



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PREDICCIÓN DE FALLAS MECÁNICAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA HYUNDAI- H21/32 EN LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CELEC EP CENTRAL SACHA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

MIGUEL ÁNGEL MERINO CRIOLLO
miguel.merino01@epn.edu.ec

GABRIEL ALEJANDRO ROMERO GRANDA
gabriel.romero@epn.edu.ec

DIRECTOR: CESAR RICARDO AYABACA PhD.
cesar.ayabaca@epn.edu.ec

CODIRECTOR: WHASHINGTON SALVATORE REINA GUZMAN PhD.
salvatore.reina@epn.edu.ec

Quito, agosto 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: Miguel Ángel Merino Criollo y Gabriel Alejandro Romero Granda, bajo mi supervisión.

César Ayabaca Ph.D.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Miguel Ángel Merino Criollo y Gabriel Alejandro Romero Granda, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Miguel Ángel Merino Criollo

Gabriel Alejandro Romero Granda

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y esposa.

Miguel Ángel Merino Criollo

A mis padres, Edison e Hilda, por todo el apoyo emocional y económico que me han brindado a lo largo de toda mi vida y estudios, y que con su sabiduría y amor han sabido forjar la persona que hoy en día soy.

A mis hermanos, Andrés y Mateo, que siempre estuvieron presentes a lo largo de este camino de estudios, ya que nunca hubo ninguna circunstancia en la que sus consejos o mensajes de apoyo faltaron.

A mi novia, Grace, por ser aquella persona que ha recorrido este camino conmigo y que me ha sabido brindar un fuerte apoyo emocional, lo que sin lugar a duda me ha ayudado y motivado a entregar siempre lo mejor de mí.

Por último, pero más importante, a Dios, por prestarme salud y vida, y darme la posibilidad de cumplir uno de mis grandes sueños.

Gabriel Alejandro Romero Granda

AGRADECIMIENTO

A mis tutores del presente proyecto quienes con su atención y su tiempo nos prestaron su ayuda, así al personal inspector y técnico de la empresa termoeléctrica CELEC EP Sacha por su apoyo y asistencia en el ingreso a la planta y el uso de equipo analizador de vibraciones.

Miguel Ángel Merino Criollo

A mis tutores del presente proyecto, por haber brindado su tiempo y esfuerzo.

A mi compañero de proyecto, Miguel, por haber sido persistente y haber brindado mucho de su tiempo y esfuerzo para poder cumplir este objetivo.

Al personal de la empresa termoeléctrica CELEC EP Sacha, por la apertura y disponibilidad de equipos, y en especial al Ing. Edison Zurita, por haber brindado su tiempo, esfuerzo y consejos en el desarrollo del proyecto.

A mi hermano, Andrés, por haberme brindado muchos consejos a lo largo de este proyecto que sin lugar a duda fueron de mucha ayuda.

Gabriel Alejandro Romero Granda

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
ACRÓNIMOS.....	xvi
GLOSARIO	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
PRESENTACIÓN.....	xx
INTRODUCCIÓN	1
Pregunta de Investigación	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Alcance	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Generalidades y ubicación de la empresa.....	3
1.2. Técnicas de monitoreo por condición para predicción de fallas.	4
1.2.1. Análisis de contaminación en aceite.....	4
1.2.2. Análisis por termografía	4
1.2.3. Análisis por ultrasonido	4
1.2.4. Análisis por vibraciones.....	5
1.2. Generalidades de los motores generadores o MDU.	5
1.2.1. Ciclos de trabajo, parámetros y condiciones de funcionamiento	6
1.2.2. Orden de encendido	6
1.2.3. Ángulo de desfase del encendido	7
1.2.4. Diagrama de distribución (Ángulo de apertura y cierre de válvulas).....	7
1.3. Componentes principales del motor Hyundai 9H21/32.....	8
1.3.1. Pistón.....	8

1.3.2.	Biela.....	10
1.3.3.	Cigüeñal.....	11
1.3.4.	Válvulas	11
1.3.5.	Árbol de levas.....	12
1.3.6.	Balancín.....	12
1.4.	Programa de mantenimiento CELEC e histórico de órdenes de trabajo de los motores Hyundai 9H21/32	12
1.4.1.	Cronograma.....	13
1.4.2.	Histórico ordenes de trabajo.	13
1.5.	Algunos modos de fallos más típicos en los motores de combustión interna (MDU).	16
1.5.1.	Sobreesfuerzo mecánico o térmico en cilindros.....	16
1.5.2.	Baja presión en cilindros	16
1.5.3.	Inyección atrasada	16
1.5.4.	Inyección adelantada.....	16
1.5.5.	Fugas en alta presión del cilindro	16
1.5.6.	Cierre tardío o temprano de las válvulas	17
1.5.7.	Excesiva fricción en la carrera de escape	17
1.5.8.	Desgaste del eje del balancín	17
1.5.9.	Desgaste del pin, bulón de biela o cojinete	17
1.5.10.	Desgaste de la camisa	17
1.5.11.	Anillo partido del motor	18
1.6.	Principales causas de vibración en los motores.....	19
1.7.	Análisis de fallas por vibraciones.	20
1.7.1.	Vibración armónica.....	21
1.7.2.	Vibración periódica	22
1.7.3.	Vibración aleatoria.....	22
1.8.	Métodos para el procesamiento de las señales.....	23
1.8.1.	Análisis de vibraciones en el dominio del tiempo	23
1.8.2.	Análisis de vibraciones en el dominio de la frecuencia	25

1.9. Normas aplicadas a las vibraciones en motores.....	26
1.9.1. ISO 10816-6	26
1.10. Análisis de falla por ultrasonido.....	29
1.10.1. Norma ISO 29821	30
1.10.2. Ventajas y limitaciones del análisis de fallas por vibraciones y ultrasonido30	
1.11. Consideraciones para el tratamiento de señales vibro acústicas.....	30
1.11.1. La transformada rápida de Fourier en señales vibro acústicas tiempo discreto TFDT o DTFT.	31
1.12. Defectos en el dominio de la frecuencia encontrado en máquinas	33
1.12.1. Desbalanceo	33
1.12.2. Desalineamiento	33
1.12.3. Desprendimiento o falta de ajuste	34
1.13. Limitaciones	35
1.14. Ventanas para el tratamiento de eventos transitorios.....	36
1.15. Equipos y proceso de monitoreo de vibraciones.....	37
1.15.1. Sensores de un equipo analizador de vibraciones	38
1.16. Análisis de vibraciones y ultrasonido en el motor Hyundai 9H21/32 con el equipo Windrock.....	39
1.16.1. Equipo Windrock 6320 PA/MA	39
1.16.2. Indicaciones normales de presión, vibración y ultrasonido de los motores de combustión interna (Hyundai 21H32) con Windrock.....	40
1.17. Estudios anteriores	42
1.17.1. Ignición incompleta.	42
1.17.2. Fugas en carrera de compresión.....	43
2. METODOLOGÍA	44
2.1. Introducción de la metodología – Enfoque de la investigación.....	44
2.1.1. Tipo de investigación.....	44
2.1.2. Universo y selección de la muestra	44
2.1.3. Instrumento de colección de datos	44

2.2.	Investigación transversal experimental de campo.....	45
2.2.1.	Ruta de mediciones – puntos estratégicos preestablecidos.....	45
2.2.2.	Ruta de mediciones utilizada	47
2.2.3.	Configuración del software.....	53
2.2.4.	Armado del equipo para la toma de señales	54
2.2.7.	Base de datos y patrones de fallas.....	55
2.2.8.	Procedimiento de análisis en motores 9H21/32	55
2.3.	Formatos para la presentación de las fallas potenciales	56
2.3.1.	Formato P01.....	56
2.3.2.	Formato P02.....	58
2.3.3.	Formato P03.....	59
2.3.4.	Formato P04.....	59
2.4.	Reporte de coincidencia.....	59
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
3.1.	Resultados MDU 7	62
3.1.1.	Reporte de fallas en MDU 7 previo al mantenimiento de 8000h.....	62
3.1.2.	Reporte de coincidencia del MDU 7.....	62
3.1.3.	Porcentaje de coincidencia en los fallos encontrados MDU 7	62
3.1.4.	Cambios posteriores al mantenimiento del MDU 7.	64
3.2.	Resultados MDU 8	68
3.2.1.	Reporte de fallas en MDU 8 previo mantenimiento de 2000h.....	68
3.2.2.	Reporte de coincidencia del MDU 8.....	68
3.2.3.	Porcentaje de coincidencia en los fallos encontrados MDU 8	68
3.2.4.	Cambios posteriores al mantenimiento del MDU 8.	70
3.3.	Resultados MDU 2.	73
3.3.1.	Reporte de fallas en MDU 2 previo mantenimiento de 6000h.....	73
3.3.2.	CASO MDU 2 – ESPECIAL	74
3.4.	Resultados MDU 6.	75
3.4.1.	Reporte de fallas en MDU 6 previo mantenimiento de 6000h.....	75

3.5. Resultados MDU 11.	75
3.5.1. Reporte de fallas en MDU 11 previo mantenimiento de 8000h.....	75
3.6. Entregables.....	76
3.7. Interpretación y comparación de los resultados	77
3.7.1. Discusión MDU 2.....	77
3.7.2. Discusión MDU 7.....	77
3.7.3. Discusión MDU 8.....	78
3.7.4. Discusión MDU 11.....	79
3.8. Cambios operacionales y reducción de costos de mantenimiento	79
4. CONCLUSIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXO 1. BASE DE DATOS (Causas de falla y su gráfica Windrock).....	86
ANEXO 2. DOCUMENTACIÓN	95
ANEXO 3. CRONOGRAMA DE VISITAS.....	96
ANEXO 4. MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA EL MOTOR HYUNDAI 9H21/32	97
ANEXO 5. REPORTES DE FALLAS.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características y sistemas de los motores Hyundai 9H21/32.....	5
Tabla 1.2. Ángulos de apertura y cierre de válvulas de los motores Hyundai 9H21/32 .	8
Tabla 1.3. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 2000h	13
Tabla 1.4. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 6000h.	14
Tabla 1.5. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 12000h.	15
Tabla 1.6. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 4000h	15
Tabla 1.7. Unidades de medida de vibración y su conversión común.....	20
Tabla 1.8. Análisis de parámetros en rangos de frecuencias usados.....	21
Tabla 1.9. Ventajas y desventajas del dominio del tiempo	25
Tabla 1.10. Ventajas y desventajas de métodos en el dominio de la frecuencia	26
Tabla 1.11. Nomenclatura de puntos y direcciones de la medida en una máquina	27
Tabla 1.12. Grados de severidad.....	27
Tabla 1.13. Ventajas y desventajas de los sensores usados en cálculo de vibración.	39
Tabla 2.1. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos de P0 y P1...	51
Tabla 2.2. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos de P2, P1-2, P3.	52
Tabla 2.3. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos en P4, P5, P6.	53
Tabla 2.4. Formato P01.....	57
Tabla 2.5. Formato P02.....	58
Tabla 2.6. Valores de ponderación y descripción.....	59
Tabla 2.7. Formato P03.....	60
Tabla 2.8. Formato P04.....	61
Tabla 3.1. Coincidencia del MDU 7.....	62
Tabla 3.2. Reporte de coincidencia del MDU 7 mantenimiento de 8000h.....	63
Tabla 3.3. Muestra de la coincidencia del MDU 8.	68
Tabla 3.4. Reporte de coincidencia del MDU 7 mantenimiento de 8000h.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Macro y micro ubicación de CELEC EC Sacha.	3
Figura 1.2. Esquema de la distribución de CELEC EP Sacha.....	3
Figura 1.3. Sistemas principales de los motores 9Hyundai21/32	6
Figura 1.4. Procesos del motor diésel	6
Figura 1.5. Desfase y orden de encendido de cada cilindro con respecto al ángulo del cigüeñal para el motor Hyundai H21/32.....	7
Figura 1.6. Diagramas de distribución teórico y real de un ciclo de potencia.....	8
Figura 1.7. Partes del pistón del motor 2 Hyundai 9H21/32.....	9
Figura 1.8. Posición de los rines en el pistón 3, Motor 2 Hyundai 9H21/32 de la Central Sacha.....	9
Figura 1.9. Partes de la biela Motor Hyundai	10
Figura 1.10. Cabeza de Biela 3, Motor 2 Hyundai 9H21/32 de la Central Sacha.....	10
Figura 1.11. Partes del cigüeñal	11
Figura 1.12. Elementos de contiene la culata del motor y elementos de ajuste con el bloque del motor.....	11
Figura 1.13. Cronograma de mantenimientos preventivos de CELEC EP Sacha en abril de 2022.....	13
Figura 1.14. a) Desgaste de la camisa; b) Quebradura de la camisa.....	18
Figura 1.15. a) Socavado en el anillo; b) Anillo partido del motor.....	18
Figura 1.16. Vibración armónica.	22
Figura 1.17. Vibración periódica.	22
Figura 1.18. Vibración aleatoria	22
Figura 1.19. Métodos para el procesamiento de señales	23
Figura 1.20. Indicadores de las vibraciones en el dominio del tiempo.....	23
Figura 1.21. Ejemplo de los puntos y dirección en una máquina en línea.....	26
Figura 1.22. Nomograma de grado de severidad.....	28
Figura 1.23. Límites de velocidad RMS (vibraciones) recomendados ocupados en CELEC EP Sacha.....	28
Figura 1.24. Evaluación de severidad ISO 2372 clase 3.....	28
Figura 1.25. Falla potencial vs. Falla funciona (curva P-F)	29
Figura 1.26. Desratización y transformación de Fourier.....	31
Figura 1.27. Desratización y transformación de Fourier para análisis discreto	32
Figura 1.28. Señales en el dominio de la frecuencia.....	32
Figura 1.29. Desbalanceo FFT	33
Figura 1.30. Desalineamiento FFT.....	33

Figura 1.31. Desprendimiento o falta de ajuste FFT	34
Figura 1.32. <i>Problemas en el rodamiento FFT</i>	34
Figura 1.33. Problemas en cojinetes de deslizamiento	35
Figura 1.34. Efecto Aliasing	35
Figura 1.35. a) Señal transformada sin problemas de “Leakage”. b) Señal transformada con problemas de un 4% de efecto “Leakage”	36
Figura 1.36. Ventanas de ponderación.....	37
Figura 1.37. Modelo de Extracción de datos con un equipo de análisis de vibraciones	38
Figura 1.38. Etapas en el adquisidor de datos	38
Figura 1.39. Consola equipo Windrock.....	40
Figura 1.40. Tipos de fallas posibles a detectar en el análisis de vibraciones y ultrasonido.	40
Figura 1.41. Representación de los fenómenos principales que se observan en un análisis de vibraciones y ultrasonido.	41
Figura 1.42. Diagrama presión vs ángulo de cigüeñal y esquemas de vibración y ultrasonido de las válvulas de escape y admisión de un motor de 4 tiempos.	41
Figura 1.43. Representación de los fenómenos principales que se observan en un análisis de vibraciones.	41
Figura 1.44. Vibración detectada en la apertura y cierre de la válvula de combustible	42
Figura 1.45. Señal de presión y voltaje vs ángulos del cigüeñal motor de 2 tiempos (Windrock)	42
Figura 1.46. Señal de presión y voltaje vs ángulos del cigüeñal motor de 2 tiempos ..	42
Figura 1.47. Ultrasonido vs ángulo del cigüeñal con una fuga en la zona de compresión.	43
Figura 1.48. Señal de presión, válvula partida	43
Figura 1.49. Ultrasonido vs ángulo del cigüeñal sin problemas.	43
Figura 2.1. Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.....	46
Figura 2.2. Ruta de mediciones de presión y vibraciones en los MDU recomendación Hyundai.....	46
Figura 2.3. Puntos estratégicos de medición según Windrock.	47
Figura 2.4. Sensor óptico conectado en el volante del cigüeñal.....	47
Figura 2.5. Cinta reflectiva colocada en una parada del motor.....	48
Figura 2.6. Sensor de presión conectado en la válvula de la salida de gases de escape.	48
Figura 2.7. Sensor de ultrasonido colocado en el esparrago izquierdo de la culata y acelerómetro colocado en el esparrago derecho de la culata.....	49

Figura 2.8. Sensor de ultrasonido y acelerómetro colocado en la pared de la culata..	49
Figura 2.9. Sensor de ultrasonido colocado en el bloque de alta presión.	50
Figura 2.10. Acelerómetro ubicado en uno de los espárragos laterales de los cojinetes	50
Figura 2.11. Transductor colocado horizontalmente en la base del motor	50
Figura 2.12.Toma de presiones MDU 11. 04.04.2022	56
Figura 2.13. Código de limpieza del formato automático – Formato P01.....	57
Figura 2.14. Código de limpieza del formato automático - Formato P02.....	58
Figura 3.1. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	64
Figura 3.2. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	64
Figura 3.3. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	65
Figura 3.4. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	65
Figura 3.5. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	65
Figura 3.6. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	66
Figura 3.7. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	66
Figura 3.8. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	67
Figura 3.9. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	67
Figura 3.10. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.....	67
Figura 3.11. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	70
Figura 3.12. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	70
Figura 3.13. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	71
Figura 3.14. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	71

Figura 3.15. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	71
Figura 3.16. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	72
Figura 3.17. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	72
Figura 3.18. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.....	72
Figura 3.19. Señal FFT medida previo al mantenimiento en el esparrago del cojinete del cilindro 1 del MDU 8.	73
Figura 3.20. Señal FFT medida posterior al mantenimiento en el esparrago del cojinete del cilindro 1 del MDU 8.	73
Figura 3.21. Señal de ultrasonido MDU 2.....	74
Figura 3.22. Rines del cilindro 3 MDU 2 sin problemas.	74
Figura 3.23. Señales de vibración detectada previo al mantenimiento de 8000h del MDU 11.	75
Figura 3.24. Orden de trabajo MDU 11.....	76
Figura 3.25. Señales de vibración detectada posterior al mantenimiento de 8000h del MDU 11.....	76

ACRÓNIMOS

ETU. Unidad eléctrica

FTT. (Fast Furier Transform) Transformada rápida de Fourier

HTU. Unidad de tratamiento de combustibles

ISO. (International Organization for Standardization) Organización encargada de emitir y revisar normas técnicas para la aplicación internacional.

PMI. Punto Muerto Inferior

PMS. Punto Muerto Superior

MDU. (Motor Driven Unit) Unidad de generación eléctrica motor, compuesta por un motor y un generador.

RMS. (Root Mean Square) Raiz media cuadrada.

GLOSARIO

Acelerómetro. Emisor-receptor de datos de material piezoeléctrico que miden la vibración y aceleración de los movimientos de un equipo o estructura.

Combustión. Reacción química exotérmica espontánea de oxígeno y combustible, lo que produce aumento local de temperatura y flujo de calor.

Fueloil. Resultado de la fracción de destilado de petróleo a presión atmosférica.

Mantenimiento Preventivo. Planificación de actividades para reducir fallas según tiempo calendario u horas de operación.

Mantenimiento Predictivo. Programa de acciones por condición a futuro en base a información previamente obtenida con modelos estadísticos y matemáticos.

Mantenimiento Correctivo. Programa de acciones reactivas ante la presencia de una falla audible o visible en máquinas o equipos industriales.

Motor reciprocante. Es todo motor que convierte la presión en movimiento rotacional producto del movimiento oscilante alterno y en sentido contrario.

Resonancia (mecánica). Fenómeno de amplificación de vibración producida por la transmisión de la frecuencia de un cuerpo que coincide con la frecuencia natural del otro, produciendo efectos catastróficos a un conjunto mecánico.

Ruido (de fondo). Sonido indeseado en una señal la cual no puede ser atribuida a una causa específica.

Transductor. Dispositivo conversor de energía desde luz o fuerza a una salida digital de información.

Transmisor. Dispositivo conversor de magnitudes físicas en señales eléctricas.

RESUMEN

En el presente proyecto pretende predecir fallas potenciales de manera temprana en motores recíprocos usados para la generación de energía eléctrica y de este modo prevenir daños más severos y costosos. El estudio fue realizado para la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) en su central termoeléctrica ubicada en La Joya de los Sachas. La central cuenta con 12 unidades motrices Hyundai 9H21/32 que combustión fueloil y diésel. Las unidades o MDU cuentan con un control de mantenimiento correctivo y preventivo por horas de operación más no se cuenta con supervisión de mantenimiento predictivo adecuado que reduzca el desgaste de componentes, mejore la eficiencia y por ende el aspecto económico. Entre los métodos de predicción se decidió por el análisis de vibraciones y ultrasonido por su aplicabilidad, eficiencia y poca intervención durante el funcionamiento de las máquinas. Se recogió la información del funcionamiento y rangos de operación adecuados. Eligiéndose una muestra de 4 MDUs con diferentes problemas. Se eligió un equipo de detección de señales portátil con facilidad de descarga de datos llamado Windrock. El equipo cuenta con pantalla digital, fotosensores, medidor de presión y acelerómetros. Las señales obtenidas fueron comparadas con una base de datos realizada en base a otros proyectos y entre mediciones pasadas. Cada señal fue separada en eventos que presenten similitudes y diferencias en su pronto o tardío accionar, detección de impactos cortos o grandes, falta o intermitencia de señales. Se obtiene así reportes de fallas e incidencia referentes del funcionamiento antes y posterior a cada evento de mantenimiento preventivo para comprobar el porcentaje de acierto, entregando un manual práctico de uso del equipo Windrock, una base de datos comparativo aplicable en software, y videos explicativos del empleo. Finalmente se concluye en la guía y utilidad del material bibliográfico como de normas ISO para obtener la base de datos, el control de los sistemas de monitoreo para la adecuada captación de las señales, en la determinación recomendada de los rangos de funcionamiento adecuados como la aplicabilidad de ultrasonido o vibración con sus sensores bajo cierta sensibilidad.

Palabras clave: Vibración, Ultrasonido, Sensores, Señales, FFT, Ruta, Reporte.

ABSTRACT

The present project aims to predict potential failures early in reciprocating engines used for power generation and thus prevent more severe and costly damage. The study was carried out for the Electrical Corporation of Ecuador (CELEC) in its thermoelectric power plant located in “La Joya de los Sachas”. The plant has 12 Hyundai 9H21/32 engine units that burn fuel oil and diesel. The units or MDUs have corrective and preventive maintenance control by hours of operation, but there is no adequate predictive maintenance supervision to reduce component wear and improve efficiency and therefore the economic aspect. Among the predictive methods, vibration and ultrasound analysis were chosen because of their applicability, efficiency, and low intervention during machine operation. The information on the operation and suitable operating ranges were collected. A sample of 4 MDUs with different problems was chosen. A portable signal detection equipment with a data download facility called Windrock was chosen. The equipment has a digital display, photosensors, a pressure meter, and accelerometers. The signals obtained were compared with a database made based on other projects and between past measurements. Each signal was separated into events that present similarities and differences in their early or late action, detection of short or large impacts, and lack or intermittency of signals. Thus, failure and incidence reports are obtained regarding the operation before and after each preventive maintenance event to check the percentage of success, delivering a practical manual of the use of the Windrock equipment, a comparative database applicable in software, and explanatory videos of the use. Finally, it is concluded in the guide and usefulness of the bibliographic material such as ISO standards to obtain the database, the control of the monitoring systems for the adequate capture of the signals, in the recommended determination of the adequate ranges of operation such as the applicability of ultrasound or vibration with its sensors under certain sensitivity.

Keywords: Vibration, Ultrasound, Sensors, Signals, FFT, Path, Report.

PRESENTACIÓN

Con este proyecto se pretende brindar un aporte a la predicción y análisis de fallas de motores de combustión interna usados para la generación de energía eléctrica, mediante dos de los métodos más eficientes de predicción como son el análisis de vibraciones y ultrasonido, con el uso de un equipo analizador con transductores piezoeléctricos, sensores de presión y ultrasonido.

Los informes de predicción, con la corroboración de mantenimientos programados, arrojaron porcentajes de asertividad que corroboran las fallas predichas. Los procedimientos, el manual de uso y videos explicativos fueron proveídos hacia la empresa para su aplicación y mejora ante eventos de potenciales fallas que pueden acarrear mayores costos económicos por reparaciones correctivas.

PREDICCIÓN DE FALLAS MECÁNICAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA HYUNDAI- H21/32 EN LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CELEC EP CENTRAL SACHA.

INTRODUCCIÓN

La empresa pública Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) nace con la finalidad de generar, transmitir, distribuir, comercializar, importar y exportar energía eléctrica (CELEC EP, 2015). Entre una de sus centrales térmicas se encuentra CELEC Sacha, la cual ha implementado un programa de generación con 12 grupos electrógenos de 1.7 MW de potencia nominal. (CELEC, 2020)

Los motores Hyundai-H21/32, usados en CELEC EP, son de 4 tiempos en línea de inyección directa, con turbocargador. La función principal de estos motores de alta eficiencia energética es suplir de energía eléctrica a sitios alejados y económicamente estratégicos. (UMANA, 2015)

Sin embargo, CELEC EP-Sacha en la parte operativa presenta un problema en cuanto a la falta de detección previa de fallas, ya que el mantenimiento preventivo solo involucra el remplazo de piezas que puedan estar aún en un buen estado, el monitoreo de presión y temperatura.

Las vibraciones de un motor están relacionadas directamente a la vida útil del mismo (Guevara & Landa, 2019). La identificación y corrección de las fallas futuras con un registrador de señales de vibraciones y ultrasonido toma de referencia el ángulo del cigüeñal (KAMRAN, 2019). Muchas de las técnicas de monitoreo y análisis avanzado nos permite ver las condiciones internas de las partes del motor como válvulas, inyectores, bombas, rines y rodamientos, de manera que se identifique la degradación y los cambios antes de una falla potencial. (KELLEHER, 2016)

El equipo analizador de vibraciones “*Windrock 6320*” de propiedad de CELEC permite obtener señales de vibración y ultrasonido de las condiciones operativas de los motores, de manera que en base al análisis de estas se da a conocer las fallas potenciales que presenta el motor Hyundai. (Moreno, 2004)

Pregunta de Investigación

¿Podría predecirse oportunamente las fallas mecánicas de los motores Hyundai H21/32 de manera que se pueda generar mejoras operacionales, reduciendo paradas prolongadas y evitando mayores costos de mantenimiento?

Objetivo general

Predecir las fallas mecánicas de los motores de combustión interna H21/32 en la empresa CELEC EP Sacha.

Objetivos específicos

- Recopilar información técnica de los motores Hyundai H21/32 y de sus sistemas de monitoreo.
- Determinar los rangos de funcionamiento recomendados para la predicción de fallas mecánicas en los motores Hyundai H21/32.
- Identificar en la toma de señales de vibraciones y ultrasonido anomalías que permitan identificar fallas potenciales en el motor Hyundai 9H21/32.
- Comparar las señales obtenidas con la base de datos de referencia y desarrollar reportes previos a un mantenimiento programado.
- Corroborar con post mantenimiento de los motores el porcentaje de asertividad en la predicción de fallas.
- Desarrollar material audiovisual para facilitar el aprendizaje en uso del equipo de medición de vibraciones y ultrasonido a la empresa CELEC Sacha.

Alcance

El alcance de esta investigación es analizar las señales de vibraciones y ultrasonido de manera que permita detectar las condiciones mecánicas de al menos dos motores de combustión interna usado para la generación eléctrica, con ayuda de un equipo de detección de señales, de modo que pueda evitarse fallas potenciales a futuro.

La metodología será implementada en los motores que estén cercanos al mantenimiento a las 2000, 4000, 6000 y 12000 horas, de modo que de cada tipo de mantenimiento preventivo se logren conocer las fallas que se pudieron o no predecir por medio del análisis propuesto.

Además, se desarrollará un nuevo formato de registro de las fallas potenciales que sirva como base de datos para análisis futuros, en la que se designará a cada señal la falla potencial que se ha detectado, al mismo tiempo permitirá calcular el porcentaje de acierto en cada predicción, lo que permitirá evaluar el análisis realizado y generar un proceso de mejora continua del mismo por medio de futuras predicciones.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades y ubicación de la empresa.

CELEC EP Sacha, ubicado en la provincia de Orellana en las proximidades de la ciudad la Joya de los Sachas tal como se observa en la figura 1.1 y se puede observar también la distribución de esta en la figura 1.2. La empresa nace en el año 2009 por el convenio del Ministerio de Electricidad del Ecuador y el Ministerio de Industria de Cuba, como un programa de generación distribuida con motores de combustión interna, cuyo combustible es fuelóleo clase 6. Mediante convenio interinstitucional con Petroecuador se encarga actualmente de generar en total un mínimo de 11 MW y máximo 17.5MW con 12 MDU de 1.8MW (nominal). (Zambrano, 2014)



Figura 1.1. Macro y micro ubicación de CELEC EC Sacha.

Fuente: (GOOGLEMAPS, 2022)

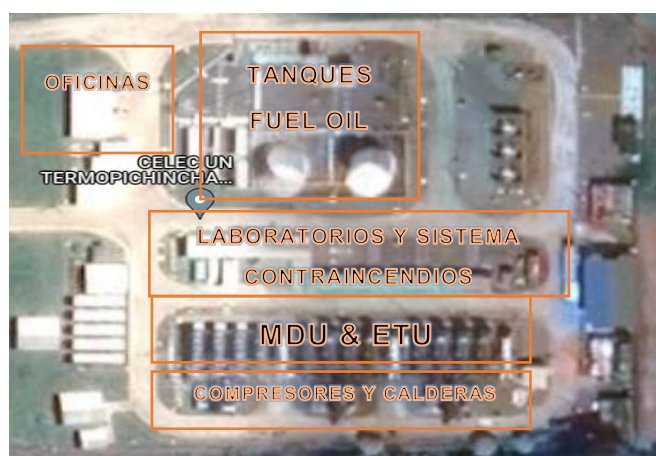


Figura 1.2. Esquema de la distribución de CELEC EP Sacha

Fuente: Elaboración propia

1.2. Técnicas de monitoreo por condición para predicción de fallas.

El monitoreo por condición permite incrementar la confiabilidad y rentabilidad prediciendo fallas potenciales. Las alternativas de monitoreo por condición tienen beneficios como limitaciones al tipo de maquinaria o equipo. Los beneficios a corto plazo pueden ser cuantificables, como de justificable inversión inicial en software y entrenamiento. (Moreno, 2004)

Otro de los beneficios del monitoreo permite el incremento de la producción, aun cuando exista fallas estas tienden a ser más reducidas y menos problemáticas. La predicción de fallas extiende la vida de los equipos reduce desgastes, prolongando el tiempo planeado de mantenimiento. (Moreno, 2004)

1.2.1. Análisis de contaminación en aceite

Se busca identificar en el fluido algún material como limalla de acero u otro fluido diferente como agua. La existencia de estos materiales o fluido puede indicar la falta de hermeticidad de sellos o empaques, como el desgaste y falla de componentes. Las partículas encontradas deberán ser cuantificadas y su severidad identificada por la tolerancia a la que está sujeta las partes. La presencia de agua puede indicar zonas de condensación, sellos de vapor o enfriadores con fugas, puede llevar a la corrosión de las superficies del metal. (Moreno, 2004)

1.2.2. Análisis por termografía

Técnica no intrusiva, costosa, a distancia y de alta resolución con escaneo infrarrojo a superficies con facilidad de emisión de radiación cuyo fin es identificar las diferencias de temperatura superficial mostrando pérdidas y ganancias de calor. Se permite identificar las averías eléctricas o mecánicas con prontitud. Se puede identificar en recubrimientos grietas o falta de aislamiento. (Moreno, 2004)

1.2.3. Análisis por ultrasonido

Se usa niveles de frecuencia superior a 20kHz con cambios graduales de sensibilidad. La emisión ultrasónica puede ser rodeada sin penetrar objetos sólidos. Técnica no intrusiva que detecta ligeros cambios de la operación identificando el desgaste, fugas de fluido o cavitación. (Moreno, 2004)

1.2.4. Análisis por vibraciones

Técnica no intrusiva de frecuencia específica en línea o portátil, usada para predecir fallas graves y paradas emergentes. Se permite identificar fallas en cojinetes, soldaduras, desgaste, desbalances y desalineamientos. (Moreno, 2004)

En la predicción de fallas se busca un seguimiento sistemático del desarrollo del defecto, por lo que, manejando el nivel de incertidumbre, se puede pronosticar la llegada de un fallo con la ayuda del análisis de los niveles de vibración en sus límites permisibles. El análisis por vibración prevendrá los fallos reduciendo los intervalos de medición y reajustando los pronósticos. (Marin, 2007)

1.2. Generalidades de los motores generadores o MDU.

La empresa termoeléctrica central Sacha posee 12 motores generadores o MDU, marca Hyundai 9H21-32, estacionarios y reciprocantes de 4 tiempos que utilizan para funcionamiento combustible Fuel Oil procesado previamente en una caldera.

La designación de cada motor hace referencia a 9 cilindros que están alineados horizontalmente, con 21 cm (210mm) del diámetro de la camisa y 32 cm (320 mm) de la carrera del pistón. Las características y sistemas del motor se presentan en la tabla 1.1. y la figura 1.3.

Tabla 1.1. Características y sistemas de los motores Hyundai 9H21/32

Características	Sistemas
<ul style="list-style-type: none">• Potencia nominal: 1800 kW.• Velocidad: 900 – 1000 RPM.• Capacidad Cáster: 1420 litros (375 gal).	<ul style="list-style-type: none">• Control de velocidad.• Sistema de lubricación.• Sistema de inyección de fuel/oil.• Sistema de enfriamiento de agua.• Sistema de aire gas comprimido.• Estructura del motor.• Sistema de combustión.• Sistema de accionamiento de potencia.

Fuente: (Calderon et al, 2018)

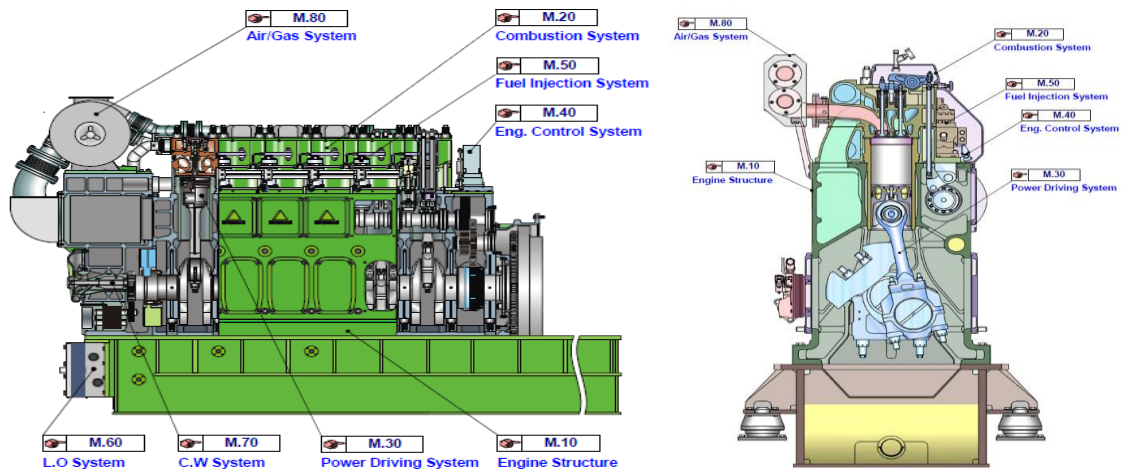


Figura 1.3. Sistemas principales de los motores 9Hyundai21/32

Fuente: (HYUNDAI, 2011)

1.2.1. Ciclos de trabajo, parámetros y condiciones de funcionamiento

El motor Hyundai 9H21/32 se asemeja al de un ciclo diésel, tiene un período de trabajo en dos vueltas del cigüeñal (720°) para realizar los 4 procesos del motor que se detallan en la figura 1.4.

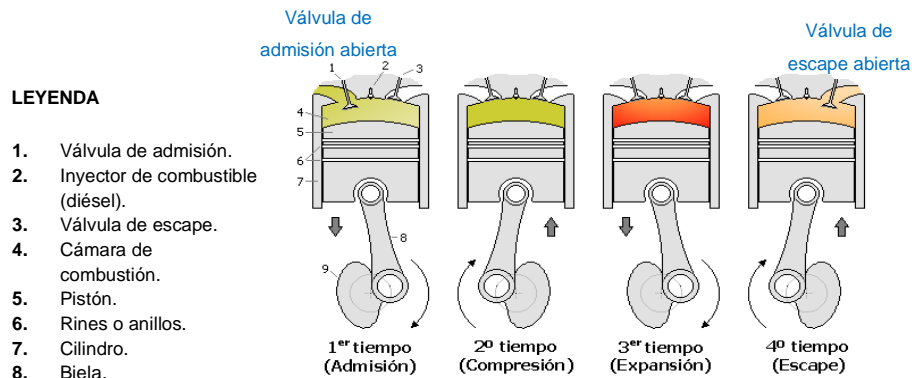


Figura 1.4. Procesos del motor diésel

Fuente: (Martín Sanz, 2017)

En los motores diésel existen una combustión de control, llamada remanente dependiente, la cual responde a una reacción lenta en la parte inicial, para luego producir una combustión rápida. Este retardo ocurre entre el ángulo formado entre la inyección y el inicio de la combustión. (Marin, 2007)

1.2.2. Orden de encendido

En los motores poli cilíndricos el orden de encendido es el orden en el que cada cilindro pasa por el proceso de explosión, de manera que los esfuerzos y cargas se repartan en

los cojinetes de la bancada que soporta el cigüeñal. (Mercedes & Hernández, 2014). (Montero, 2018)

De manera que el motor Hyundai 9H21/32 tiene un orden de encendido específico de: 1-3-5-7-9-8-6-4-2.

1.2.3. Ángulo de desfase del encendido

El ángulo de desfase de encendido en los motores poli cilíndricos permite que el motor tenga una óptima potencia con la mejor sincronización posible de los trabajos de cada pistón. Para calcular el ángulo de desfase se lo realiza según (Montero, 2018):

$$\text{Ángulo de desfase} = 180^\circ \frac{N^\circ \text{ tiempos}}{N^\circ \text{ cilindros}} \quad (\text{Ec.1. 1})$$

Entonces, para el motor Hyundai 9H21/32 de 9 cilindros y 4 tiempos se tiene lo siguiente:

$$\text{Ángulo de desfase} = 180^\circ \frac{4 \text{ tiempos}}{9 \text{ cilindros}} = 80^\circ$$

Con este ángulo de desfase se tiene los procesos sincronizados, para como actuaría cada uno de los cilindros con respecto al ángulo del cigüeñal, ver la figura 1.5.

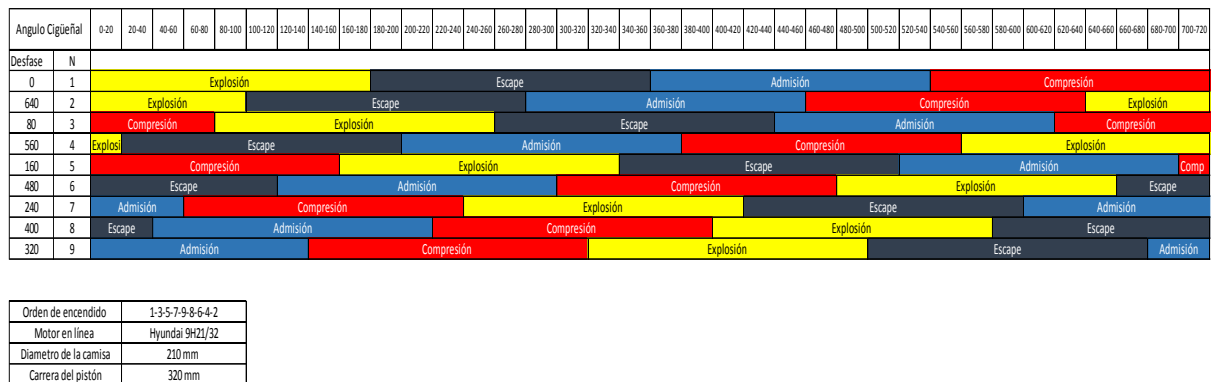


Figura 1.5. Desfase y orden de encendido de cada cilindro con respecto al ángulo del cigüeñal para el motor Hyundai H21/32

Fuente: Elaboración propia.

1.2.4. Diagrama de distribución (Ángulo de apertura y cierre de válvulas)

Los diagramas de distribución del orden del ciclo de potencia muestran el momento de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape. Teóricamente, la válvula de admisión abre justo en el PMS y cierra exactamente en el PMI y la válvula de escape abre justo en el PMI y cierra exactamente en el PMS, ver figura 1.6.

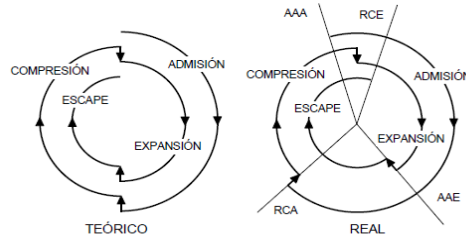


Figura 1.6. Diagramas de distribución teórico y real de un ciclo de potencia

Fuente: (Martín Sanz, 2017)

El ciclo real presenta diferentes puntos de apertura y cierre de las válvulas, que se pueden apreciar en la gráfica anterior. Estos puntos representan lo siguiente:

Adelanto de la apertura de la válvula de admisión (AAA): Permite el llenado del cilindro con el aire de ingreso y genera succión que ayuda a la salida de los gases de escape.

Retraso del cierre de la válvula de admisión (RCA): Permite el llenado del cilindro.

Adelanto de la apertura de la válvula de escape (AAE): Vacía los gases de escape perdiendo poca potencia debido a que los gases están menos tiempo tocando el pistón, aunque convenientemente aumentan la velocidad de trabajo.

Retraso del cierre de la válvula de escape (RCE): Permite la evacuación de los gases de escape de una mejor manera.

Los motores Hyundai 9H21/32 de la empresa CELEC EP Sacha tienen ángulos de adelanto y cierre de las válvulas que se detallan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Ángulos de apertura y cierre de válvulas de los motores Hyundai 9H21/32

Designación	Ángulo
AAA (bTDC)	68° antes del PMS ($360-68 = 292^\circ$)
RCA (aBDC)	14° después PMI ($540+14 = 554^\circ$)
AAE (bBDC)	76° antes del PMI ($180-76 = 104^\circ$)
RCE	77° después del PMS ($30+77 = 437^\circ$)

Fuente: (HYUNDAI, 2011)

1.3. Componentes principales del motor Hyundai 9H21/32

1.3.1. Pistón.

El motor Hyundai 9H21/32 tiene 9 pistones de 21 centímetros de diámetro, cada uno es un elemento móvil lineal, que se desplaza dentro de un cilindro, con la finalidad de aumentar o disminuir el volumen y/o presión contenida dentro del cilindro, cumpliendo los 4 ciclos del motor: admisión, compresión, expansión y escape. (Viñuelas, 2011)

Las partes del pistón del motor Hyundai 9H21/32, ver la figura 1.7.

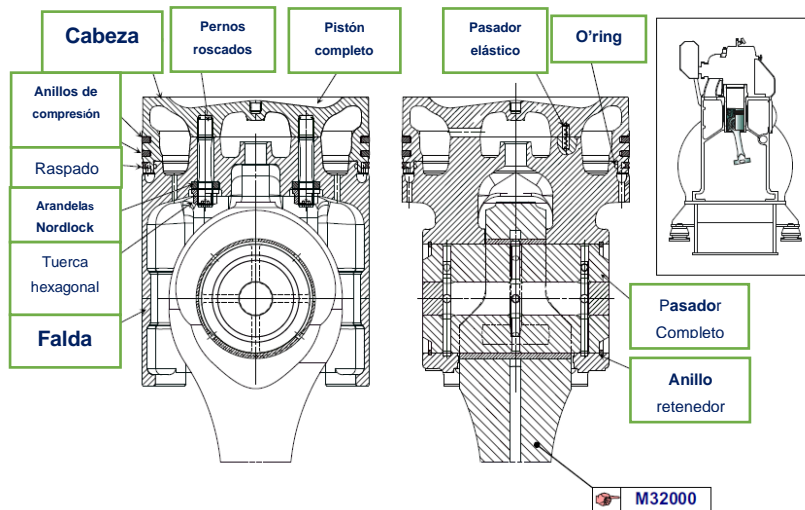


Figura 1.7. Partes del pistón del motor 2 Hyundai 9H21/32

Fuente: (HYUNDAI, 2011)

Los rines o anillos, ver figura 1.8, son encargados según (Viñuelas, 2011) de:

- Sellado de la holgura que existe entre el pistón y cilindro con la finalidad de que la presión de los gases sea retenida.
- Lubricar adecuadamente y generar una película de lubricación entre la pared del cilindro y pistón.
- Controlar la temperatura del pistón, transfiriendo el calor generado a las paredes del cilindro y de manera continua al refrigerante.



Figura 1.8. Posición de los rines en el pistón 3, Motor 2 Hyundai 9H21/32 de la Central Sacha

Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

El mal estado de un anillo o rin, o también la fisura de un cilindro puede provocar una vibración que se puede detectar con un software y equipo de vibraciones-ultrasonido.

1.3.2. Biela.

La biela es un elemento móvil encargado de convertir el movimiento lineal del pistón a movimiento rotacional al cigüeñal. (Viñuelas, 2011)

Las partes principales de la biela, ver figura 1.9, son:

- Pie: es la sección en la que se inserta el casquillo, y que sirve como punto de conexión con el pistón por medio de una inserción de un bulón a presión.
- Cuerpo: es la sección más larga de la biela, suele ser fundamental un buen diseño ya que esta parte está sometida a esfuerzos de tracción y compresión longitudinales.
- Cabeza: está compuesta con una parte que viene empernada con espárragos llamada sombrerete, en medio de las dos partes se colocan los casquillos antifricción, que es la encargada de abrazar de acoplarse con el cigüeñal. (Viñuelas, 2011)

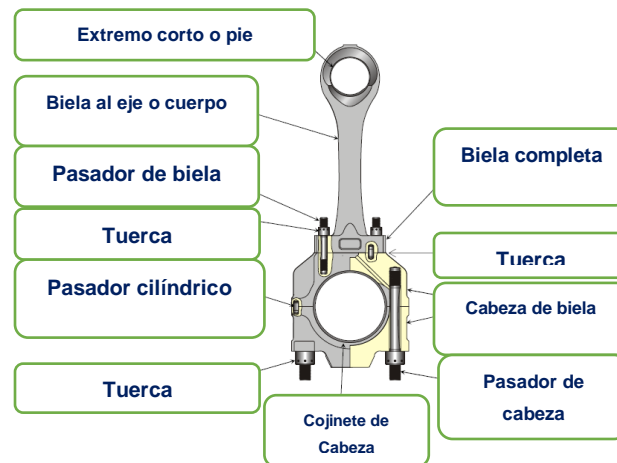


Figura 1.9. Partes de la biela Motor Hyundai

Fuente: (HYUNDAI, 2011)

A continuación, se presenta una cabeza de biela en buen estado, figura 1.10.



Figura 1.10. Cabeza de Biela 3, Motor 2 Hyundai 9H21/32 de la Central Sacha

Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

1.3.3. Cigüeñal

El cigüeñal es un elemento móvil apoyado en el bloque en ciertos puntos y que tiene extensiones, llamadas muñequillas, a diferentes grados según la cantidad de cilindros del motor, cada muñequilla se conecta a una biela, ver figura 1.11. (Viñuelas, 2011)

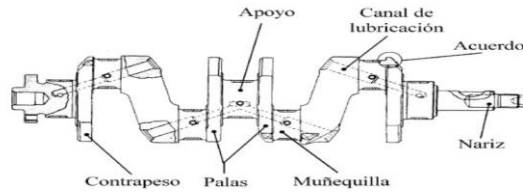


Figura 1.11. Partes del cigüeñal

Fuente: (Viñuelas, 2011)

1.3.4. Válvulas

Las válvulas son parte del sistema de distribución, que se encargan de la apertura y cierre de los conductos para la entrada de aire, compresión, expansión o salida de gases de escape. La apertura y cierre de las válvulas producen una fuente de vibración y ultrasonido, que sirve para conocer su estado por medio de un software y/o equipo de vibraciones y ultrasonido. (Viñuelas, 2011)

El tren de válvulas puede fallar por desgaste de las guías, juego en los engranajes de la leva, resortes rotos o defectuosos. Cualquier fuga en el tren de válvulas puede darse por válvulas quemadas, depósitos en los asientos, asientos astillados o dañados, vástagos doblados. El motor Hyundai 9H21/32 en este caso cada cilindro está compuesto por 2 válvulas de admisión y 2 válvulas de escape de mayor tamaño, ver figura 1.12. (Moreno, 2004)

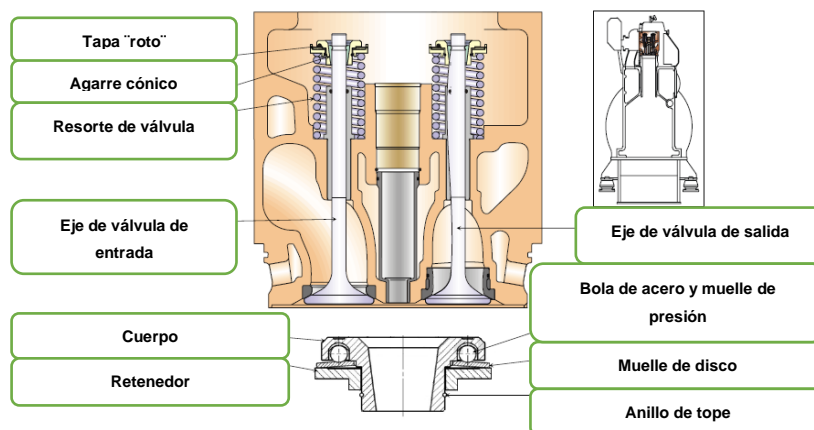


Figura 1.12. Elementos de contiene la culata del motor y elementos de ajuste con el bloque del motor.

Fuente: (HYUNDAI, 2011)

1.3.5. Árbol de levas.

Es un elemento que está diseñado para mover los balancines y así abrir o cerrar las válvulas de admisión y escape de todos los cilindros. Consiste en un eje con una serie de levas que tienen diferente ángulo y que rotan solidariamente con el cigüeñal en un motor de 2 tiempos y a la mitad de velocidad en un motor de 4 tiempos. (Viñuelas, 2011)

1.3.6. Balancín.

Es un elemento móvil que está conectado a las válvulas y a la leva, este elemento recibe el movimiento de la leva y transforma el movimiento rotacional a un movimiento lineal vertical que sirve para mover las válvulas. Un mal estado de un balancín puede generar que una válvula no se abra o cierre a tiempo o tengo múltiples golpes al cerrarse o abrirse, verificable con análisis de vibraciones y ultrasonido. (Moreno, 2004)

1.3.7. Cilindro.

El motor Hyundai 9H21/32 tiene 9 cilindros, cada cilindro es un elemento fijo que se encuentra en el bloque del motor, dentro de cada cilindro se desplaza un pistón. El cilindro, el pistón, la culata y las válvulas forman una cámara de combustión hermética. (Viñuelas, 2011)

1.3.8. Bloque.

Es el encargado de ser el soporte estructural del motor, alojar los cilindros, los soportes del cigüeñal y de otros elementos. (Viñuelas, 2011)

1.3.9. Culata.

La culata es el elemento encargado de cerrar superiormente a los cilindros formando de esta manera la cámara de combustión, se encarga además de almacenar elementos como las válvulas. (Viñuelas, 2011)

1.3.10. Cáster

Es el elemento fijo encargado de almacenar el aceite y también de cerrar por la parte inferior al bloque. (Viñuelas, 2011)

1.4. Programa de mantenimiento CELEC e histórico de órdenes de trabajo de los motores Hyundai 9H21/32

La empresa CELEC EP Sacha cuenta con un programa de mantenimiento preventivo que se realiza cada 2000h, 4000h, 6000h, 8000h y reparaciones mayores a 12000h.

1.4.1. Cronograma.

El cronograma de actividades está diseñado únicamente para los mantenimientos preventivos, en base a las actividades que recomienda el manual Hyundai y por la experiencia de operación de los operarios de CELEC EP Sacha, ver figura 1.13.

		abril 2022																																
		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
UNIDAD		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
		V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S			
MDU 1		-8.12	-4.12	-2.12	-4.12	-5.12	-4.12	-3.12	-3.12	-4.12	-1.12	-4.12	0.00	5.00	3.00	3.00	4.00	5.00	4.00	7.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00		
MDU 2		66.89	67.89	68.89	69.89	70.89	71.89	72.89	73.89	74.89	75.89	76.89	77.89	78.89	79.89	6000 H												-2.00	-1.12121	-0.12121	0.88779	1.88779	2.88779	
MDU 3		19.26	17.26	12.26	13.26	14.26	15.26	16.26	17.26	18.26	19.26	20.26	21.26	22.26	23.26	24.26	25.26	26.26	27.26	28.26	29.26	30.26	31.26	32.26	33.26	34.26	35.26	36.26	37.26	38.26	39.26			
MDU 4		9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00	26.00	27.00	28.00	29.00	30.00	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00	36.00	37.00	38.00			
MDU 5		16.17	11.17	12.17	13.17	14.17	15.17	16.17	17.17	18.17	19.17	20.17	21.17	22.17	23.17	24.17	25.17	26.17	27.17	28.17	29.17	30.17	31.17	32.17	33.17	34.17	35.17	36.17	37.17	38.17	39.17			
MDU 6		32.21	32.88	33.88	34.88	35.88	36.88	37.88	38.88	39.88	40.88	41.88	42.88	43.88	44.88	45.88	46.88	47.88	48.88	49.88	50.88	51.88	52.88	53.88	54.88	55.88	56.88	57.88	58.88	59.88	60.88			
MDU 7		63.23	64.23	65.23	66.23	67.23	68.23	69.23	70.23	71.23	6000 H				-1.07	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17		
MDU 8		62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15	62.15		
MDU 9		41.24	42.24	43.24	44.24	45.24	46.24	47.24	48.24	49.24	50.24	51.24	52.24	53.24	54.24	55.24	56.24	57.24	58.24	59.24	60.24	61.24	62.24	63.24	64.24	65.24	66.24	67.24	68.24	69.24	70.24			
MDU 10		17.01	18.01	19.01	20.01	21.01	22.01	23.01	24.01	25.01	26.01	27.01	28.01	29.01	30.01	31.01	32.01	33.01	34.01	35.01	36.01	37.01	38.01	39.01	40.01	41.01	42.01	43.01	44.01	45.01	46.01			
MDU 11		9.33	9.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33		
MDU 12		16.89	17.89	18.89	19.89	20.89	21.89	22.89	23.89	24.89	25.89	26.89	27.89	28.89	29.89	30.89	31.89	32.89	33.89	34.89	35.89	36.89	37.89	38.89	39.89	40.89	41.89	42.89	43.89	44.89	45.89			

Figura 1.13. Cronograma de mantenimientos preventivos de CELEC EP Sacha en abril de 2022

Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

1.4.2. Histórico ordenes de trabajo.

A continuación, en la tabla 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 se presenta una recopilación de las ordenes de trabajo que se han dado en cada mantenimiento en la central CELEC EP Sacha en las diversas unidades de generación.

Tabla 1.3. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 2000h

Mtto. 2000	<ul style="list-style-type: none"> - Desmontaje de block de alta, desmontaje de inyectores, cambio de deflectores, calibración de válvulas - Limpieza de 9 inyectores, calibración de estos y, limpieza de la parte junto a las bombas de inyección - Montaje de los 9 inyectores, montaje de block de alta, limpieza del árbol de levas. - Limpieza de la cámara de aire y cañería del mismo drenaje de enfriador de aceite, desmontaje del regulador de presión de aceite. desmontaje de filtros dúplex,
---------------	--

Fuente: (CELEC EP Sacha, 2020-2022)

Tabla 1.4. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 6000h.

Mtto. 6000	<ul style="list-style-type: none"> - Desarmada, limpieza, armada y calibrada de inyectores, instalación de block de baja, cañerías, instalación de inyectores, instalación de block de alta, calibración de yugos y montaje de balancines - Calibración de válvulas, colocación de tapas del cárter, limpieza del cárter colocación de tapas de tortugas, instalación de filtro centrífugo limpieza del radiador - Limpieza del cárter y llenado de aceite para hacer un enjuague con el motor funcionando por un lapso de 15 minutos, apagando y retirando el aceite, de cambiar los filtros de aceite. prueba hidrostática - Desmontaje del turbo completo y enfriador de aire desmontaje de las tapas del árbol de levas y revisión de este. - Desmontaje de 5 bombas de inyección y limpieza de las carcasas. - Limpieza de las bases de las bombas, cámara de aire, base del turbo, base del enfriador de aire. - Revisión de los cojinetes principales. - Montaje del enfriador de aire, montaje de bombas de inyección montaje de las tapas del árbol de levas. - Instalación de filtros dúplex en el motor y desarmado, limpieza de inyectores y rectificado de cuerpos de inyectores. - Montaje de cañerías de combustible montaje de yugos y balancines secado del cárter y tapado del mismo, colocación de filtros dúplex. - Armado y calibración de inyectores y lavada de cañerías - Remoción de 9 bombas de inyección, balancines, inyectores. desmontaje de carcasa de escape, filtro de aire, remoción de filtros de aceite y válvula reguladora de presión - Inspección de cojinetes de bancada de los cilindros y comprobación de ajuste de tuercas de bancada. - Reajuste hidráulico de espárragos laterales. cabezal, vástago de biela y cabezotes. - Limpieza e inspección del árbol de levas, montaje de bombas de inyección y comprobación de alturas en las bombas de inyección - Limpieza del motor, revisión de puntos de lubricación y de funcionamiento de 25, 50 y 85 %
---------------	--

Fuente: (CELEC EP Sacha, 2020-2022)

Tabla 1.5. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 12000h.

Mtto. 12000	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de culatas, turbocargador. - Desmontaje del árbol de levas. - Desmontaje de cabeza y pie de biela. - Desmontaje de bomba de aceite. - Desmontaje de culata. - Desmontaje de camisas. - Desmontaje de cabezotes. - Engrasada de válvulas. - Limpieza del block, camisas, cárter. - Medición del buje de biela, diámetro y ranuras del pistón, camisas. - Calibración de bombas de inyección, calibración de cremalleras y cambio de toberas o de inyectores. - Medición de la flexión del cigüeñal. - Medición de elongación de espárragos de los cojinetes principales. - Cambio de cojinetes de bancada de 5 puntos de soporte, pulida de árbol de levas y limpieza de pernos laterales de bancada. - Desarmado de varilla de control de cremalleras y adecuación de sus componentes - Montaje de las tapas de lado libre, montaje de ducto de agua, desmontaje y limpieza del piñón "crazy". - Montaje del gobernador, calibración del brazo de gobernador, calibración de cremalleras, prender el motor, extracción de bujes del pie de biela.
----------------	--

Fuente: (CELEC EP Sacha, 2020-2022)

Tabla 1.6. Órdenes de trabajo de CELEC EP Sacha en los mantenimientos de 4000h

Mtto. 4000	<ul style="list-style-type: none"> - Desmontaje de balancines, cañerías, block de alta, inyectores y cañerías. - Desmontaje del turbocargador. - Desmontaje de inyectores y prueba hidrostática. - Medición de muñones de cigüeñal. montaje de cabezas de biela y ajuste. limpieza de rodillos.
---------------	---

Fuente: (CELEC EP Sacha, 2020-2022)

1.5. Algunos modos de fallos más típicos en los motores de combustión interna (MDU).

1.5.1. Sobreesfuerzo mecánico o térmico en cilindros

Es una de las fallas más comunes producidas en los cilindros por desbalanceo de la presión producida por falta de lubricación, mal armado de los pistones o bielas, distorsión de la camisa, mantenimiento incorrecto del sistema de enfriamiento. La sobre temperatura se produce por las altas temperaturas durante la combustión o la fricción en las partes móviles debido a la presencia de depósitos de aceite quemado en las paredes internas del pistón. (Autoavance, 2013)

1.5.2. Baja presión en cilindros

Se puede deber a una mala ignición, retraso o adelanto de la inyección. Se lo puede considerar como un cilindro muerto por sus bajas presiones. Un cilindro muerto no produce trabajo y supone un proceso de combustión al terminar la compresión. La tolerancia incorrecta del elevador puede producir pérdidas de potencia, por la falta de asentamiento provocando que la válvula se queme. La caída de presión en la carrera de potencia genera eventos ruidosos identificable al cierre de la válvula. (Moreno, 2004)

1.5.3. Inyección atrasada

Este problema puede presentar cierto retardo en la combustión, conduce a presiones bajas de encendido, fallo en la ignición y mayores temperaturas de escape. Se puede deber potencialmente a las bajas presiones en el PMS y por un retardo del inyector.

1.5.4. Inyección adelantada

Se puede deber a las altas presiones en el PMS o adelanto del inyector. Los problemas en los tiempos del inyector destacan las fallas en las relaciones de aire/combustible demasiado rica, así como las altas temperaturas en la admisión. (Moreno, 2004)

1.5.5. Fugas en alta presión del cilindro

Se debe al sellamiento poco adecuado debido a válvulas sucias, carbonizadas o rotas, resortes dañados o rotos, asientos de válvulas y vástagos dañados o doblados. Se acompaña por poca presencia de gases de escape. Una correcta tensión en los resortes mejora el cierre de las válvulas sin producir grandes impactos. (Moreno, 2004)

1.5.6. Cierre tardío o temprano de las válvulas

Se puede conocer como efecto latigazo producido por válvulas sucias, carbonizadas o con fugas, y tolerancia incorrecta del elevador de válvulas. Las tolerancias incorrectas en una válvula se notan por la demora en abrir o cerrar. Se puede notar en un análisis con levantamientos o asentamientos muy fuertes y adherencia de la válvula en su asiento. (Moreno, 2004)

1.5.7. Excesiva fricción en la carrera de escape

Durante la carrera de escape no se tiene presión sobre el pistón. Sin embargo, se puede tener residuos, producto de la combustión incompleta que genera carbón y por ende mayor consumo de aceite. (Autoavance, 2013)

1.5.8. Desgaste del eje del balancín

La falta de lubricación, desbalanceo como el constante movimiento pueden provocar el desgaste del buje o cubo del balancín. El desgaste producido puede generar tanta holgura que al abrir y cerrar las válvulas con múltiples impactos. (Moreno, 2004)

1.5.9. Desgaste del pin, bulón de biela o cojinete

Se produce por las excesivas tolerancias entre el pin y el cojinete que genera un efecto ruidoso durante el cambio de la carga de compresión a tensión. Se suele presentar este desgaste en el PMS de la carrera de escape, cuando la presión al interior del cilindro es la menor del proceso. (Moreno, 2004)

1.5.10. Desgaste de la camisa

El desgaste se presenta como rayaduras, lo que puede deberse a un incorrecto montaje de los empaques que se terminan deformando en su diámetro por las altas temperaturas, ver figura 1.14a. Las tolerancias inapropiadas del diámetro de la camisa o sus partes como la progresiva rotura por atascamiento pueden quebrar la camisa, ver figura 1.14b. (Autoavance, 2013)

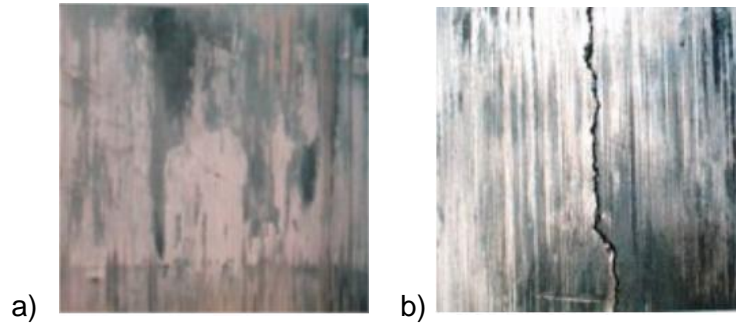


Figura 1.14. a) Desgaste de la camisa; b) Quebradura de la camisa

Fuente: (Autoavance, 2013)

La falta de lubricación, la diferencia de la temperatura con la chaqueta de agua de enfriamiento, depósitos abrasivos entre metal y metal como la falta de alineamiento entre la estructura-cilindro también producen el desgaste de la camisa. Es detectable las ranuras al menos 4 veces en un ciclo de un motor de 4 tiempos, y son más visibles cuando existe presión al interior del cilindro. (Moreno, 2004)

1.5.11. Anillo partido del motor

La pérdida del anillo de un motor puede darse por la deficiente relación aire-combustible en un tiempo no apropiado. Además, se puede deber a problemas en el combustible contaminado o la reducción en su grado de cetanaje. El socavado en los anillos se producen principalmente por las altas temperaturas en la combustión y el incorrecto enfriamiento en la corona que pueden minar el anillo rayando el pistón, ver figura 1.15a. La combustión incompleta genera carbón lo que siendo abrasivo terminar dañando los anillos del motor, ver figura 1.15b. (Autoavance, 2013)

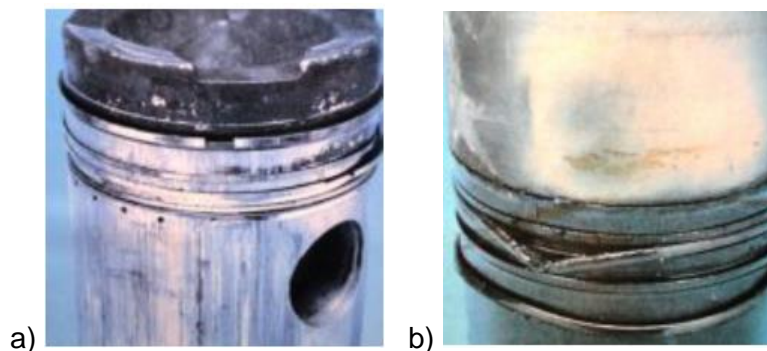


Figura 1.15. a) Socavado en el anillo; b) Anillo partido del motor.

Fuente: (Autoavance, 2013)

Los daños generalmente se producen en los anillos de compresión y las ranuras del pistón con aumento del juego.

1.5.12. Fallo en la inyección de combustible

En razón que el funcionamiento constante que tiene el bloque de inyección a presión de combustible debe funcionar entre 150 a 1500 veces por minuto a máxima velocidad. Se produce por cierre inadecuado en la bomba de inyección generando flujo de combustible cuando se espera cerrado el inyector. (Moreno, 2004)

1.6. Principales causas de vibración en los motores

Las máquinas o maquinarias rotativas con su funcionamiento están sujetas a un estado vibratorio constante normal, el cual está estrechamente relacionado al estado técnico de la máquina, puesto que en la medida de las variaciones de esta vibración se podría empezar a decir que la máquina ha comenzado a tener problemas en el elemento donde se ha detectado dicha oscilación. (Marin, 2007)

Aun cuando se espera que por las mismas fuerzas de inercia en los elementos dinámicos se produzca vibración, no siempre deberán ser estos excesivos. Entre las fuentes de vibración destacan los impactos mecánicos, la rugosidad, y la misma combustión. (Marin, 2007)

Los impactos mecánicos producidos por el pistón contra la camisa del cilindro son llamados también “piston slap”. El empuje es continuo y variable en la base del cilindro y su máximo se encuentra en el PMS. Los golpes laterales son detectados antes de la presión pico de encendido producto del desgaste de los anillos y la camisa. La detonación, altas presiones picos de encendido o presión desiguales en la corona del pistón producen el desbalance del pistón. (Moreno, 2004)

Las holguras dejadas son para promover el movimiento en la camisa, casquillo o bulón lo que permite tener un espacio de dilatación térmica que finalmente representa pequeños micro impactos por cada giro de la biela, o apertura o cierre de las válvulas. (Marin, 2007)

Si dos cuerpos unidos se encuentran con una velocidad relativa que genera fricción produce vibración. Considerando la calidad de las superficies que se deslizan y su velocidad entre ellas se podrá tener la magnitud de la vibración. Las altas vibraciones en los motores pueden ser ocasionada por la deficiencia en el apriete de la culata, soportes o espárragos de la boruta del turbo que no se encuentren apretados. La acumulación de objetos extraños en componentes giratorios especialmente aspas generan vibraciones.

1.7. Análisis de fallas por vibraciones.

Según ISO 2041, el concepto de vibración es “Toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio o de referencia”. (ISO 2041, 2009)

La medición de los niveles de vibración se maneja en tiempo o frecuencia en magnitudes físicas de desplazamiento, velocidad o aceleración, definidas así: (ISO 2041, 2009)

Desplazamiento: “Es la cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo con respecto a la referencia”. (ISO 2041, 2009)

Velocidad y aceleración son los vectores derivados del desplazamiento con respecto al tiempo y la velocidad del tiempo, respectivamente. (Marin, 2007)

Para ondas armónicas, las amplitudes del desplazamiento “D”, velocidad “V” y aceleración “A”, se relacionan en función de la frecuencia de la misma onda así:

$$V = \frac{A}{2\pi*f} ; D = \frac{V}{2\pi*f} ; D = \frac{A}{(2\pi*f)^2} \quad (\text{Ec. 1.2.})$$

Las unidades de medida de las vibraciones de cada magnitud se expresan según ISO 1000, y su conversión ver tabla 1.7.:

Tabla 1.7. Unidades de medida de vibración y su conversión común

Magnitud	Unidades	Conversión
Desplazamiento	m, mm, μm , <i>mil</i>	1 mil = 25.4 μm
Velocidad	m/s, mm/s, <i>ips</i>	1 ips = 25.4 mm/s
Aceleración	m/s ² , <i>g</i> ’s	1 <i>g</i> ’s = 9.807 m/s ²

Fuente: (ISO 1000), (NEWPORT CORP., 2022)

Las vibraciones se registran en virtud de las señales eléctricas derivadas del fenómeno mecánico. El resultado es un espectro de vibraciones que requiere un filtro de barrido que extraerá las componentes por frecuencias. (ISO 2041, 2009)

Los datos de vibración son recogidos por un transductor, que muchas veces por su portabilidad es un acelerómetro, que suele manejar es rangos de frecuencia como los de la tabla 1.8. Los transductores de presión son usados para medir las pulsaciones u otras vibraciones debida al flujo de gas. La salida del transductor es proporcional a la amplitud de la medida de la vibración. La forma de onda en el tiempo muestra como la salida del sensor varia conforme al tiempo. Esta forma de onda en el tiempo es

típicamente sinusoidal. Sin embargo, debido a muchas fuerzas inducidas en la vibración la información sinusoidal experimenta distorsión armónica. (Casadiego, 2021)

Tabla 1.8. Análisis de parámetros en rangos de frecuencias usados

Parámetros	Descripción	Rango de frecuencias	
Desplazamiento	Medida de las posiciones extremas de la superficie	Transductor de proximidad 0 – 600 Hz	Transductor de desplazamiento por contacto 0 – 200 Hz
Velocidad	Medida de la rapidez en que una superficie vibrante alcanza sus posiciones extremas	10 – 2000 Hz	
Aceleración	Razón de cambio de la velocidad desde el equilibrio a los extremos.	Alta sensibilidad 0.2 – 500 Hz	Baja sensibilidad 5 – 20000 Hz

Fuente: (Marin, 2007)

Las vibraciones mecánicas manejadas en su rango de frecuencia (el lugar de la falla) y la amplitud (la severidad de la falla), puede ser de tres tipos según (Marin, 2007):

1.7.1. Vibración armónica

Es el tipo de vibración más simple, que se representa por una senoide, la misma que en maquinarias o sistemas puede representar un problema potencial, como por ejemplo un desbalance. El modelo matemático de este movimiento en la ecuación 1.3:

$$y = Y \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (\text{Ec.1. 3.})$$

Donde:

Y: amplitud de onda de medio pico.

ω : velocidad angular constante. $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (rad/s)

t: periodo o tiempo en el que toma un ciclo. (s)

φ : fase de la vibración. (rad)

Parámetros que se pueden apreciar en la figura 1.16.

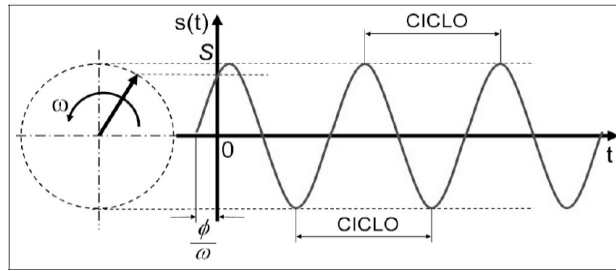


Figura 1.16. Vibración armónica.

Fuente: (Marin, 2007)

1.7.2. Vibración periódica

Es característica de una misma señal que se repite dentro de un cierto tiempo, esto debido a que puede existir una falla en la maquinaria rotativa que puede enfocarse en un solo punto, como el daño de un diente de un engranaje. ver figura 1.17. (Marin, 2007)

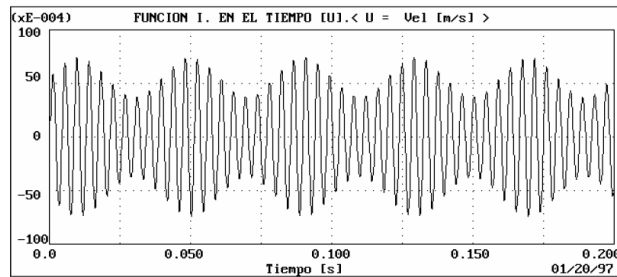


Figura 1.17. Vibración periódica.

Fuente: (Marin, 2007)

1.7.3. Vibración aleatoria

La vibración aleatoria no tiene un patrón a seguir, y por ello resulta difícil detectar el inicio y fin de esta, ya que suma diversas señales. Por lo general puede ocurrir en cavitaciones, fallas de lubricación, etc. ver figura 1.18.

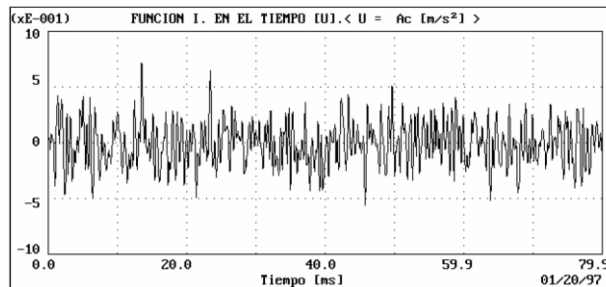


Figura 1.18. Vibración aleatoria

Fuente: (Marin, 2007)

1.8. Métodos para el procesamiento de las señales

Entre los métodos de medición de vibraciones se encuentran la acústica y de superficie. La medición acústica no trata de señales sonoras sino de la propagación de ondas vibro acústicas por el aire. La medición de superficie se lo realiza en puntos específicos o de forma discreta, así como directa al contacto con estos. (Mohd, 2021)

El dominio de las señales puede ser en tiempo, frecuencia y tiempo-frecuencia. Ver figura 1.19.

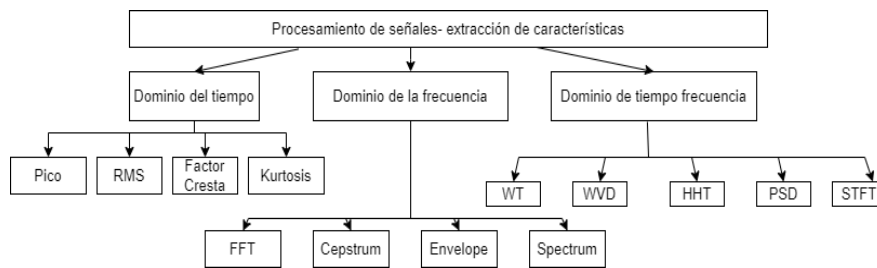


Figura 1.19. Métodos para el procesamiento de señales

Fuente: (Mohd, 2021)

1.8.1. Análisis de vibraciones en el dominio del tiempo

Se presenta de manera visual sobre una onda en función del tiempo que provee información de la modulación de la amplitud, el desbalance de eje, los componentes con alta frecuencia y otros de frecuencia transitoria. Puede en este dominio de tiempo no segregarse el ruido en los datos en la etapa temprana de la falla. (Mohd, 2021)

En el tiempo se puede definir los valores estadísticos; pico, RMS, factor cresta y curtosis. Siendo el más efectivo el uso del RMS por su relación con la potencia de vibración, si se considera una vibración armónica, la vibración RMS es proporcional al pico, ver figura 1.20. (Marin, 2007)

$$Y_{RMS} = 0.707 * Y_{pico} \quad (\text{Ec. 1. 4.})$$

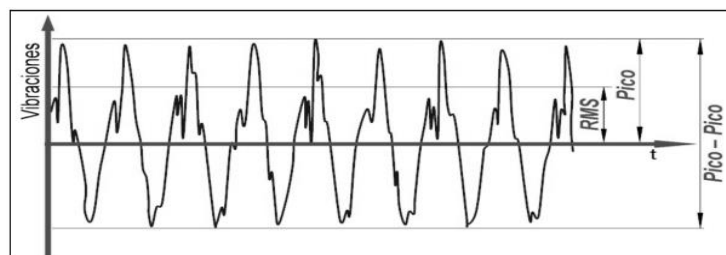


Figura 1.20. Indicadores de las vibraciones en el dominio del tiempo

Fuente: (Marin, 2007)

Para mediciones de desplazamiento considérese los valores pico-pico. Mientras que para medir velocidad y aceleración se considera la detección pico y RMS. (Marin, 2007)

Según, (ISO 2041, 2009) los valores pico son máximos valores de una magnitud que varía en un intervalo de tiempo. El valor pico-pico “es la diferencia algebraica entre los valores extremos de una magnitud que varían un cierto intervalo de tiempo”.

La definición de un valor pico es:

$$peak = |v(t)|_{max}. \quad (\text{Ec. 1. 5.})$$

La presencia de impactos cambia la señal incrementando los valores hasta obtener estos picos. La severidad de la falla puede determinarse en base a la amplitud de los respectivos picos. Dadas las diferencias entre un funcionamiento normal y una falla no siempre resulta eficiente en vibraciones de baja intensidad para RMS. (Mohd, 2021)

Los valores RMS para análisis de onda sinusoidal representan la cantidad de vibración en un componente rotativo. Los valores RMS son preferidos a los valores pico debido a que estos últimos son más sensibles al ruido. (Mohd, 2021)

El factor de cresta es la relación entre el valor de la señal de entrada y el valor RMS. (Mohd, 2021)

$$Factor\ de\ cresta = \frac{pico}{RMS} \quad (\text{Ec. 1. 6.})$$

El factor cresta se usa en las medidas de valores con diferentes velocidades de rotación. El factor se usa para hallar fallas en engranajes debido a la impulsividad, pero no es útil en rodamientos. (Mohd, 2021)

El valor curtosis es una medida adimensional estadística de valores atípicos en el análisis de vibraciones, que corresponde al número de picos transitorios. Los valores más altos indican desgaste, pero no dependen de la velocidad de rotación de la máquina sino solo de la impulsividad de la señal. Su valor no siempre es fácil de usar, pero contiene información relevante para cajas de transmisión. (Mohd, 2021)

Cada uno de los métodos en el dominio del tiempo tienen su ventaja y su desventaja como se la encuentra en la tabla 1.9.

Tabla 1.9. Ventajas y desventajas del dominio del tiempo

Métodos de dominio en el tiempo	Ventajas	Desventajas
Pico	Simple y fácil	Sensible al ruido
RMS	Técnica simple y fácil, contenido de energía directamente relacionado al perfil de vibración	Cambios en vibración RMS son solo sensibles a componentes de alta amplitud.
Factor cresta	Medidor de factor de cresta asequible	Útil solo en la presencia de impulsividad significativa
Curtosis	Alto rendimiento en detección periódica de fuerza impulsiva, alta sensibilidad al impacto se asume como un factor de forma independiente de una señal de amplitud	Medidor de curtosis costoso y puede entregar valores erróneos

Fuente: (Mohd, 2021)

1.8.2. Análisis de vibraciones en el dominio de la frecuencia

Las señales pueden ser codificadas en una combinación de ondas senoidales, que aparecen como una línea vertical en el dominio de la frecuencia donde la altura y posición representa la amplitud y la frecuencia, respectivamente. El análisis de frecuencia no siempre es útil para señales cuya frecuencia varía en el tiempo. (Mohd, 2021)

La transformada de Fourier (FFT) convierte una señal del dominio del tiempo $f(t)$ al dominio de frecuencia $F(\omega)$, lo que genera un espectro.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (\text{Ec. 1.7.})$$

FFT es un algoritmo muy usado para obtener la transformada de Fourier en señales de tiempo discretizado. En operación industrial los diagramas FFT consisten en un solo pico que representa la frecuencia natural, siendo que cualquier otro pico indica un defecto. FFT no puede indicar la severidad de la falla y pierde información, pero constituye una forma rápida de clasificarla. Se ha demostrado que en bajas frecuencias es más detectable el desgaste, así la eficiencia del proceso es mejorada principalmente para desalineamientos y condición de rodamientos. (Mohd, 2021)

En modo abreviado las ventajas y desventajas que presentan los métodos en el dominio de la frecuencia se detallan en la tabla 1.10.

Tabla 1.10. Ventajas y desventajas de métodos en el dominio de la frecuencia

Métodos en el dominio de la frecuencia	Ventajas	Desventajas
FFT	Fácil de implementar, técnica rápida	No analiza características transitorias en el tiempo
Análisis Cepstrum	Fácil de implementar, útil en análisis de banda lateral.	Solo para armónicos separados, las fluctuaciones del espectro son promediadas debido al filtro.
Análisis Envelope	Excelente aplicación en rodamientos, eficiente aun ante las pequeñas fluctuaciones.	Susceptible de error de diagnóstico, no es aplicable para sistema de transmisión.
Análisis Spectrum	Útil en señales que cambian en corto tiempo, tienen mayor rendimiento que FFT	Requiere de la habilidad y capacitación de un experto debido a su complejidad.

Fuente: (Mohd, 2021)

1.9. Normas aplicadas a las vibraciones en motores

1.9.1. ISO 10816-6

Norma internacional establecida para la evaluación de las vibraciones de partes no rotativas. Máquinas reciprocas con una razón de potencia sobre 100 kW. Se ubican en la norma cartas de severidad de vibración como modelos gráficos de máquinas previamente estudiadas. Las máquinas reciprocantes se caracterizan por las masas oscilantes, variación cíclica de torques y fuerzas pulsantes. La norma establece que deben ser los mismos puntos de medida para que exista relación en la toma de señales entre diferentes máquinas para que puedan ser comparadas, se sugiere por la figura 1.21. y nomenclatura según la tabla 1. 11. (ISO10816-6, 1995)

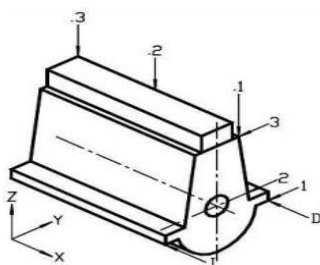


Figura 1.21. Ejemplo de los puntos y dirección en una máquina en línea

Fuente: (ISO10816-6, 1995)

Para la toma de medidas se considera condiciones de operación estables de presión, carga y temperatura. La máxima vibración encontrada en el rango de potencia y velocidad de operación normal se obtiene la severidad de la vibración en la máquina, con la tabla 1.12, o su nomograma figura 1.22.

Tabla 1.11. Nomenclatura de puntos y direcciones de la medida en una máquina

Lado de medida	Mano izquierda de frente al acople	L
	Mano derecha de frente al acople	R
Niveles de medida	Borde inferior de la bancada	1
	Nivel del cigüeñal	2
	Borde superior de la bancada	3
Puntos de medida eje longitudinal de la maquina	Laco del acople	.1
	Mitad de la maquina	.2
	Lado libre	.3

Fuente: (ISO10816-6, 1995)

Tabla 1.12. Grados de severidad

Grado de severidad de vibración	Valores límites de vibración promedio en la estructura de la máquina		
	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración
	μm (RMS)	mm/s (RMS)	m/s^2 (RMS)
1.1	≤ 17.8	≤ 1.12	≤ 1.76
1.8	≤ 28.3	≤ 1.78	≤ 2.79
2.8	≤ 44.8	≤ 2.82	≤ 4.42
4.5	≤ 71	≤ 4.46	≤ 7.01
7.1	≤ 113	≤ 7.07	≤ 11.1
11	≤ 178	≤ 11.2	≤ 17.6
18	≤ 283	≤ 17.8	≤ 27.9
28	≤ 448	≤ 28.2	≤ 44.2
45	≤ 710	≤ 44.6	≤ 70.1
71	≤ 1125	≤ 70.7	≤ 111
112	≤ 1784	≤ 112	≤ 176
180	≤ 1784	≤ 112	≤ 176

NOTA: Los valores fueron derivados de desplazamiento constante en el rango de 2 -10 Hz, velocidad constante de 10-250 Hz y aceleración constante de 250-1000 Hz.

Fuente: (ISO10816-6, 1995)

La empresa CELEC EP Sacha tiene un equipo medidor de vibraciones con el que realizaba la toma de señales considerando los siguientes límites recomendados por la ISO 10816-6 para detectar la evaluación de severidad, que son en función de la velocidad, ver la figura 1.23.

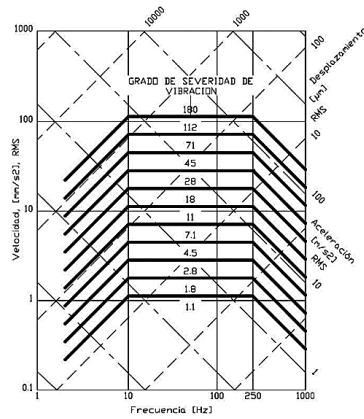


Figura 1.22. Nomograma de grado de severidad

Fuente: (ISO10816-6, 1995)

Evaluación de severidad.			
(ISO 10816)			
>11		v(rms)	Maquina puede sufrir daño.
>7,1 y ≤ 11		v(rms)	Operación en periodos limitados.(Mtto correct. Planif.)
>3,5 y ≤ 7,1		v(rms)	Opearación sin restricción
≤ 3,5		v(rms)	Maquina Nueva

Figura 1.23. Límites de velocidad RMS (vibraciones) recomendados ocupados en CELEC EP
Sacha

Fuente: CELEC EP Sacha.

1.9.2. ISO 2372

Norma aplica para la vibración mecánica en maquinaria rotativa con velocidades de operación de 10 a 200 revoluciones por segundo. La norma considera la vibración en las superficies de las máquinas, en los rodamientos o los montantes, en una frecuencia entre los 10 y los 1000 Hz. La vibración torsional no se la considera. La severidad de la vibración se acopla al tamaño y masa del cuerpo vibratorio, características del montaje y el uso de la máquina, se las clasifica en 6 clases. Para propósitos de ejemplificación se selecciona la máquina de Clase 3 y sus rangos de severidad en código de colores, en la figura 1.24. (ISO 2372, 1974).

Evaluación de severidad.			
(ISO 2372)			
D	>11.2	v(rms)	Maquina puede sufrir daño.
C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados.(Mtto correct. Planif.)
B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Opearación sin restricción
A	≤ 1.8	v(rms)	Maquina Nueva

Figura 1.24. Evaluación de severidad ISO 2372 clase 3

Fuente: (ISO 2372, 1974)

1.10. Análisis de falla por ultrasonido

La energía ultrasónica se encuentra presente en toda la operación de la máquina. Se presenta en la forma de fricción, flujo turbulento, impactos o ionización como parte del proceso. Las emisiones ultrasónicas son creadas y presenta un parámetro ideal para el monitoreo de maquinaria. El ultrasonido es ideal tecnológicamente debido a que provee una forma eficiente, rápida y no invasiva para la localización de anomalías en cortos periodos de tiempo. (ISO 29821, 2022)

La versatilidad de los instrumentos para medir ultrasonido en muchos ambientes, ahorro de energía en la ubicación de fugas de aire, reparación temprana y extensión de vida útil de los componentes lo hacen factible económicamente. El ultrasonido está en la etapa más temprana desde el inicio de una anomalía antes que cualquier otra tecnología, ver figura 1.25. (UE System Inc., 2020)

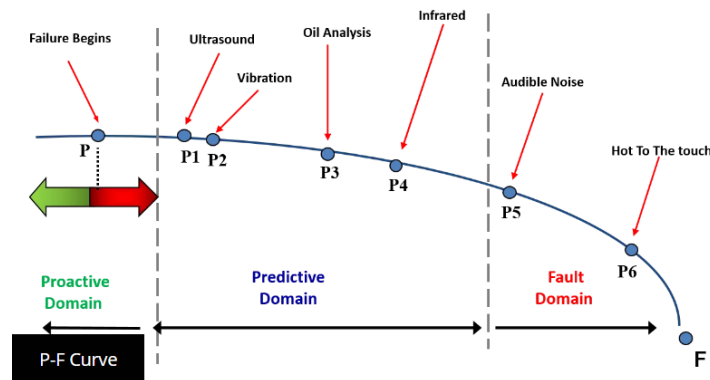


Figura 1.25. Falla potencial vs. Falla funcional (curva P-F)

Fuente: (UE System Inc., 2020)

La tecnología del ultrasonido funciona con sonidos de alta frecuencia con equipos que superan los 20Hz. Los sonidos de baja frecuencia mantienen una alta intensidad de volumen y viaja más lejos que un sonido de alta frecuencia. La alta frecuencia es direccional. Debido a la onda de propagación desde el punto de generación su nivel de intensidad se reduce conforme avanza en distancia dependiente de la elasticidad y densidad del medio. El ultrasonido de contacto no requiere sustancias o equipo de acoplamiento. Las bajas frecuencias son mejor transmitidas que el ultrasonido de pulso y eco, siendo que los espacios entre la probeta de contacto y la estructura no afecta la señal recibida. La emisión acústica es un fenómeno de radiación de ondas acústicas en sólidos que ocurre cuando un material sufre cambios irreversibles en su estructura interna. La emisión acústica permite detectar la formación de grietas de componentes sujetos a fatiga. (ISO 29821, 2022)

1.10.1. Norma ISO 29821

Norma aplicada para el monitoreo por condición y diagnóstico de máquinas por ultrasonido, en sus procedimientos y validación por ultrasonido. El propósito de esta norma es proporcionar una guía en la interpretación de las lecturas de ultrasonido, archivos de onda, dominios en la frecuencia y tiempo para el monitoreo de la condición de máquinas. El fin del ultrasonido es detectar anomalías en eventos de alta frecuencia debido al flujo turbulento, ionización, impacto, fricción excesiva, goteo, falta de lubricación, desgaste de componentes y descargas eléctricas. (ISO 29821, 2022)

1.10.2. Ventajas y limitaciones del análisis de fallas por vibraciones y ultrasonido

La principal ventaja de este tipo de análisis es no ser intrusivo, es decir, no requiere un desmantelamiento total o parcial. Además, permite conocer de manera efectiva información en diferentes condiciones (arranque, parada, normal), con lo que podemos determinar si existen fallas o un funcionamiento no es habitual. Se estima que la técnica de análisis de vibraciones supera en al menos el 82% de eficiencia en el diagnóstico de fallas. (Mohd, 2021)

Este tipo de análisis requiere de ciertas partes básicas como un kit de sensores (acelerómetros), analizador de señal (multicanal), un grabador de señal y un equipo o software de análisis por lo que esto puede llegar a ser muy costoso y al mismo tiempo una técnica complicada tanto para realizar buenas mediciones de los espectros y así también como el análisis de estos. (Moreno, 2004)

1.11. Consideraciones para el tratamiento de señales vibro acústicas.

El muestreo consiste en tomar medidas de una señal continua en instantes equidistantes de la variable a tratar.

Los parámetros de un muestreo son:

- Periodo (T): es el intervalo que existe entre una muestra y otra.
- Frecuencia (Fs): número de muestras por unidad. Es el inverso del periodo, es decir: $F_s = \frac{1}{T}$

Entonces el muestreo permite pasar de una señal continua a una señal discreta.

El tratamiento de señales vibro acústicas es fundamental para poder eliminar cualquier dato que no tenga una consistencia con respecto a la medición realizada. (Marin, 2007)

1.11.1. La transformada rápida de Fourier en señales vibro acústicas tiempo discreto TFDT o DTFT.

La transformada de Fourier es una herramienta para el análisis de señales discretas (digitales), que permite pasar una señal en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia o viceversa, con el objetivo de apreciar aspectos que no se han podido observar en algún dominio. El sustento matemático de la transformada de Fourier es el siguiente: (Marin, 2007).

$$A(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (\text{Ec. 1. 8.})$$

$$a(n) = \sum_{k=0}^{N-1} A(k) e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (\text{Ec. 1. 9.})$$

Donde:

- N: número de muestras discretas de un segmento.
- a(n): señal real discretizada.
- A(k): señal compleja.
- n = 0,1,2,3... N-1 Coeficiente con el que está regido el dominio del tiempo.
- k = 0,1,2,3... N-1 Frecuencia que varía de 0 a N-1

Se va a observar en la siguiente figura 1.26. el caso de una señal real $a(t)$ y su señal discretizada en $n = N - 1$ números de puntos de muestreo y transformada de Fourier.

La transformada de Fourier busca agrupar señales en grupos de frecuencias, es decir, transforma una función discreta de N puntos, en señales sinusoidales que se suman tomando en cuenta su amplitud y fase con la finalidad de generar un espectro similar al de la figura 1.26 en $A(k)$. (Marin, 2007)

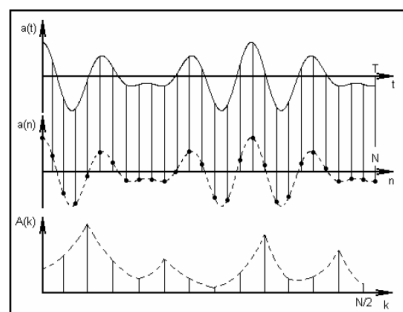


Figura 1.26. Desratisación y transformación de Fourier

Fuente: (Marin, 2007)

A continuación, se presenta otro ejemplo de una señal que sea ha realizado una transformada de Fourier, donde se observa entonces que la función en tiempo real puede ser también representada por 5 señales sinusoidales con frecuencias de 10, 20, 30, 40 y 50 Hz y con sus respectivas amplitudes, ver figura 1.27.

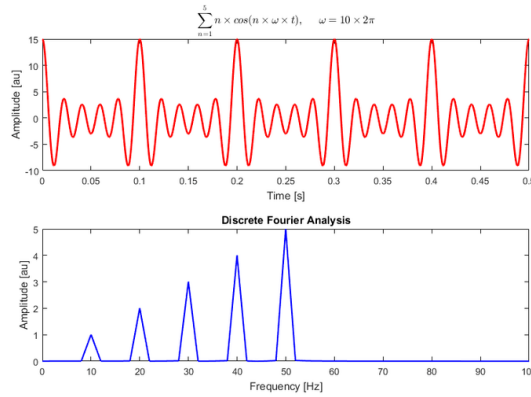


Figura 1.27. Desratización y transformación de Fourier para análisis discreto

Fuente: (Commons Wikimedia, 2016)

La transformada rápida de Fourier (FFT) desglosa una señal desde el dominio del tiempo en ondas senoidales armónicas y fundamentales. Al usar FFT las señales periódicas son transformadas en dominio de la frecuencia mientras que las señales no periódicas indican un problema no asociado con la máquina. Todo pico indica impactos asociados con los rodamientos o engranajes de transmisión. Mientras que problemas intermitentes son señales como discontinuidad, asimetría o distorsión indicando fallas eléctricas. (Casadiego, 2021)

La señal en el dominio de la frecuencia se refleja en el eje Y como amplitud y en el eje X como frecuencia. La información en el dominio de la frecuencia se refleja los eventos periódicos, la amplitud relativa de un componente en la máquina, la relación armónica con la señal vibracional, las frecuencias más cercanas y su localización, ver figura 1.28.

La subárea de las señales indica los componentes sincrónicos, es decir, como frecuencia en velocidad de carrera. Los componentes se expresan en $(n \times P)$ siendo “n” entero y “P” la frecuencia rotativa expresada en RPM. Así, la frecuencia fundamental o de primer orden es igual a la rotación en RPM. Los componentes sincrónicos se pueden subdividir en componentes de bajo y alto orden. (Casadiego, 2021)

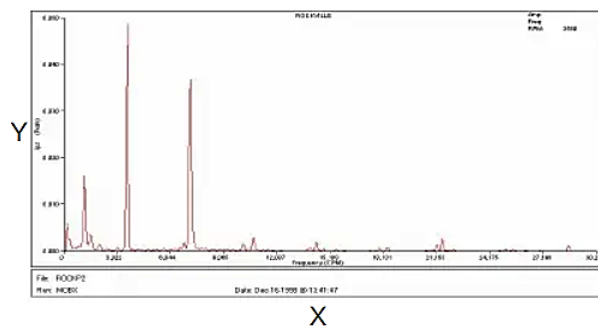


Figura 1.28. Señales en el dominio de la frecuencia

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.12. Defectos en el dominio de la frecuencia encontrado en máquinas

Se considera para componentes en bajo orden “n” desde 1 a 8. Destacándose los defectos:

1.12.1. Desbalanceo

Para componentes en 1X, la forma de onda y amplitud de la frecuencia en 1X incrementa uniformemente con la velocidad. Si se detecta bajos niveles en 2X y 3X son radiales en el plano dominante, ver figura 1.29. (Casadiego, 2021)

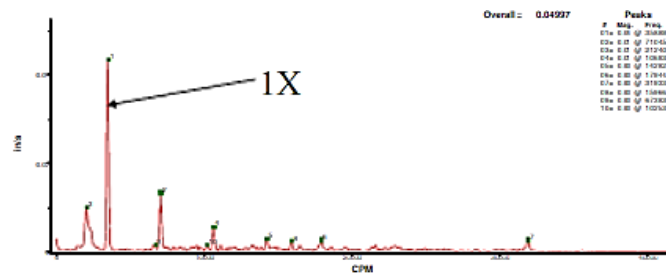


Figura 1.29. Desbalanceo FFT

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.12.2. Desalineamiento

Ocurre en frecuencia natural. Las amplitudes radial y axial son observadas como componentes constantes 1X, 2X, o 3X, mientras el componente 4X es bajo, ver figura 1.30.

Ejes doblados exhiben los siguientes síntomas:

- Si 1X domina, sospecha de desalineamiento angular
- Si los niveles axiales son mayores que los radiales existe mayor severidad.
- Si la vibración axial es baja o existe altos niveles en 4X se sospecha de falta de ajuste o desprendimiento.

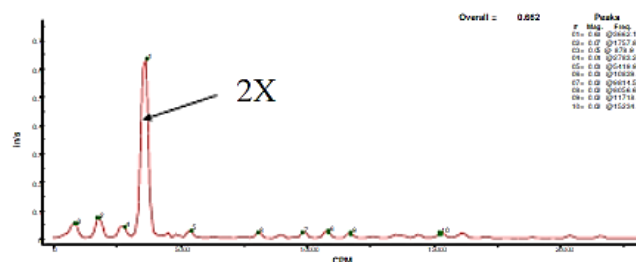


Figura 1.30. Desalineamiento FFT

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.12.3. Desprendimiento o falta de ajuste

Tiene muchos armónicos fundamentales, en segundo y tercer orden muchos con mayores amplitudes que los de primer orden, ver figura 1.31. Si es desprendimiento se tiene valores de orden impar. La vibración puede ser direccional en planos rotacionales, pero es mayor en el sentido radial y detectable a temperatura normal.

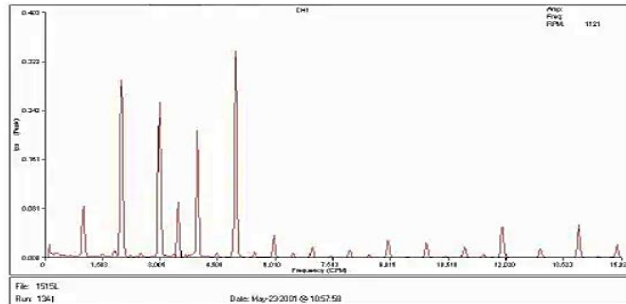


Figura 1.31. Desprendimiento o falta de ajuste FFT

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.12.4. Problemas en rodamientos de rodillo.

Se detectan en la dirección radial. Las frecuencias armónicas de la falla se presentan notoriamente y las bandas laterales solo si la falla sobre o dentro de la zona de carga, ver figura 1.32.

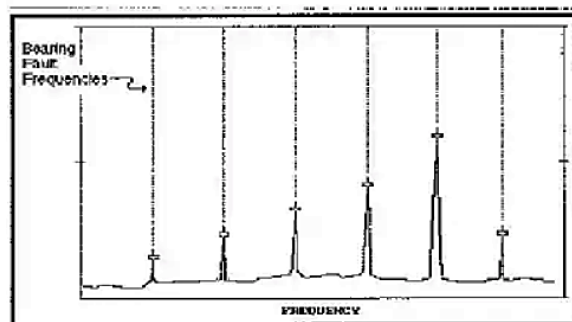


Figura 1.32. Problemas en el rodamiento FFT

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.12.5. Cojinete de deslizamiento con holgura excesiva

El problema se observa con altos niveles de vibración radial con valores constantes en $1X$, $2X$, o $3X$ y altos en armónicos, ver figura 1.33.

Se presenta salpiqueo de aceite con vibración sub - sincrónica en 0.42 a $0.48X$.

El desgaste por frotamiento se detecta con formas de onda en tiempo ruidosa o componentes con las más altas frecuencias.

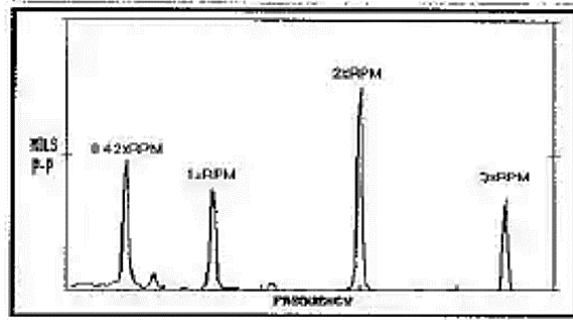


Figura 1.33. Problemas en cojinetes de deslizamiento

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.13. Limitaciones

1.13.1. “Aliasing” y frecuencia de Nyquist

El “Aliasing” es un defecto en el que la frecuencia de muestreo es muy baja y no permite representar adecuadamente una señal real. (Marin, 2007)

El efecto “Aliasing” a medida que se reduce la frecuencia, la gráfica no representa ni se asemeja a la real. Además, a una frecuencia de 20 Hz se puede decir que la señal será semejante a la real, así con aumentar la frecuencia se incrementa los puntos de muestreo, ver figura 1.34.

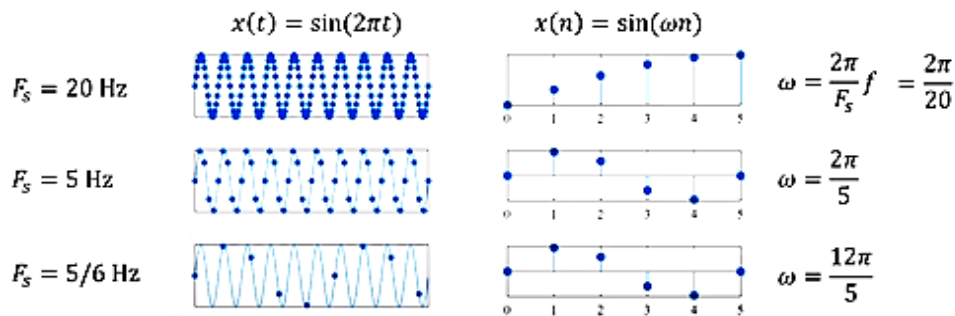


Figura 1.34. Efecto Aliasing

Fuente: (Pertuz, 2020)

La frecuencia de Nyquist nos dice que para que una señal discretizada no tenga problemas de “Aliasing” se tiene que establecer una frecuencia de muestreo al menos 2 veces mayor a la frecuencia máxima de una señal, es decir Fuente: (Marin, 2007)

$$F_s = \frac{1}{T_s} > 2f_{max} \quad (\text{Ec. 1. 10.})$$

Donde:

- F_s : frecuencia de muestreo.
- T_s : periodo de muestreo.
- F_{max} : frecuencia máxima

La frecuencia máxima viene dada por (Marin, 2007):

$$F_{max} = \frac{Fs}{2.56} \quad (\text{Ec. 1. 11.})$$

1.13.2. Leakage

El efecto “Leakage” o de fuga hace referencia a que una señal tiene que ser limitada en un espacio temporal, es decir encerrarla. Se puede dar el caso en el que una señal ha sido fraccionada en el tiempo, es decir que no se ha captado la señal completa debido a fugas. Como ejemplo una señal que no presenta problemas de efecto “Leakage”, ya que no existe una dispersión de energía y que alcanza el pico máximo de la amplitud de la señal original en 1.25 unidades, ver figura 1.35 a).

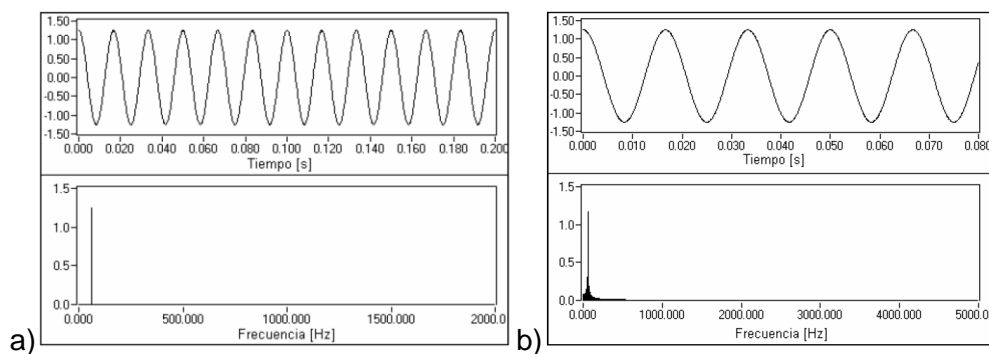


Figura 1.35. a) Señal transformada sin problemas de “Leakage”. b) Señal transformada con problemas de un 4% de efecto “Leakage”.

Fuente: (Marin, 2007)

Mientras tanto, ver figura 1.35 b), la señal no tiene la misma energía, ya que existe una dispersión en otras frecuencias, y que la amplitud del pico máximo no llega al 1.25 unidades, con un error del 4%, por lo que la señal original no está correctamente representada debido al efecto “Leakage”. Entonces si la ventana de observación se hace más pequeña, se puede observar que el efecto “Leakage” se hace presente generando que datos relevantes se pierdan, y este efecto disminuya a medida que se incrementa el tamaño de la ventana. (Marin, 2007)

1.14. Ventanas para el tratamiento de eventos transitorios

Las ventanas de ponderación son una herramienta de filtraje que sirve para eliminar discontinuidades al inicio y final de una señal, consisten en multiplicar la transformada de Fourier calculada por la ventana de ponderación. Existen diversos tipos de ventanas que se pueden apreciar, ver figura 1. 36., con las siguientes características:

- “Hanning”: este tipo de ventanas no es adecuada para eventos transitorios, ya que aumenta la exactitud de la frecuencia, pero disminuye la exactitud de la amplitud con un error de hasta el 6%.
- “Flat-Top”: este tipo de ventanas no es adecuada para eventos transitorios, aumenta la exactitud de amplitud y genera un error de hasta el 1% en la frecuencia.
- Rectangular: es utilizada para señales transitorias, generando un error de hasta un 36% en la amplitud. (Marin, 2007)

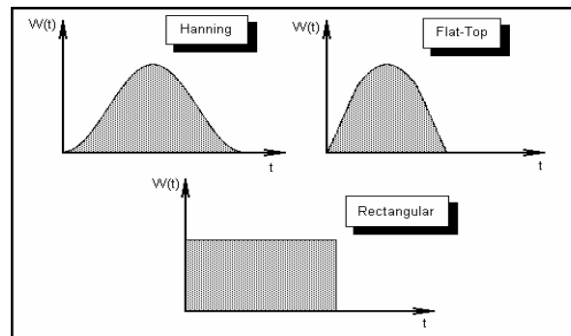


Figura 1.36. Ventanas de ponderación.

Fuente: (Marin, 2007)

1.15. Equipos y proceso de monitoreo de vibraciones

El monitoreo en tiempo real se efectúa con equipos analizadores de vibraciones categorizados en tiempo, frecuencia y dominio de tiempo-frecuencia. (Mohd, 2021)

El análisis de vibración para el monitoreo se establece por los siguientes procesos; adquisición de datos, procesamiento de señales, reconocimiento de fallas. Entre el conjunto de equipos que pueden ser seleccionados se tiene los métodos de modelo-base y de manejador de datos. El método de modelo-base requiere un modelo analítico del sistema, mientras el método de manejo de datos no necesita asumir el modelo y se requiere técnicas de procesamiento más avanzado, el procesamiento de extracción de datos se tiene en la figura 1.37. (Mohd, 2021)

Los instrumentos básicos para el procesamiento de datos son el analizador y el sensor. El analizador de datos puede ser en servidor autónomo y otro computarizado. Los sensores de vibración pueden ser acelerómetro, transductor velocímetro, sensor de desplazamiento, vibro-metro laser Doppler (LDV). Los acelerómetros pueden ser acelerómetros o sistema microelectromecánico (MEMS), ver figura 1. 38.

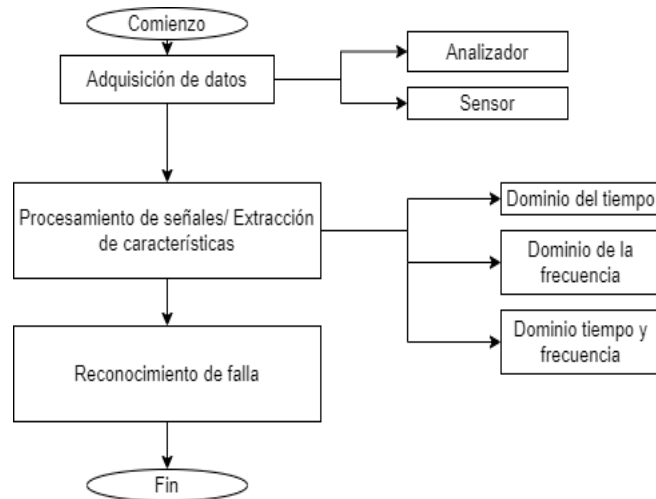


Figura 1.37. Modelo de Extracción de datos con un equipo de análisis de vibraciones

Fuente: (Mohd, 2021)

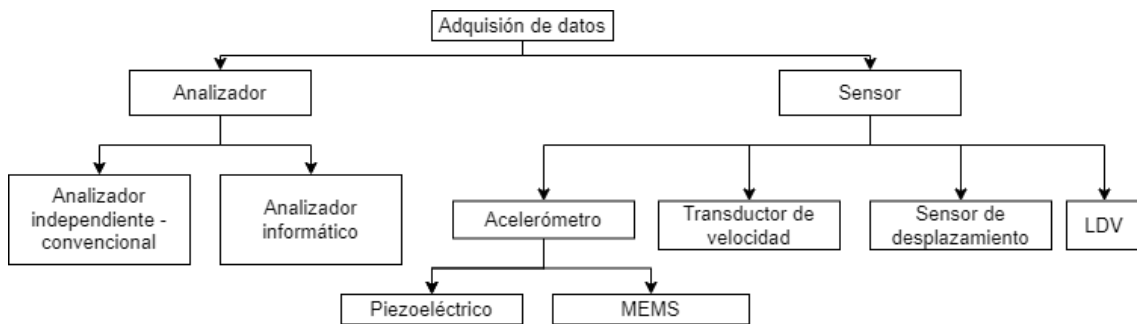


Figura 1.38. Etapas en el adquirente de datos

Fuente: (Mohd, 2021)

Un analizador se compone de un sensor, amplificador, filtro y convertor de A/D. El amplificador mejora la resolución de la señal y reduce el ruido. El filtro se encarga de separar la señal de “Aliasing” para evitar que ésta se encuentre en la etapa de digitalización. Una vez obtenida la señal se digitaliza en el convertor A/D, atraviesa la unidad de procesamiento y se convierte en una forma de onda-tiempo o espectro de frecuencia. (Mohd, 2021)

1.15.1. Sensores de un equipo analizador de vibraciones

Los sensores o transductores son dispositivos que convierten las señales mecánicas en señales eléctricas, se especifica las ventajas y desventajas de estos en la tabla 1.13. (Mohd, 2021)

Tabla 1.13. Ventajas y desventajas de los sensores usados en cálculo de vibración.

Sensor	Ventajas	Desventajas
Acelerómetro Piezoeléctrico	Ligero, ultrasensible, buena frecuencia, rango dinámico	Requiere integración electrónica a los datos de velocidad y desplazamiento, vulnerable a la interacción con el entorno.
Acelerómetro MEMS	Económico, baja potencia de procesamiento, alta sensibilidad	Pobre relación ruido y señal.
Transductor de velocidad	Operación sin dispositivo externo, el menos costoso de todos los sensores.	Rango de frecuencia operacional limitada, falta de confiabilidad sobre una frecuencia operacional sobre los 121°C.
Sensor de desplazamiento	Buena sensibilidad, circuito post – procesamiento simple, poco mantenimiento.	Susceptible a impacto, difícil de instalar.
LDV (Laser Doppler Vibrometer)	Fácil de cambiar los puntos de medida, habilidad para proveer mayores rangos de medida sin comprometer la calidad de la señal.	Altamente costoso, poca portabilidad.

Fuente: (Mohd, 2021)

1.16. Análisis de vibraciones y ultrasonido en el motor Hyundai 9H21/32 con el equipo Windrock

1.16.1. Equipo Windrock 6320 PA/MA

Es una herramienta que permite medir señales de vibración y ultrasonido, de modo que se puedan identificar las condiciones mecánicas y/o el rendimiento de máquinas. Windrock evalúa los sistemas mecánicos por fugas, desgaste, irregularidades en tiempo y eventos, condición de cilindros, válvulas, e inyectores, entre otros. Esta detección temprana de los equipos permite identificar previamente eventos riesgosos y proporcionar beneficios económicos. En su funcionamiento obtiene los valores dinámicos relacionados con la posición del cigüeñal o biela, donde los sensores obtienen datos por cada grado de manivela. La evaluación puede desarrollarse por el analizador que incorpora en la forma de onda y herramientas FFT, usado para el estudio de maquinaria rotativa, bombas, motores y ventiladores. (Ojeda, 2020)

Para la realización de las mediciones la empresa CELEC EP Sacha tiene el equipo y software Windrock 6320 PA/MA, que se compone principalmente de una consola que mide señales de amperaje y voltaje que ingresan desde los sensores y transductores para convertirlos en datos útiles, exponiendo valores y graficas representativas tal como se observa en la figura 1.39. Además, los demás elementos y componentes del equipo se detallan en la tabla 2.1 del anexo 4.



Figura 1.39. Consola equipo Windrock

Fuente: (Ojeda, 2020)

El equipo Windrock permite obtener principalmente graficas de: presión, vibración y ultrasonido vs ángulo del cigüeñal, y gráficas de vibración puntual, lo que permitiría detectar una de las siguientes posibles fallas según (Viñuelas, 2011) ver la figura 1. 40.

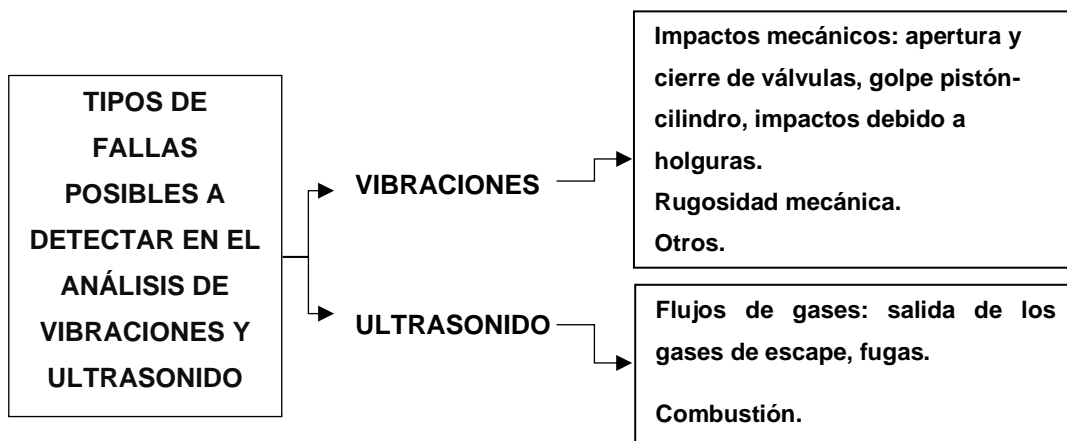


Figura 1.40. Tipos de fallas posibles a detectar en el análisis de vibraciones y ultrasonido.

Fuente (adaptada): (Viñuelas, 2011)

1.16.2. Indicaciones normales de presión, vibración y ultrasonido de los motores de combustión interna (Hyundai 21H32) con Windrock

En este caso el motor Hyundai 9H21/32 de 4 tiempos tiene un funcionamiento con un ciclo completo de 2 ciclos o revoluciones del cigüeñal, realizando las carreras de combustión, escape, admisión y compresión, dicho funcionamiento puede ser representado en las señales vibro acústicas con los diversos equipos de medición con 3 señales principales, que se observan en la figura 1.41.

Por lo que, en un funcionamiento normal el diagrama de presión en el cilindro vs ángulo de cigüeñal y los esquemas de válvulas de admisión, escape de un motor diésel de 4 tiempos deberá ser similar al que se puede observar en la figura 1.40, con los efectos normales de la figura 1.43.

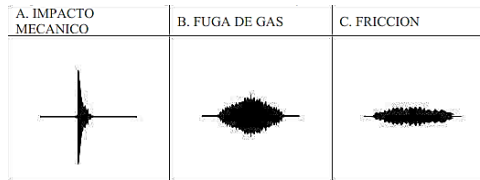


Figura 1.41. Representación de los fenómenos principales que se observan en un análisis de vibraciones y ultrasonido.

Fuente: (Moreno, 2004)

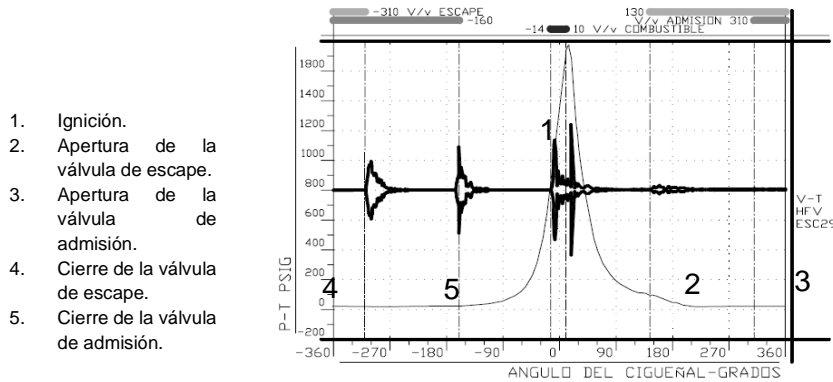


Figura 1.42. Diagrama presión vs ángulo de cigüeñal y esquemas de vibración y ultrasonido de las válvulas de escape y admisión de un motor de 4 tiempos.

Fuente: (WINDROCK INC, 2015)

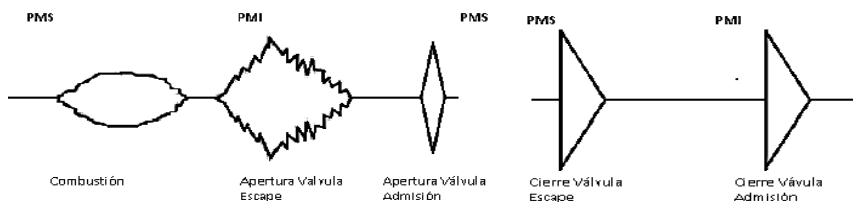


Figura 1.43. Representación de los fenómenos principales que se observan en un análisis de vibraciones.

Fuente: (Viñuelas, 2011)

Una indicación normal durante la carrera de potencia o expansión es que no debe haber ningún evento de vibración o ultrasonido. La apertura de la válvula de escape no presenta cambios en su señal, como la válvula de admisión siendo esta no tan visible al cierre que a la apertura. (Moreno, 2004)

El desgaste en la camisa se pueden notar en el diagrama con picos de vibración simétricos antes y después del punto muerto superior, este desgaste debe ser corroborado con un análisis de aceite. (Moreno, 2004)

Se debe considerar que existe un evento principal que es la inyección de combustible en la recámara, la apertura y cierre de la válvula se nota con dos impactos, el primero ligeramente menor que el impacto al cierre que es mayor, ver figura 1. 44.

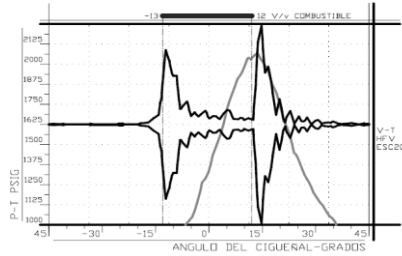


Figura 1.44. Vibración detectada en la apertura y cierre de la válvula de combustible

Fuente: (Moreno, 2004)

1.17. Estudios anteriores

Existen pocos estudios sobre el análisis de fallas en motores estacionarios con un equipo de vibraciones y ultrasonido Windrock. Entre estos se encontró un estudio realizado en Colombia, en el que se explican diversos tipos de fallos utilizando el equipo Windrock, se presenta un ejemplo a continuación.

1.17.1. Ignición incompleta.

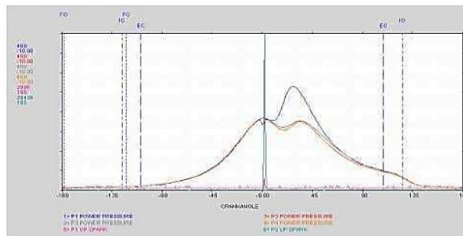


Figura 1.45. Señal de presión y voltaje vs ángulos del cigüeñal motor de 2 tiempos (Windrock)

Fuente: (Moreno, 2004)

En la figura 1.45 se puede observar como la gráfica de presión no llega a un pico alto y tiene una forma irregular, por lo que la ignición está incompleta, las causas de esto según (Moreno, 2004) son: carrera incompleta, retraso en la chispa, mezcla aire combustible pobre. Por lo que, una vez hecho el análisis técnico, realizaron un adelanto de chispa de 10° antes del punto muerto superior con lo que quedó solucionado el problema tal como se puede observar en la figura 1.46.

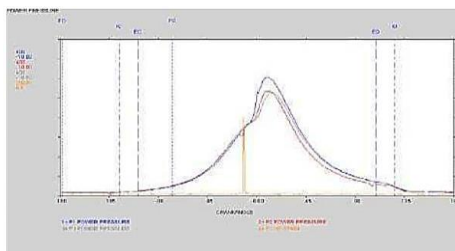


Figura 1.46. Señal de presión y voltaje vs ángulos del cigüeñal motor de 2 tiempos

Fuente: (Moreno, 2004)

1.17.2. Fugas en carrera de compresión

En la figura 1.47 se puede observar que se ha encontrado una señal atípica del patrón en la zona una vez que se cierra la válvula de escape, lo que puede indicar que existe una falla en la válvula o en los rines, ver figura 1.48. Las fugas son más visibles antes del punto muerto superior, cuando al interior del cilindro hay mayores presiones.

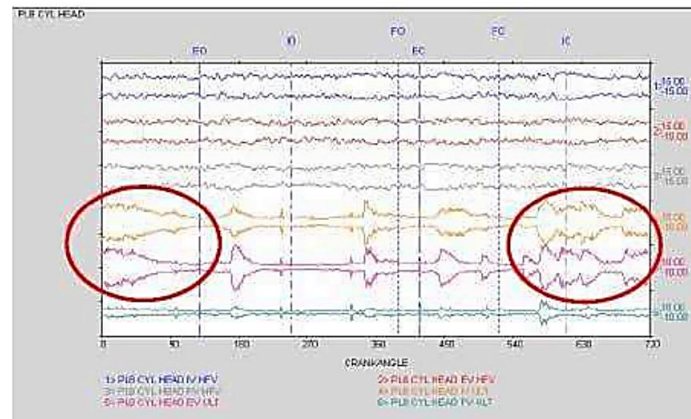


Figura 1.47. Ultrasonido vs ángulo del cigüeñal con una fuga en la zona de compresión.

Fuente: (Moreno, 2004)



Figura 1.48. Señal de presión, válvula partida

Fuente: (Moreno, 2004)

En el cambio de la válvula de escape se pudo reducir la señal, ver figura 1.49:

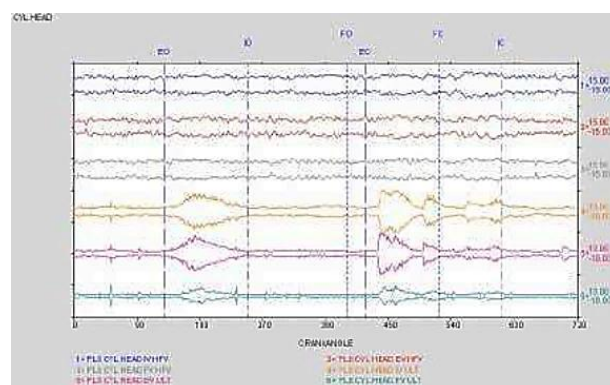


Figura 1.49. Ultrasonido vs ángulo del cigüeñal sin problemas.

Fuente: (Moreno, 2004)

2. METODOLOGÍA

2.1. Introducción de la metodología – Enfoque de la investigación.

El desarrollo del presente proyecto se enfoca en el análisis cualitativo y cuantitativo de los datos adquiridos, obteniéndose un formato para obtención de reportes, en hojas dinámicas de Excel que permita visualizar y comparar los defectos o fallas con potencial ocurrencia. Se considera los mantenimientos preventivos realizados en horas de operación para verificar los cambios antes y después de estos.

2.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es transversal, experimental y de campo debido a que se realizan diversas pruebas en las unidades de generación antes y después de las inspecciones rutinarias para notar luego de estos cambios los resultados esperados. Así también es transversal pues se enfoca a un tiempo definido de operación de los motores con la finalidad de comparar con estudios previos, generar una base de datos que permita comprar y predecir fallas potenciales y de esta manera poder concluir y responder las preguntas de la investigación.

2.1.2. Universo y selección de la muestra

CELEC EP cuenta con 27 centrales termoeléctricas y 14 hidroeléctricas en Ecuador, se ha seleccionada por disponibilidad de acceso a la empresa la central termoeléctrica Sacha que cuenta con una disposición de motores de combustión interna usados para la generación de energía eléctrica para los sectores estratégicos públicos y privados en la región oriental ecuatoriana. (Zambrano, 2014)

CELEC EP Sacha cuenta con 12 MDU y para este estudio se han tomado en cuenta 4 MDU como muestra, que corresponde al 33.33 % del universo de los motores para poder realizar el estudio.

2.1.3. Instrumento de colección de datos

Los principales medios para recopilación de información en la empresa CELEC EP Sacha son:

- a. Recolección de datos desde manuales, bitácoras en línea con registros de fallas en los motores al interior de la empresa o datos de eventos históricos registrados en bibliografía.

- b. Entrevistas no estructuradas con personal técnico y supervisor encargados, con preguntas abiertas y sencillas que se relacionan con la operación y mantenimiento de los motores.
- c. Observación participante de la operación de los motores y los mantenimientos ejecutados, así como la total intervención en la toma de los registros de vibraciones y ultrasonido en los motores escogidos como muestra.

2.2. Investigación transversal experimental de campo

La metodología de este proyecto se base principalmente en la obtención y el análisis de vibraciones y ultrasonido de las gráficas que son:

- Presión de los cilindros vs ángulo del cigüeñal.
- Vibración vs ángulo de cigüeñal.
- Ultrasonido vs ángulo de cigüeñal.
- Gráficas FFT.

Las observaciones de tipo participativo se ejecutan por medio de visitas realizadas entre los días previos y posteriores al mantenimiento de los motores seleccionados como muestra, como se observa en el anexo 3.

Para realizar el siguiente proyecto se procede a utilizar la metodología que se observa en el flujograma de la figura 2.1.

2.2.1. Ruta de mediciones – puntos estratégicos preestablecidos.

Para la ruta de mediciones que se puede observar en la figura 2.1 se procede a utilizar lo que se ha mencionado en el marco teórico en base a la norma ISO 10816. Además, la empresa CELEC Sacha como se ha mencionado en el punto 1.4 tiene los puntos estratégicos previstos de medición de vibraciones tal como se muestra en la figura 2.2. (recomendación de Hyundai).

Los puntos estratégicos con los respectivos datos que se tiene que llegar a obtener según (WINDROCK INC, 2015) para un motor similar, pero en este caso en geometría en V, se detallan en la figura 2.3.

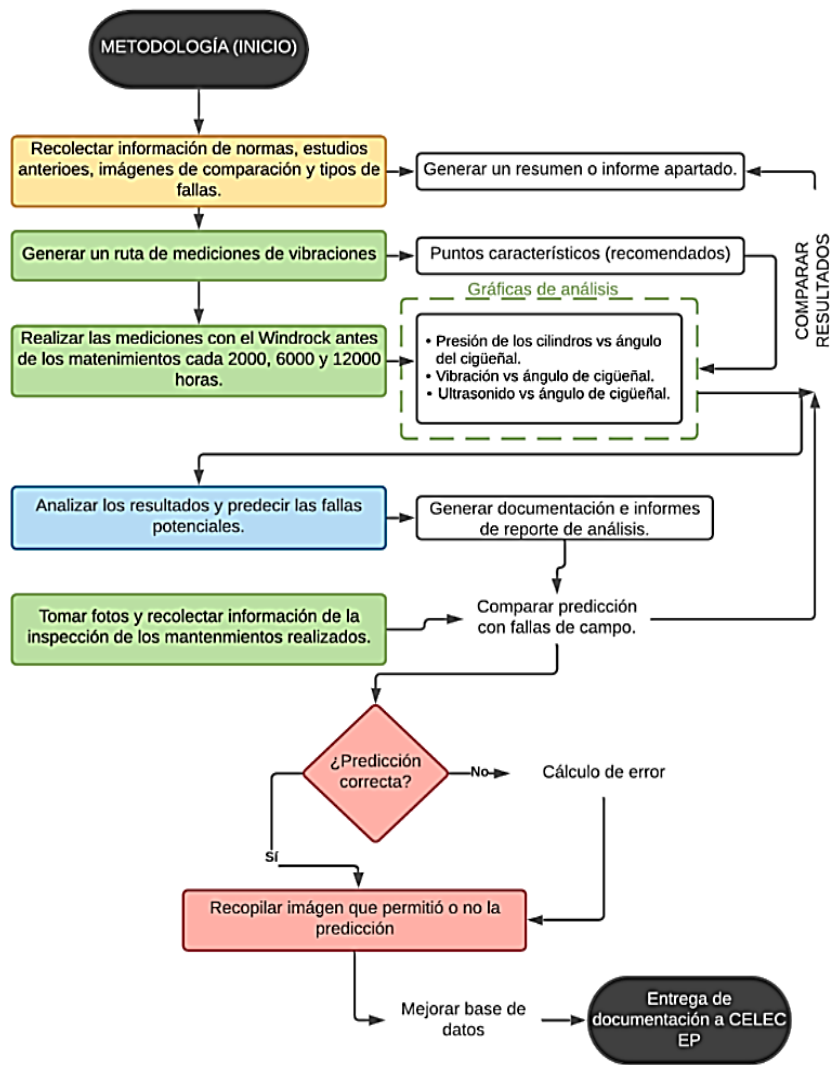


Figura 2.1. Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

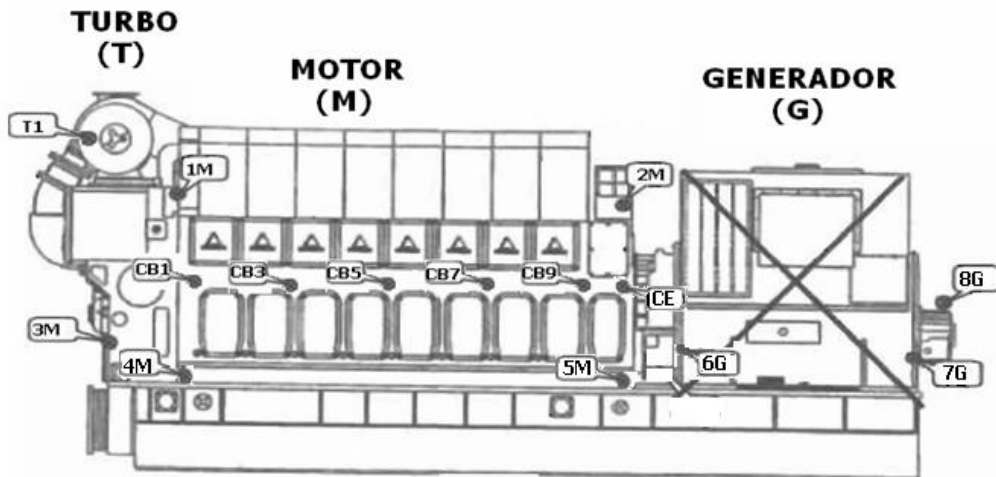


Figura 2.2. Ruta de mediciones de presión y vibraciones en los MDU recomendación Hyundai.

Fuente: (HYUNDAI, 2011)



Figura 2.3. Puntos estratégicos de medición según Windrock.

Fuente: (WINDROCK INC, 2015)

2.2.2. Ruta de mediciones utilizada

La ruta de medición establecida para el análisis de los motores Hyundai 9H21/32 se ha generado por medio de las recomendaciones teóricas, técnicas y por experimentación propia. A continuación, se presentan los puntos de la ruta de mediciones:

- Po: punto en el volante del cigüeñal para medir las RPM tal como se observa en la figura 2.4. En la figura 2.5 se observa la cinta reflectiva colocada en el volante del cigüeñal en un mantenimiento previo.



Figura 2.4. Sensor óptico conectado en el volante del cigüeñal.

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)



Figura 2.5. Cinta reflectiva colocada en una parada del motor

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P1: punto en la válvula de salida de gases de escape para medir la presión (bar) tal como se observa en la figura 2.6.



Figura 2.6. Sensor de presión conectado en la válvula de la salida de gases de escape.

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P2: puntos en los espárragos de la culata para medir las aperturas y cierres de las válvulas de admisión y escape e ignición tal como se observa en la figura 2.7. (Sensores: High y Ultrasonido)



Figura 2.7. Sensor de ultrasonido colocado en el esparrago izquierdo de la culata y acelerómetro colocado en el esparrago derecho de la culata.

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P3: punto en la pared de la culata para medir las aperturas de las válvulas de admisión y escape e ignición tal como se observa en la figura 2.8. (Sensores: High y Raw)



Figura 2.8. Sensor de ultrasonido y acelerómetro colocado en la pared de la culata

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P4: punto en el bloque de alta presión, punto referencial a la inyección de combustible tal como se observa en la figura 2.9. (Sensores: Ultrasonido)



Figura 2.9. Sensor de ultrasonido colocado en el bloque de alta presión.

Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P5: punto en los espárragos laterales de los cojinetes principales del cigüeñal, tal como se observa en la figura 2.10. (Sensores: High, Raw y acelerómetro para FFT)



Figura 2.10. Acelerómetro ubicado en uno de los espárragos laterales de los cojinetes

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- P6: punto en la base metálica del motor tomada de manera vertical, horizontal y axial, horizontal en la figura 2.11. (Sensores: acelerómetro).



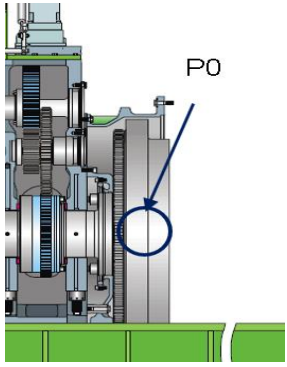
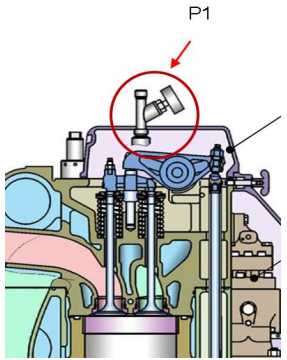


Figura 2.11. Transductor colocado horizontalmente en la base del motor

Fuente: Propia (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

Se detalla de mejor manera la ruta de medición en los puntos P0 y P1, ver tabla 2.1.

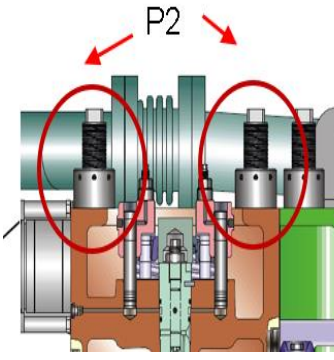
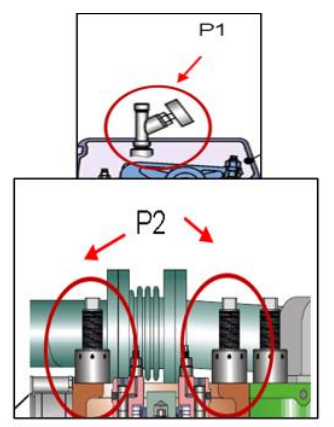
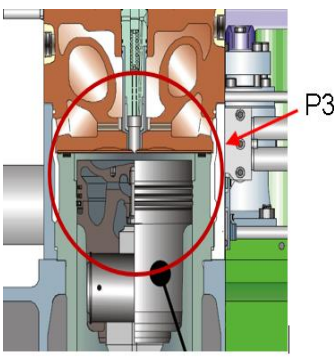
Tabla 2.1. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos de P0 y P1.

 PREDICCIÓN DE FALLAS MECÁNICAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA HYUNDAI 9H21/32 EN LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CELEC EP CENTRAL SACHA 				
ruta de medición				
Puntos de medición	Sensores	Gráfica	Ubicación	Objetivo de la medición
Punto_0	Sensor óptico		Volante del cigüeñal.	Medición de las RPM, en generación de pulsos de fase.
Punto_1	Sensor de presión		Válvula de salida de gases de escape.	Balancear las presiones en los cilindros. Conocer algún defecto de presiones en los cilindros.

Fuente: Elaboración propia

En referencia de los puntos P2, la combinación de los sensores en los puntos P1 y P2, con el P3, se puede ver en la tabla 2.2.

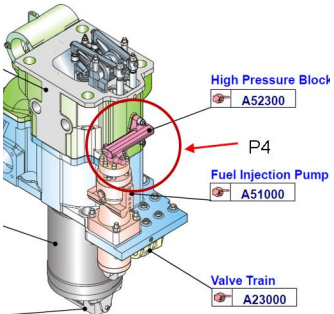
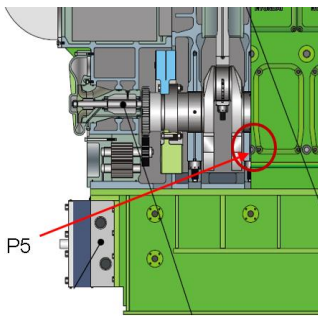
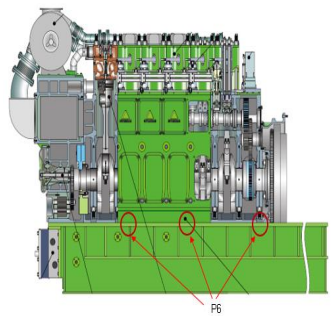
Tabla 2.2. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos de P2, P1-2, P3.

RUTA DE MEDICIÓN				
Puntos de medición	Sensores	Gráfica	Ubicación	Objetivo de la medición
Punto_2	Acelerómetro y ultrasonido		Esparrago de la culata de admisión y escape.	Apertura y cierre de válvulas. Además, inyección de combustible.
Punto_1_y_2	Sensor de presión y acelerómetro o ultrasonido.		Válvula gases de escapes y esparrago de la culata.	Inyección de combustible con respecto al punto de presión máxima.
Punto_3	Acelerómetro y ultrasonido		Cuerpo de la culata.	Desgaste o fugas rines, estado de los pistones. Golpeteo de los pistones.

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se elabora en la ruta de medición los puntos P4, P5 y P6, en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Ruta de medición realizada, ubicación, sensores y objetivos en P4, P5, P6.

RUTA DE MEDICIÓN				
Puntos de medición	Sensores	Gráfica	Ubicación	Objetivo de la medición
Punto_4	Ultrasonido		Bloque de alta presión.	Inyección de combustible.
Punto_5	Acelerómetro.		Esparrago lateral de cojinetes.	Medición de desplazamiento mm/s y el espectro para detectar el estado de los cojinetes.
Punto_6	Acelerómetro.		Horizontal, vertical y axial ubicada atrás, en medio y al frente del lado derecho e izquierdo de la base del motor.	Medición de desplazamiento mm/s para conocer la vibración general de la máquina.

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Configuración del software.

La configuración del software Windrock se realiza únicamente para el Motor Hyundai 9H21/32 en base a los manuales del motor y del mismo equipo. Se presenta un manual en el anexo 4 donde se detallan los pasos para configurar el software, con la finalidad de que el personal pueda:

1. Ingresar los datos del personal encargado de realizar la prueba.
2. Configurar e ingresar los aspectos técnicos del motor.
3. Generar una ruta de medición nueva en el software Windrock.
4. Copiar una ruta de medición ya generada.
5. Cargar la ruta de medición al equipo Windrock para llevarla a campo.

2.2.4. Armado del equipo para la toma de señales

Se presenta en el Anexo 4, el manual de uso Windrock el procedimiento de armado del equipo para que se pueda tomar las mediciones con el sensor óptico, su codificador y el cableado, así como un video explicativo. Además, se detalla el procedimiento de como tomar las mediciones con el equipo Windrock, teniendo en cuenta cada aspecto importante de cada señal de presión, vibración, ultrasonido y también de las señales en el estado de la frecuencia FFT.

Las mediciones se realizarán en base al cronograma de mantenimiento preventivo que tiene la empresa CELEC EP Sacha. De esta manera se busca encontrar fallas antes de que se ejecuten los mantenimientos establecidos. Posterior a eso se realiza una medición post mantenimiento con el fin de conocer si el comportamiento anormal detectado con el equipo ha sido reparado.

Se deben tomar mediciones al menos 1 semana antes del mantenimiento predictivo con el fin de que se tenga el tiempo pertinente para realizar el reporte adecuado.

2.2.5. Corrección de errores en la toma de señales de vibraciones o ultrasonido

En el proceso de toma de señales en el equipo Windrock se busca los eventos que sean diferentes, que se anticipen, tarden, sean mayores, pequeños, intermitentes, faltantes o adicionales en las señales. Sin embargo, existen errores que pueden aparecer al momento de tomar las señales que dependen del operador del equipo, la calibración de este y su configuración, como son: (Anexo 4)

- I. Diafonía. (crosstalk) se produce como una fuga indeseable por el cruce de las señales entre un cilindro y otro del motor. El problema puede ser visible en el desfaseamiento (unphasing) del cursor con señales en paralelo entre cilindros. (WINDROCK MD 4.2, 2022)
- II. Problemas de intermitencia. Perdida de continuidad en las señales generando líneas uniformes en eventos esperados con el ángulo de cigüeñal.

- III. Mala Calibración. Exceso en los valores seleccionados en la frecuencia o amplitud de la señal que suele generar aplanamientos en los picos de los eventos esperados en los ángulos de cigüeñal.
- IV. Errores de configuración. Selección inadecuada de sensores o transductores, como el rango de frecuencia adecuado, ángulos de cigüeñal no acordes al manual del motor.

2.2.6. Tratamiento de señales con el software.

En general las señales de vibración y ultrasonido con respecto al tiempo no tienen un tratamiento de señales específico, pero pueden estar sujetas a:

- Escalas de representación.
- Desfases de las señales.
- Ventanas de representación.
- Unidades de medición.

Entre otros detalles que se recomiendan en el manual o videos de uso.

Para las señales FFT hay que considerar aspectos para el tratamiento de señales que son:

- Ventanas de ponderación tal como se observó en la sección 1.9.
- Cantidad de líneas dependiendo de donde se vaya a medir.
- Unidades de medición.
- Generación de órdenes de frecuencia y prioridad.

Muchos de estos detalles son explicados en el manual Anexo 4 o videos de uso.

2.2.7. Base de datos y patrones de fallas

La base de datos consiste en una recopilación de fallos de otros estudios con el software Windrock u otros similares en motores de combustión análogos al motor Hyundai 9H21/32. Está diseñada en fusión de la ruta preestablecida con el fin de que cada punto de análisis tenga una base de datos para su análisis. (Anexo 1)

2.2.8. Procedimiento de análisis en motores 9H21/32

El procedimiento de diagnóstico se lo realizará de la siguiente manera:

1. Se revisarán los datos de presión y temperatura, estos deben estar estadísticamente balanceados, es decir, ningún valor debe superar o estar por

debajo de 5 bares o 50°C de temperatura del promedio de los 9 cilindros analizados. Además, el software Windrock presenta una herramienta adicional que es Power stats box que permite conocer que señal no está estadísticamente balanceada con respecto a las otras, como en la figura 2.12, en la que se puede observar que el software presenta que los cilindros no están estadísticamente balanceados entre sí.

2. Las otras señales en el tiempo se compararán con la base de datos y se generará un reporte de aquellas señales que se consideren una falla.
3. Una señal medida puede ser igual con otras señales de la base de datos, por lo que resulta importante analizar y comparar con aspectos técnicos o solicitar información de estados previos del motor, fallas recurrentes, entre otras.
4. Para las señales de vibración en FFT se las compara con la norma y adicional se presentará una guía de como analizar el espectro frecuencia creado en base a referencias.

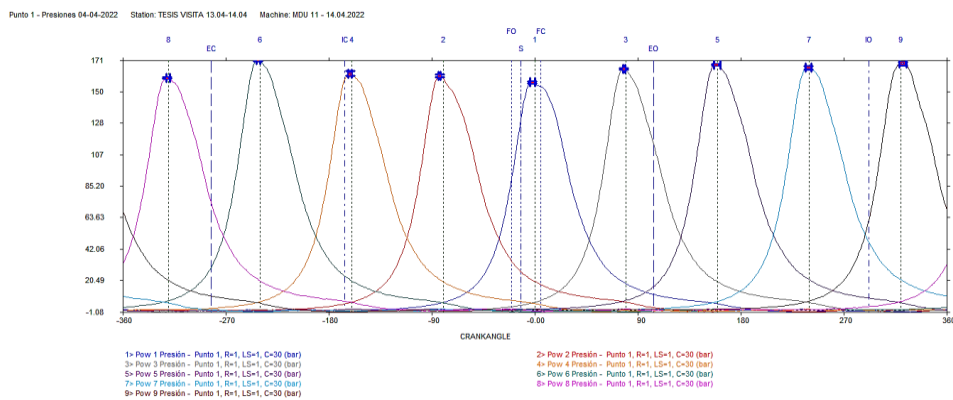


Figura 2.12. Toma de presiones MDU 11. 04.04.2022

Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

2.3. Formatos para la presentación de las fallas potenciales

Se presenta a continuación los formatos realizados para la presentación de los reportes de posibles fallas.

2.3.1. Formato P01.

- El formato P01 está diseñado para sacar un reporte semiautomatizado de las curvas de presión y con un espacio para las presiones y temperaturas tomadas en campo para poder realizar un cálculo y saber si el motor esta estadísticamente balanceado, tal como se observa en la tabla 2.4.

- El formato P01 tiene un código base de limpieza para que cuando se empiece con una nueva unidad las celdas se limpien automáticamente.

```

Worksheet
Change
Private Sub Worksheet_Change(ByVal Target As Range)
    If Target.Address = "$B$5" Then
        Range("C7, B11, B17,B30, B34, E35, C24, D5, B6") = "Seleccionar opción"
    End If

    If Target.Address = "$B$6" Then
        Range("C7, B11, B17,B30, B34, E35, C24") = "Seleccionar opción"
    End If

    If Target.Address = "$C$7" Then
        Range("B11,B30, B34, E35, C24") = "Seleccionar opción"
    End If
End Sub

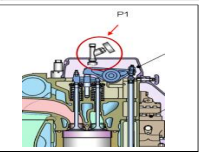
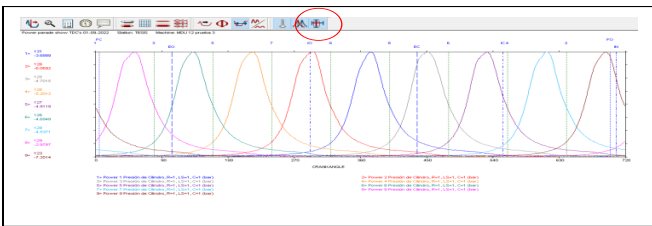

```

Figura 2.13. Código de limpieza del formato automático – Formato P01.

Fuente: Elaboración propia.

- En la figura 2.13 se puede observar el código de limpieza automático para evitar que cualquier dato anterior se repita en otro informe, se puede observar por ejemplo que, si se realiza un cambio en la celda B5, es decir, se selecciona otra unidad se limpian las celdas B6, B11, B17, B30, B34, E35, C7, C24 y D5.

Tabla 2.4. Formato P01.

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA		CENTRAL SACHA		CELEC EP				
VERSION:		WINDROCK - P01		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK		Corporación Eléctrica del Ecuador UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA				
FORMATO:		Página 1/9								
UNIDAD	MDU 7	Medición	Selección opción			Horas de operación				
Punto de medición	Selección opción	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	#N/A	Selección opción								
		<i>pegar gráfica medida</i>								
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE PRESIÓN										
# Cilindro/s analizado/s	Selección opción									
Presión promedio bar	#DIV/0!	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Temperatura promedio C	#DIV/0!	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Análisis / Categoría de base de datos		Selección opción								
#N/A										
Análisis adicional		<i>Escribir análisis adicional.</i>								
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial			Gráfica de falla potencial					
#N/A		#N/A								
Código Base	#N/A									
Observaciones adicionales:		<i>Escribir observación adicional.</i>								
Monitoreado por:		Analizado:		Autorizado:						
Cargo:		Cargo:		Cargo:						
Fecha:		Fecha:		Fecha:						
Hora:		Hora:		Hora:						

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Formato P02.

- El formato P02 está diseñado para sacar un reporte semiautomatizado de las señales de vibración, ultrasonido para el resto de la ruta generada, tal como se observa en la tabla 2.5
- De igual manera que el formato anterior el formato P02 tiene un código de limpieza, que se muestra en la figura 2.14.

```

Worksheet
Change

Private Sub Worksheet_Change(ByVal Target As Range)

    If Target.Address = "$B$5" Then
        Range("B6, C7, C20, D5, B11, B17, B19,B30,B34, E35") = "Seleccionar opción"
    End If

    If Target.Address = "$B$6" Then
        Range("C7, B11, B17, B19,B30,B34, E35") = "Seleccionar opción"
    End If


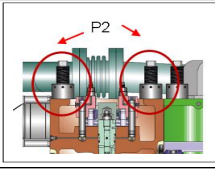
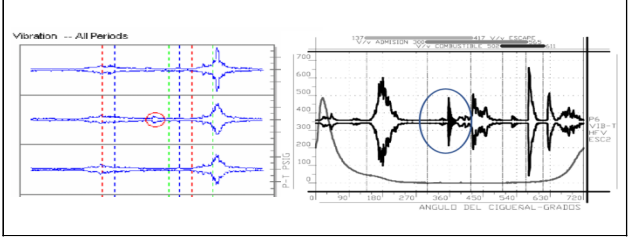
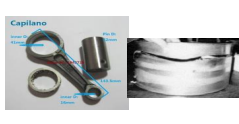
    If Target.Address = "$C$7" Then
        Range("B11,B30, C20, B34, E35") = "Seleccionar opción"
    End If

End Sub
    
```

Figura 2.14. Código de limpieza del formato automático - Formato P02.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5. Formato P02.

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA		
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA		
FORMATO: WINDROCK - P02		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK		
Página 2/9				
UNIDAD	MDU 9	Medición	Seleccionar opción	Horas de operación
Punto de medición	Seleccionar opción	CONTENIDO DE LA GRÁFICA		
Ubicación:	#N/A	Seleccionar opción		
		pegar gráfica medida		
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION		Seleccionar opción		
Cilindro/s analizado/s	Seleccionar opción	Seleccionar opción		
Análisis / Categoría de base de datos		Seleccionar opción		
#N/A				
Análisis adicional		N/A		
Escribir análisis adicional		N/A		
Códigos de estado vibración		N/A		
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial	
#N/A		#N/A		
Código Base	#N/A	Escribir observación adicional.		
Observaciones adicionales:		Escribir observación adicional.		
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita
Cargo:		Cargo:		Supervisor Mecánico.
Fecha:		Fecha:		
Hora:		Hora:		

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Formato P03.

- El formato P03 está diseñado para sacar un reporte semiautomatizado de las señales FFT específicamente del punto 5, es decir de los cojinetes de la bancada
- Tiene una sección para ingresar los valores medidos, compáralos automáticamente con la norma y resaltar la celda con los colores dependiendo del rango que se encuentre en la normal tal como se aprecia en la tabla 2.7.

2.3.4. Formato P04.

- El formato P03 está diseñado para sacar un reporte semiautomatizado de las señales FFT específicamente de la estructura.
- Tiene una sección para ingresar los valores medidos, compáralos automáticamente con la norma y resaltar la celda con los colores dependiendo del rango que se encuentre en la normal tal como se aprecia en la tabla 2.8.

2.4. Reporte de coincidencia.

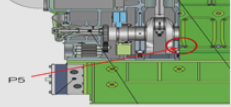
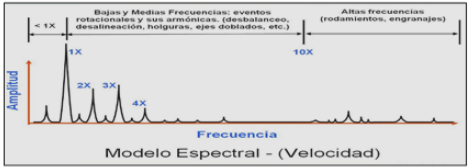
Una vez realizado los reportes de falla y las inspecciones en campo se realiza un reporte de coincidencia con los siguientes patrones de ponderación que permita estimar el porcentaje de asertividad de cada una de las predicciones realizadas previas al mantenimiento tal como se observa en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Valores de ponderación y descripción.

TABLA DE PONDERACIÓN	
VALOR	DESCRIPCIÓN
1	La falla predicha permitió encontrar una falla similar en campo y en una ubicación similar.
0.5	La falla predicha permitió encontrar una falla similar en campo pero en otra ubicación relacionada.
0	La falla predicha no se encontró en campo.



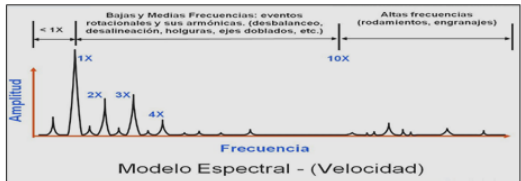
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.7. Formato P03.

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA																																								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA																																								
FORMATO:		WINDROCK - P03																																								
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK																																								
		Página 8/9																																								
UNIDAD	MDU 7	Medición					Seleccionar opción			Horas de operación																																
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA					FFT - COJINETES - Máquina CLASE 3 Norma 2273																																			
Ubicación:	Esparago lateral cojinetes						<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Evaluación de severidad. (ISO 2372)</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <td>D</td> <td>>11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Maquina puede sufrir daño.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>>4.5 y ≤ 11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>>1.8 y ≤ 4.5</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación sin restricción</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>≤ 1.8</td> <td>v(rms)</td> <td>Maquina Nueva</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Evaluación de severidad. (ISO 2372)						D	>11.2	v(rms)	Maquina puede sufrir daño.			C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)			B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción			A	≤ 1.8	v(rms)	Maquina Nueva		
Evaluación de severidad. (ISO 2372)																																										
D	>11.2	v(rms)	Maquina puede sufrir daño.																																							
C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)																																							
B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción																																							
A	≤ 1.8	v(rms)	Maquina Nueva																																							
Velocidad Limite Aceptable		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11																														
4.5 mm/s		4.6	11.3	2	1.5																																					
Velocidades																																										
Gráficas Cojinete 1-6				Análisis		Gráficas Cojinete 7-11				Análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
Pegar imagen				Escribir análisis		Pegar imagen				Escribir análisis																																
						Velocidad espectral																																				
Pegar imagen				Escribir análisis																																						
Conclusiones						Escribir conclusión final.																																				
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino				Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino				Autorizado: Ing. Edison Zurita																																		
Cargo:	Tecnista			Cargo:	Tecnista			Cargo:	Supervisor Médico.																																	
Fecha:	19/3/2022			Fecha:	6/4/2022			Fecha:																																		
Hora:	0:00			Hora:	0:00			Hora:																																		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.8. Formato P04.

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA											
VERSION:		CENTRAL SACHA											
FORMATO:		WINDROCK-P04		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK									
		Página 9/9											
UNIDAD		MDU 6	Medición		Premtto 2000h				Horas de operación				
Punto de medición		Punto_5	GRAFICA		FFT - BASE Norma 10816								
Ubicación:		BASE PUNTOS ESTRATEGICOS								Evaluación de severidad. (ISO 10816) 			
Velocidad	Limite Aceptable	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	RV1	RV2	RV3	RV4	RV5		
7.1	mm/s	3.4	3.7	7.5	12								
Velocidades													
LEFT V1 - V5				Análisis				RIGHT V6-V10					
Eng Frame Left Front Hor Vel				Eng Frame Right Front Vert Vel									
Pegar imagen				Escribir análisis				Pegar imagen					
Eng Frame Left Front Vert Vel				Eng Frame Right Mid Vert Vel									
Pegar imagen				Escribir análisis				Pegar imagen					
Eng Frame Left Axial Vert Vel				Eng Frame Right Rear Horz Vel									
Pegar imagen				Escribir análisis				Pegar imagen					
Eng Frame Left Mid Vert Vel				Eng Frame Right Rear Vert Vel									
Pegar imagen				Escribir análisis				Pegar imagen					
Eng Frame Left Rear Vert Vel				Eng Frame Right Rear Vert Vel									
Pegar imagen				Escribir análisis				Pegar imagen					
Velocidad espectral						Conclusiones							
						Escribir conclusión final.							
Monitoreado por:				Analizado:				Autorizado:					
Cargo:				Cargo:				Cargo:		Supervisor Mecánico.			
Fecha:				Fecha:				Fecha:					
Hora:				Hora:				Hora:					

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los reportes generados de fallas previos al mantenimiento se realizaron para las siguientes unidades:

MDU 7, MDU 8, MDU 11 y MDU 2

Como particularidad se menciona que el MDU 2 se realiza por solicitud de la empresa debido a vibraciones altas previo a un mantenimiento de 6000 horas, pero debido a que se encontraba fuera del cronograma, la visita técnica posterior al mantenimiento no pudo realizarse. Además, existen varias pruebas en el MDU6, MDU 9 y MDU 12 que no se han presentado en el proyecto ya que las mismas sirvieron para la corrección de errores en los datos y ajustes en la ruta de mediciones para el desarrollo inicial del proyecto.

A continuación, se va a presentar de cada unidad:

- Reporte de fallas previas al mantenimiento.
- Reporte de coincidencia.
- Tabla de ponderación de coincidencia.
- Cambios en las gráficas posteriores al mantenimiento.

3.1. Resultados MDU 7

3.1.1. Reporte de fallas en MDU 7 previo al mantenimiento de 8000h.

El reporte de fallas previo al mantenimiento de 8000h del MDU 7 se encuentra en el Anexo 5.

3.1.2. Reporte de coincidencia del MDU 7

Se presenta en la tabla 3.2 el reporte de coincidencia del MDU 7, en el que consta el análisis previo al mantenimiento de 8000h y la evidencia del mantenimiento realizado.

3.1.3. Porcentaje de coincidencia en los fallos encontrados MDU 7


Se presenta a continuación la tabla 3.1. de porcentaje de coincidencia para el MDU 7.

Tabla 3.1. Coincidencia del MDU 7

		ORDENES DE TRABAJO CELEC						
ANÁLISIS DE PREMATTO WINDROCK		1	2	3	4	5	6	7
1	0							
2	0.5							
3				1				
4					1			
5						0.5		
6								
7								
TOTAL PORCENTUAL DE COINCIDENCIA		60%						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Reporte de coincidencia del MDU 7 mantenimiento de 8000h

CODIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			CENTRAL SACHA		INFORME DE ANÁLISIS VINDROCK			
VERSIÓN:		MDU 7			DESCRIPCIÓN DE FALLA ENCONTRADA		ANÁLISIS POST-MTTO			
FORJ/A TC:		MDU 7			DESCRIPCIÓN DE FALLA ENCONTRADA		ANÁLISIS POST-MTTO			
ITEM	ANÁLISIS PRE-MTTO	ORDEN DE TRABAJO CELEC				DESCRIPCIÓN DE FALLA ENCONTRADA	ANÁLISIS POST-MTTO			
		DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA							
1	Se detecta una señal de impacto en el punto muerto superior en los cilindros 4 y 9 en baja presión que puede ser por: - Daño o desgaste en el pin, bulón de biela o cojinete.	N/A	N/A			No se inspecciona.	Se mantiene la señal.			
2	Fuga en el cilindro 1 por cierre inadecuado de la válvula de admisión, con presencia de excesiva fricción, posible daño de válvula, resortes, guías y asientos de válvulas.	Prueba de hermeticidad de las culatas para verificación de fugas.	<p>FECHA: 9/4/2022 GRUPO: B OT: 739586 EQUIPO: BATERIA MOTOR: 07 SECTOR: BATERIA (OT: Nueva Bateria) MOTOR #07 - MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 2000 HRS RESPONSABLE: CELSO SÁNCHEZ ACTIVIDADES EJECUTADAS: MEDICIÓN DE HERMETICIDAD DE CULATAS INDICADORES: JORGE SOLANO HERRAMIENTAS: EQUIPO DE MEDICIÓN DE HERMETICIDAD MATERIALES: TIRAPOS REFLECTOR: N/A TIEMPO DE TRABAJO: 2,00 CERRADO EN: SE DETECTA VALVULAS QUEMADAS EN CULATA C# 6</p>			Se detecta una fuga en el cilindro 6, que es por una válvula picada o quemada.	Corregida			
3	Desgaste en los balancines o yugos descalibrados de los cilindros 2,5 y 7, con doble golpe en la válvula de admisión. Posible desgaste en la leva del cilindro 2, con múltiples impactos en la válvula de admisión y escape.	Desmontaje de balancines.	<p>RESPONSABLE: MOTOR 07 SECTOR: BATERIA (OT: Nueva Bateria) MITO: 8000 HRS RESPONSABLE: CELSO SÁNCHEZ ACTIVIDADES EJECUTADAS: LIMPIEZA DE CÁMARA DE ADMISIÓN, LIMPIEZA DEL CARTER, DESMONTAJE DE BLOQUE DE ALTA, MONTAJE DEL TURBO, DESMONTAJE DE BALANCINES, CALIBRACIÓN DE YUGOS, COMPROBACIÓN DE PRESIÓN DE APERTURA DE INYECTORES (ANTES) INDICADORES: WILLIAM CRUZ, LUIS TORRES, ALEX ROBLES, NEXAR GARCÍA, JORGE SOLANO HERRAMIENTAS: CAJA DE HERRAMIENTAS MECÁNICAS, BOMBA HIDRÁULICA CHIR MARINE MATERIALES: DIESEL, TIRAPOS, GRASA KIT DE REPARACIÓN, (TURBO ABE) TIEMPO DE TRABAJO: 11,00 DESCRIPCION: N/A ESTADO: EN CURSO</p>			Se detecta en campo una descalibración de todos los yugos con excepción de tres.	Corregida			
4	Apertura tardía y cierre temprano de la válvula de inyección de combustible del cilindro 1.	Umpieza y calibración de inyectores.	<p>FECHA: 12/4/2022 GRUPO: B OT: 739586 EQUIPO: BATERIA MOTOR: 07 SECTOR: BATERIA (OT: Nueva Bateria) MOTOR #07 - MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 2000 HRS ACTIVIDADES EJECUTADAS: SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: CELSO SÁNCHEZ ACTIVIDADES EJECUTADAS: DESARME, LIMPIEZA, ENSAMBLAJE, CALIBRACIÓN Y MONTAJE DE INYECTORES, LIMPIEZA DE TRAMPA LABERINTO DE ACEITE DE LA LINEA DE DESFOQUE DEL CARTER, ENSAMBLAJE Y MONTAJE DEL FILTRO DE ADMISIÓN DEL TURBO, CAMBIO O REEMPLAZO DE DEFLECTORES EN BOMBAS DE INYECCIÓN, MONTAJE Y AJUSTE DE TAPAS DEL CARTER INDICADORES: WILLIAM CRUZ, LUIS TORRES, ALEX ROBLES, NEXAR GARCÍA, JORGE SOLANO HERRAMIENTAS: AMOLADORA, CAJA DE HERRAMIENTAS MECÁNICAS, Torque, Combo MATERIALES: DIESEL, TIRAPOS, GRASA, Grata, LUB KIT DE REPARACIÓN, O-RIN</p>			Inyectores sucios.	Corregida			
5	Fuga en la válvula de inyección de combustible en los cilindros 2, 5 y 7, por fallas en la inyección.	Cambio o reemplazo de deflectores de la bomba de inyección.	<p>RESPONSABLE: MOTOR 07 SECTOR: BATERIA (OT: Nueva Bateria) MITO: 8000 HRS RESPONSABLE: CELSO SÁNCHEZ ACTIVIDADES EJECUTADAS: DESARME, LIMPIEZA, ENSAMBLAJE, CALIBRACIÓN Y MONTAJE DE INYECTORES, LIMPIEZA DE TRAMPA LABERINTO DE ACEITE DE LA LINEA DE DESFOQUE DEL CARTER, ENSAMBLAJE Y MONTAJE DEL FILTRO DE ADMISIÓN DEL TURBO, CAMBIO O REEMPLAZO DE DEFLECTORES EN BOMBAS DE INYECCIÓN, MONTAJE Y AJUSTE DE TAPAS DEL CARTER INDICADORES: WILLIAM CRUZ, LUIS TORRES, ALEX ROBLES, NEXAR GARCÍA, JORGE SOLANO HERRAMIENTAS: AMOLADORA, CAJA DE HERRAMIENTAS MECÁNICAS, Torque, Combo MATERIALES: DIESEL, TIRAPOS, GRASA, Grata, LUB KIT DE REPARACIÓN, O-RIN</p>			Deflectores en mal estado.	Corregida			

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Cambios posteriores al mantenimiento del MDU 7.

Se presentan a continuación las gráficas antes y después del mantenimiento programado.

1. Impacto en el punto muerto superior en los cilindros 4 y 9 que se observa en la figura 3.1.

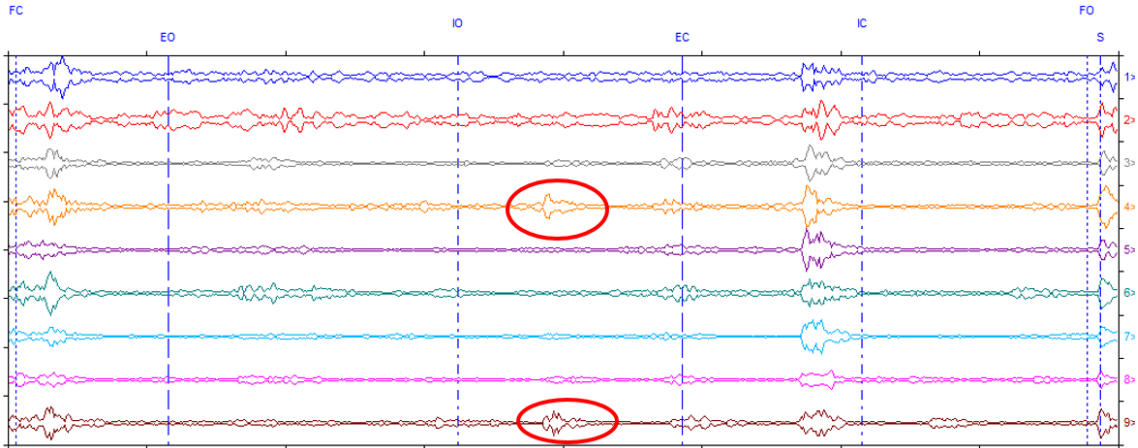


Figura 3.1. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

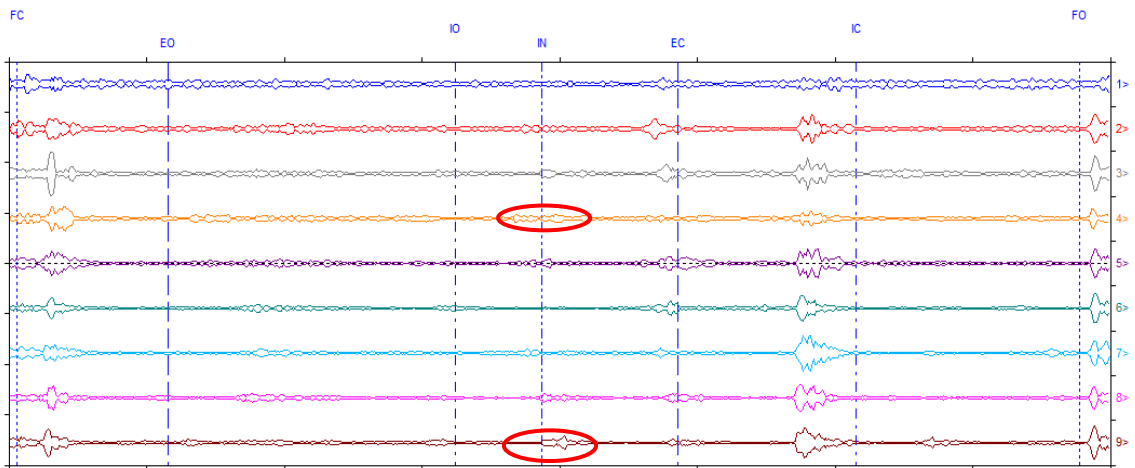


Figura 3.2. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: Se mantiene la señal de la figura 3.1 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.2.

2. Fuga en el cierre de la válvula de admisión del cilindro 1 que se observa en la figura 3.3.

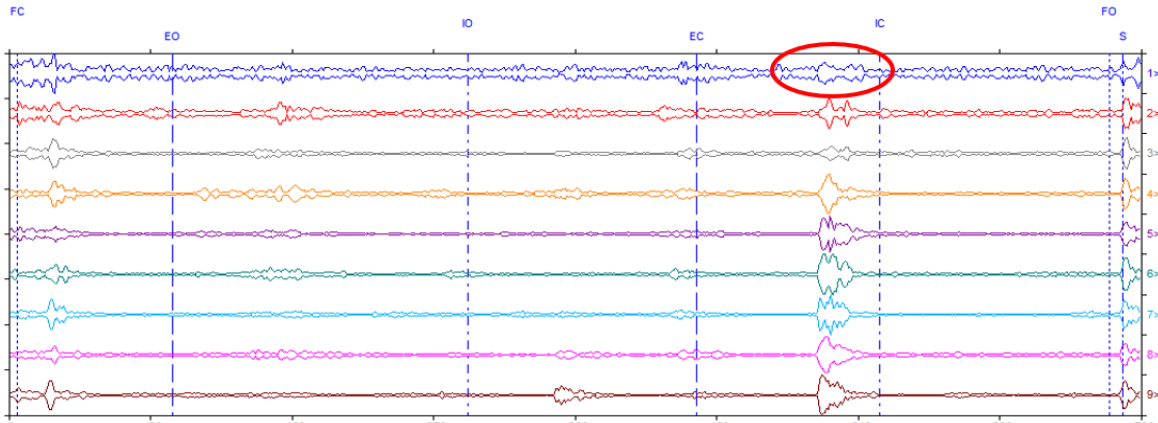


Figura 3.3. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

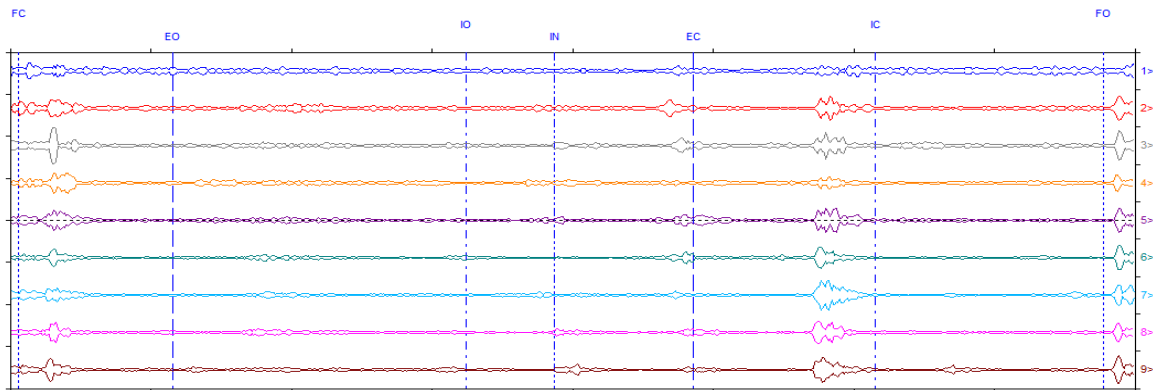


Figura 3.4. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: No se mantiene la señal de la figura 3.3 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.4.

- Balancines o yugos descalibrados en 3 cilindros; 2, 5 y 7 que se observa en la figura 3.5.

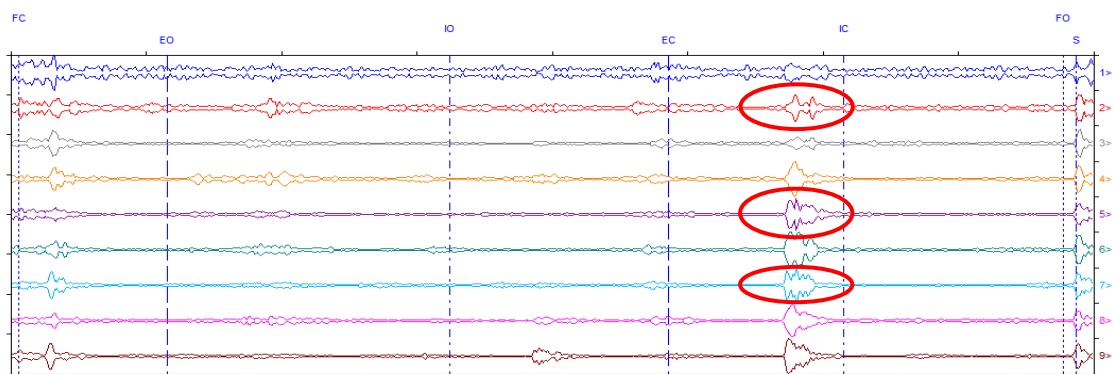


Figura 3.5. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

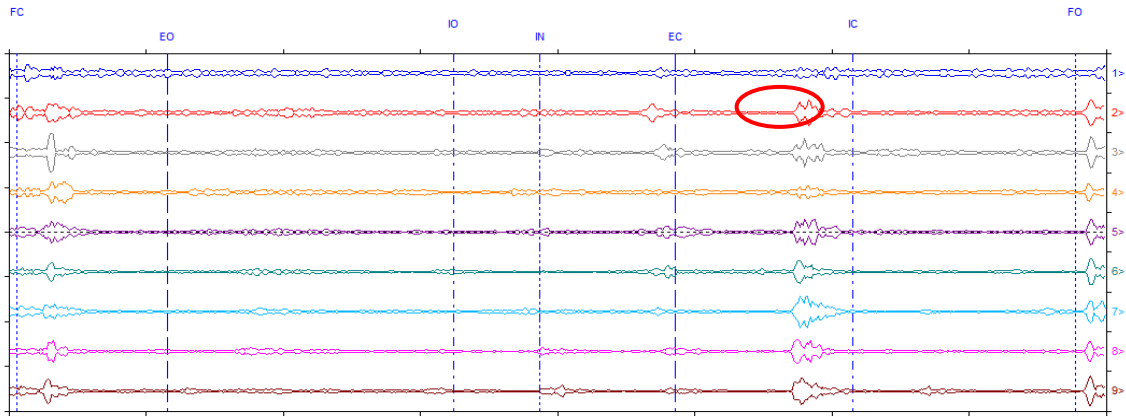


Figura 3.6. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7

Fuente: Elaboración propia.

Observación: Se mantiene la señal de la figura 3.5 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.6, debido a que se mantiene la señal del cilindro 2.

4. Apertura y cierre temprano en la válvula de inyección del cilindro 1 que se observa en la figura 3.7.

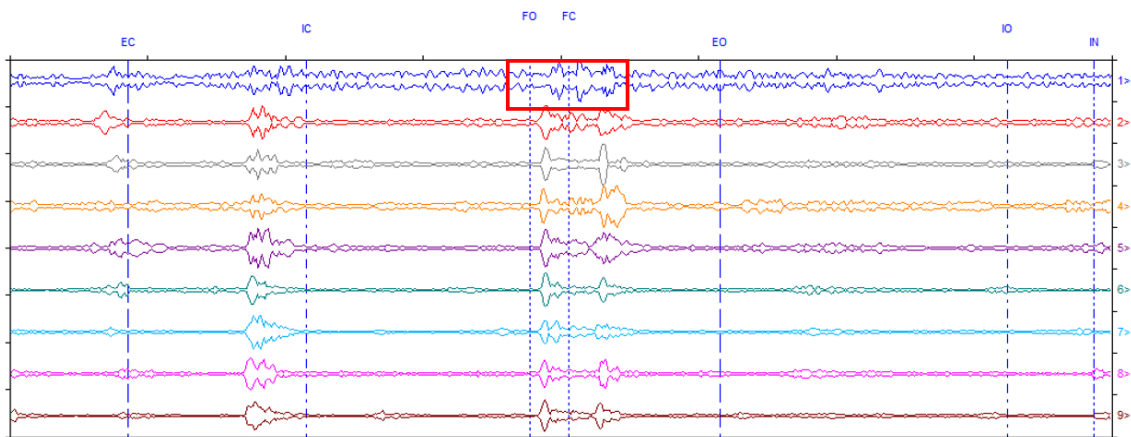


Figura 3.7. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

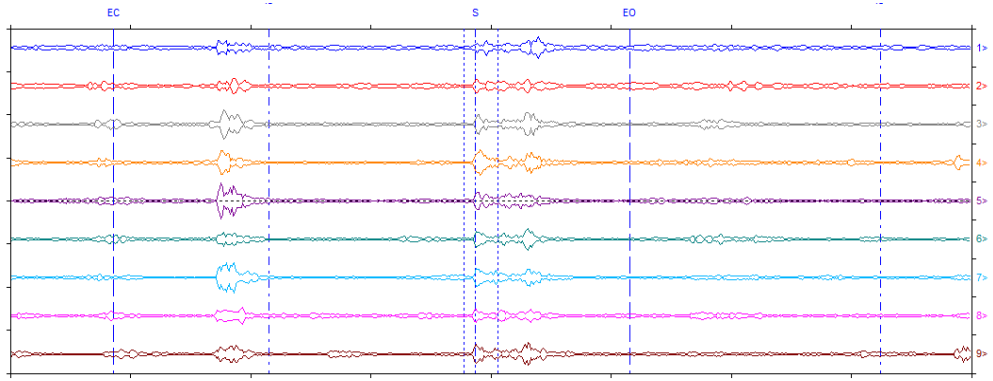


Figura 3.8. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7

Fuente: Elaboración propia.

Observación: No se mantiene la señal de la figura 3.7 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.8.

5. Fugas en las válvulas de inyección de los cilindros 2, 5 y 7 que se observa en la figura 3.9.

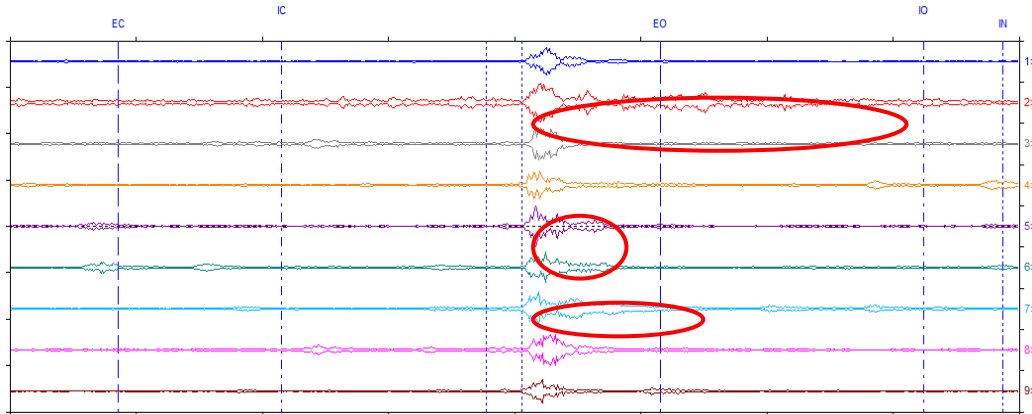


Figura 3.9. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 8000h del MDU7

Fuente: Elaboración propia.

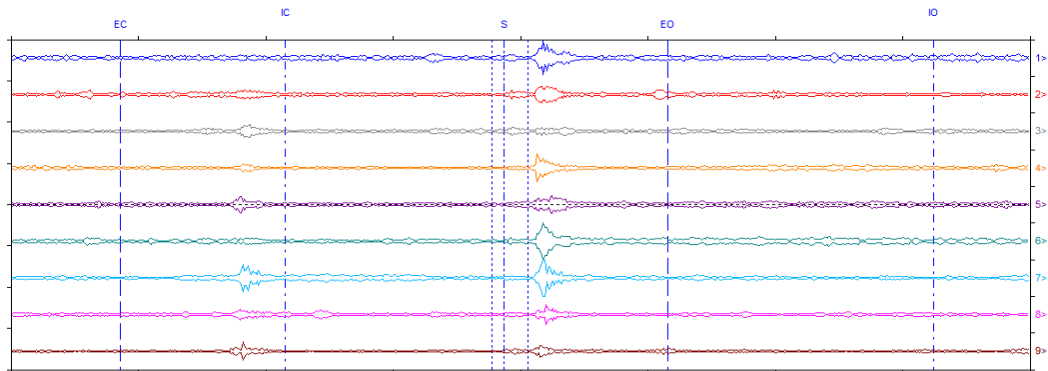


Figura 3.10. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 8000h del MDU7.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: No se mantiene la señal de la figura 3.9 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.10.

3.2. Resultados MDU 8

3.2.1. Reporte de fallas en MDU 8 previo mantenimiento de 2000h

El reporte de fallas previo al mantenimiento de 2000h del MDU 8 se encuentra en el Anexo 5.

3.2.2. Reporte de coincidencia del MDU 8

El reporte de coincidencia indica el análisis anterior al mantenimiento, con la evidencia realizada por el personal técnico y el análisis posterior al mantenimiento, mostrado en la tabla 3. 4.

3.2.3. Porcentaje de coincidencia en los fallos encontrados MDU 8


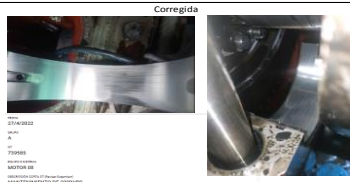
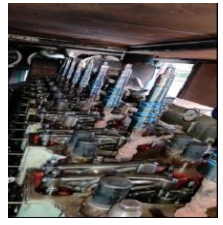


El porcentaje de coincidencia de la predicción para el MDU 8 se muestra en la tabla 3. 3.

Tabla 3.3. Muestra de la coincidencia del MDU 8.

TABLA DE COINCIDENCIA								
ORDENES DE TRABAJO CELEC								
	ITEM	1	2	3	4	5	6	7
ANÁLISIS DE PREMATTO WINDROCK	1	1						
	2		0					
	3			1				
	4				1			
	5					1		
	6						1	
	7							
TOTAL PORCENTUAL DE COINCIDENCIA						83%		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Reporte de coincidencia del MDU 7 mantenimiento de 8000h

CODIGO		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			CENTRAL SACHA		INFORME DE ANALISIS WINDROCK		CELEC EP	
VERSION		MDROCK - A01			MDU 8					
FORMATO										
ITEM	ANALISIS PRE-MTO	DESCRIPCION	ORDEN DE TRABAJO CELEC	EVIDENCIA	DESCRIPCION DE FALLA ENCONTRADA	ANALISIS POST-MTO				
1	Se detecta un impacto en el punto muerto superior del cilindro 1 que puede ser debido a: <ul style="list-style-type: none"> - Daños en el pin, bulón de biela o cojinetes del cilindro 1. - Desgaste o falla del pistón o camisa con patrón de golpeteo. - Anillo partido del pistón cilindro 1. 	Desmontaje de culata, pistón, pie de biela y cabeza de biela cilindro 1	FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000HRS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: LIMPIEZA Y REVISIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS, DESMONTAJE DE BLOQUES DE AZÚCAR, DESMONTAJE DE BALANCIEROS, CAMBIO DE DEFLECTORES, LIMPIEZA DE LA BASE DE LA BOMBA DE PRESIÓN, VERIFICACIÓN DE GRASO DEL ROTOCAP, LIMPIEZA DE LA CAMARA DE ACEITE, REGULADORES DE PRESIÓN Y CÁMARA DE FLECHOS INTERVENIENDO: JEFFERSON RODRIGUEZ OPERACIONES AUXILIARES: CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS, Combo TRABAJO: Diesel OBSERVACIONES: DEFLECTORES NUEVOS		Se detecta en campo una grieta generada por golpe o excesiva fricción en el cojinete de pie de biela, en la parte superior e inferior.	Corregida  FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000HRS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: MEDICION DEL PIE DE BIELA, MEDICION DE LA CAMEZA DE BIELA, IMPRESIA DE CAMEZA DE BIELA, PIE DE BIELA Y FLECHOS, MEDICION DEL TESTON Y FINES, DESMONTAJE REVISIÓN Y MONTAJE DEL COJINETE PRIMARIO INTERVENIENDO: CLEMENTE VELEZ, JEFFERSON RODRIGUEZ, JOFFRE VEGA, JOHN PACHECO OPERACIONES AUXILIARES: ALICORNIO, GATO, MICROMETRO, CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS TRABAJO: DIESEL/VIELETA/TRAPO, LLA OBSERVACIONES: COJINETE DE BIELA, COJINETE DE CAMEZA DE BIELA OBSERVACIONES:				
2	Caída de presión en el cilindro 8 posible falla en la mezcla aire combustible.	Cambio de deflectores de la bomba de inyección.	FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000HRS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: LIMPIEZA Y REVISIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS, DESMONTAJE DE BLOQUES DE AZÚCAR, DESMONTAJE DE BALANCIEROS, CAMBIO DE DEFLECTORES, LIMPIEZA DE LA BASE DE LA BOMBA DE PRESIÓN, VERIFICACIÓN DE GRASO DEL ROTOCAP, LIMPIEZA DE LA CAMARA DE ACEITE, REGULADORES DE PRESIÓN Y CÁMARA DE FLECHOS INTERVENIENDO: JEFFERSON RODRIGUEZ OPERACIONES AUXILIARES: CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS, Combo TRABAJO: Diesel OBSERVACIONES: DEFLECTORES NUEVOS		Deflectores en mal estado.	No se analiza la mezcla aire combustible.				
3	Fugas en la inyección de combustible en los cilindros 1, 3, 6 y 8.	Cambio de deflectores de la bomba, limpieza y calibración de inyector.	FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000HRS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: MONTAJE DE EXTENSOR DE ACEITE MONTAJE DE REGULADORES DE PRESION DE ACEITE MONTAJE DE TAPAS VISORAS DEL LA PARTE SUPERIOR, LIMPIEZA Y CALIBRACION DE INYECTORES, DESMONTAJE DE CULATA, PROTECCION DE BIELA Y CAMEZA DE BIELA, "CLANDEO" INTERVENIENDO: CLEMENTE VELEZ, JEFFERSON RODRIGUEZ, JOFFRE VEGA OPERACIONES AUXILIARES: CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS, Torquero, Máquina Orta-Marine, MONTACABLAGS Y TON TRABAJO: DIESEL OBSERVACIONES: TOBERAS DE INYECTORES OBSERVACIONES:		Inyectores sucios, toberas en mal estado.	Corregida 				
4	Balancin o yugos desgastados o descalibrados en los cilindros 2, 4, 8 y 9.	Desmontaje de balancines.	FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MTO 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: LIMPIEZA DEL CARPETA, AJUSTE DE PISTON CONTINUO, LIMPIEZA DE ORIFICIOS DE INYECTORES, ARMADO DE INYECTORES, CALIBRACION Y MONTAJE INTERVENIENDO: NEXAR GARCIA, OSCAR OCHOA, ALEX ROBLES OPERACIONES AUXILIARES: CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS, TORQUIMETRO, Máquina Orta-Marine, MONTACABLAGS Y TON TRABAJO: DIESEL OBSERVACIONES: TOBERAS DE INYECTORES OBSERVACIONES:		Se encuentra en campo yugos y/o balancines descalibrados.	Corregida				
5	Fugas en el cierre de las válvulas de admisión en los cilindros 6, 7 y 9. Revisar el estado de válvulas, guías, resortes y asientos de válvulas.	Limpieza de culatas.	FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: Limpieza de la culata INTERVENIENDO: JOFFRE YACURI, LINDSO HERRERA OPERACIONES AUXILIARES: AMALADORA, Combo, LLA TRABAJO: Diesel OBSERVACIONES: 400 OBSERVACIONES: Se encontró una guía de culata en mal estado		Se encontró una guía en mal estado.	Corregida 				
6	Valores en los cojinetes excepto en el 3 en que se encuentra una medición insatisfactoria. En el cojinete 1 se observa que existe un pico elevado en 3x que hace referencia a un posible desalineamiento o desbalanceo.	Revisión del cojinete 1.			Se observa un desgaste excesivo de un solo lado producido por una mala lubricación y un desbalanceo.	Corregida FECHA: 23/4/2022 PLAN: A OF: 739585 EQUIPO A CARGA: MOTOR 08 MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS MANTENIMIENTO DE 2000HRS SUPERVISIÓN DE TRABAJOS RESPONSABLE: DANIEL SUAREZ ACTIVIDADES: MEDICION DEL PIE DE BIELA, MEDICION DE LA CAMEZA DE BIELA, IMPRESIA DE CAMEZA DE BIELA, PIE DE BIELA Y PISTON, MEDICION DEL PISTON Y FINES, DESMONTAJE REVISIÓN Y MONTAJE DEL COJINETE PRIMARIO INTERVENIENDO: CLEMENTE VELEZ, JEFFERSON RODRIGUEZ, JOFFRE VEGA, JOHN PACHECO OPERACIONES AUXILIARES: ALICORNIO, GATO, MICROMETRO, CAJA DE HERRAMIENTAS MECANICAS TRABAJO: DIESEL/VIELETA/TRAPO, LLA OBSERVACIONES: COJINETES DE BIELA, COJINETE DE CAMEZA DE BIELA OBSERVACIONES:				

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Cambios posteriores al mantenimiento del MDU 8.

Se detecta las siguientes anomalías y su corrección:

1. Golpe fuerte en el punto muerto superior del cilindro 1 que se observa en la figura 3.11.

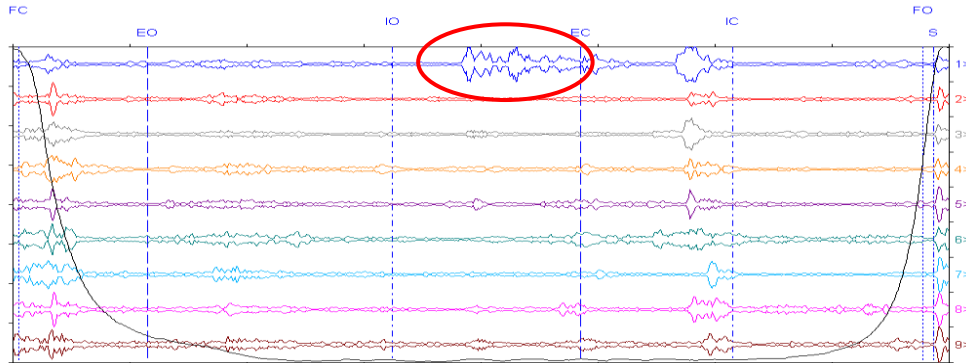


Figura 3.11. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8

Fuente: Elaboración propia.

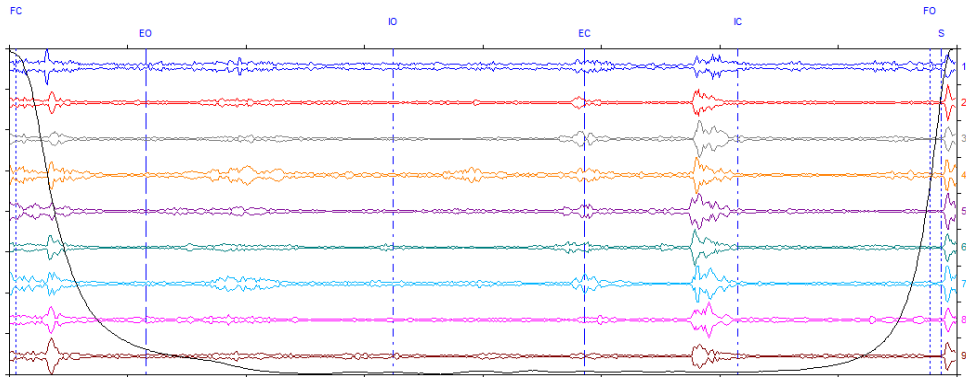


Figura 3.12. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: No se mantiene la señal de la figura 3.11 posterior al mantenimiento, tal como se observa en la figura 3.12.

2. La señal no se detecta en campo.
3. Balancín o yugos del cilindro 2, 4, 8 y 9 tienen problemas o malas calibraciones que se observa en la figura 3.13.

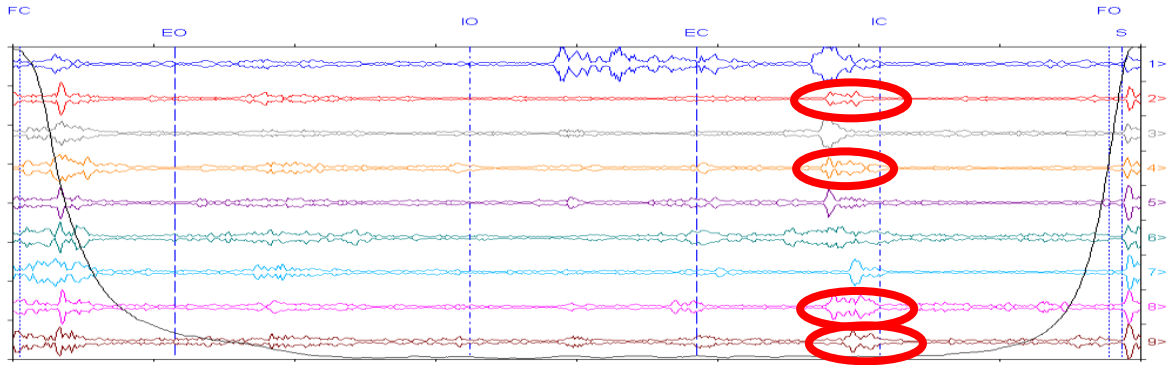


Figura 3.13. Señal de vibración detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8

Fuente: Elaboración propia.

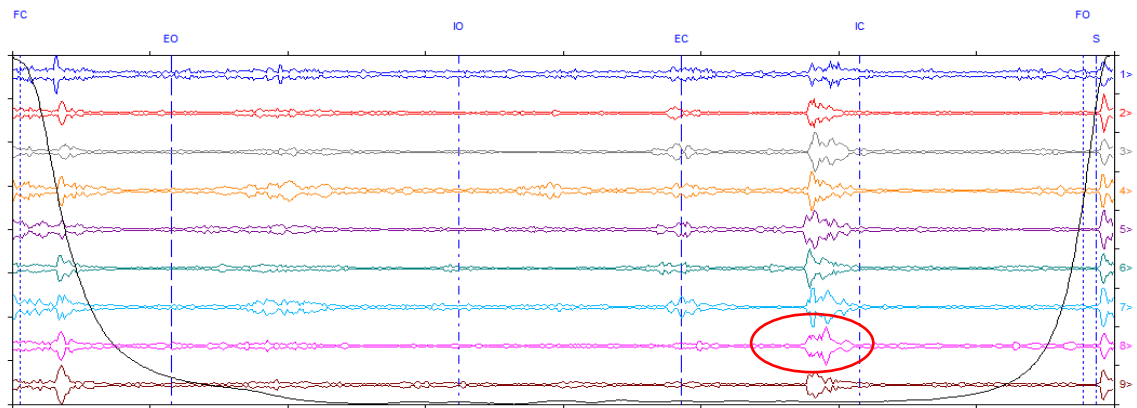


Figura 3.14. Señal de vibración detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: Se mantiene parcialmente la señal de la figura 3.13 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.14.

4. Fugas en la inyección de combustible tal como se observa en la figura 3.15.

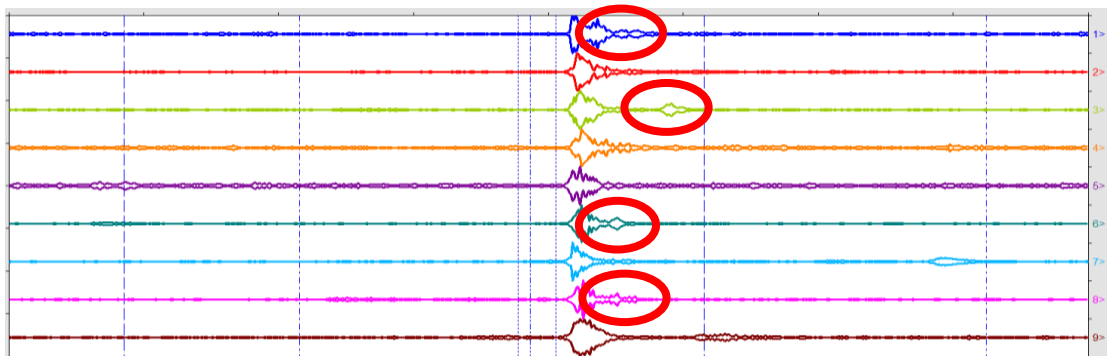


Figura 3.15. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.

Fuente: Elaboración propia.

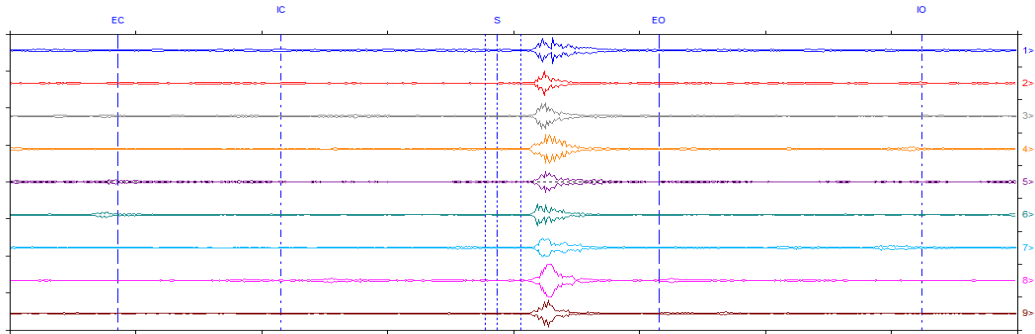


Figura 3.16. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8

Fuente: Elaboración propia.

Observación: No se mantiene la señal de la figura 3.15 posterior al mantenimiento tal como se observa en la figura 3.16.

5. Fuga en el cierre de las válvulas tal como se observa en la figura 3.17

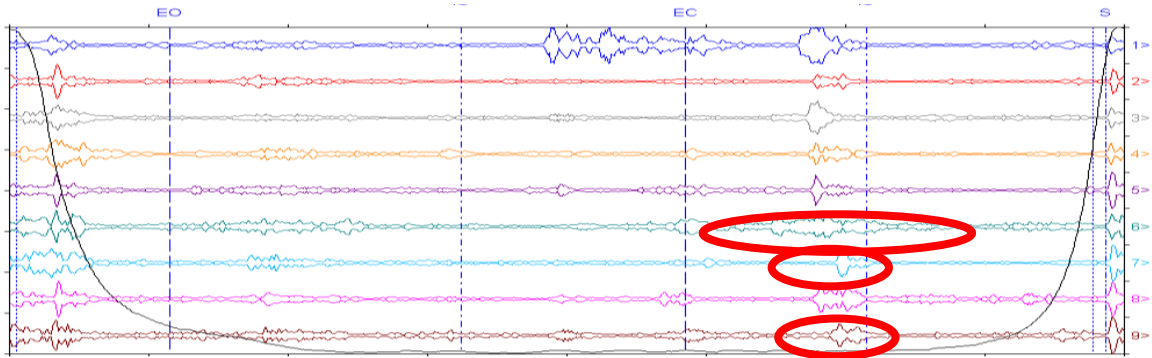


Figura 3.17. Señal de ultrasonido detectada en la medición previo al mantenimiento de 2000h del MDU8.

Fuente: Elaboración propia.

La señal posterior al mantenimiento se ha reducido como se muestra en la figura 3.18.

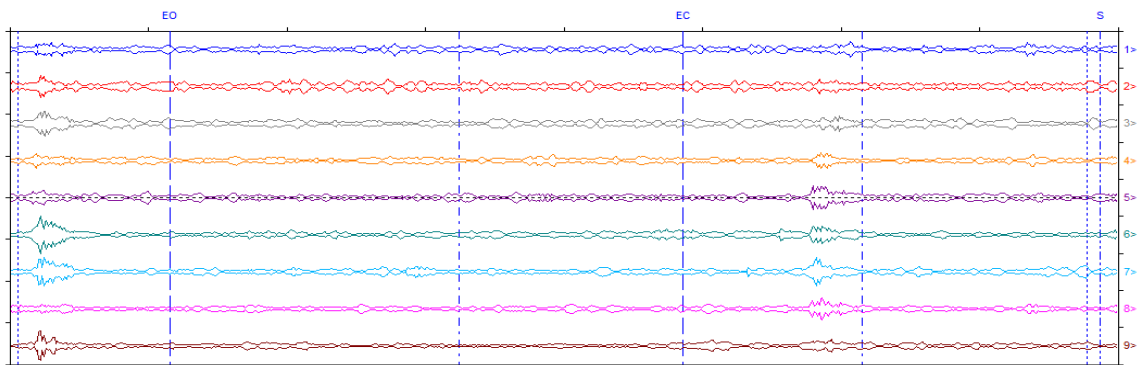


Figura 3.18. Señal de ultrasonido detectada en la medición posterior al mantenimiento de 2000h del MDU8.

Fuente: Elaboración propia.

6. Desbalanceo o desalineamiento detectado en el cojinete 1 por medio de vibraciones FFT tal como se observa en la figura 3.19.

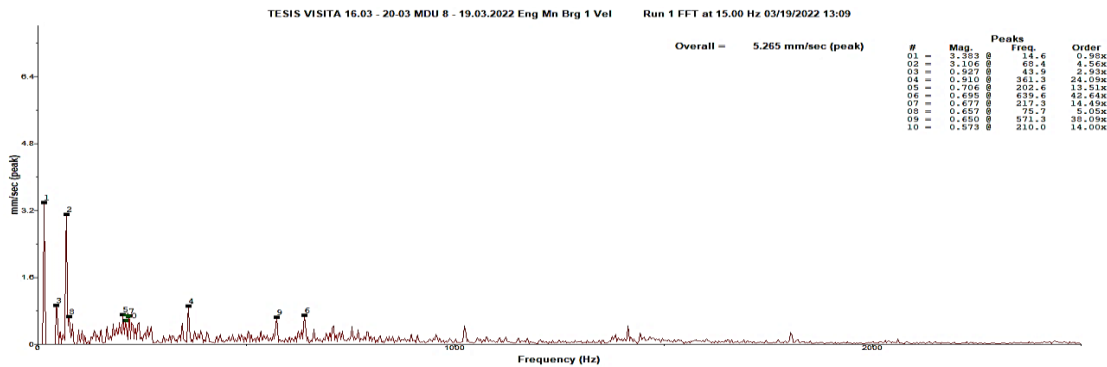


Figura 3.19. Señal FFT medida previo al mantenimiento en el esparrago del cojinete del cilindro 1 del MDU 8.

Fuente: Elaboración propia.

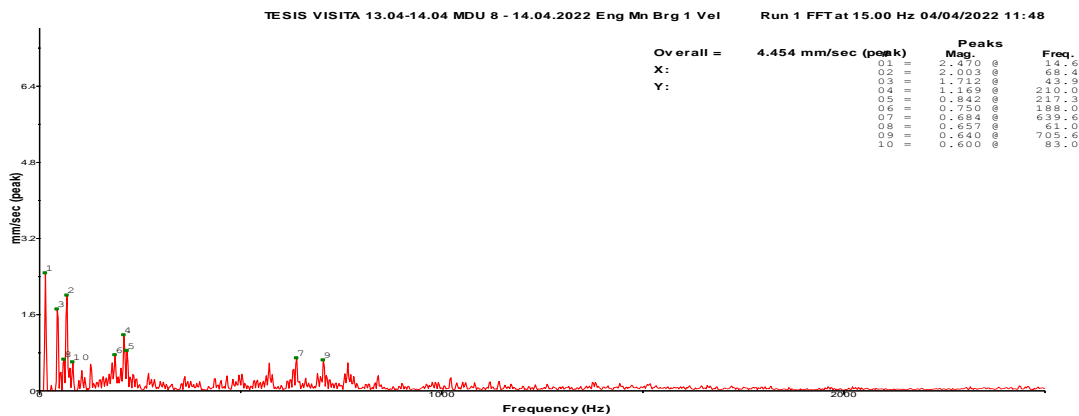


Figura 3.20. Señal FFT medida posterior al mantenimiento en el esparrago del cojinete del cilindro 1 del MDU 8.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: Reducción considerable de la vibración cercana a 1x, de manera que el valor pico está dentro del rango de la norma, funcionamiento normal.

3.3. Resultados MDU 2.

3.3.1. Reporte de fallas en MDU 2 previo mantenimiento de 6000h

El reporte de fallas previo al mantenimiento de 6000h del MDU 2 se encuentra en el Anexo 5.

Tal como se mencionó anteriormente este motor no tiene un análisis de coincidencia total, ni tampoco tiene una medición posterior porque su mantenimiento estaba fuera del cronograma del proyecto, sin embargo, se menciona el siguiente caso especial.

3.3.2. CASO MDU 2 – ESPECIAL

En el caso del MDU 2 resulta importante hablar de una señal que se trató de detectar por medio del ultrasonido. Es este caso se detectó la señal que se observa en la figura 3.21

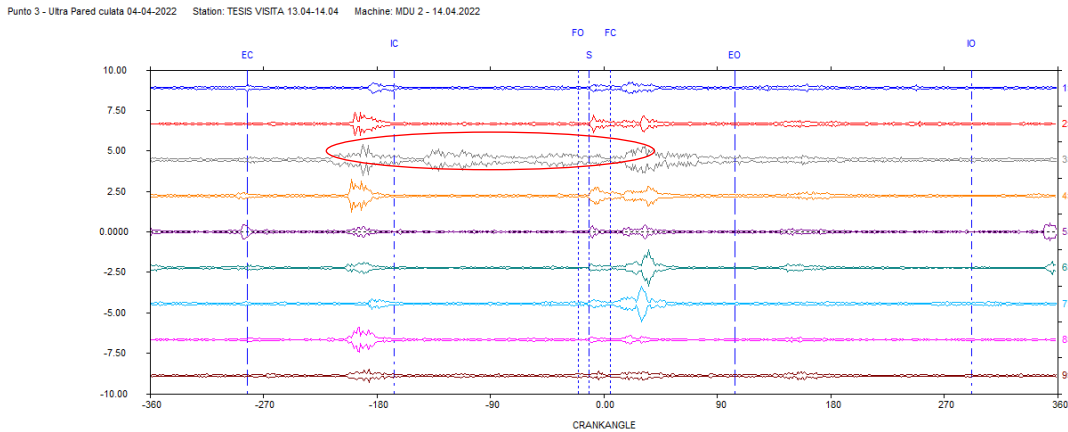


Figura 3.21. Señal de ultrasonido MDU 2.

Fuente: Elaboración propia.

La cual, según el reporte anexado, analizado con la base de datos la señal era aparente a fugas por válvulas o fugas por pistón en sus rines.

Una vez realizado la inspeccionados los elementos en campo no se detectó ningún problema, tal como se observa en la figura 3.22.



Figura 3.22. Rines del cilindro 3 MDU 2 sin problemas.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Resultados MDU 6.

3.4.1. Reporte de fallas en MDU 6 previo mantenimiento de 6000h

Tal como se mencionó anteriormente este motor no tiene un análisis de coincidencia total, ni tampoco tiene una medición posterior en este caso porque debido a que fue el primer reporte realizado no se lo tomo en cuenta para el mantenimiento, sino más bien para la explicación del formato en la central. El reporte de fallas previo al mantenimiento de 6000h del MDU 6 se encuentra en el Anexo 5.

3.5. Resultados MDU 11.

3.5.1. Reporte de fallas en MDU 11 previo mantenimiento de 8000h

En este caso no se encontraron fallas graves, sin embargo, existen señales que se observan en la figura 3.23 hacen referencia a una posible falla en la calibración de yugos y balancines.

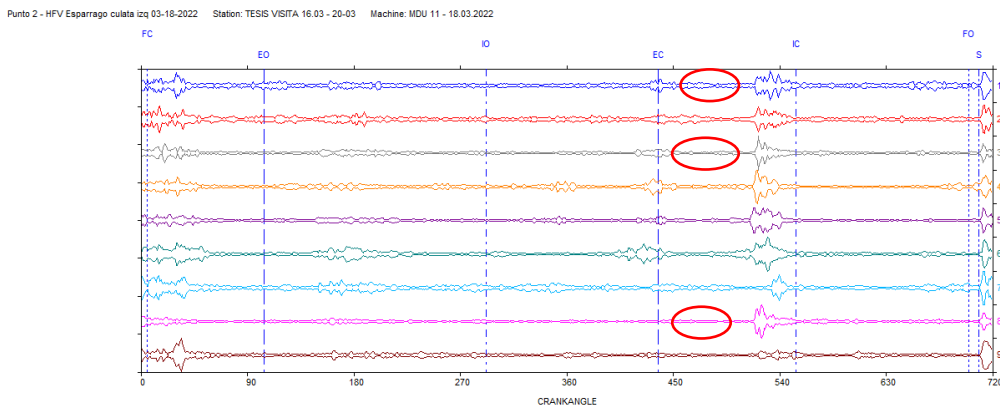


Figura 3.23. Señales de vibración detectada previo al mantenimiento de 8000h del MDU 11.

Fuente: Elaboración propia.

No se realizó un reporte de coincidencia debido a que era solo una falla, pero si se presenta a continuación en la figura 3.24 la orden de trabajo para dicha falla.

FECHA
 22/3/2022
 GRUPO
 A
 OT
 000000
 DESCRIPCIÓN CORTE OT (Revisar Supervisor)
 Motor 11
 ACTIVIDADES SUPERVISOR (Leer Supervisor)
 SUPERVISIÓN DE TRABAJOS
 RESPONSABLE
 CELSO SÁNCHEZ
 ACTIVIDADES CAMPO
 Calibración DE yugos reajuste DE ESPÁRRAGOS DE balancines montaje DE balancines montaje DE
 Inyectores montaje block DE alta limpieza DE bases DE las bombas cambio DE deflectores . Limpieza
 DE los elementos DE la carcasa del turbo limpieza DE los alavez del lado DE escape y montaje DE la
 misma
 INTERPRETANTES
 JOFFRY TACURI , JEFFERSON RODRIGUEZ , LIONSO HERRERA , JOHN PACHECO
 HERRAMIENTAS/EQUIPOS
 AMOLADORA , LIJA
 INSUMOS
 TRAJOS , Lija
 REPUESTOS
 Kit 1 empaquetadura para el codo

Figura 3.24. Orden de trabajo MDU 11.

Fuente: (CELEC EP Sacha, 2020-2022)

Una vez realizado el mantenimiento se obtuvo la siguiente medición que se observa en la figura 3.25

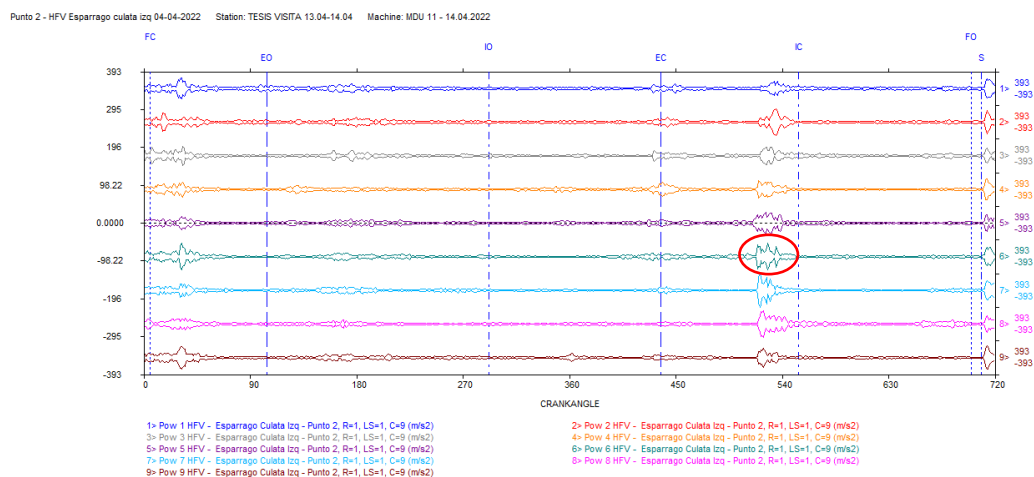


Figura 3.25. Señales de vibración detectada posterior al mantenimiento de 8000h del MDU 11.

Fuente: Elaboración propia.

Observación: Se considera que se eliminaron las señales vistas en la figura 3.23. Sin embargo, existe presencia de una nueva en el cilindro 6.

3.6. Entregables.

Se ha generado un manual para ayudar a facilitar el uso del Windrock que se lo entrega a la central termoelectrica Sacha.

Se ha generado una base de datos de fallos referenciales con los formatos ya mencionados en la metodología que se entrega a la central.

Se han desarrollado 3 videos explicativos desarrollados tanto con la aplicación Sparkol, como capturas de video de pantalla, que se envían al encargado de la central, que consisten en:

1. Qué es y cómo funciona el equipo Windrock.
2. Cómo tomar medidas con el equipo Windrock
3. Cómo utilizar los formatos, base de datos, entre otras cosas.

3.7. Interpretación y comparación de los resultados

3.7.1. Discusión MDU 2.

Se puede observar que en el caso especial del MDU 2 la detección por ultrasonido no resulta efectiva. Sin embargo, se considera técnicamente que puede ser un rebote de sonido de un cilindro aledaño, es decir, del cilindro 2 o 4, pero debido al tiempo que la revisión toma no se procede a revisar los otros cilindros.

3.7.2. Discusión MDU 7.

Se observa que la señal 1 de la figura 3.1 no se inspecciona en campo debido al tiempo de mantenimiento limitado, por lo que se mantiene la señal. La señal se considera relativamente baja por lo que se descarta, pero se resalta que la señal puede indicar un inicio de una posible falla por exceso de fricción (por falta de lubricación) o por un golpe en el cojinete del pie de biela, su presencia se da en una baja amplitud con una forma de cigarro.

Se puede observar que la señal 2 de la figura 3.3 hace referencia a una fuga en el cilindro 1, reportando que se podría tener una posible válvula picada o sucia. Sin embargo, se encuentra la falla en el cilindro 6 y que al ser corregida esta falla la señal del cilindro 1 desaparece en la medición posterior al mantenimiento. Por lo que se podría considerar en unas siguientes mediciones, revisar las válvulas que se encuentren conectadas entre sí por el múltiple de escape, como es en el caso del motor Hyundai 9H21/32 que están conectadas de la siguiente manera: 1,6,7; 2,5,8; 3,4,9.

En la señal 3 de la figura 3.5 que hace referencia a balancines o yugos descalibrados se detecta en campo y se corrige. Sin embargo, se mantiene en uno de los cilindros la señal.

Para la señal 4 de la figura 3.7 que hace referencia a la calibración de la inyección, se realiza en campo una calibración de los inyectores y se soluciona la falla.

Las señales 5 de la figura 3.9 medidas en el bloque de alta presión hacen referencia a problemas en la inyección desde la bomba, por lo que se reporta que podría existir un

problema con los deflectores. Estos fueron reemplazados y se observa en la figura 3.10 que las señales se eliminaron.

En la tabla 3.3 se puede observar que el análisis de predicción de fallas potenciales fue de un 60%.

3.7.3. Discusión MDU 8

La señal 1 de la figura 3.11 hace referencia a un golpe fuerte en el punto muerto de baja presión, esta señal permite detectar en campo un cojinete del pie de biela del cilindro 1 en mal estado, por lo que la medición y predicción o detección fue exitosa, evitando de esta manera una falla potencial por rotura del cojinete y una posible pérdida de otros elementos. Se realiza el cambio del cojinete de pie de biela y se realiza las mediciones de la deflexión del cigüeñal, por lo que la falla queda corregida.

No se presenta la señal 2 ya que esta falla no se detecta en campo. Sin embargo, se considera que podría existir un problema con la mezcla de combustible y que debería realizarse un análisis químico.

En la señal 3 de la figura 3.13 que hace referencia a balancines o yugos descalibrados se detecta en campo y se corrige, sin embargo, se mantiene en uno de los cilindros la señal.

Las señales 4 de la figura 3.15 medidas en el bloque de alta presión hacen referencia a problemas en la inyección desde la bomba, por lo que se reporta que podría existir un problema con los deflectores. Estos fueron reemplazados y como se observa en la figura 3.16 las señales se eliminaron.

Las señales 5 de la figura 3.17 hacen referencia a problemas en el cierre de las válvulas, se reporta que podría ser por causa de un problema en el asiento de las válvulas, resortes o guías de estas. En campo se detecta una guía en mal estado y de esta manera la falla quedó corregida.

El MDU 8 presenta además una falla en las señales FFT donde se detecta en la medición del esparrago del cilindro 1 un problema de desalineamiento o desbalanceo. Se considera que el pico máximo estaba por encima del valor de la norma y además estaba en el orden de 0.98x tal como se observa en la figura 3.19. Se realiza ajustes del eje del cigüeñal y se reduce los valores de vibración tal como se observa en la figura 3.20.

Se puede observar que el análisis de coincidencia de la tabla 3.4 del MDU 8 es de 83%.

En base a los resultados de los MDU 7 y 8 se puede observar que ambos presentaron fallas en común como los deflectores de las bombas y la falta de calibración de los yugos o balancines. Además, en cada uno de los casos un yugo aún queda con una señal.

3.7.4. Discusión MDU 11.

Se puede observar en el MDU 11 que, pese a que se realiza la corrección de ajuste de yugos y balancines, existe presencia de una señal descalibrada tal como se ha visto en el MDU 7 y MDU 8.

3.8. Cambios operacionales y reducción de costos de mantenimiento

Sin lugar a duda, el tener una guía inicial para iniciar un mantenimiento se pudo aliviar los tiempos correctivos, por lo que se realiza como primer paso los reportes una o dos semanas antes las mediciones y los reportes predictivos permitirían conocer el camino que el mantenimiento va a tomar, además de lo ya planificado por cronograma.

Además, se puede considerar realizar mediciones al menos una vez al mes para detectar las fallas graves como la que se observa en el caso del MDU 8, que implica una parada prácticamente inmediata.

No se logra estimar un costo económico debido a que existe confidencialidad con la información, pero se puede estimar que se ahorra en mano de obra y parada operacional con un mantenimiento correctivo inesperado en el MDU 8, por defectos que no son detectables en los mantenimientos programados de corto tiempo.

Como ejemplo, una unidad que acababa de salir de mantenimiento global y entra a un mantenimiento corto 2000h es improbable que se revise el estado de los cojinetes y se desmonte todo el conjunto de potencia en el mantenimiento programado.

Tal como se observó en el caso del cilindro 3 del MDU 2, las señales con ultrasonido no son tan confiables por si solas, es importante tomar una segunda medida y además acompañarla con un análisis de vibraciones u otro tipo de análisis predictivo como termografía o tribológico.

4. CONCLUSIONES

La recopilación de la información técnica de los motores Hyundai H21/32 requiere de los manuales del fabricante, tesis relacionadas con el diagnóstico de vibraciones en motores diferentes o con diferentes equipos, normativas ISO para guiar y definir los parámetros aceptables de las vibraciones o ultrasonido, así como libros o artículos que destacan el desarrollo de nuevas tecnologías que se hacen más prácticas y deducibles.

Los sistemas de monitoreo por condición en máquinas requieren de su correcta calibración para reducir los fallos en la recolección de datos, así también es necesario un análisis de influencia por conexiones internas como la dada entre cilindros del múltiple de escape conectados que pueden descolocar las fallas y requerirá de una técnica alterna que permita la ubicación del fallo.

La determinación de los rangos de funcionamiento recomendados para la predicción de fallas mecánicas en los motores Hyundai H21/32 requiere la aplicación de las normas ISO. Las mismas guían la aplicabilidad y los procedimientos para el análisis de vibraciones y ultrasonido identificando las frecuencias, sensores que pueden ser utilizados, pero sus limitaciones se dan solo a criterios de severidad aplicados a la estructura, descartando los componentes internos como por ejemplo válvulas, pistones o bielas.

La identificación de fallas potenciales en los motores Hyundai 9H21/32 por medio de las anomalías en la toma de señales de vibraciones y ultrasonido presenta la aplicación del monitoreo con señales en el dominio del tiempo y la frecuencia que puedan ser comparadas con la base de datos y el marco teórico de ciertas fallas puntuales en los motores.

La detección y predicción por ultrasonido necesariamente requieren de un análisis de vibraciones u otro tipo para complementarla y hacerla más eficiente, ya que tal como se observó en el caso del MDU 2, la señal detectada únicamente por ultrasonido dio una predicción errónea.

La identificación de fallas con los diagramas de señales de vibración y ultrasonido presentan características similares en la cualificación de la falla potencial. Sin embargo debido a la sensibilidad del ultrasonido no se puede detectar con facilidad el punto de inyección de combustible como si lo hace la vibración.

La comparación de señales obtenidas con la base de datos de referencia que destaca este proyecto unifica estudios de fallas mecánicas, equipos de medición y permite

generar una base de datos relacionada al motor Hyundai 9H21/32 y similares. Sin embargo, existen diversas señales que se detectan en campo que pueden ser aparentes con otras fallas o que la misma antigüedad de los motores altera, por lo que resulta importante tener un especialista técnico o asesor, usando datos previos del motor y un historial de fallas más extenso, para descartar las fallas poco probables según el caso, tal como se realiza en el MDU 7 con la falla 1.

El desarrollo de los reportes previos al mantenimiento programado sirve tanto para el entrenamiento al recolectar evidencia como para alertar a los técnicos mecánicos en la localización de fallas potenciales haciéndoles partícipes del monitoreo por condición que agrega mantenimiento predictivo a su mantenimiento preventivo ya aplicado en la empresa.

La corroboración de ciertos indicios de fallas luego de los mantenimientos programados presenta relaciones en las señales que se repiten en diferente intensidad en los reportes de los MDUs 6, 7 y 8 en el punto muerto superior de baja presión, que hacen referencia principalmente a problemas en el cojinete del pie de biela o daños en el pistón. Sin embargo, en el MDU 8 la amplitud de esta medición fue considerablemente mayor por lo que inspeccionado y encontrada la falla podría indicar un inicio de la misma falla en el MDU 6 y MDU 7.

El desarrollo de material audiovisual para facilitar el aprendizaje en el uso del equipo de medición de vibraciones y ultrasonido requiere del involucramiento activo del personal técnico para ubicar de manera adecuada los puntos de medición, el manejo del software y conocer los beneficios de reducir las paradas correctivas en la central.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoavance. (20 de 08 de 2013). *Causas Comunes de Fallas Relacionadas con los Cilindros en los Motores Cummins*. Obtenido de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/166-causas-comunes-de-fallas-relacionadas-con-los-cilindros-en-los-motores-cummins/>
- Cajas, C. (2009). *Planificación de mantenimiento basado en el método de confiabilidad RCM para motores estacionarios de la planta termopichincha S>A. , Central Guano Polo*. Quito: EPN.
- Calderon et al, C. (2018). "ANÁLISIS DEL DESGASTE EN PARTES MECÁNICAS DE UN MOTOR HYUNDAI 9H21/32 POR PRESENCIA DE LIMALLAS EN EL INTERIOR DE CÁRTER". Ambato: Universidad técnica de Ambato.
- Cardenas, P. (2017). *Análisis de vibraciones en motores de combustión interna por medio de ultrasonido*. Quito: UIDE.
- Casadiago, E. (16 de 09 de 2021). *Vibration waveform&spectral vibration measurement with the 63xx series analyzers*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/525654706/Windrock-FFT>
- CELEC. (2020). *CENTRAL TÉRMICA SACHA*. Recuperado el 20 de 08 de 2021, de <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/generacion/sacha>
- CELEC EP. (2015). *La Empresa*. Recuperado el 20 de 08 de 2021, de <https://www.celec.gob.ec/index.php/quienes-somos/la-empresa>
- CELEC EP Sacha. (2020-2022). *Bitácora Mecánica*. Sacha.
- CELEC EP SACHA. (2021-2022). Datos recopilados en CELEC EP Sacha - Visitas técnicas. . La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador.
- Commons Wikimedia. (2016). *FFT of Cosine Summation Function*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AFFT_of_Cosine_Summation_Function.png
- Eisenmann, R. (1997). *Machinery malfunction diagnosis and correction*. Prentice Hall.
- El maquinante. (8 de Octubre de 2013). *Vibraciones mecánicas - Análisis espectral*. . Obtenido de shorturl.at/cCEOZ
- GOOGLEMAPS. (2022). *Ubicación CELEC EP Sacha*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/CELEC+U.N.+TERMOPICHINCHA+Centr>

al+T%C3%A9rmica+Sacha/@-0.3084897,-
76.8817522,9617m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91d7bef91859f839:0xacb25
722b815d946!8m2!3d-0.3339591!4d-76.8760833

Guevara, G., & Landa, L. (2019). ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA J20A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Riobamba: ESPOCH.

Hurtado, L. (06 de 2010). *Control robusto de un sistema mecánico simple mediante una herramienta gráfica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532010000200023

HYUNDAI. (2011). *Instruction book volumen I Engine type H21/32*. Ulsan, Korea: HIMSEN.

ISO 10816-1. (1996). *Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. International Standard.

ISO 2041. (2009). *Vocabulary on Mechanical Vibration, Shock and Condition Monitoring*. Recuperado el 2021, de <https://archive.org/details/gov.in.is.iso.2041.2009/page/n15/mode/2up>

ISO 2372. (1974). *Mechanical vibration on rotating machinery*. ISO.

ISO 29821. (06 de 2022). *Condition monitoring and diagnostics of machines — Ultrasound — General guidelines, procedures and validation*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:29821:ed-1:v1:en>

ISO-10816-3. (2009). *Maquinas industriales con potencia nominal por encima de 15kW y velocidades nominales entre 120 RPM y 15000 RPM cuando se mide in situ*.

ISO10816-6. (1995). *Mechanical vibration: Evaluation of machine vibration by measurements on non rotating parts*.

KAMRAN, M. S. (11 de 2019). *Diagnostics of reciprocating machines using vibration analysis and ultrasound techniques*. Recuperado el 31 de 08 de 2021, de <https://www.ingentaconnect.com/content/bindt/insight/2019/00000061/00000011/art00011>

KELLEHER, E. (01 de 11 de 2016). *Economic and Mechanical Benefits of Utilizing Advanced Diesel Engine Analysis and Monitoring Techniques*. Recuperado el 31

de 08 de 2021, de <https://onepetro.org/SNAMESMC/proceedings-abstract/SMC16/3-SMC16/D033S013R003/187949>

Marin, E. (2007). *Elementos de medicion y analisis de vibraciones en maquinas rotativas*. Habana: Centro de estudios en ingenieria de mantenimiento.

Martín Sanz, C. (2017). *Optimización del cierre de la válvula de admisión de un motor de combustión interna alternativa*. Valladolid: Univerisad de Valladolid. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/22207/TFG-I-560.pdf;jsessionid=FB9C027C4303F400A1DB6E03480EA8F0?sequence=1>

Mercedes, R., & Hernández, A. (2014). CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE. En I. M. transporte. Sanfandila. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>

Mohd, M. (11 de 09 de 2021). *Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis: A Systematic Review*. Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/sv/2021/9469318/>

Montero, M. (2018). *Desfase en los motores policilíndricos*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/14403902/>

Moreno, F. (2004). SEÑALES DE DETERIORO Y FALLA EN MOTORES Y COMPRESORES RECIPROCANES MAYORES Y ESTUDIO DEL SOFTWARE WINDROCK 6310 PA 2.0. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander.

NEWPORT CORP. (2022). *Vibration Control Unit Conversion Charts and Constants*. Obtenido de <https://www.newport.com/t/vibration-control-unit-conversion-charts-and-constants>

Ojeda, O. (2020). *Analizador Windrock (Mantenimiento predictivo)*. Riohacha: Universidad la Guajira.

Pertuz, S. (2 de Abril de 2020). 7.2 *Aliasing*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=5P5eaVuIOLc>

Sosa, D. (2017). Análisis de las averías del Grupo Electrónico Regla. 45-57.

UE System Inc. (26 de 11 de 2020). *Airborne & Structure-Borne Ultrasound as a Key Component to Predictive Maintenance*. Obtenido de <https://www.maintenanceuk->

expo.com/press-releases/airborne-structure-borne-ultrasound-as-a-key-component-to-predictive-maintenance

UMANA, R. (2015). *Propuesta de un diagnostico de mantenimeinto preventivo ajustado a las condiciones de explotacion de los motores Himsen 921/32 de la bateria 8, en la planta Che Guevara VI, ubicaa en el municipio de Nagarote en el periodo de enero da julio del ano 2015*. Leon: UNAN.

Viñuelas, J. (2011). *Análisis de vibraciones y ultrasonidos en MACI*. Zaragoza.

Windrock. (2015). *Analisis Avanzado de motor alternativo AQE3*. Knoxville, Tennessee: Windrock.

WINDROCK 6320. (2012). *Start Up Assistance Training*. Knoxville.

WINDROCK INC. (2015). *Analisis Avanzado de motor alternativo AQE3. Curso WINDROCK*. Knoxville.

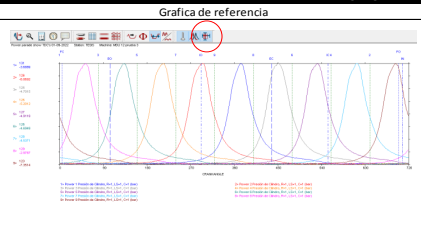
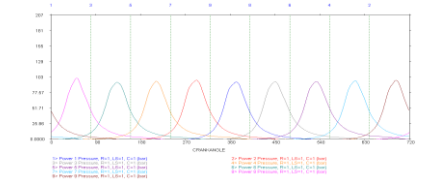

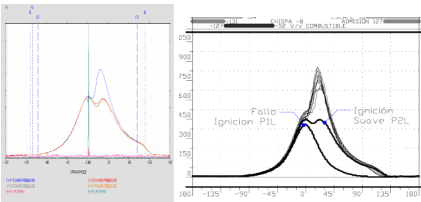
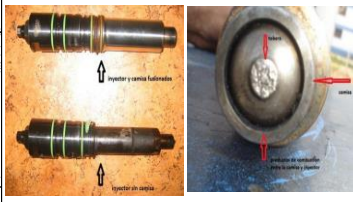
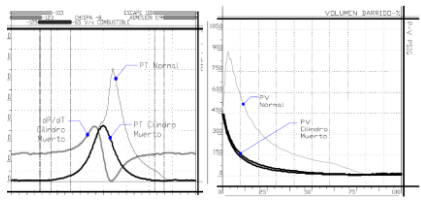

WINDROCK MD 4.2. (2022). *Unphased Cursor*. Obtenido de https://software.windrock.com/WhatsNewWindrockMD/version_4_2/unphased_cursor.htm

Young, T. (2021). Prediction of System-Level Energy Harvesting Characteristics of a Thermoelectric Generator Operating in a Diesel Engine Using Artificial Neural Networks. *Energies*, 2426, 14.

Zambrano, B. (2014). *Investigacion para la otencion de una mezcla homogenea para grupos electrogenos de 1.7 MW*. Quito: UIDE.

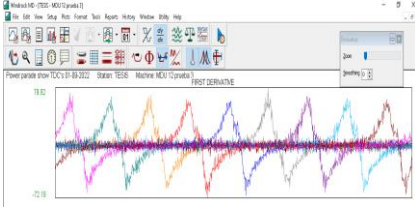

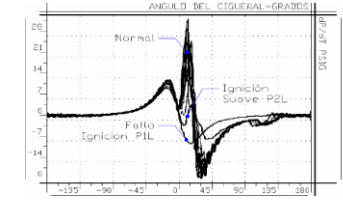

ANEXO 1. BASE DE DATOS (Causas de falla y su gráfica Windrock)

Tabla A1.1 Base de datos para el punto 1 de la ruta generada.

		PUNTO 1					
Balanceo_por_presiones	Análisis_balanceo_por_presiones	Grafica de referencia	Grafica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Balanceo_correcto	<p>Se observa que en base a la herramienta de diagrama de cajas y bigotes el motor se encuentra estadísticamente balanceado. Es decir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -No existe un sobre esfuerzo mecánico o térmico sobre un cilindro. -Todos los cilindros producen y generan un trabajo similar. 		<p>NO EXISTE FALLA POTENCIAL</p>	<p>No existe ninguna falla potencial.</p>	<p>Todo correcto.</p>	<p>P1_1</p>	<p>CELEC</p>
Balanceo_incorrecto_bajas_presiones	<p>Se observa que existe una presión baja. Se puede deber principalmente a una mala ignición por adelantado o retraso de inyección. Puede ser por un mal seteo al momento de medir o un mal encerado del equipo de medición.</p>			<p>Fallas en la combustión, el inyector puede estar sucio, taponado o fusionado con la camisa debido a defectos en el lubricante o exceso de temperatura. Puede existir un mal punto de inyección.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el seteo de medición. 2. Revisar la temperatura de trabajo. 3. Revisar el estado del lubricante. 4. Hacer un mantenimiento al inyector o ajuste en la inyección. 	<p>P1_2</p>	<p>CELEC & Sosa, D. (2017)</p>
Balanceo_incorrecto_en_ciertos_cilindros	<p>Se observa que existe uno o varios cilindros que presentan una curva anormal en el pico de presión con una falla de ignición o ignición suave. Generando que no se alcance la presión deseada y por ende un mal balanceo o un barrido incompleto.</p>			<p>Fallas en composición del combustible. Existe un retraso en el tiempo de ignición. Inyectores tapados o dañados debido a una mala lubricación o un exceso de temperatura que afectó las propiedades del lubricante. Las toberas pueden estar en mal estado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que el tiempo de ignición sea el adecuado con la medición del punto 2 y 4. 2. Revisar la composición del combustible. 3. Revisar el estado del lubricante. 	<p>P1_3</p>	<p>Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)</p>
Balanceo_con_presencia_de_cilindro_muerto	<p>Se observa que existe uno o varios cilindros que no tienen trabajo y se mantienen con una presión realmente baja y una curva Presión volumen sin área.</p>			<p>Fallas en la ignición debido a inyectores tapados o dañados. Toberas en mal estado. La hermeticidad puede ser inadecuada o existe una fuga de presión.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar otra medición. 2. Revisar la temperatura del cilindro. 3. Revisar el inyector. 4. Revisar las válvulas y asientos de las mismas. 5. Realizar una prueba de hidrostática de presión. 6. Realizar una tercera medición de fugas en la pared de la culata o revisar en campo el cilindro, pistón y rines. 7. Realizar los cambios necesarios. 	<p>P1_4</p>	<p>Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)</p>

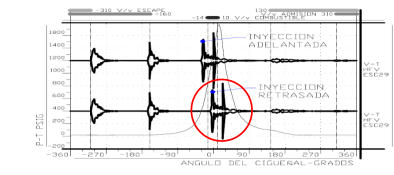

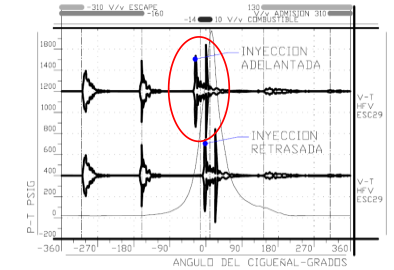

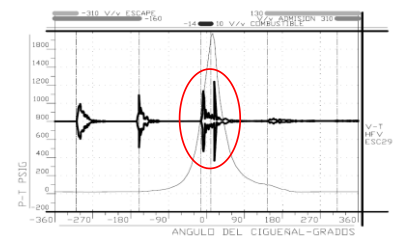

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.2. Base de datos para el punto 1 de la ruta generada con la primera derivada.

Ignición_con_primera_derivada	Análisis_balaceo_por_presiones	Grafica de referencia	Grafica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Referencia
Ignición_correcta_con_primera_derivada	Se observa que no existe una ignición suave o con fallas y que todo el sistema tiene un rango similar.			No existe ninguna falla potencial.	Todo correcto.	P1_5	CELEC
Ignición_incorrecta_con_primera_derivada	Se observa que existe una ignición suave o con fallas.	<p data-bbox="790 563 1144 592">Figura 151. Superposición de la derivada presión contra ángulo del cigüeñal de un motor de dos tiempos con fallo de ignición o cilindro muerto.</p> 		<p>Fallas en composición del combustible. Existe un retraso en el tiempo de ignición. Inyectores tapados o dañados o con un mal tiempo de calibración. Toberas en mal estado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que el tiempo de ignición sea el adecuado con la medición del punto 2 y 4. 2. Revisar la composición del combustible. 3. Revisar el estado del inyector y de la tobera. 	P1_6	Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)

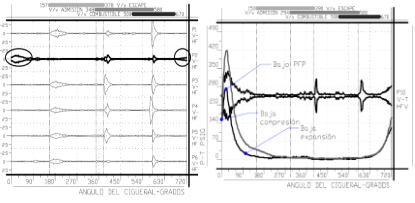
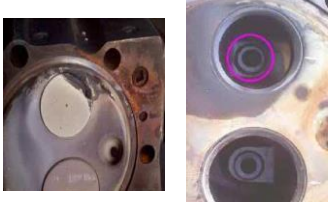
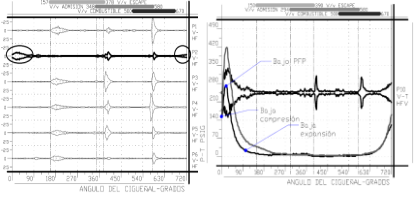
Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.3. Base de datos para el punto 1 y 2 en una misma gráfica por vibración.

PUNTO 1 Y 2							
Presión_máxima_e_inyección_de_combustible	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Inyección_atrasada	Se observa que la gráfica tiene una ignición retrasada. Dadas potencialmente por: -Baja presión en el punto muerto superior. -Retardo del inyector de combustible.			El tiempo de inyección es incorrecto. La mezcla de combustible es demasiado pobre que evita una combustión adecuada. La hermeticidad de las válvulas evita que existe una adecuada presión.	1. Revisar el ajuste del inyector y su estado. 2. Revisar el combustible. 3. Revisar fugas en válvulas.	P1_y_2_1	Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)
Inyección_adelantada	Se observa que la gráfica tiene una ignición adelantada. Dadas potencialmente por: -Alta presión en el punto muerto superior. -Adelanto del inyector de combustible.			El tiempo de inyección es incorrecto. La mezcla de combustible es demasiado rica de modo que apesadura la combustión.	1. Revisar el ajuste del inyector y su estado. 2. Revisar el combustible. 3. Revisar fugas en válvulas.	P1_y_2_2	Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)
Inyección_correcta	Se puede apreciar que en base a una comparación teórica, que la gráfica tiene una ignición correcta, alcanzando un pico adecuado de presión.			No existe ninguna falla potencial.	Todo correcto.	P1_y_2_3	Moreno, F. (2004).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.4. Base de datos para el punto 1 y 2 en una misma gráfica por ultrasonido.

Válvulas de escape por ultrasonido con presión	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Fuga_en_la_zona_de_alta_presion_con_presion	<p>Se observa una fuga en el ultrasonido en la zona de alta presión (válvula de escape) debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Válvula sucia, carbonizada o rota. - Resortes dañados o rotos. - Asiento de válvula dañada. - Vastagos dañados o doblados. 			<ul style="list-style-type: none"> - Válvula sucia, carbonizada o rota. - Resortes dañados o rotos. - Asiento de válvula dañada o desgastada. - Vastagos dañados o doblados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado de las válvulas. 3. Revisar el estado de los asientos de la válvulas. 4. Revisar los vástagos. 5. Cambiar o limpiar los componentes. 	P1_y_2_4	Moreno, F. (2004) & Sosa, D. (2017)
Valvula_de_escape_sin_fugas_con_presion	<p>Se observa apreciar una medición correcta y que no existen fugas en ninguna zona.</p>		<div style="background-color: black; color: white; text-align: center; padding: 10px;"> <p>NO EXISTE FALLA POTENCIAL</p> </div>	<p>Todo Correcto</p>	<p>Todo correcto.</p>	P1_y_2_5	Moreno, F. (2004).

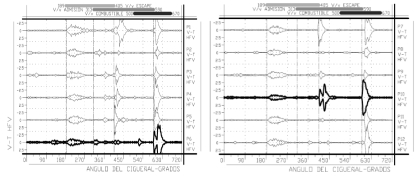
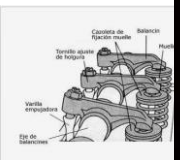
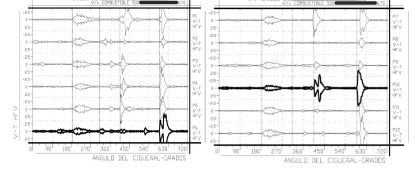
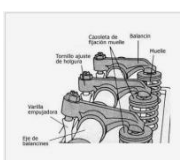
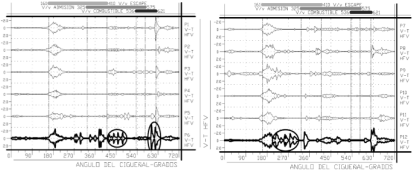

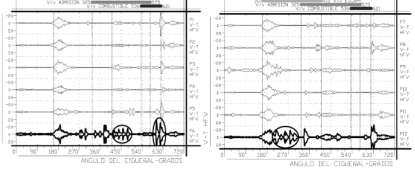

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.5. Base de datos para el punto 2 vibración en las válvulas y elementos cercanos.

		Punto_2					
Vibracion_en_valvula	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Cierre_tarde	<p>Se puede apreciar un efecto de Loose valve lash (Efecto de latigazo de válvula) se cierra tarde. Esto se puede deber a:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Válvula sucia, carbonizada o con problemas de fugas. -Tolerancia incorrecta del elevador de válvulas. 			<p>Válvula sucia, carbonizada o fisurada. Resorte dañado. Tolerancia incorrecta del elevador de válvulas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el estado de las válvulas. 2. Revisar el estado de los resortes, guías. 3. Revisar la tolerancia del elevador de válvulas. 	P2_1	Moreno, F. (2004).
Cierre_temprano	<p>Se puede apreciar un efecto de Loose valve lash (Efecto de latigazo de válvula), es decir, se cierra temprano principalmente. Esto se puede deber a:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Válvula sucia, carbonizada o con problemas de fugas. -Tolerancia incorrecta del elevador de válvulas. 			<p>Válvula de inyección sucia o con obstrucción. Tiempo de inyección inadecuado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del inyector. 3. Cambio de piezas necesarias 	P2_2	Moreno, F. (2004).
Apertura_y_cierre_correctos	<p>Se observa que existe una adecuada apertura y cierre de válvulas.</p>			<p>Todo Correcto</p>	<p>Todo correcto.</p>	P2_3	CELEC
Impactos_y_fuga_al_cierre_de_las_valvulas	<p>Se observa un cierre inadecuado producto de desgaste en la guía de las válvulas o asiento inapropiado en altas presiones, resortes defectuosos que retardan el cierre.</p>			<p>Daños en resorte o guía de las válvulas o los asientos de las válvulas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado de resorte, guías y asientos de las válvulas. 3. Cambio de piezas necesarias 	P2_13	Moreno, F. (2004).

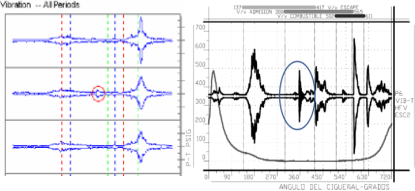
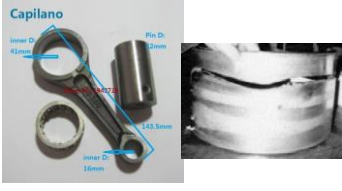
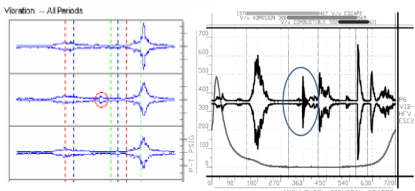

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.6. Base de datos para el punto 2 para el balancín y levas.

Vibración en el balancín o levas	Análisis	Grafica referencial	Grafica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Vibración_con_patrón_de_desgaste_del_balancín	Se observa presencia de vibraciones con patrón de desgaste del balancín, lo que genera una excesiva holgura por lo que al abrir o cerrar válvulas se presentan múltiples impactos.		 <p style="text-align: center;">SIN REGISTRO #1</p>	El balancín presenta un desgaste generando impactos en las válvulas o existen yugos descalibrados.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del balancín y yugo. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 	P2_7	Moreno, F. (2004).
Vibración_sin_patrón_de_desgaste_del_balancín	Se observa que no existe presencia de vibraciones con patrón de desgaste del balancín o yugos descalibrados		 <p style="text-align: center;">NO EXISTE FALLA POTENCIAL</p>	Todo Correcto	Todo correcto.	P2_8	Moreno, F. (2004).
Vibración_con_patrón_de_desgaste_en_la_leva	Diagrama de vibración mostrando un desgaste en la leva (picos de vibración al cierre o apertura)			La leva presenta un desgaste o falla.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado de la leva. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 	P2_9	Moreno, F. (2004).
Vibración_sin_patrón_de_desgaste_en_la_leva	Se observa que no existe presencia de vibraciones con patrón de desgaste en la leva.		 <p style="text-align: center;">NO EXISTE FALLA POTENCIAL</p>	Todo correcto	Todo correcto	P2_10	Moreno, F. (2004).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.7. Base de datos para el punto 2 para la biela y elementos cercanos.

Vibración en la biela	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
<p>Vibración_con_patrón_de_impactos_en_el_pin_o_bulón_de_biela</p>	<p>La presencia de impactos en la reversión de la carga, se considera desgaste en el pin, bulón de biela o su cojinete. Entre los 360 grados (punto de menor compresión)</p>	 <p>Gráfica referencial que muestra vibración con impactos en la reversión de la carga. Incluye un patrón de vibración con picos marcados por líneas de puntos y un gráfico de amplitud vs. ángulo del cigüeñal.</p>	 <p>Componentes de falla potencial: Capilano, Pin Di 22mm, Inner Di 16mm, Inner Di 14.5mm.</p>	<p>Golpe de pin, bulón o biela o su cojinete.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el estado de los elementos: biela, pin, bulón y cojinetes. 2. Revisar las gráficas del estado de cojinetes del cigüeñal. 	<p>P2_11</p>	<p>Moreno, F. (2004).</p>
<p>Vibración_con_patrón_de_impactos_en_el_pin_o_bulón_de_biela</p>	<p>No existe presencia de impactos en la reversión de la carga, lo que se considera que no existe desgaste en el pin, bulón de biela o su cojinete. Entre los 360 grados (punto de menor compresión)</p>	 <p>Gráfica referencial que muestra vibración sin impactos en la reversión de la carga. Incluye un patrón de vibración con picos marcados por líneas de puntos y un gráfico de amplitud vs. ángulo del cigüeñal.</p>	 <p>Componentes de falla potencial: Capilano, Pin Di 22mm, Inner Di 16mm, Inner Di 14.5mm. Texto: NO EXISTE FALLA POTENCIAL</p>	<p>No existe falla potencial.</p>	<p>Todo correcto.</p>	<p>P2_12</p>	<p>Moreno, F. (2004).</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.8. Base de datos para el punto 3.

Punto_3							
Vibración en el pistón	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Vibración_por_golpe_de_pistón_con_la_camisa	El pistón presenta un patrón de golpeteos con la camisa, ocurre cuando existe un desgaste de la camisa y/o los anillos o los cilindros son muy pequeños para la camisa. Se presenta principalmente cerca de la ignición, cuando la presión es alta.			Desgaste en el pistón generando un golpeteo con la camisa.	1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Revisar el desgaste del pistón. 3. Revisar el estado de la camisa.	P3_1	Moreno, F. (2004).
Vibración_del_pistón_sin_patrón_de_golpeteo.	No existe ningún patrón de golpeteo del pistón con la camisa. Medición correcta.			Todo Correcto	Todo correcto.	P3_2	CELEC & Moreno, F. (2004).
Anillo_de_motor	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente
Anillo_partido_de_motor	Los impactos fuertes en la culata de forma repentina y no progresiva, se puede visualizar el cambio repentino en tomas diferentes de datos. Los daños se pueden encontrar en los anillos de compresión y las ranuras de pistón con aumento de juego. El pico repentino se parece al cierre de la válvula de admisión. La agudeza en la forma de onda se identifica claramente cuando no es propia de los desgastes de los pines cuando se generan en las bancadas.			Se presenta un anillo partido de motor.	1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Cambio de anillo de motor.	P3_3	Moreno, F. (2004).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A1.9. Base de datos para el punto 4.

Punto_4								
Inyección_de_combustible	Análisis	Gráfica referencial	Gráfica de fallo potencial	Descripción de falla potencial	Soluciones posibles	Código base	Fuente	
Inyección_de_combustible_sin_patrones_de_fugas	No existen presencias de patrones de fuga de combustible en la bomba.			Todo Correcto	Todo correcto.	P4_1	CELEC	
Inyección_de_combustible_con_patrones_de_fugas	Existe una presencia de un patrón de fugas que puede ser debido a un cierre inadecuado del inyector. Puede deberse también a un mal acople, asentamiento del sensor de ultrasonido o por una mala ganancia en la toma de datos.			Cierre inadecuado de el tiempo de los inyectores debido a un mal estado de los deflectores, ajustes en la inyección.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Chequeo del estado de los deflectores de la bomba. 	P4_2	CELEC	

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2. DOCUMENTACIÓN

Correo de solicitud de apertura a la empresa.

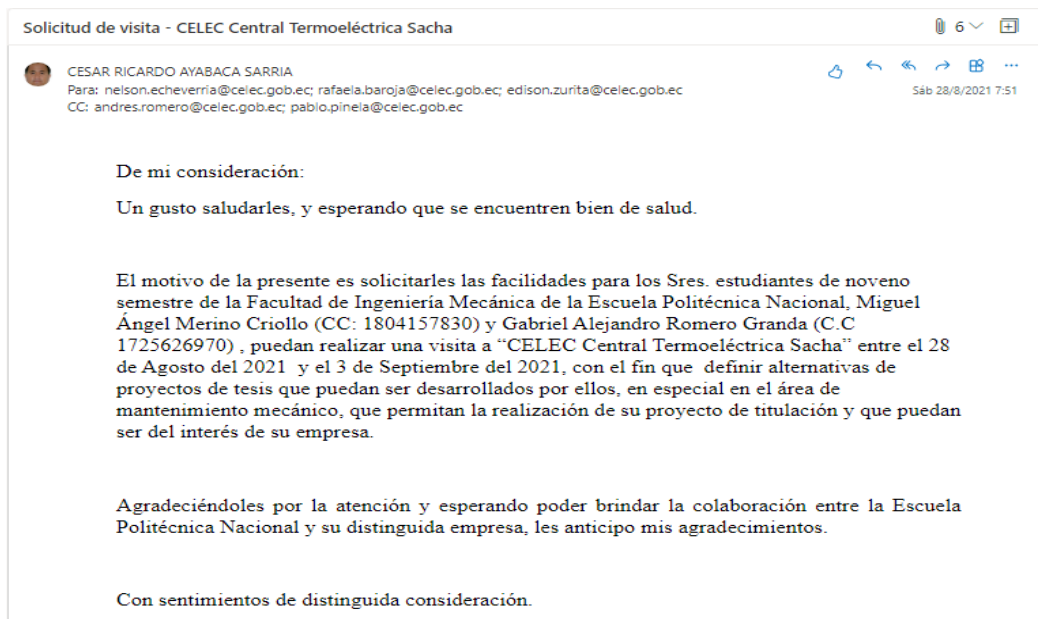


Figura A.2. 1

Fuente: Elaboración propia.

Correo de aceptación.



Figura A.2. 2

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. CRONOGRAMA DE VISITAS

Cronograma de visitas.

Se realizó un cronograma de visitas a la empresa CELEC EP Sacha que se observa a continuación.

Tabla A.3.1 Cronograma de visitas a la empresa CELEC EP Sacha.

		PREDICCIÓN DE FALLAS MECÁNICAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA HYUNDAI 9H21/32 EN LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CELEC EP CENTRAL SACHA						
CRONOGRAMA DE VISITAS								
FECHA		ACTIVIDAD						
29 de agosto - 03 de septiembre de 2021		1. PLAN DE TESIS						
19 de octubre - 29 de octubre de 2021		2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y MANEJO DEL SOFTWARE						
16 de noviembre - 26 de noviembre de 2021		3. ARMADO DEL EQUIPO WINDROCK Y PRIMERAS MEDICIONES						
07 de enero - 11 de enero de 2021		4. CORRECCIÓN DE MEDICIONES Y PUNTOS DE MEDICIÓN						
16 de marzo - 19 de marzo de 2022		5. MEDICIÓN FINAL PRUEBA DE LA METODOLOGÍA (RUTA FINAL)						
13 de abril - 14 de abril de 2022		6. VALIDACIÓN DE RESULTADOS						
Calendario 2021-2022								
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Actividad 1								
Actividad 2								
Actividad 3								
Actividad 4								
Actividad 5								
Actividad 6								
Observaciones:								
Realizado por:		Miguel Merino - Gabriel Romero						
Revisado por:		Ing. César Ayabaca PhD (c)						

Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO 4. MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR
MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA EL MOTOR
HYUNDAI 9H21/32**

**MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES
CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI
9H21/32**



***MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR
MEDICIONES CON EL EQUIPO
WINDROCK PARA EL MOTOR HYUNDAI
9H21/32***

Realizado por:

**Miguel Merino.
Gabriel Romero**

Ecuador – 2022

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

CONTENIDO

1. Configuración del software.....	3
1.1. Colocar el nombre del analista en gestión.....	3
1.2. Configuración de Windrock al motor Hyundai 9H21732.....	3
1.3. Configuración FFT.....	7
1.4. Generar la ruta en el software.....	8
2. Partes y armado del equipo windrock.....	11
2.1. Sensores, transductores y otros elementos del equipo Windrock.....	12
2.2. Armado del equipo Windrock.....	13
3. Tomar medidas.....	15
3.1. Consideraciones para tomar las medidas.....	15
Ruta de medición.....	18
3.2. Presión.....	22
3.3. Vibraciones.....	24
3.4. Ultrasonido.....	24
3.5. Diagnóstico FFT.....	26
4. Diagnóstico de señales de vibraciones – ultrasonido.....	27
5. ERRORES COMUNES EN LA TOMA DE DATOS.....	28

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

1. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE.

1.1. Colocar el nombre del analista en gestión

1) Dar click en Edit -> Preferences

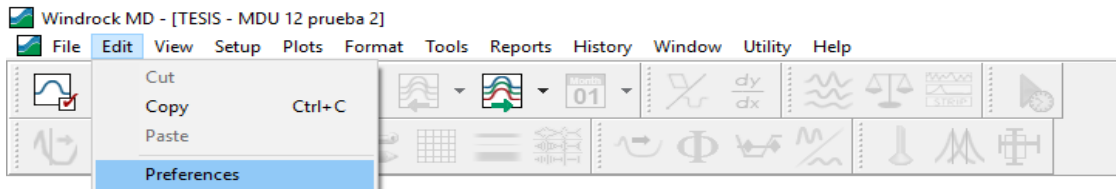


Figura 1. 1. Edición de preferencias paso 1.
Fuente: Elaboración propia.

2) Cambiar el nombre del analista e información de la empresa.

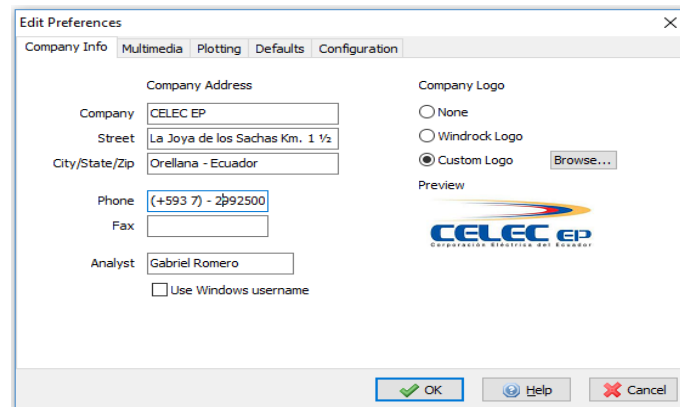


Figura 1. 2. Edición de preferencias paso 2.
Fuente: Elaboración propia.

1.2. Configuración de Windrock al motor Hyundai 9H21732.

1) Abrir el software -> File -> Open



Figura 1. 3. Apertura del software.
Fuente: Elaboración propia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

- 2) Si desea crear una estación dar click derecho -> new station o si ya tiene una estación y desea crear un nuevo motor click derecho-> new machine.

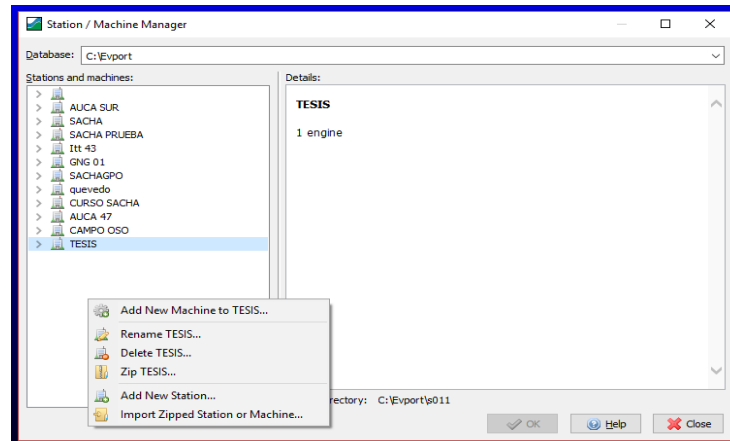


Figura 1. 4. Creación de una nueva estación.
Fuente: Elaboración propia.

- 3) Ponerle un nombre a la máquina, seleccionar la opción create a new, blank machine si es la primera vez que va a configurar un motor. O si ya tiene uno creado igual al que va a ocupar puede copiar las configuraciones de un motor existente.

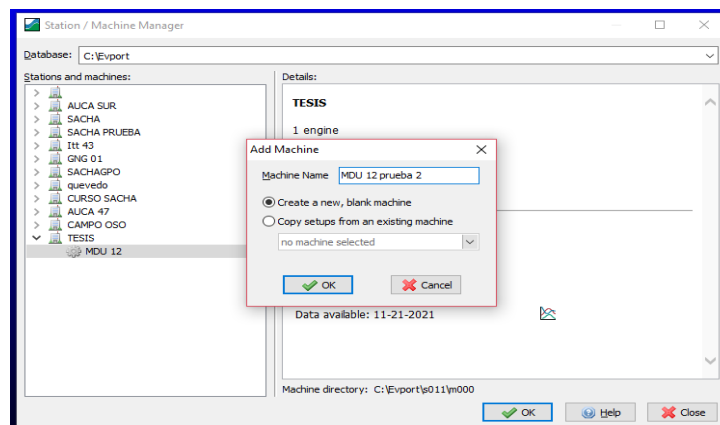


Figura 1. 5. Creación de una nueva máquina.
Fuente: Elaboración propia.

- 4) Dar click en OK
5) Ir a Setup -> Machine Geometry -> Setup o Ctrl+G

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

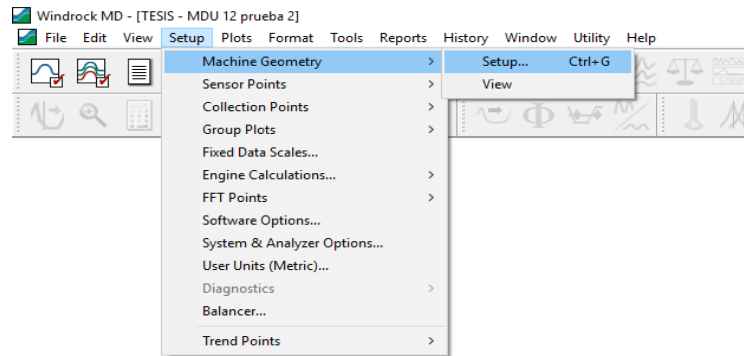


Figura 1. 6. Configuración de la geometría de una máquina.
Fuente: Elaboración propia.

6) Colocar los datos del motor en este caso para el 9H21/32:

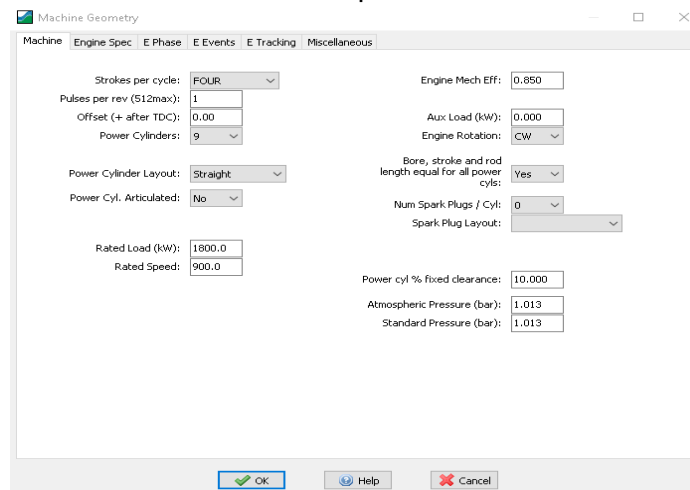


Figura 1. 7. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 1.
Fuente: Elaboración propia.

7) Dar click en Engine spec y colocar los tamaños (diámetro de la camisa, carrera del pistón y longitud de la biela):

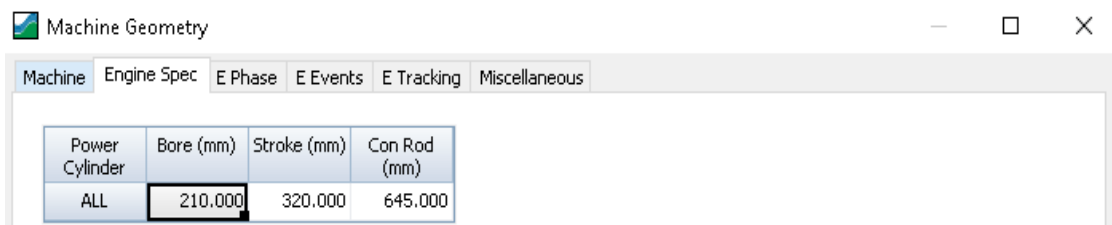
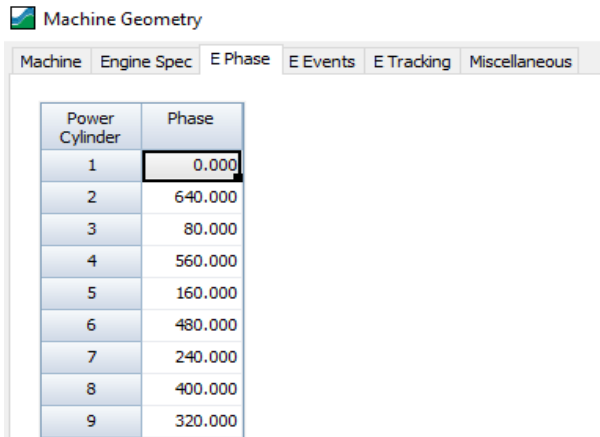


Figura 1. 8. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 2.
Fuente: Elaboración propia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

8) Dar clic en E phase y colocar los ángulos de desfase:



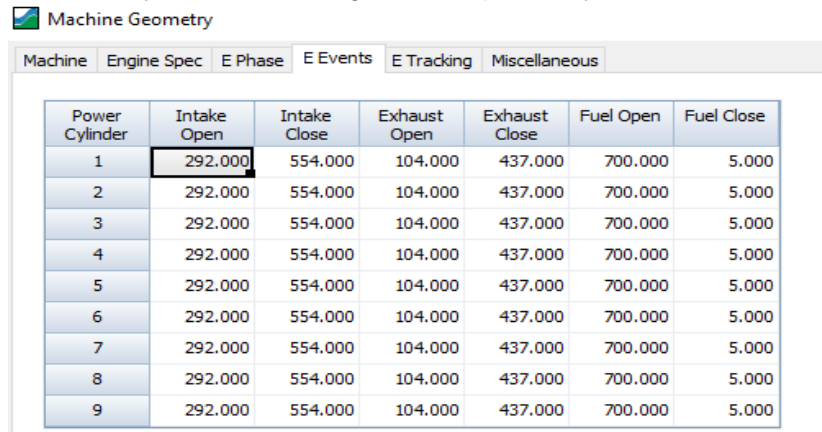
Machine Geometry

Machine Engine Spec **E Phase** E Events E Tracking Miscellaneous

Power Cylinder	Phase
1	0.000
2	640.000
3	80.000
4	560.000
5	160.000
6	480.000
7	240.000
8	400.000
9	320.000

Figura 1. 9. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 3.
Fuente: Elaboración propia.

9) Dar click en Events y colocar los ángulos de apertura y cierre de válvulas:



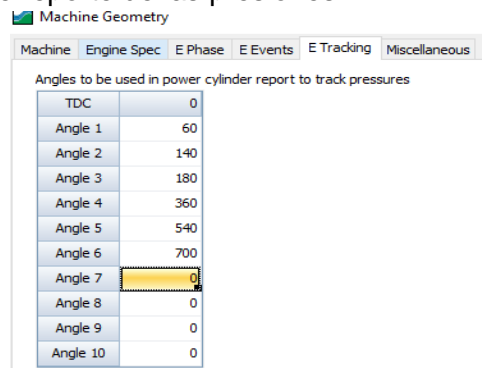
Machine Geometry

Machine Engine Spec E Phase **E Events** E Tracking Miscellaneous

Power Cylinder	Intake Open	Intake Close	Exhaust Open	Exhaust Close	Fuel Open	Fuel Close
1	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
2	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
3	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
4	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
5	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
6	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
7	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
8	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000
9	292.000	554.000	104.000	437.000	700.000	5.000

Figura 1. 10. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 4.
Fuente: Elaboración propia.

10) Colocar los ángulos de reporte de las presiones:



Machine Geometry

Machine Engine Spec E Phase E Events E Tracking **Miscellaneous**

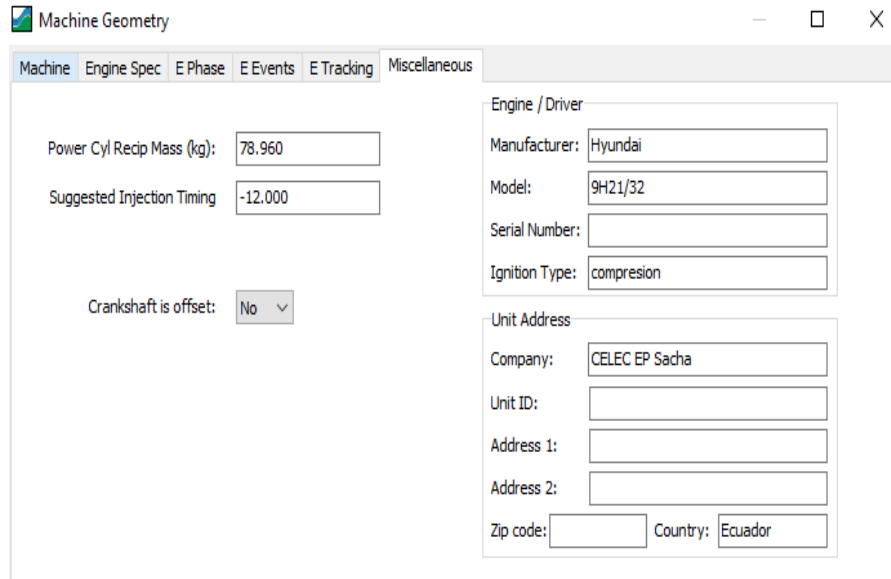
Angles to be used in power cylinder report to track pressures

TDC	0
Angle 1	60
Angle 2	140
Angle 3	180
Angle 4	360
Angle 5	540
Angle 6	700
Angle 7	0
Angle 8	0
Angle 9	0
Angle 10	0

Figura 1. 11. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 5.
Fuente: Elaboración propia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

11) Colocar los misceláneos



Machine Geometry

Machine Engine Spec E Phase E Events E Tracking Miscellaneous

Power Cyl Recip Mass (kg):

Suggested Injection Timing:

Crankshaft is offset:

Engine / Driver

Manufacturer:

Model:

Serial Number:

Ignition Type:

Unit Address

Company:

Unit ID:

Address 1:

Address 2:

Zip code: Country:

Figura 1. 12. Configuración de la geometría de un motor Hyundai 9H21/32 parte 6.
Fuente: Elaboración propia.

1.3. Configuración FFT

Se deberá ajustar la ganancia para permitir una mejor resolución en la señal de entrada. Al escoger entre 1 a 5, 1 es siempre usado para presión y 5 debería ser usado con un acelerómetro. (Casadiego, 2021)

Se deberá configurar la velocidad en rpm del motor y el tipo de sensor empleado. Al usar un acelerómetro las unidades empleadas sean *mils* para desplazamiento, *g's* para aceleración y *ips* para velocidad. Con acelerómetro se deberá seleccionar una sensibilidad de 0.1 *volt/g*.

El número de líneas de resolución escogido determina el número de datos requeridos. El tiempo de colección depende del número de puntos de los datos por el tiempo entre muestras y números nuevos promedios. La frecuencia más baja se determina por tiempo total de colección. Se selecciona el número de líneas acorde las revoluciones del motor, así: (Casadiego, 2021)

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

Tabla 1. 1. Número de líneas acorde a las revoluciones.

Revoluciones de motor [rpm]	Número de líneas
<<150000	800 - 1600
37500 - 75000	800
9360	400 - 800
4680>>	200 - 400

Fuente: (Casadiego, 2021)

1.4. Generar la ruta en el software.

- 1) Revisar las escalas de los sensores.

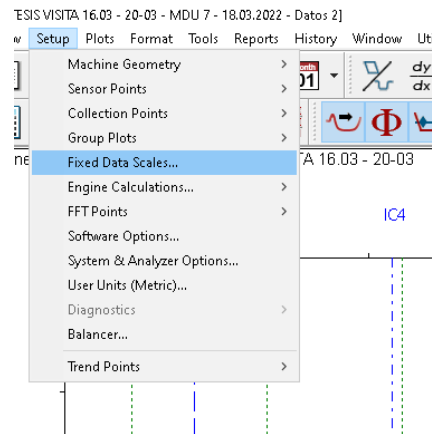


Figura 1. 13. Configuración de escalas de medición paso 1.
Fuente: Elaboración propia.

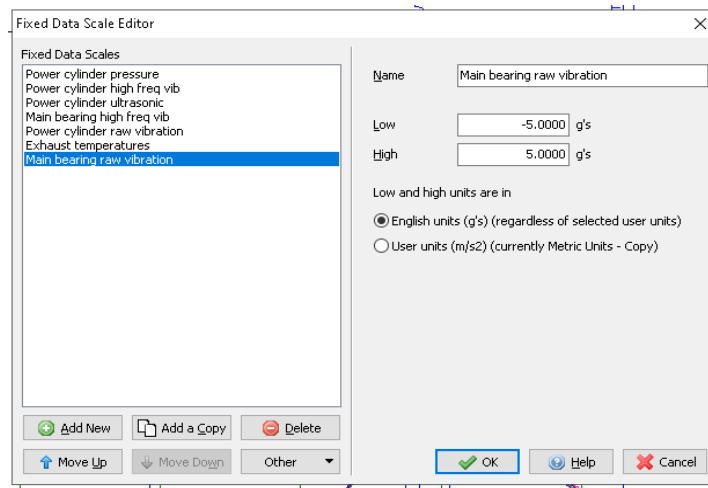


Figura 1. 14. Configuración de escalas de medición paso 2.
Fuente: Elaboración propia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

En caso de que falte o este mal alguna se debe corregirla, estas serán las escalas de graficación.

- 2) Configurar los puntos de medición para ello dar click en set up y luego en sensor points.

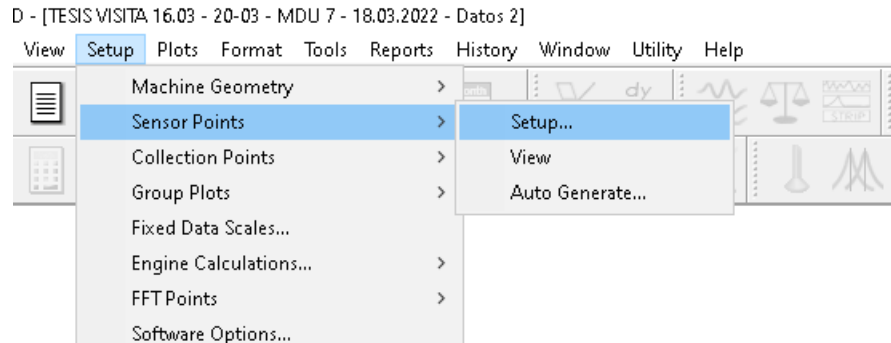


Figura 1. 15. Configuración de los puntos de medición paso 1.

Fuente: Elaboración propia.

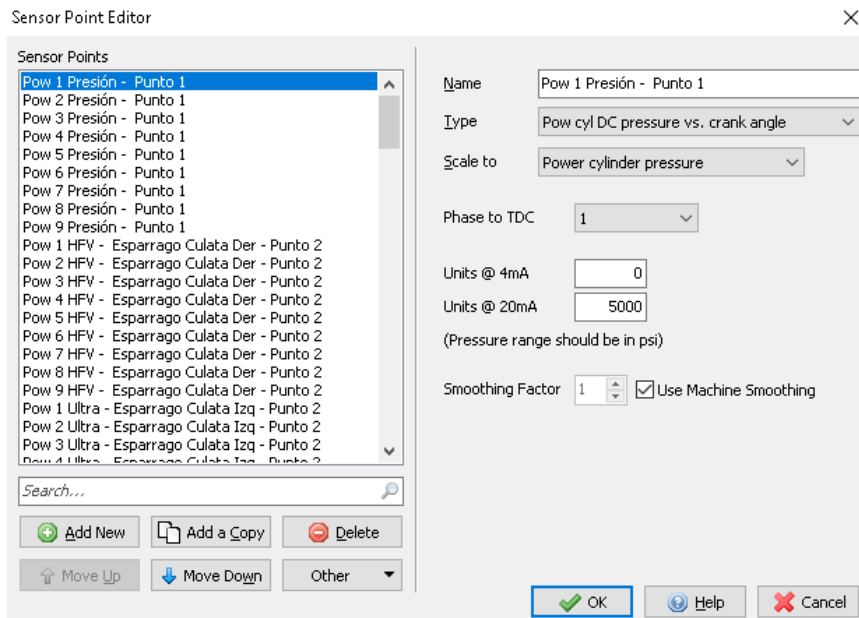


Figura 1. 16. Configuración de los puntos de medición paso 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Añadir todos los puntos que se verán en la ruta de mediciones.

- 3) Generar la ruta

- Colocar en orden de medición todos los puntos con su sensor.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

- Colocar los números de ciclos para cada punto en este caso se recomiendan 30, es decir, 30 datos para promediar la señal.

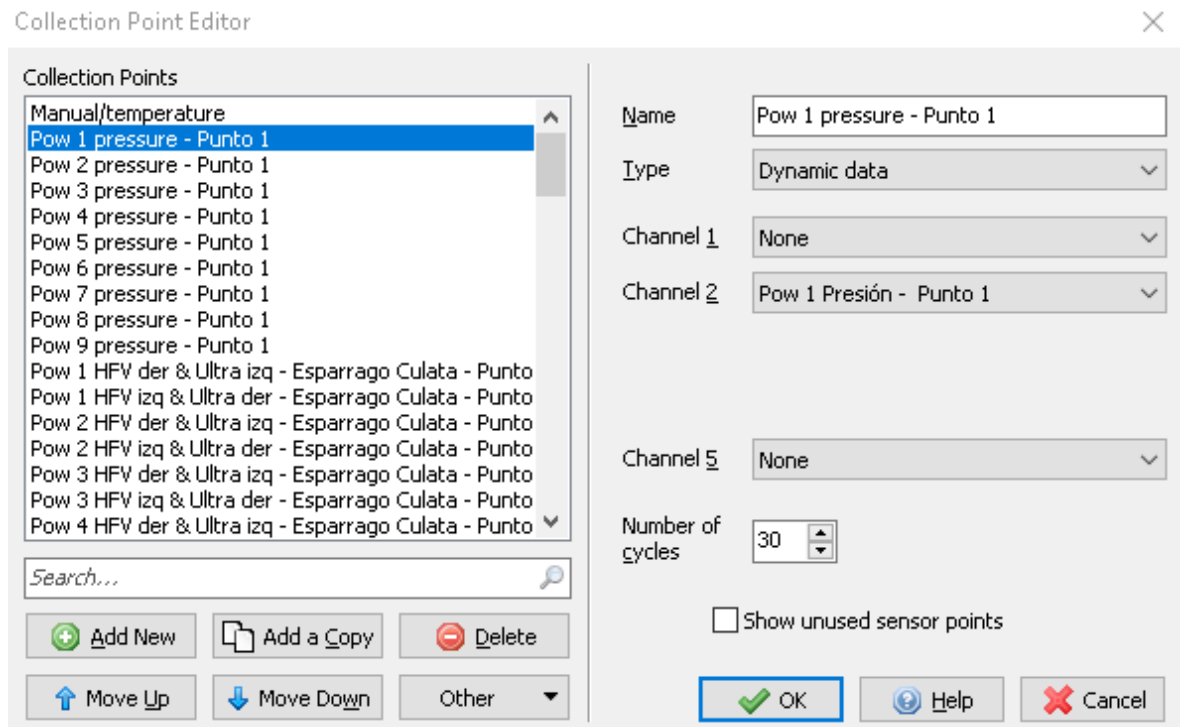


Figura 1. 17. Configuración de los puntos de colección de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4) Generar los grupos de imágenes.

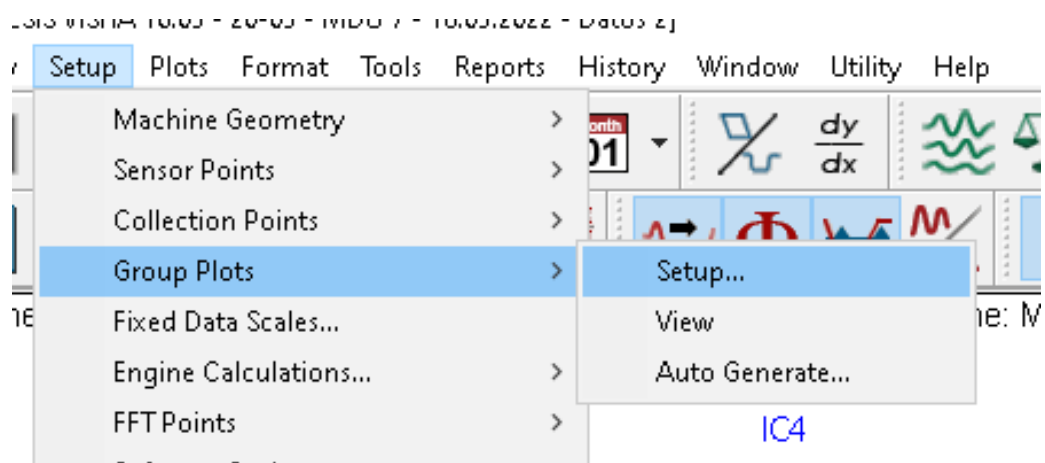


Figura 1. 18. Configuración de los grupos de imágenes paso 1.

Fuente: Elaboración propia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

- Añadir todas las mediciones que considere en una misma gráfica, por ejemplo, las presiones de los 9 cilindros para realizar el balanceo de presiones.

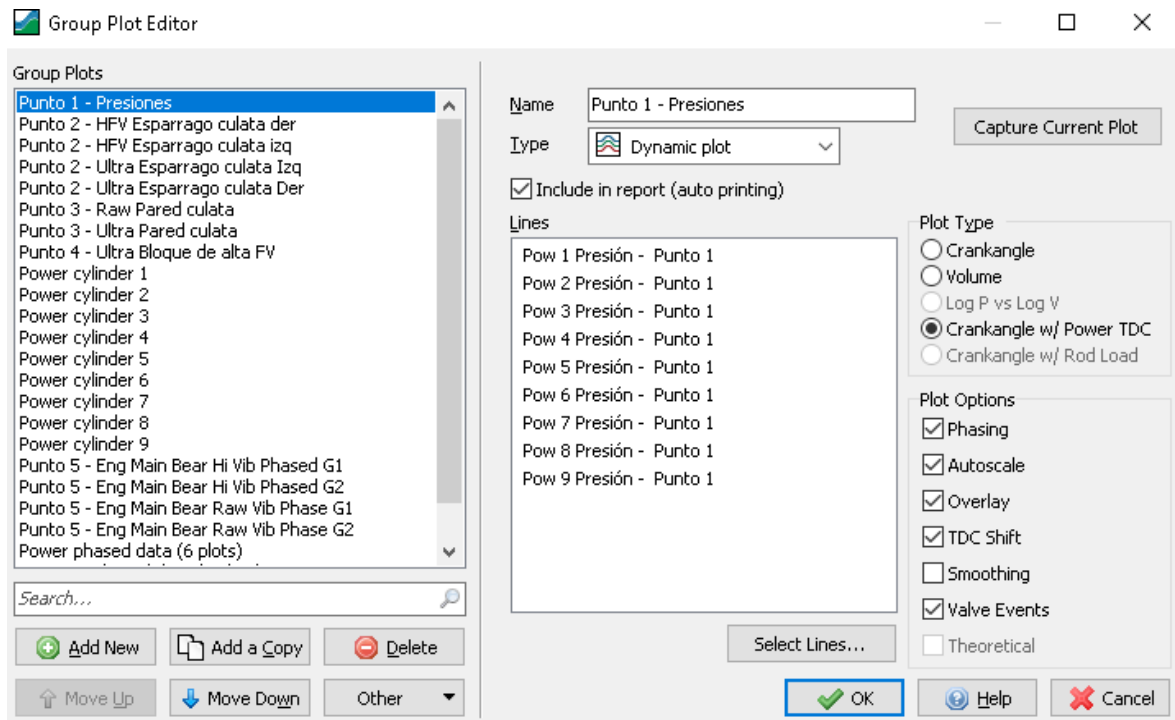


Figura 1. 19. Configuración de los grupos de imágenes paso 2.

Fuente: Elaboración propia.

2. PARTES Y ARMADO DEL EQUIPO WINDROCK

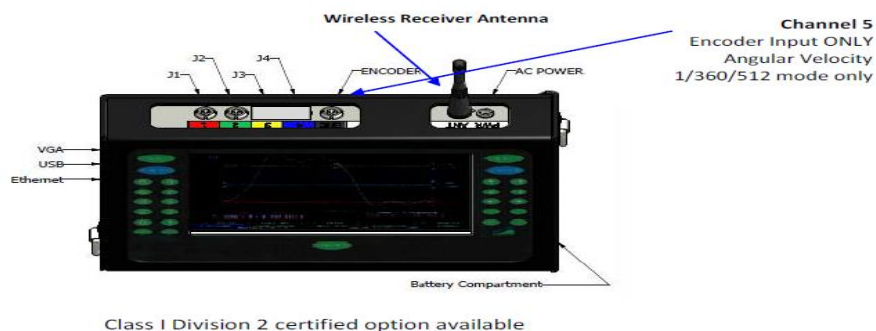


Figura 2. 1. Windrock

Fuente: (WIndrock, 2015)

El software cuenta con un equipo de 2 canales (rojo y amarillo) y un canal específico para el Encoder, tal como se observa en la figura 2.1.


MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

2.1. Sensores, transductores y otros elementos del equipo Windrock.

Tabla 2. 1. Elementos del equipo Windrock.

PARTE	FUNCIÓN
Consola	
	Mide señales de amperaje y voltaje que ingresan desde los sensores y transductores para convertirlos en datos útiles, valores y graficas representativas.
Transductor de presión	
	Obtiene la gráfica de la presión de los gases de escape. Se conecta el transductor y el cable (trasmisor) con puntas plomas.
Acelerómetro EX603C01	
	Es más pequeño que el sensor de velocidad. Su transmisor es el negro o blanco con punta roja. Permite obtener las gráficas: <ul style="list-style-type: none"> - Raw vibración (vibración pura) - Baja frecuencia. (5-10kHz) - Alta frecuencia. (6 -25 kHz)
Sensor de velocidad	
	Es más grande que el acelerómetro. Su transmisor es el negro o blanco con punta roja. Permite obtener la gráfica de velocidad de las vibraciones en el punto de medición.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

Transductor de ultrasonido	
	Permite transformar la medida de ultrasonido a una eléctrica. Su transmisor es el cable de puntas amarillas. Frecuencias (36 kHz – 44 kHz),
Enconder	
	Permite conectar al sensor óptico o al sensor magnético con el equipo windrock, transformando las señales mecánicas a eléctricas obtenidas por los sensores.
Sensor óptico	
	Permite detectar la cinta reflectante del volante del cigüeñal, sincronizando el movimiento rotatorio con el PMS.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Armado del equipo Windrock

Sensor óptico.

- 1) Colar una cinta reflectante en el volante a 5° de la marca de Punto muerto superior (PMS). La cinta debe ser horizontal y aproximadamente 1" de largo, la zona deberá estar seca y limpia.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32



Figura 2. 2. Cinta Reflectiva colocada en el volante del cigüeñal.
Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- 2) Montar el ojo óptico con la placa azul mandada a hacer.



Figura 2. 3. Sensor óptico.
Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- 3) Conectar el sensor óptico en el encoder pequeño en el puerto Photo y colocarlo en el volante del cigüeñal.



Figura 2. 4. Sensor óptico conectado.
Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

- 4) Configurar en el pin 4 por los 4 tiempos del motor Hyundai y colocar la opción P porque es por sensor óptico, H es para un sensor magnético.



Figura 2. 5. Encoder para sensor óptico y sensor magnético.
Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- 5) Realizar la conexión al equipo.

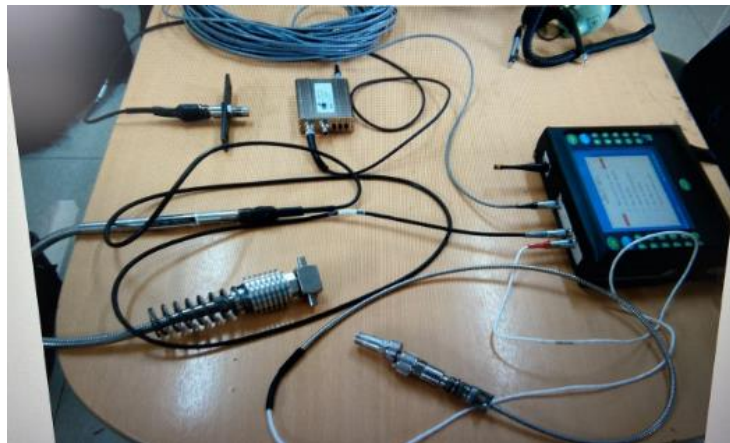


Figura 2. 6. Conexión del equipo.
Fuente: (CELEC EP SACHA, 2021-2022)

- Conectar cada sensor con su transmisor y conectarlo al puerto dependiendo de la medición que se vaya a hacer.

3. TOMAR MEDIDAS

3.1. Consideraciones para tomar las medidas.

Para la adquisición de los datos se requiere las siguientes consideraciones:

1. Identificar las características de funcionamiento y diseño de las máquinas, como; tipos de rodamientos, velocidades de giro, entorno, soportes, acoplamientos, etc.
2. Seleccionar los parámetros de medición en desplazamiento, velocidad y aceleración que permitan escoger el transductor.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

3. Posicionar y direccionar las medidas con los transductores en puntos más cercanos a los rodamientos, puntos de acoplamiento, equilibrio o de transmisión de fuerza vibratoria.
4. Ubicar la cinta reflectiva cercana al punto muerto superior del primer cilindro sobre el punto designado en el volante, este generara pulsos en referencia a la fase. De requerir reemplazo la cinta reemplazarla como el de la figura 3.1.



Figura 3. 1. Ubicación de la cinta reflectiva motor Hyundai

Fuente: Elaboración propia

5. Determinar los datos específicos para la interpretación de las medidas realizadas. Los espectros pueden ser valores de" magnitud total, espectro de frecuencias - amplitud, amplitud- tiempo.
6. Establecer en base a un histórico de datos el espectro de vibraciones en las que se opera en condiciones normales.
7. Tomar los datos antes y después de una reparación en los motores para identificar claramente el problema y la satisfacción en la corrección. Para lo que se requiere la marcación entre cada cilindro, como entre cada motor involucrado sean siempre los mismo, proceso en la figura 3.2.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

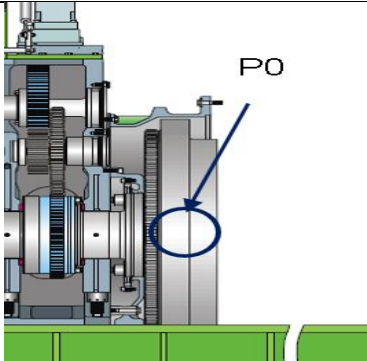
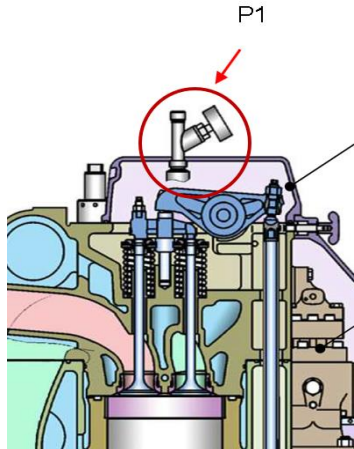


Figura 3. 2. Marcación en un punto de medida en la base del motor Hyundai

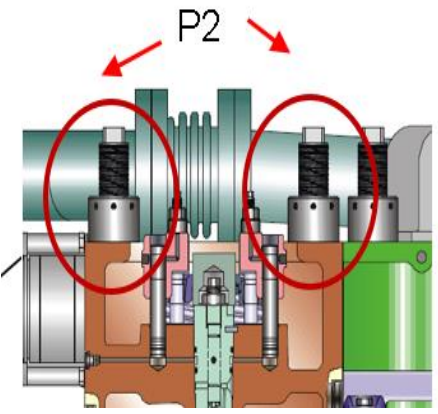
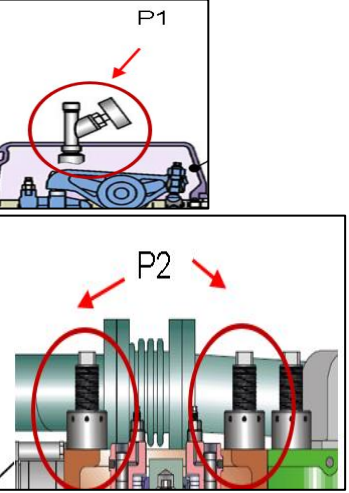
Fuente: Elaboración propia

8. Filtrar los datos de manera coherente de un motor y compararlo con otros motores con funcionamiento similar.
9. La vibración de la bancada se mide en los pernos de sujeción hacia la cimentación.
10. Las vibraciones de cilindros, válvulas, pin de bielas, y cojinetes se mide en los pernos altos que sostienen la culata, debido a que estos no se reflejan en la estructura del motor.
11. Las vibraciones de alta o baja permiten ver los golpes de los pines y los cojinetes de biela, que se pueden presentar a 360° a 55° en el punto más bajo de menor compresión.

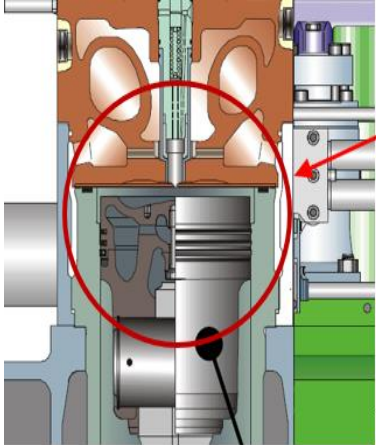
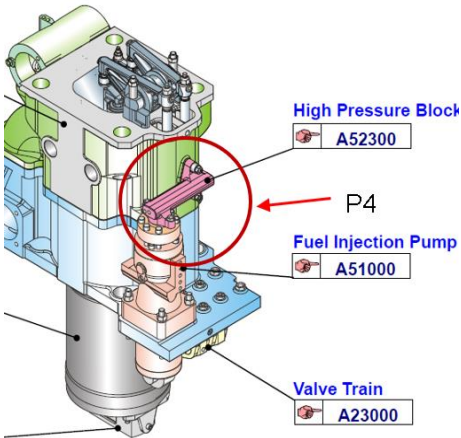
MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

Ruta de medición.				
Puntos de medición	Sensores	Gráfica	Ubicación	Objetivo de la medición
Punto_0	Sensor óptico		Volante del cigüeñal.	Medición de las RPM.
Punto_1	Sensor de presión		Válvula de salida de gases de escape.	<p>Balancear las presiones en los cilindros.</p> <p>Conocer algún defecto de presiones en los cilindros.</p>

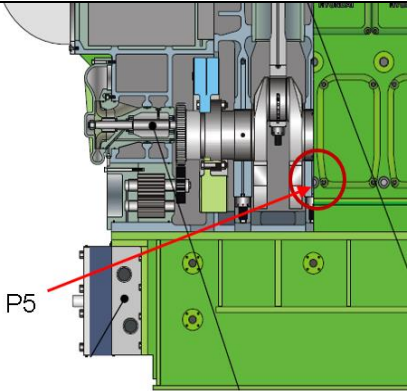
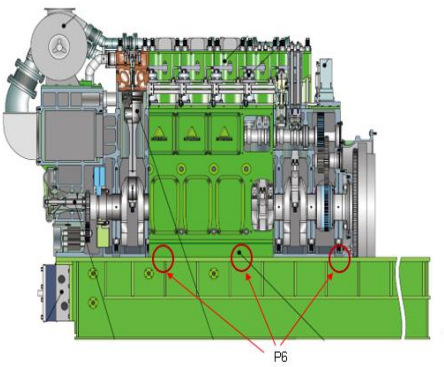
MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

<p>Punto_2</p>	<p>Acelerómetro y ultrasonido</p>		<p>Esparrago de la culata de admisión y escape.</p>	<p>Apertura y cierre de válvulas. Además, inyección de combustible.</p>
<p>Punto_1_y_2</p>	<p>Sensor de presión y acelerómetro o ultrasonido.</p>		<p>Válvula gases de escapes y esparrago de la culata.</p>	<p>Inyección de combustible con respecto al punto de presión máxima.</p>

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

<p>Punto_3</p>	<p>Acelerómetro y ultrasonido</p>		<p>Cuerpo de la culata.</p>	<p>Desgaste o fugas rines, estado de los pistones. Golpeteo de los pistones.</p>
<p>Punto_4</p>	<p>Ultrasonido</p>		<p>Bloque de alta presión.</p>	<p>Inyección de combustible.</p>

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

Punto_5	Acelerómetro.		Esparrago lateral de cojinetes.	Medición de desplazamiento mm/s y el espectro para detectar el estado de los cojinetes.
Punto_6	Acelerómetro.		Horizontal, vertical y axial ubicada atrás, en medio y al frente del lado derecho e izquierdo de la base del motor.	Medición de desplazamiento mm/s para conocer la vibración general de la máquina.
Observaciones:				
Realizado por:		Miguel Merino - Gabriel Romero		
Revisado por:		Ing. Edisón Zurita.		

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Presión

Usar guantes en especial la persona que vaya a manipular el transductor de presión ya que este se va a calentar.

- 1) Antes de medir procure poner a cero (encerar) los sensores en ambos canales.
- 2) Colocar el sensor de presión en el canal 2 o según la ruta.
- 3) Con la llave de la válvula de gases de escape, abrirla y esperar aproximadamente 45 segundos para que expulse cualquier partícula que pueda dañar al sensor.
- 4) Cerrar la válvula.
- 5) Abrir la válvula y tomar la medida con el equipo.

Las medidas tienen que ser generadas en la siguiente posición (0°) para todos los puntos tal como se observa en la figura 3.3.

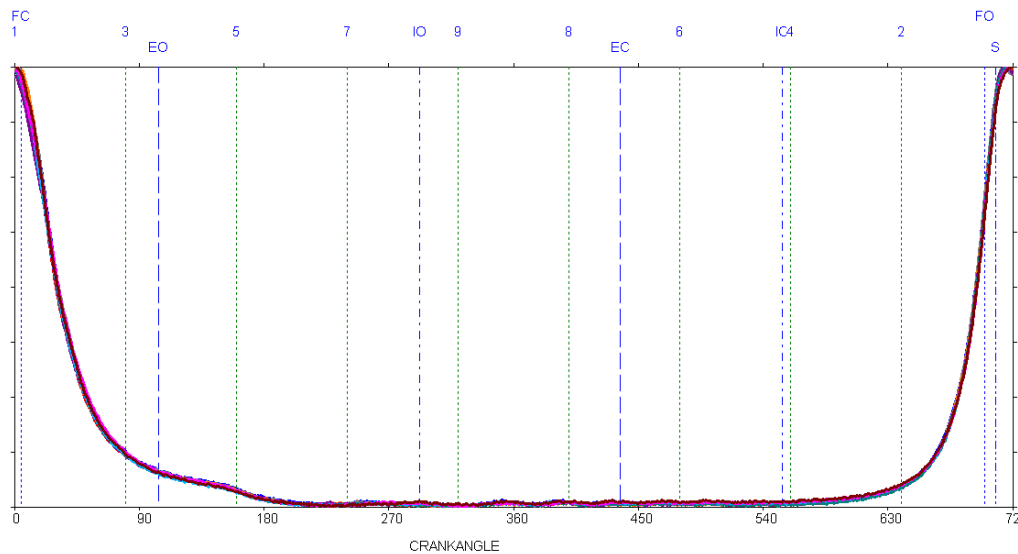


Figura 3. 3. MDU 7 – VISITA 6- Datos tomados con éxito.
Fuente: Elaboración propia.

En caso de que observe que una presión sale desplazada 360°, cambie en el encoder de A a B o de B a A tal como se observa en la figura 3.4.

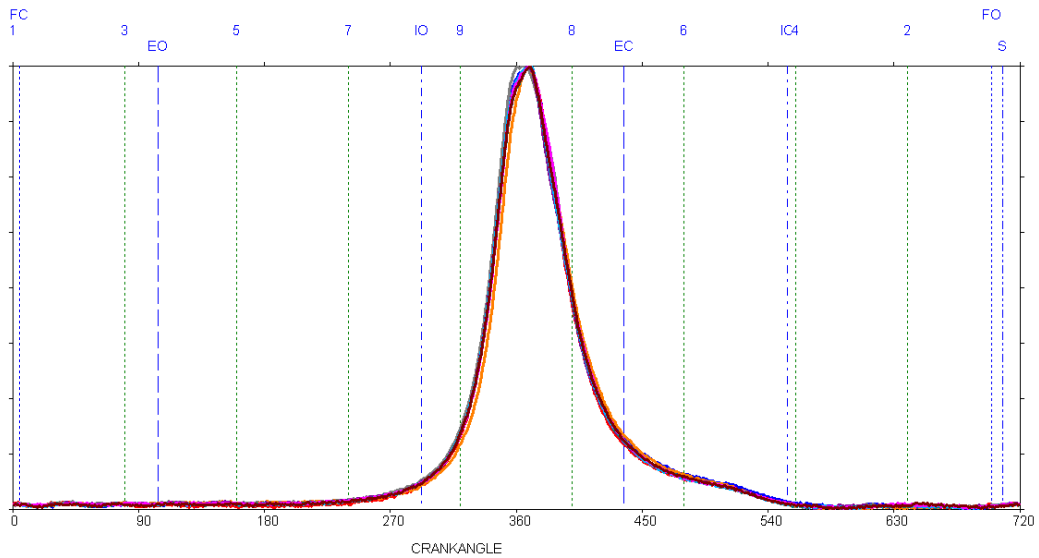


Figura 3. 4. MDU 12 prueba 2- Datos tomados erróneamente.
Fuente: Elaboración propia.

Las presiones no pueden estar desplazadas, de ser el caso estas estarían tomadas inadecuadamente, además si se observa que las presiones de todos los cilindros están aproximadamente en la mitad, es principalmente por una mala configuración en el software o por un mal encerado del sensor tal como se observa en la figura 3.5.

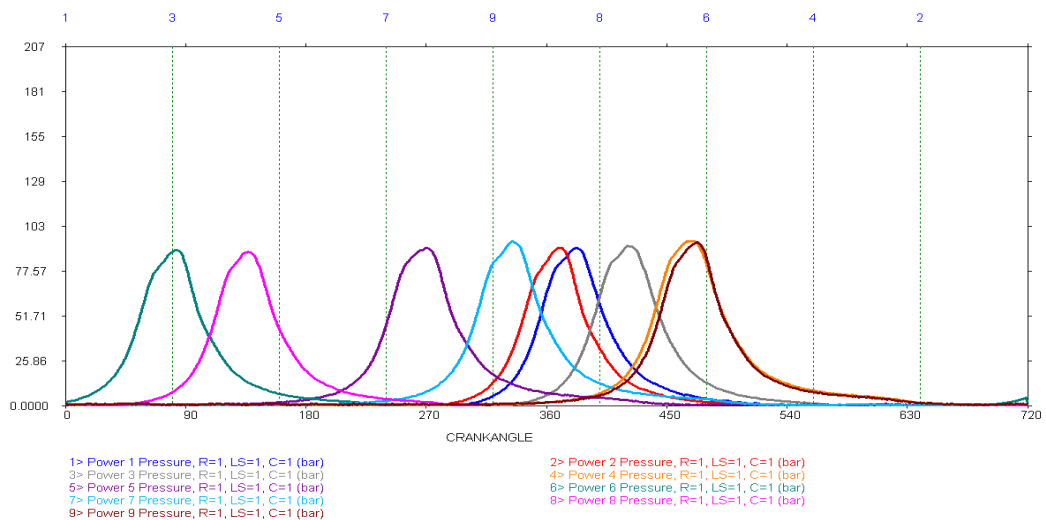


Figura 3. 5. MDU 12 prueba 3- Datos tomados erróneamente.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Vibraciones.

- Resulta importante conocer que el sensor de vibraciones es el más pequeño y no confundirlo con el sensor de velocidad.
- El canal de vibración es siempre el canal 1 por facilidad, en caso de que se haya cambiado la configuración revise el canal a la hora de medir.

1. Colocar el acelerómetro con el transmisor de puntas rojas.
2. Conectar el transmisor con el equipo windrock.
3. Colocar el acelerómetro en el punto de medición suavemente.
4. Tomar la medida con el equipo windrock.
5. Si observa desfasada la señal 360° cambie en el encoder de A a B o de B a A.

A continuación, se presentan unos datos obtenidos con éxito en la figura 3.6.

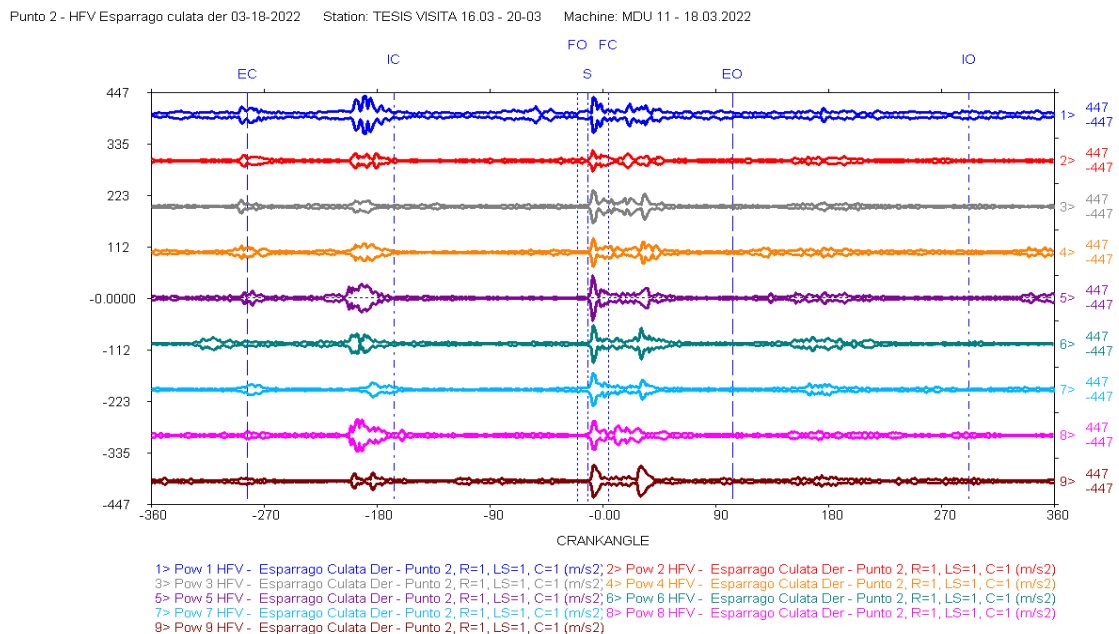


Figura 3. 6. MDU 11- 18.03.2022. Datos obtenidos con éxito.
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Ultrasonido.

- Procurar que el sensor no tenga ningún contacto lateral mientras se realiza la medición.
- Colocar firmemente el sensor, lo más perpendicular a la superficie de medición.
- Si observa desfasada la señal 360° cambie en el encoder de A a B o de B a A.

MANUAL INSTRUCTIVO PARA TOMAR MEDICIONES CON EL EQUIPO WINDROCK PARA MOTOR HYUNDAI 9H21/32

- Tener una ganancia de medición adecuada, si observa que la ganancia es inadecuada, retire el sensor, cambie la ganancia con la perilla que se observa en la figura 3.7 y vuelva a medir.

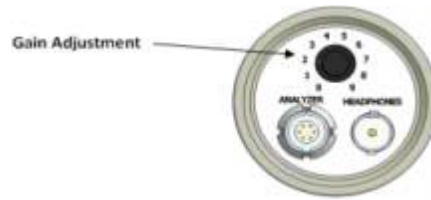


Figura 3. 7. Esquema del sensor de ultrasonido.
Fuente: (WIndrock, 2015)

En la figura 3.8 se observa que la ganancia es inadecuada pues existen puntos que no se han detectado y se han recortado por los límites de medición.

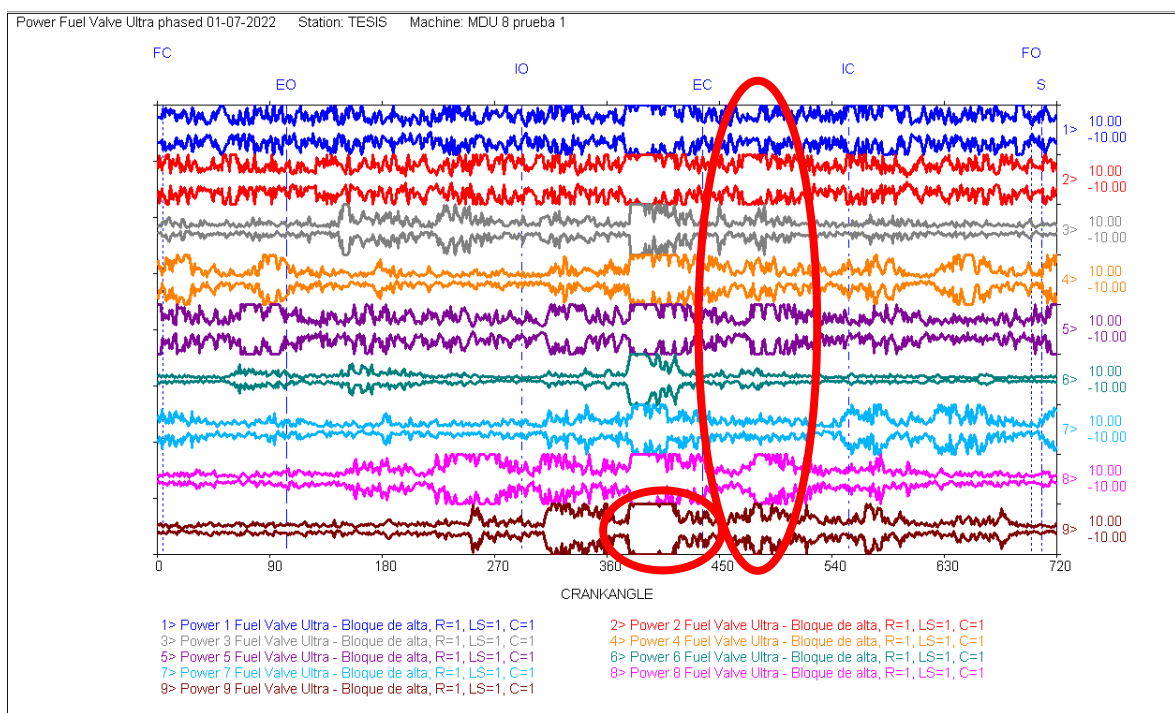


Figura 3. 8. Medición en el punto 4 con ganancia inadecuada y desplazada 360°. MDU 8 prueba 1. 01-07-2022

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.9 se observa el mismo punto de medición, pero con una ganancia adecuada y seteada en 0° (punto adecuado de inyección del motor Diesel).

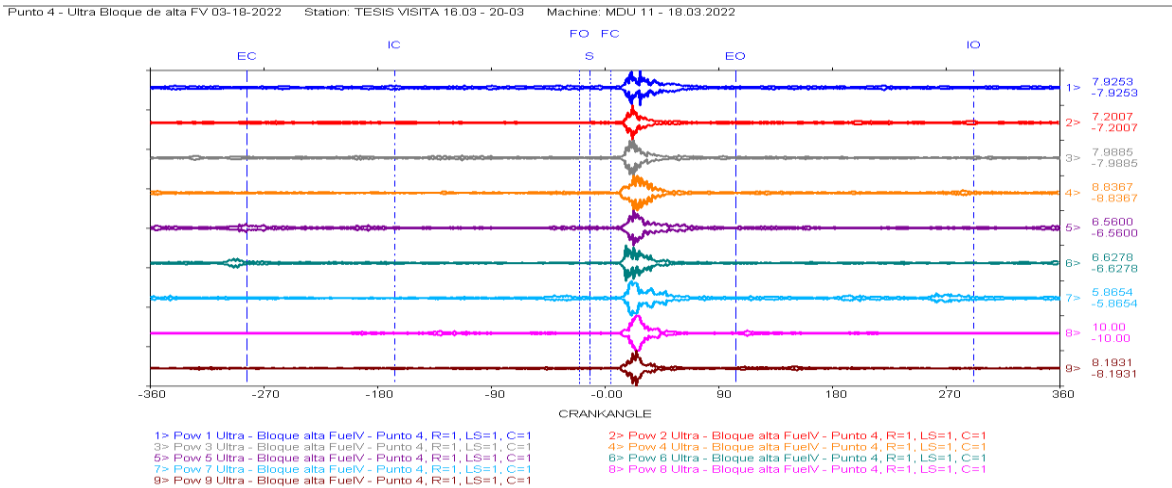


Figura 3. 9. Medición con ganancia inadecuada en el punto 4. MDU 8 prueba 1. 01-07-2022.
Fuente: Elaboración propia.

Nota: si no existe o no refleja señal en cualquiera de los casos revise las conexiones o si el canal es el adecuado.

3.5. Diagnóstico FFT

Para las señales FFT se tienen que tomar en cuenta de manera resumida los siguientes aspectos que se detallan en la figura 3.10.

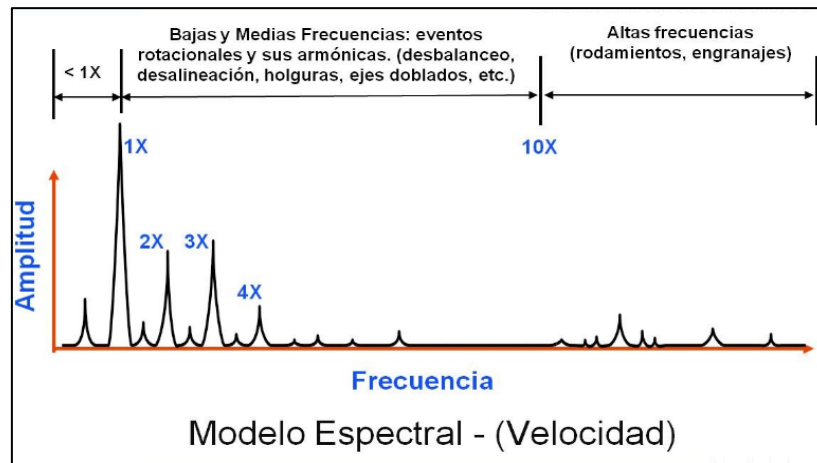


Figura 3. 10. Medición con ganancia inadecuada en el punto 4. MDU 8 prueba 1. 01-07-2022.

Fuente: (El maquinante, 2013)

- Frecuencias entre 1X, 2X, 3X tal como se observa en la figura 3.10 hacen referencias a desalineamientos, holguras y ejes doblados. Hay que tomar en consideración que la energía en estas frecuencias es destructiva por lo que puede

llevar a una parada de la máquina y la corrección de la falla de la misma. La mayoría de los casos de se encuentran alrededor de 1X. Fuente: (Casadiego, 2021)

- Frecuencias entre 4X a 10X son por lo general ocasionadas por resonancias y son comunes en la máquina. Fuente: (Casadiego, 2021)
- Frecuencias Altas superiores a 10X hacen referencia a los elementos rotativos como cojinetes, rodamientos entre otros, dependiendo de su magnitud se consideran como funcionamiento normal o no. Fuente: (Casadiego, 2021)

4. DIAGNÓSTICO DE SEÑALES DE VIBRACIONES – ULTRASONIDO.

Para el diagnóstico de señales de vibración se deberá considerar que cada componente en su constitución y diseño tiene su propia frecuencia característica, y es necesario tener frecuencias de diagnóstico para tener una referencia. Además, dos máquinas aparentemente iguales no tendrán el mismo desempeño por cuanto con solo cambiar la forma de sujeción la amplitud de una fuerza puede ser la misma mas no la amplitud de la vibración. (Marin, 2007)

Entre las consideraciones para la detección y diagnóstico de máquinas tenemos;

- i. Se pueden obtener espectros iguales con registros diferentes, las amplitudes de un mismo espectro pueden ser aceptables o no, una sola frecuencia puede contener muchos problemas de la maquina incluso de las que se acoplan a esta, y un análisis más detallado requiere de más de una frecuencia. (Marin, 2007)
- ii. La detección requiere de un espectro de referencia desde las cuales se miden el resto de las mediciones. El diagnóstico preciso requiere de una identificación del problema con un análisis adecuado de las frecuencias en las que las amplitudes no deban ser sobreestimadas.
- iii. En los elementos giratorios de una máquina se tiene fuerzas con dirección variable y magnitud constante como los desbalances. Mientras que las fuerzas de dirección constante y magnitud variable se tienen en las fuerzas de transmisión. Los mecanismos sincronizados y repetidos dificultan las frecuencias de detección dado que pueden tener fuentes asociadas. (Cardenas, 2017)
- iv. El trabajo al que está sometido el motor influye en el diagnóstico, así como la velocidad de rotación de este indica el nivel de vibración. Se requiere de un sistema de detección que tenga la preselección del tiempo de la señal vibratoria así se puede tener más información. (Cardenas, 2017)

- v. Los valores de vibración obtenidos también tienen relación con las holguras térmicas donde se produce el impacto en los mecanismos de distribución, cada cambio en la holgura variara también la vibración.
- vi. El uso de frecuencias naturales de oscilación de bloque para el diagnóstico permite conocer el estado de los puntos de apoyo-cigüeñal y del par cilindro – pistón. Altos picos en los niveles de vibración en las frecuencias de bloque reflejan desgaste en los pares cinemáticos sometidos a cargas de impacto mayores. (Cardenas, 2017)
- vii. La velocidad y la aceleración suelen tener valores aparentes pero que tienen objetivos distintos, pues la velocidad mide la severidad de vibración mientras la aceleración identifica la fuerza que lo provoca.
- viii. Los valores obtenidos con tendencias ascendente o constante reflejan un comportamiento adecuado. Mientras que, las tendencias inesperadas en ascenso indican un problema latente. Al comparar los valores de amplitud – velocidad que cambian de manera inesperada deben ser comparados con la energía de impulsos para determinar la gravedad de un problema. (Cardenas, 2017)
- ix. Nunca los defectos vienen solos pues se pueden superponerse. Entre los defectos comunes se puede encontrar altas vibraciones axiales que superan a las obtenidas en vibración radial lo que refleja ejes torcidos o desalineados. La desalineación puede ser paralela, angular o combinada.
- x. Para el diagnóstico de defectos en los rodamientos, pistas de rodamiento, jaulas de retención se transmiten sus fuerzas a la estructura que la rodea. Por tanto, cualquier fallo en el rodamiento se detecta directamente en él y no se transmite al resto de la máquina. (Cardenas, 2017)

5. ERRORES COMUNES EN LA TOMA DE DATOS.

En la búsqueda de eventos que sean diferentes en tiempo de aparición, en volumen de impacto, en falta o adición de señales como su intermitencia se requiere evitar errores tanto del instrumento medidor de vibraciones, del usuario como de la posición de la ruta de medición, así:

Diafonía (crosstalk)

Se observa en la figura 5.1 problemas de diafonía donde se presentan señales de otros cilindros en otros.

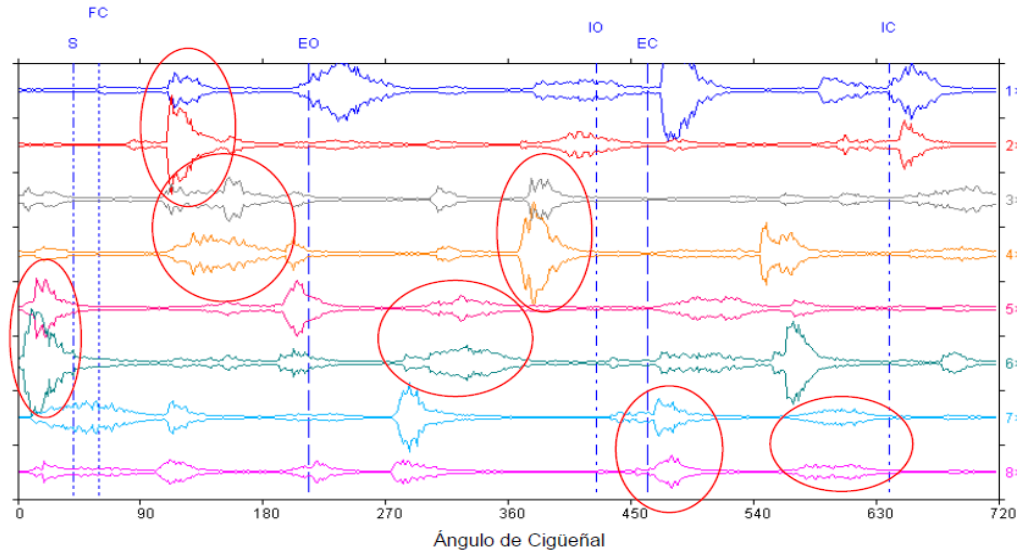


Figura 5. 1. Diagrama con muestras de diafonía marcada

Fuente: (WIndrock, 2015)

Problemas de intermitencia o falta de señales

Se observa en la figura 5.2 problemas de intermitencia donde no se presentan señales de ultrasonido en algunos cilindros.

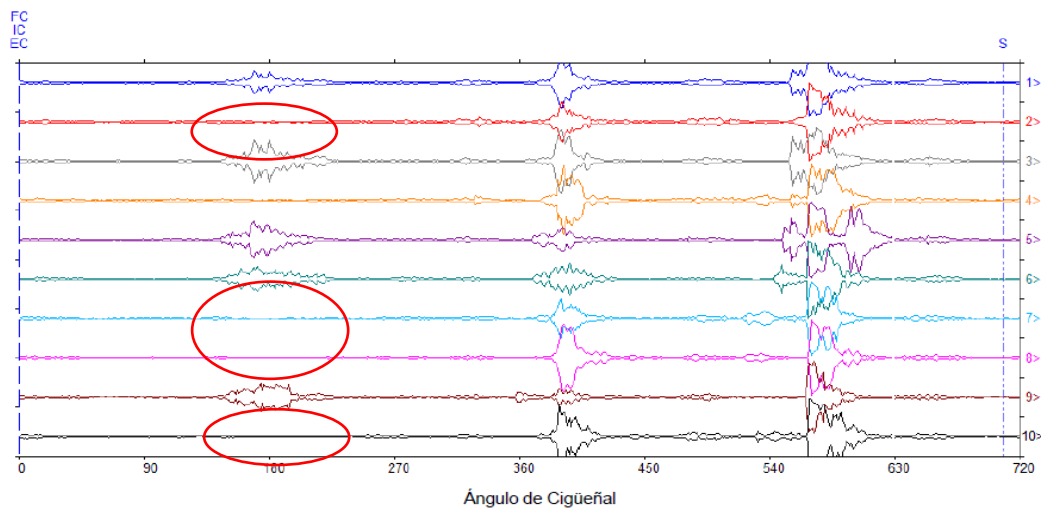


Figura 5. 2. Problema de intermitencia en las señales de ultrasonido

Fuente: (WIndrock, 2015)

Mala calibración o ajuste de señales

Se observa en la figura 5.3 y 5.4 ajustes y mala calibración de señales.

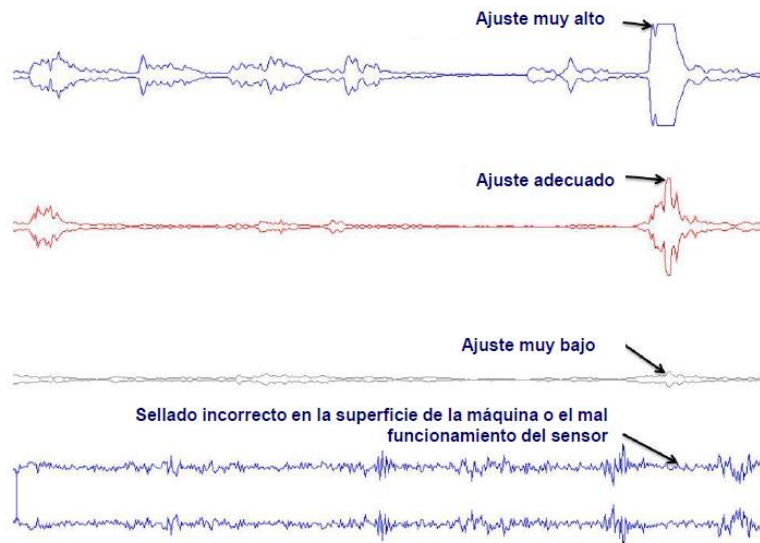


Figura 5. 3. Ajustes de calibración del sensor de ultrasonido

Fuente: (WINDROCK INC, 2015)

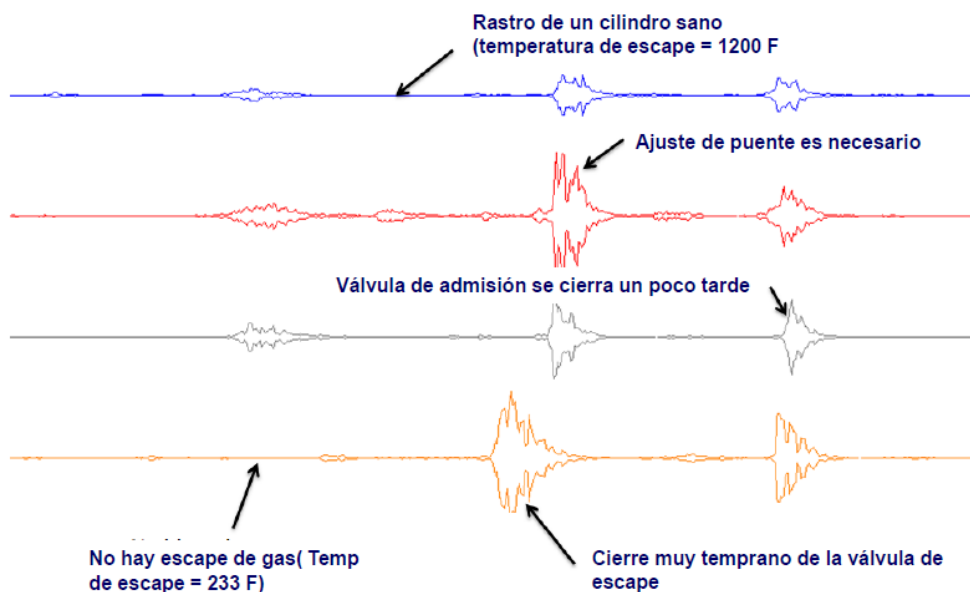
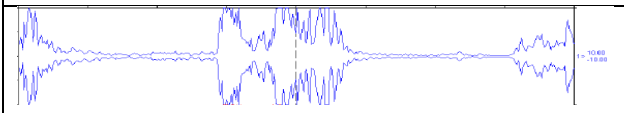
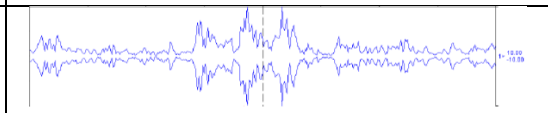
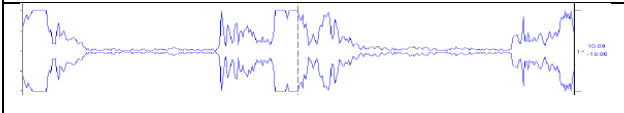
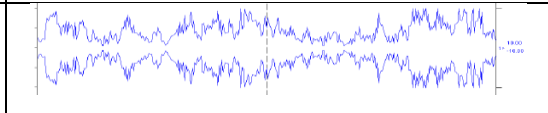
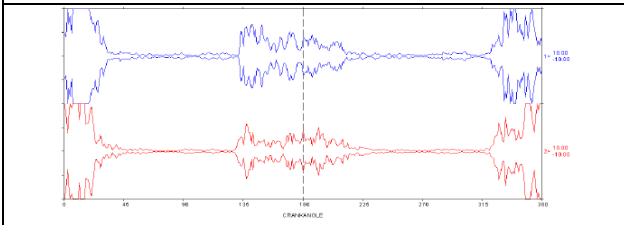
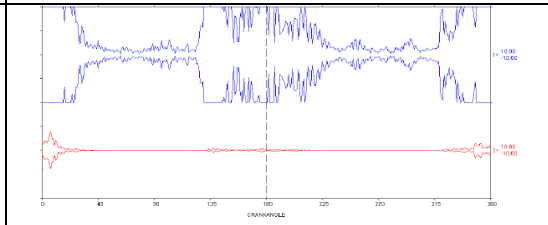
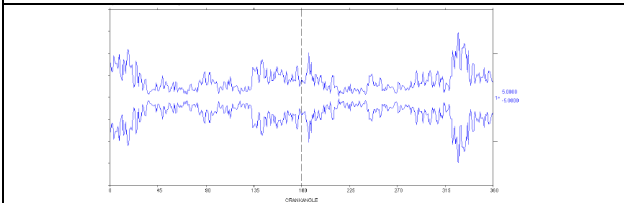
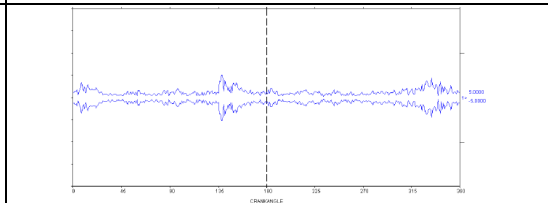
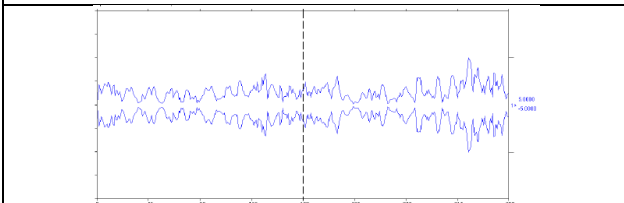
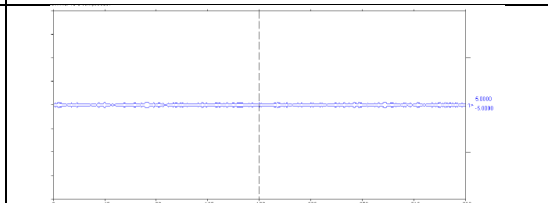


Figura 5. 4. Indicaciones de ajuste o falla potenciales en válvulas.

Fuente: (WINDROCK INC, 2015)

Se indica además en la tabla 5.1 buenas y malas indicaciones en las señales de vibración y ultrasonido.


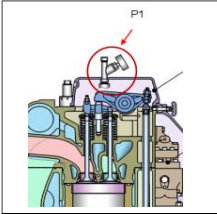
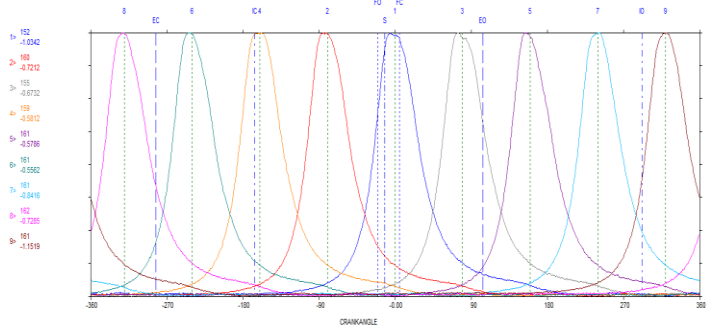
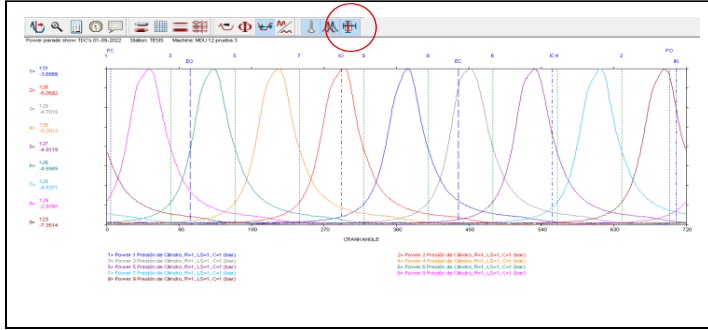
Tabla 5. 1. Buenas y malas indicaciones en las señales de vibración y ultrasonido.


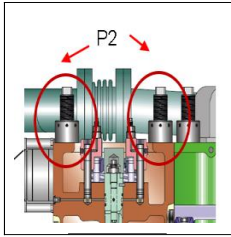
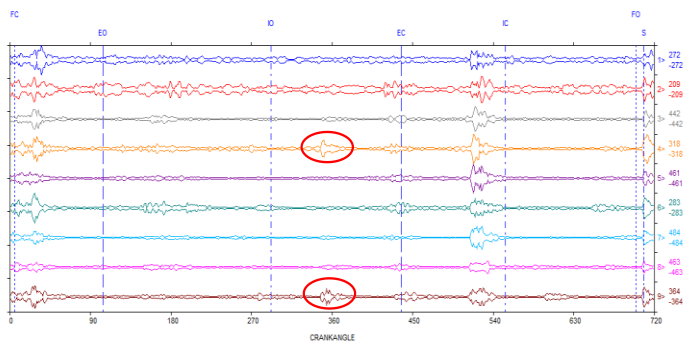
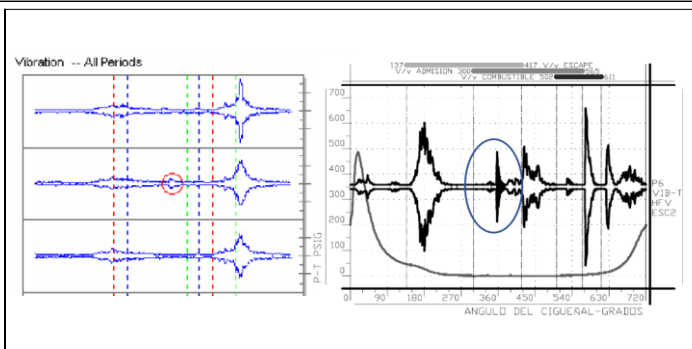
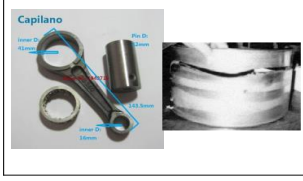
Buenas indicaciones	Malas indicaciones
 <p data-bbox="427 577 651 600">Correcta colocación del sensor</p>	 <p data-bbox="1027 584 1225 607">Mala colocación del sensor</p>
 <p data-bbox="432 723 646 745">Adecuado contacto superficial</p>	 <p data-bbox="1034 723 1219 745">Golpe metálico del sensor</p>
 <p data-bbox="427 983 651 1005">Ajuste inadecuado del volumen</p>	 <p data-bbox="970 983 1289 1005">Ajuste corregido del volumen del ultrasonido</p>
 <p data-bbox="368 1229 710 1252">Adecuado contacto superficial del acelerómetro</p>	 <p data-bbox="959 1229 1300 1252">Deficiente contacto superficial del acelerómetro</p>
 <p data-bbox="373 1494 705 1516">Sensor adecuado seleccionado (acelerómetro)</p>	 <p data-bbox="1007 1494 1249 1516">Sensor inadecuado (velocímetro)</p>


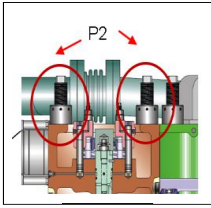
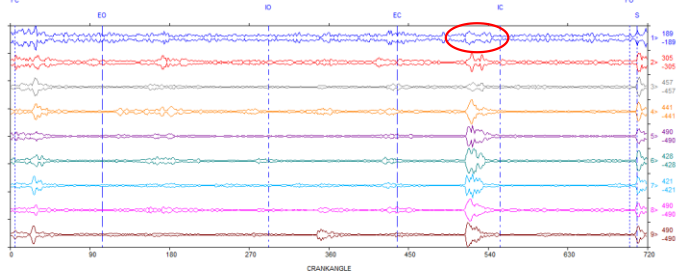
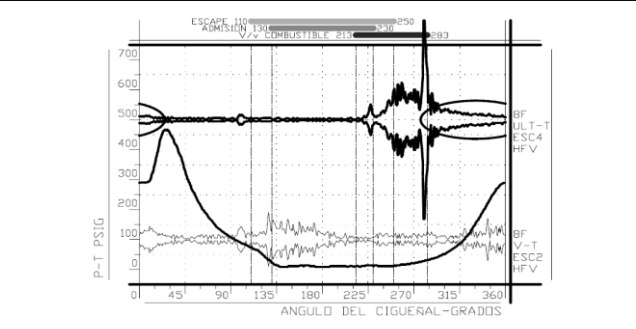
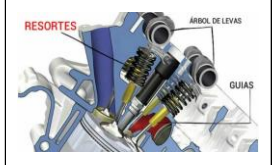
Fuente: (WINDROCK 6320, 2012)


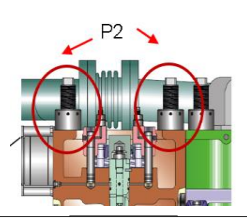
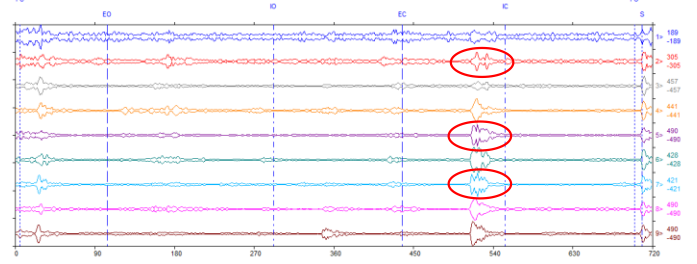

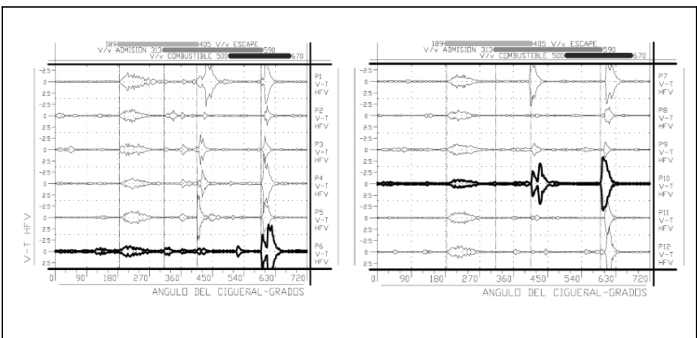
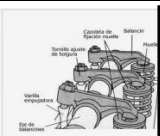
ANEXO 5. REPORTES DE FALLAS


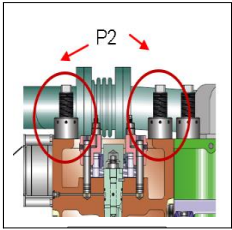
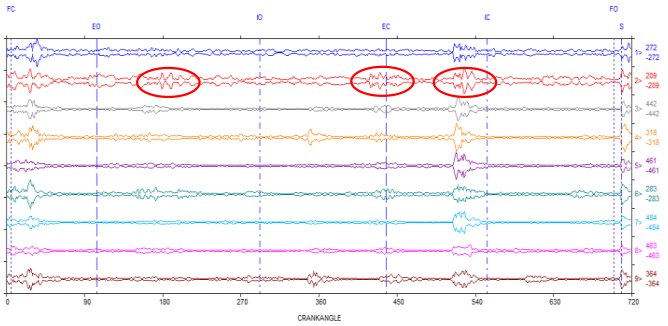
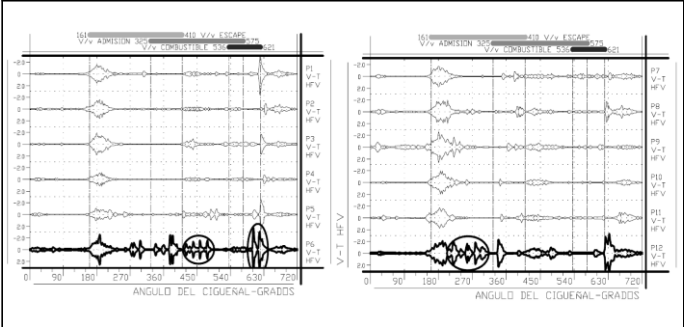

Reporte de fallas en MDU 7 previo mantenimiento de 8000h.


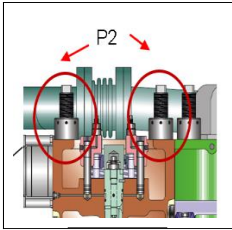
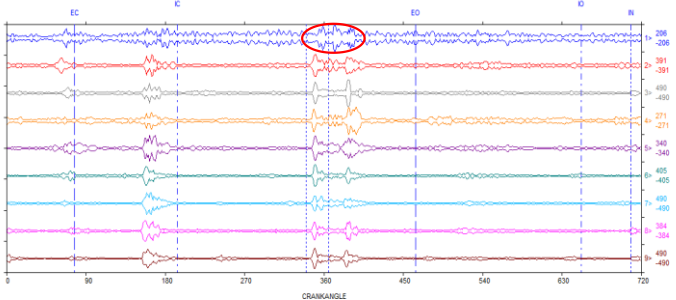
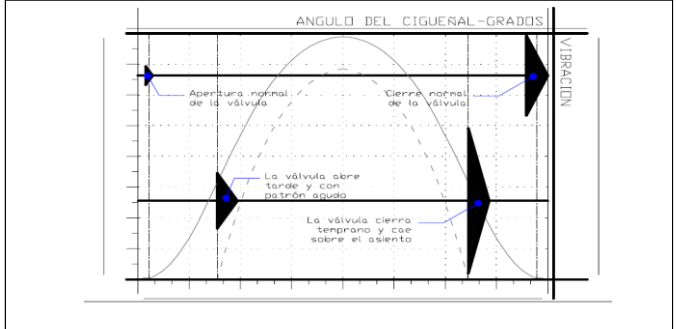

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA								
FORMATO:	WINDROCK – P01	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK								
Página 1/9										
UNIDAD	MDU 7	Medición	Premitto 8000h	Horas de operación						
Punto de medición	Punto_1	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	Válvula_de_salida_de_gases_de_escapes.	Balanceo_por_presiones								
										
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE PRESION										
# Cilindro/s analizado/s	1 al 9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Presión promedio bar	159.11	152	160	155	159	161	161	161	162	161
Temperatura promedio C	392.22	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		370	390	385	390	400	400	410	390	395
Análisis / Categoría de base de datos		Balanceo_correcto								
<p>Se observa que en base a la herramienta de diagrama de cajas y bigotes el motor se encuentra estadísticamente balanceado. Es decir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -No existe un sobre esfuerzo mecánico o térmico sobre un cilindro. -Todos los cilindros producen y generan un mismo trabajo. 										
Análisis adicional										
<p>Se observa que las presiones con respecto al promedio no caen o exceden los 5 bar, por lo que se podría decir que esta estadísticamente balanceado. Se observa que la diferencia de temperatura con respecto al promedio no cae o excede los 50°C.</p>										
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial						
No existe ninguna falla potencial.		Todo correcto.		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: black; color: white; padding: 10px; text-align: center;">NO EXISTE FALLA POTENCIAL</div> <div style="background-color: black; color: white; padding: 10px; text-align: center;">NO EXISTE FALLA POTENCIAL</div> </div>						
Código Base	P1_1									
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando no existe una falla potencial inminente.								
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edíson Zurita						
Cargo:	Tesisista	Cargo:	Tesisista	Cargo:	Supervisor Mecánico.					
Fecha:	8/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:						
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:						


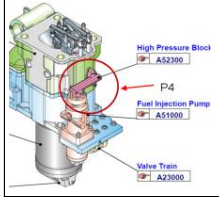
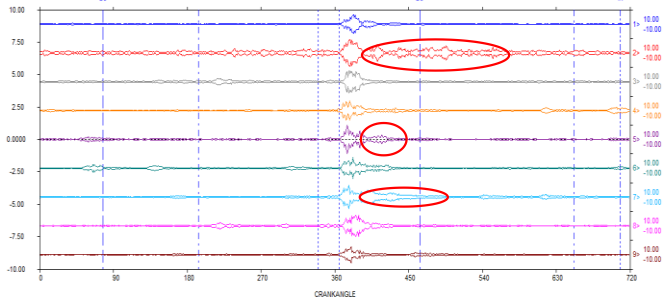
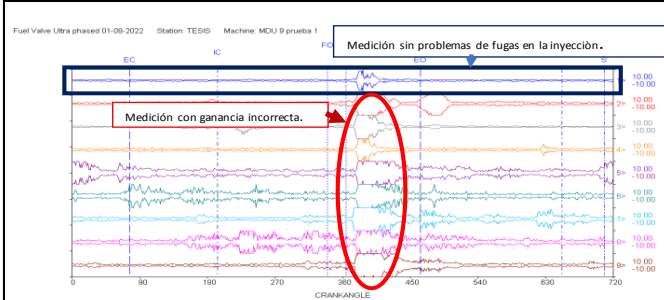

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 2/9					
UNIDAD	MDU 7	Medición	Premto 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_la_biela			
					
	TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_impactos_en_el_pin_o_bulón_de_biela			
<p>La presencia de impactos en la reversión de la carga, se considera desgaste en el pin, bulón de biela o su cojinete. Entre los 360 grados (punto de menor compresión)</p>					
Análisis adicional					
<p>La gráfica medida es similar a la falla teórica, se aprecia que existe un pequeño impacto en el punto muerto superior en los cilindros 4 y 9 en baja presión, por lo que puede existir algún daño o desgaste en el pin, bulón de biela o cojinete.</p>					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
Golpe de pin, bulón o biela o su cojinete.		<ol style="list-style-type: none"> Revisar el estado de los elementos: biela, pin, bulón y cojinetes. Revisar las gráficas del estado de cojinetes del cigüeñal. 			
Código Base	P2_11				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	8/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	

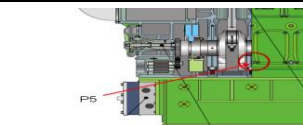
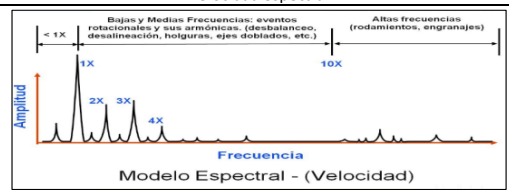
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:		WINDROCK - P02			
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 3/9					
UNIDAD	MDU 7	Medición	Prentmo 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_válvulas			
					
TIPO DE GRÁFICA		SEÑAL DE VIBRACION			
Cilindro/s analizado/s	1 al 9	<p>1- Pico 1 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>2- Pico 2 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>3- Pico 3 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>4- Pico 4 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>5- Pico 5 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>6- Pico 6 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>7- Pico 7 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>8- Pico 8 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p> <p>9- Pico 9 HFV - Esparrago Culata Der - Punto 2, R=1, LS=1, C=1 (INQ2)</p>			
Análisis / Categoría de base de datos		Impactos_y_fuga_al_cierre_de_las_valvulas			
Se observa un cierre inadecuado producto de desgaste en la guía de las válvulas o asiento inapropiado en altas presiones, resortes defectuosos que retardan el cierre.					
Análisis adicional		N/A			
Se observa que existe fuga luego de un cierre inadecuado de la válvula de admisión del cilindro 1 y una presenta una excesiva fricción.		N/A			
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
Daños en resorte o guía de las válvulas o los asientos de las válvulas		<ol style="list-style-type: none"> Realizar una segunda medición. Revisar el estado de las válvulas. Realizar el cambio de las piezas requeridas. 			
Código Base	P2_13	Observaciones adicionales:			
		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edson Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	0:00	Hora:	


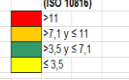
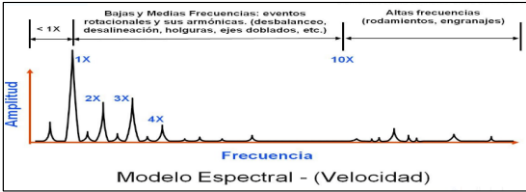
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 4/9					
9	MDU 7	Medición	Premoto 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_el_balancín_o_levas			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_desgaste_del_balancín			
Se observa presencia de vibraciones con patrón de desgaste del balancín, lo que genera una excesiva holgura por lo que al abrir o cerrar válvulas se presentan múltiples impactos.					
Análisis adicional					
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se observa un posible desgaste de los balancines de los cilindros 2,5 y 7 lo que genera que la válvula de admisión presente un doble golpe en el cierre.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
El balancín presenta un desgaste generando impactos en las válvulas.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del balancín. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 		 <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">Sin registro</div>	
Código Base	P2_7				
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando pero se requiere una inspección en campo del balancín del cilindro 2,5 Y 7			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 5/9					
9	MDU 7	Medición	Prentmo 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_el_balancín_o_levas			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_desgaste_en_la_leva			
Diagrama de vibración mostrando un desgaste en la leva (picos de vibración al cierre o apertura)					
Análisis adicional					
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se observa un posible desgaste de la leva en el cilindro 2 lo que genera que la válvula de admisión y escape presente multiples impactos.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
La leva presenta un desgaste o falla.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado de la leva. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 			
Código Base	P2_9				
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando pero se requiere una inspección en campo de la leva del cilindro 2.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	8/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


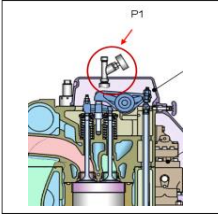
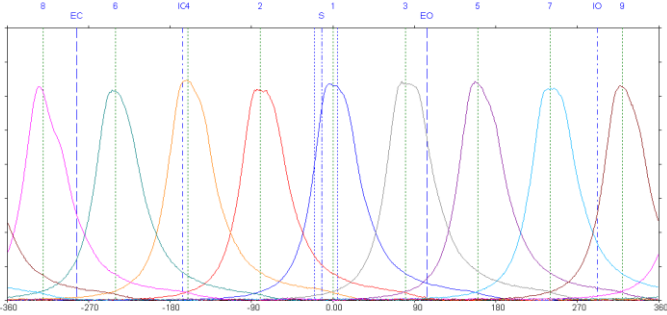
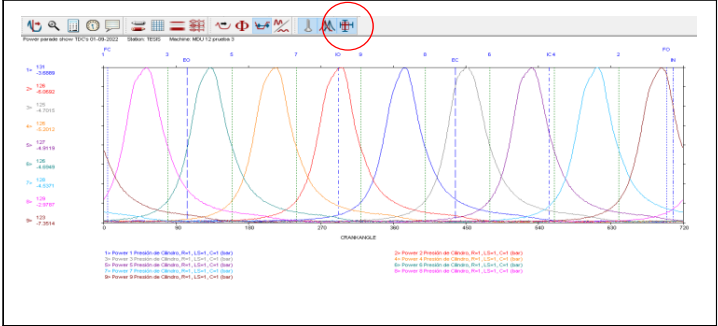

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 6/9					
9	MDU 7	Medición	Prentto 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Cierre_valvulas_e_inyector			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Anomalias_apertura_y_cierre_en_la_válvula_de_inyección			
Se observa que se abre tarde o se cierra temprano la válvula de inyección, generando una caída de presión.					
Análisis adicional					
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se observa que existe una apertura tardía y un cierre temprano de la válvula de inyección en el cilindro 1.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
Válvula de inyección sucia o con obstrucción. Tiempo de inyección inadecuado.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del inyector. 3. Cambio de piezas necesarias 			
Código Base	P2_2				
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando pero se requiere una inspección en campo de la válvula de inyección del cilindro 1.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	8/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	0:00	Hora:	


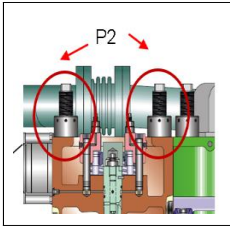
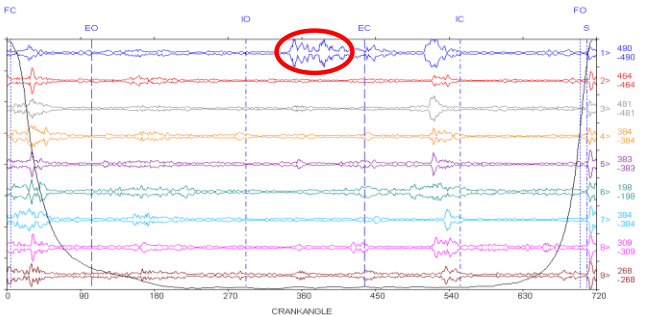
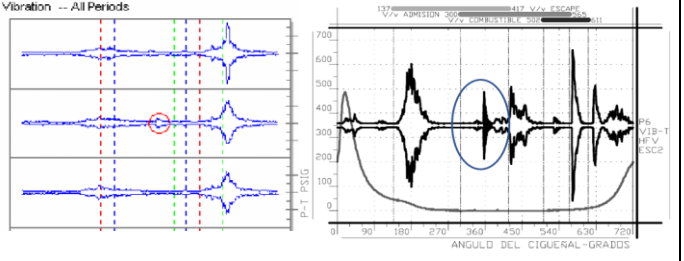
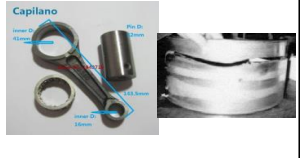
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 7/9					
UNIDAD	MDU 7	Medición	Premento 8000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_4	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Bloque_de_alta_presión_de_inyección.	Inyección_de_combustible			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE ULTRASONIDO					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Inyección_de_combustible_con_patrones_de_fugas			
<p>Existe una presencia de un patrón de fugas que puede ser debido a un cierre inadecuado del inyector. Puede deberse también a un mal acople, asentamiento del sensor de ultrasonido o por una mala ganancia en la toma de datos.</p>					
Análisis adicional					
<p>La gráfica muestra fugas luego de la inyección de combustible, presumiblemente se deba al control de tiempo o flujo en los cilindros 2,5 y 7.</p>					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Cierre inadecuado de el tiempo de los inyectores		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Chequeo del estado de los inyectores de combustible 			
Código Base	P4_2				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección del estado de los inyectores en los cilindros por posibles fugas luego de la inyección.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	8/3/2022	Fecha:	9/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


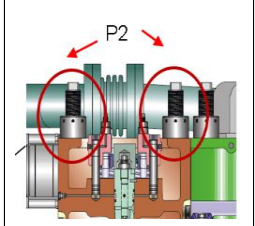
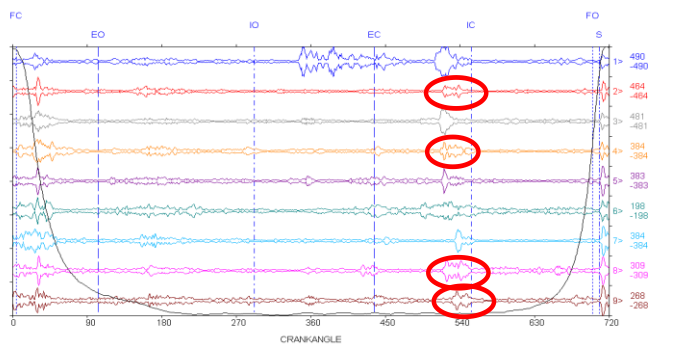
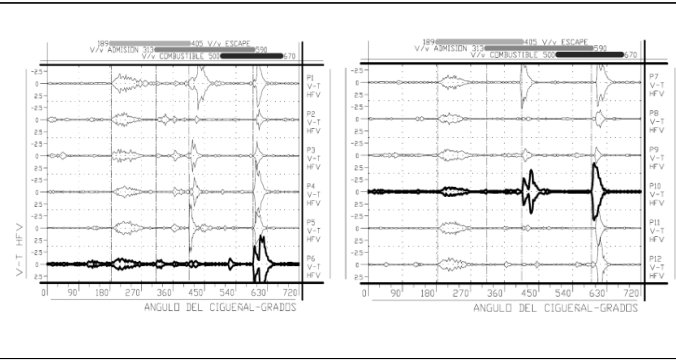
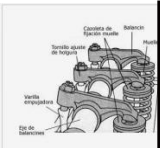
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								CELEC EP Corporación Eléctrica del Ecuador UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA																					
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA																													
FORMATO:		WINDROCK - P03		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK																											
Página 8/9																															
UNIDAD	MDU 7	Medición			Premto 8000h			Horas de operación																							
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA			FFT - COJINETES - Máquina CLASE 3 Norma 2273																										
Ubicación:	Esparrago lateral cojinetes				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Evaluación de severidad. (ISO 2273)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D</td> <td>>11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Máquina puede sufrir daño.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>>4.5 y ≤ 11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación en periodos limitados (lto correct. Planif.)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>>1.8 y ≤ 4.5</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación sin restricción</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>≤ 1.8</td> <td>v(rms)</td> <td>Máquina Nueva</td> </tr> </tbody> </table>							Evaluación de severidad. (ISO 2273)				D	>11.2	v(rms)	Máquina puede sufrir daño.	C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (lto correct. Planif.)	B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción	A	≤ 1.8	v(rms)	Máquina Nueva
Evaluación de severidad. (ISO 2273)																															
D	>11.2	v(rms)	Máquina puede sufrir daño.																												
C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (lto correct. Planif.)																												
B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción																												
A	≤ 1.8	v(rms)	Máquina Nueva																												
Velocidad	Limite Aceptable	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11																			
4.5	mm/s	4.306	4.129	4.444	4.826	5.431	6.346	6.848	6.665	6.342	5.725	4.522																			
Gráficas Cojinete 1-6				Análisis				Gráficas Cojinete 7-11				Análisis																			
				Pico más elevado a 4.56x (2.461 mm/s) referente a la estructura. A 24.09x (1.354 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.								Pico más elevado a 5.05x (3.461 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.168 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																			
				El pico más elevado es a 24.09x (1.631 mm/s) funcionamiento normal del cojinete								Pico más elevado a 4.07x (3.097 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.889 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																			
				Pico más elevado a 7x (1.999 mm/s) referente a la estructura, picos mayor 10x bajos funcionamiento normal del cojinete.								Pico más elevado a 5.05x (3.084 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.552 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																			
				Pico más elevado a 6.51x (1.903 mm/s) referente a la estructura.								Pico más elevado a 4.07x (2.787 mm/s) referente a la estructura. Picos mayores a 10x bajos, funcionamiento normal del cojinete.																			
				Pico más elevado a 5.05x (2.306 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.218 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.								Pico más elevado a 4.07x (1.829mm/s) referente a la estructura.																			
				Pico más elevado a 5.05x (3.24 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.117 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.								<p style="text-align: center;">Velocidad espectral</p>  <p style="text-align: center;">Modelo Espectral - (Velocidad)</p>																			
Conclusiones				Se observa que existen valores en los cojinetes del 4 al 11 insatisfactorios con respecto a la norma (valor puntual). En la medición espectral se observa que las vibraciones más altas son con respecto a la estructura del motor.																											
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino				Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino				Autorizado: Ing. Edison Zurita																							
Cargo:	Tesisista			Cargo:	Tesisista			Cargo:	Supervisor Mecánico.																						
Fecha:	8/3/2022			Fecha:	9/4/2022			Fecha:																							
Hora:	03:00			Hora:	03:00			Hora:																							


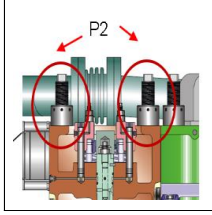
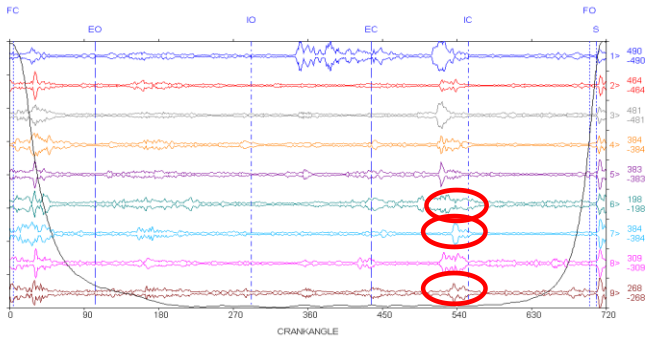
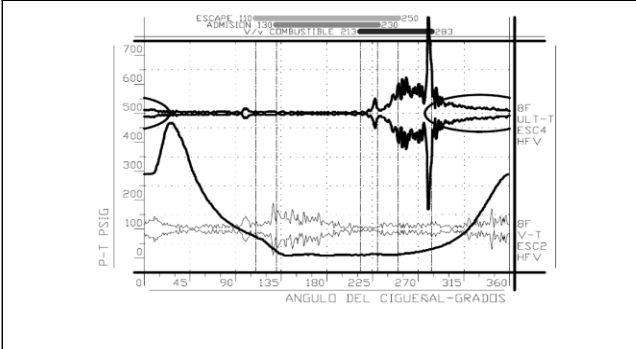
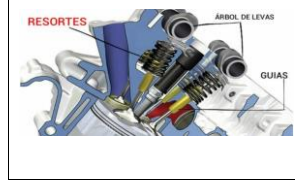
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA				 Corporación Eléctrica del Ecuador UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA					
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA									
FORMATO:		WINDROCK - P03				INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK					
Página 9/9											
UNIDAD	MDU 7	Medición	Premtto 8000h	Horas de operación							
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA	FFT - BASE Norma 10816								
Ubicación:	BASE PUNTOS ESTRATEGICOS					Evaluación de severidad. (ISO 10816)  >11 v(ms) Máquina puede sufrir daño. >7.1 y ≤ 11 v(ms) Operación en periodos limitados (Mito correct. Planif.) >3.5 y ≤ 7.1 v(ms) Operación sin restricción ≤ 3.5 v(ms) Máquina Nueva					
Velocidad	Limite Aceptable	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	RV1	RV2	RV3	RV4	RV5
7.1	mm/s	3.325	2.73	3.383	4.339	5.87	3.103	5.087	3.752	7.399	2.868
Velocidades											
LEFT V1 - V5			Análisis			RIGHT V6-V10			Análisis		
Eng Frame Left Front Hor Vel			Pico más elevado a 3.99x (1.628mm/s) referente a la vibración en la base.			Eng Frame Right Front Vert Vel			Pico más elevado a 4.48x (1.817 mm/s) referente a la vibración en la base.		
Eng Frame Left Front Vert Vel			Pico más elevado a 4.48x (1.976mm/s) referente a la vibración en la base.			Eng Frame Right Mid Vert Vel			Pico más elevado a 3.01x (4.182mm/s) referente a la vibración en la base.		
Eng Frame Left Axial Vert Vel			Pico más elevado a 3.01x (2.5mm/s) referente a la vibración en la base.			Eng Frame Right Rear Horz Vel			Pico más elevado a 3.99x (1.889mm/s) referente a la vibración de la base.		
Eng Frame Left Mid Vert Vel			Pico más elevado a 3.01x (3.658 mm/s) referente a la vibración de la base.			Eng Frame Right Rear Vert Vel			Pico más elevado a 3.01x (6.704 mm/s) referente a la vibración de la base.		
Eng Frame Left Rear Vert Vel			Pico más elevado a 3.01x (4.67mm/s) referente a la estructura.			Eng Frame Right Rear Axial Vel			Pico más elevado a 3.01x (1.279 mm/s) referente a la vibración en la base.		
Velocidad espectral						Conclusiones					
 Modelo Espectral - (Velocidad) Bajas y Medias Frecuencias: eventos rotacionales y sus armónicas. (desbalanceo, desalineación, hoturas, ejes doblados, etc.) Altas frecuencias (rodamientos, engranajes)						Se observa que existen valores de vibración satisfactorios, con excepción del punto RV4 (medición vertical derecha posterior). Se puede seguir operando y se recomienda tomar una nueva medición después del mantenimiento.					
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino				Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino				Autorizado: Ing. Édison Zurita			
Cargo:	Tecnista			Cargo:	Tecnista			Cargo:	Supervisor Mecánico.		
Fecha:	18/3/2022			Fecha:	9/4/2022			Fecha:			
Hora:	13:00			Hora:	10:00			Hora:			


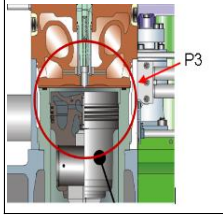
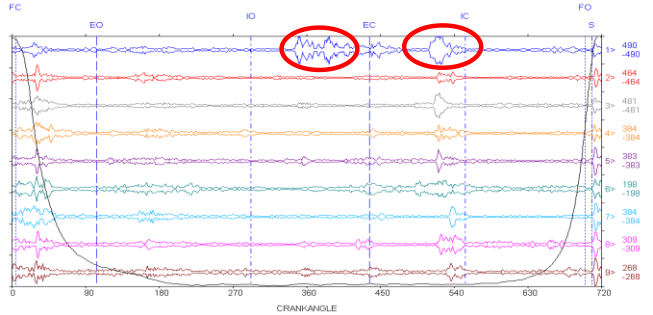
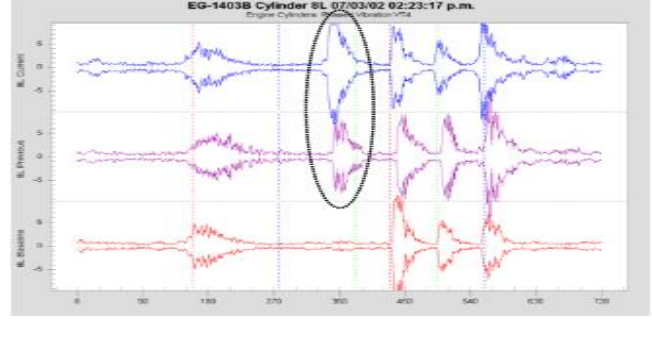
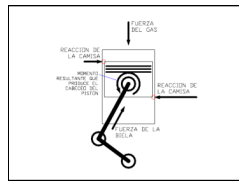
Reporte de fallas en MDU 8 previo mantenimiento de 2000h


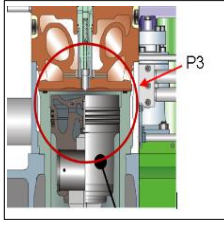
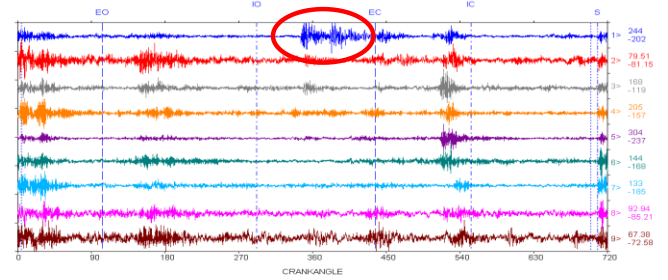
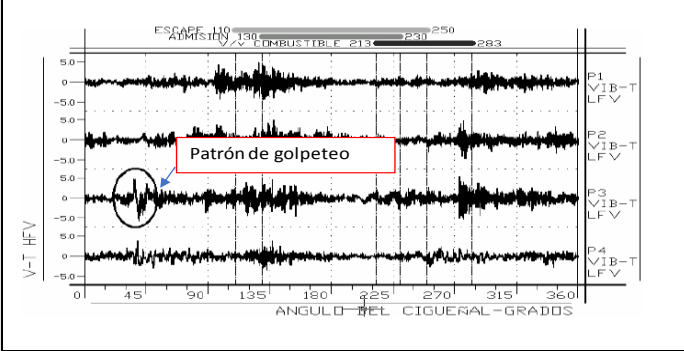
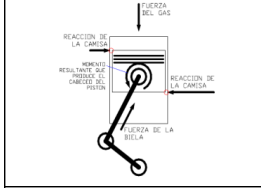
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA								
FORMATO:	WINDROCK - P01	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK								
Página 1/9										
UNIDAD:	MDU 8	Medición:	Premtto 2000h	Horas de operación:						
Punto de medición:	Punto_1	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	Válvula_de_salida_de_gases_de_escapes.	Balanceo_por_presiones								
										
TIPO DE GRÁFICA										
SEÑAL DE PRESION										
# Cilindro/s analizado/s	1 al 9									
Presión promedio bar	158.00									
Temperatura promedio C	393.33									
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
		159	155	161	161	161	155	156	157	157
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		420	395	395	390	400	390	380	410	360
Análisis / Categoría de base de datos		Balanceo_correcto								
<p>Se observa que en base a la herramienta de diagrama de cajas y bigotes el motor se encuentra estadísticamente balanceado. Es decir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -No existe un sobre esfuerzo mecánico o térmico sobre un cilindro. -Todos los cilindros producen y generan un mismo trabajo. 										
Análisis adicional										
<p>Se observa que las presiones con respecto al promedio no caen o exceden los 5 bar, por lo que se podría decir que esta estadísticamente balanceado. Se observa que la diferencia de temperatura con respecto al promedio no cae o excede los 50°C. Se observa una caída de la presión luego de alcanzar el pico en el cilindro 8, producto probablemente de una mezcla inadecuada de aire combustible.</p>										
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial						
No existe ninguna falla potencial.		Todo correcto.								
Código Base	P1_1									
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando no existe una falla potencial inminente, pero se sugiere analizar el cilindro 8 y la mezcla aire combustible.								
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edíson Zurita						
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.					
Fecha:	6/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:						
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:						


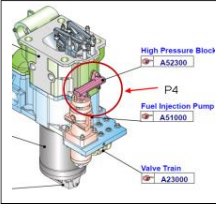
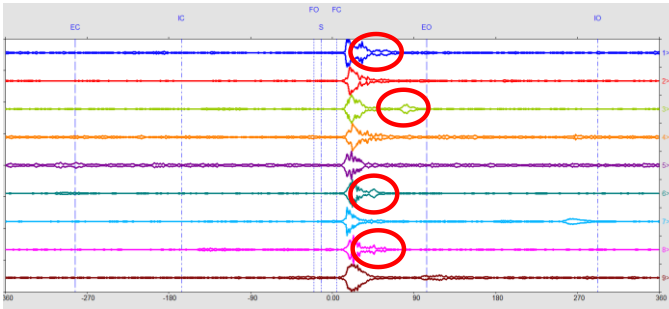
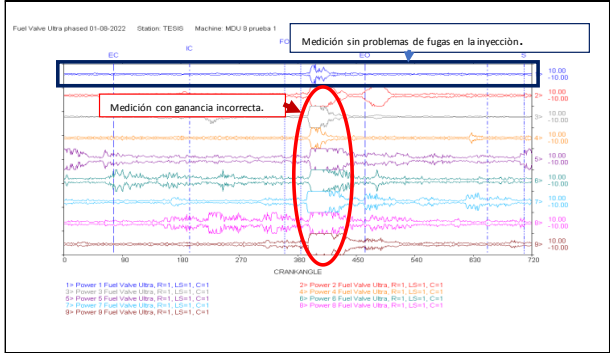

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 2/9					
UNIDAD	MDU 8	Medición	Premtto 2000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_la_biela			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_impactos_en_el_pin_o_bulón_de_biela			
La presencia de impactos en la reversión de la carga, se considera desgaste en el pin, bulón de biela o su cojinete. Entre los 360 grados (punto de menor compresión)					
Análisis adicional					
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se aprecia que existe un impacto en el punto muerto superior en el cilindro 1 en baja presión, por lo que puede existir algún daño en el pin, bulón de biela o cojinete.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Golpe de pin, bulón o biela o su cojinete.		1. Revisar el estado de los elementos: biela, pin, bulón y cojinetes. 2. Revisar las gráficas del estado de cojinetes del cigüeñal.			
Código Base	P2_11				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	9/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	13:00	Hora:	


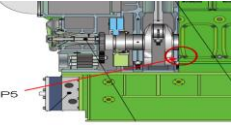
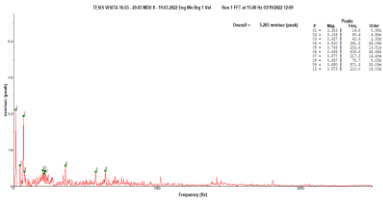
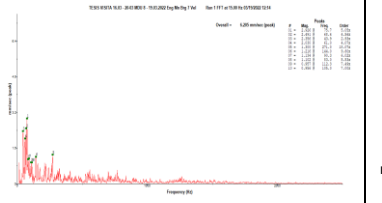
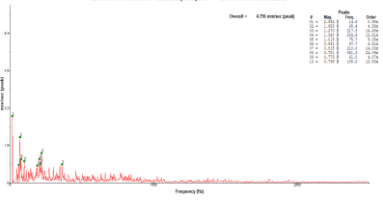
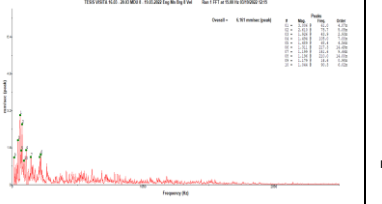
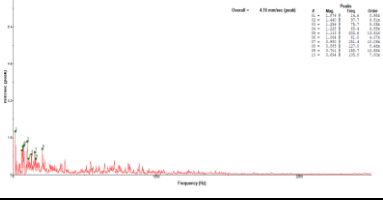
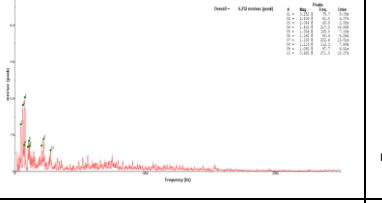
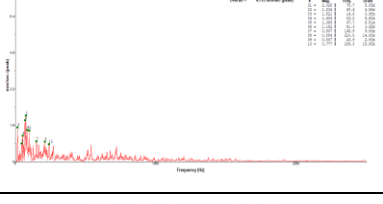
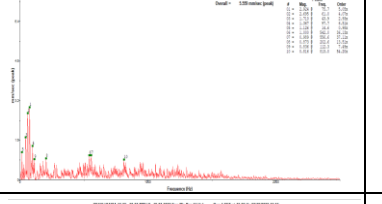
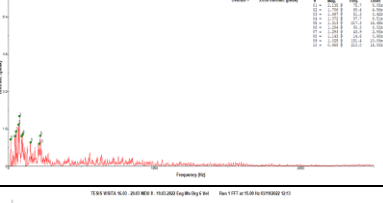
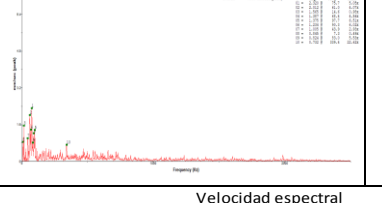
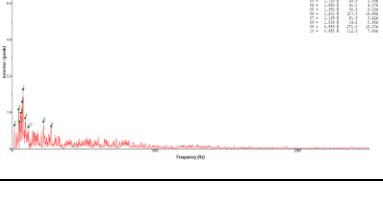
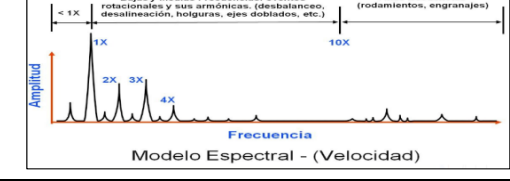
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 3/9					
9	MDU 8	Medición	Premtto 2000h	Horas de operación	
Punto de medición:	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_el_balancín_o_levas			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_desgaste_del_balancín			
Se observa presencia de vibraciones con patrón de desgaste del balancín, lo que genera una excesiva holgura por lo que al abrir o cerrar válvulas se presentan múltiples impactos.					
Análisis adicional					
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se observa un posible desgaste de los balancines de los cilindros 2,4,8 y 9 lo que genera que la válvula de admisión presente un doble golpe en el cierre. Además la señal puede ser resultado de un choque de válvulas en el cruce de las mismas.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
El balancín presenta un desgaste generando impactos en las válvulas.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del balancín. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 	 <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">Sin registro</div>		
Código Base	P2_7				
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando pero se requiere una inspección en campo del balancín del cilindro 2,4,8 y 9			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	19/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


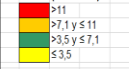
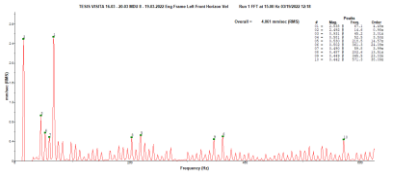
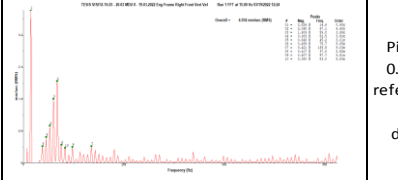
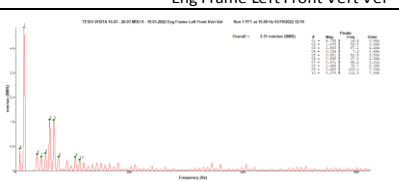

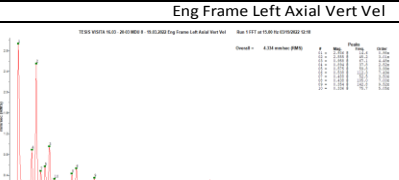

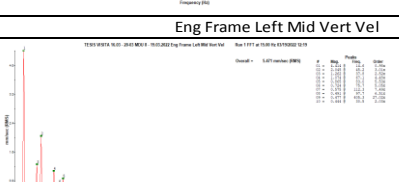
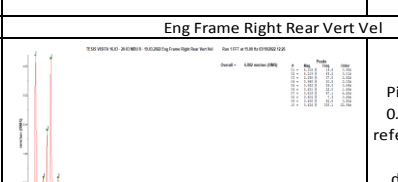
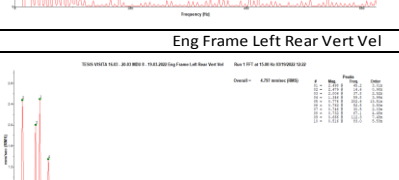

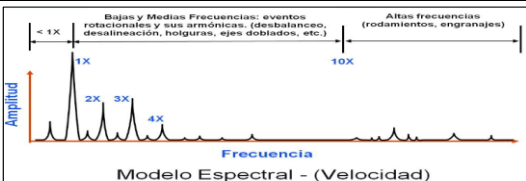
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 4/9					
UNIDAD	MDU 8	Medición	Premtto 2000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_válvulas			
					
	TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACIÓN				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Impactos y fuga al cierre de las válvulas			
Se observa un cierre inadecuado producto de desgaste en la guía de las válvulas o asiento inapropiado en altas presiones, resortes defectuosos que retardan el cierre.					
Análisis adicional					
Se observa que existe fuga luego de un cierre inadecuado de las válvulas de los cilindros 6,7 y 9. Se puede interpretar un fallo en los resortes, guías de las válvulas.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Daños en resorte o guía de las válvulas o los asientos de las válvulas		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado de resorte, guías y asientos de las válvulas. 3. Cambio de piezas necesarias 			
Código Base	P2_13				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edilson Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	13/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 5/9					
UNIDAD	MDU 8	Medición	Premtto 2000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_3	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Cuerpo_de_la_culata.	Anillo_de_motor			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE ULTRASONIDO					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Anillo_partido_de_motor			
<p>Los impactos fuertes en la culata de forma repentina y no progresiva, se puede visualizar el cambio repentino en tomas diferentes de datos.</p> <p>Los daños se pueden encontrar en los anillos de compresión y las ranuras de pistón con aumento de juego.</p> <p>El pico repentino se parece al cierre de la válvula de admisión. La agudeza en la forma de onda se identifica claramente cuando no es propia de los desgastes de los pines cuando se generan en las bancadas.</p>					
Análisis adicional					
<p>La gráfica medida es muy similar a la teórica, se aprecia que existe una golpe o fuga en el punto muerto superior en el cilindro 1 y una fuga en el cierre de escape y admisión, esto puede ser por un anillo partido de motor. Esto se puede apreciar igual en el punto de medición 2.</p>					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Se presenta un anillo partido de motor.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Cambio de anillo de motor. 			
Código Base	P3_3				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección de los anillos del motor del pistón 1.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	9/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


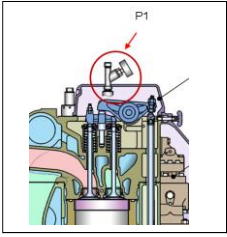
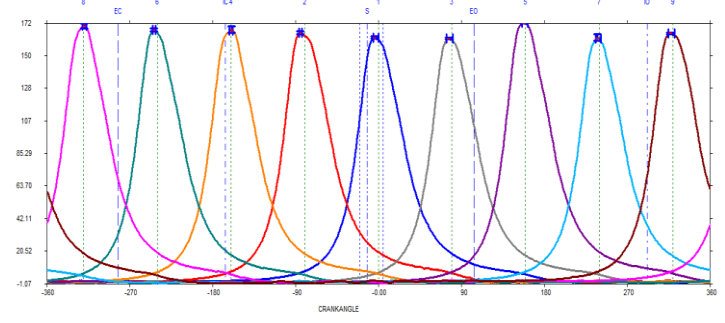
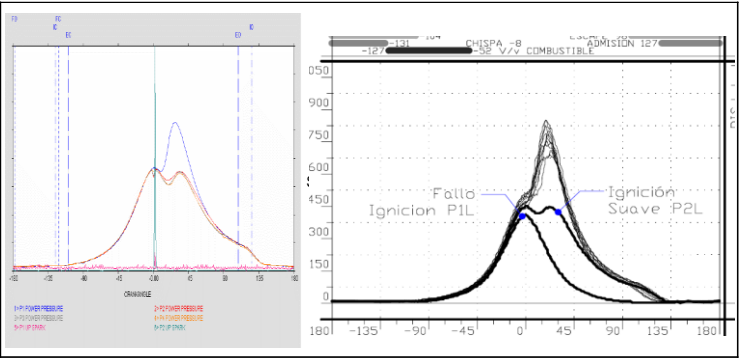

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 6/9					
UNIDAD	MDU 8	Medición	Prentmo 2000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_3	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Cuerpo_de_la_culata.	Vibración_en_el_pistón			
					
	TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACIÓN				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9	<p>1> Pow 1 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 2> Pow 2 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 3> Pow 3 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 4> Pow 4 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 5> Pow 5 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 6> Pow 6 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 7> Pow 7 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 8> Pow 8 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) + 9> Pow 9 Raw Vib - Pared Culata - Punto 3, R=1, L=1, C=1 (m/s2) +</p>			
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_por_golpe_de_pistón_con_la_camisa			
<p>El pistón presenta un patrón de golpeteos con la camisa, ocurre cuando existe un desgaste de la camisa y/o los anillos o los cilindros son muy pequeños para la camisa. Se presenta principalmente cerca de la ignición, cuando la presión es alta.</p>					
Análisis adicional					
<p>La gráfica medida es muy similar a la teórica, se aprecia que existe un golpe en el punto muerto superior en el cilindro 1 cuando no existe alta presión.</p>					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Desgaste en el pistón generando un golpeteo con la camisa.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Revisar el desgaste del pistón. 3. Revisar el estado de la camisa. 			
Código Base	P3_1				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección del estado del pistón y de la camisa del motor del cilindro 1.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edson Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	19/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


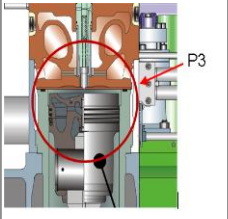
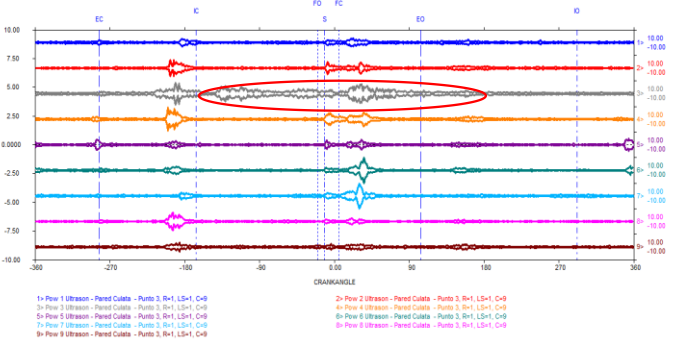
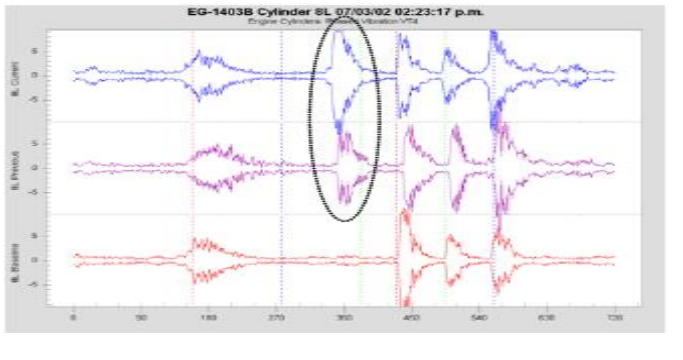
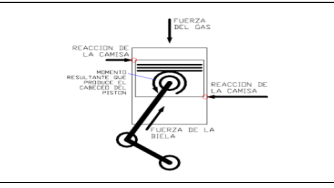
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 7/9					
UNIDAD:	MDU 8	Medición:	Premtto 2000h	Horas de operación:	
Punto de medición:	Punto_4	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Bloque_de_alta_presión_de_inyección.	Inyección_de_combustible			
					
TIPO DE GRÁFICA					
SEÑAL DE ULTRASONIDO					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Inyección_de_combustible_con_patrones_de_fugas			
<p>Existe una presencia de un patrón de fugas que puede ser debido a un cierre inadecuado del inyector. Puede deberse también a un mal acople, asentamiento del sensor de ultrasonido o por una mala ganancia en la toma de datos.</p>					
Análisis adicional		<p>La gráfica muestra fugas luego de la inyección de combustible, presumiblemente se deba al control de tiempo o flujo en los cilindros 1, 3, 6, 8.</p>			
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
Cierre inadecuado de el tiempo de los inyectores		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición o inspección en campo. 2. Chequeo del estado de los inyectores de combustible 			
Código Base	P4_2				
Observaciones adicionales:		<p>Se requiere una inspección del estado de los inyectores en los cilindros por posibles fugas luego de la inyección.</p>			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edson Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	9/3/2022	Fecha:	6/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	


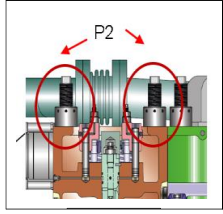
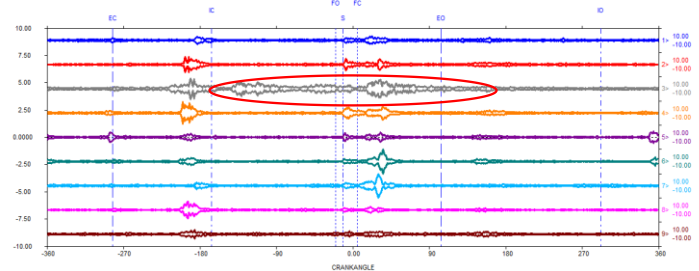
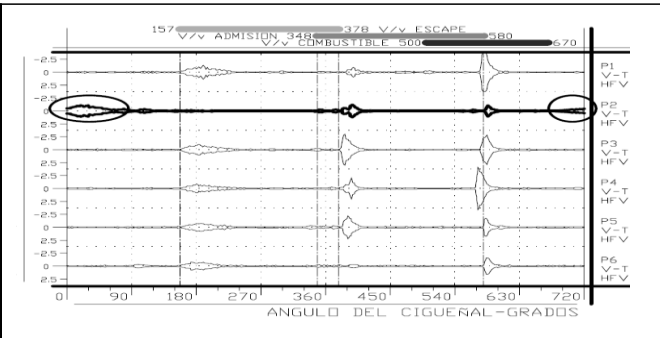

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA				 <small>Corporación Eléctrica del Ecuador</small> <small>UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA</small>													
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA																	
FORMATO:		WINDROCK - P.03				INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK													
Página 8/9																			
UNIDAD	MDU 8	Medición		Premtto 2000h	Horas de operación														
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA		FFT - COJINETES - Máquina CLASE 3 Norma 2273															
Ubicación:	Esparrago lateral cojinetes				Evaluación de severidad. <small>(ISO 2273)</small>														
					<table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>>11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Maquina puede sufrir daño.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>>4.5 y ≤ 11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>>1.8 y ≤ 4.5</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación sin restricción.</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>≤ 1.8</td> <td>v(rms)</td> <td>Maquina Nueva</td> </tr> </table>	D	>11.2	v(rms)	Maquina puede sufrir daño.	C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)	B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción.	A	≤ 1.8
D	>11.2	v(rms)	Maquina puede sufrir daño.																
C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)																
B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción.																
A	≤ 1.8	v(rms)	Maquina Nueva																
Velocidad Limite Aceptable		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11							
4.5		mm/s	5.265	4.756	4.16	4.795	5.056	5.475	6.205	6.161	6.212	5.559	4.787						
Velocidades																			
Gráficas Cojinete 1-6			Análisis			Gráficas Cojinete 7-11			Análisis										
			Pico más elevado a 0.98x (3.383 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.						Pico más elevado a 5.05x (2.926 mm/s) referente a la estructura. A 18.07x (1.3 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.										
			Pico más elevado a 0.98x (2.825 mm/s).						Pico más elevado a 4.07x (3.006 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.311 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.										
			Pico más elevado a 0.98x (1.875 mm/s).						Pico más elevado a 5.05x (3.252 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.412 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.										
			Pico más elevado a 5.05x (2.028 mm/s) referente a la estructura. A 14x (0.884 mm/s) funcionamiento normal del cojinete						Pico más elevado a 5.05x (2.924 mm/s) referente a la estructura.										
			Pico más elevado a 5.05x (2.135 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.313 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.						Pico más elevado a 5.05x (2.924 mm/s) referente a la estructura.										
			Pico más elevado a 5.05x (2.62 mm/s) referente a la estructura. A 14.69x (1.201 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																
Conclusiones			Se observa que existen valores en los cojinetes excepto en el 3 en que se encuentra una medición insatisfactoria. En el cojinete 1 se observa que existe un pico elevado en 1x que hace referencia a un posible dealineamiento o desbalanceo.																
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino				Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino				Autorizado: Ing. Édison Zurita											
Cargo:	Tesisista			Cargo:	Tesisista			Cargo:	Supervisor Mecánico.										
Fecha:	19/3/2022			Fecha:	6/4/2022			Fecha:											
Hora:	13:00			Hora:	13:00			Hora:											


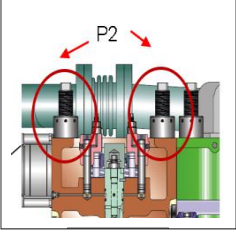
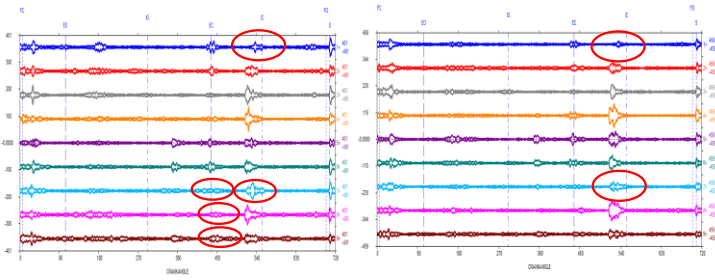
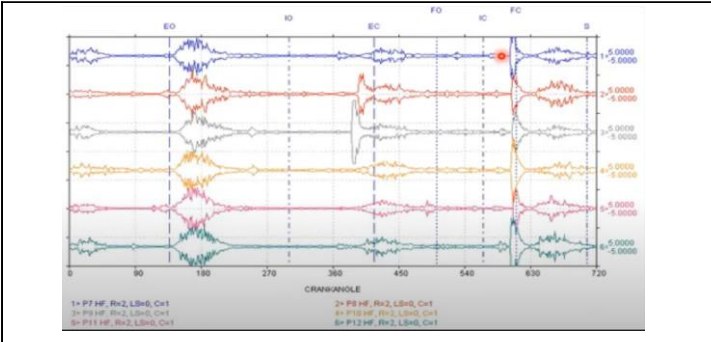

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			 CELEC EP Corporación Eléctrica del Ecuador UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA										
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA													
FORMATO:		WINDROCK - P04													
INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK															
Página 9/9															
UNIDAD	MDU 8	Medición	Premtto 2000h	Horas de operación											
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA	FFT - BASE Norma 10816												
Ubicación:	BASE PUNTOS ESTRATEGICOS				Evaluación de severidad. (ISO 10816)  >11 v(rms) Máquina puede sufrir daño. >7.1 y ≤ 11 v(rms) Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.) >3.5 y ≤ 7.1 v(rms) Operación sin restricción ≤ 3.5 v(rms) Máquina Nueva										
Velocidad	Limite Aceptable	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	RV1	RV2	RV3	RV4	RV5				
7.1	mm/s	4.061	5.51	4.334	5.741	4.797	4.934	6.716	3.628	6.802	5.75				
Velocidades															
LEFT V1 - V5				Análisis				RIGHT V6 - V10				Análisis			
Eng Frame Left Front Hor Vel				Análisis				Eng Frame Right Front Vert Vel				Análisis			
				Pico más elevado a 4.48x (2.538mm/s) referente a la vibración en la base.								Pico más elevado a 0.98x (3.826 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.			
Eng Frame Left Front Vert Vel				Análisis				Eng Frame Right Mid Vert Vel				Análisis			
				Pico más elevado a 0.98x (4.705 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.								Pico más elevado a 0.98x (5.485mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.			
Eng Frame Left Axial Vert Vel				Análisis				Eng Frame Right Rear Horz Vel				Análisis			
				Pico más elevado a 0.98x (2.936mm/s).								Picos normales en 3x, 4x y 5x referentes a vibración de la estructura.			
Eng Frame Left Mid Vert Vel				Análisis				Eng Frame Right Rear Vert Vel				Análisis			
				Pico más elevado a 0.98x (4.14 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.								Pico más elevado a 0.98x (4.315 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.			
Eng Frame Left Rear Vert Vel				Análisis				Eng Frame Right Rear Vert Vel				Análisis			
				Pico más elevado a 3.01x (2.498mm/s) referente a la estructura.								Pico más elevado a 0.98x (5.056 mm/s) referente a un posible desbalanceo o desalineamiento.			
Velocidad espectral						Conclusiones									
 Bajas y Medias Frecuencias: eventos rotacionales y sus armónicas. (desbalanceo, desalineación, noturas, ejes doblados, etc.) Altas frecuencias (rodamientos, engranajes) Modelo Espectral - (Velocidad)						Se observa que existen valores de vibración son satisfactorios pero en los espectros se observa que los picos más elevados son cercanos a 1x lo que hace referencia a un posible desbalanceo o desalineamiento.									
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino				Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino				Autorizado: Ing. Edison Zurita							
Cargo:	Tesisista			Cargo:	Tesisista			Cargo:	Supervisor Mecánico.						
Fecha:	19/3/2022			Fecha:	6/4/2022			Fecha:							
Hora:	13:00			Hora:	10:00			Hora:							


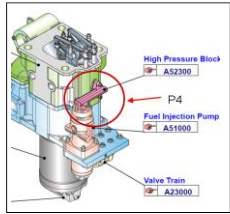
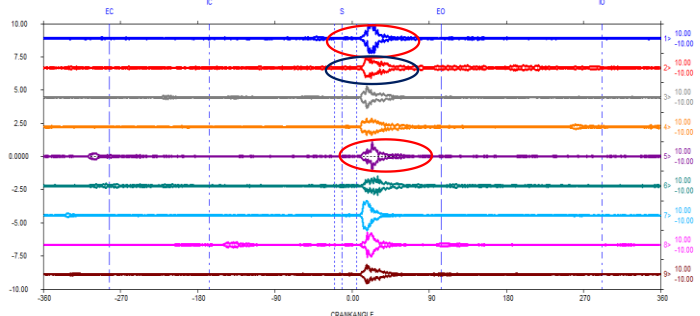
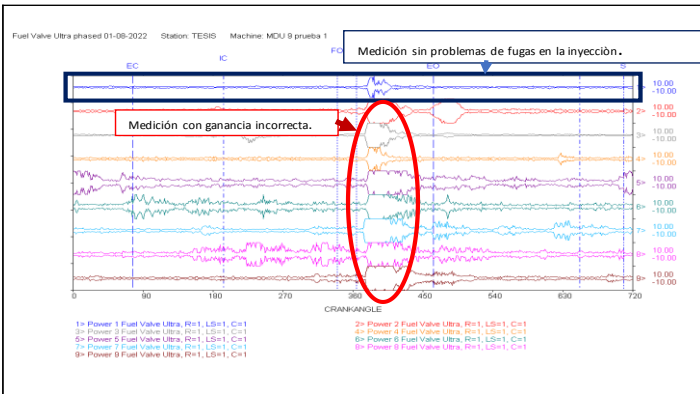

Reporte de fallas en MDU 2 previo mantenimiento de 6000h.

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA								
FORMATO:		WINDROCK - P01								
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK								
Página 1/6										
UNIDAD	MDU 2	Medición	Premtto 6000h	Horas de operación						
Punto de medición	Punto_1	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	Válvula_de_salida_de_gases_de_escapes.	Balanceo_por_presiones								
										
TIPO DE GRÁFICA										
SEÑAL DE PRESION										
# Cilindro/s analizado/s	1 al 9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Presión promedio bar	165.4	162	165	161	167	172	167	161	169	165
Temperatura promedio °C	371.67	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		370	370	350	390	400	330	350	390	395
Análisis / Categoría de base de datos		Balanceo_incorrecto_en_ciertos_cilindros								
<p>Se observa que existe uno o varios cilindros que presentan una curva anormal en el pico de presión con una falla de ignición o ignición suave. Generando que no se alcance la presión deseada y por ende un mal balanceo o un barrido incompleto.</p>										
Análisis adicional										
<p>Se observa que la presión del cilindro 5 excede los 5 bar con respecto al promedio, por lo que se podría decir que no está estadísticamente balanceado. Se observa que la diferencia de temperatura con respecto al promedio no cae los 50 °C, pero sí se observa una temperatura un poco baja en el cilindro 6 de 330°C. Las curvas tienen presencia de una ignición un poco deficiente en el cilindro 3 y 7.</p>										
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial						
<p>Existe un retraso en el tiempo de inyección en ciertos cilindros. Inyectores tapados o sucios. Fallas en composición del combustible.</p>		<ol style="list-style-type: none"> Revisar que el tiempo de inyección. Revisar el estado de los inyectores. Revisar la falla en composición de combustible. 								
Código Base	P1_3									
Observaciones adicionales:		<p>Se recomienda analizar si se puede mejorar el balanceo de presiones para que no exista un sobre esfuerzo de trabajo en el cilindro 5 donde se obtiene la presión y temperatura más elevada, por medio de la revisión del tiempo de inyección y/o el estado de los inyectores, principalmente en los cilindros 3 y 7 que tienen una curva con ignición un poco deficiente.</p>								
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita						
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.					
Fecha:	W/4/2022	Fecha:	W/4/2022	Fecha:						
Hora:	10:00	Hora:	11:00	Hora:						


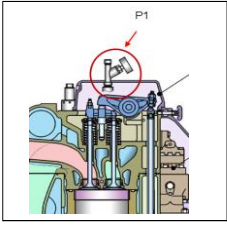
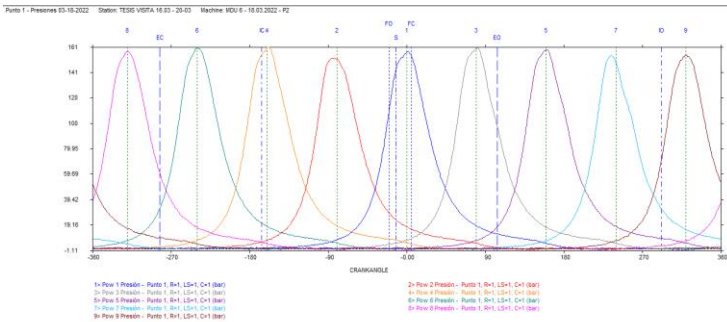
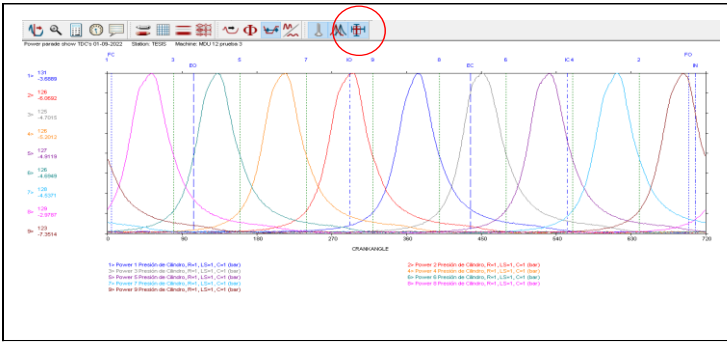

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO: WINDROCK - P02		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 2/6					
UNIDAD	MDU 2	Medición	Premtto 6000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_3	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Cuerpo_de_la_culata.	Anillo_de_motor			
					
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE ULTRASONIDO					
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos Los impactos fuertes en la culata de forma repentina y no progresiva, se puede visualizar el cambio repentino en tomas diferentes de datos. Los daños se pueden encontrar en los anillos de compresión y las ranuras de pistón con aumento de juego. El pico repentino se parece al cierre de la válvula de admisión. La agudeza en la forma de onda se identifica claramente cuando no es propia de los desgastes de los pines cuando se generan en las bancadas. La señal presentada puede ser también porque existe una elevada fricción en la carrera de compresión y potencia.		Anillo_partido_de_motor 			
Análisis adicional La gráfica medida presenta una fuga en la carrera de compresión y de potencia, antes del punto muerto superior de alta presión.					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial		
Se presenta un anillo partido de motor o alineación de anillos que generan una fuga en la zona de alta presión. Existen señales de fricción en los anillos y/o pared de la culata.		<ol style="list-style-type: none"> Realizar una segunda medición o inspección en campo. Cambio de anillos de motor de ser necesario para eliminar fugas y mejorar la lubricación. 			
Código Base	P3_3				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección de los anillos del motor del cilindro 3. Se recomienda también observar algún tipo de grietas o marcas de fricción en el pistón o camisa que puedan generar algún tipo de fuga o una elevada fricción. Esta falla también puede ser por otro motivo revisar página 3.			
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	14/4/2022	Fecha:	15/4/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	13:00	Hora:	


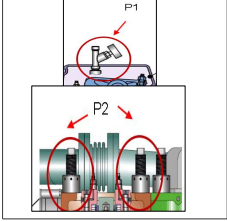
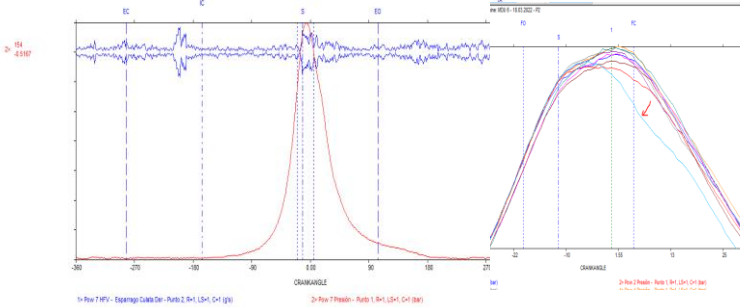
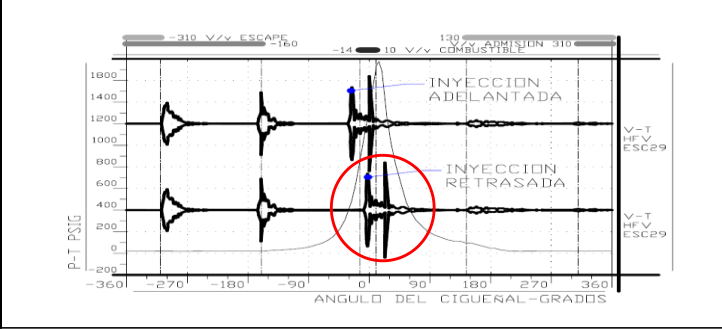

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA		
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA		
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK		
Página 3/6				
UNIDAD	MDU 2	Medición	Premtto 6000h	Horas de operación
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA		
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Ultrasonido_en_válvulas		
				
	TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION			
Cilindro/s analizado/s	1 al 9			
Análisis / Categoría de base de datos		<i>Fuga zona de alta presión</i>		
Se observa una fuga en el ultrasonido en la zona de alta presión debido a:				
<ul style="list-style-type: none"> -Válvula sucia, carbonizada o rota. -Resortes dañados o rotos. - Asiento de válvula dañada. - Vastagos dañados o doblados. 				
Análisis adicional				
<p style="color: red;">La medición se realizó en la pared de la culata y se observa que existe fuga en la zona de alta presión, en la carrera de compresión y potencia.</p>				
Códigos de estado vibración		N/A		
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula sucia, carbonizada o rota. - Resortes dañados o rotos. - Asiento de válvula dañada. - Vastagos dañados o doblados. 		<ul style="list-style-type: none"> Revisar el estado de la válvula. Revisar el estado de los resortes y asiento de válvulas. Revisar el estado de los vastagos. 		
Código Base	P2_4			
Observaciones adicionales:		Se recomienda revisar el estado de las válvulas del cilindro 3.		
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo: Supervisor Mecánico.
Fecha:	14/4/2022	Fecha:	15/4/2022	Fecha:
Hora:	10:00	Hora:	10:00	Hora:


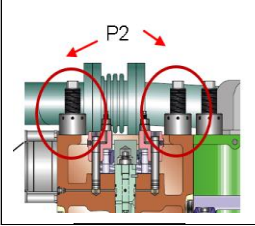
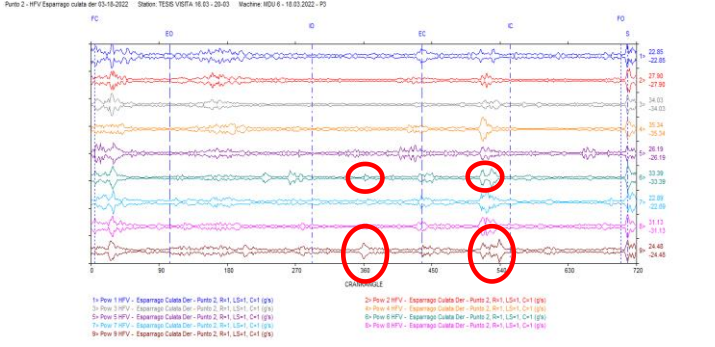
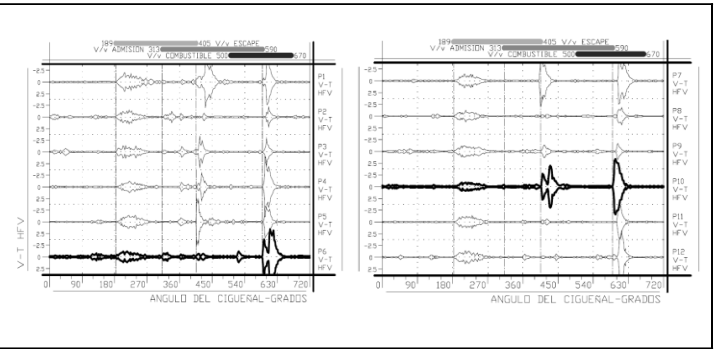
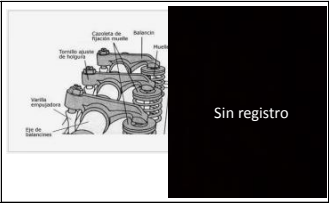
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA		
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA		
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK		
Página 5/6				
UNIDAD	MDU 2	Medición	Premtto 6000h	Horas de operación
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA		
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Cierre_valvulas_e_inyector		
				
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9			
Análisis / Categoría de base de datos		Cierre_tardío_o_apertura_temprana_de_valvulas		
Se puede apreciar un efecto de Loose valve lash (Efecto de latigazo de válvula) se cierra tarde o se abre temprano.				
Análisis adicional				
La gráfica medida es similar a la falla teórica, se aprecia que las válvulas de admisión del cilindro 1 y 7 se cierran tarde y las válvulas de escape de los cilindros 7, 8 y 9 se cierran tarde.				
Códigos de estado vibración		N/A		
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial	
Válvula sucia, carbonizada o fisurada. Resorte dañado. Tolerancia incorrecta del elevador de válvulas.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el estado de las válvulas. 2. Revisar el estado de los resortes, guías. 3. Revisar la tolerancia del elevador de válvulas. 		
Código Base	P2_1			
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados en los cilindros 1, 7, 8 y 9.		
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo: Supervisor Mecánico.
Fecha:	14/4/2022	Fecha:	17/4/2022	Fecha:
Hora:	10:00	Hora:	12:00	Hora:


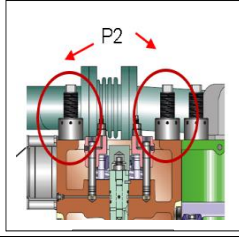
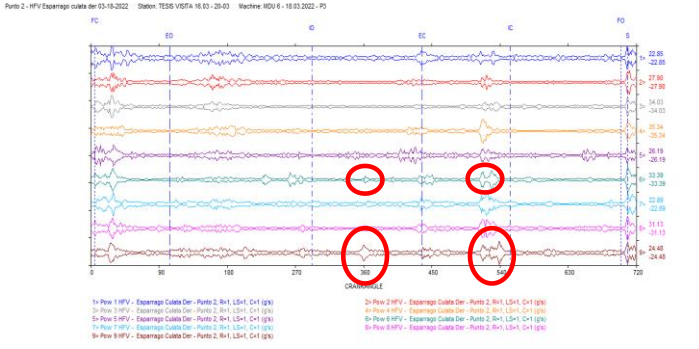
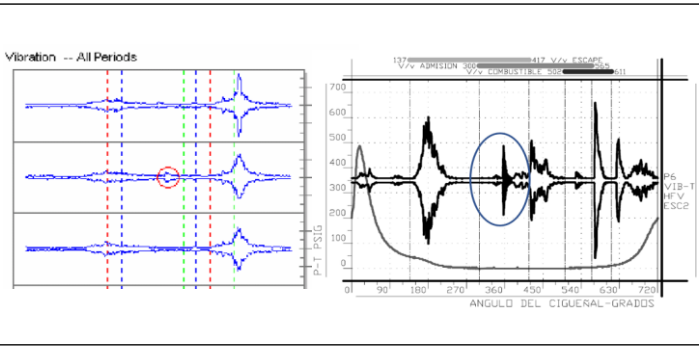
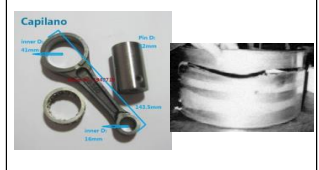
CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 6/6					
UNIDAD	MDU 2	Medición	Premtto 6000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_4	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Bloque_de_alta_presión_de_inyección.	Inyección_de_combustible			
					
	TIPO DE GRÁFICA				
	SEÑAL DE ULTRASONIDO				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos	Inyección_de_combustible_con_patrones_de_fugas				
<p>Existe una presencia de un patrón de fugas que puede ser debido a un cierre inadecuado del inyector. Puede deberse también a un mal acople, asentamiento del sensor de ultrasonido o por una mala ganancia en la toma de datos.</p>					
Análisis adicional	<p>Se observa que existe un cierre tardío en el cilindro 1 y 5, y un cierre inadecuado en el cilindro 2.</p>				
Códigos de estado vibración	N/A				
Descripción de falla potencial	Solución de falla potencial	Gráfica de falla potencial			
Cierre inadecuado de el tiempo de los inyectores	<ol style="list-style-type: none"> Realizar una segunda medición o inspección en campo. Chequeo del estado de los inyectores de combustible 				
Código Base	P4_2				
Observaciones adicionales:	Se requiere una inspección del estado de los inyectores del cilindro 1, 5 y 2 y tiempo de inyección.				
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino	Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edison Zurita		
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	14/4/2022	Fecha:	17/4/2022	Fecha:	
Hora:	10:00	Hora:	10:00	Hora:	

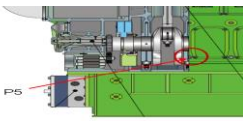
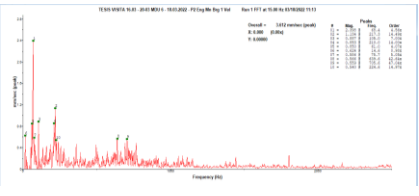
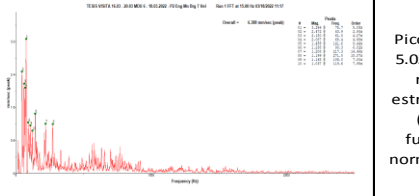
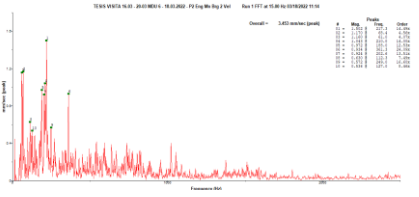
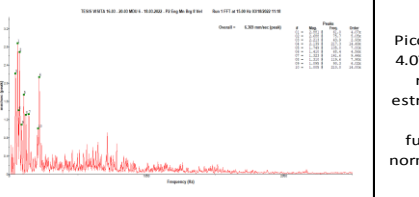
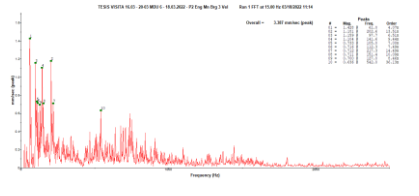
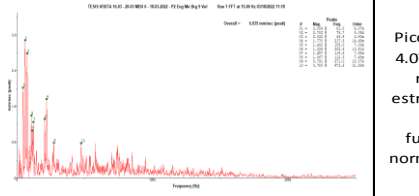
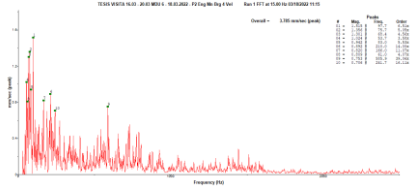
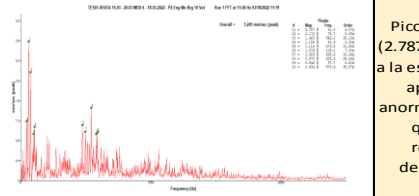
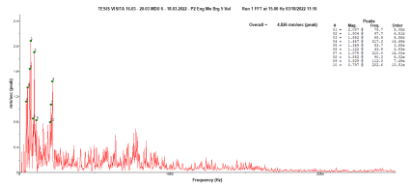
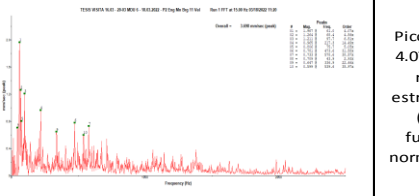
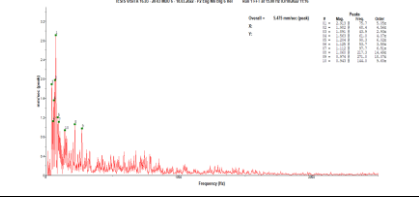
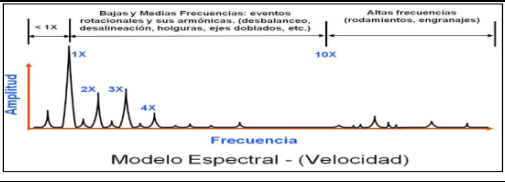
Reporte de fallas en MDU 6 previo mantenimiento de 6000h

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA								
FORMATO:		WINDROCK - P01								
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK								
Página 1/5										
UNIDAD	MDU 6	Medición	Posmto 6000h	Horas de operación						
Punto de medición	Punto_1	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	Válvula_de_salida_de_gases_de_escapes.	Balanceo_por_presiones								
										
TIPO DE GRÁFICA		SEÑAL DE PRESION								
# Cilindro/s analizado/s	1 al 9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Presión promedio bar	157.22	157	152	160	161	159	160	154	158	154
Temperatura promedio C	384.44	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		400	390	390	400	400	400	310	390	380
Análisis / Categoría de base de datos		Balanceo_correcto								
<p>Se observa que en base a la herramienta de diagrama de cajas y bigotes el motor se encuentra estadísticamente balanceado. Es decir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -No existe un sobre esfuerzo mecánico o térmico sobre un cilindro. -Todos los cilindros producen y generan un mismo trabajo. 										
Análisis adicional										
<p>Se observa que las presiones no exceden el valor de 5 bar por encima o por debajo del promedio, por lo que se podría decir que esta estadísticamente balanceado. Se observa que la temperatura T7 está por debajo de 50°C del promedio, debido a que si alcanza una presión similar se puede concluir que es error del sensor de temperatura.</p>										
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial						
No existe ninguna falla potencial.		Todo correcto.								
Código Base	P1_1									
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando no existe una falla potencial inminente. No existe desbalanceo de presiones, pero se sugiere analizar la forma de presión del cilindro 7.								
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edíson Zurita						
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.					
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	18/3/2022	Fecha:						
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:						

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA								
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA								
FORMATO:		WINDROCK - P01								
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK								
Página 2/5										
UNIDAD	MDU 6	Medición	Posmto 6000h	Horas de operación						
Punto de medición	Punto_1_y_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA								
Ubicación:	Válvula_gases_escapes_y_esparrago_de_culata.	Presión_máxima_e_inyección_de_combustible								
										
TIPO DE GRÁFICA										
SEÑAL DE PRESION										
# Cilindro/s analizado/s	7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Presión promedio bar	157.22	157	152	160	161	159	160	154	158	154
Temperatura promedio C	384.44	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		400	390	390	400	400	400	310	390	380
Análisis / Categoría de base de datos		Inyección_atrasada								
<p>Se observa que la gráfica tiene una ignición retrasada. Dadas potencialmente por:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Baja presión en el punto muerto superior. -Retardo del inyector de combustible. 										
Análisis adicional										
<p>Se observa que la presión del cilindro 7 es la más baja y presenta una deformación de la curva de presión que puede ser debido a una mala mezcla aire combustible. Además, se observa que la inyección está retrasada aproximadamente 4°.</p>										
Códigos de estado vibración		N/A								
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial						
<p>El tiempo de inyección es incorrecto. La mezcla de combustible es demasiado pobre que evita una combustión adecuada. La hermeticidad de las válvulas evita que existe una adecuada presión.</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el ajuste del inyector y su estado. 2. Revisar el combustible. 3. Revisar fugas en válvulas. 								
Código Base	P1_y_2_1									
Observaciones adicionales:		<p>Se puede seguir operando pero se sugiere seguir un monitoreo para observar el agravamiento del caso o una inspección del inyector 7 y del termómetro del cilindro 7.</p>								
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		Autorizado: Ing. Edson Zurita						
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.					
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	18/3/2022	Fecha:						
Hora:	9:00	Hora:	20:00	Hora:						

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA		
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA		
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK		
Página 3/5				
UNIDAD:	MDU 6	Medición:	Posmto 6000h	Horas de operación:
Punto de medición:	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA		
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_el_balancín_o_levas		
				
TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9			
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración_con_patrón_de_desgaste_del_balancín		
Se observa presencia de vibraciones con patrón de desgaste del balancín, lo que genera una excesiva holgura por lo que al abrir o cerrar válvulas se presentan múltiples impactos.				
Análisis adicional				
La gráfica medida es muy similar a la teórica, se aprecia que el posible desgaste del balancín del cilindro 9 genera que la válvula de admisión presente un doble golpe en el cierre. Se presenta algo similar en el cilindro 6 pero con una vibración menor. Además la señal puede ser resultado de un choque de válvulas en el cruce de las mismas.				
Códigos de estado vibración		N/A		
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial
El balancín presenta un desgaste generando impactos en las válvulas.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una segunda medición. 2. Revisar el estado del balancín. 3. Revisar el estado de las válvulas. 4. Revisar el asiento de las válvulas. 		
Código Base	P2_7			
Observaciones adicionales:		Se puede seguir operando pero se requiere una inspección en campo del balancín del cilindro 9 y una 3ra medición.		
Monitoreado por: Gabriel Romero - Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero - Miguel Merino		AutORIZADO: Ing. Edison Zurita
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	20/3/2022	Fecha:
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA			
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA			
FORMATO:	WINDROCK - P02	INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK			
Página 4/5					
UNIDAD	MDU 6	Medición	Posmitto 6000h	Horas de operación	
Punto de medición	Punto_2	CONTENIDO DE LA GRÁFICA			
Ubicación:	Esparrago_de_la_culata_de_admisión_y_escape.	Vibración_en_la_biela			
					
	TIPO DE GRÁFICA SEÑAL DE VIBRACION				
Cilindro/s analizado/s	1 al 9				
Análisis / Categoría de base de datos		Vibración con patrón de impactos en el pin o bulón de biela			
<p>La presencia de impactos en la reversión de la carga, se considera desgaste en el pin, bulón de biela o su cojinete. Entre los 360 grados (punto de menor compresión)</p>					
Análisis adicional					
<p>La gráfica medida es muy similar a la teórica, se aprecia que existe un golpe en el punto muerto superior, por lo que puede ser presencia por algún daño en el pin, bulón de biela o cojinete.</p>					
Códigos de estado vibración		N/A			
Descripción de falla potencial		Solución de falla potencial		Gráfica de falla potencial	
Golpe de pin, bulón o biela o su cojinete.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el estado de los elementos: biela, pin, bulón y cojinetes. 2. Revisar las gráficas del estado de cojinetes del cigüeñal. 			
Código Base	P2_11				
Observaciones adicionales:		Se requiere una inspección en campo de los elementos mencionados.			
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino		Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino		Autorizado: Ing. Édison Zurita	
Cargo:	Tesista	Cargo:	Tesista	Cargo:	Supervisor Mecánico.
Fecha:	18/3/2022	Fecha:	20/3/2022	Fecha:	
Hora:	13:00	Hora:	10:00	Hora:	

CÓDIGO:		UNIDAD DE NEGOCIO TERMOPICHINCHA																									
VERSIÓN:		CENTRAL SACHA																									
FORMATO:		WINDROCK - P03																									
		INFORME DE ANÁLISIS WINDROCK																									
		Pagina 5/5																									
UNIDAD	MDU 6	Medición				Posmtto 6000h				Horas de operación																	
Punto de medición	Punto_5	GRAFICA				FFT - COJINETES - Máquina CLASE 3 Norma 2273																					
Ubicación:	Esparrago lateral cojinetes					Evaluación de severidad. (ISO 2273) <table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>>11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Máquina puede sufrir daño.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>>4.5 y ≤ 11.2</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>>1.8 y ≤ 4.5</td> <td>v(rms)</td> <td>Operación sin restricción</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>≤ 1.8</td> <td>v(rms)</td> <td>Máquina Nueva</td> </tr> </table>						D	>11.2	v(rms)	Máquina puede sufrir daño.	C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)	B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción	A	≤ 1.8	v(rms)	Máquina Nueva
D	>11.2	v(rms)	Máquina puede sufrir daño.																								
C	>4.5 y ≤ 11.2	v(rms)	Operación en periodos limitados (Mto correct. Planif.)																								
B	>1.8 y ≤ 4.5	v(rms)	Operación sin restricción																								
A	≤ 1.8	v(rms)	Máquina Nueva																								
Velocidad	Limite Aceptable	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11															
7.1	mm/s	3.612	3.453	3.387	3.785	4.826	5.475	6.388	6.369	6.035	5.245	3.698															
Velocidades																											
Gráficas Cojinete 1-6			Análisis			Gráficas Cojinete 7-11			Análisis																		
			Pico más elevado a 4.56x (2.39mm/s) referente a la estructura. Segundo pico a 14.49x (1.13mm/s) funcionamiento normal del cojinete.						Pico más elevado a 5.05x (3.266 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.288 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																		
			Pico más elevado esta en el cojinete 2 en 14.49x (1.17 mm/s). Picos 4x, 5x son referentes a la vibración en la base. Funcionamiento particular.						Pico más elevado a 4.07x (2.881 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.41 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																		
			Pico más elevado a 4.07x (1.428mm/s) referente a la estructura. Segundo pico a 14.49x (1.13mm/s) cojinete 1, funcionamiento normal.						Pico más elevado a 4.07x (3.084 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.77 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																		
			Pico más elevado a 6.51x (1.515 mm/s) referente a la estructura. A 14x (0.892 mm/s) funcionamiento normal del cojinete. Aparece un pico anormal a 39.06x (0.753 mm/s) posible						Pico elevado a 4.07x (2.787 mm/s) referente a la estructura. A 36.13x aparece un pico anormal de 1.16 mm/s, que puede ser referente a un desalineamiento.																		
			Pico más elevado a 5.05x (2.087 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.447 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.						Pico más elevado a 4.07x (1.967 mm/s) referente a la estructura. A 14.49x (1.447 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.																		
			Pico más elevado a 5.05x (2.913 mm/s) referente a la estructura. A 14.69x (1.060 mm/s) funcionamiento normal del cojinete.			Velocidad espectral  Bajas y Medias Frecuencias: eventos rotacionales y sus armónicas. (desbalanceo, desalineación, holguras, ejes doblados, etc.) Altas frecuencias (rodamientos, engranajes)																					
Conclusiones			Se observa que existen valores desde el cojinete 5 al 10 que se encuentran con una medición insatisfactoria. Además, el cojinete 10 presenta una señal de desalineamiento que requiere una inspección en campo. La medición de la vibración en la base resulta necesaria ya que son los picos predominantes en las gráficas. No existe presencia de frecuencias en zonas muy bajas como 1x, 2x o 3x que corresponden a paradas urgentes de la máquina.																								
Monitoreado por: Gabriel Romero – Miguel Merino			Analizado: Gabriel Romero – Miguel Merino				Autorizado: Ing. Edilson Zurita																				
Cargo:	Tesisista		Cargo:	Tesisista		Cargo:	Supervisor Mecánico.																				
Fecha:	18/3/2022		Fecha:	24/3/2022		Fecha:																					
Hora:	13:00		Hora:	10:00		Hora:																					