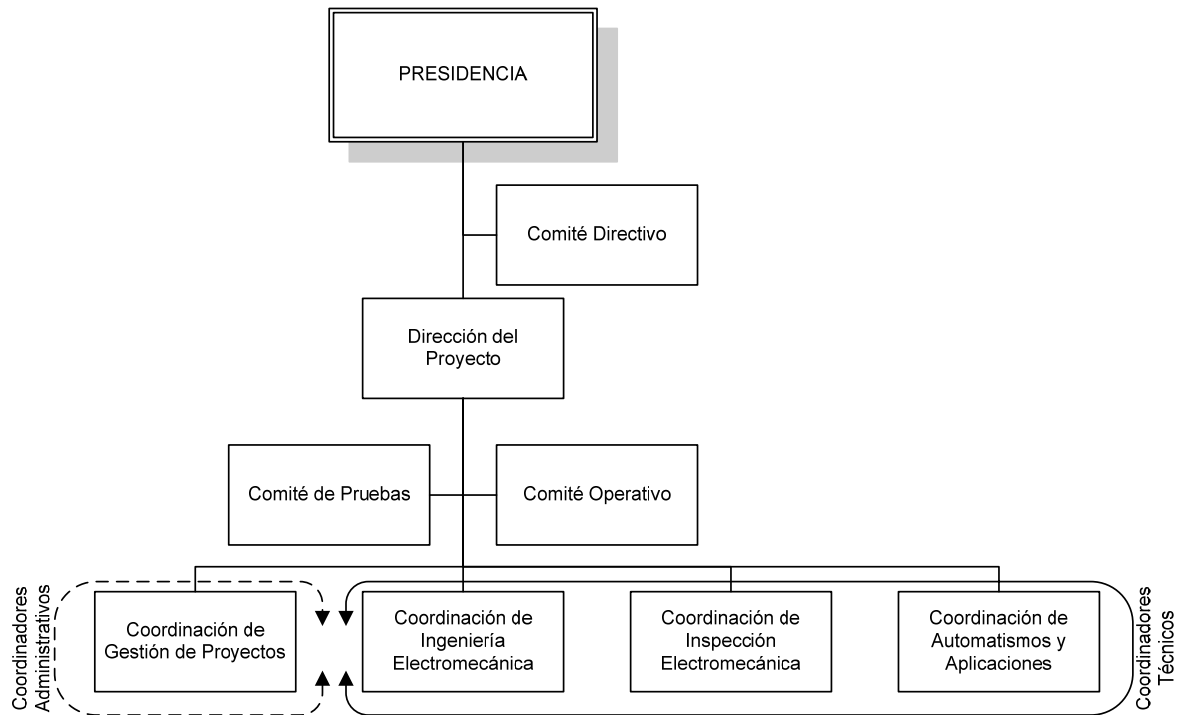




Figura 1.2 ORGANIGRAMA DEL DPTO. DE MODERNIZACIÓN.



1.10 FUNCIONES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE PLANTA GURI (P.M.P.G.)

COMITÉ DIRECTIVO: Su función principal será validar el Plan de Ejecución del Proyecto (PEP) y revisar periódicamente el avance del mismo.

COMITÉ OPERATIVO: Estará conformado por los coordinadores del proyecto y los gerentes de la Divisiones proveedoras y clientes, cuya función será el seguimiento periódico de las actividades y resolver sobre conflictos de tareas compartidas.

DIRECTOR DEL PROYECTO: Responsable por la Gerencia General, por lo que deberá: Establecer y Mantener el Plan del Proyecto lo que incluirá los programas maestros, presupuesto, especificaciones de rendimiento, alcance de los trabajos, así como la obtención de aprobaciones por los cambios técnicos y económicos durante el ciclo de vida del proyecto.



Dirigir y Controlar el Proyecto a través de la coordinación e integración de las disciplinas requeridas en cada fase, incluyendo actividades con recursos internos y contratadas.

Comunicar el Estado del Proyecto a los miembros del equipo, la organización de CVG EDELCA, a los clientes y a los proveedores y contratistas, mediante reuniones, reportes de progreso y los canales de comunicación de los cuales dispone la empresa.



CAPITULO 2

EL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

En la Central Hidroeléctrica “Raúl Leoni” de la empresa C.V.G. EDELCA en Guri esta ubicada la Casa de Maquinas II (CM2) donde se encuentran 10 unidades generadoras con capacidad nominal de 700MW. Cada unidad generadora posee una turbina que se encarga de convertir la energía hidráulica en mecánica.

Desde la entrada en operación las unidades generadoras en CM2 han presentado siempre el problema de altos niveles de vibración, siendo esto causa de desajustes y fallas en diversos componentes de las unidades [1,2].

Actualmente CVG-EDELCA está ejecutando las labores del Proyecto de Modernización de la Planta en la Casa de Máquinas II teniendo como finalidad mejorar la eficiencia de las turbinas, rehabilitar los generadores y reducir los niveles de vibración [3], durante la ejecución de estos trabajos se ha realizado la instalación de nuevos equipos para supervisar las vibraciones [4].

La necesidad de implementar un Sistema de Monitoreo que permita establecer condiciones operativas seguras bajo la presencia de Vibraciones severas en ciertas bandas de generación en las unidades Generadoras del CHRL, condujo a la instalación de Monitores de Vibración que permitiesen la función de Protección contra excesos de Vibraciones en el nivel de la Turbina de cada unidad. Esta protección realiza el monitoreo del desplazamiento del eje de la turbina, para ello se instalaron dos sensores de proximidad cercanos al cojinete de la turbina, uno a 0° aguas abajo y otro a 90° de este [5].

Los niveles de seguridad permiten monitorear en forma dinámica el desplazamiento del eje, cuando el eje se desplace hacia la banda de seguridad “ALARMA” y la viole por el tiempo de



retardo establecido, el monitor dará la alarma correspondiente en el Centro de Control. Cuando el eje se desplace hacia la banda de Protección “DISPARO” pasando por la banda de seguridad “ALARMA” y la viole por el tiempo de retardo establecido, el monitor dará una señal de Disparo correspondiente, la cual detendrá la unidad generadora. Esta función protege la maquina evitando que el eje roce directamente con el metal y evitando un daño mayor. [5]

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Monitores de Vibración instalados están cumpliendo la función de Protección. La información proveniente de los sensores es desechada sin lograr su aprovechamiento para un respectivo análisis posterior de las señales. Esto se debe a que se adquirieron bajo una configuración básica, la cual debería poseer mas sensores, mayor capacidad de almacenamiento y puertos adecuados de salida y entrada, entre otras opciones necesarias [6]. Este problema trae como consecuencia que ante un evento de disparo o alarma no se conocerán los valores previos y posteriores, es decir no se podrá determinar causas que originen la vibración excesiva que produjo una Alarma o Disparo.

2.3 ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto permitirá el aprovechamiento de las señales de vibración haciendo uso del Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) actual del Sistema de Control por Computadora de Guri (SCCG) [7]. Las señales serán transmitidas hacia las respectivas Unidades Terminales Remotas (RTU's), donde se hará la adquisición y conversión a unidades de Ingeniería correspondiente (micrón). En la Estación Maestra del SCCG se llevará un registro histórico de al menos 7 días (cíclico). En la estación Maestra se creará una aplicación que pueda procesar a solicitud del operador o de manera automática la adquisición de la data registrada en el histórico correspondiente. En el registro histórico no solamente estará la información de vibración, también se almacenaran otras variables presentes en el sistema actual como la potencia activa, potencia reactiva, la caída neta, la eficiencia, el caudal, la frecuencia, las RPM, la temperatura del cojinete y la corriente de campo [8].



Todas estas variables servirán para realizar un análisis que conduciría a descubrir las causas de un evento de alarma o disparo por vibraciones excesivas en la turbina, además se determinará en que medida influyen cada una de estas variables en las vibraciones.

Las aplicaciones y archivos de comandos (scripts) a desarrollar deberán permitir la recolección de los datos para analizarlos empleando herramientas de graficación de datos y de análisis estadísticos; y de esta manera describir tendencias y comparar las variables en estudio.

2.4 JUSTIFICACIÓN

Dada la importancia de la medición de vibraciones y de la importancia de la información que esta aporta para la detección de posibles fallas en las unidades es de importancia para CVG-EDELCA poseer un sistema que permita llevar un registro de esta información y que permita realizar un análisis amplio y detallado de las vibraciones con respecto a otras variables involucradas ante un evento de Alarma o Disparo por excesiva vibración.

Con la realización de esta investigación se pretende realizar las modificaciones necesarias para que sea posible recolectar y analizar las señales de vibraciones desde la sala de control, añadiendo así esta información al resto de la información del sistema.

2.5 DELIMITACIÓN

La realización de este proyecto abarca únicamente el análisis dinámico de las vibraciones en el eje de la turbina de las unidades rehabilitadas N° 13 y N° 19 de la Casa de Maquinas II del CHRL

Las variables para el estudio según su disponibilidad serán las siguientes: potencia activa, potencia reactiva, vibraciones, eficiencia, caída neta, frecuencia, revoluciones por minuto (RPM), temperatura del cojinete, caudal turbinado y corriente de excitación.

2.6 LIMITACIÓN

La comparación y análisis de las vibraciones con otras señales dependerá de la disponibilidad de estas y la capacidad de almacenaje que este disponible para el registro de esta información por el periodo deseado [8].



El volumen de datos a recolectar depende de la duración de este proyecto, pero quedara disponible para futuros estudios para el personal de la Sala de Control o del Departamento de Investigaciones y Pruebas de Generación.

2.7 OBJETIVO PRINCIPAL:

- Desarrollar a nivel del Centro de Control de Guri una aplicación que permita realizar la recolección y análisis de las señales de Vibraciones provenientes del Monitor que supervisa el eje de las turbinas N°13 y N°19.

2.8 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Implementar la captura de señales en las RTU 13 y 19 de las señales analógicas provenientes del Monitor de Vibración de cada Unidad.
2. Recolección de información referente al Sistema Monitor de Vibraciones y realizar la respectiva documentación.
3. Desarrollar las aplicaciones y archivos de comandos para la recolección de datos y análisis del comportamiento de las Vibraciones del eje de la turbina y de las variables en estudio.
4. Proponer mejoras en el sistema de supervisión y análisis de vibraciones.



CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1 GENERADORES HIDROELÉCTRICOS

Los generadores hidroeléctricos están formados por un conjunto de componentes que son fundamentales para su funcionamiento es por eso que haremos un breve resumen de cada uno de ellos.

3.1.1 TURBINAS HIDRÁULICAS

Definición

Las turbinas hidráulicas son equipos que convierten en movimiento el flujo de agua que choca contra los alabes de un rodete y a través de un eje transmitir este movimiento a un generador, que en cuyo interior se produce el fenómeno de inducción electromagnética, es decir, se produce electricidad.

Las turbinas hidráulicas se construyen de acuerdo a la caída neta del embalse en el cual se utilizará; a este efecto se dividen en tres tipos:

- Turbinas Pelton**, se utilizan en presas de grandes caídas (de **200 a 2000 m**).
- Turbinas Kaplan**, se utilizan cuando la caída es baja (de **5 a 15 m**).
- Turbinas Francis**, se construyen para caídas medias y bajas (de **30.5 a 457 m**) con una potencia notable, este tipo es el que se encuentra instalado en las unidades de la Central Hidroeléctrica “Raúl Leoni” en Guri.

La turbina Francis es una turbina de reacción que esta formada por una rueda de alabes (rodete) que a su vez se encuentra rodeada por una sección corona de paletas fijas. Los conductos formados por dos paletas contiguas poseen una sección decreciente desde el exterior hacia el



interior, de modo que el agua acelera su movimiento al mismo tiempo que pierde presión. Se tiene, por lo tanto lo mismo en el distribuidor que en el rodete, la transformación en energía cinética de una parte de la energía de presión correspondiente al salto.

3.1.12 Ubicación

Las turbinas de las unidades generadoras de la Casa de Máquinas II, se encuentran ubicadas entre las elevaciones **113,59** y **117,00** en cada unidad. Las unidades 13 y 19 se ubican en el área de los siguientes monolitos, iniciando desde la unidad N° **11** (lado Este de la Casa de Máquinas II) hasta la unidad N° **20** (lado Oeste).

Tabla 3.1: Ubicación Turbinas

Turbina N° 13	Monolito 26
Turbina N° 19	Monolito 2

3.1.13 Características

Para las turbinas rehabilitadas de las unidades 13 y 19 se presentan las siguientes características:

-Tipo: **Francis de alabes invertidos**

-Caída neta nominal: **134 m**

-Caída máxima infrecuente máxima: **144 m**

-Potencia:

Nominal y garantizada: **715 MW**.

Máxima para operación continua a **146 m: 758 MW**.

Máxima para operación temporal a **146 m: 770 MW**.

-Velocidad nominal: **112.5 r.p.m**

-Descarga:

A 770 MW Y CAIDA NETA 144 m = 585 m³/seg.

A 715 MW Y CAIDA NETA 134 m = 586 m³/seg.

- Eficiencia Ponderada Promedio a 134 m de caída neta: 95.1%

-Marca: GENERAL ELECTRIC



3.1.14 Componentes

Las turbinas hidráulicas tienen tres componentes fundamentales:

-El Rodete: Es el elemento que transforma la energía hidráulica en energía mecánica. Es el dispositivo portador de los Alabes, perfilados para que absorban con la mayor eficacia posible la energía cinética del agua. La transformación de la energía del salto en energía cinética ocurre en parte en el distribuidor y el resto en el rodete. En la casa de máquinas de Guri se realizó durante el proyecto de modernización la sustitución de los rodetes de las unidades rehabilitadas por rodetes de alabes invertidos más eficientes.

-El Anillo Distribuidor: El Anillo Distribuidor es la parte de la turbina que guía el agua que se localiza entre la caja espiral y las paletas directrices y el mismo contiene **20** paletas fijas. Este anillo es fijo, se encuentra soldado a la caja espiral y su función es la de servir de guía de las paletas móviles para que estas puedan realizar su recorrido de **45** grados.

-El Tubo Aspirador: Es un Conducto acodado que conduce el agua que utiliza la turbina, al canal de descarga una vez realizada la transferencia de energía.

Completan la turbina otros elementos auxiliares, que contribuyen a que el aporte de energía del agua pueda realizarse con la mayor eficiencia posible. Los componentes que conforman el conjunto total de una turbina es el siguiente:

- Tubería Forzada
- Caja Espiral
- Anillo Distribuidor / Paletas Fijas
- Paletas Móviles
- Rodete
- Tubo Aspirador.
- Anillo de Operación de las Paletas
- Mecanismo de Operación de las Paletas
- Cubierta Superior de la Turbina
- Caja de Sello del Eje
- Baffle Plate
- Eje de la Turbina
- Cojinete Guía de la Turbina



- Detector de Vibración
- Detector de Temperatura
- Interruptor Diferencial De Presión
- Detector de Nivel de Aceite

3.1.15 Detector de Vibración

Es el equipo que mide y monitorea el desplazamiento del eje de la turbina. Este dispositivo indica el desplazamiento directamente en los sentidos de los ejes X e Y. Cuando el desplazamiento es más grande que el valor preestablecido, emite una alarma y el disparador funcionará después de cierto periodo de la continuación de tal desplazamiento anormal.

Ubicación: El monitor de vibración está ubicado en el pozo de la turbina. Los sensores de vibración se encuentran ubicados encima del carter de la turbina montados en bases.



Figura 3.1: Caja del Monitor

Componentes:

Los detectores de vibración están compuestos esencialmente por:

- a) Los Captadores: Son dos sensores capacitivos encargados de medir la vibración relativa, son dos: uno para el eje X y otro para el eje Y, la distancia entre los captadores y la superficie del eje de la turbina debe ser de 2mm. Son los que envían la señal al equipo y están colocados a 90° uno del otro sobre la tapa del cojinete guía de la turbina.
- b) El acondicionador: Como su nombre lo indica es el encargado de recibir la señal enviada por los captadores y acondicionarla para luego enviarla al monitor de vibraciones.
- c) El Monitor: Es el dispositivo central del equipo, en donde se realiza el proceso de comparación y actuación de señales. Mas adelante hablaremos mas en detalle de este equipo.

3.1.16 Detector de Temperatura

El sistema detector de temperaturas, está constituido por Detectores de Temperatura por Resistencia (RTD) y Relés térmicos utilizados para la medición y protección de los cojinetes, a fin de evitar que estos presenten daños por altas temperatura.



Las RTD's son elementos de resistencia, generalmente hechas de cobre están reguladas a 25 ohmios a 0 °C ó 10 ohmios a 25 °C, la operación de la bobina de exploración se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía linealmente con su temperatura.

Existen tres (3) RTD's, de las cuales una es para el aceite y las otras dos para el metal, las mismas envían información remota al Tablero de Control de la Unidad (UCS) y al computador [7].

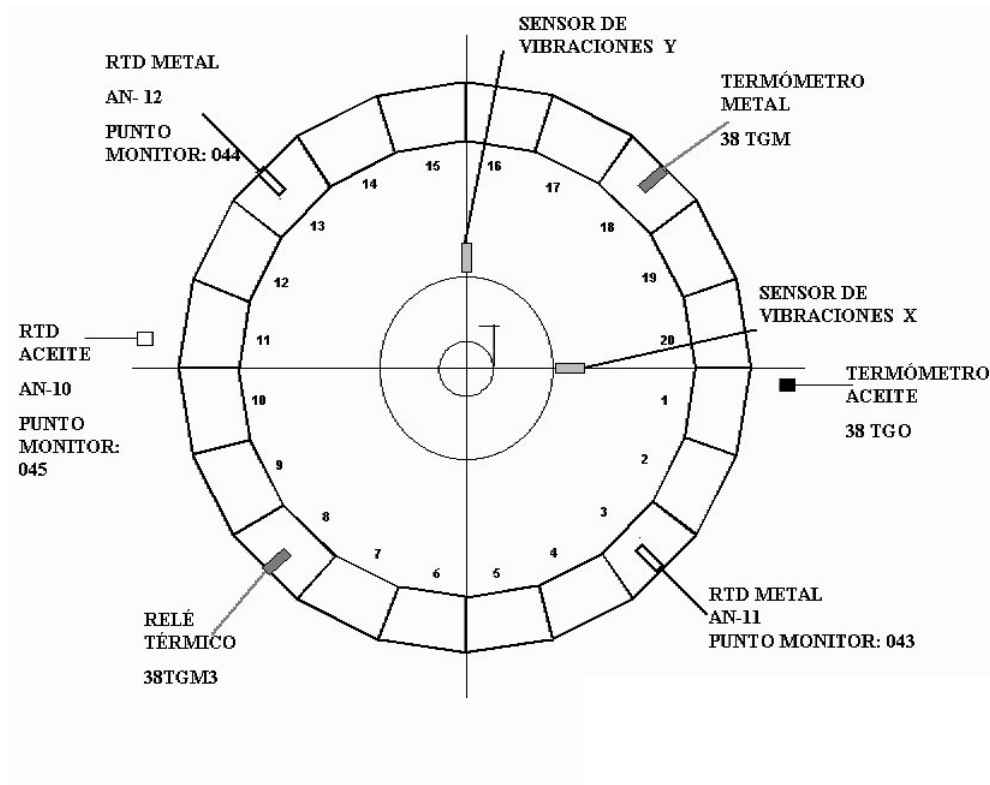


Figura 3.2: Ubicación de Sensores de la Turbina



3.1.17 Funcionamiento de la Turbina

Al abrir el límite de paletas hasta un 20%, la energía hidráulica que se encuentra almacenada en la represa desciende por la tubería forzada hacia la caja espiral que se encarga de distribuir uniformemente la presión de agua en el rodete, a través de las paletas fijas y directrices. Una vez que el agua choca con los alabes del rodete es centralizada por el anillo desde la misma y desciende hacia el tubo aspirador para su descarga hacia aguas abajo.

La turbina inicia el movimiento aumentando su velocidad a medida que se van abriendo las paletas, las cuales están controladas por el gobernador a través de una señal eléctrica recibida del Generador de Imanes Permanentes (PMG). Una vez que la velocidad en la turbina llega a 112,5 revoluciones por minuto (r.p.m.), el PMG envía una señal de tensión para energizar al solenoide del actuador del gobernador, para que éste por intermedio de la válvula distribuidora suministre aceite a los servomotores para mantener abiertas las paletas y mantener girando la turbina en 112,5 r.p.m.

3.1.18 Protecciones de la Turbina

Las protecciones de la turbina relacionadas con las variables de los datos recolectados son las siguientes[7]:

- Vibración Excesiva del Eje de la Turbina. El monitor de vibraciones PCU-100 posee relés de Alarma y Disparo que permiten proteger a la unidad en caso de vibraciones excesivas, en caso de un disparo ocasionará la actuación del relé de paro mecánico (5-CM).

La actual configuración se establece como sigue:

Tabla 3.2: Protección PCU-100

UN-13	Canal 1 (Eje Y)	Canal 2 (Eje X)	Tiempo
Alarma	400 micrones	400 micrones	30 seg
Disparo	498 micrones	499 micrones	30 seg
UN-19	Canal 1 (Eje Y)	Canal 2 (Eje X)	Tiempo
Alarma	403 micrones	402 micrones	30 seg
Disparo	506 micrones	502 micrones	30 seg

- Alta Temperatura Metal del Cojinete Guía: El indicador de temperatura “38-TGM-3” es el dispositivo encargado de vigilar la temperatura del metal del cojinete guía; si esta asciende a 75°C ordena la actuación del relé de paro mecánico (5-CM) .



Otras protecciones existentes para la turbina son:

- Bajo Nivel de Aceite del Cojinete Guía
- Alta Temperatura Aceite del Cojinete Guía
- Alto Nivel de Agua Cubierta Superior de la Turbina
- Rompimiento Pin Fusibles de las Paletas Móviles

3.1.2 EXCITATRIZ

Es un sistema de excitación estático empleado para inducir una corriente alterna en el estator, alimentando al circuito de campo del rotor con una corriente continua. Su principal función es regular el voltaje terminal del Generador. Este elemento inyecta corriente continua a los generadores. Generalmente, este elemento se encuentra acoplado al eje de la máquina como un pequeño generador y entrega el voltaje necesario mediante anillos rozantes a escobillas

En el caso de las unidades impares y por lo tanto las unidades 13 y 19 las características básicas de las excitatrices son las siguientes:

Tabla 3.3: Datos de las Excitatrices

Marca	Mitsubishi
Modelo	619 L 501
Tipo	Silcomatic IV
ENTRADA	
Voltaje CA	1336 Volt.
Amperios CA	2612 Amp.
Fases	3
Frecuencia	60 Hz
SALIDA	
Kilowatts	1388 continuos
Voltaje Dc	434/1660Volt.
Amperios Dc	3200 Amp. Continuos. 4500por 60 seg.

3.1.3 GOBERNADOR

Es un sistema que actúa sobre las válvulas principales de distribución de aceite de los servomotores de control de las paletas directrices para regular el flujo de caudal de agua que pasa



hacia la Turbina; de esta manera se controla la velocidad de giro y con ella la frecuencia eléctrica de la energía del Generador cuando este opera en forma aislada y la potencia activa entregada por éste cuando opera en paralelo conectado al Sistema de Potencia.

3.1.4 ROTOR

Los rotores de los Generadores son de polos salientes y con arrollamientos amortiguados. Cada uno de ellos posee 64 polos mediante los cuales se induce la corriente en el estator del generador.

El arrollamiento está protegido y diseñado para soportar por corto tiempo el voltaje pico del sistema de excitación sin experimentar fallas.

3.1.5 ESTATOR

Como su nombre lo indica, es la parte del generador que no se mueve y está rodeando el rotor. Desde el punto de vista eléctrico, el arrollado del estator es del tipo no congruente, con bobinas de una sola vuelta distribuidas en 552 ranuras, con 2 conductores en cada ranura con 23 bobinas por fase. El arrollamiento está diseñado para mantener al mínimo las pérdidas y el calentamiento ocasionado por las corrientes circulantes.

El estator tiene una conexión estrella YX8, con ocho arrollamientos en paralelo por fase.

3.1.6 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

El Transformador de Potencia es una máquina de inducción estática, formada por tres devanados, uno de baja (uno por cada generador) y uno de alta, que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión en otro nivel de tensión por efecto de su relación de transformación, tiene como particularidad a pesar del cambio de tensión no alterar la potencia recibida ni la frecuencia.

La función primordial de los Transformadores de Potencia es elevar el nivel de tensión de los generadores para la transmisión de energía eléctrica a los centros de consumo, esto con el objeto de transportar económicamente las grandes potencias generadas. Este transformador es del tipo sumergido en aceite, enfriado por circulación forzada de aire y aceite, adecuado para operar a la intemperie.



3.2 VIBRACIONES

3.2.1 Movimiento Oscilatorio

El estudio de las vibraciones se refiere a los movimientos oscilatorios de los cuerpos y a las fuerzas asociadas con ellos. Todos los cuerpos que poseen masa y elasticidad son capaces de vibrar. La mayoría de las maquinas y estructuras experimentan vibración hasta cierto grado y, su diseño, requiere generalmente consideración de su conducta oscilatoria.

Los sistemas oscilatorios pueden clasificarse como lineales a no lineales. Para los sistemas lineales, rige el principio de la superposición y las técnicas matemáticas para su tratamiento están bien desarrolladas. Por el contrario, las técnicas para el análisis de sistemas no lineales son menos conocidas y difíciles de aplicar. Sin embargo, algún conocimiento de sistemas no lineales es deseable puesto que todos los sistemas tienden a volverse no lineales cuando crece la amplitud de la oscilación.

Hay dos clases de vibraciones, libres y forzadas. La vibración libre es la que ocurre cuando un sistema oscila bajo la acción de fuerzas inherentes al sistema mismo y, cuando las fuerzas externamente aplicadas son inexistentes. El sistema bajo vibración libre vibrará a una o más de sus frecuencias naturales, que son propiedades del sistema dinámico y que dependen de su distribución de masa y rigidez.

La vibración que tiene lugar bajo la excitación de fuerzas externas es una vibración forzada. Cuando la excitación es oscilatoria, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación. Si ésta coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, se produce una situación de resonancia y ocurren oscilaciones peligrosamente grandes.

La falla de estructuras mayores como puentes, edificios a alas de aviones es una posibilidad, bajo resonancia. Así, el cálculo de las frecuencias naturales es de importancia capital en el estudio de las vibraciones.



3.2.2 Movimiento Armónico

El movimiento oscilatorio puede repetirse a si mismo regularmente, como en el caso de un balancín de reloj o, desplegar considerable irregularidad, como en el caso de movimientos sísmicos. Cuando el movimiento se repite a intervalos de tiempo τ , se le llama *movimiento periódico*. El tiempo de repetición τ es el periodo de la oscilación y su recíproco, $f = 1/\tau$ es la frecuencia.

El movimiento periódico más simple es el *movimiento armónico*. Puede ilustrarse por medio de una masa suspendida de un resorte liviano. Si la masa se desplaza de su posición de reposo y se libera, oscilará hacia arriba y hacia abajo. Colocando un registrador en la masa, es posible ver el movimiento que describe a la largo de sus oscilaciones.

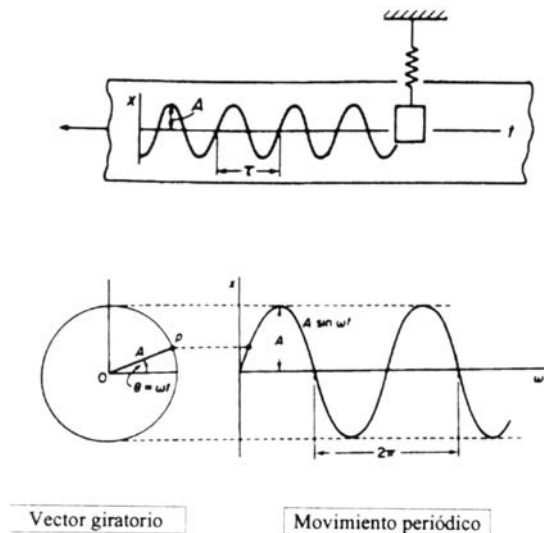


Figura 3.3: Movimiento Armónico

Frecuentemente se representa el movimiento armónico como La proyección sobre una línea recta de un punto que se mueve en una circunferencia a velocidad constante, como se muestra en la figura 3.3.



3.2.3 Vibración

La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o algún elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio [6]. Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como desequilibrio de elementos rotativos, desalineación en acoplamientos, engranajes desgastados o dañados, rodamientos deteriorados, o por fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas y problemas eléctricos. Estas causas, como se puede suponer, son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad debido al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se puede detectar estudiando las características de vibración.

Sus características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración y energía de impulsos (spike energy).

La frecuencia es una característica simple y significativa para el análisis. Se define como el número de ciclos completos en un periodo de tiempo. La unidad característica es c.p.m. (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre la frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre c.p.m. y r.p.m. identificará el problema y el elemento responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados para las frecuencias iguales a la velocidad de giro a bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia o gravedad del problema y da una idea de la condición de la máquina. Se puede medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de la vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de la vibración.

La severidad de la vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias dentro del que tiene lugar. Así, para bajas frecuencias, por debajo de 600 c.p.m., se toman medidas de desplazamiento. En el



intervalo entre 600 y 60.000 c.p.m., se mide velocidad, y para altas frecuencias, mayores a 60.000 c.p.m., se toman aceleraciones.

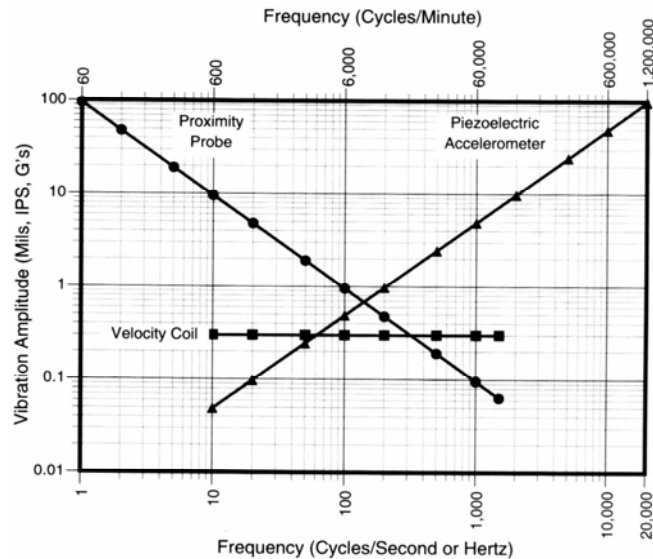


Figura 3.4: Frecuencias típicas de rangos de operación para transductores de vibración tradicionales.

Se mide la velocidad pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es micrones por segundo ($\mu\text{m/s}$). El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de la vibración, por este motivo es el parámetro que usualmente se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60.000 c.p.m. se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración. Algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque la velocidad y desplazamiento sean pequeños.

La energía de impulsos (spike energy) proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia.

Pueden ser impulsos debidos a defectos en la superficie de elementos de rodamientos o



engranajes, rozamiento, impacto, contacto entre metales, fugas de vapor o aire a alta presión o cavitación debida a turbulencia de fluidos.

Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos. El valor de la energía de impulsos es básicamente una medida de aceleración.

3.2.3.1 Tipos de Vibraciones

La mayoría de las Maquinas Hidroeléctricas se caracterizan por su baja velocidad de rotación. La velocidad típica de rotación se encuentra entre los 60 y 300 r.p.m. además, debido a la interacción hidráulica, las vibraciones en el eje pueden ocurrir a lo largo de un amplio rango de frecuencias. Las máquinas ubicadas en CM2 poseen una velocidad de rotación de 112.5 r.p.m.

De acuerdo a la referencia tomada para la medición de la vibración pueden ser clasificadas en: absolutas y relativas. También según la orientación de la vibración se pueden clasificar en vibraciones axiales y radiales [9].

La vibración absoluta representa la vibración total en el área donde se encuentra instalado el sensor y se mide empleando acelerómetros y transductores de velocidad. La vibración relativa viene dada por la diferencia de vibración entre un elemento fijo y una que vibra. La más empleada en el caso de máquinas de rotación es la vibración relativa eje-cojinete. Este tipo de vibración tiene la particularidad de ser unidireccional y se mide empleando sensores de proximidad. Para la realización de este proyecto todos los valores de vibración medidos fueron de vibraciones relativas.

Por otro lado, la vibración axial representa la vibración de un elemento a lo largo de su eje. En las máquinas de eje vertical, la vibración axial está descrita por un movimiento vertical. La vibración radial representa la vibración que describe el eje cuando gira. Esta medida es la más usada para evaluar la condición de cojinetes y guías del eje de la unidad, evitando así desbalances y desalineaciones en la rotación de la Unidad.



3.2.3.2 Causas de Vibraciones

De igual modo, las vibraciones también son clasificadas de acuerdo a sus causas, existen tres causas de vibración en las máquinas hidroeléctricas [10], estas son:

Causas Mecánicas:

Están representadas por malas alineaciones, diferencias en los cojinetes, piezas sueltas a desajustadas en partes rotativas o estacionarias. Generalmente, se deben a problemas de desbalances, fuerzas elásticas en el eje o rotor o fuerzas como resultado de fricción de partes rotativas. Las frecuencias características de este tipo de vibración son la frecuencia de rotación y sus armónicos.

Causas Eléctricas:

Están representadas por fuerzas magnéticas inadecuadas en el rotor de la máquina hidroeléctrica. Este tipo de fuerzas pueden ser causadas por un vector de fuerza magnética rotativa, separaciones del entrehierro del generador desiguales, corriente inversa en la excitatriz, corto circuito en los polos o barras del generador y fallas de sincronización. Al igual que las causas mecánicas, las frecuencias características de este tipo de vibración son la frecuencia de rotación y sus armónicos como se muestran en las tablas 3.5, 3.6 y 3.7.

Vibraciones Electromagnéticas: En los generadores eléctricos los problemas de índole eléctrico ocurren debido a campos electromagnéticos producidos por fuerzas electromagnéticas desiguales al actuar en el estator que causan esfuerzos que aflojan las barras produciendo daños en el aislamiento, vibración de la barra al doble de la frecuencia de la corriente que fluye en ellas (100-120 Hz) y ruido electromagnético en el núcleo del estator

Vibraciones electromagnéticas en el proceso de falla a tierra: En las barras superiores e inferiores del estator las fuerzas electromagnéticas conllevan a una posible falla a tierra; entre las posibles causas se encuentran:

- Pérdida de laminación del estator que aparece al doble de la frecuencia y que también puede mostrar armónicos de 2do orden.
- Falla en el aislamiento al doble de la frecuencia.
- Desbalance de fase que aparece al doble de la frecuencia.
- Saliencia de los polos.



La compañía HIDRO QUEBEC INTERNACIONAL en su trabajo de vibraciones aplicadas a los generadores de EDELCA [12] expresa lo siguiente: “las principales causas de vibración de los estatores de los generadores en la segunda armónica del sistema son, en primer término, cargas asimétricas acompañadas de una corriente de secuencia inversa y en segundo término, la irregularidad del entrehierro eléctrico debida, entre otros, a la imperfección del centrado del rotor con respecto al estator o una imperfección de la redondez del estator”.

“Cuando hay, por ejemplo, una irregularidad del entrehierro eléctrico, el paso de cada uno de los polos delante del lugar en que se sitúa entrehierro mínimo, genera una impulsión radial cuya frecuencia es de 120 Hz. Naturalmente, las imperfecciones, tales como la excentricidad del rotor y las imperfecciones de su redondez se agregan a este fenómeno”.

Otra principal causa de vibración proviene de los juegos mecánicos existentes en las barras estatóricas u otras sometidas a fuerzas electromagnéticas oscilando a 120 Hz

Fuerzas Electromagnéticas

Es la fuerza creada por el campo electromagnético producido por la corriente que circula en las bobinas o barras de las máquinas rotativas, actuando en sentido radial y tangencial. Debido a que estas fuerzas pulsan a una frecuencia mayor a la establecida en condiciones normales, la bobina o barra empieza a vibrar, emitiendo ruido, pérdidas del aislamiento, esfuerzos sobre ranuras y por supuesto deformaciones mecánicas. La fuerza electromagnética es proporcional al cuadrado de la corriente circulante que genera el campo electromagnético en las barras. Dichos esfuerzo electromagnético se puede expresar como una onda oscilante definida por una función seno o coseno:

$$F/L = 4\mu_0 \frac{I_c^2}{h_{ran}} \cos^2 wt$$

donde:

F/L = Esfuerzo electromagnético instantáneo (fuerza por unidad de longitud)

W = Frecuencia angular

μ_0 = Permeabilidad del espacio libre $4\pi \times 10^{-7}$ h/m



Fuerzas Radiales

Un análisis de las fuerzas oscilantes en las máquinas muestra que la vibración con la frecuencia de rotación puede excitarse, no sólo por las fuerzas centrífugas debidas al desbalance del rotor, sino también por las fuerzas creadas por diferentes fuentes en la operación de la máquina. El sentido radial en un generador significa en dirección hacia el centro de rotación del eje o rotor.

Las principales causas de fuerzas radiales en los estatores son:

- Desalineamiento de los rotores
- El debilitamiento no uniforme de la superficie de fricción del rotor.
- La vibración del rotor con problemas de lubricación del cojinete.
- Momentos debido a la desuniformidad de la capa de grasa del cojinete.
- El hecho de que el centro de rotación del rotor (Electromagnético) no coincida con su centro geométrico (Mecánico).

Causas Hidráulicas:

Son aquellas que resultan de desbalances hidráulicos, efectos hidrodinámicos en cojinetes y alabes del rodete, variaciones de flujo en la tubería forzada, formación de vórtices, inestabilidad o abnegación del tubo de aspiración, perfiles de velocidad no uniformes, cavitación, interrupciones de flujo en el rodete y pulsaciones de presión. Cuando existen variaciones de flujo en la tubería forzada o el tubo de aspiración, las frecuencias características más comunes son la frecuencia de rotación, la frecuencia de paso de las alabes, y frecuencias por debajo de la frecuencia de rotación, generalmente un tercio a una cuarta parte de esta.

Una de las causas hidráulicas más frecuente es la cavitación. Esta se debe a condiciones de flujo incorrecto alrededor del rodete, en operaciones en estado estable, fuera del rango de eficiencia óptima y ocurre mayormente a grandes niveles de carga. El cambio en el nivel de aguas arriba y aguas abajo también influye en la generación de este efecto.

Las vibraciones hidráulicas son normalmente mayores durante el funcionamiento a carga parcial y a sobrecarga que a un funcionamiento cercano a la eficiencia máxima. Además, las frecuencias naturales y oscilaciones forzadas de presión, tales como la formación del vórtice bajo



una turbina Francis, varía con la carga. Las vibraciones hidráulicas deben ser consideradas para el rango completo de operación, incluso en el arranque y durante transitorios ya que las vibraciones más grandes que puede sufrir la máquina suelen encontrarse en el momento del arranque, al conectarse con los demás generadores de la red y al desacoplarse de la red. La operación en este estado transitorio siempre debe ser evaluado separadamente para observar su efecto en los cojinetes, rodamientos y demás partes de la máquina.

3.2.3.3 Análisis de Vibraciones

Generalmente, la información que se desea obtener de una señal de vibración es su periodicidad, su contenido armónico y, en caso de ser una señal de vibración radial, la amplitud y la órbita descrita por dicha señal para evaluar su excentricidad, curvatura y simetría.

Análisis Global:

Representa la forma más básica de análisis de vibraciones y se basa en la medida global de vibraciones. Esta medida nos suministra un valor escalar, que describe la cantidad de energía vibratoria total contenida en una onda emitida por una máquina. La idea que transmite este análisis, es que un mayor nivel de vibración nos puede indicar un serio problema, el cual debería ser examinado y/o monitoreado. Es decir, a mayor vibración mayor severidad del problema.

Esta tecnología a pesar de ser barata puede ser imprecisa e inconsistente. Como ejemplo de lo anterior, es el caso de una bomba que experimenta una turbulencia o ruido cuyo origen es el caudal de la misma. El caudal tendrá un nivel global vibratorio muy alto aunque no presente, en un principio, problemas de índole mecánica. Por el contrario, esa misma bomba puede tener un problema serio en uno de los rodamientos y presentar un nivel vibratorio muy pequeño en comparación con el nivel vibratorio emitido por el eje y por el flujo de la propia bomba. Por esta razón, el problema del rodamiento puede ser “no evidente” solo con la lectura global de la vibración. Debido a que el valor global de vibración solo es un valor escalar, no se puede discernir entre las distintas frecuencias de fallas que se pueden observar en un espectro de vibración. En otras palabras, siempre será necesario el empleo de otros análisis para la determinación de la causa de altos niveles de vibración [13].

Los valores globales de vibración son usados frecuentemente porque son elementos simples, los equipos que se emplean para recoger esta información son baratos y en un tiempo fueron los



únicos equipos en el mercado. Sin embargo equipos especializados de monitoreo puede a grandes rasgos funcionar como protecciones que brinda un margen de seguridad a las maquinarias en la industria moderna.

En los últimos años, se han desarrollado numerosas tablas y guías las cuales han sido elaboradas para explicar que niveles de vibración se consideran aceptables para los diversos tipos de maquinas [5]. Ver anexos F.

Valores Globales

Los valores Globales mas comúnmente medidos vienen dados por los valores descriptores de la onda vibratoria [14]:

- **Valor pico: VP** Es el valor máximo de una señal con valor medio nulo.
- **Valor pico a pico: VPAP** Es el valor medido desde el extremo negativo hasta el extremo positivo de una señal. Para el caso de formas de onda simétricas, el valor pico a pico es el doble del valor pico.
- **Valor eficaz: RMS** Es el valor cuadrático medio de una señal medida sobre un intervalo de tiempo T.

$$RMS = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T} \int_T X^2(t) dt$$

Como en el cálculo del valor eficaz la señal se integra durante un tiempo T, se pueden tener lecturas muy estables y repetitivas si T es lo suficientemente grande.

Para tener una lectura estable en la medición de valor eficaz, se debe integrar durante un período $T > \text{Período de la componente de menor frecuencia}$.

La medición del valor eficaz es una medida de la potencia de la señal por lo que depende del valor pico de la señal y además de la forma que tenga (Cantidad de picos, etc).

- **Valor Medio: VM** Es el valor promedio de una señal medida sobre un intervalo de tiempo T.

Para el caso de un movimiento vibratorio en que el valor medio es cero, es necesario rectificar a la señal antes de promediarla.

$$VM = \frac{1}{T} \int_T X_{rectificada}(t) dt$$



Como en el cálculo del valor medio la señal se integra durante un tiempo T , se pueden tener lecturas muy estables y repetitivas si T es lo suficientemente grande.

Para tener una lectura estable en la medición de valor medio, se debe integrar durante un período $T > \text{Período de la componente de menor frecuencia}$.

La componente de menor frecuencia no siempre es la correspondiente a la del eje, ya que existen otros fenómenos como los de inestabilidad en ejes que se manifiestan a frecuencias subarmónicas.

Tabla 3.4: Comparación de valores globales

	Valor Pico-Pico	Valor Pico	Valor RMS	Valor Medio
Sensibilidad respecto a los picos	Alta	Alta	Baja	Baja
Sensibilidad respecto a la energía de la señal	Normalmente baja	Normalmente baja	Alta	Alta
Aplicaciones	- En mediciones de Desplazamiento relativo de ejes.	- Monitoreo de maquinaria rotativa de muy bajas RPM - Detección de golpes	- Monitoreo de maquinaria en general.	- Monitoreo de maquinaria en general
Ventajas Relativas	Las mediciones de desplazamiento pico a pico relativo son directamente comparables con la separación entre ejes y cojinetes, álabes y cuerpo de la turbina, etc.		Mayor cantidad de instrumentos que permiten contrastar los valores medidos.	A igualdad de precisión, los sistemas de monitoreo por medición de VM son mas económicos que los de RMS.



Análisis Espectral

Las vibraciones que experimentan las máquinas cuando operan en estado estable son periódicas y se consideran naturales. En consecuencia, cada uno de los varios tipos de vibración puede ser identificado por su representación en el dominio del tiempo y la frecuencia. La señal de vibración proveniente de los sensores es muestreada y luego analizada con herramientas como la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para el estudio de su densidad espectral y contenido armónico.

Transformada Rápida de Fourier (FFT)

La Transformada de Fourier es una operación matemática que transforma una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y viceversa, y se aplica tanto para señales continuas como para señales discretas. En el dominio del tiempo, la señal se expresa con respecto al tiempo. En el dominio de frecuencia, una señal es expresada con respecto a la frecuencia. En el caso de las señales discretas se le conoce con el nombre de Transformada de Fourier Discreta (DFT).

Una FFT es una versión más rápida de la DFT que puede ser aplicada cuando el número de muestras de la señal es una potencia de dos. Un cálculo de FFT toma aproximadamente $N \cdot \log_2(N)$ operaciones, mientras que DFT toma aproximadamente N^2 operaciones, así es que FFT es significativamente más rápida.

La FFT se contempla como un algoritmo matemático que se aplica a las muestras obtenidas de una señal, sin importar su frecuencia, periodicidad o forma de onda. El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de una máquina para su posterior análisis.

En el monitoreo y mantenimiento predictivo, esta técnica se basa en la detección de fallas en un sistema a través del estudio de los niveles de vibración capaces de mostrar fallas prematuras sin la necesidad de recurrir a paradas por averías, permite optimizar tiempos y producción.



Tabla 3.5: Frecuencias Sincronas observadas en el Generador

Frecuencia	Origen	Comentarios
f_1	Valor de origen magnético a mecánico.	Excentricidad del perfil magnético del rotor. Fuerza generada por el excentricidad de la masa en rotación y transmitida a la estructura por media de los cojinetes. Reviste un problema, si es acompañada de oscilaciones de MW/M VA.
$2 \times f_1$	Fuerza estática, mal alineamiento de la línea del eje o del rotor en su campo. Rotación ovalada del estator.	Distorsión del estator (calaje). Deformación dinámica del margen flotante. Mal alineamiento mecánico de las cojinetes guías o excentricidad de la carga sobre el cojinete..
$f_1 \times n_p / c_{ep}$	Ondas girantes de vibración, producidas por los polos.	El operador debe evitar operar el grupo en este margen.
60 hz.	Ruido eléctrico parásito, presente en el estator.	El sensor no esta aislado de la armadura, corriente en el retorno de tierra, instalación o cable inadecuado, lo cual permite circulación de dc en el estator.
120 Hz radial en el laminado.	Giro contrario de un campo al del rotor, la cual provoca una fuerza radial pura en el entrehierro.	Presencia de una secuencia inversa en régimen desbalanceado, teniendo una corriente de más de 4% de la nominal. La resonancia puede estar presente en el estator.
120 Hz o $f_1 \times n_p$.	Paso de las polos y fuerzas magnéticas internas del estator.	Movimiento mecánico normal del estator solicitado por las fuerzas magnéticas (principalmente) situadas a 120 hz. Un crecimiento de vibración puede corresponder a un desbalanceo de las corrientes de armadura del estator
$f_1 \times (n_e - n_p)$	Ondas en el flujo magnético del entrehierro	Fuerza magnética normal, una variación puede significar un perfil magnético no uniforme.
$(f_1 \times n_e) \pm f_1$.	Paso de las ranuras visto por los polos.	Fuerza magnética normal que es transmitida a través del cojinete y la cual debe ser de amplitud muy débil.
$f_1 \times n_e$	Paso de un polo saliente o de un polo que tiene un corto circuito de las espiras visto por las ranuras.	Si se ha modulado una vez por revolución, indica la presencia de un polo saliente, se puede observar en f_1 un ligero aumento del valor de gira magnético, ver también las vibraciones del los cojinetes guías del generador.
$f_1 \times (n_e + n_p)$	Ondas en el flujo magnético del entrehierro	Fuerza magnética normal, una variación puede significar un perfil magnético irregular.
$f_1 \times (n_e \times n_p / n_e - n_p)$	Ondas en el flujo magnético del entrehierro por efecto estroboscópico del paso de los polos enfrente de las ranuras.	Fuerza magnética normal, una variación puede significar un perfil magnético no uniforme.
Peines de 120 Hz	Juegos mecánicos.	Juegos mecánicos en las barras estatoricas
240, 360,... Hz		otras sometidas a una fuerza oscilante de 120 hz.
$120 \times \text{int}(n_e / n_p)$.	Frecuencia de interacción de palos-ranuras (diente de frecuencia ^{3,5}).	Fuerza magnética normal, el diseñador debe evitar tener una frecuencia natural del generador excitado
otros <30 hz.	Oscilación de la línea de eje, normalmente asíncrona.	Una oscilación de la línea del eje implica una oscilación en la amplitud de potencia y de las fuerzas magnéticas asociadas a excitación inadecuada, problemas de regulación.

f_1 : frecuencia fundamental de rotación de la maquina.
 n_e : Numero de ranuras del estator.
 n_p : numero de polos del rotor.
 c_{ep} : denominador común más pequeño de n_e y n_p





Tabla 3.6: Frecuencias asíncronas observadas en el Generador.

Frecuencia	Origen	Comentarios
Variación de potencia a 0.2 Hz	Inestabilidad de servicio en velocidad.	Se ajusta el regulador de velocidad, si este es acompañado de una oscilación de apertura de paletas.
5 a 25% de f_1 .	Giro de la hélice con oscilación de potencia, entre el vórtice y la cúspide de rendimiento de la apertura parcial.	Observado en los alabes de los rodets y no es perjudicial. La variación de potencia podría indicar la desigualdad presente en la punta de las paletas.
25 a 50% de f_1 .	Vórtice hidráulico en apertura parcial.	Excitación de amplitud normalmente grande. Se considera si se excita en un modo cualquiera de resonancia.
40 a 100% f_1 .	Vórtice hidráulico a gran apertura ^{1,2} .	Excitación normalmente de amplitud media, desagradable para la red si se sitúa en la zona de operación normal. Se considera si se excita en un modo cualquiera de resonancia (modo natural síncrono del generador).
Variación de potencia del 50 a 125% de f_1	Modo de oscilación natural del generador unido a la red. Variación de frecuencia con el rotor actual.	Modo amortiguado que se va volviendo cada vez más pequeño, y el cual se pone problemático si es excitado por una fuerza hidráulica o cualquier otra.
1-3 Hz en el generador.	Regulador de tensión del sistema de excitación.	Corregir las ganancias y escalones de la deformación del servicio.
De 3 a 7 f_1 .	Giro del eje donde ocurre un modo de flexión del eje	Pueden ser perjudiciales, si las medidas complementarias de forzado en el eje son requeridas.
De 6 a 12 f_1 .	Modo de vibración de torsión del eje	Aparece cuando el eje tiene roce en el laberinto o en las punta de las paletas.
>30 Hz.	Vórtice de directrices o álabes.	



Tabla 3.7: Frecuencias Sincronas en el Eje y la Turbina

Frecuencia	Origen	Comentario
f_1/n	Excitación bajo sincronización.	Inestabilidad o resonancia. Ver la tabla de vibraciones asíncronas y fenómenos hidráulicos.
f_1	Valor de origen hidráulico, mecánico o magnético.	Excentricidad del pulso hidráulico en el rodete Excentricidad de la masa en rotación.
$2 \times f_1$	Fuerza estática radial, que proviene de un mal alineamiento de la línea del eje o de una excentricidad del rodete y/o del conjunto de sus alabes con relación al eje de rotación	Deformación y/o dilatación de los soportes de los cojinetes. Ovalación un tanto moderada del rodete. Entrehierro irregular. Mal alineamiento mecánico de los cojinetes guías o excentricidad de la carga sobre el cojinete.. Distorsión del estator (calaje). Deformación dinámica del margen flotante
Peines de $n \times f_1$.	Vapuleos sincrónicos o distorsión de la sinusoide de vibración.	Fuentes múltiples: juego mecánico, cojinete agripada, defecto en el eje enfrentado al sensor, vapuleo del eje (más allá de la frecuencia crítica).
Numero de alabes (NA), $\pm f_1$.	Paso de los alabes del rodete.	Desbalance hidráulico del flujo que proviene de la caja espiral.
Numero de paletas directrices fijas (NPD) $\pm f_1$.	Paso de un desbalance hidráulico proveniente de la turbina, frente a los pasadizos formados por las paletas directrices fijas.	Desbalance de giro hidráulico demasiado importante en el rodete (asimetría del rodete). Perfil inadecuado de las paletas directrices fijas para el régimen de salida que predomina al momento de la medición.
Numero de directrices (ND) $\pm f_1$.	Paso de un desbalance hidráulico proveniente de la turbina, frente a los surcos formados por las paletas directrices.	Desbalance de giro hidráulico demasiado importante en el rodete (asimetría del rodete). Perfil inadecuado de las paletas directrices fijas para el régimen de salida que predomina al momento de la medición.
$(NA \times 2ND / NA - 2ND) \pm f_1$.	Efecto estroboscópico del paso de los alabes frente a las directrices.	Perfil inadecuado de las directrices.
$(NA \times NPD / NA - NPD) \pm f_1$.	Efecto estroboscópico de paso de los alabes frente a las paletas directrices fijas.	Ver NPD
$2NA, 3 NA \dots \pm f_1$.	Paso de los alabes del rodete.	Ver NA, salida inadecuada al pico de la caja espiral.
$2ND, 3 ND \pm f_1$.	Fisura en las directrices.	Ver ND, el rodete muestra una señal importante del desbalance hidráulico.
$(NA \times ND / NA - ND) \pm f_1$.	Efecto estroboscópico del paso de las alabes frente a una directriz.	Perfil inadecuado de las directrices.
60 Hz.	Ruido Eléctrico	El sensor no está aislado de la armadura, corriente en el retorno de tierra, instalación o cable inadecuado.
120 Hz.	Fuerzas electromecánicas	Polo saliente, u otro problema del alternador, ruidos eléctricos si la frecuencia de 60Hz está presente.



3.2.3.4 Criterios de aceptabilidad del nivel de vibración.

Criterios absolutos

Todas las máquinas generan vibraciones relacionadas, ya sea a su funcionamiento normal o ya sean ocasionadas por una o más defectos de sus componentes, o por ligeras imperfecciones permitidas por las tolerancias de fabricación. Estas vibraciones pueden ser en cada uno de los casos, o muy débiles y aceptables o importantes e inaceptables. *Los niveles de vibración aceptables o inaceptables para un tipo máquina o para un grupo de máquinas del mismo tipo, son muy difíciles de definir con precisión*, ya que incluso para un mismo tipo de máquina, dos de entre ellas pueden mostrar niveles de vibración global diferentes y ser aceptable para unos o inaceptable para otros. Varias subdivisiones del criterio de aceptabilidad son hechas en las tablas del tipo: funcionamiento extremadamente suave, muy suave, suave, hasta riguroso o muy riguroso [9].

Los niveles de vibración utilizados en las normas están basados sobre la vibración global (y no en los niveles de las amplitudes en un espectro de frecuencia), expresada en desplazamiento, en velocidad o en aceleración. Estos tres parámetros diferentes pueden ser valores cresta, cresta-cresta o eficaz.

De manera general, el desplazamiento será elegido para las máquinas que funcionan a baja velocidad (< 600 RPM), la velocidad para aquellas que funcionan a una velocidad mediana (600 a 60,000 RPM), y la aceleración por aquellas que giran a alta velocidad ($> 60,000$ RPM). De esta forma, cada uno de los parámetros está asociado al rango de velocidad en el que será más sensible a los problemas de vibración.



3.2.3.5 Sensores de Vibración

Los sensores a captadores de vibración son dispositivos diseñados para recibir información de una magnitud de movimiento y transformarla a otra magnitud, normalmente eléctrica, que sea posible de cuantificar y manipular. Generalmente se emplean en eventos sísmicos o en el ámbito industrial para la protección de maquinarias.

Los sensores de vibración se encargan de cuantificar los desplazamientos de objetos, la velocidad y aceleración de los mismos. Estas tres magnitudes son comúnmente utilizadas para el análisis de vibraciones debido a la relación matemática existente entre ellas

Sensores de Desplazamiento

Este tipo de sensores se emplea para medir el desplazamiento de un cuerpo cuando el punto de referencia no está fijado a él mismo. Son conocidos como proximitores o sondas de proximidad debido a que no entran en contacto con la fuente de vibración.

Sensores de proximidad inductivos

Las sondas de proximidad más usadas funcionan bajo el principio de corrientes de Eddy. La parte activa de la sonda es una bobina conductora que está moldeada dentro del transductor y envuelve un pequeño núcleo metálico el cual cuando es excitado con corriente genera un flujo de campo magnético. Este campo magnético, en consecuencia, genera corrientes de Eddy en las adyacencias al elemento objetivo (metálica) de tal modo que causa pérdidas en su densidad de flujo. La sonda detecta estas pérdidas en la densidad de flujo magnético y cuando es conectada a

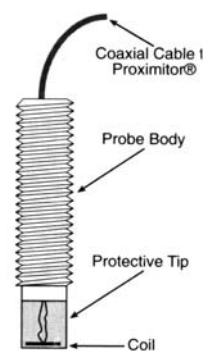


Figura 3.5: Sensor de proximidad típico



su respectiva caja de acondicionamiento, proporciona un voltaje de salida que es proporcional a la distancia entre la sonda y su objetivo. Estos cambios de densidad de flujo dependen también de las propiedades magnéticas del material. En todos los casos, el elemento sondeado es de tipo metálico. Su rango de medición es bastante amplio y, por lo general, la magnitud medida viene expresada en micrones (μm) ($1 \times 10^{-6}\text{m}$) o mils (0.001 in).

Sensores de proximidad capacitivos

Los sensores de proximidad capacitivos han sido diseñados para trabajar generando un campo electrostático y detectando cambios en dicho campo a causa de un objeto que se aproxima a la superficie de detección. Los elementos de trabajo del sensor son, a saber, una sonda capacitiva de detección, un oscilador, un rectificador de señal, un circuito de filtraje y el correspondiente circuito de salida. En ausencia de objetos, el oscilador se encuentra inactivo. Cuando se aproxima un objeto, éste aumenta la capacitancia de la sonda de detección.

El principio de funcionamiento se basa en la generación de un campo eléctrico, desenvuelto por un oscilador controlado por capacitares [15].

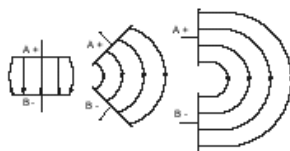


Figura 3.6: Campo eléctrico capacitivo.

El capacitor esta formado por dos placas metálicas, cargadas con cargas eléctricas opuestas, montada en la fase sensora, de forma a proyectar el campo eléctrico para afuera del sensor, formando así un capacitor que posee como dieléctrico el aire

Cuando un material se aproxima a la fase sensora la faja del campo eléctrico, o dieléctrico del medio se altera, alterando también el dieléctrico del capacitor frontal del sensor.

La capacitancia de la sonda de detección viene condicionada por el tamaño del objeto a detectar, por la constante dieléctrica y por la distancia de éste al sensor. A mayor tamaño y mayor



constante dieléctrica de un objeto, mayor incremento de capacitancia. A menor distancia entre objeto y sensor, mayor incremento de capacitancia de la sonda por parte del objeto.



Figura 3.7: Componentes de un sensor de proximidad capacitivo.

Transductores de Velocidad

Estos transductores son empleados para la medición de desplazamiento de un elemento y como su nombre lo indica, la magnitud medida es expresada en forma de velocidad. Su funcionamiento se basa en dispositivos piezoeléctricos con una compleja electrónica integrada. Son instalados directamente en el objeto censado, ofreciendo, por la tanto, una medida de vibración absoluta. Los más modernos son capaces de convertir una señal de aceleración en velocidad.

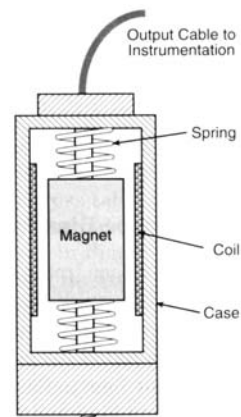


Figura 3.8 Transductor de velocidad típico

Estos transductores pueden detectar la velocidad de un objeto tanto sea lineal como angular. Por lo general, su modo de trabajo es adherido a la superficie del objeto censado, de modo que este le imprime movimiento directamente. Su aprovechamiento en medición de vibraciones se obtiene, bien sea, midiendo la velocidad que presenta la vibración o integrando su señal, convirtiéndola así en un indicador de desplazamiento. La magnitud medida por estos transductores viene expresada en mm/s.

Transductores de Aceleración (Acelerómetros)



Al igual que los transductores de velocidad, los acelerómetros son de naturaleza piezoeléctrica y recogen la información de aceleración sufrida por el elemento al cual se encuentran adheridos. Si bien la mayoría de estos sensores son de origen piezoeléctrico también son contruidos con materiales piezoresistivos o capacitivos y son muy sensibles a las altas frecuencias. Poseen una amplia respuesta en frecuencia, llegando a medir eventos que van desde 0 Hz hasta 10 kHz. Son considerados como sensores para estudios o pruebas ya que no es recomendable su instalación para uso prolongado.

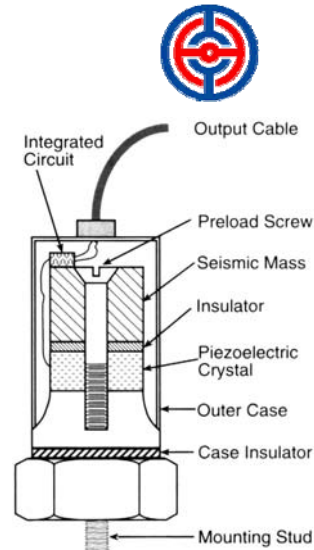


Figura 3.9:
Acelerómetro Típico

La aceleración esta definida como la tasa de cambio de la velocidad en el tiempo y su unidad de medición es la gravedad y viene dada por la letra “g”.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MONITOR DE VIBRACIONES

A continuación se hace una descripción de los distintos componentes que conforman el sistema de monitoreo de vibraciones en las unidades rehabilitadas en Guri [4]:

3.3.1 Sonda de Proximidad Universal PCS-202-S

La Sonda de Proximidad Universal PCS-202-S monitorea dinámicamente la distancia entre la punta de la sonda y la superficie designada. Debido a su insensibilidad al desgaste eléctrico (características materiales) y a irregularidades de superficie menores, el PCS-202-S proporciona una medida más exacta, clara y fiable del desplazamiento que cualquier sonda de proximidad Eddy actual. Puede usarse en ambientes de temperatura de -50 a 200°C (-58 a 392F).

Aplicaciones:

- Para la medida sin contacto de la vibración relativa, posición axial, y el desplazamiento relativo.



- Para descubrir y supervisar:
- La vibración y desgaste del eje,
- El desequilibrio mal alineado del rotor,
- El desgaste de empacaduras, y
- El desplazamiento de la carcasa del stator.

Características:

-Inmunidad a la medida falsa de señales debidas al desgaste eléctrico, las corrientes del eje y a irregularidades menores de la superficie.

- Compatible con todos los materiales
- Fácil de instalar y mantener
- Ninguna calibración del campo requerida
- Rango de medición: 2 mm/0.3 a 2.3 mm (80 mils / 12 a 92 mils)
- Punta de diámetro normal de 8-mm, cuerpo de acero limpio 3/8-24 UNF embalado.
- Cable integro de 5.86 m (19.23 pies) con armadura de acero limpia flexible
- Rango de temperatura: -50 a 200°C (-58 a 392F).
- Sensibilidad (con LIN-202): -8 mV/ μ m (-200 mV/mil) o 8 μ A/ μ m (200 μ A/mil)

3.3.2 Módulo de Linearización LIN-202

El Módulo de Linearización LIN-202 acondiciona la señal de la Sonda de Proximidad Capacitiva PCS-202 y proporciona una salida estándar compatible a la instrumentación de la industria común. Este modulo lineariza la señal de la sonda y ofrece una opción de -2 a -18 V o 4 a 20 mA como señal de salida (configurado en fabrica) con la sensibilidad de -8 mV/ μ m (-200 mV/mil) o 8 μ A/ μ m (200 μ A/mil), respectivamente.



Figura 3.10: Módulo de acondicionamiento LIN-200

La combinación de PCS-202-S con el LIN-202 Módulo de Linearización se diseña para reemplazar directamente cadenas de medidores de Corrientes de Eddy existentes que no proporcionan un funcionamiento fiable. Puede ser conectado al monitor de Vibración Programable PCU-100, al sistema ZOOM o a instrumentación de otros fabricantes.

3.3.3 Monitor PCU-100

El Monitor PCU-100 es un equipo programable de acondicionamiento de señales y procesamiento de datos diseñado para tratar medidas de vibraciones netas de hasta ocho puntos de medición localizados sobre uno a varios generadores. El equipo posee componentes de alta escala de integración con una serie de procesadores dedicados. Este diseño permite a la Unidad Central de Procesamiento (CPU) compartir tareas con otros procesadores que trabajan simultáneamente, previniendo así la sobrecarga por operaciones rutinarias.



Figura 3.11: Monitor de vibraciones PCU-100



El equipo está adaptado a los requerimientos de la industria. Puede conectarse con una amplia gama de sensores de proximidad, velocidad y aceleración y pueden ser programados para coincidir exactamente con sus características de operación. Además, el PCU-100 permite la ampliación de las necesidades de supervisión y protección, proporcionando ocho ranuras de extensión para Módulos opcionales.

El PCU-100 es también un poderoso sistema de manejo de eventos. El monitoreo en tiempo real combinado con una serie de decisiones lógicas hace posible enfocar aquellos eventos que podrían resultar perjudiciales a la operación segura de la máquina. La protección de la máquina y la notificación al usuario también implican el acceso a relés de accionamiento de alarmas para su conexión a varios dispositivos de señalización y control.

Los usuarios del Sistema de Monitoreo ZOOM de VibroSystM pueden aprovechar la compatibilidad que posee el PCU-100 de conectarse con unidades de adquisición. Una vez instalado, la opción de interfaz de comunicación envía la información de las mediciones a las unidades de adquisición de datos del AGMS o ZOOM, para su almacenamiento y correlación con otros parámetros de condiciones de operación de la máquina.

El PCU-100 emplea tecnología de procesamiento de señales (DSP). Esta característica de avanzada permite el procesamiento de señales justo a la entrada de las mismas, relevando así los procesadores principales del CPU. Los procesadores DSP se instalan en el módulo de vibración de entrada así como en el módulo de procesamiento y salida analógica, realizando funciones tales como el filtrado de ruido, la linearización y traducción de la señal en un parámetro de información seleccionada por el usuario. La información disponible a través del procesamiento digital de medidas de vibración incluye valores AC, RMS, pico y promedio; entre otros.

Características

Algunas de las características más importantes del PCU-100 se muestran a continuación:



- Equipo de bajo perfil, dimensiones adecuadas, de fácil ubicación e instalación.
- Equipo multitarea de monitoreo de vibración protección a la máquina y visualización en tiempo real de la medida, totalmente programable.
- Compatibilidad con un amplio rango de sensores de proximidad y aceleración de VibroSystM y muchos dispositivos de entrada de otros fabricantes.
- Diseño modular con la capacidad de interconexión y actualización con módulos VibroSystM.
- Dos ranuras de tarjetas PCMCIA para la carga o descarga de las configuraciones de usuario y programación
- Tasa de muestreo y procesamiento continuo de alta velocidad de hasta 4065 muestras/seg.
- Módulos con tecnología DSP para el procesamiento óptimo de energía y resolución.
- Panel frontal alfanumérico de fácil lectura con teclado de navegación para acceder rápidamente al menú de opciones.
- Leds indicadores de alto contraste para notificar el accionamiento de alarmas y estado del sistema.
- 12 diagramas de barras seleccionables para visualizar en tiempo real las salidas procesadas.
- Entradas digitales para el control de características del sistema mediante switches remotos y salidas digitales para la anunciación de eventos y alarmas del sistema.
- 4 conectores BNC de salida en el panel frontal para instrumentos de medición y visualización portátiles.
- Capacidad de comunicación RS-485 opcional para transmisión de datos de medida hacia unidades de adquisición ZOOM y AGMS.

Módulos de Tareas

El PCU-100 es una unidad de procesamiento de datos que emplea una combinación de Módulos de Tarea para ejecutar una amplia gama de aplicaciones en tiempo real. Los Módulos de



Tarea son tarjetas electrónicas compactas diseñadas para completar una tarea específica de manera dedicada. Estos Módulos son:

Módulo de Entrada de Vibración

Es un módulo electrónico de dos canales que puede ser adaptado para cumplir con características de entrada específicas de los dispositivos de entrada (sensores o transductores) usados para medir parámetros tales como desplazamiento, velocidad y aceleración. Cada PCU-100 esta en capacidad de manejar hasta 4 Módulos de Entrada de Vibración.

El Módulo de Entrada de Vibración es compatible con una amplia variedad de sensores de los mas importantes fabricantes. Entre los tipos de sensores que este modulo puede manejar están:

- Sensores de Proximidad Capacitivos o Inductivos (Corrientes de Eddy).
- Sensores de Velocidad.
- Acelerómetros.

Modulo de Procesamiento y Salida Analógica

Como su nombre lo indica, éste modulo presenta el circuito de Procesamiento de Señal Digital (DSP) responsable del manejo de los procesos realizados en tiempo real de hasta cuatro canales de entrada de vibración en forma simultanea. Además de la información mostrada en la pantalla VFD durante el proceso de monitoreo, este módulo procesa información de salida que puede ser enviada al sistema de monitoreo ZOOM mediante su interfaz RS-485, o hacia equipos de medición portátiles conectados a los puertos E/S en el panel trasero como en el caso de este proyecto.

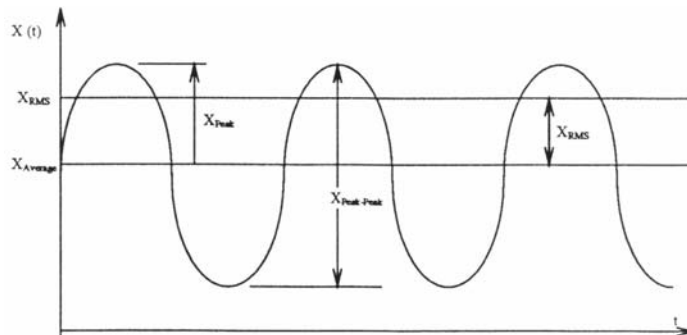


Figura 3.12: Principales componentes procesadas de la señal de entrada de vibración.

La señal proveniente del Módulo de Entrada de Vibración es procesada por este módulo como señal cruda, DC, AC, promedio, RMS, pico, pico-pico, valor máximo (Smax), vector resultante (Svector), separación (air gap), mediante a programación del software del PCU-100.

Modulo de Entradas y Salidas Digitales y 1/Rev

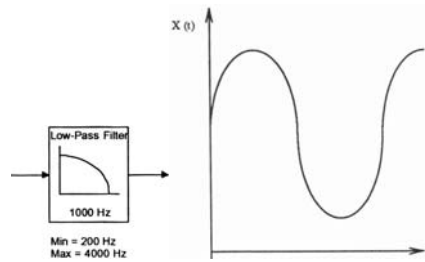
Posee entradas digitales que permiten controlar remotamente ciertas funciones de la unidad tales como su inhibición o desinhibición, reconocimiento o reposición de alarmas, etc. Del mismo modo, las salidas digitales están provistas para anunciar remotamente numerosas condiciones del sistema como encendido, apagado, falla de alimentación.

Este modulo de tareas es también usado para adquirir la señal de sincronización.

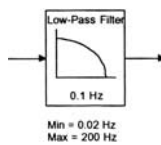
Procesos de módulos PCU-100

Existen distintos procesos que pueden realizarse en los módulos del monitor de vibraciones PCU-100, a continuación mostramos algunos:

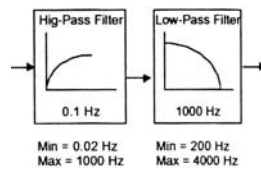
- Transmisión de señal cruda: Se refiere únicamente al paso de la señal a través de un filtro pasa bajo configurable entre 200 y 4000Hz



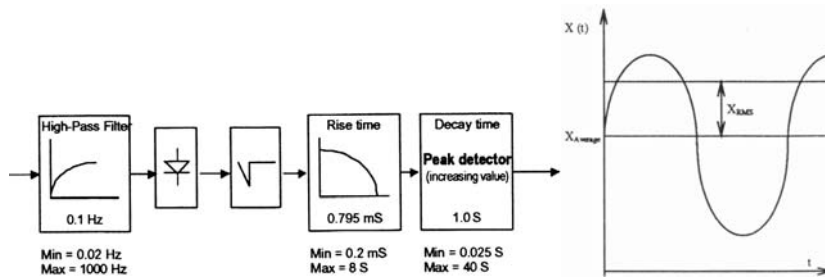
- Procesamiento de valor DC de la señal: entrega el valor de DC de la señal, permite utilizar un filtro pasa bajo.



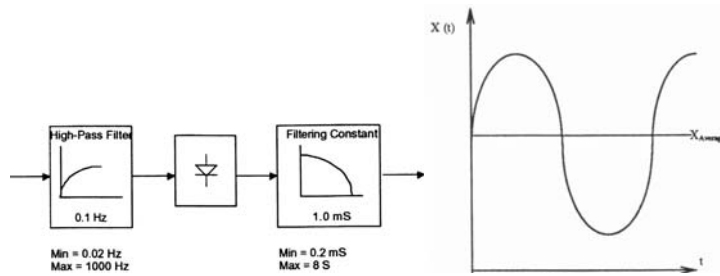
- Procesamiento de valor AC de la señal: El valor AC es sumado a un voltaje o corriente AC predefinido para tomar ventaja del dinamismo completo de la señal de vibración. Posee un filtro pasa alto y pasa bajo.



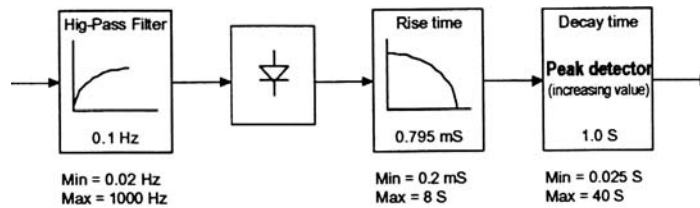
- Procesamiento de valor RMS de la señal: Calcula el valor RMS de la señal, emplea un filtro pasa alto.

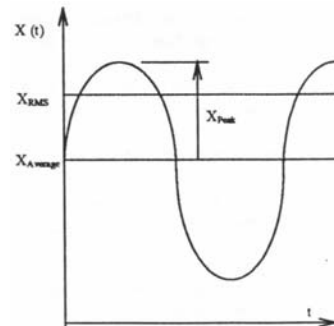


- Procesamiento de valor promedio de la señal: Calcula el valor promedio de la señal de vibraciones, emplea un filtro pasa alto.

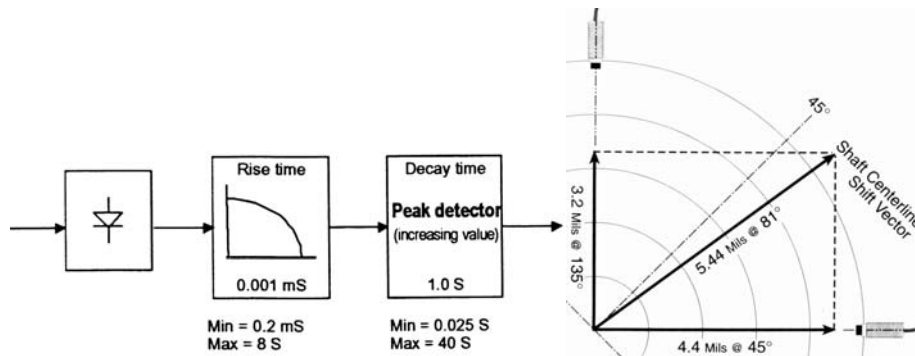


- Procesamiento de valor pico: Muestra los valores picos muestreados en un rango seleccionado entre 0.025seg y 40 seg





- Procesamiento de valor máximo Smax: Si se escoge Svector como señal de entrada realiza el calculo del vector resultante de desplazamiento tomando en cuenta ambos sensores. Smax es el máximo valor de desplazamiento del eje desde la posición media integrada en el tiempo [5].



Este vector equivale a calcular el vector resultante empleando la siguiente ecuación:

$$S_{\max} = \sqrt{(S_x)^2 + (S_y)^2}$$

Donde:

Smax = vector resultante de desplazamiento máximo

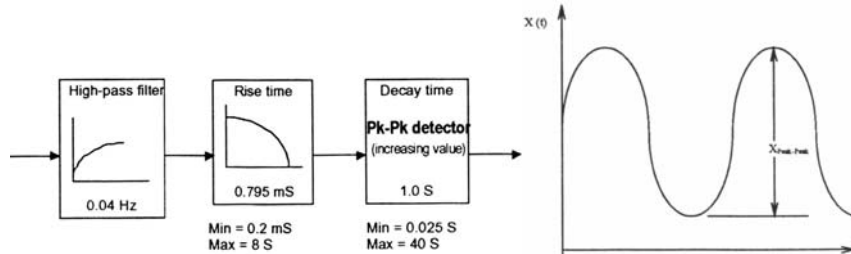
Sx = desplazamiento en x



S_y = desplazamiento en y

Según la norma ISO 7919-5 “Con respecto a la naturaleza especial de las orbitas de vibración de las hidromaquinas de eje vertical, el valor de medición preferido deberá ser el desplazamiento S_{max} . Sin embargo como la mayoría de los sistemas de monitoreo muestran las amplitudes de desplazamiento como valores pico a pico (S_{p-p}), el criterio de evaluación es especificado para ambos valores de medidas” [5].

- Procesamiento de valor pico a pico: Muestra los valores pico a pico o lo que es lo mismo el desplazamiento desde la cresta negativa a la cresta positiva.



- Transmisión de señal sin filtro: deja pasar la señal sin realizar ningún proceso en la misma.





3.4 SISTEMA CONTROL COMPUTADOR GURI “SCCG”

Está instalado sobre una LAN (Local Area Network) operacional de línea redundante, el cual proporciona una comunicación lineal para todos los subsistemas del SCCG con funciones críticas[7].

Este sistema ejecuta las siguientes funciones:

1. Adquisición de la data desde las Unidades Terminales Remotas (RTU) y sistemas externos.
2. Transmisión de data.
3. Conversión, chequeo y procesamiento de la data.
4. Operaciones en los puntos tales como; entrada manual, colocación de etiquetas, etc.
5. Ejecución de control supervisorio inicializado por el usuario.
6. Detección, generación, despliegue y reconocimiento de alarmas y eventos.
7. Despliegue de data de tiempo real en consolas de usuarios y ejecución de comandos y requerimientos de usuarios.
8. Almacenamiento y recuperación de data histórica, alarmas y eventos, secuencia de eventos, mensajes, perturbaciones, etc.
9. Ejecución de aplicaciones de mantenimiento de generación.
10. Ejecución de aplicaciones de asignación de unidades.
11. Simulación del sistema de potencia y entrenamiento de operadores.
12. Desarrollo de software, despliegue, base de datos, prueba y mantenimiento.
13. Monitoreo continuo del estado operacional, desde detección de errores, logias, detección de fallas y recuperación o reinicialización automática.

3.4.1 Configuración principal del sistema

El sistema esta configurado a través de los siguientes elementos:

1. Subsistema de Control y Adquisición de Datos
2. Subsistema de Interfase de Usuarios
3. Subsistema de Información Histórica
4. Subsistema de Desarrollo



1.-Subsistema de Control y Adquisición de Datos (DAC)

Está configurado con un servidor redundante conectado a ambas líneas de la LAN Operacional, trabaja con una configuración en línea/esclavo y es responsable de las siguientes funciones principales:

- Proporciona la interfaz hacia las RTU, monitorea y mantiene los estados de todas las rutas de comunicación y recoge información de las comunicaciones estáticas.
- Proporciona una interfaz redundante.
- Proporciona interfase al reloj GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y mantiene la referencia del tiempo global
- Proporciona interfaz al mímico
- Ejecuta las funciones de adquisición de funciones de datos (incluyendo conversión, chequeo de límites, razonabilidad, procesamiento de puntos calculados, detección y generación de alarmas)
- Mantiene las referencias de la base de datos del SCADA y las duplica a los demás nodos del sistema.
- Ejecuta operaciones de control inicializadas por usuarios o por el software de aplicación.

Comentario [1]: Siglas aparecen en el capítulo 2

2.-Subsistema de Interfaz de Usuario.

El subsistema de interfase usuario esta compuesto de nodos de interfase de usuario local. Este nodo tiene una configuración de dos o tres monitores que están conectados a ambas líneas de la LAN Operacional y ejecutan las siguientes funciones:

- Utiliza los mecanismos de seguridad basada en áreas de responsabilidad y privilegios de usuarios.
- Mantiene copias locales de la base de datos SCADA y base de datos de aplicación en tiempo real



- Proporciona interfase grafica a través de diagramas de línea, despliegues tabulares, resumen de alarmas históricas y en tiempo real, tendencias históricas y tiempo real, etc.
- Proporciona al operador interactivamente a direcciones de control supervisorio a través de construcción de ventanas de dialogo usando el MOTIF (Software manejador de gráficos)

Cada usuario local puede acceder a un conjunto de despliegues actuales. En cuanto a la configuración el sistema se basa en un arreglo abierto de computadores llamados Nodos, los cuales tienen la responsabilidad de facilitar todas las actividades de control y adquisición de datos así como también ejecutar otras funciones importantes del sistema.

3.-Nodo del Sistema de Datos. Subsistema de Información Histórica

El subsistema de información histórica se encuentra en el nodo del sistema de datos (SYS). Este nodo esta configurado con un servidor redundante para el Sistema de mantenimiento de la base de datos relacional (RDBMS), servicios históricos y de diferentes aplicaciones en tiempo real.

La base de datos en disco en este nodo se agrega en un par de buses SCSI (Interfase para sistemas de pequeños computadores) compartidos, están configurados como un conjunto de sombras y son montados en un nodo. El sombreado de discos es ejecutado por un software comercial llamado administrador de almacenamiento lógico proporcionado con la extensión del sistema operativo.

El nodo SYS esta conectado en ambas líneas de la LAN operacional, trabaja con una configuración en línea/esclavo y ejecuta las siguientes funciones principales:

- Mantiene los componentes relacionales de la bases de datos SCADA y tiempo real
- Muestra, procesa y registra un subconjunto de la base de datos SCADA y tiempo real para su actualización de la siguiente forma; instantánea, promedio, mínimo/máximo, por aprendices y cuentas históricas calculadas (incluyendo intercambio de cuentas).
- Registra alarma y eventos y secuencia de mensaje de eventos
- Detecta, muestra y registra perturbaciones



- Almacena los snapshots de la base de datos SCADA, base de datos de tiempo real y estudios aplicados a la base de datos
- Recupera data histórica dentro de reportes solicitado por usuarios de operaciones
- Ejecuta las aplicaciones de planeamiento de operaciones (pronostico de carga, asignación de unidades y relacionado y desarrollando intercambio

4.-Subsistema de desarrollo

Esta compuesto de base de datos, despliegues y consola de desarrollo de software. Este nodo esta conectado a ambas líneas de la LAN Operacional y puede ser usada para ejecutar las siguientes funciones:

- Desarrollo y prueba de base de datos.
- Desarrollo y prueba de despliegues.
- Desarrollo y prueba e integración de software.

3.4.2 Software del SCCG

Para la elaboración de distintas aplicaciones realizadas en el SCCG, se realizo una búsqueda de información técnica en manuales de usuario de los softwares existentes en el SCCG.

Como el manejo y configuración de las bases de datos es tarea de los Administradores de Base de Datos (DBA) del CHRL, a continuación se definen brevemente algunas de las aplicaciones comúnmente empleadas en el SCCG.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

Su traducción al castellano es Supervisión de Control y Adquisición de Datos. Como su nombre indica, no es un sistema del mando completamente, sin embargo se enfoca en el nivel de supervisión. Como tal, es puramente un paquete de software que se posiciona encima de hardware al que se conecta, comúnmente vía Controladores Lógicos Programables (PLCs), u otros módulos del hardware comerciales. En el caso del CHRL se encarga de adquirir los datos provenientes de las Unidades Terminales Remotas.



Los sistemas de SCADA no sólo se usan en los procesos industriales como por ejemplo la fabricación de acero, generación de energía (convencional y nuclear) y distribución también se usan en laboratorios de investigación. El tamaño de las plantas va desde el rango de unos pocos miles a varias decenas de miles de entradas y salidas (I/O). Sin embargo, los sistemas de SCADA evolucionan rápidamente y están penetrando al mercado de plantas industriales ahora con varios cientos de miles 100K, existen casos actualmente e desarrollo de cerca de 1 millón de entradas y salidas.

Los sistemas de SCADA solían funcionar en Sistemas Operativos como DOS, VMS y UNIX; en los recientes años todos los vendedores de SCADA se han movido NT y algunos también a Linux.

El sistema SCADA de planta Guri esta instalado en una plataforma de sistema operativo UNIX.

ORACLE

ORACLE es básicamente una herramienta cliente/servidor para la gestión de Bases de Datos. Es un producto vendido a nivel mundial, aunque la gran potencia que tiene y su elevado precio hace que sólo se vea en empresas muy grandes y multinacionales, por norma general. Como es un sistema muy caro no está tan extendido como otras bases de datos, por ejemplo, Access, MySQL, SQL Server, etc [16].

Para desarrollar en ORACLE por norma general se suele utilizar un Lenguaje de Formulario Estructurado (SQL) al crear un formulario. También es posible atacar a la base de datos a través del SQL plus incorporado en el paquete de programas ORACLE para poder realizar consultas, utilizando el lenguaje SQL.



La estructura lógica de una base de datos de ORACLE consta de:

Espacios de tabla: es la unidad de almacenamiento lógica de una base de datos. Agrupa las estructuras relacionadas juntas.

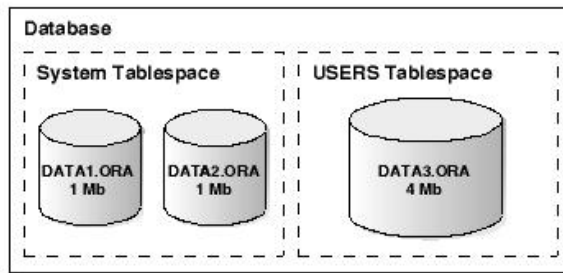


Figura 3.13: Base de datos de ORACLE

Esquemas y objetos de esquema: son colecciones de objetos de base de datos. Un objeto de esquema es la estructura lógica que se refiere directamente al dato de la base de datos. Entre estos objetos encontramos:

Tablas: donde almacenamos los esquemas de los datos mediante lenguaje SQL

Vistas: consultas estáticas o dinámicas de los datos en las tablas.

Secuencias: variables que almacenan valores en orden (de)creciente.

Procedimientos almacenados: funciones sobre los datos.

Y otros datos como sinónimos, índices, clusters y enlaces a otras bases de datos.

Structured Query Language (SQL)

SQL: es el idioma para comunicarse al Servidor del ORACLE desde cualquier herramienta o aplicación. El Instituto Nacional Americanano de Normas (ANSI) ha adoptado SQL como el lenguaje normal para el manejo de base de datos relacionadas.

SQL es un lenguaje de bases de datos que consiste en declaraciones para:

- 1) Preguntar datos de la base de datos (usando Declaraciones de Recuperación de Datos),
- 2) Agregar, modificar, y quitar datos (usando Declaraciones de Manipulación de Datos),



- 3) Crear, modificar, y quitar estructura de datos (usando Declaraciones de Definición de Datos),
- 4) Regular el acceso a los datos (usando Declaraciones de Control de Datos), y
- 5) Realizar cálculos de los datos.

SQL*Plus: es una herramienta de Servidor de ORACLE que reconoce y ejecuta las declaraciones de SQL. No es una extensión o subconjunto del SQL, por consiguiente, puede crear, acceder, y manipular la base de datos de Oracle usando SQL y la interfaz de SQL*Plus.

SQL*Plus es una herramienta de desarrollo de aplicaciones que consiste en órdenes para:

- 1) Ejecutar declaraciones de SQL,
- 2) Editar declaraciones de SQL con un editor de la línea,
- 3) Controlar configuraciones de ambientes,
- 4) Interactuar con los usuarios finales,
- 5) Acceder a bases de datos remotas,
- 6) Realizar una variedad de funciones generales

Tabla 3.8: Comandos SQL y SQL *Plus empleados [17]:

Comando	Descripción	Ejemplo
SELECT columna	Se puede seleccionar y mostrar datos de las tablas de datos usando este comando SQL	SQL> SELECT * from tabla
DESCRIBE table_name	Describe la estructura de la tabla.	SQL>DESCRIBE tabla
SPOOL file_name	Almacena la información de salida en el servidor hacia un archivo.	SQL> SPOOL file.spl

Planificador de Tareas CRONTAB

El CRONTAB es la herramienta de UNIX empleada para la ejecución automática de archivos de comandos, programas y tareas a horas e intervalos de tiempo definidos por un cronograma configurado por el usuario.



Se encuentra disponible como una herramienta del sistema de UNIX para los usuarios que posean el nivel de autorización adecuado, se configura modificando un archivo de configuración insertando una línea de seis campos separados por espacios. En él se establecen los minutos, hora, día, mes, año y semana en la que se quiere ejecutar la tarea, además se debe establecer el comando del sistema a ser ejecutado.

3.5 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

Existen diversas herramientas y softwares de análisis de datos pero una de las más difundidas y más utilizadas hoy en día es Microsoft Excel, entre las muchas cualidades que ofrece Excel para el análisis y manejo de la base de datos están:

- 1) Ofrece gran cantidad de funciones estadísticas.
- 2) Brinda una gran cantidad de opciones para la realización de gráficos.
- 3) Permite la creación de instrucciones automatizadas que facilitan y agilizan los procesos de análisis.
- 4) Es sencillo y fácil de usar. No requiere un conocimiento avanzado en programación o el manejo de base de datos.
- 5) Excel es una aplicación compatible con muchas otras aplicaciones.
- 6) Es flexible y adaptable a las necesidades de los usuarios.

Es por esto que a continuación hacemos la descripción de algunas funciones de Microsoft Excel empleadas para este proyecto:

3.5.1 Macros Excel VBA

Una macro es un conjunto de instrucciones que Excel ejecuta al presionar una combinación de teclas especiales o al hacer clic en un objeto o botón que se haya asignado [16].

Las macros sirven para realizar rutinas personalizadas que no están disponibles en el menú.

Una macro puede ser muy simple, ejecutando dos o más comandos, o muy compleja, realizando cientos de comandos. Las macros se graban y las funciones personalizadas se diseñan en las hojas de macros.



Las macros se pueden usar para:

- Crear funciones personalizadas.
- Automatizar tareas de rutina.
- Crear menús y cuadros de diálogo para aplicaciones personalizadas.
- Ejecutar automáticamente otras aplicaciones.

El lenguaje usado para crear los módulos de macros es el lenguaje VBA de Microsoft Visual Basic mediante este se pueden hacer despliegues y automatizar procesos solo posibles realizando la programación.

3.5.2 Herramientas de Análisis de Excel

Microsoft Excel además proporciona un conjunto de herramientas para el análisis de los datos (denominado Herramientas para análisis) que se pueden utilizar para ahorrar pasos en el desarrollo de análisis estadísticos o técnicos complejos. Cuando se utiliza una de estas herramientas, se deben proporcionar los datos y parámetros para cada análisis; las herramientas utilizará las funciones de macros estadísticas o técnicas correspondientes y, a continuación, mostrará los resultados en una tabla de resultados. Algunas herramientas generan gráficos además de tablas de resultados.

Las Herramientas para análisis incluyen las herramientas que se describen a continuación.

Varianza: Las herramientas de análisis de varianza proporcionan distintos tipos de análisis de la varianza. La herramienta que vaya a usarse dependerá del número de factores y del número de muestras que tenga de la población que desee comprobar.

Varianza de un factor: Esta herramienta realiza un análisis simple de varianza, comprobando la hipótesis según la cual dos o más muestras (extraídas de poblaciones con la misma media) son iguales. Esta técnica profundiza en las pruebas para dos medias.

Varianza de dos factores con varias muestras por grupo: Esta herramienta de análisis realiza una extensión del análisis de la varianza de un factor que contiene más de una muestra por cada grupo de datos.



Varianza de dos factores con una sola muestra por grupo: Esta herramienta de análisis realiza un análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, comprobando la hipótesis según la cual, las medias de dos o más muestras son iguales (extraídas de poblaciones con la misma media).

Correlación: La herramienta de análisis Correlación mide la relación entre dos conjuntos de datos medidos para que sean independientes de la unidad de medida. El cálculo de la correlación de población devuelve la covarianza de dos conjuntos de datos dividida por el producto de sus desviaciones estándar basándose en las fórmulas siguientes.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

donde

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{n} \sum (X_i - \mu_X)^2$$

y

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{n} \sum (Y_i - \mu_Y)^2$$

Puede utilizar la herramienta de análisis de correlación para determinar si dos conjuntos de datos varían conjuntamente, es decir, si los valores altos de un conjunto están asociados con los valores altos del otro (correlación positiva), si los valores bajos de un conjunto están asociados con los valores bajos del otro (correlación negativa) o si los valores de ambos conjuntos no están relacionados (correlación con tendencia a cero).

Covarianza: La covarianza es una medida de la relación entre dos rangos de datos. La herramienta de análisis Covarianza, devuelve el promedio de los productos entre las desviaciones de los puntos de datos con respecto a sus medias respectivas, basándose en la fórmula siguiente.

$$\text{cov}(X,Y) = \frac{1}{n} \sum (x_i - \mu_X)(y_i - \mu_Y)$$

Puede utilizar la herramienta de covarianza para determinar si dos conjuntos de datos varían conjuntamente, es decir, si los valores altos de un conjunto están asociados con los valores altos del otro (covarianza positiva), si los valores bajos de un conjunto están asociados con los valores



bajos del otro (covarianza negativa) o si los valores de ambos conjuntos no están relacionados (covarianza con tendencia a cero).

Estadística descriptiva: La herramienta de análisis Estadística descriptiva genera un informe estadístico de una sola variable para los datos del rango de entrada, y proporciona información acerca de la tendencia central y dispersión de los datos.

Suavización exponencial: La herramienta de análisis Suavización exponencial predice un valor basándose en el pronóstico del período anterior, ajustándose al error en ese pronóstico anterior. La herramienta utiliza la constante de suavización, cuya magnitud determina la exactitud con la que los pronósticos responden a los errores en el pronóstico anterior

Nota: Los valores de 0,2 a 0,3 son constantes de suavización adecuadas. Estos valores indican que el pronóstico actual debe ajustarse entre un 20% y un 30% del error en el pronóstico anterior. Las constantes mayores generan una respuesta más rápida, pero pueden producir proyecciones erróneas. Las constantes más pequeñas pueden dar como resultado retrasos prolongados en los valores pronosticados.

Análisis de Fourier: La herramienta Análisis de Fourier resuelve problemas de sistemas lineales y analiza datos periódicos, transformándolos mediante el método de transformación rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform). Esta herramienta también realiza transformaciones inversas, en las que el inverso de los datos transformados devuelve los datos originales.

Histograma: La herramienta de análisis Histograma calcula las frecuencias individuales y acumulativas de rangos de celdas de datos y de clases de datos. Esa herramienta genera datos acerca del número de apariciones de un valor en un conjunto de datos.

Media móvil: La herramienta de análisis Media móvil proyecta valores en el período de pronósticos, basándose en el valor promedio de la variable calculada durante un número específico de períodos anteriores. Una media móvil proporciona información de tendencias que se vería enmascarada por una simple media de todos los datos históricos. Utilice esta herramienta



para pronosticar ventas, inventario u otras tendencias. Todos los valores de pronóstico están basados en la siguiente fórmula:

$$F_{(t+1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{t-j+1}$$

donde:

- N es el número de períodos anteriores que se incluyen en la media móvil
- A_j es el valor real en la hora j
- F_j es el valor pronosticado en la hora j

Generación de números aleatorios: La herramienta de análisis Generación de números aleatorios rellena un rango con números aleatorios independientes extraídos de una de varias distribuciones. Puede utilizar esta herramienta para caracterizar a los sujetos de una población con una distribución de probabilidades.

Por ejemplo, puede utilizar una distribución normal para caracterizar la población de estatura de las personas o utilizar una distribución de Bernoulli con dos resultados posibles para caracterizar la población de resultados de un juego de azar.

Jerarquía y percentil: La herramienta de análisis Jerarquía y percentil crea una tabla que contiene los rangos ordinales y porcentuales de cada valor de un conjunto de datos. Puede analizar la importancia relativa de los valores en un conjunto de datos.

Regresión: La herramienta de análisis Regresión realiza un análisis de regresión lineal utilizando el método de los "mínimos cuadrados" para ajustar una línea a una serie de observaciones. Puede utilizar esta herramienta para analizar la forma en que los valores de una o más variables independientes afectan a una variable dependiente.

Muestreo: La herramienta de análisis Muestreo crea una muestra de población tratando el rango de entrada como una población. Cuando la población sea demasiado grande para procesarla o para presentarla gráficamente, puede utilizarse una muestra representativa. Además, si cree que los datos de entrada son periódicos, puede crear una muestra que contenga únicamente los valores de una parte determinada de un ciclo.



3.5.3 Nociones de Estadística

A continuación presentamos algunas de las funciones estadísticas comúnmente usadas en los análisis de datos y que hemos empleado en este proyecto [16]:

Media aritmética:

La media aritmética de una variable se define como la suma ponderada de los valores de la variable por sus frecuencias relativas y lo denotaremos por \bar{x} y se calcula mediante la expresión:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^n \frac{x_i \cdot n_i}{N}$$

x_i representa el valor de la variable o en su caso la marca de clase.

Propiedades:

1. Si multiplicamos o dividimos todas las observaciones por un mismo número, la media queda multiplicada o dividida por dicho número.
2. Si le sumamos a todas las observaciones un mismo número, la media aumentará en dicha cantidad.
3. Además de la media aritmética existen otros conceptos de media, como son la media geométrica y la media armónica.

Mediana:

La mediana es el valor central de la variable, es decir, supuesta la muestra ordenada en orden creciente o decreciente, el valor que divide en dos partes la muestra. Llamaremos **mediana**, al primer valor de la variable que deja por debajo de sí al 50% de las observaciones.

Para calcular la mediana debemos tener en cuenta si la variable es discreta o continua.

Si la variable es continua, la tabla vendrá en intervalos, por lo que se calcula de la siguiente forma:



De donde la mediana vale:

$$Media = L_{i-1} + \frac{\frac{N}{2} - N_{i-1}}{N_i - N_{i-1}} * a_i$$

donde a_i es la amplitud del intervalo.

Moda:

La moda es el valor de la variable que tenga mayor frecuencia absoluta, la que más se repite, es la única medida de centralización que tiene sentido estudiar en una variable cualitativa, pues no precisa la realización de ningún cálculo.

Por su propia definición, la moda no es única, pues puede haber dos o más valores de la variable que tengan la misma frecuencia siendo esta máxima. En cuyo caso tendremos una distribución bimodal o polimodal según el caso.

La expresión para la Moda es:

$$MO = L_{i-1} + \frac{n_i - n_{i+1}}{(n_i - n_{i+1})(n_i - n_{i-1})} \cdot a_i$$

Algunos autores dan una expresión aproximada para la moda que viene dada por la siguiente expresión:

$$MO = L_{i-1} + \frac{n_{i+1}}{n_{i+1} + n_{i-1}} \cdot a_i$$

Desviación media:

Es la media de los valores absolutos de las desviaciones, y la denotaremos por d_m .

$$d_m = \sum_{i=1}^n \frac{|d_i| \cdot n_i}{N} = \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}| \cdot n_i}{N}$$

**Varianza:**

Es la media de los cuadrados de las desviaciones, y la denotaremos por S_x^2 y/o también por σ_x^2 .

$$S_x^2 = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2 \cdot n_i}{N} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}{N}$$

Aunque también es posible calcularlo como:

$$S_x^2 = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2 \cdot n_i}{N} - \bar{x}^2$$

Este estadístico tiene el inconveniente de ser poco significativo, pues se mide en el cuadrado de la unidad de la variable, por ejemplo, si la variable viene dada en cm. La varianza vendrá en cm^2 .

Desviación estándar:

Es la raíz cuadrada de la varianza, se denota por S_x o σ_x .

$$S_x = \sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{d_i^2 \cdot n_i}{N}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2 \cdot n_i}{N} - \bar{x}^2}$$

Este estadístico se mide en la misma unidad que la variable por lo que se puede interpretar mejor.

La desviación estándar es una medida estadística que indica la dispersión (salud) de los valores de la medición,



3.6 SISTEMA DE HIPÓTESIS

A continuación se presentan el conjunto de hipótesis establecidas para el presente informe:

- Si existen las condiciones adecuadas para la transmisión de la señal de vibraciones de las turbinas entonces estas pueden ser transmitidas hasta la sala de control de Guri.
- Los datos almacenados en la base datos de la sala de control permiten crear una herramienta de selección y recolección de las unidades rehabilitadas y de sus vibraciones
- Las variables que influyen en la variación normal de la vibración son las relacionadas a la potencia de la maquina.
- El cambio en magnitud de las vibraciones esta relacionado con variables controlables de las unidades generadoras.
- Si se procesan los distintos datos recopilados para las unidades en estudio entonces es posible realizar un análisis de la condición de la unidad y su comportamiento.



3.6 SISTEMA DE VARIABLES

En esta sección se presentan las definiciones conceptuales a las variables que fueron objeto de análisis en este estudio y que se consideran relevantes para realizar este proyecto [6].

Tabla 3.9: Variables en estudio.

Variable	Unidad	Nombre Señal	AID para UN 13	AID para UN 19
Potencia Activa	MW	AN-55	79	289
Potencia Reactiva	Mvar	AN-56	86	296
Frecuencia	Hz	AN-104	726	727
Vibración de la Turbina	micrón	AN-16	729	728
Velocidad	RPM	AN-03	502	734
Temperatura de la Turbina	°C	AN-11	730	731
Caída Neta	metros	AN-98	733	732
Corriente de Excitación	Amp	AN-75	2619	2703
Eficiencia de la Turbina	%	AN-100	817	818
Caudal Turbinado	m ³ /seg	AN-15	819	820

Definición conceptual de las variables empleadas:

Potencia Activa MW: su unidad es el vatio (W) y es la componente de la potencia eléctrica capaz de generar trabajo o calor (1KW = 1000W). En la unidades generadoras esta es la potencia que se trata de producir ya que es la que genera lucro para la empresa.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{LL} I_L \cos \phi$$

Potencia Reactiva Mvar: su unidad es el Volt-Ampere Reactivo (Var) Esta energía carece de sentido físico, aunque puede asociarse con la energía almacenada en campos eléctricos o



magnéticos. Esta potencia no es rentable por lo cual la generación de potencia reactiva se trata de mantener al mínimo.

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{LL} I_L \sin \phi$$

Frecuencia Hz: La frecuencia es el numero de ciclos que se producen en un segundo. Su unidad es el hertz (Hz). En los generadores hidroeléctricos esta relacionada con el numero de polos magnéticos y la velocidad mecánica. Su valor debe permanecer constante en 60Hz cuando esta sincronizada la maquina con la red del sistema eléctrico nacional.

$$fe = \frac{n_m P}{120}$$

donde:

P = numero de polos

n_m = velocidad mecánica en revoluciones por minuto

Velocidad Mecánica n_m : Este valor indica el numero de vueltas que gira la unidad por minuto (R.P.M) esta relacionado con la frecuencia nominal de la unidad y su ecuación se puede despejar de la ecuación anterior. Su valor debe permanecer constante en 112.5 RPM.

Vibración de la Turbina: es la variable que indica el desplazamiento o vibración relativa del eje de la turbina con respecto al cojinete en forma radial. Su unidad es medida en micrones ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$).

Temperatura de la Turbina: Es el valor de la temperatura del metal del cojinete guía turbina, el calentamiento excesivo del cojinete puede indicar algún desperfecto.

Caída Neta: Es la altura efectiva o energía hidráulica específica disponible por la turbina para la producción de energía [20].

Corriente de Excitación: Es la corriente DC producida por la excitatriz que genera el campo electromagnético del rotor el cual a su vez genera la energía eléctrica en el estator.

Eficiencia de la turbina: Es el valor de rendimiento porcentual de la turbina para un valor de potencia y caudal dado.

$$n_T = \frac{P_T}{\rho \cdot Q \cdot E} (\%)$$



donde:

P_T = potencia de la turbina

ρ = densidad del agua a la temperatura medida

Q = Caudal medido.

E = Energía hidráulica específica.

Caudal Turbinado: es el volumen de agua que pasa a través de la tubería forzada y que transmite la energía potencial a los alabes de la turbina.

$$Q = \frac{A}{\rho \cdot L} \int_{t_0}^{t_1} (\Delta p + \xi) dt + Av_t$$

donde:

A = área promedio de la tubería forzada

ρ = densidad del agua a la temperatura medida

L = Longitud de la tubería

Δp = diferencia de presión

ξ = es la pérdida de carga debido a la fricción

Av_t = es la fuga a través de las paletas



CAPITULO 4

DISEÑO METODOLOGICO

4.1. TIPO DE ESTUDIO

➤ **Según su finalidad:** La investigación a realizar es del tipo aplicada, ya que se desarrollara una herramienta de captación, almacenamiento y análisis de las señales de vibración de las maquinas 13 y 19 de Casa de Máquinas II en Guri.

➤ **Según el nivel de conocimiento a obtener la investigación:** Esta investigación es descriptiva, ya que se pretende registrar, analizar e interpretar los factores que permiten describir el estado de las unidades generadoras y comprender posibles comportamientos o fallas.

➤ **Según la fuente de datos que se utilizan:** la investigación es de carácter primaria, ya que los datos serán recogidos por el investigador directamente.

➤ **Según el lugar donde se realiza:** La investigación es de campo, ya que se recopiló la información directamente en el lugar donde se encuentran las unidades generadoras en sus condiciones naturales de funcionamiento.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población seleccionada para el estudio incluyó las unidades generadoras rehabilitadas N° 13 y N° 19 en la CM2 en el CHRL, esto debido a que con el proyecto de modernización actualmente llevado a cabo se realizo la instalación de equipos monitores de vibraciones nuevos (PCU-100) que permiten realizar el acondicionamiento de las señales y la transmisión de estas a la sala de control.



El tiempo de muestreo escogido es de 1 minuto para un ciclo de siete días, esto se estableció por las restricciones de configuración que posee el sistema y además porque la cantidad de datos a recolectar no debía saturar el sistema. Los cálculos de volumen de datos se encuentran en el capítulo 5 (Página 81).

4.3 INSTRUMENTOS

Los instrumentos empleados los clasificamos según las etapas del proyecto siguientes:

➤ Instalación de señales: Se emplearon planos de conexiones y cableados, fuente variable de voltage, multímetro digital Fluke, manual de usuario PCU-100, monitor PCU-100, destornilladores, alicates, terminales, etc.

➤ Programación de aplicaciones Unix: se utilizaron manuales de programación SQL, manuales de programación en C, manuales CAE Custom Documentation, consola 2-CRT-Programer y consola de programación PC con Windows 95 con conexión a la red LAN Guri y sistema operativo Digital UNIX 4.00 Rev. 878 y software de manejo de base de datos Oracle 8, software FTP HummingBird, programador de tareas Crontab, software SQL y compilador de lenguaje C. Se trabajó con la base de datos ECS.

El empleo de estos softwares en el SCCG fue determinado por su existencia en el sistema ya que el empleo de cualquier otro software depende de la obtención de licencias, de su adaptabilidad y reconocido uso en sistemas de control equivalentes a los existentes en el CHRL.

➤ Programación de aplicación Excel: manuales de usuarios de Excel avanzado, equipo computador con Sistema Windows 2000 y MS Excel 2000.

➤ Instrumentos y herramientas de uso genérico: disquetes, computadora personal con conexión a Internet, equipo de seguridad, impresoras, scanner, fotocopidora, cámara fotográfica.



4.4 PROCEDIMIENTOS

La metodología a emplear abarco las áreas de Investigación y Desarrollo, para lo cual se siguieron las siguientes etapas en la realización del presente proyecto:

- Entrevistas con el personal Técnico de Operaciones y Mantenimiento: Tuvo como finalidad buscar información necesaria para implementar y desarrollar la aplicación para el análisis de datos, lo cual requiere tener información del software SCADA existente y de la conexión de las señales hasta la sala de control [7].
- Entrevistas con el personal de Ingeniería de Proyecto de Modernización: Para buscar información acerca de los equipos de vibración [4].
- Revisión bibliográfica: Esta orientada a la revisión de trabajos referidos al tema, como estudios previos, publicaciones, normas, manuales, informes técnicos, etc.
- Investigación de prácticas operativas: Permitió una mejor comprensión de los procedimientos empleados así como para comprender los distintos componentes del sistema [7].
- Investigación de recursos y herramientas de desarrollo bajo ambiente UNIX: Tuvo como finalidad recaudar información que permita el desarrollo de las aplicaciones y archivos de comandos deseados [17, 18].
- Investigación sobre procesos en la Sala de Control: Tuvo como propósito recolectar información acerca del manejo de la base de datos de las señales y de los métodos y todo lo relacionado con las aplicaciones empleadas para recolectar los datos de las variables en estudio [7].
- Diseño de aplicaciones para recolectar y analizar los datos: En esta etapa se crearon las aplicaciones y archivos de comandos que permiten importar las variables y datos deseados para un posterior análisis empleando herramientas de cálculos y análisis de datos de MS Excel.
- Revisión de esquemas de control y conexiones: Para la obtención de parámetros técnicos y de diseño relacionados con la instalación de equipos y señales se siguieron los siguientes pasos específicos:



- 1) Desconectar tensión en tablero del Monitor de vibración (Tensión de control 125VDC Caja de Terminales de la Turbina (TTB) 8TG)
 - 2) Verificar puntos de conexión en RTU (HCE3697) y configuración de señal de entrada a valores de 0 a 10V (0 a 1000micrones)
 - 3) Verificar puntos de conexión en el UCS X10C180y181 (HCE2681) y X11D174y175 (HCE2675)
 - 4) Verificar puntos de conexión TTB X2-46y47 (HCE2619)
 - 5) Cortocircuitar X2-46y47 en TTB y probar continuidad en UCS.
 - 6) Conectar cable apantallado en TTB X2-46y47. Identificar cable
 - 7) Conectar cable apantallado en tablero de Monitor de vibración PCU-100 Identificar cable.
 - 8) Simular señal en el UCS puntos X10C180y181 (HCE2681) empleando fuente de tensión variable.
 - 9) Conectar tensión en tablero de Monitor de vibración PCU-100 y configurar señal de salida.
 - Incorporación de la señal analógica de vibración a la RTU y configuración del nuevo punto en la base de datos de la SCADA [8], esta etapa fue realizada por el personal del SCCG de Guri simultáneamente con el paso anteriormente descrito.
 - Análisis de datos: comprende el empleo de las herramientas de análisis de datos para determinar tendencias de comportamiento de las unidades, valores limites, graficas de las variables de interés, rangos de operación de las maquinas a valores dados, cálculos estadísticos, detección de condiciones de funcionamiento anormales, detección de posibles fallas en las unidades, desviación de datos, tendencias, etc [5, 9].
- Con el análisis se pretende establecer la relación que existe entre las variables seleccionadas y las vibraciones haciendo un estudio comparativo de estas variables en el tiempo para las unidades 13 y 19. Se emplearan herramientas estadísticas para los cálculos y análisis de las tendencias.
- Pruebas: Sirvieron para verificar que se cumple con lo especificado en el diseño del proyecto.



- Puesta en marcha: la entrega de las aplicaciones para el uso de la misma por el personal de la sala de control, de investigaciones y pruebas, etc.

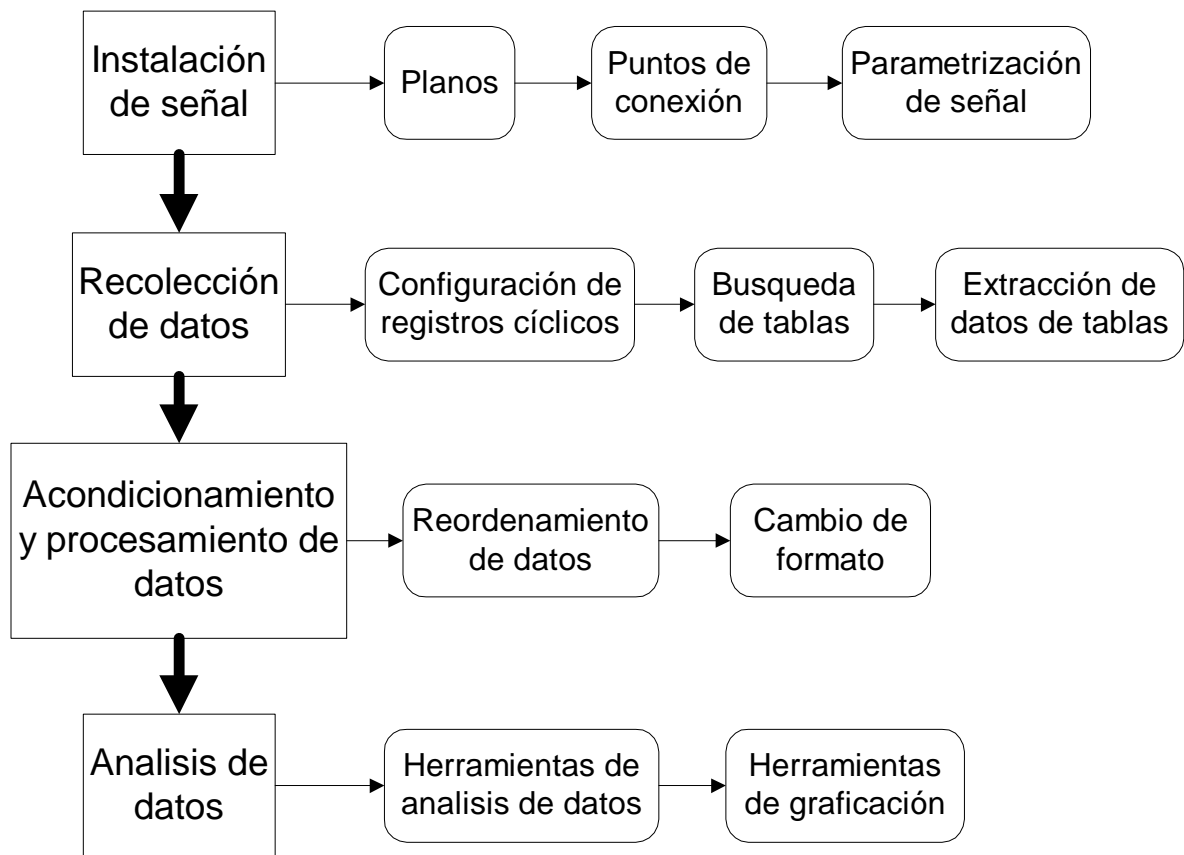


Figura 4.1: Esquema de la metodología empleada



CAPITULO 5

RESULTADOS

5.1 INSTALACIÓN DE SEÑALES

Durante la primera etapa del proyecto se evaluó la factibilidad de conexión de la señal de vibraciones para transmitirla hasta las Unidades Terminales Remotas (RTUs) respectivas de las unidades rehabilitadas.

De las observaciones hechas se concluyó que:

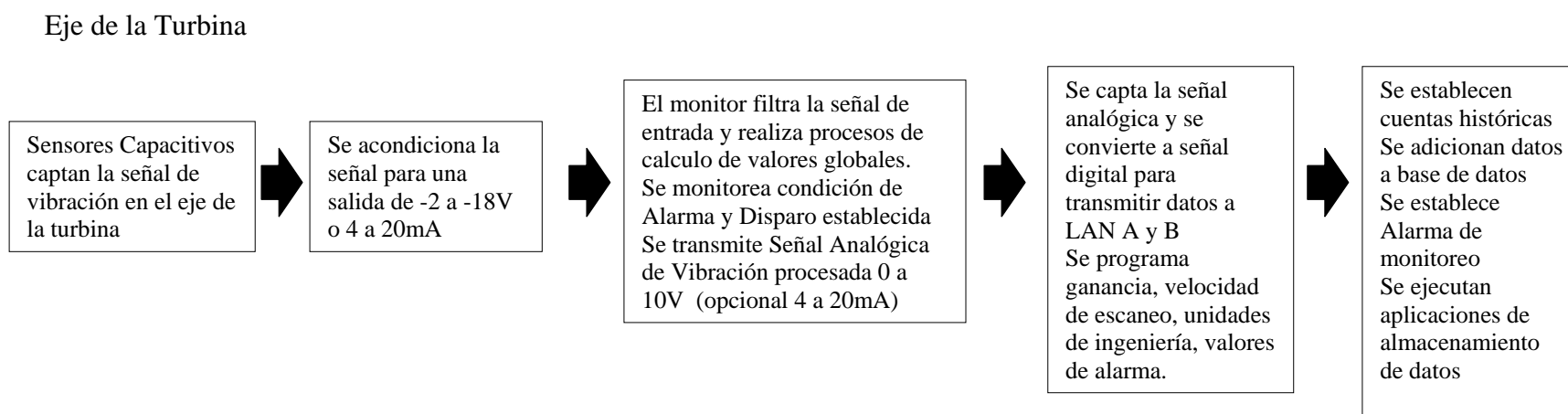
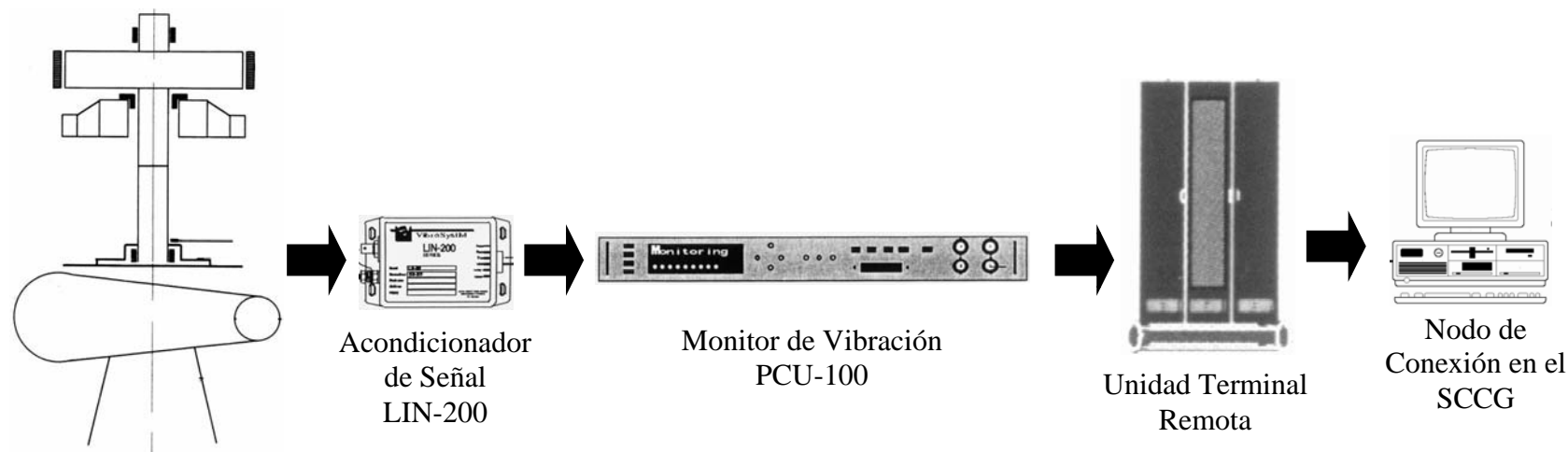
- Existe disponible un cable apantallado de dos conductores desde la ubicación del monitor de vibraciones hasta la Caja de Terminales de la Turbina (TTB) donde ya existía anteriormente un punto de conexión de la señal analógica de las vibraciones AN-016
- El monitor de vibraciones PCU-100 posee 4 canales de salidas analógicas de 0 a 10V y 4 a 20mA.
- Las tarjetas de entradas analógicas de las RTUs soportan un rango de entrada DC de $\pm 10V$ para señales analógicas.
- El monitor de vibraciones se encuentra conectado a una alimentación de 125VDC perteneciente a la alimentación de control de la unidad (X4-97 y X4-118)

Una vez hechas estas observaciones se programo una forma de trabajo que coincidiera con alguna parada de cada unidad.

Una vez llegado el día se realizo la labor de conexión de la señal analógica siguiendo el procedimiento y precauciones descrito en el marco metodológico.



Conexión de Señal de Vibraciones AN-016





5.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN EL SCCG Y APLICACIONES EN UNIX

Para llevar a cabo el almacenamiento de los datos de los generadores en el SCCG se deben seguir las siguientes etapas:

1) Se deben determinar los números de identificación para todos los analógicos deseados (Ver Tabla 3.9)

2) Luego se deben crear las cuentas históricas en la base de datos de ORACLE con la herramienta del editor de base de datos Account Editor, aquí es donde se establece el tiempo de muestreo y el tipo de la señal (Máximo, mínimo, promedio).

Para el caso de las señales en estudio se estableció un tiempo de muestreo de un minuto con duración de la base de datos de una semana.

Se estableció un ciclo de almacenaje semanal, ya que este es el periodo normal en el que ocurre un ciclo de operación completo de la unidad (arranque y parada), además se considero suficiente una semana para detectar posibles anomalías.

El tiempo de muestreo de un minuto se calculo según el volumen de datos del archivo a almacenar para todas las variables deseadas y para el ciclo semanal. Este valor depende además de las configuraciones disponibles para el sistema.

Tabla 5.1: Volumen de Datos.

Volumen de datos	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3
Tiempo de muestreo	4 segundos	1 minuto	5 minutos
Datos de variables	10 por unidad	10 por unidad	10 por unidad
Datos conjuntos	20 por unidad	20 por unidad	20 por unidad
Total de datos semanal	4536000 por unidad	302400 por unidad	60480 por unidad
Total de datos	9072000 datos	604800 datos	120960 datos

Tomando en cuenta que en 5 minutos pueden ocurrir muchos eventos y de que se quiere el menor tiempo posible se escogió un tiempo de muestreo de 1 minuto, ya que el siguiente inferior de 4 segundos produciría un archivo demasiado grande y difícil de manipular.



3) Una vez activadas las cuentas históricas se realiza una búsqueda de las tablas en las que se encuentran los datos empleando comandos SQL; para esto se busca el código AID con el que ORACLE reconoce cada nombre de la cuenta histórica creada (Ver archivo tablas.sql).

Las tablas son las mismas para iguales tipos de cuentas históricas. El número de tablas depende del ciclo de duración del muestreo.

Para la presente investigación se emplearon 9 tablas de ORACLE (7 días + 1 día en blanco + 1 día actual).

En cada tabla se encuentra entre otros datos, la fecha, el tipo de dato y el valor de cada dato, los cuales son almacenados hasta completar el total de los valores para la semana. Una vez cumplido el ciclo la tabla con los valores mas viejos será borrada y se ira llenando con los valores mas actualizados

4) Una vez conocidos los códigos AID de las variables buscadas y las tablas en donde se encuentran los datos estos valores no cambiaran mientras las cuentas creadas existan. Es entonces cuando se realiza una consulta empleando SQL para ordenar los valores y almacenarlos.

Este proceso se automatiza creando un archivo de comandos (Script) que contiene las líneas de comando SQL requeridas y las ejecuta de manera secuencial.

El archivo creado por este proyecto es vibraciones.sql y su contenido se muestra en el anexo B. Este Script genera un archivo de datos tipo texto (vibraciones.csv) que puede ser exportado a otras plataformas sin problema.

El archivo de datos extraído empleando SQL esta ordenado por fecha y muestra la fecha, el tipo de dato y el valor del dato para cada variable escogida en el AID.

5) Hasta este punto ya se han obtenido los datos deseados, sin embargo, es primordial optimizar el proceso haciéndolo totalmente automático y lo mas eficiente y compacto posible.

El archivo de datos tipo texto generado es un archivo muy voluminoso únicamente ordenado por fecha y con datos redundantes, es por esto que debe realizarse un reordenamiento de datos nuevamente.

Para esto se eliminan los valores de fechas sobrantes así como los identificadores AID, ya que la ubicación de las columnas es suficiente para identificar los datos. Además se colocan en columnas diferentes los datos que contengan igual fecha, esto hace que la lista de datos sea mas corta y no sea truncada cuando se carguen los datos.



En este proyecto se realizo y compilo una aplicación en lenguaje C (Ver anexo C) que realiza un reordenamiento de los datos en columnas reduciendo el tamaño del archivo en un 10% del tamaño original.

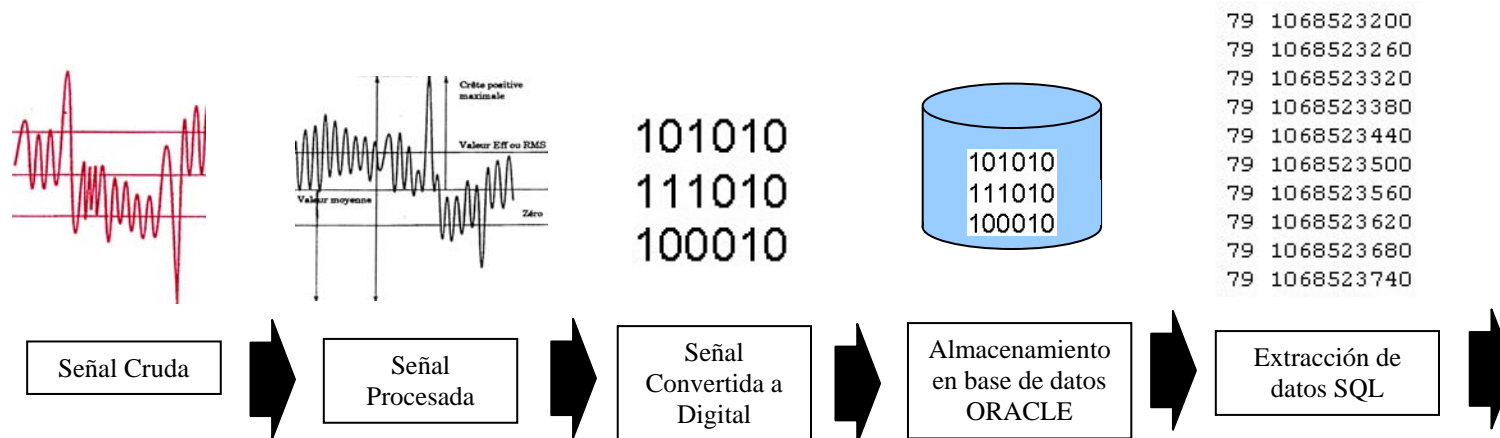
6) Se integran todas las rutinas realizadas en un Script ejecutable de Unix (Ver Anexo D) que se encargara de ejecutar el Script SQL, el programa de ordenamiento y por ultimo la compresión del archivo. Para comodidad del usuario se permitió almacenar dos semanas de información cada una en un archivo, luego de este periodo el archivo mas viejo será borrado.

7) Por ultimo se configura la ejecución del Script ejecutable de Unix en la herramienta planificadora de tareas de Unix Crontab. Para este proyecto se agrego la línea de comando siguiente: (30 12 * * 4 /caer/etc/vibraciones) esto indica que se deberá ejecutar a las 12:30 pm del día viernes la aplicación /caer/etc/vibraciones

Los archivos de datos almacenados se encontraran todavía en el ambiente Unix por lo tanto es tarea del operador o de los interesados transferir los archivos a otra plataforma desde un nodo de conexión de la Sala de Control empleando un Protocolo de Transferencia de Archivos FTP.



Procesamiento y Almacenamiento de Datos



```
79 1068523200
79 1068523260
79 1068523320
79 1068523380
79 1068523440
79 1068523500
79 1068523560
79 1068523620
79 1068523680
79 1068523740
```

```
1073620800 ;0 ;0 ;518.732361 ;-16.67597
1073620860 ;0 ;0 ;537.333008 ;-15.38201
1073620920 ;0 ;0 ;502.072632 ;-22.434093
1073620980 ;0 ;0 ;515.529785 ;-22.434093
1073621040 ;0 ;0 ;512.974243 ;-19.878523
1073621100 ;0 ;0 ;492.432617 ;-21.787113
1073621160 ;0 ;0 ;526.431396 ;-19.231543
1073621220 ;0 ;0 ;539.888611 ;-17.290602
```



Microsoft Excel - Analisis.xls				
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos				
L32 49 650135 100% Anal				
1	A	B	C	D
2				
3	Fecha	FechaUnix	MW13	MVAR13
4	9-1-04 0.00	1073620800	0	0 51
5	9-1-04 0.01	1073620860	0	0 53
6	9-1-04 0.02	1073620920	0	0 50
7	9-1-04 0.03	1073620980	0	0 51
8	9-1-04 0.04	1073621040	0	0 51



5.2 APLICACIÓN EN EXCEL VBA DE WINDOWS

El archivo de los datos obtenido en el sistema Unix es un archivo comprimido de texto, una vez transferido al ambiente Windows debe ser descomprimido para luego poder emplear una herramienta de análisis u hoja de cálculo como Excel.

La tarea de descompresión puede ser realizada por algún software de descompresión como por ejemplo: el Winzip, disponible de manera gratuita en Internet en <http://www.winzip.com>

Con el propósito de facilitar el análisis y poder visualizar los datos obtenidos se creo una hoja de cálculo programada en Excel empleando el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones de Office.

El archivo de datos obtenido es tan solo una matriz de números que se deben identificar, ordenar y filtrar dependiendo de lo que se desee ver, este procedimiento se realiza empleando la macro CargarDatos que despliega una ventana para seleccionar el archivo de datos.

Una vez cargados los datos en la hoja de calculo programada estos están disponibles para ser filtrados, ordenados y empleados como se quiera. Ver figura 5.1

Fecha	FechaUnix	MW13	MVAR13	MW19	MVAR19	RPM13	HZ13	HZ19	Vib19	Vib13	Temp13	Temp19	CaidaMeta19
16-1-04 0:00	1074225600	626.778015	-72.445648	591.841125	-83.379616	112.59391	60.0344467	60.0334549	91.3905182	138.75177	57.0689735	57.3154068	134.257919
16-1-04 0:01	1074225660	617.170349	-71.151688	600.154785	-82.085655	112.59391	59.9719505	59.9739342	82.503479	125.428986	57.0689735	57.3154068	134.259323
16-1-04 0:02	1074225720	593.458557	-71.798668	596.952271	-82.085655	112.59391	59.9689751	59.9659996	81.0248947	124.930939	57.0689735	57.3154068	134.260773
16-1-04 0:03	1074225780	619.078979	-70.504707	580.29248	-83.379616	112.464813	59.9759178	59.9759178	92.3710556	118.036087	57.0689735	57.3154068	134.260284
16-1-04 0:04	1074225840	642.143799	-67.949135	598.246216	-80.824043	112.464813	60.0056801	60.0046883	87.3353104	139.7323	57.0689735	57.3154068	134.257919
16-1-04 0:05	1074225900	656.894958	-66.655182	608.500854	-80.824043	112.59391	60.027504	60.0265121	86.9547806	147.638809	57.0689735	57.3154068	134.257431
16-1-04 0:06	1074225960	644.731689	-66.655182	608.500854	-81.471024	112.59391	59.9868317	59.9858398	86.9547806	140.728394	57.0689735	57.4995804	134.257431
16-1-04 0:07	1074226020	616.523376	-71.798668	593.749695	-83.379616	112.464813	60.0136147	60.011631	85.4606323	132.837448	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:08	1074226080	594.720154	-73.739609	587.991577	-83.379616	112.464813	59.9719505	59.9719505	78.5657806	126.425087	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:09	1074226140	574.857849	-75.001221	589.253174	-84.026588	112.464813	59.9937744	59.9927826	93.8496323	122.969879	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:10	1074226200	597.308105	-75.001221	573.240417	-86.582161	112.464813	60.0185738	60.0165901	82.0209885	119.997154	57.0689735	57.4995804	134.262665
16-1-04 0:11	1074226260	590.255981	-77.556793	569.390869	-87.876122	112.59391	60.021553	60.0146065	83.4995728	117.53804	57.0689735	57.4995804	134.262177
16-1-04 0:12	1074226320	557.551147	-80.144714	578.998535	-87.876122	112.59391	59.9888153	59.9898071	80.5268478	127.903664	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:13	1074226380	571.655334	-77.556793	582.848083	-86.582161	112.464813	60.0136147	60.0146065	82.0209885	140.728394	56.9781837	57.4995804	134.260773
16-1-04 0:14	1074226440	586.406494	-78.850754	569.390869	-90.431694	112.464813	60.0265121	60.0225449	83.0015259	116.053464	56.9781837	57.4995804	134.262665
16-1-04 0:15	1074226500	612.673828	-73.739609	596.305237	-84.026588	112.59391	60.0235367	60.02255203	92.3710556	131.358871	56.9781837	57.4995804	134.260284
16-1-04 0:16	1074226560	640.235229	-74.35424	602.095703	-86.582161	112.85569	60.1395988	60.1356316	81.0248947	144.666092	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:17	1074226620	650.489868	-75.648201	584.140229	-89.784714	112.59391	59.9957581	59.9947662	80.0443649	152.074554	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0:18	1074226680	613.967834	-76.942162	588.63855	-89.170082	112.59391	59.9769096	59.9769096	85.4606323	122.471825	56.9781837	57.4995804	134.262177
16-1-04 0:19	1074226740	594.720154	-80.791895	574.502014	-91.078674	112.464813	59.9808807	59.9798889	89.9119415	133.817978	56.9781837	57.4995804	134.263153
16-1-04 0:20	1074226800	608.177368	-78.203773	569.390869	-89.784714	112.464813	59.9997292	59.9967499	81.0248947	125.92704	56.9781837	57.4995804	134.262665
16-1-04 0:21	1074226860	635.738708	-76.942162	562.985779	-91.078674	112.59391	60.0413933	60.0403976	78.0677338	143.685562	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0:22	1074226920	648.581238	-73.092628	586.697632	-88.523102	112.59391	60.0394058	60.0374222	85.4606323	148.619354	56.9781837	57.4995804	134.260773
16-1-04 0:23	1074226980	626.131042	-76.942162	581.554138	-89.784714	112.59391	60.0304794	60.0284958	87.4372635	125.428986	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0:24	1074227040	586.406494	-79.497734	593.102722	-88.523102	112.59391	60.0066719	60.0066719	85.9586868	136.775146	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0:25	1074227100	564.60321	-81.406326	595.690613	-88.523102	112.59391	59.9818726	59.9838562	85.4606323	122.471825	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0:26	1074227160	583.203918	-76.295181	600.801758	-84.673569	112.59391	59.9779053	59.9838562	86.4567337	106.191887	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0:27	1074227220	610.765259	-75.648201	581.554138	-85.935181	112.464813	59.9997292	59.9987373	87.9353104	121.491295	56.9781837	57.4995804	134.264557
16-1-04 0:28	1074227280	615.876404	-72.445648	600.154785	-83.379616	112.464813	59.9795887	59.9679832	90.3944244	137.273193	56.9781837	57.4995804	134.256943
16-1-04 0:29	1074227340	610.765259	-71.798668	608.500854	-81.471024	112.464813	60.0175819	60.0136147	93.3671494	137.273193	56.9781837	57.4995804	134.258835
16-1-04 0:30	1074227400	622.281494	-69.890076	612.937375	-79.530083	112.464813	60.0027046	60.000721	85.9586868	131.841354	56.9781837	57.4995804	134.256943
16-1-04 0:31	1074227460	640.235229	-65.39357	629.010132	-76.32753	112.464813	59.9888153	59.9818726	86.9547806	135.794617	56.9781837	57.4995804	134.253601
16-1-04 0:32	1074227520	653.04541	-62.837997	634.800598	-75.033569	112.464813	60.0195694	60.0195694	83.8496323	140.230347	56.9781837	57.4995804	134.255051
16-1-04 0:33	1074227580	641.529175	-64.74659	625.807556	-75.68055	112.59391	59.9877417	59.9877417	97.3048401	140.230347	57.0689735	57.4995804	134.255966
16-1-04 0:34	1074227640	628.07196	-65.39357	634.153564	-75.033569	112.59391	60.0046883	60.000721	88.9158401	134.31604	57.0689735	57.4995804	134.253601
16-1-04 0:35	1074227700	614.614807	-68.596115	631.538022	-76.32753	112.59391	60.0344467	60.0354385	97.3048401	132.339401	57.0689735	57.4995804	134.254562
16-1-04 0:36	1074227760	613.320862	-67.949135	630.304077	-77.62149	112.59391	59.9868317	59.9917908	100.760048	126.90757	57.0689735	57.4995804	134.255399
16-1-04 0:37	1074227820	609.471313	-69.890076	624.545959	-78.268471	112.59391	59.9838562	59.984848	82.503479	126.90757	57.0689735	57.4995804	134.257919
16-1-04 0:38	1074227880	617.817322	-68.596115	625.807556	-78.268471	112.59391	60.0364304	60.0314713	88.9158401	119.01617	57.0689735	57.4995804	134.255051
16-1-04 0:39	1074227940	611.379883	-67.302162	623.251953	-76.97451	112.59391	59.9947662	59.9937744	93.3671494	136.775146	57.0689735	57.4995804	134.255966

Figura 5.1: Hoja de datos cargados



También se desea saber cierta información inicial al cargar los datos, como rango de fecha de los datos y valores máximos de las vibraciones obtenidas, además se quiere dar un punto de partida para el empleo de las distintas herramientas de análisis diseñadas; es por esto que se creo una hoja que contiene el menú principal. Ver figura 5.2

MENÚ PRINCIPAL

Cargar Archivo

Archivo del: 16-1-04 0:00
al: 23-1-04 12:00

Ruta Archivo

Ver Datos Estadísticos

Ver Tiempos de Operación

Ver Ayuda

Ver Grafico

Seleccione un Grafico de la lista
Potencia y Vibraciones Un 13 por Fecha ▼

Fecha

16-01-04

20-01-04

Quitar Filtros

Filtrar Fecha

0

700

Filtrar Potencia

☐ Mantener filtros

☒ Unidad 13
☐ Unidad 19

Fecha	Potencia	Max Vib Un13
22-1-04 23:15	171.756958	451.557037
17-1-04 0:18	438.992065	439.214783

Fecha	Potencia	Max Vib Un19
17-1-04 18:36	445.623596	396.30484
18-1-04 13:27	434.075012	351.900757

Figura 5.2: Menú principal de software para análisis.

En el menú principal se muestra una interfaz grafica al usuario que permite facilitar la observación de los datos de manera grafica o estadística.

Además desde la hoja del menú principal se pueden establecer rangos de fechas y potencias para observar gráficamente el comportamiento de todos los datos para estos rangos.

Excel como una herramienta de calculo permite emplear funciones estadísticas comunes para extender un poco mas el análisis.

Todas estas funciones se emplearon para todo el conjunto de datos y se insertaron en una hoja de calculo llamada Estadísticos. Entre los valores que se pueden observar están: valores máximos



y mínimos, desviación promedio, moda, mediana, promedio, desviación estándar y valores K-esimos. Ver figura 5.3.

Datos estadísticos de las unidades 13 y 19

UN13										
UN19										
	MW13	MVAR13	RPM13	HZ13	Vib13	Temp13	CaidaNeta13	EficTur13	Caudal13	CCEX13
Valor Máximo	707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
Valor Mínimo	0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
Desviación Promedio	86.96	41.99	14.62	7.77	32.00	1.77	0.01	12.43	69.92	243.98
Moda	0.00	0.00	112.59	0.00	125.93	57.16	134.27	0.10	0.00	3.11
Mediana	563.96	-89.75	112.59	60.00	128.64	57.16	134.25	95.07	450.86	1638.90
Promedio	693.47	-71.69	121.10	64.52	151.37	61.38	144.39	102.99	553.97	1940.01
Desviación estándar	153.53	49.77	28.66	15.27	55.57	3.68	0.02	24.29	123.05	447.06
K.esimo Mayor	707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
K.esimo Menor	0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
K Mayor	1.00									
K Menor	1.00									
Minutos en Rango	10800	10800	10043	10048	10799	10138	10800	10031	10800	10042
desde	0.00	-500.00	100.00	50.00	0.00	50.00	100.00	80.00	0.00	10.00
hasta	750.00	500.00	150.00	70.00	600.00	70.00	150.00	100.00	700.00	2500.00

Figura 5.3: Hoja de datos estadísticos.

En la hoja Estadísticos también se emplean funciones de la aplicación Excel para contabilizar los datos, es decir, para contar los datos de cualquiera de las variables en estudio justo cuando se encuentran dentro de un rango dado.

Esta herramienta permite ver cuanto tiempo opero la unidad durante esa semana a una condición dada por el usuario.

También se creo una hoja de calculo llamada Tiempos para observar mas claramente los Tiempos de Operación de las unidades a niveles de potencia de interés. Ver Figura 5.4.

Como a veces se desea saber en que zona de operación se han estado operando las unidades y por cuanto tiempo, se crearon en la hoja Tiempos varias funciones para buscar y contar los minutos que se opero la maquina en vacío, en zona de operación continua y en zona de operación continua preferible.



Además se muestran estos valores de manera porcentual para tener una mejor noción de la proporción de funcionamiento de las unidades dentro de las zonas de operación dichas.

Tiempos de operación de Maquinas 13 y 19

Archivo del: 16-1-04 0:00
al: 23-1-04 12:00
Total: 10800 minutos

Regresar al
Menú

	Operando	En Vacio	En zona de Op Continua	En zona de Op Cont Pref	Eficiencia > 91	
Un 13	10041	10	9963	8479	9958	minutos
Un 19	7550	46	7435	6556	7339	minutos
Un 13	92.97	0.10	99.22	84.44	99.17	%
Un 19	69.91	0.61	99.32	43.97	97.21	%

Figura 5.4: Hoja de Tiempos de Operación de las Unidades.

Adicional a todas las funciones que se han indicado se colocaron varios gráficos de interés que mediante el empleo de macros se automatizo el proceso de ordenamiento de los datos permitiendo al usuario ver el grafico sin necesidad de realizar otras tareas.

Tabla 5.2: Lista de gráficos creados.

Gráficos	Descripción	Unidad
Grafico 1	Potencia y Vibraciones Un 13 por Fecha	13
Grafico 2	Potencia y Vibraciones Un 19 por Fecha	19
Grafico 1B	Potencia y Vibraciones Un 13 Ordenado	13
Grafico 2B	Potencia y Vibraciones Un 19 Ordenado	19
Grafico 3	Vibraciones vs Eficiencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 4	Vibraciones vs Eficiencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 5	Efic, Vibrac. y Potencia vs Caudal Un 13 Ordenado	13
Grafico 6	Efic, Vibrac. y Potencia vs Caudal Un 19 Ordenado	19
Grafico 7	Vibraciones vs Potencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 8	Vibraciones vs Potencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 9	Corriente de Excitación y Vibración Un 13 Ordenado	13
Grafico 10	Corriente de Excitación y Vibración Un 19 Ordenado	19
Grafico 11	Datos Lentos Un 13 por Fecha	13



Grafico 12	Datos Lentos Un 19 por Fecha	19
Grafico 13	Datos Rápidos Un 13 por Fecha	13
Grafico 14	Datos Rápidos Un19 por Fecha	19
Grafico 15	Eficiencia vs Potencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 16	Eficiencia vs Potencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 17	Vibración y Temperatura Un 13 Ordenado	13
Grafico 18	Vibración y Temperatura Un 19 Ordenado	19

Para la automatización de las tareas se programaron varias macros de las cuales se muestra a continuación una breve descripción de cada una de ellas:

Auto_Open: Es una rutina clásica que se auto ejecuta automáticamente al abrir la hoja de calculo. Fue empleada para configurar la ventana de visualización.

Auto_Close: Es una rutina que al igual que Auto_Open se ejecuta automáticamente pero en este caso al cerrar la hoja de calculo. Contiene el código que restablece la configuración de ventana.

CargarDatos: Es una rutina que permite abrir un nuevo archivo de datos y cargar ciertos datos de importancia al abrir el archivo.

OrdenFecha: Ordena los datos de manera ascendente por fecha.

OrdenMW13: Ordena los datos de manera ascendente por potencia para la unidad 13.

OrdenMW19: Ordena los datos de manera ascendente por potencia para la unidad 19.

OrdenVib13: Ordena los datos de manera ascendente por vibraciones para la unidad 13.

OrdenVib19: Ordena los datos de manera ascendente por vibraciones para la unidad 19.

OrdenEfic13: Ordena los datos de manera ascendente por eficiencia para la unidad 13.

OrdenEfic19: Ordena los datos de manera ascendente por eficiencia para la unidad 19.

OrdenCau13: Ordena los datos de manera ascendente por caudal para la unidad 13.

OrdenCau19: Ordena los datos de manera ascendente por caudal para la unidad 19.

OrdenCEX13: Ordena los datos de manera ascendente por corriente de excitacion para la unidad 13.

OrdenCEX19: Ordena los datos de manera ascendente por corriente de excitacion para la unidad 19.

OrdenMvar13: Ordena los datos de manera ascendente por potencia reactiva para la unidad 13.

OrdenMvar19: Ordena los datos de manera ascendente por potencia reactiva para la unida 19.



FiltrarRangoMW13: Filtra los datos mostrando únicamente los datos en los que la potencia de la unidad 13 esta en un rango dado.

FiltrarRangoMW19: Filtra los datos mostrando únicamente los datos en los que la potencia de la unidad 19 esta en un rango dado.

FiltrarFecha: Filtra los datos mostrando únicamente los datos en los que la fecha esta en un rango dado.

NoFiltrarFecha: Elimina los filtros de fecha mostrando todos los valores para todas las fechas.

NoFiltrar13: Elimina los filtros de potencia mostrando todos los valores para todas las potencias de la unidad 13.

NoFiltrar19: Elimina los filtros de potencia mostrando todos los valores para todas las potencias de la unidad 19.

Mostrar13: Oculta las columnas con datos de la unidad 19.

Mostrar19: Oculta las columnas con datos de la unidad 13.

ConvertirMinutos: Muestra una herramienta que permite transformar minutos a días, horas y minutos.

VerGraficos: Ordena los datos y muestra el grafico seleccionado.

Las Macros IrMenu, Ayuda, VerEstadisticos, VerTiempos son simplemente macros de enlaces.

Mas detalles acerca de los códigos de las macros empleadas se muestran en el Anexo E.



5.3 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Con el propósito de efectuar un análisis de las vibraciones nos referimos a las normas y a los “Criterios de evaluación para vibraciones relativas de ejes de turbinas hidráulicas operando bajo condiciones específicas”:

Criterio 1: La operación segura y confiable de la maquina bajo condiciones normales de operación requiere que las magnitudes de la vibración permanezcan bajo ciertos limites.

Criterio 2: Cambios en la magnitud de la vibración podrían apuntar a un daño incipiente o a alguna irregularidad aun cuando los límites especificados no se hayan excedido. El criterio a ser aplicado es que si el cambio en las vibraciones del eje es mayor al 25% sin importar si aumenta o disminuye se deben tomar acciones para buscar las razones del cambio.

Es necesario apreciar que este criterio tiene aplicación limitada ya que los cambios significativos en las vibraciones tienen lugar en componentes de frecuencia individuales; es por esto que aunque el monitoreo en las vibraciones totales puede dar alguna indicación de problemas potenciales, podría ser necesario usar mediciones y análisis mas sofisticados.

Tomando en cuenta estos criterios se puede afirmar que en las señales vibratorias discretas en el tiempo se deben observar los cambios de estas para determinadas condiciones específicas.

Para propósitos de ejemplificar el análisis se tomo una muestra de datos de la unidad 13 para la semana desde el 16 al 23 de enero del 2004 con un total de 10800 valores (minutos) almacenados.

Al cargar los datos se puede observar que los valores máximos de vibración obtenidos para esta unidad no superaron los valores de disparo en ningún momento de la muestra. Ver Tabla 5.3

Tabla 5.3: Vibraciones máximas

Fecha	Potencia	Max Vib Un13
22-1-04 23:15	171.756958	451.557037
17-1-04 0:18	438.992065	439.214783



En general siempre se desea conocer el comportamiento de las vibraciones en el tiempo y comparar los valores obtenidos con los valores de alarma y disparo establecidos.

Si se observa el Grafico de Potencia y Vibración en el tiempo (Ver Figura 5.5), se puede observar que los valores de vibración nunca alcanzan los niveles de disparo y sobrepasan los niveles de alarma en breves ocasiones en las que la unida opera fuera de una zona de operación continua.

Potencia y Vibraciones Un 13

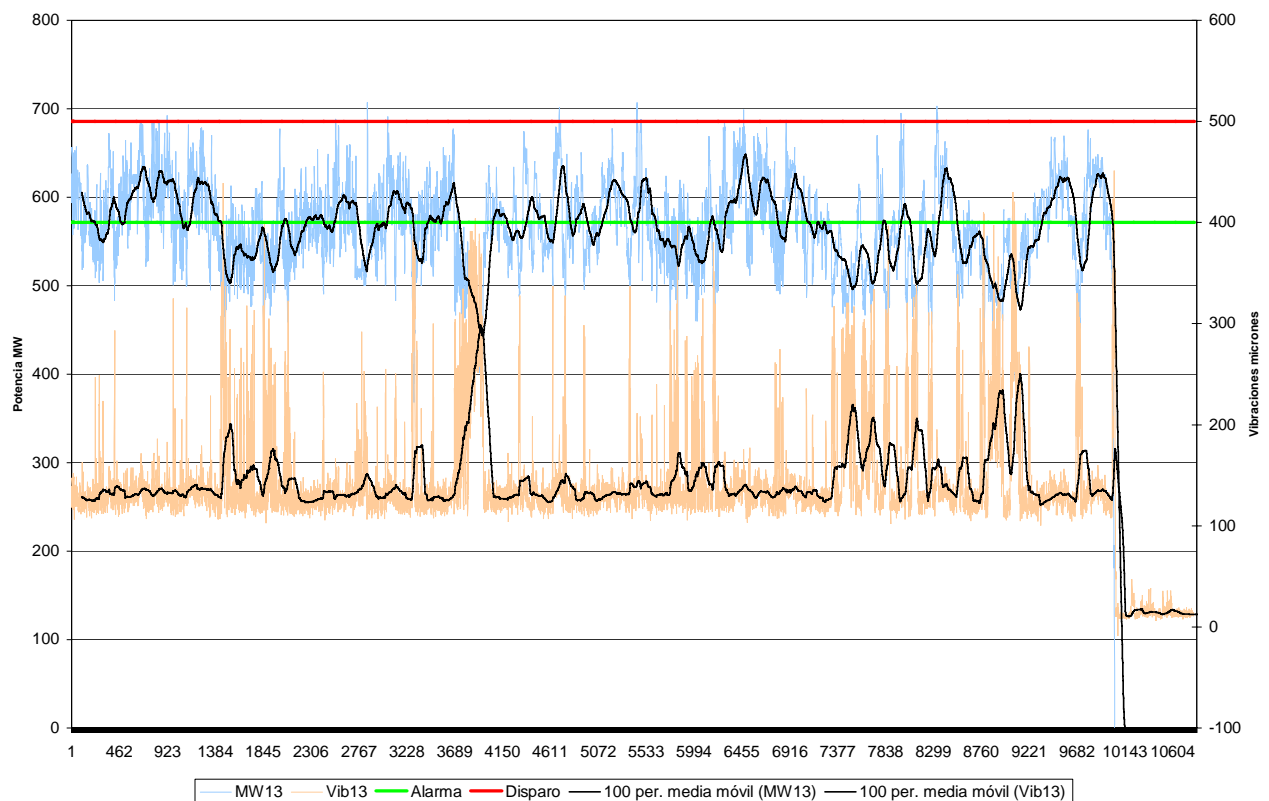


Figura 5.5: Potencia y Vibraciones en el tiempo.

Para el grafico de la figura 5.5 se debió agregar una línea de tendencia para facilitar la observación del comportamiento de las vibraciones y la potencia.

Con el objeto de facilitar mas el análisis se emplean herramientas de ordenamiento de datos para observar los niveles de vibraciones alcanzados para valores específicos de potencia. Esto se



puede observar en el grafico de Potencia y Vibraciones con datos ordenados por Potencia mostrado en la figura 5.6

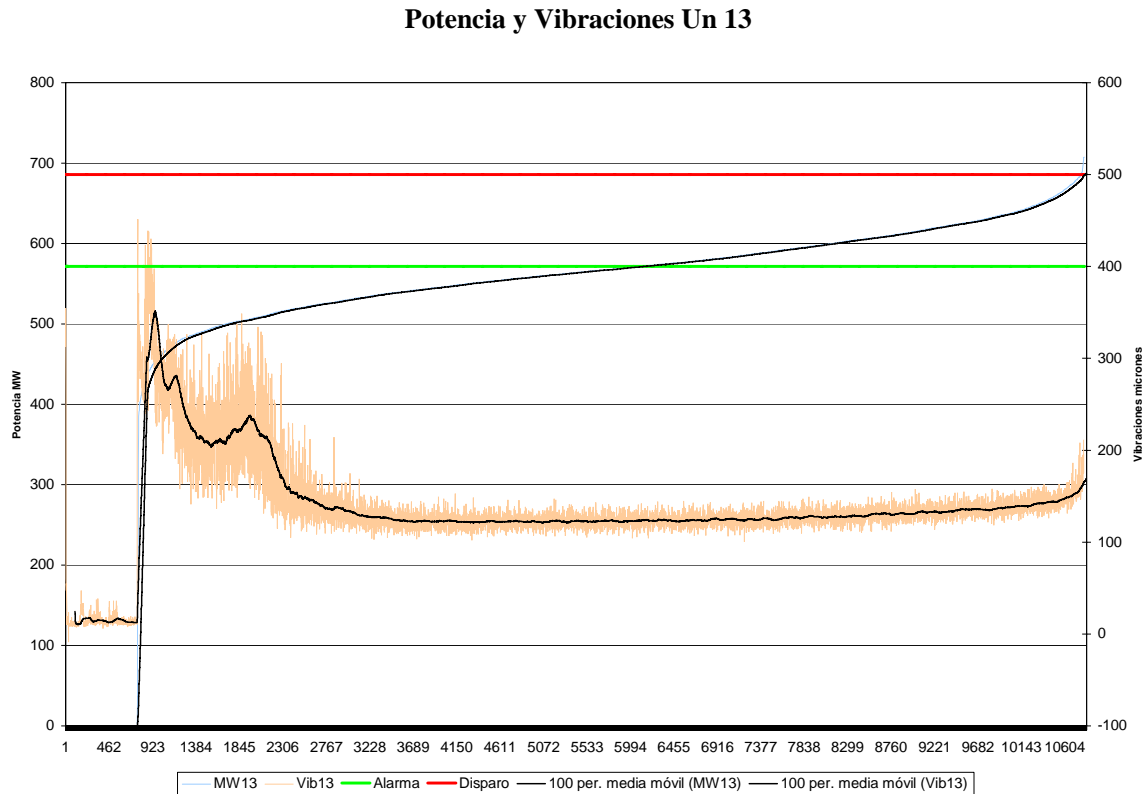


Figura 5.6 Potencia y Vibraciones datos ordenados por Potencia.

En la figura 5.6 se puede observar que entre los 520MW y 690MW se observan los menores niveles de vibración, superándose los niveles de alarma únicamente para valores de potencia inferiores a los 450MW.

Observando la figura 5.6 se puede determinar fácilmente el mejor rango de operación de la unidad en el que presenta los menores niveles de vibración. Además se pueden observar los puntos de inflexión característicos de las vibraciones.

Los puntos de inflexión por lo general indican la cúspide o valle de un evento, y en el caso de un evento vibratorio pueden indicar una condición de resonancia (cúspide) o de mayor eficiencia (valle).



Si se desea hacer una observación mas detallada del comportamiento de las vibraciones a una condición dada entonces se pueden aplicar filtros que permitan observar en detalle la magnitud de las vibraciones para un rango de valores de potencia.

La afirmación anterior queda demostrada al observar el grafico de la figura 5.7 de la Potencia y la Vibración con los datos filtrados para un rango de potencia entre 575MW y 600MW. Los valores de vibración obtenidos para este rango de potencia oscilan alrededor de los 122 micrones.

Potencia y Vibraciones Un 13

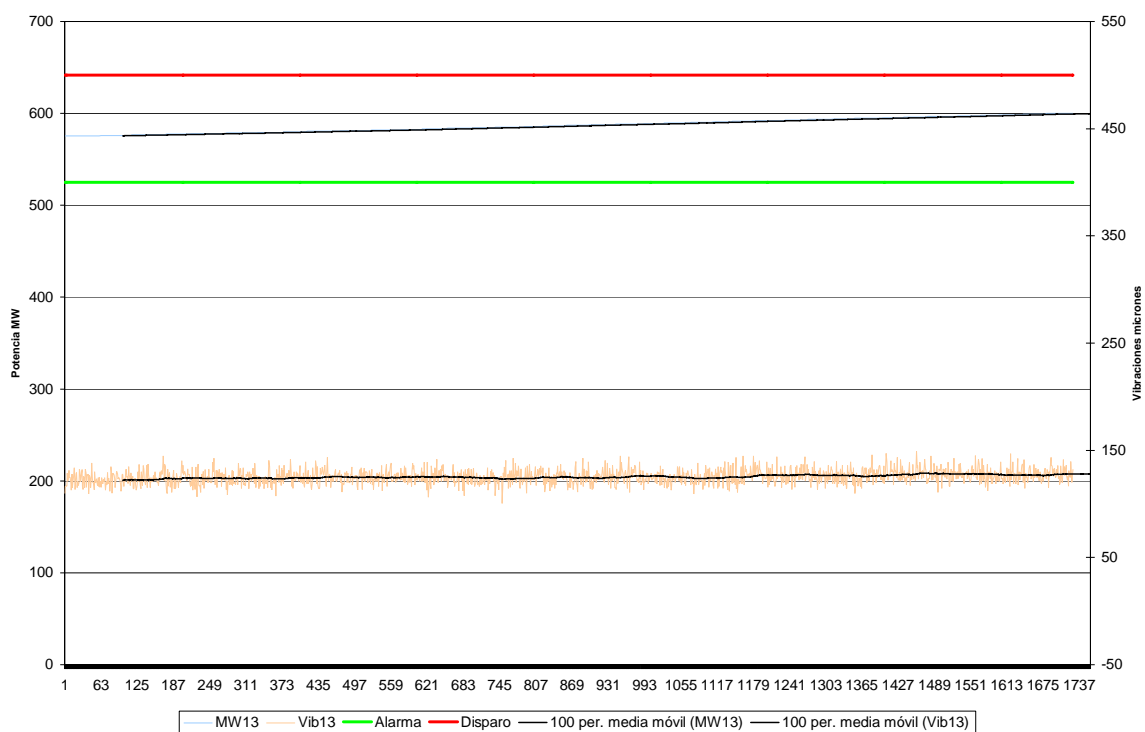


Figura 5.7 Potencia y vibraciones datos filtrados ordenados por potencia

Se puede observar que con el empleo de filtros estrechos y ordenando de datos, las curvas de las líneas de tendencias se aproximan a una recta con lo cual se puede establecer para la unidad generadora un valor normal de vibración a la potencia especifica filtrada.

Otro grafico que se muestra es el de la corriente de excitación y las vibraciones que aparece en la figura 5.8, para este grafico se filtraron los datos con respecto a la potencia y se ordenaron con



respecto a la corriente de excitación. Al igual que en el caso anterior la curva de las líneas de tendencias es casi una recta.

Entonces se puede observar que para valores entre 1550 y 1990 Amperes las vibraciones se ubican alrededor de los 130 micrones

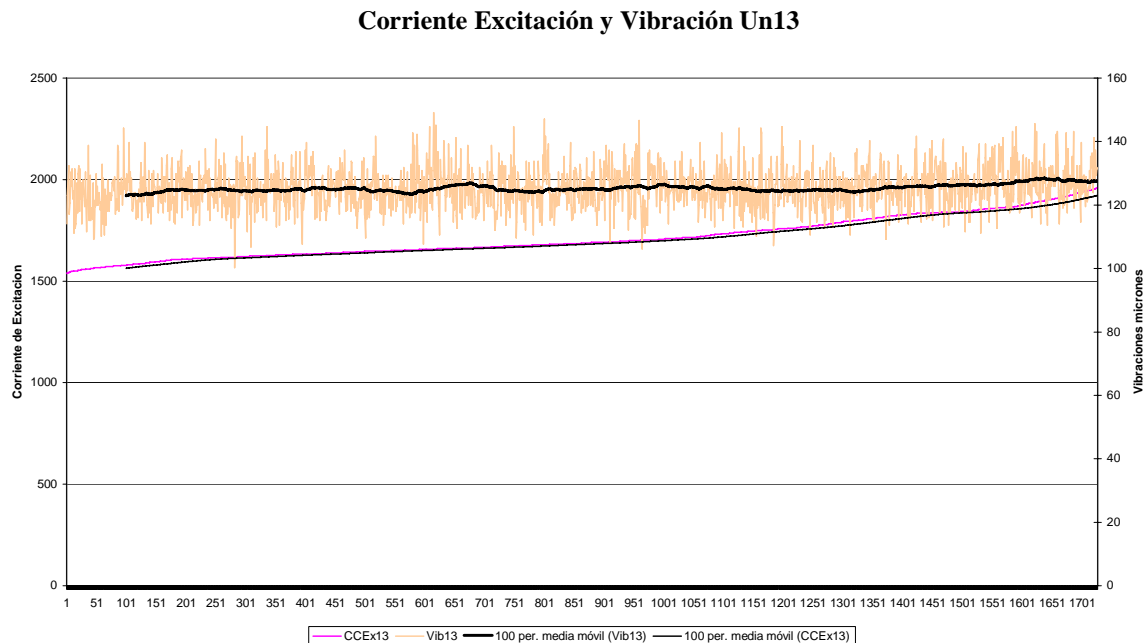


Figura 5.8: Grafico de Corriente de Campo y Vibración filtrado y ordenado

Al mismo grafico si se quitan los filtros y se grafica para todos los rangos de potencia se obtendrá el grafico de la figura 5.9, este grafico es en parte similar al de la figura 5.6.

La potencia y la corriente de excitación de campo del rotor están íntimamente ligadas a la operación de la maquina y en general un aumento en la corriente de excitación indicara un aumento en la potencia y viceversa.

De la figura 5.9 se puede deducir que las vibraciones son menores para valores de corriente de excitación entre 1550 y 2000 Amperes con valores de vibraciones que oscilan alrededor de los 134 micrones.



Corriente Excitación y Vibración Un13

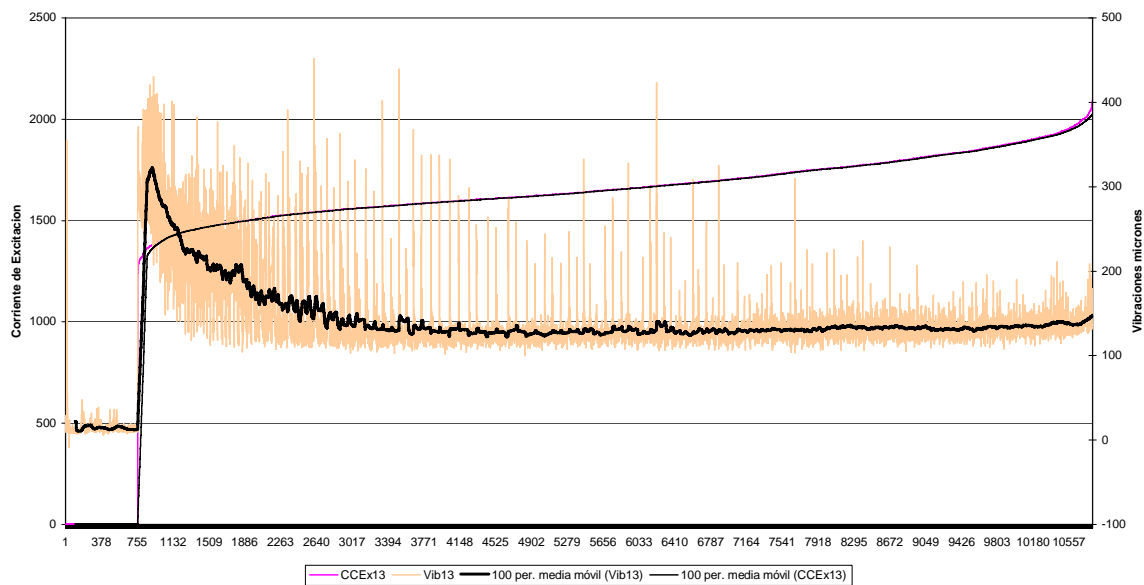


Figura 5.9: Corriente de Excitación y Vibración ordenado por Corriente

Otro grafico de interés es el de las vibraciones con respecto a la eficiencia ordenando los datos con respecto a la eficiencia que se muestra en la figura 5.10.

Vibracion vs Eficiencia Un 13

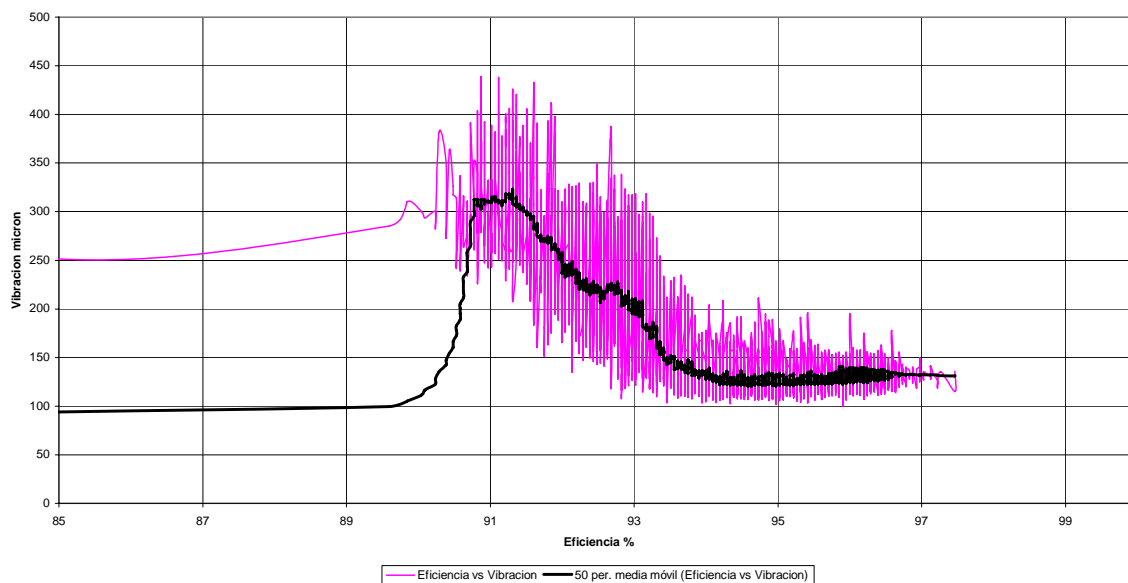


Figura 5.10: Vibración versus Eficiencia



Si se observa la línea de tendencia que agrupa los datos de la figura 5.10 se puede observar que la eficiencia aumenta a medida que la vibración disminuye y viceversa. Por lo tanto a una mayor eficiencia siempre se observarían los menores valores de vibración.

Según la Norma ISO-13380, las vibraciones y la corriente son los parámetros de desempeño que pueden indicar mayor cantidad de fallas sin embargo no se deben dejar de tomar en cuenta parámetros como la potencia y la temperatura entre otros.

Vibraciones y Temperatura Un 13

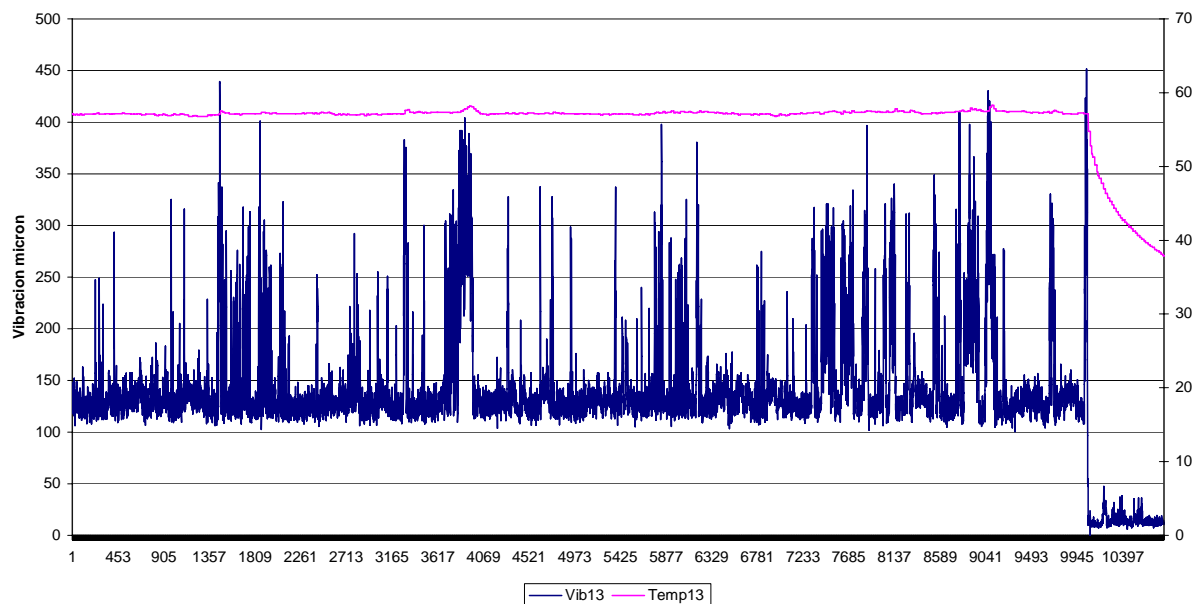


Figura 5.11: Vibraciones y Temperatura ordenado por fecha.

Aquí se observa como un aumento amplio de las vibraciones puede producir un aumento en la temperatura sin embargo esto no es tan fácil de detallar ya que la temperatura es una variable que varía muy poco para lapsos de tiempo cortos.

Se podría realizar una comparación para lapsos de tiempos muy grandes y en el caso de las unidades rehabilitadas de Guri se podría tomar como base un análisis semestral para observar posibles variaciones. En todo caso se debe observar que la temperatura se mantenga en un valor inferior a los 58°C.



Este comportamiento pausado de la temperatura es normal ya que una variación brusca de esta indicaría inmediatamente algún desperfecto en la turbina.

Otras curvas de interés pueden ser las del grafico 5.7, que muestra la eficiencia, potencia y vibraciones con respecto al caudal (datos ordenados por caudal).

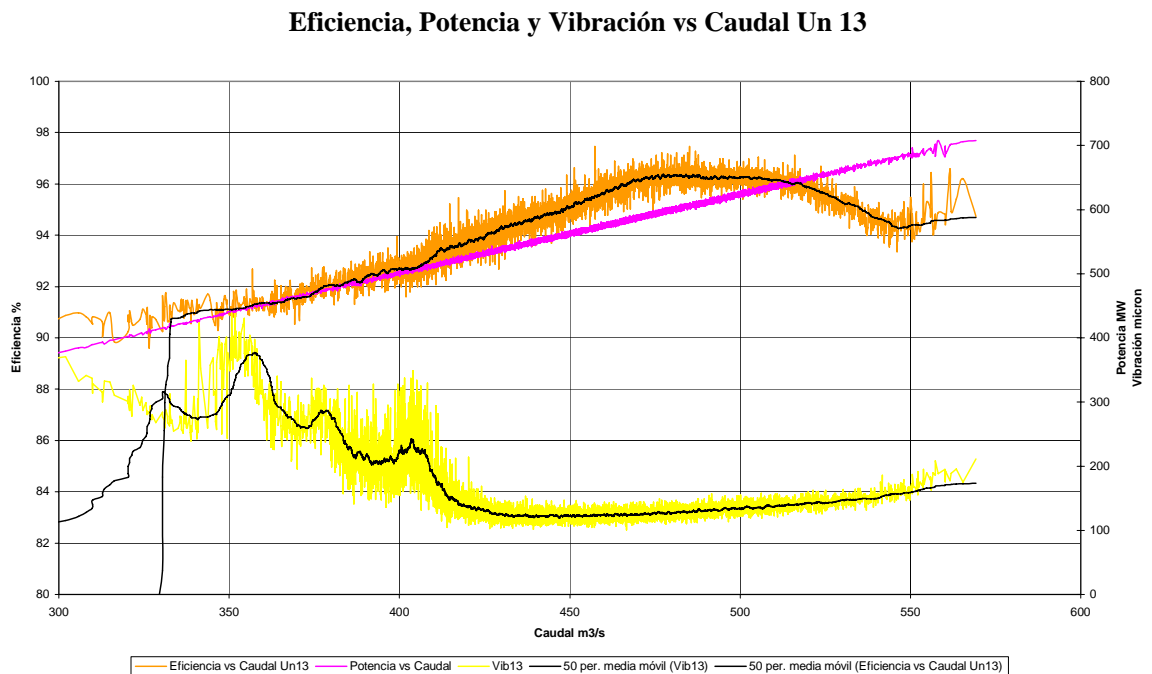


Figura 5.12: Eficiencia, Potencia y Vibración vs Caudal ordenado por caudal

De este grafico podemos observar que la relación de caudal y potencia es completamente lineal.

Para la eficiencia, esta disminuye al superarse un límite de potencia alrededor de los 600MW y las vibraciones son más bajas para los rangos de caudal entre 420 y 525 m³/seg esto corresponde a valores por encima del 94% de eficiencia.

A veces se desea saber algún valor estadístico como el promedio, la mediana, la moda, la desviación promedio o la desviación estándar de los datos muestreados. Estos datos permiten ver cuales valores son normales para las diferentes variables.



También es importante conocer los valores mínimos y máximos de los datos ya que estos nos pueden indicar alguna situación irregular.

Con el propósito de conocer estos datos, la herramienta de análisis diseñada se dotó de una matriz de cálculo de estos valores estadísticos. Como herramienta adicional es posible observar el tiempo de funcionamiento de las unidades a un rango de la variable deseada.

A continuación se muestra la tabla de Datos Estadísticos de la unidad 13 para una semana:

	MW13	MVAR13	RPM13	HZ13	Vib13	Temp13	CaidaNeta13	EficTur13	Caudal13	CCEX13
Valor Máximo	707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
Valor Mínimo	0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
Desviación Promedio	86.78	41.99	14.57	7.75	32.00	1.77	0.01	12.40	69.78	243.45
Moda	0.00	0.00	112.59	0.00	125.93	57.16	134.27	0.10	0.00	3.11
Mediana	563.96	-89.75	112.59	60.00	128.88	57.16	134.25	95.07	450.87	1638.90
Promedio	566.99	-82.24	112.65	60.06	147.08	60.53	144.39	94.90	453.63	1669.36
Desviación estándar	153.31	49.77	28.61	15.25	55.55	3.67	0.02	24.25	122.87	446.39
K.esimo Mayor	707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
K.esimo Menor	0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
K Mayor	1.00									
K Menor	1.00									
Minutos en Rango	10041	10797	10043	10048	10796	10138	10797	10031	10041	10042
desde	0.00	-500.00	100.00	50.00	0.00	50.00	100.00	80.00	0.00	10.00
hasta	750.00	500.00	150.00	70.00	600.00	70.00	150.00	100.00	700.00	3000.00

Otra información de interés cuando se busca alguna causa de falla es el tiempo de operación de las unidades dentro de una zona de operación, tal como se muestra en la siguiente tabla de zonas de operación:

			En zona de	En zona de	Eficiencia >	
	Operando	En Vacío	Op Continua	Op Cont Pref	96	
Un 13	10041	10	9963	8479	2881	minutos
Un 19	7551	46	7436	6557	1369	minutos
Un 13	92.94	0.10	99.22	84.44	28.69	%
Un 19	69.89	0.61	99.32	43.98	18.13	%



Observar el tiempo de operación dentro de las zona de operación continua podría indicar si se están operando las maquinas de manera correcta y si existe algún riesgo de que se pierda la garantía de las maquinas rehabilitadas. En el caso del archivo analizado se puede observar que las unidades están operando por encima del 99% en zona de operación continua.

5.4 MEJORAS EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES

Para implementar mejoras en el sistema de monitoreo de vibraciones se proponen las siguientes modificaciones:

- Instalación de puertos de comunicación de datos RS-485: Con la instalación de puertos de comunicación en los monitores de vibración se podría obtener mayor cantidad de información desde el monitor de vibraciones además que permite sincronizar las señales con otras provenientes de otros sistemas de monitoreo que se instalen.

- Instalación de sistemas de monitoreo en otras áreas de la unidad: Otros sistemas de monitoreo de la unidad se pueden instalar, por ejemplo la instalación de sistemas de monitoreo en otras áreas o cojinetes de la unidad y la instalación de sistemas de monitoreo del entrehierro entre el estator y el rotor.

El entrehierro es de mucha importancia y puede ser considerado el corazón de la unidad ya que es el lugar donde la energía mecánica es convertida en energía eléctrica. Este parámetro revela debilidades y fortalezas estructurales y resume la acción de varias fuerzas que interactúan en las maquinas hidroeléctricas.

- Instalación de sensor de sincronización y configuración del monitor: Se puede hacer una mejora en el sistema monitor de la turbina instalando un sensor de sincronización que permita graficar la orbita del eje, además se puede establecer una configuración que permita monitorear el valor de desplazamiento máximo para un rango de frecuencia entre 0.1 y 10 Hz. Esto permitiría tener una mejor resolución de los datos y mejorar la calidad de la señal monitoreada.



CONCLUSIONES

Del análisis y discusión de los capítulos anteriores se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1) El monitoreo de vibraciones relativas esta dirigido a ayudar en la evaluación de la “salud” de la maquina durante su operación. Dependiendo del tipo de maquina y de los componentes críticos a ser monitoreados se deben seleccionar, uno o mas parámetros de medidas y un sistema de monitoreo adecuado.

El propósito del programa de monitoreo es para reconocer una condición “no saludable” en el suficiente tiempo como para tomar una acción correctiva antes de que ciertos defectos en las partes de la maquina disminuyan significativamente la operación del equipo, la vida útil de la maquina o se produzca una falla completa.

2) La configuración de filtros mejora las mediciones de valores de vibración para la detección de posibles causas en las turbinas. Para el caso de las unidades rehabilitadas de Guri el mayor rango de eventos ocurre entre los 0.1Hz y 10Hz.

3) El empleo de herramientas de graficación para el análisis de vibraciones es de mucha importancia, ya que permite observar tendencias, conductas irregulares y detectar eventos que podrían ser perjudiciales para las maquinas como aumentos anormales de temperatura o de las vibraciones que son entre otros los síntomas de deterioro mas evidentes en las unidades.

4) La recopilación de datos de muchos de los elementos que se monitorean en un sistema SCADA que emplea ORACLE puede ser obtenido empleando formularios SQL, teniendo como requisito la creación de las cuentas históricas de los datos en la base de datos de ORACLE. El tiempo de muestreo y la cantidad de variables a almacenar es un detalle de mucha importancia para evitar la saturación de información.

5) El empleo de funciones estadísticas, así como el ordenamiento y filtrado de los datos facilita la labor de análisis de las variables relacionadas a las vibraciones.

6) El empleo de herramientas de hoja de cálculos como Microsoft Excel es gran utilidad para el análisis de datos y la creación de pequeñas aplicaciones adaptables a las necesidades de un usuario en particular.



7) Para los archivos de datos recopilados de las unidades rehabilitadas 13 y 19 del CHRL se observa un comportamiento normal con respecto a las vibraciones para valores de potencia, caudal y eficiencias vistos [1]. Se pueden emplear los datos almacenados como registros históricos para su comparación futura.



RECOMENDACIONES

De los resultados dados y las conclusiones obtenidas en el presente estudio se recomiendan las siguientes acciones:

- Se debe instruir al personal encargado de operaciones en el manejo y configuración del monitor de vibraciones de la turbina
- Se recomienda realizar la modificación de la alimentación del monitor de vibraciones, para una alimentación independiente, ya que actualmente se encuentra conectada a la alimentación DC de control de las unidades.
- Se deben conservar los registros de datos de las unidades al menos de una semana por mes durante el año en curso para poder comparar los valores con valores futuros y así poder hacer análisis de tendencias más representativos.
- Modificar la configuración del monitor de vibraciones para transmitir al SCCG la señal de desplazamiento máximo (S_{max}) o pico a pico es una necesidad [1].
- Se sugiere extender el alcance de este proyecto para que se almacenen los datos de las futuras unidades a rehabilitar.



ANEXOS



ANEXO A

MANUAL DE USUARIO DE APLICACIÓN: ANÁLISIS DE VIBRACIONES

6.1 Descripción del programa:

La aplicación Analisis.xls es una herramienta de ayuda que muestra información descriptiva del comportamiento de las unidades rehabilitadas 13 y 19 de Guri.

Esta herramienta permite analizar los datos semanales de la vibración, potencia activa, potencia reactiva, corriente de excitación, velocidad, frecuencia, temperatura del cojinete guía de la turbina, eficiencia, caudal turbinado y caída neta.

Permite además ver los datos estadísticos, así como graficas en el tiempo u ordenadas.

Se puede también observar rango de operación en función a la potencia o ver el tiempo de funcionamiento de las maquinas a una condición dada por el usuario.

6.2 Requerimientos:

Para la utilización e instalación de la Aplicación Análisis de Vibraciones se deben poseer los siguientes requerimientos:

Hardware:

Procesador 500MHz (mínimo), 64MB de memoria RAM, Espacio libre en disco 40MB.

Software:

Microsoft Excel 2000 o superior, Software Winzip.

6.3 Instalación:

Para la instalación debe descomprimir el archivo Analisis.xls donde desee instalar la aplicación.

Luego se debe abrir el archivo Analisis.xls habilitando las funciones de macros de Excel en el menú Herramientas → Opciones → Seguridad → Seguridad de Macros → Medio. Para mayor información de la seguridad de macros ver la ayuda contenida en el programa Excel



6.4 Cargar datos:

Para cargar los datos estos deben ser extraídos de su archivo comprimido empleando alguna herramienta de descompresión como Winzip, el archivo de datos descomprimido debe poseer la extensión .txt

Una vez hecho esto, desde la hoja programada Analisis.xls se debe hacer clic en el botón “cargar datos” del menú principal.

Aparece una ventana de exploración desde la cual buscara el archivo de datos descomprimido, se debe seleccionar un archivo de datos y presionar el botón Aceptar.

Importante: En algunas versiones de Windows dependiendo de la configuración regional se debe establecer el punto y coma “;” como separador de listas y el punto “.” Como símbolo decimal para el correcto cargado de datos. Esto se hace en el panel de control de Windows.

6.5 Ventanas de la Aplicación

A continuación se muestran las distintas ventanas y hojas de la aplicación:

Portada: Hoja inicial que sirve de portada del programa.



Análisis del comportamiento dinámico
de las Vibraciones del Eje de la Turbina
de las Unidades 13 y 19 en el
Centro de Control del Complejo Hidroeléctrico Guri

[Ir al Menu](#)

Realizado por:
Guido Bassotti
CI: 14403719

Tutor Industrial:
Ing. Juan Barillas

Tutor Académico:
Ing. Carlos Pietri

CIUDAD GUAYANA , ENERO DEL 2004



Menú Principal: Muestra el menú principal del programa, desde aquí se accede a todas las demás funciones.

MENÚ PRINCIPAL

Cargar Archivo Archivo del: 16-1-04 0:00
al: 23-1-04 12:00
Ruta Archivo

Ver Datos Estadísticos Ver Tiempos de Operación Ver Ayuda Ver Grafico Seleccione un Grafico de la lista
Potencia vs Caudal Un 13 Ordenado

Fecha	Potencia	Max Vib Un13
22-1-04 23:15	171.756958	451.557037
17-1-04 0:18	438.992065	439.214783

Fecha	Potencia	Max Vib Un19
17-1-04 18:36	445.623596	396.30484
18-1-04 13:27	434.075012	351.900757

Datos Estadísticos: Esta hoja muestra algunos valores estadísticos de cada variable en estudio, además permite ver el tiempo en minutos en el que una variable se ubico en un rango

Datos estadísticos de las unidades 13 y 19

UN13	UN19	MW13	MVAR13	RPM13	HZ13	Vib13	Temp13	CaidaNeta13	EficTur13	Caudal13	CCEx13
Valor Máximo		707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
Valor Mínimo		0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
Desviación Promedio		86.96	41.99	14.62	7.77	32.00	1.77	0.01	12.43	69.92	243.98
Moda		0.00	0.00	112.59	0.00	125.93	57.16	134.27	0.10	0.00	3.11
Mediana		563.96	-89.75	112.59	60.00	128.64	57.16	134.25	95.07	450.86	1638.90
Promedio		693.47	-71.69	121.10	64.52	151.37	61.38	144.39	102.99	553.97	1940.01
Desviación estándar		153.53	49.77	28.66	15.27	55.57	3.68	0.02	24.29	123.05	447.06
K.esimo Mayor		707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
K.esimo Menor		0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
K Mayor		1.00									
K Menor		1.00									
Minutos en Rango		10800	10800	10043	10048	10799	10138	10800	10031	10800	10042
desde		0.00	-500.00	100.00	50.00	0.00	50.00	100.00	80.00	0.00	10.00
hasta		750.00	500.00	150.00	70.00	600.00	70.00	150.00	100.00	700.00	2500.00



Tiempos de Operación: Muestra el tiempo y porcentaje del tiempo en el que la unidad se ubico en un rango de operación.

Tiempos de operación de Maquinas 13 y 19

Archivo del: 16-1-04 0:00
al: 23-1-04 12:00
Total: 10800 minutos

Regresar al
Menú

	Operando	En Vacio	En zona de Op Continua	En zona de Op Cont Pref	Eficiencia > 91	
Un 13	10041	10	9963	8479	9958	minutos
Un 19	7550	46	7435	6556	7339	minutos
Un 13	92.97	0.10	99.22	84.44	99.17	%
Un 19	69.91	0.61	99.32	43.97	97.21	%

Ayuda: Hoja que muestra la ayuda de los comando básicos del programa

Ayuda de comandos

A continuación damos una breve explicación de cada comando y sus opciones:

Ir al Menu

Botón Ir al Menú: Muestra el menú principal.

Regresar al
Menú

Botón Regresar al Menú: Muestra el menú principal

Cargar
Archivo

Botón Cargar Archivo: Despliega ventana de archivo que permite seleccionar un archivo de datos que se desea analizar. Al ejecutar este comando se cargaran los datos de fecha del archivo cargado en las casillas "Archivos del, al".

Ver Datos
Estadísticos

Botón Ver Datos Estadísticos: Muestra la hoja que contiene los datos estadísticos de los datos cargados.

Ver Tiempos de
Operación

Botón Ver Tiempos de Operación: Muestra la hoja donde se muestran los tiempos de operación de las maquinas 13 y 19 para un rango de operación dado

Ver Ayuda

Botón Ver Ayuda: Muestra la hoja que contiene de ayuda para la utilización de los comandos del programa.

Ver Grafico

Seleccione un Grafico de la lista
Potencia vs Caudal Un 13 Ordenado

Botón Ver Grafico: Permite visualizar el grafico seleccionado de la lista desplegable, este comando realiza una operación de ordenamiento cada vez que se ejecuta.

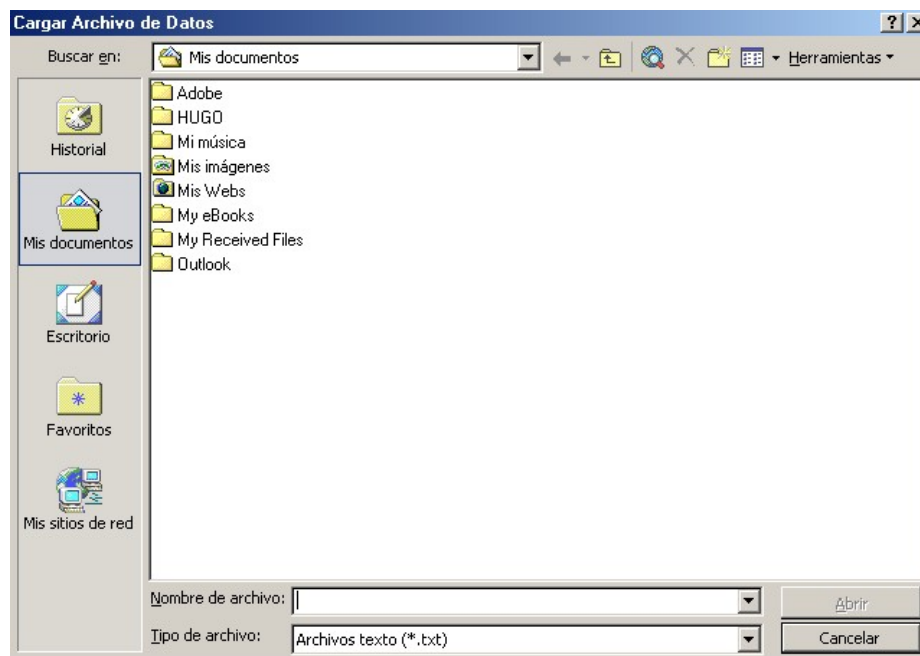
Regresar al
Menú



DatosVib: Es la hoja donde se ubican los datos de las unidades en su totalidad.

Fecha	FechaUniv	MY13	MYAR13	MY19	MYAR19	RPM13	H213	H219	Vib19	Vib13	Temp13	Temp19	CaidaNeta19
16-1-04 0.00	1074225600	626.778015	-72.445648	591.841125	-83.379616	112.59391	60.0344467	60.0334549	91.3905182	138.75177	57.0689735	57.3154068	134.257919
16-1-04 0.01	1074225660	617.170349	-71.151688	600.154785	-82.085655	112.59391	59.9719505	59.9739342	82.503479	125.428986	57.0689735	57.3154068	134.259323
16-1-04 0.02	1074225720	593.458957	-71.798668	596.962271	-82.085655	112.59391	59.9689751	59.9659996	81.0248947	124.930939	57.0689735	57.3154068	134.260773
16-1-04 0.03	1074225780	619.078979	-70.504707	580.29248	-83.379616	112.464813	59.9759178	59.9759178	92.3710556	118.036087	57.0689735	57.3154068	134.260284
16-1-04 0.04	1074225840	642.143799	-67.949135	598.246216	-80.824043	112.464813	60.0056801	60.0046883	87.9353104	139.7323	57.0689735	57.3154068	134.257919
16-1-04 0.05	1074225900	656.894958	-66.655182	608.500854	-80.824043	112.59391	60.027504	60.0265121	86.9547806	147.638809	57.0689735	57.3154068	134.257431
16-1-04 0.06	1074225960	644.731689	-66.655182	608.500854	-81.471024	112.59391	59.9868317	59.9858398	86.9547806	140.728394	57.0689735	57.4995804	134.257431
16-1-04 0.07	1074226020	616.523376	-71.798668	593.749695	-83.379616	112.464813	60.0136147	60.011631	85.4606323	132.837448	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.08	1074226080	594.720154	-73.739609	587.991577	-83.379616	112.464813	59.9719505	59.9719505	78.5657806	126.425087	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.09	1074226140	574.857849	-75.001221	589.253174	-84.026588	112.464813	59.9937744	59.9927826	93.8496323	122.969879	57.0689735	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.10	1074226200	597.308105	-75.001221	573.240417	-86.582161	112.464813	60.0185738	60.0165901	82.0209885	119.997154	57.0689735	57.4995804	134.262685
16-1-04 0.11	1074226260	590.255981	-77.556793	569.390869	-87.876122	112.59391	60.021553	60.0146065	83.4995728	117.53804	57.0689735	57.4995804	134.262177
16-1-04 0.12	1074226320	557.551147	-80.144714	578.998535	-87.876122	112.59391	59.9888153	59.9898071	80.5268478	127.903664	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.13	1074226380	571.655334	-77.556793	582.849083	-86.582161	112.464813	60.0136147	60.0146065	82.0209885	140.728394	56.9781837	57.4995804	134.260773
16-1-04 0.14	1074226440	586.406494	-78.850754	569.390869	-90.431694	112.464813	60.0265121	60.0225449	83.0015259	116.059464	56.9781837	57.4995804	134.262685
16-1-04 0.15	1074226500	612.673828	-73.739609	596.305237	-84.026588	112.59391	60.0235367	60.0255203	92.3710556	131.958871	56.9781837	57.4995804	134.260284
16-1-04 0.16	1074226560	640.235229	-74.35424	602.095703	-86.582161	112.85569	60.1395988	60.1356316	81.0248947	144.666092	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.17	1074226620	650.489868	-75.648201	584.142029	-89.784714	112.59391	59.9957581	59.9947662	80.0443649	152.074554	56.9781837	57.4995804	134.259796
16-1-04 0.18	1074226680	613.967834	-76.942162	588.63895	-89.170082	112.59391	59.9769096	59.9769096	85.4606323	122.471825	56.9781837	57.4995804	134.262177
16-1-04 0.19	1074226740	594.720154	-80.791695	574.502014	-91.078674	112.464813	59.9808807	59.9798889	89.9119415	133.817978	56.9781837	57.4995804	134.263153
16-1-04 0.20	1074226800	608.177368	-78.203773	569.390869	-89.784714	112.464813	59.997232	59.9967499	81.0248947	125.32704	56.9781837	57.4995804	134.262685
16-1-04 0.21	1074226860	635.738708	-76.942162	562.985779	-91.078674	112.59391	60.0413933	60.0403976	78.0677338	143.685662	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0.22	1074226920	648.581238	-73.092628	586.697632	-88.523102	112.59391	60.0394058	60.0374222	85.4606323	148.619354	56.9781837	57.4995804	134.260773
16-1-04 0.23	1074226980	626.131042	-76.942162	581.554138	-89.784714	112.59391	60.0304794	60.0284958	87.4372635	125.428986	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0.24	1074227040	586.406494	-79.497734	593.102722	-88.523102	112.59391	60.0066719	60.0066719	85.9586868	136.775146	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0.25	1074227100	564.60321	-81.406326	595.690613	-88.523102	112.59391	59.9818726	59.9838562	85.4606323	122.471825	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0.26	1074227160	583.203918	-76.295181	600.801758	-84.673569	112.59391	59.9779053	59.9838562	85.4606323	106.191887	56.9781837	57.4995804	134.261688
16-1-04 0.27	1074227220	610.765259	-75.648201	581.554138	-85.935181	112.464813	59.997232	59.9987373	87.9353104	121.491295	56.9781837	57.4995804	134.264557
16-1-04 0.28	1074227280	615.876404	-72.445648	600.154785	-83.379616	112.464813	59.9709587	59.9679832	90.3944244	137.273193	56.9781837	57.4995804	134.256943
16-1-04 0.29	1074227340	610.765259	-71.798668	608.500854	-81.471024	112.464813	60.0175819	60.0136147	93.3671494	137.273193	56.9781837	57.4995804	134.258835
16-1-04 0.30	1074227400	622.281494	-69.890076	612.997375	-79.530083	112.464813	60.0027046	60.000721	85.9586868	131.841354	56.9781837	57.4995804	134.256943
16-1-04 0.31	1074227460	640.235229	-65.39357	629.010132	-76.32753	112.464813	59.9888153	59.9818726	86.9547806	135.794617	56.9781837	57.4995804	134.253601
16-1-04 0.32	1074227520	653.04541	-62.837997	634.800598	-75.03569	112.464813	60.0195694	60.0195694	93.8496323	140.230347	56.9781837	57.4995804	134.255051
16-1-04 0.33	1074227580	641.529175	-64.74659	625.807556	-75.68055	112.59391	59.9977417	59.9977417	97.3048401	140.230347	57.0689735	57.4995804	134.255366
16-1-04 0.34	1074227640	628.07196	-65.39357	634.153564	-75.03569	112.59391	60.0046883	60.000721	88.9158401	134.11604	57.0689735	57.4995804	134.253601
16-1-04 0.35	1074227700	614.614807	-68.596115	631.598022	-76.32753	112.59391	60.0344467	60.0354385	97.3048401	132.339401	57.0689735	57.4995804	134.254562
16-1-04 0.36	1074227760	613.320862	-67.949135	630.304077	-77.62149	112.59391	59.9868317	59.9917908	100.760048	126.90757	57.0689735	57.4995804	134.255539
16-1-04 0.37	1074227820	609.471313	-69.890076	624.545959	-78.268471	112.59391	59.9638562	59.964848	82.503479	126.90757	57.0689735	57.4995804	134.257919
16-1-04 0.38	1074227880	617.817322	-68.596115	625.807556	-78.268471	112.59391	60.0364304	60.0314713	88.9158401	119.016617	57.0689735	57.4995804	134.255051
16-1-04 0.39	1074227940	611.379883	-67.302162	623.251953	-76.97451	112.59391	59.9947662	59.9937744	93.3671494	136.775146	57.0689735	57.4995804	134.259366

Archivos: Ventana desplegable que permite seleccionar un archivo de datos para analizar.





Macros: Hoja que muestra la lista de macros existentes y lista de gráficos. Esta hoja no es accesible a través del menú principal

Nombre	Comando	Comentario	Regresar al Menú
Auto_Open		Estable Pantalla Completa	
Auto_Close		Quita Pantalla Completa	
CargarDatos	Ctrl+Mayús+A	Carga Archivo DatosVib.csv	
IrMenu	Ctrl+Mayús+B	Muestra Hoja con Menu Principal	
OrdenFecha	Ctrl+Mayus+C	Ordena Datos Por Fecha Ascendente	
OrdenMW13	Ctrl+D	Ordena Datos por MW13 ascendente	
OrdenMW19	Ctrl+Mayus+D	Ordena Datos por MW19 ascendente	
OrdenVib13	Ctrl+E	Ordena Datos por Vib13 ascendente	
OrdenVib19	Ctrl+Mayus+E	Ordena Datos por Vib19 ascendente	
OrdenEfic13	Ctrl+F	Ordena Datos por EficTur13 ascendente	
OrdenEfic19	Ctrl+Mayus+F	Ordena Datos por EficTur19 ascendente	
OrdenCau13	Ctrl+G	Ordena Datos por Caudal13 ascendente	
OrdenCau19	Ctrl+Mayus+G	Ordena Datos por Caudal19 ascendente	
OrdenCEX13	Ctrl+H	Ordena Datos por Corriente de Excitación 13 ascendente	
OrdenCEX19	Ctrl+Mayus+H	Ordena Datos por Corriente de Excitación 13 ascendente	
OrdenMvar13	Ctrl+I	Ordena Datos por MVAR13 ascendente	
OrdenMvar19	Ctrl+Mayus+I	Ordena Datos por MVAR19 ascendente	
ConvertirMinutos	Ctrl+M	Herramienta de conversion de minutos	
FiltrarRangoMW13	Ctrl+P	Muestra valores de MW13 en el Rango especificado	
FiltrarRangoMW19	Ctrl+Mayus+P	Muestra valores de MW19 en el Rango especificado	
NoFiltrarFecha	Ctrl+Mayus+W	Quita Filtro de Fecha	
FiltrarFecha	Ctrl+Mayus+X	Muestra valores de Fecha en el Rango especificado	
Mostrar13	Ctrl+Y	Oculto columnas de datos de unidad 19	
Mostrar19	Ctrl+Mayus+Y	Oculto columnas de datos de unidad 13	
NoFiltrar13	Ctrl+Z	Elimina los filtros establecidos para unidad 13	
NoFiltrar19	Ctrl+Mayus+Z	Elimina los filtros establecidos para unidad 19	

Convertir Minutos: Ventana desplegable que muestra una herramienta de conversión de minutos a días, horas y minutos. Se accede desde cualquier punto del programa al presionar Ctrl+M.



6.6 Comandos:

A continuación damos una breve explicación de cada comando y sus opciones:



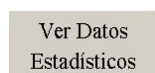
Botón Ir al Menú: Muestra el menú principal.



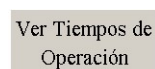
Botón Regresar al Menú: Muestra el menú principal



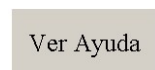
Botón Cargar Archivo: Despliega ventana de archivo que permite seleccionar un archivo de datos que se desea analizar. Al ejecutar este comando se cargaran los datos de fecha del archivo cargado en las casillas “Archivos del, al”.



Botón Ver Datos Estadísticos: Muestra la hoja que contiene los datos estadísticos de los datos cargados.



Botón Ver Tiempos de Operación: Muestra la hoja donde se muestran los tiempos de operación de las maquinas 13 y 19 para un rango de operación dado

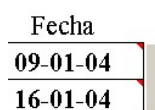


Botón Ver Ayuda: Muestra la hoja que contiene de ayuda para la utilización de los comandos del programa.

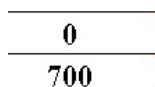


Seleccione un Grafico de la lista
Potencia vs Caudal Un 13 Ordenado

Botón Ver Grafico: Permite visualizar el grafico seleccionado de la lista desplegable, este comando realiza una operación de ordenamiento cada vez que se ejecuta.



Botón Filtrar Fecha: Permite seleccionar un rango de fecha con la finalidad de mostrar un grafico durante el rango de fecha escogido.



☐ Unidad 13
☒ Unidad 19

Botón Filtrar Potencia: Permite seleccionar un rango de potencia con la finalidad de mostrar un grafico solo en el



rango de potencia escogido. Se debe activar la casilla de selección Unidad 13 o Unidad 19 para filtrar el rango de potencia para esa unidad.

☐ Mantener filtros

Casilla Mantener Filtros: Seleccione esta casilla si desea que permanezcan activos los filtros o para hacer combinación de filtrados de fecha y potencia. Advertencia: si se mantiene esta casilla activa y se realiza un filtrado para la Unidad 13 y luego para la Unidad 19 se estaría haciendo un filtrado para ambas unidades.

Quitar Filtros

Botón Quitar Filtros: Este botón elimina los filtros establecidos, es equivalente a presionar Ctrl+Q.

Comandos de Hoja de Datos Estadísticos:

UN13
UN19

Botones de UN13 y UN19: Seleccione uno de estos botones para mostrar los datos estadísticos de la unidad respectiva.

Matriz de Datos Estadísticos: Muestra los datos estadísticos para la señal indicada en el título de la columna.

MW13	MVAR13	RPM13	HZ13	Vib13	Temp13	CaidaNeta13	EficTur13	Caudal13	CCEX13
707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
86.96	41.99	14.62	7.77	32.00	1.77	0.01	12.43	69.92	243.98
0.00	0.00	112.59	0.00	125.93	57.16	134.27	0.10	0.00	3.11
563.96	-89.75	112.59	60.00	128.64	57.16	134.25	95.07	450.86	1638.90
693.47	-71.69	121.10	64.52	151.37	61.38	144.39	102.99	553.97	1940.01
153.53	49.77	28.66	15.27	55.57	3.68	0.02	24.29	123.05	447.06
707.52	54.46	112.86	63.43	451.56	58.26	134.28	97.46	569.21	2099.73
0.00	-181.46	0.00	0.00	-8.76	37.93	134.19	0.10	0.00	0.00
1.00									
1.00									
10800	10800	10043	10048	10799	10138	10800	10031	10800	10042
0.00	-500.00	100.00	50.00	0.00	50.00	100.00	80.00	0.00	10.00
750.00	500.00	150.00	70.00	600.00	70.00	150.00	100.00	700.00	2500.00



Características Estadísticas: Esta columna muestra que característica estadística se muestra en la fila adyacente. Las casillas con pestañas rojas poseen un comentario.

Valor Máximo
Valor Mínimo
Desviación Promedio
Moda
Mediana
Promedio
Desviación estándar
K.esimo Mayor
K.esimo Menor
K Mayor
K Menor
Minutos en Rango
desde
hasta

Comandos de Hoja de Tiempos de Operación: Esta hoja solo muestra una tabla que indica el tiempo de operación de la unidad en distintas zonas de operación. Posee una casilla en la que se puede introducir el valor de eficiencia para observar el tiempo de operación de la unidad por encima de esta eficiencia.

	Operando	En Vacio	En zona de Op Continua	En zona de Op Cont Pref	Eficiencia >	
					91	
Un 13	10041	10	9963	8479	9958	minutos
Un 19	7550	46	7435	6556	7339	minutos
Un 13	92.97	0.10	99.22	84.44	99.17	%
Un 19	69.91	0.61	99.32	43.97	97.21	%



6.7 Listado de Macros:

A continuación mostramos la lista de macros empleadas en la hoja de cálculo del programa Analisis.xls:

Nombre	Comando	Comentario
Auto_Open		Establece Pantalla Completa
Auto_Close		Quita Pantalla Completa
CargarDatos	Ctrl+Mayús+A	Carga Archivo DatosVib.txt
IrMenu	Ctrl+Mayús+B	Muestra Hoja con Menú Principal
OrdenFecha	Ctrl+Mayus+C	Ordena Datos Por Fecha Ascendente
OrdenMW13	Ctrl+D	Ordena Datos por MW13 ascendente
OrdenMW19	Ctrl+Mayus+D	Ordena Datos por MW19 ascendente
OrdenVib13	Ctrl+E	Ordena Datos por Vib13 ascendente
OrdenVib19	Ctrl+Mayus+E	Ordena Datos por Vib19 ascendente
OrdenEfic13	Ctrl+F	Ordena Datos por EficTur13 ascendente
OrdenEfic19	Ctrl+Mayus+F	Ordena Datos por EficTur19 ascendente
OrdenCau13	Ctrl+G	Ordena Datos por Caudal13 ascendente
OrdenCau19	Ctrl+Mayus+G	Ordena Datos por Caudal19 ascendente
OrdenCEX13	Ctrl+H	Ordena Datos por Corriente de Excitación 13 ascendente
OrdenCEX19	Ctrl+Mayus+H	Ordena Datos por Corriente de Excitación 13 ascendente
OrdenMvar13	Ctrl+I	Ordena Datos por MVAR13 ascendente
OrdenMvar19	Ctrl+Mayus+I	Ordena Datos por MVAR19 ascendente
ConvertirMinutos	Ctrl+M	Herramienta de conversión de minutos
FiltrarRangoMW13	Ctrl+P	Muestra valores de MW13 en el Rango especificado
FiltrarRangoMW19	Ctrl+Mayus+P	Muestra valores de MW19 en el Rango especificado
QuitarFiltros	Ctrl+Q	Quita Todos los filtros de Fecha y Potencia
NoFiltrarFecha	Ctrl+Mayus+W	Quita Filtro de Fecha
FiltrarFecha	Ctrl+Mayus+X	Muestra valores de Fecha en el Rango especificado
Mostrar13	Ctrl+Y	Oculto columnas de datos de unidad 19
Mostrar19	Ctrl+Mayus+Y	Oculto columnas de datos de unidad 13
NoFiltrar13	Ctrl+Z	Elimina los filtros establecidos para unidad 13
NoFiltrar19	Ctrl+Mayus+Z	Elimina los filtros establecidos para unidad 19



6.8 Listado de Gráficos

A continuación mostramos la lista de gráficos mostrados en la aplicación Analisis.xls:

Gráficos	Descripción	Unidad
Grafico 1	Potencia y Vibraciones Un 13 por Fecha	13
Grafico 2	Potencia y Vibraciones Un 19 por Fecha	19
Grafico 1B	Potencia y Vibraciones Un 13 Ordenado	13
Grafico 2B	Potencia y Vibraciones Un 19 Ordenado	19
Grafico 3	Vibraciones vs Eficiencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 4	Vibraciones vs Eficiencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 5	Efic, Vibrac. y Potencia vs Caudal Un 13 Ordenado	13
Grafico 6	Efic, Vibrac. y Potencia vs Caudal Un 19 Ordenado	19
Grafico 7	Vibraciones vs Potencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 8	Vibraciones vs Potencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 9	Corriente de Excitación y Vibración Un 13 Ordenado	13
Grafico 10	Corriente de Excitación y Vibración Un 19 Ordenado	19
Grafico 11	Datos Lentos Un 13 por Fecha	13
Grafico 12	Datos Lentos Un 19 por Fecha	19
Grafico 13	Datos Rápidos Un 13 por Fecha	13
Grafico 14	Datos Rápidos Un19 por Fecha	19
Grafico 15	Eficiencia vs Potencia Un 13 Ordenado	13
Grafico 16	Eficiencia vs Potencia Un 19 Ordenado	19
Grafico 17	Vibración y Temperatura Un 13 Ordenado	13
Grafico 18	Vibración y Temperatura Un 19 Ordenado	19



ANEXO B

VIBRACIONES.SQL

Código del archivo:

REM vibraciones.sql creado por Ruben Peña y Guido Bassotti

REM Fecha: 20 de Octubre 2003

REM

REM Propósito:

REM Lista el C0401_AID, C0432_DATE y C0432_SAMPL_VALUE1_R

REM de las tablas T0432_DATA_01 a la T0432_DATA_09 con C0401_AID iguales a:

REM 79 - 289 - 86 - 296 - 726 - 727 - 729 - 728 - 502 - 734 -

REM 730 - 731 - 733 - 732 - 2619 - 2703

REM

REM Datos almacenados: UN-13 UN-19

REM Potencia Activa AN-55 79 289

REM Potencia Reactiva AN-56 86 296

REM Frecuencia AN-104 726 727

REM Vibración Turbina AN-16729 728

REM Velocidad AN-03 502 734

REM Temp. Turbina AN-11 730 731

REM Caída Neta AN-98 733 732

REM Corriente Excitación 2619 2703

REM Códigos de datos con muestreo de 1min/semana

REM

REM Revisiones:

REM -----

REM 1) Se colocaron códigos de Maquinas 13 y 19 (10-11-2003)

REM 2) Se colocaron ',', se cambio a extensión .CSV

REM se realizó unión y order by (17-11-2003)

REM 3) Corrección Union y where in (18-11-2003)

REM -----

REM **Configuración**

set pagesize 80

set pages 0

set lines 120

set echo off

set term off

set show off

set verify off

set feedback off

set heading off

set newpage 0

REM **Abrir archivo**

spool /caer/err/vibraciones.csv

REM **Datos de fecha**

select 'Listado producido el: ' || to_char(sysdate,'dd-mm-yyyy') || ' a las: '



```
|| to_char(sysdate,'hh:mi:ss')
from dual
/
REM **Datos de Tablas**
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_01
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_02
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_03
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_04
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_05
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_06
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_07
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_08
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
union
(select C0401_AID,',', C0432_DATE,',', C0432_SAMPL_VALUE1_R,', ' from T0432_DATA_09
where C0401_AID IN ( 79, 289, 86, 296, 726, 727, 729, 728, 502, 734, 730, 731, 733, 732, 2619, 2703,
817, 818, 819, 820) )
order by C0432_DATE ASC, C0401_AID ASC
/
spool off
exit
```



ANEXO C

ORDENDATOS.C

Codigo Fuente:

```
/* Programa de Ordenamiento de Datos en
Columnas realizado por Rodolfo Verde,
Noviembre 2003 */
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int TAM = -1;
```

```
char STATE[300][13];
```

```
unsigned char strblank( char *inpstr)
```

```
{
    int i;
    int blank;
    blank = 1;
    i=0;
    while ((i < strlen(inpstr)) && (blank))
    {
        if (inpstr[i] != "")
            blank =0;
        i++;
    }
    return blank ;
}
```

```
int parse(
```

```
    char *inpstr,
    int maxchar,
    int *pti,
    char *outstr)
```

```
{
    char *pto;
    int i;

    pto = ostr;
    i = *pti;

    while ((inpstr[i] == ' ') && (i < maxchar))
        i++;
    while ((i < maxchar) && (inpstr[i] != '\n') &&
(inpstr[i] != '\r') && (inpstr[i] != ','))
    {
        if (inpstr[i] != "")
        {
            if ((inpstr[i] >= 'a') && (inpstr[i] <= 'z'))
```

```
                inpstr[i] &= ~32;
```

```
*pto = inpstr[i];
```

```
pto++;
```

```
    }
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
*pto = 0;
```

```
i++;
```

```
*pti = i;
```

```
return 1;
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```

```
    char inpfilename[40];
```

```
    char outfile[40];
```

```
    FILE *txtfp;
```

```
    FILE *txlfp;
```

```
    char inpline[250];
```

```
    char C_ID[15];
```

```
    char C_FECHA[15];
```

```
    char C_VALOR[15];
```

```
    char C_FECHA_ANT[15];
```

```
    int i;
```

```
    int j;
```

```
    int k;
```

```
    int indice;
```

```
    int found;
```

```
    int count;
```

```
    strcpy(inpfilename, "/caer/err/vibraciones.csv");
```

```
    if ((txtfp = fopen(inpfilename, "rt")) == NULL)
```

```
    {
```

```
        printf("\nArchivo de entrada para Orden de
Datos? vibraciones.csv");
```

```
        gets(inpfilename);
```

```
        if ((txtfp = fopen(inpfilename, "rt")) ==
NULL)
```

```
        {
```



```
        goto EXIT;
    }
    else
    {
        printf("\nArchivo          abierto
correctamente");
    }
}

strcpy(outfilename, "/caer/err/DatosVib.txt");
tx1fp = fopen(outfilename, "wt");

fprintf(tx1fp, "\n");

i=0;
strcpy(C_FECHA, "NADA");

while (!feof(txtfp))
{
    fgets(inpline, sizeof(inpline), txtfp);

    if (feof(txtfp))
        goto END_OF;

    parse(inpline, sizeof(inpline), &i, C_ID);

    if (strblank(C_ID))
    {
        strcpy(C_FECHA, "");
        strcpy(C_VALOR, "");
    }
    else
    {
        parse(inpline, sizeof(inpline), &i,
C_FECHA);
        parse(inpline, sizeof(inpline), &i,
C_VALOR);

        if (strcmp(C_FECHA, C_FECHA_ANT)
== 0)
        {
            fprintf(tx1fp, ";%s", C_VALOR);
        }
        else
        {
            fprintf(tx1fp, "\n%s", C_FECHA);
            fprintf(tx1fp, ";%s", C_VALOR);

            strcpy(C_FECHA_ANT, C_FECHA);
        }
    }
    i=0;
}

END_OF:
    fclose(txtfp);
    fclose(tx1fp);

EXIT:
    ;
}
```



ANEXO D

Script UNIX Vibraciones

Código del archivo:

```
#!/bin/ksh
#-----
# TITLE   : Recolector de Datos de unidades 13 y 19
# PURPOSE : Toma los datos semanales de las unidades 13 y 19, ejecuta script sql
#          y deja respaldo de la informacion de la semana anterior.
# AUTHOR  : Ruben Peña y Guido Bassotti
# DATE    : Noviembre 2003
#-----

./caer/etc/setenv.ksh
sqlplus  ecs/ecsecs  @$CAERROOT/etc/vibraciones.sql  $CAERROOT/err/vibraciones.log  >
/dev/null

$CAERROOT/etc/a.out
cp $CAERROOT/err/DatosVib.txt.gz $CAERROOT/err/DatosVibOld.gz
gzip $CAERROOT/err/DatosVib.txt
echo "Script Vibraciones ejecutado"
```



ANEXO E

MACROS EXCEL

A continuación se presenta el código de la macros realizadas en lenguaje Visual Basic y empleadas en la hoja de calculo Analisis.xls:

```
Sub Auto_Open()  
'  
' Macro3 Macro  
' Macro grabada el 21/01/2004 por Guido Bassotti  
'  
'  
    Application.DisplayFullScreen = True  
    Application.CommandBars("Full Screen").Visible =  
False  
    Sheets("Portada").Select  
  
End Sub  
Sub Auto_Close()  
'  
' Macro3 Macro  
' Macro grabada el 21/01/2004 por Guido Bassotti  
'  
'  
    Application.DisplayFullScreen = False  
  
End Sub  
Sub Ayuda()  
'  
' Ayuda Macro  
' Macro grabada el 03/02/2004 por Guido Bassotti  
'  
    Sheets("Ayuda").Select  
End Sub  
Sub CargarDatos()  
'  
' CargarDatos Macro  
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti  
'  
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+A  
'  
    MsgBox "Recuerde Abrir un Archivo de datos y  
establecer configuracion regional adecuada",  
vbExclamation  
  
    Archivo = Application.GetOpenFilename( _  
        fileFilter:="Archivos texto (*.txt),*.txt,Archivos  
(*.*),*.*,Archivos Excel (*.xls),*.xls,Archivos CSV  
(*.*),*.csv", _  
        Title:="Cargar Archivo de Datos")  
  
    If Archivo = "Falso" Then  
        End  
    End If  
  
    Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrar13"  
    Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrar19"  
    Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrarFecha"  
  
    Workbooks.Open Archivo, _  
        Format:=4 ' Abre archivo escogido en formato  
texto  
    Ruta = ThisWorkbook.Path ' Lee Ruta de Archivo  
  
    Range("A4:U10804").Select  
    Selection.Copy  
    Windows("Analisis.xls").Activate  
    Sheets("DatosVib").Select  
    Range("B4").Select  
    ActiveSheet.Paste  
    Range("A4,A10804").Select  
    Selection.Copy  
    Sheets("Menu").Select  
    Range("C3").Select  
    ActiveSheet.Paste  
    Range("B5").Select  
    ActiveCell.FormulaR1C1 = Archivo  
  
    ' Maximas Vibraciones Unidad 13  
    Sheets("DatosVib").Select  
    Range("A3").Select  
    Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select  
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select  
    Selection.Sort Key1:=Range("K4"),  
Order1:=xlDescending, Key2:=Range("C4") _  
        , Order2:=xlDescending, Header:=xlGuess,  
OrderCustom:=1, MatchCase:= _  
        False, Orientation:=xlTopToBottom  
    Range("A4,K4,C4,A5,C5,K5").Select  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.Copy  
    Sheets("Menu").Select  
    Range("E12").Select  
    ActiveSheet.Paste  
  
    ' Maximas Vibraciones Unidad 19  
    Sheets("DatosVib").Select  
    Range("A3").Select
```



```
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Sort Key1:=Range("J4"),
Order1:=xlDescending, Key2:=Range("E4") _
, Order2:=xlDescending, Header:=xlGuess,
OrderCustom:=1, MatchCase:= _
False, Orientation:=xlTopToBottom
Range("A4,E4,A5,E5,J4,J5").Select
Selection.Copy
Sheets("Menu").Select
Range("E16").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
End Sub
```

```
Sub IrMenu()
```

```
'
' IrMenu Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+B
'
```

```
Sheets("Menu").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub VerTiempos()
```

```
'
' VerTiempos Macro
' Macro grabada el 26/01/2004 por Guido Bassotti
'
```

```
Sheets("Tiempos").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub VerEstadisticos()
```

```
'
' VerEstadisticos Macro
' Macro grabada el 26/01/2004 por Guido Bassotti
'
```

```
Sheets("Estadisticos").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub VerGrafico()
```

```
'
' VerGrafico Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
```

```
Range("F2").Select
```

```
Numero = ActiveCell.FormulaR1C1
```

```
If Numero = 1 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico1").Select
```

```
ElseIf Numero = 2 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico2").Select
```

```
ElseIf Numero = 3 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
```

```
Sheets("Gráfico1").Select
```

```
ElseIf Numero = 4 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
```

```
Sheets("Gráfico2").Select
```

```
ElseIf Numero = 5 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenEfic13"
```

```
Sheets("Gráfico5").Select
```

```
ElseIf Numero = 6 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenEfic19"
```

```
Sheets("Gráfico6").Select
```

```
ElseIf Numero = 7 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCau13"
```

```
Sheets("Gráfico7").Select
```

```
ElseIf Numero = 8 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCau19"
```

```
Sheets("Gráfico8").Select
```

```
ElseIf Numero = 9 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
```

```
Sheets("Gráfico9").Select
```

```
ElseIf Numero = 10 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
```

```
Sheets("Gráfico10").Select
```

```
ElseIf Numero = 11 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCEX13"
```

```
Sheets("Gráfico11").Select
```

```
ElseIf Numero = 12 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCEX19"
```

```
Sheets("Gráfico12").Select
```

```
ElseIf Numero = 13 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico13").Select
```

```
ElseIf Numero = 14 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico14").Select
```

```
ElseIf Numero = 15 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico15").Select
```

```
ElseIf Numero = 16 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
```

```
Sheets("Gráfico16").Select
```

```
ElseIf Numero = 17 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
```

```
Sheets("Gráfico17").Select
```

```
ElseIf Numero = 18 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
```

```
Sheets("Gráfico18").Select
```

```
ElseIf Numero = 19 Then
```

```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenVib13"
```

```
Sheets("Gráfico19").Select
```

```
ElseIf Numero = 20 Then
```



```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenVib19"
Sheets("Gráfico20").Select
End If

Application.CommandBars("Chart").Visible = False

End Sub
Sub Mostrar13()
'
' Mostrar13 Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: CTRL+y
'
    Sheets("Estadísticos").Select
    Columns("A:V").Select
    Selection.EntireColumn.Hidden = False
    Range("B4:U13").Select
    Selection.NumberFormat = "0.00"

Range("D:D,E:E,H:H,I:I,L:L,M:M,O:O,Q:Q,S:S,U:U").
Select
    Range("U1").Activate
    Selection.EntireColumn.Hidden = True
    ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=16
    Range("A1").Select
End Sub
Sub Mostrar19()
'
' Mostrar19 Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+Y
'
    Sheets("Estadísticos").Select
    Columns("A:V").Select
    Selection.EntireColumn.Hidden = False
    Range("B4:U13").Select
    Selection.NumberFormat = "0.00"

Range("B:B,C:C,F:F,G:G,J:J,K:K,N:N,P:P,R:R,T:T").Se
lect
    Range("T1").Activate
    Selection.EntireColumn.Hidden = True
    ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=12
    Range("A1").Select
End Sub

Sub IrMenu()
'
' IrMenu Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+B
'
    Sheets("Menu").Select
End Sub
Sub VerTiempos()
'
' VerTiempos Macro
' Macro grabada el 26/01/2004 por Guido Bassotti
'
    Sheets("Tiempos").Select
End Sub
Sub VerEstadísticos()
'
' VerEstadísticos Macro
' Macro grabada el 26/01/2004 por Guido Bassotti
'
    Sheets("Estadísticos").Select
End Sub
Sub VerGrafico()
'
' VerGrafico Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
    Range("F2").Select
    Numero = ActiveCell.FormulaR1C1
    If Numero = 1 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
        Sheets("Gráfico1").Select
    ElseIf Numero = 2 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
        Sheets("Gráfico2").Select
    ElseIf Numero = 3 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
        Sheets("Gráfico1").Select
    ElseIf Numero = 4 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
        Sheets("Gráfico2").Select
    ElseIf Numero = 5 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenEfic13"
        Sheets("Gráfico5").Select
    ElseIf Numero = 6 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenEfic19"
        Sheets("Gráfico6").Select
    ElseIf Numero = 7 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenCau13"
        Sheets("Gráfico7").Select
    ElseIf Numero = 8 Then
        Application.Run "Análisis.xls!OrdenCau19"
        Sheets("Gráfico8").Select
    ElseIf Numero = 9 Then
```




```
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
Sheets("Gráfico9").Select
ElseIf Numero = 10 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
Sheets("Gráfico10").Select
ElseIf Numero = 11 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCEX13"
Sheets("Gráfico11").Select
ElseIf Numero = 12 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenCEX19"
Sheets("Gráfico12").Select
ElseIf Numero = 13 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
Sheets("Gráfico13").Select
ElseIf Numero = 14 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
Sheets("Gráfico14").Select
ElseIf Numero = 15 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
Sheets("Gráfico15").Select
ElseIf Numero = 16 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenFecha"
Sheets("Gráfico16").Select
ElseIf Numero = 17 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW13"
Sheets("Gráfico17").Select
ElseIf Numero = 18 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenMW19"
Sheets("Gráfico18").Select
ElseIf Numero = 19 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenVib13"
Sheets("Gráfico19").Select
ElseIf Numero = 20 Then
Application.Run "Análisis.xls!OrdenVib19"
Sheets("Gráfico20").Select
End If

Application.CommandBars("Chart").Visible = False

End Sub
Sub Mostrar13()
'
' Mostrar13 Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: CTRL+y
'

Sheets("Estadísticos").Select
Columns("A:V").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = False
Range("B4:U13").Select
Selection.NumberFormat = "0.00"

Range("D:D,E:E,H:H,I:I,L:L,M:M,O:O,Q:Q,S:S,U:U").
Select

Range("U1").Activate
Selection.EntireColumn.Hidden = True
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=16
Range("A1").Select
End Sub
Sub Mostrar19()
'
' Mostrar19 Macro
' Macro grabada el 25/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+Y
'

Sheets("Estadísticos").Select
Columns("A:V").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = False
Range("B4:U13").Select
Selection.NumberFormat = "0.00"

Range("B:B,C:C,F:F,G:G,J:J,K:K,N:N,P:P,R:R,T:T").Se
lect
Range("T1").Activate
Selection.EntireColumn.Hidden = True
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=12
Range("A1").Select
End Sub

Sub FiltrarFecha()
'
' FiltrarFecha Macro
' Macro grabada el 23/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+X
'

Range("Menu!a13").Select
Rango1 = ">=" + ActiveCell.FormulaR1C1
Range("Menu!a14").Select
Rango2 = "<" + Str(Int(ActiveCell.FormulaR1C1 +
1)) ' Incluye día indicado

Range("Menu!c14").Select
Mantener = ActiveCell.FormulaR1C1
If Mantener = "FALSE" Then
Application.Run "Análisis.xls!NoFiltrar13"
Application.Run "Análisis.xls!NoFiltrar19"
End If
Sheets("DatosVib").Select
Selection.AutoFilter Field:=1, Criteria1:=Rango1,
Operator:=xlAnd, _
Criteria2:=Rango2
Sheets("Menu").Select

End Sub
Sub OrdenFecha()
'
```



```
' OrdenFecha Macro
' Macro grabada el 23/01/2004 por Guido Bassotti
```

```
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+V
```

```
Sheets("DatosVib").Select
Range("A3").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Sort Key1:=Range("B4"),
Order1:=xlAscending, Header:=xlGuess, _
OrderCustom:=1, MatchCase:=False,
Orientation:=xlTopToBottom
Sheets("Menu").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub NoFiltrarFecha()
```

```
' DesfltrarFecha Macro
' Macro grabada el 23/01/2004 por Guido Bassotti
```

```
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+W
```

```
Sheets("DatosVib").Select
Selection.AutoFilter Field:=1
```

```
End Sub
```

```
Sub ConvertirMinutos()
```

```
' ConvertirMinutos Macro
' Macro grabada el 03/02/2004 por Guido Bassotti
```

```
' Acceso directo: CTRL+m
```

```
Dias = 0
Horas = 0
Minutos2 = 0
Minutos = InputBox("Ingrese los minutos a convertir:",
Title:="Convertir Minutos a Dias Horas Minutos",
Default:=100)
If Minutos = "" Then
End
End If
Minutos = CInt(Minutos)
Dias = Int((Minutos / (24 * 60)))
Horas = Int(((Minutos - (Dias * 24 * 60)) / 60))
Minutos2 = Int((Minutos - Horas * 60 - Dias * 24 * 60))
MsgBox "El tiempo total es: " & Dias & " dias " &
Horas & " horas " & Minutos2 & " minutos ",
Title:="Resultado"
```

```
End Sub
```

```
Sub QuitarFiltros()
```

```
' QuitarFiltros Macro
' Macro grabada el 06/02/2004 por Guido Bassotti
```

```
' Acceso directo: CTRL+q
```

```
Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrar13"
Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrar19"
Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrarFecha"
Sheets("Menu").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub FiltrarPotencia()
```

```
' FiltrarPotencia Macro
' Macro grabada el 03/02/2004 por Guido Bassotti
```

```
Range("Menu!c18").Select
Unidad = ActiveCell.FormulaR1C1
If Unidad = 1 Then
Application.Run "Analisis.xls!FiltrarRangoMW13"
Else
Application.Run "Analisis.xls!FiltrarRangoMW19"
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub FiltrarRangoMW13()
```

```
' FiltrarRangoMW13 Macro
' Macro grabada el 21/01/2004 por Guido Bassotti
```

```
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+P
```

```
Range("Menu!a16").Select
Rango1 = ">=" + ActiveCell.FormulaR1C1
Range("Menu!a17").Select
Rango2 = "<=" + ActiveCell.FormulaR1C1
```

```
Range("Menu!c14").Select
Mantener = ActiveCell.FormulaR1C1
If Mantener = "FALSE" Then
Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrar19"
Application.Run "Analisis.xls!NoFiltrarFecha"
End If
```

```
Sheets("DatosVib").Select
Selection.AutoFilter Field:=3, Criteria1:=Rango1,
Operator:=xlAnd, _
Criteria2:=Rango2
Sheets("Menu").Select
```



```
End Sub
Sub FiltrarRangoMW19()
'
' FiltrarRangoMW19 Macro
' Macro grabada el 21/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: CTRL+p
'
    Range("Menu!a16").Select
    Rango1 = ">=" + ActiveCell.FormulaR1C1
    Range("Menu!a17").Select
    Rango2 = "<=" + ActiveCell.FormulaR1C1

    Range("Menu!c14").Select
    Mantener = ActiveCell.FormulaR1C1
    If Mantener = "FALSE" Then
        Application.Run "Análisis.xls!NoFiltrar13"
        Application.Run "Análisis.xls!NoFiltrarFecha"
    End If

    Sheets("DatosVib").Select
    Selection.AutoFilter Field:=5, Criteria1:=Rango1,
Operator:=xlAnd, _
        Criteria2:=Rango2
    Sheets("Menu").Select
```

```
End Sub
Sub NoFiltrar13()
'
' Desfiltrar13 Macro
' Macro grabada el 20/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: CTRL+z
'
    Sheets("DatosVib").Select
    Selection.AutoFilter Field:=3

End Sub
Sub NoFiltrar19()
'
' Desfiltrar19 Macro
' Macro grabada el 21/01/2004 por Guido Bassotti
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+Z
'
    Sheets("DatosVib").Select
    Selection.AutoFilter Field:=5

End Sub
```



ANEXO F

NORMAS

ISO 7919-5:1997(E)

© ISO

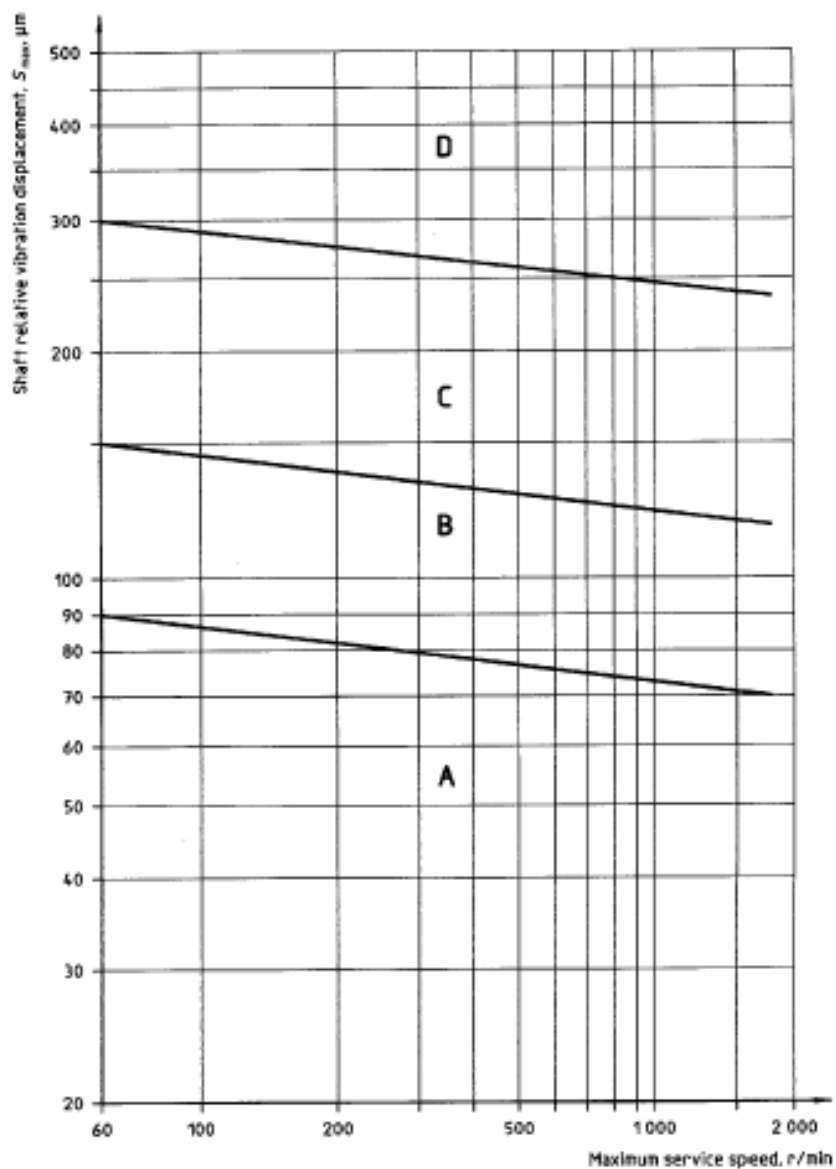


Figure A.1 — Recommended evaluation zones for the maximum vibratory displacement in the plane of measurement, S_{max} , of hydraulic machines or machine sets, valid for turbine operation within the contractually permissible steady-state load range

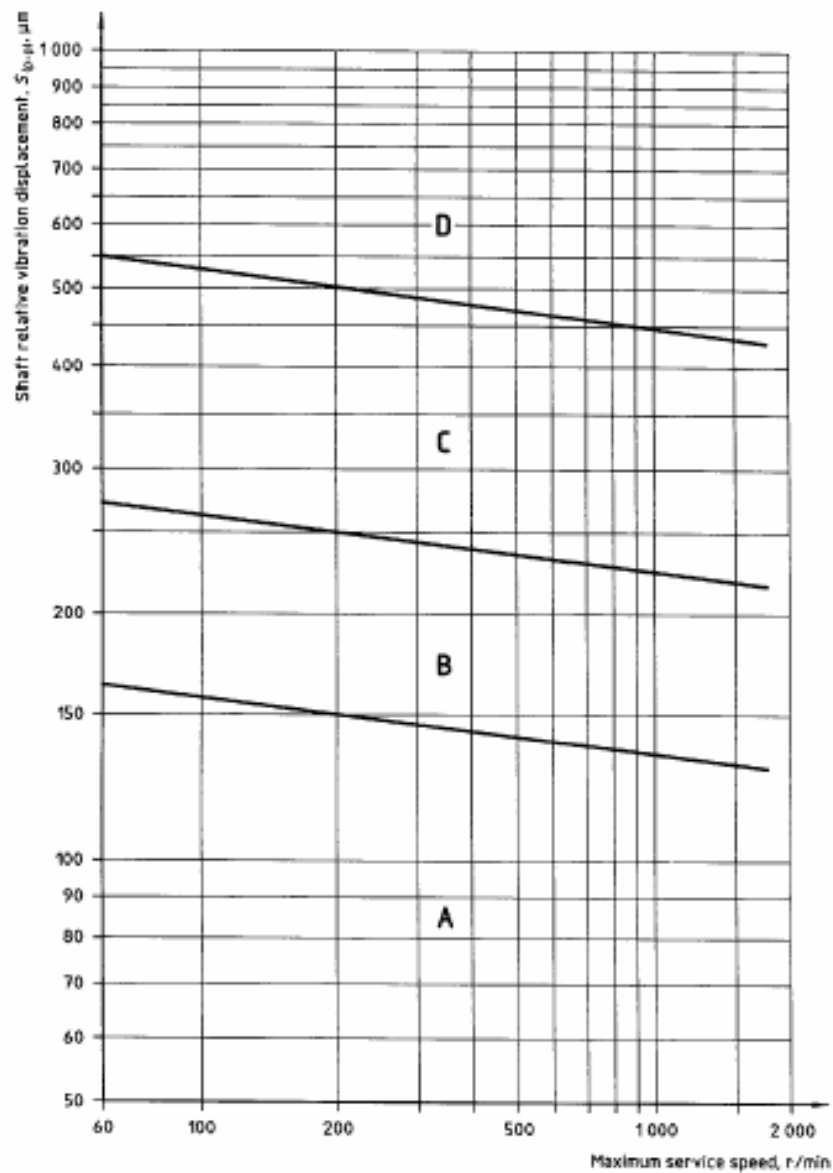


Figure A.2 — Recommended evaluation zones for the vibratory displacement peak-to-peak in the direction of measurement, $S_{(p-p)}$, of hydraulic machines or machine sets, valid for turbine operation within the contractually permissible steady-state load range



ISO 13380:2002(E)

Annex A (informative)

Examples of parameters related to performance for a range of machine types

Table A.1 — Performance parameters by machine type

Performance parameter	Machine type								
	Electric motor	Steam turbine	Aero gas turbine	Industrial gas turbine	Pump	Compressor	Electric generator	RIC engine	Fan
Temperature	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pressure		*	*	*	*	*	*	*	*
Pressure (head)					*				
Pressure ratio			*	*		*			
Air flow			*			*		*	*
Fuel flow			*	*				*	
Fluid flow		*			*	*			
Current	*						*		
Voltage	*						*		
Resistance	*						*		
Input power	*				*	*	*		*
Output power	*	*		*			*	*	
Noise	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vibration	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil pressure	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil consumption	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil (tribology)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Torque	*	*				*	*	*	
Speed	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Length		*							
Angular position		*	*	*		*			
Efficiency (derived)		*	*	*	*	*		*	

* Indicates measurement of performance parameter may be applicable for condition monitoring.



Examples of faults indicated by performance parameter change

Tables C.1 to C.9 show a range of typical faults for each selected machine type. The faults are then correlated with a range of symptoms or parameters which can change or be influenced if the fault occurs.

ISO 13380:2002(E)

Table C.8 — Electric generators

Machine type: Electric generators	Symptom or parameter change												
Fault	Current	Voltage	Resistance	Partial discharge	Power	Torque	RF (Radio Frequency) emissions	Vibration	Temperature	Coast down	Axial flux	Oil debris	Cooling gas
Rotor windings	*							*	*		*		*
Stator windings	*							*	*		*		*
Eccentric rotor	*							*			*		
Brush(es) fault	*	*			*	*	*		*				
Bearing damage						*		*	*	*		*	
Insulation deterioration	*	*	*	*									*
Loss of output power phase	*	*						*					
Unbalance								*					
Misalignment								*					

* Indicates symptom may occur or parameter may change if fault occurs.