



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Análisis de confiabilidad por lognormal para reducir la vibración
mecánica en el turbogenerador de vapor de una empresa
azucarera de Ascope

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Lancunza Orbegozo, Romy Edgar (orcid.org/0000-0003-4068-2686)

Valverde Salazar, Israel Hadid (orcid.org/0000-0001-7777-3640)

ASESORA:

Mg. Serrepe Ranno, Miriam Marcela (orcid.org/0000-0001-9342-1717)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación en primer lugar a Dios, por ser nuestro guía y fortaleza en todas las circunstancias de nuestras vidas, permitiéndonos cumplir el anhelo de formarnos como Ingenieros Mecánicos Eléctricos.

A nuestros padres, por sus consejos, paciencia y esfuerzo, que nos ha permitido llegar a cumplir esta meta profesional y por inculcarnos la valentía de no temer a las adversidades porque Dios, siempre está con nosotros.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la plana docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad César Vallejo, sede Trujillo, por sus enseñanzas durante el tiempo de nuestra formación académica. Aprendiendo que la enseñanza son los cimientos de una mejor sociedad.

Agradecemos a nuestra asesora del curso de tesis, por su guía metodológica, permitiendo la mejora continua de la investigación, presentando un estudio de acuerdo a lo exigido por las normas de la universidad.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERREPE RANNO MIRIAM MARCELA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "

Análisis de confiabilidad por lognormal para reducir la vibración mecánica en el turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope", cuyos autores son LACUNZA ORBEGOZO ROMY EDGAR, VALVERDE SALAZAR ISRAEL HADID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 12 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERREPE RANNO MIRIAM MARCELA DNI: 06437594 ORCID: 0000-0001-9342-1717	Firmado electrónicamente por: SRANNOMM el 14- 12-2023 09:44:12

Código documento Trilce: TRI - 0694063



DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, LACUNZA ORBEGOZO ROMY EDGAR, VALVERDE SALAZAR ISRAEL HADID estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "

Análisis de confiabilidad por lognormal para reducir la vibración mecánica en el turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ISRAEL HADID VALVERDE SALAZAR DNI: 46941994 ORCID: 0000-0001-7777-3640	Firmado electrónicamente por: VALVERDESI el 12-12-2023 17:10:07
ROMY EDGAR LACUNZA ORBEGOZO DNI: 42542436 ORCID: 0000-0003-4068-2686	Firmado electrónicamente por: RLACUNZAO el 12-12-2023 17:08:03

Código documento Trilce: TRI - 0694061



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor	iv
Declaratoria de originalidad de los autores	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III.METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Población, muestra y muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos	12
3.6. Método de análisis de datos.....	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV.RESULTADOS.....	14
V. DISCUSIÓN	21
VI.CONCLUSIONES	26
VII.RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas e instrumento de recojo de datos de la investigación	12
Tabla 2. Vibración mecánica de los elementos del turbogenerador	14
Tabla 3. Confiabilidad operacional del turbogenerador de vapor	15
Tabla 4. Resultados de la confiabilidad en mejora	18
Tabla 5. Vibración mecánica con la implementación de la confiabilidad	19
Tabla 6. Presupuesto para el análisis de confiabilidad	20
Tabla 7. Información de vibración del turbogenerador de vapor	36
Tabla 8. Valores acumulativos de vibración mecánica	59
Tabla 9. Valores de la velocidad en turbina, reductor y generador	60
Tabla 10. Valores de la aceleración en turbina, reductor y generador	61
Tabla 11. Valores del desplazamiento en turbina, reductor y generador	62
Tabla 12. Potencia mecánica consumida en turbina, reductor y generador	63
Tabla 13. Frecuencia de fallas y TTR del turbogenerador de vapor	64
Tabla 14. Variabilidad del tiempo de reparación del turbogenerador de vapor	65
Tabla 15. Tiempo nominal y tiempo útil del generador de vapor	65
Tabla 16. MTTR y MTBF para el turbogenerador de vapor	67
Tabla 17. Tasas de mantenimiento del turbogenerador de vapor	68
Tabla 18. Confiabilidad operacional por LogNormal	70
Tabla 19. Velocidad de vibración estimada	71
Tabla 20. Aceleración de vibración estimada	72
Tabla 21. Desplazamiento de vibración estimada	73
Tabla 22. Frecuencia de fallas y TTR en mejora del turbogenerador	74
Tabla 23. Tiempo nominal y tiempo entre fallas en mejora del turbogenerador	74
Tabla 24. MTTR y MTBF en mejora del turbogenerador.	75
Tabla 25. Tasas de mantenimiento en mejora del turbogenerador de vapor	75
Tabla 26. Confiabilidad operacional en mejora del turbogenerador de vapor	76
Tabla 27. Potencia mecánica estimada en mejora del turbogenerador de vapor	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de investigación	10
Figura 2. Velocidad de vibración del turbogenerador en mejora	16
Figura 3. Aceleración de vibración del turbogenerador en mejora	17
Figura 4. Variabilidad de la confiabilidad en el tiempo del turbogenerador	18
Figura 5. Variabilidad de la frecuencia de fallas del turbogenerador	64
Figura 6. Variabilidad del tiempo de reparación del turbogenerador	65
Figura 7. Variabilidad del tiempo nominal requerido del turbogenerador	66
Figura 8. Tiempo útil de trabajo del turbogenerador de vapor	66
Figura 9. Variabilidad del tiempo medio para reparar del turbogenerador	67
Figura 10. Variabilidad del TTR del turbogenerador de vapor	68
Figura 11. Tasa de operación del mantenimiento del turbogenerador	69
Figura 12. Tasa de reparación del mantenimiento del turbogenerador	69
Figura 13. Variabilidad en el tiempo del turbogenerador de vapor	70

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo general: Evaluar el impacto del análisis de la confiabilidad para reducir la vibración mecánica en turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope. La metodología empleada fue de tipo aplicada con diseño no experimental. Los resultados encontrados indicaron que el turbogenerador de vapor, constituido por los componentes turbina, reductor y generador, tienen una velocidad de vibración de 5.880 mm/s; aceleración de 2.991 g y desplazamiento vibracional de 2.085 mm. Los cuales resultaron valores críticos, según la norma ISO 10816, donde la velocidad de vibración no debe superar los 2.5 mm/s y la aceleración 1.3 g. Asimismo, el análisis de confiabilidad por el método lognormal, determinó que la confiabilidad operacional del turbogenerador es 67.83%, con la implementación del análisis de confiabilidad, los parámetros vibratoriales mejoraron, con una velocidad de 0.849 mm/s, aceleración 0.432 g y desplazamiento 0.302 mm. Bajo estas condiciones el tiempo de reparación se redujo a 285.02 horas con 80 intervenciones de mantenimiento e incrementó el tiempo útil a 6396.98 horas. Lo cual conllevó a que la confiabilidad incremente a 86.95%. Se concluye que, la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa Casa Grande, es viable con un beneficio/costo de 26.

Palabras clave: *Análisis de confiabilidad, turbogenerador de vapor, vibración mecánica, método lognormal.*

ABSTRACT

The general objective of this study is: Evaluate the impact of reliability analysis to reduce mechanical vibration in a steam turbogenerator of an Ascope sugar company. The methodology used was applied with a non-experimental design. The results found indicated that the steam turbogenerator, composed of the turbine, reducer and generator components, has a vibration speed of 5,880 mm/s; acceleration of 2,991 g and vibratory displacement of 2,085 mm. Which were critical values, according to the ISO 10816 standard, where the vibration speed should not exceed 2.5 mm/s and the acceleration 1.3 g. Likewise, the reliability analysis by the lognormal method determined that the operational reliability of the turbogenerator is 67.83%, with the implementation of the reliability analysis the vibration parameters improved, with a speed of 0.849 mm/s, acceleration 0.432 g and displacement 0.302 mm. Under these conditions, the repair time was reduced to 285.02 hours with 80 maintenance interventions and the useful time increased to 6396.98 hours. Which led to the reliability increasing to 86.95%. It is concluded that the implementation of reliability analysis in the Casa Grande company is viable with a benefit/cost of 26.

Keywords: *Reliability analysis, steam turbogenerator, mechanical vibration, lognormal method.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad internacional, la gestión del mantenimiento industrial de activos físicos, tiene el rol más importante en el crecimiento de una empresa, donde la operatividad de los equipos en un proceso productivo, definen los costos de un producto o servicio (Rusin, 2020). Por lo cual muchas empresas, toman de manera significativa la implicancia del mantenimiento en sus equipos, para de esta manera obtener mayor confiabilidad en sus operaciones (Torre *et al.*, 2022).

En el entorno agroindustrial azucarero, la gestión del mantenimiento para incrementar la confiabilidad, tiene relevancia significativa debido a la criticidad de los equipos con los cuales se opera en cada uno de los sistemas productivos. Donde el turbogenerador de vapor es el equipo más crítico, debido a que estos son empleados para la generación de energía eléctrica, para el consumo interno de la empresa, reduciendo de esta manera los costos en compra de energía eléctrica a otras empresas distribuidoras de este servicio (Murmanski *et al.*, 2020).

En muchos estudios de mantenimiento de turbogeneradores se ha considerado a la vibración mecánica como el parámetro principal que limita la confiabilidad, reduciendo consecuentemente la disponibilidad mecánica e incrementando la mantenibilidad (Hidayat, 2021). Asimismo, la carencia de planes estratégicos para relacionar la vibración mecánica y su influencia en la confiabilidad es aún motivo de investigación, debido a que se necesita un método cuantificable que les permita relacionarse.

También, a pesar que existan normas internacionales como ADASH 10816 que establecen rangos o niveles de vibración para determinados equipos como turbogeneradoras, estos no solamente, son suficientes para solucionar los problemas de vibración mecánica, necesitando conocer también el nivel porcentual de la confiabilidad operacional. Es decir, se necesita conocer que valor de vibración corresponde a un valor porcentual de confiabilidad operacional, para de esta manera poder concluir que la gestión de mantenimiento es eficaz (Torre *et al.*, 2022).

El ingenio azucarero Casa Grande, cuenta con un turbogenerador de 12 MW, el cual produce el 80% de la energía eléctrica consumida por la empresa. No alcanzando generar mayor carga por problemas relacionados con la vibración mecánica, que provocan un recalentamiento en el sistema de transmisión, generador e inestabilidad en la turbina, limitando su operación al 60% (7,2 MW). Estos problemas conllevan a que la empresa Casa Grande dependa de Hidrandina, pagando una alta tarifa eléctrica de 10.5 \$/Kwh. Incrementando aún más estos costos cuando el turbogenerador falla en plena operación. Por lo cual se propone un análisis de la confiabilidad respecto a las fallas producto de la vibración mecánica, como solución para mejorar la operatividad del turbogenerador de vapor y reducir los costos de mantenimiento por averías que se producen en plena operación.

A consecuencia de lo descrito se plantea el siguiente **problema general**: ¿Cuál es el impacto del análisis de la confiabilidad por lognormal para reducir la vibración mecánica en turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope? Y como **problemas específicos**: ¿Cuál sería la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope? ¿Cómo implementar el análisis de confiabilidad por lognormal para el turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope? ¿Cuál es la vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope? ¿Cuál sería el beneficio/costo para implementar el análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope?

La investigación se **justificó**, por conveniencia el presente estudio busca solucionar un problema en particular, relacionado con la vibración mecánica e influencia con la confiabilidad en un turbogenerador de vapor de un ingenio azucarero. Desde la justificación teórica este estudio busca relacionar las variables confiabilidad y vibración mecánica en turbogeneradores de vapor, porque es un problema constante y relevante en el mantenimiento de estos equipos en la industria azucarera. Desde el criterio social, este estudio busca mejorar las prácticas actuales del mantenimiento en turbogeneradores, conllevando a una reducción de accidentes en las distintas tareas cuando se realiza mantenimiento por vibraciones. Desde la justificación metodológica, se creará un nuevo método para relacionar la vibración mecánica con la

confiabilidad, empleando la distribución lognormal, donde actualmente no existen estudios que relacionen dichas variables en el mantenimiento de turbogeneradores.

Como respuesta al problema general se planteó la siguiente **hipótesis general**: El impacto del análisis de la confiabilidad por lognormal permite reducir la vibración mecánica en turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope.

Como respuesta al problema, se planteó el siguiente **objetivo general**: Evaluar el impacto del análisis de la confiabilidad para reducir la vibración mecánica en turbogenerador de vapor de una empresa azucarera de Ascope. Y como **objetivos específicos**: 1) Determinar la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope. 2) Simular el análisis de confiabilidad por lognormal para el turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope. 3) Determinar la vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope. 4) Evaluar el beneficio/costo para implementar el análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope.

II. MARCO TEÓRICO

Este estudio se sustenta en los siguientes **antecedentes** como una síntesis extraída de artículos científicos nacionales e internacionales de las principales bases de datos como Scopus, Web de la Ciencia, Ciencia Direct, otros; que tienen similitud con las variables de investigación “Confiabilidad” y “Vibración mecánica” en turbogeneradores de vapor.

El investigador Katinic (2019) quien, en su investigación realizada en el sector industrial de generación de energía eléctrica por turbogeneradores de vapor, realizó un análisis numérico y experimental de vibraciones de un álabe de rotor de turbina de vapor. La metodología fue pre-experimental. La muestra es un turbogenerador de 20 MW con una velocidad de rotación de 3000 rpm. Para el análisis numérico utilizó el método modal. Asimismo, para la medición de la vibración, consistió en la utilización de un acelerómetro para cuantificar los rangos de vibración respecto a la frecuencia y desplazamiento. Se determinó que, entre las frecuencias de vibración de 750 Hz y 1500 Hz, se generan los primeros indicios de aparición de la vibración del rotor, generando en el futuro daños irreversibles a los álabes del rotor de la turbina, concluyendo que la vibración es una de las causas principales de paradas repentinas en una planta de generación eléctrica por vapor.

Para los investigadores Chen *et al.* (2019) quienes realizaron su investigación basada en un modelo de predicción de la característica vibración para equipos de mantenimiento, caso turbogenerador de vapor. La metodología empleada es aplicada con diseño experimental pura. La muestra fue una turbina de vapor de acción. El método empleado es la fusión basada en la teoría del espectro vectorial completo para extraer la característica de vibración. Los autores como resultados obtuvieron que, a la frecuencia de 1600 Hz, con una velocidad de 3000 rpm y con una medición de 1024 puntos, un desplazamiento entre -1 a 10 mm, siendo este el punto que desencadena las principales averías en la turbina. Concluyendo que un modelo de predicción permitirá establecer los tiempos correctos del mantenimiento predictivo y como solución directa a la prevención de fallas que conlleven al daño prematuro de la turbina.

Los autores De la Torre *et al.* (2022) realizaron una evaluación del comportamiento mecánico dinámico funcional de una turbina, empleando una metodología experimental. La muestra fue una turbina de vapor de 100 MW, donde se utilizó como técnica el análisis documentario y como instrumento una guía de registro, para analizar 800 datos de vibración mecánica. Los autores determinaron que uno de los factores que afecta la funcionalidad de la turbina es la vibración mecánica, la cual conlleva a causar daños en los equipos como el reductor de velocidad y generador eléctrico. Concluyendo que, para poder estudiar la vibración, es necesario estimarla en un valor numérico, para ello se debe integrar todas las variables intervinientes en su proceso.

Kaneko (2022) realizó un diseño mecánico y análisis de vibraciones de álabes de turbinas de vapor. La metodología empleada fue experimental. El autor expuso que los álabes son los elementos más relevantes de una turbina, los cuales son dañados por la vibración mecánica, conllevando a reducir la confiabilidad operacional de la turbina. Por lo consiguiente el autor predijo exactamente las características de la vibración tales como, la velocidad efectiva, aceleración y desplazamiento vibracional, encontrando los valores de 6.120 mm/s, 3.4 g y desplazamiento de 2.850 mm respectivamente. Donde mencionados valores son críticos para la operación de una turbina, para lo cual las normas internacionales de vibración como la ISO 10816 indican que, para una turbina que gira a velocidades superiores a 3000 rpm, la velocidad acumulada debe ser como máximo 2.50 mm/s y la aceleración 1.3 g. Concluyendo que la vibración mecánica afecta drásticamente la confiabilidad operacional de una turbina y esto se ve reflejado en el tiempo perdido por reparación y en los costos de mantenimiento.

Falekas *et al.* (2023) realizaron una evaluación de la condición del generador de turbina de vapor mediante señales de vibración integradas. La metodología fue experimental pura, empleando como instrumento para la recolección de datos, una ficha de registro de la técnica del análisis documental. Los autores encontraron valores críticos de vibración, en la operación de un turbogenerador de una planta industrial de generación eléctrica de 250 MW. Obteniendo 4.15 mm/s de velocidad media cuadrática, 2.9 g de aceleración y 2.410 mm/s de desplazamiento vibracional. Donde estos valores incrementan los

tiempos de reparación y reducen los tiempos útiles de operación del turbogenerador en un 40%. Concluyendo que, se debe tomar las acciones pertinentes, basado en un análisis de vibración mecánica, para mejorar la confiabilidad del turbogenerador y de esta manera aumentar la producción de energía eléctrica eficientemente.

Zhang (2023) realizó su investigación sobre el diagnóstico de fallas por vibración de turbinas de vapor. La metodología empleada por el autor fue experimental. Respecto a las técnicas e instrumentos de recojo de datos, empleó las técnicas: análisis documentario y observación, y como instrumentos: ficha de registro y ficha de observación. El autor indicó que, uno de los grandes problemas que poseen las turbinas de vapor en la industria, son las vibraciones mecánicas, las cuales reducen su vida útil y perjudican los tiempos de operación o funcionamiento de una planta de generación eléctrica, encontrando vibraciones entre los 4.50 a 5.20 mm/s, los cuales son valores drásticos para turbinas, donde las normas internacionales de vibración, como la norma ISO 2372 y UNE-EN ISO 5349-1, especifican que la velocidad de vibración acumulada en turbinas debe estar en el rango de 2 mm/s a 3 mm/s. Concluyendo que la vibración en turbinas reducen su vida útil y encarecen el proceso productivo, elevando los costos de mantenimiento y producción.

Faqih (2021) realizó un desarrollo de una aplicación para la evaluación de la confiabilidad de las vibraciones de las turbinas de vapor en plantas de producción de energía eléctrica. La metodología empleada es aplicada con diseño experimental pura. La muestra fue un turbogenerador de 670 MW. El autor encontró que el 75% de las fallas críticas que paralizan la producción del turbogenerador son las fallas por vibración, y estas se encuentran en los activos fijos como el reductor y generador eléctrico. Asimismo, el autor encontró que las consecuencias de la vibración afectan los niveles de potencia eléctrica, lo cual conduce a que la confiabilidad se reduzca a valores por debajo del 90%. Concluyendo que, la vibración mecánica es la principal causa de falla en turbogeneradores, y por lo consiguiente debe ser el principal objetivo de su mantenimiento. Por lo cual es relevante definir numéricamente la variabilidad de la confiabilidad en función de los niveles de vibración mecánica en una turbina, para considerar acciones preventivas en el mantenimiento.

Este estudio ofrece los siguientes **enfoques teóricos y conceptuales** en relación a las variables de investigación; lo cual es una síntesis de artículos científicos, libros de ingeniería mecánica eléctrica y normas de diseño de ingeniería.

La confiabilidad es un indicador clave para la gestión del mantenimiento mecánico. Se refiere a la probabilidad estadística de que un activo físico o una máquina realice un determinado trabajo en determinadas condiciones y no falle en un momento requerido durante el proceso (Jia *et al.*, 2020).

La confiabilidad operacional de un activo físico esta influenciado por los tiempos operativos del mantenimiento (tiempo operacional, tiempo en reparaciones y tiempo programado) y por la frecuencia de averías ocurridas durante la producción y durante la planificación del mantenimiento (Gonzalo, 2019).

El tiempo operativo del mantenimiento está dividido en tres tiempos fundamentales de la gestión de un activo, los cuales son: tiempo operacional, tiempo de reparaciones y tiempo programado. El tiempo operacional es el periodo durante el equipo se encuentra libre de fallas. El tiempo de reparación es el tiempo que se emplea para generar mantenibilidad al equipo. El tiempo programado es el tiempo establecido en un periodo de tiempo, donde no se suponen fallas, considerado también el tiempo meta de producción esperado en un proceso industrial (Nivedita, 2020).

La frecuencia de averías es considerada la cantidad de veces que se interviene a un equipo por problemas de mantenimiento. Asimismo, tenemos dos tipos de frecuencia: por producción y por planificación. La frecuencia ocurrida durante la producción está relacionada a la cantidad de fallas que paralizan el proceso productivo. Mientras que la frecuencia por planificación está relacionada con la cantidad de fallas que no han paralizado el proceso productivo, debido a que se han programado mediante una planificación del mantenimiento (Palomino *et al.*, 2019).

El método lognormal, es una distribución de probabilidad logarítmica normal, la cual tiene diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería de mantenimiento, principalmente para analizar la confiabilidad de un activo físico,

respecto a una o varias variables. La distribución lognormal es el resultado de un proceso que puede describirse matemáticamente como el producto de muchas variables aleatorias (Andersson, 2021).

El método lognormal en la gestión de mantenimiento industrial, busca determinar y estimar con un grado exactitud el valor de la confiabilidad en el tiempo. Para lo cual se sigue un procedimiento algorítmico, el cual se expresa en la siguiente formulación de la confiabilidad.

$$R(t) = \left[e^{-\frac{TP}{100 \cdot TMEF}} \right] * 100\% \quad (1)$$

Donde, $R(t)$ es el valor cuantificable de la confiabilidad operacional (%), $TMEF$ es el tiempo entre fallas (h/falla), la cual se calcula como la relación del tiempo operacional libre de fallas entre la frecuencia total, que viene hacer la suma de la frecuencia de por producción y planificación. Y el TP es el tiempo programado en (h/año).

$$TMEF = \frac{TOP}{f_t} = \frac{TOP}{f_{pr} + f_{pl}} \quad (2)$$

Donde, TOP es el tiempo operacional libre de fallas (h/año), f_t es la frecuencia de averías total (veces/año) y f_{pl} es la frecuencia de planificación (veces por año) y f_{pr} es la frecuencia de producción (veces/año).

La vibración mecánica es un efecto que permite cuantificar la velocidad de vibración y aceleración a la que se somete un activo físico giratorio en presencia de cargas interna o externa. Es decir, el movimiento de un sólido alrededor de su punto de estabilidad que hace que, esta energía se transfiera a otras partes, provocando así daños o fallos en el sólido (Kentpark, 2019).

La vibración mecánica está relacionada de los parámetros velocidad (amplitud y período), aceleración (fuerza oscilante, masa giratoria, periodo y variación de la velocidad de vibración), desplazamiento (axial y radial) y potencia de eje (flujo, velocidad rotacional y momento torsor) (Bukowitz, 2019).

La velocidad de vibración, es la rapidez con el cual la amplitud se desplaza de su punto de equilibrio en un determinado tiempo, en vibración de equipos rotatorios se expresa generalmente en mm/s (Wang *et al*, 2020).

La aceleración de vibración, es el cambio de rapidez en un determinado periodo. Lo cual depende de la fuerza oscilante que mantiene al activo físico fuera de su punto de equilibrio y a su vez éste está influenciado por la masa giratoria vibrante. La unidad de la aceleración de vibración para equipos giratorios principalmente se da en mm/s^2 o en unidades “g” (Hoznedl, 2022).

El desplazamiento de vibración de un elemento giratorio, se genera en tres dimensiones X, Y, Z, los ejes (Y, Z) hacen referencia al desplazamiento radial y el eje X hace referencia al desplazamiento axial (línea de acción o paralela al eje de rotación) (Rafique, 2021).

La potencia de eje, es considerada la potencia útil. En una turbina a vapor es la potencia que ingresa al sistema de reducción de velocidad, para luego ingresar al generador, y de esta manera transformarla en energía eléctrica. Este tipo de potencia depende del flujo que se inyecte de vapor, de la velocidad a la cual gira el eje de transmisión y del momento torsionante.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo **aplicada** de nivel descriptiva. Respecto a Hernández *et al.* (2018) este tipo de investigación se basa en brindar soluciones concretas o específicas a los problemas del fenómeno y utilizar leyes y teorías científicas para sustentarlo. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo resolver un problema en particular en la industria azucarera, como la mejora de la confiabilidad operativa del generador de vapor debido a fallas por vibración mecánica excesiva, para lo cual se aplicarán leyes y teorías de la ingeniería.

El diseño de investigación es **no experimental**. Baena (2019) este tipo de diseño es un principio de investigación o una base científica que no requiere manipulación deliberada de las variables de investigación. Se basa en la observación de fenómenos en un contexto real, para producir la primera solución al problema a través del análisis científico de los acontecimientos. Por lo tanto, el diseño es no experimental, ya que pretende respaldar un análisis de variables científicamente sólido. Analizando la variable independiente “confiabilidad” y la variable dependiente “vibración mecánica” para reducir los problemas de fallas asociados al mantenimiento de un turbogenerador de vapor de un ingenio azucarero.

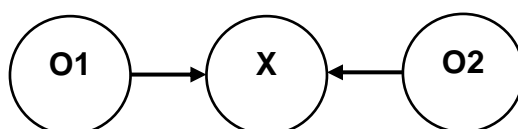


Figura 1. Diseño de investigación

Donde, O1 es la medición de la variable independiente “Confiabilidad”, O2 es la medición de la variable dependiente “vibración mecánica” y X es la influencia entre las variables.

3.2. Variables y operacionalización

El presente estudio de investigación presenta dos variables:

Variable independiente: Confiabilidad

La confiabilidad es un indicador clave para la gestión del mantenimiento mecánico. Se refiere a la probabilidad estadística de que un activo físico o una máquina realice un determinado trabajo en determinadas condiciones y no falle

en un momento requerido durante el proceso (Jia et al., 2020).

Variable dependiente: Vibración mecánica

La vibración mecánica es un efecto que permite cuantificar la velocidad de vibración y aceleración a la que se somete un activo físico giratorio en presencia de cargas interna o externa. Es decir, el movimiento de un sólido alrededor de su punto de estabilidad hace que esta energía se transfiera a otras partes, provocando así daños o fallos en el sólido (Kentpark, 2019).

Respecto a la tabla de operacionalización de variables, esta se muestra en el anexo 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población:

La presente investigación tiene como muestra 10 turbogeneradores de vapor de ingenios azucareros de la provincia de Ascope.

Criterios de inclusión:

- Turbogeneradores de vapor de generación eléctrica.
- Turbogeneradores con turbina de acción o reacción.
- Turbogeneradores con sistema de reducción de velocidad por engranajes.

Criterios de exclusión:

- Turbinas de potencia o de accionamiento de máquinas.
- Turbogeneradores en ciclos combinados.
- Turbogenerador con turbinas de multietapa.

Muestra:

Se seleccionó como muestra un turbogenerador de vapor de generación de energía eléctrica de 12 MW del ingenio azucarero Casa Grande S.A.A, de la provincia de Ascope.

Muestreo:

En la presente investigación se recurrió al muestreo por conveniencia (no aleatorio).

Unidad de análisis:

La unidad de análisis en la presente investigación, lo compone un turbogenerador de 12 MW, constituido por: turbina, sistema de reducción de velocidad y generador eléctrico.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación emplea como técnica el análisis documental y su correspondiente instrumento ficha de registro. Basado en un análisis de recolección de datos del historial de mantenimiento del turbogenerador de vapor.

Tabla 1. *Técnicas e instrumento de recojo de datos de la investigación*

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de Registro

Fuente: Elaborado por los autores

3.5. Procedimientos

El estudio presenta el siguiente procedimiento para recopilar información utilizando los instrumentos de recojo de datos.

- Se solicitó la autorización al ingenio azucarero Casa Grande S.A.A, para aplicar el instrumento de recojo de datos presentando una solicitud al departamento de mantenimiento de la planta fuerza.
- Se solicitó autorización a los ingenieros de la planta fuerza, encargados de la operación y mantenimiento del turbogenerador de vapor de 12 MW.
- Se aplicó la ficha de registro, recolectando la principal información como: números de horas trabajadas por el turbogenerador al año, tiempo empleado en reparación, tiempo útil libre de fallas, tipos de averías, cantidad o frecuencia de averías.
- En base a los datos de vibración recolectados en un periodo de 10 meses (enero – octubre 2023), se procedió a determinar los valores de vibración mecánica, tales como: velocidad efectiva, aceleración y desplazamiento. Asimismo, se determinó el valor de la potencia producida por el turbogenerador en función a la vibración mecánica. También, los valores de vibración fueron comparados con los rangos de tolerancia que indica la norma ISO 10816.

- Los niveles de vibración en relación a los tiempos de mantenimiento e intervenciones por fallas, permitió determinar la confiabilidad inicial del turbogenerador, mediante el método estadístico lognormal.
- Luego mediante un algoritmo de simulación de vibración mecánica en el software Excel, se ingresaron las condiciones de operación óptimas y las condiciones actuales a las cuales trabaja el turbogenerador, dichos datos ingresados fueron: potencia nominal, potencia operativa, velocidad de rotación nominal, velocidad de rotación de operación, tipo de sistema de transmisión de velocidad, tiempo de vida útil, tiempo de vida en operación, tiempo de reparación, confiabilidad actual y confiabilidad requerida por la empresa. De esta manera se estimaron los nuevos valores de la vibración mecánica para el turbogenerador, guiados por la norma ISO 10816.
- Finalmente, se realizó un análisis beneficio/costo, para determinar la viabilidad del proyecto en la empresa azucarera de Ascope.

3.6. Método de análisis de datos

La información recolectada por el instrumento ficha de registro, fue tabulada en tablas de frecuencia y gráficos (dispersión, círculo y barras) para un mejor manejo y presentación de los objetivos específicos. Asimismo, mediante un algoritmo de simulación de vibración mecánica en el software Excel, se determinó los niveles de velocidad y aceleración de vibración mecánica del turbogenerador de vapor. También haciendo uso de este software se procedió con el análisis de la confiabilidad por el método lognormal en relación a la vibración. Finalmente haciendo uso del software Excel se realizó un análisis de sensibilidad económico.

3.7. Aspectos éticos

Los autores de este estudio se comprometen a respetar y no permitir el plagio académico, respetando así las ideas, textos o fuentes generados por otros investigadores, obedeciendo así las normas y decisiones marcadas por la universidad. También nos comprometemos a proteger la confidencialidad de la información proporcionada por la empresa Casa Grande S.A.A, empleándola solo para el desarrollo de la presente investigación.

IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Determinar la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope.

En la tabla 2, se observa los valores acumulados de la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor del ingenio azucarero Casa Grande, respecto a los elementos que lo conforman: Turbina, reductor y generador. Los valores extraídos para el análisis fueron durante el periodo 05 de enero al 15 de octubre del 2023. Dichos datos fueron extraídos del historial de mantenimiento del turbogenerador de 12 MW, reportes que son generador por la empresa SKF, para lo cual se registraron 1000 valores de vibración, aceleración y desplazamiento de vibración, como se detalla en el anexo 2. Luego se procedió a determinar los valores acumulados estables de la vibración (anexo4), para cuantificar la media aritmética, obteniendo que la velocidad es 5.88 mm/s, la aceleración 2.991 g y desplazamiento de vibración resultante de 2.085 mm, lo cual conduce a que la potencia mecánica que puede entregar el turbogenerador sea limitada a 6.30 MW de una potencia nominal de 12 MW. Asimismo, los valores encontrados son críticos según la norma ISO 10816, quien sostiene que la velocidad de vibración no debe superar los 2.5 mm/s y la aceleración 1.3 g.

Tabla 2. *Vibración mecánica de los elementos del turbogenerador*

Variable/dimensión	Turbina	Reductor	Generador	Resultado
Dimensión 01: Velocidad de vibración (mm/s)	2.070	1.451	2.359	5.880
Dimensión 02: Aceleración de vibración (g)	1.053	0.738	1.200	2.991
Dimensión 03: Desplazamiento de vibración (mm)	0.734	0.515	0.837	2.085
Dimensión 04: Potencia de eje (MW)	5.504	3.858	6.274	6.30

Fuente: Elaborado por los autores

Objetivo específico 2: Simular el análisis de confiabilidad por lognormal para el turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope.

La tabla 3, muestra los resultados del análisis de la confiabilidad por el método lognormal, el cual es un método de probabilidad estadístico en la gestión del mantenimiento, pero que se pone a prueba por primera vez en la determinación de esta variable según las fallas por vibración mecánica. Para este análisis fue necesario la recopilación del tiempo de reparación durante 10 meses (enero – octubre 2023) obteniendo 873.66 horas de reparación por fallas de vibración mecánica, lo cual conlleva a tener 201 intervenciones de mantenimiento en el turbogenerador (anexo 9). Asimismo, se encontró que el turbogenerador tiene un tiempo planificado por parte del área de mantenimiento de 6682.00 horas al año, de las cuales solo trabajó 5808.34 horas, debido a las intervenciones por vibración (anexo 12). Estas condiciones actuales del mantenimiento del turbogenerador de la empresa Casa Grande conllevan a que la confiabilidad operacional tenga un valor crítico de 67.83% (anexo 21 y 22).

Tabla 3. *Confiabilidad operacional del turbogenerador de vapor*

Variable/dimensión	Resultado
Confiabilidad operacional del turbogenerador (%)	67.83
Dimensión 01:	
Tiempos operativos del mantenimiento	
Tiempo operacional (h/año)	5808.34
Tiempo de reparaciones (h/año)	873.66
Tiempo programado (h/año)	6682.00
Dimensión 02:	
Frecuencia durante la producción (veces/año)	201
Frecuencia de fallas planificadas o programadas (veces/año)	22

Fuente: Elaborado por los autores

Objetivo específico 3: Determinar la vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope.

En la figura 2, se observa la variabilidad de la velocidad de vibración de los elementos del turbogenerador (turbina, reductor y generador), para lo cual fue necesario emplear un algoritmo de simulación de vibración mecánica en el software Excel (anexo 33), en el cual se ingresaron los datos de vibración con sus correspondientes parámetros de operación del turbogenerador tales como: potencia nominal 12 MW, potencia operativa 6.30 MW, velocidad de rotación nominal 8000 rpm, velocidad de rotación de operación 6300 rpm, TTR actual de 873.66 horas, tiempo de vida útil 50 años, tiempo de vida en operación 20 años, confiabilidad actual 67.83% y confiabilidad requerida por la empresa 85%. Obteniendo que, bajo esas características principales, la turbina debe poseer una velocidad de vibración entre 0.152 y 0.321 mm/s, el reductor entre 0.178 y 0.244 mm/s y el generador entre los valores de 0.614 y 0.310 mm/s. Lo que conlleva a una velocidad acumulada entre 1.046 y 0.671 mm/s. Valores que resultan satisfactorios según la norma ISO 10816, donde se indica que el turbogenerador no debe superar la velocidad de 2.5 mm/s.

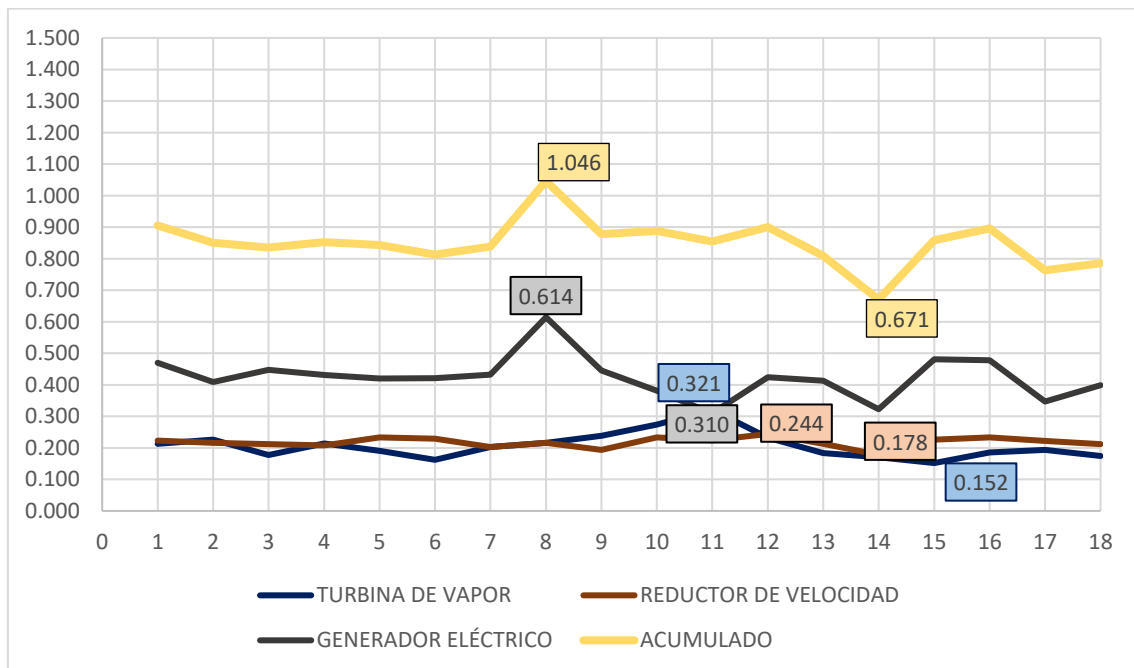


Figura 2. Velocidad de vibración del turbogenerador en mejora

En la figura 3, de la misma manera se observa, la variabilidad de la aceleración a causa de la reducción de la velocidad de vibración, obteniendo que la turbina tiene una mejora en la aceleración entre los valores de 0.163 y 0.077 g. El reductor entre 0.124 y 0.090 g y el generador entre los valores de 0.312 y 0.157 g. Resultando un acumulado entre 0.532 y 0.341 g. Valores que son aceptables por la norma ISO 10816, que indican que la aceleración para un equipo rotatorio como la turbina no debe superar el valor de 1.3 g.

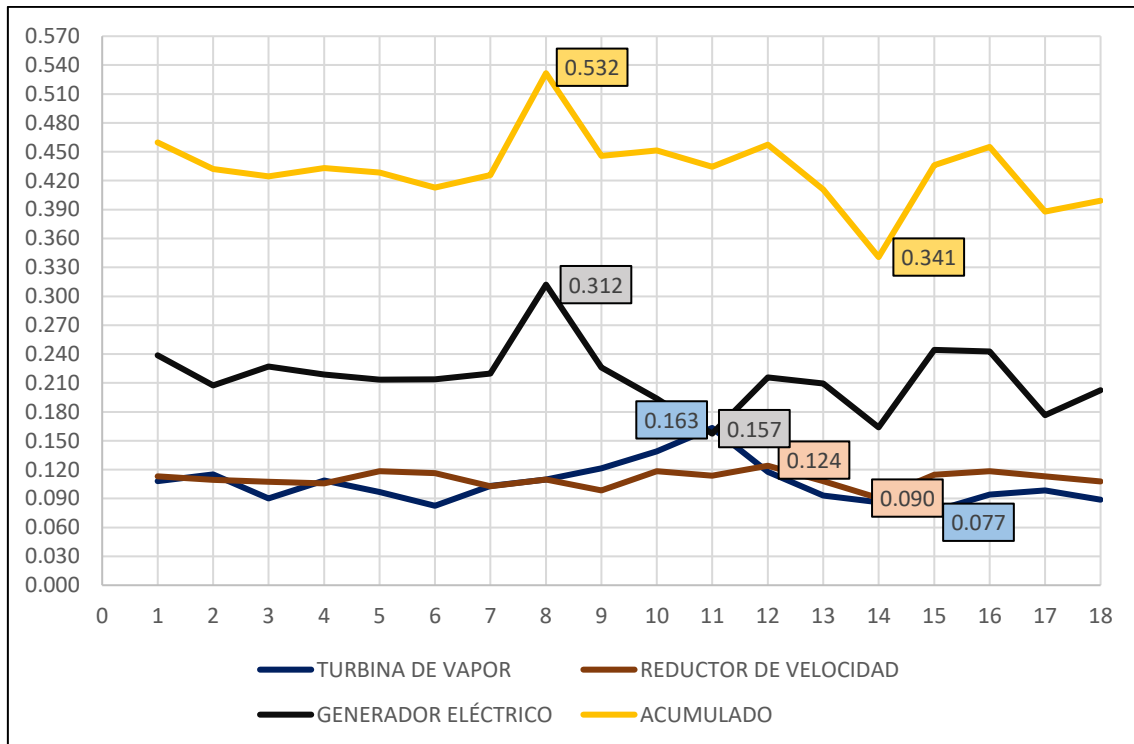


Figura 3. Aceleración de vibración del turbogenerador en mejora

Una vez determinada la vibración mecánica, se corroboró el valor de la confiabilidad para determinar si existe un impacto en su incremento, resultando que la reducción las fallas por vibración incrementan significativamente la confiabilidad operacional del turbogenerador, como se puede observar en la figura 4. Donde se observa que el mínimo valor de la confiabilidad operacional es de 90.04% y el máximo 94.93%. Valores que son aceptables por el departamento de mantenimiento de la empresa Casa Grande.

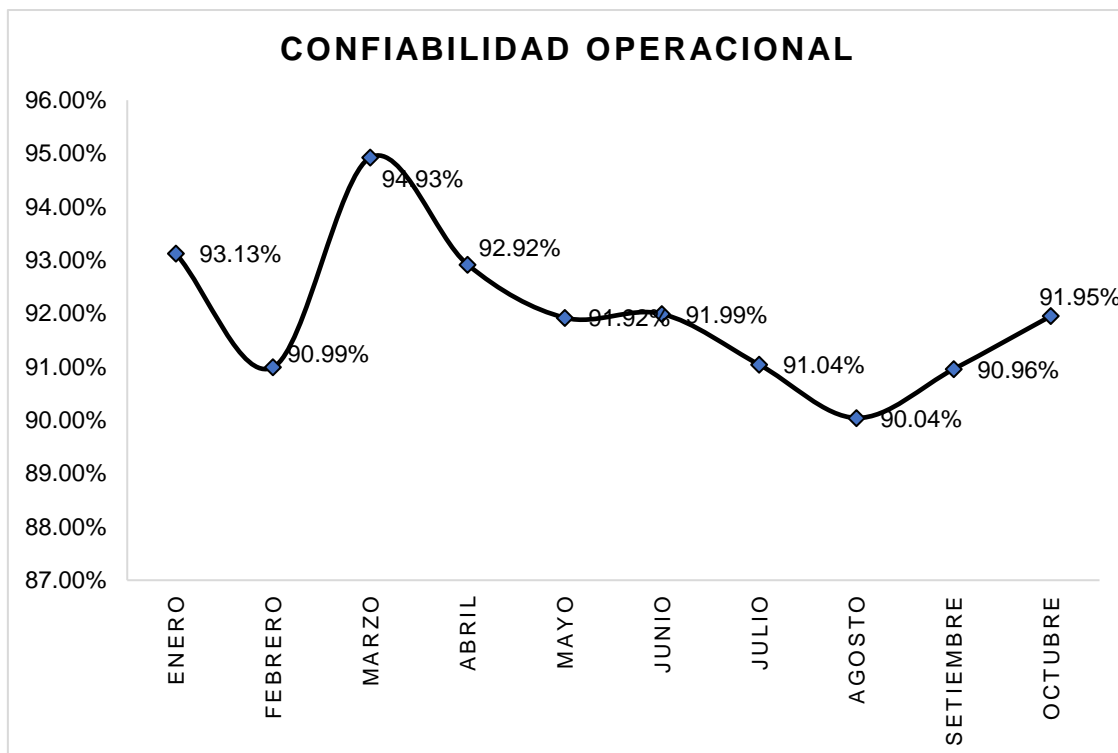


Figura 4. Variabilidad de la confiabilidad en el tiempo del turbogenerador

En la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de la confiabilidad operacional, a consecuencia de la reducción en la vibración mecánica del turbogenerador. Donde el tiempo de reparación disminuyó a 285.02 horas y la frecuencia de intervenciones a 80 veces (anexo 26). Asimismo, el tiempo programado se mantuvo constante con un valor de 6682 horas y el tiempo operacional o útil incrementó a 6396.98 horas (anexo 27), lo cual condujo a que, la confiabilidad incremente a 86.95%.

Tabla 4. Resultados de la confiabilidad en mejora

Variable/dimensión	Resultado
Confiabilidad operacional del turbogenerador (%)	86.95
Dimensión 01:	
Tiempos operativos del mantenimiento	
Tiempo operacional (h/año)	6396.98
Tiempo de reparaciones (h/año)	285.02
Tiempo programado (h/año)	6682.00
Dimensión 02:	
Frecuencia durante la producción (veces/año)	80
Frecuencia de fallas planificadas o programadas (veces/año)	22

Fuente: Elaborado por los autores

Mientras que en la tabla 5, se observa los resultados de la vibración mecánica del turbogenerador en condiciones de mejora, obteniendo una velocidad de vibración de 0.849 mm/s, aceleración de 0.432 g, desplazamiento vibracional de 0.302 mm y potencia mecánica de 9.40 MW (anexo 33). Cabe precisar que la potencia actual del turbogenerador es de 6.30 MW, resultando un incremento de 3.10 MW. Donde la potencia nominal del turbogenerador es 12 MW. También mencionar que la norma ISO 10816 indica que, para un buen funcionamiento de una máquina rotatoria como el turbogenerador de vapor, este no debe superar el valor de 2.5 mm/s y 1.3 g, respecto a la velocidad y aceleración de vibración.

Tabla 5. *Vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad.*

Parámetro	Turbina	Reductor	Generador	Resultado
Velocidad de vibración (mm/s)	0.207	0.218	0.425	0.849
Aceleración de vibración (g)	0.105	0.111	0.216	0.432
Desplazamiento de vibración (mm)	0.074	0.077	0.151	0.302
Potencia de eje (MW)	8.256	5.787	9.411	9.40

Fuente: Elaborado por los autores

Objetivo específico 4: Evaluar el beneficio/costo para implementar el análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope.

En la tabla 6, se observa que los costos en mano de obra para la aplicación del análisis de confiabilidad, representa el 43% de los gastos totales, seguido de un 34% en mantenimiento vibracional y 23% en costos operativos de equipos. Obteniendo un costo total de 163000.00 soles. También cabe mencionar que los costos mencionados, son en relación a lo que presupuesta la empresa Casa Grande en el departamento de mantenimiento.

Tabla 6. *Presupuesto para el análisis de confiabilidad*

Mantenimiento	Costo	%
Mantenimiento vibracional	55000.00	34%
Costos de mano de obra	70000.00	43%
Costos de operativos de equipos	38000.00	23%
Total	163000.00	100%

Fuente: Elaborado por los autores

El beneficio para la empresa Casa Grande, se refleja en la reducción del tiempo de reparación, siendo este de 588.64 horas (873.66 horas – 285.02 horas) (Tabla 3 y 4). Donde cada hora pérdida por fallas en el turbogenerador tiene un costo de 7200.00 soles, por lo consiguiente el beneficio total seria de 4238208.00 soles.

Por lo tanto, el beneficio costo seria:

$$B/C = 4238208.00 / 163000.00 = 26$$

Lo cual quiere decir que, por 1 sol invertido, se obtiene una utilidad de 26 soles. Lo cual indica que el estudio tiene un alto grado de viabilidad económica para la empresa Casa Grande.

V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo específico el determinar la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope, esto en base a los aportes de Kaneko (2022), Kentpark (2019) y Zhang (2023), quienes sostienen que la vibración mecánica es el principal factor que limita el funcionamiento operacional de un turbogenerador, donde la determinación de este valor debe ser relevante para un control de fallas. Asimismo, los autores también explican que la vibración mecánica es un efecto que permite cuantificar la velocidad de vibración y aceleración a la que se somete un activo físico giratorio en presencia de cargas internas o externas, perjudicando su estabilidad, provocando así daños o fallos en el sólido. Considerando esto, en la presente investigación se analizó la información recolectada, encontrando que los valores acumulados de la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor del ingenio azucarero Casa Grande, respecto a los elementos que lo conforman: Turbina, reductor y generador, son críticos. Donde los valores extraídos para el análisis fueron durante el periodo 05 de enero al 15 de octubre del 2023. Dichos datos fueron extraídos del historial de mantenimiento del turbogenerador de 12 MW, reportes que son generados por la empresa SKF, para lo cual se registraron 1000 valores de vibración, aceleración y desplazamiento de vibración. Luego se procedió a determinar los valores acumulados estables de la vibración, para cuantificar la media aritmética, obteniendo que la velocidad es 5.88 mm/s, la aceleración 2.991 g y desplazamiento de vibración resultante de 2.085 mm, lo cual conduce a que la potencia mecánica que puede entregar el turbogenerador sea limitada a 6.30 MW de una potencia nominal de 12 MW. Asimismo, los valores encontrados son críticos según la norma ISO 10816, quien sostiene que la velocidad de vibración no debe superar los 2.5 mm/s y la aceleración 1.3 g. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido por Kaneko (2022) quien realizó un diseño mecánico y análisis de vibraciones en turbinas de vapor, donde el autor predijo exactamente las características de la vibración tales como, la velocidad efectiva, aceleración y desplazamiento vibracional, encontrando los valores de 6.120 mm/s, 3.4 g y desplazamiento de 2.850 mm respectivamente. Donde mencionados valores son críticos para la operación de una turbina, para lo cual, las normas internacionales de vibración como la ISO 10816 indican que,

para una turbina que gira a velocidades superiores a 3000 rpm, la velocidad acumulada debe ser como máximo 2.50 mm/s y la aceleración 1.3 g. También son coincidentes con lo encontrado por los autores De la Torre et al. (2022), quienes realizaron una evaluación del comportamiento mecánico dinámico funcional de una turbina de vapor de 100 MW donde se analizaron 800 datos de vibración mecánica. Los autores explicaron que uno de los factores que afecta la funcionalidad de la turbina es la vibración mecánica, la cual conlleva a causar daños en los equipos como el reductor de velocidad y generador eléctrico. Con esto se evidencia que, para poder estudiar la vibración mecánica en una turbina a vapor, es relevante estimar su valor numérico, ya que es la causa principal de fallas en este equipo, tal como lo proponen Kaneko (2022), Kentpark (2019) y Zhang (2023).

Se planteó como segundo objetivo específico el simular el análisis de confiabilidad por lognormal para el turbogenerador de vapor de la empresa azucarera de Ascope, esto en base a los aportes de Faqih (2021), Chen *et al.* (2019) y Jia *et al.* (2020), explican que para el mantenimiento industrial la confiabilidad, cumple el rol más relevante para que un activo físico trabaje eficientemente libre de fallas durante la producción. Es decir, la confiabilidad se refiere a la probabilidad estadística de que un activo físico o una máquina realice un determinado trabajo en determinadas condiciones y no falle en un momento requerido durante el proceso. Considerando esto, en la presente investigación se analizó la información recolectada, mediante un análisis de la confiabilidad por el método lognormal, el cual es un método de probabilidad estadístico en la gestión del mantenimiento, pero que se pone a prueba por primera vez en la determinación de esta variable según las fallas por vibración mecánica. Para este análisis fue necesario la recopilación del tiempo de reparación durante 10 meses (enero – octubre 2023) obteniendo 873.66 horas de reparación por fallas de vibración mecánica, lo cual conllevó a tener 201 intervenciones de mantenimiento en el turbogenerador. Asimismo, se encontró que el turbogenerador tiene un tiempo planificado por parte del área de mantenimiento de 6682.00 horas al año, de las cuales solo trabajó 5808.34 horas, debido a las intervenciones por vibración. Estas condiciones actuales del mantenimiento del turbogenerador de la empresa Casa Grande conllevan a que la confiabilidad

operacional tenga un valor crítico de 67.83%. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido por Falekas *et al.* (2023) quienes realizaron una evaluación de la condición del generador de turbina de vapor mediante señales de vibración integradas. Los autores encontraron que la vibración mecánica, en la operación de un turbogenerador de una planta industrial de generación eléctrica de 250 MW, incrementa los tiempos de reparación y reducen los tiempos útiles de operación del turbogenerador en un 40%. También son coincidentes con lo encontrado por Faqih (2021), quienes desarrollaron una aplicación para la evaluación de la confiabilidad de las vibraciones de un turbogenerador de 670 MW. Encontrando que el 75% de las fallas críticas que paralizan la producción del turbogenerador son las fallas por vibración, y estas se encuentran en los activos fijos como el reductor y generador eléctrico. Asimismo, el autor encontró que las consecuencias de la vibración afectan los niveles de potencia eléctrica, lo cual conduce a que la confiabilidad se reduzca a valores por debajo del 90%. Con esto se evidencia que, la vibración mecánica es la principal causa de falla en turbogeneradores, y por lo consiguiente debe ser el principal objetivo de su mantenimiento. Por lo cual es relevante definir numéricamente la variabilidad de la confiabilidad en función de los niveles de vibración mecánica en una turbina, para considerar acciones preventivas en el mantenimiento, tal como lo proponen Faqih (2021), Chen *et al.* (2019) y Jia *et al.* (2020).

Se planteó como tercer objetivo específico el determinar la vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope, esto en base a los aportes de Katinic (2019) y Zhang (2023), quienes indican que la vibración mecánica y la confiabilidad tienen una relación significativa, donde es relevante cuantificar sus valores, para de esta manera determinar los valores críticos de la velocidad y aceleración de vibración que estén afectando a la confiabilidad operacional, y de acuerdo a ello, compararlos con los rangos de valores indicados por las normas internacionales de vibración. Considerando esto, en la presente investigación se determinó la variabilidad de la velocidad de vibración en los elementos del turbogenerador (turbina, reductor y generador), para lo cual fue necesario emplear un algoritmo de simulación de vibración mecánica en el software Excel, en el cual se ingresaron los datos de vibración con sus correspondientes parámetros de

operación del turbogenerador tales como: potencia nominal 12 MW, potencia operativa 6.30 MW, velocidad de rotación nominal 8000 rpm, velocidad de rotación de operación 6300 rpm, tiempo de reparación 873.66 horas, tiempo de vida útil 50 años, tiempo de vida en operación 20 años, confiabilidad actual 67.83% y confiabilidad requerida por la empresa 85%. Obteniendo que, bajo esas características principales, la turbina debe poseer una velocidad de vibración entre 0.152 y 0.321 mm/s, el reductor entre 0.178 y 0.244 mm/s y el generador entre los valores de 0.310 y 0.614 mm/s. Lo que conlleva a una velocidad acumulada global entre y 0.671 y 1.046 mm/s. Valores que resultan satisfactorios según la norma ISO 10816, donde se indica que el turbogenerador no debe superar la velocidad de 2.5 mm/s. De la misma manera se determinó, la variabilidad de la aceleración a causa de la reducción de la velocidad de vibración, obteniendo que la turbina tiene una mejora en la aceleración entre los valores de 0.163 y 0.077 g. El reductor entre 0.124 y 0.090 g y el generador entre los valores de 0.312 y 0.157 g. Resultando un acumulado global entre 0.532 y 0.341 g. Valores que son aceptables por la norma ISO 10816, que indican que la aceleración para un equipo rotatorio como la turbina no debe superar el valor de 1.3 g. Una vez determinada la vibración mecánica, se corroboró el valor de la confiabilidad para determinar si existe un impacto en su incremento, resultando que la reducción de las fallas por vibración incrementa significativamente la confiabilidad operacional del turbogenerador. Donde se observó que el mínimo valor de la confiabilidad operacional es de 90.04% y el máximo 94.93%. Valores que son aceptables por el departamento de mantenimiento de la empresa Casa Grande. A consecuencia, el tiempo de reparación disminuyó a 285.02 horas y la frecuencia de intervenciones a 80 veces. Asimismo, el tiempo programado se mantuvo constante con un valor de 6682 horas y el tiempo operacional o útil incrementó a 6396.98 horas, lo cual condujo a que, la confiabilidad incremente a un valor estable del 86.95%. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido por Zhang (2023), quien indicó que, uno de los grandes problemas que poseen las turbinas de vapor en la industria, son las vibraciones mecánicas, las cuales reducen su vida útil y perjudican los tiempos de operación o funcionamiento de una planta de generación eléctrica, encontrando vibraciones entre los 4.50 a 5.20 mm/s, los cuales son valores drásticos para turbinas, donde las normas internacionales de vibración, como la norma ISO 2372 y UNE-EN ISO 5349-1,

especifican que la velocidad de vibración acumulada en turbinas debe estar en el rango de 2 mm/s a 3 mm/s. Con esto se evidencia que existe una proporcionalidad directa entre la vibración mecánica y la confiabilidad operacional de un turbogenerador, tal como lo proponen Katinic (2019) y Zhang (2023).

Se planteó como cuarto objetivo específico evaluar el beneficio/costo para implementar el análisis de confiabilidad en la empresa azucarera de Ascope, esto en base a los aportes de Kaneko (2022) y Zhang (2023), quienes sostienen que la maximización de la confiabilidad operacional de una turbina, reduce drásticamente los costos de mantenimiento por horas pérdidas en plena operación. Considerando esto, en la presente investigación se realizó un análisis del beneficio/costo, donde los costos en mano de obra para la aplicación del análisis de confiabilidad, representa el 43% de los gastos totales, seguido de un 34% en mantenimiento vibracional y 23% en costos operativos de equipos. Obteniendo un costo total de 163000.00 soles. Donde los costos mencionados, son en relación a lo que presupuesta la empresa Casa Grande en el departamento de mantenimiento. De esta manera la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa Casa Grande, tiene una significativa viabilidad económica con un beneficio/costo de 26. Es decir que, por cada sol invertido en el proyecto, se tendrá 26 soles de utilidad. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido por Zhang (2023) quien, indicó que la vibración en turbinas reduce su vida útil y encarecen el proceso productivo, elevando los costos de mantenimiento y producción. También son coincidentes con lo encontrado por Kaneko (2022) quien, explicó que la vibración mecánica afecta drásticamente la confiabilidad operacional de una turbina y esto se ve reflejado en el tiempo perdido por reparación y en los costos de mantenimiento. Con esto se evidencia que la reducción de los niveles de vibración (velocidad, aceleración y desplazamiento), impacta directamente sobre los costos de mantenimiento del turbogenerador, tal como lo proponen Kaneko (2022) y Zhang (2023).

VI. CONCLUSIONES

- 1) Se determinó la vibración mecánica actual del turbogenerador de vapor, respecto a sus componentes turbina, reductor y generador, obteniendo una velocidad de vibración acumulada de 5.880 mm/s; aceleración de 2.991 g y desplazamiento vibracional de 2.085 mm. Los cuales limitan la potencia de eje a 6.30 MW. Los cuales resultaron valores críticos, según la norma ISO 10816, quien sostiene que la velocidad de vibración no debe superar los 2.5 mm/s y la aceleración 1.3 g.
- 2) La simulación del análisis de confiabilidad por el método lognormal para el turbogenerador, determinó que la confiabilidad operacional es 67.83%. Para lo cual se evaluaron 10 meses del historial de mantenimiento del turbogenerador (enero – octubre), encontrando 873.66 horas pérdidas, 201 intervenciones de mantenimiento, 6682 horas programadas y 5808.34 horas útiles.
- 3) Se determinó que la vibración mecánica del turbogenerador con la implementación del análisis de confiabilidad, respecto a la velocidad de vibración es 0.849 mm/s, aceleración 0.432 g y desplazamiento 0.302 mm. Bajo estas condiciones el tiempo de reparación se redujo a 285.02 horas con 80 intervenciones de mantenimiento e incrementó el tiempo útil a 6396.98 horas. Lo cual conllevó a que la confiabilidad incremente a 86.95%, permitiendo también que la potencia del eje aumente a 9.40 MW.
- 4) Se concluye que, la implementación del análisis de confiabilidad en la empresa Casa Grande, tiene una significativa viabilidad económica con un beneficio/costo de 26. Es decir que, por cada sol invertido en el proyecto, se tendrá 26 soles de utilidad. Para lo cual, la inversión es 163000.00 soles y el beneficio económico 4238208.00 soles.

VII. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda implementar un plan de acciones de mantenimiento, basado en un mantenimiento predictivo para la turbina, reductor y generador, que involucre todas las fallas de estos equipos, para un control eficaz de la confiabilidad.
- 2) Se recomienda capacitar al personal de mantenimiento, sobre la relevancia del análisis de la confiabilidad, respecto de los niveles de vibración del turbogenerador que involucra los equipos: turbina, reductor y generador. Donde los niveles de vibración se rijan a la norma ISO 10816, para una confiabilidad de acorde a lo que, requiere la empresa azucarera Casa Grande.
- 3) Se recomienda un análisis de los niveles de ruido, generados por la vibración por la turbina, reductor y generador, antes y después de la implementación del estudio, para medir su impacto ambiental.
- 4) Se recomienda realizar un sistema de gestión de mantenimiento al turbogenerador que permita medir los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad y mantenibilidad, los cuales son proporcionales con la confiabilidad operacional.

BIBLIOGRAFÍA

ANDERSSON, August. Mechanisms for log normal concentration distributions in the environment. Suecia: Scientific Reports, 2021. ISSN 1598-0219.

BAENA, Guillermina. Metodología de la Investigación. [ed.] 3. México: Grupo Editorial Patria, 2019. 9786077447481.

BRUEL, Kjaer. Guía completa para la medición de vibraciones. Estados Unidos, Nueva York: HBK Company, 2022. págs. 15-19.

BUKOWITZ, David. Análisis de Vibraciones en Máquinas: 15 Casos de Estudio. Segunda. Madrid: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2019. pág. 172. ISBN: 9781463568382.

CORLEY, J. Vibrational problems of large vertical pumps and motors. Saudi Arabia, Dhahran: Aramco's, 2020. ISSN: 1895-1121.

DE LA TORRE, Francisco. Evaluation of the functional dynamic mechanical behavior in 100 MW steam turbines. Cuba: Mechanical Engineering, 2022, vol. 25, no 2, p. 49-55.

EJARANO, Daniel y FLORES, Camila. Modification of the design of a centrifugal pump to reduce vibrations caused by turbulence. Ciudad Real: Taylor & Francis, 2021. ISSN: 458-120.

FAQIH, Moch. The development of a vibration reliability assessment application for power plant steam turbines to predict their failure. EMITTER International Journal of Engineering Technology, 9 (2), 268-282. 2021. <https://doi.org/10.24003/emitter.v9i2.619>

FALEKAS, G., PALAIOLOGOU, I., KARLIS, A. y ANTONINO, D. Evaluación de la condición del generador de turbina de vapor mediante señales de vibración integradas de intervalos de minutos. Grecia: IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol. 4, núm. 3, págs. 836-843, julio de 2023, doi: 10.1109/jestie.2022.3223312.

FENG, Changying y CHEN, Pang. Investigación sobre vibración de sistemas mecánicos basada en MATLAB. China: Conferencia Internacional sobre Transporte Inteligente, Energía y Potencia, (1):8, 2022.

GONZALO, Juan. La gerencia del mantenimiento. Brasil: Dimensión Empresarial, 2019. pág. 12. ISSN:127-142.

HERNÁNDEZ, Manuel. 2021. Influence of passive vibration parameters on the dynamic behavior of equipment. España: Mechanical vibration, shock and condition monitoring, 2021. pág. 15.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigación. [ed.] 4. México: McGraw-Hill, 2018. ISBN:9781456223960.

HIDAYAT, Asnawadi. Analysis of Muara Tawar CCPP Block 1 Steam. Indonesia: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021. ISSN 1757-899X.

HOZNEDL, Michal. Flow and Vibration in the Small Steam Turbine Last Stage. India: MATEC Web of Conferences, 2022. ISSN 3690-2001.

IZQUIERDO, Obando, JOSEPH Eli. Practical guide for the modernization of industrial steam turbines, through the sizing of the main equipment and systems to be intervened. Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies, 2023, vol. 3, no 1, p. 415-432.

JIA, Mingxing, ZHANG, Jialun y XU, Yuemei. Optimization Design of Industrial Water Supply Pump Station Considering the Influence of Atmospheric Temperature on Operation Cost. Shenyang, China: IEEE Access, 2020. pág. 11. ISSN: 021-304.

KANEKO, Yasumoto. Mechanical design and vibration analysis of steam turbine blades. India: In Woodhead Publishing Series in Energy: Woodhead Publishing, (2):15, 2022. ISBN 9780128243596. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824359-6.00007-X>.

KARKI, S. Effect of Mechanical Vibration in a Power House Located in the Nepal Himalaya. India: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, (1):12, 2022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1037/1/012065>.

KATINIC, Marko. Numerical and Experimental Vibration Analysis of a Steam Turbine Rotor Blade. Rusia: Technical Journal, 2021. pág. 5. ISSN: 1848-5588.

KENTPARK, S. Determination of Imbalance Problem in Electric Motor and Centrifugal Pump by Vibration Analysis. Turquía, Sakarya: Acta Physica Polonica, 2019. pág. 5. ISSN: 130-487.

LUO, Yin. Analysis of Vibration Characteristics of Centrifugal Pump Mechanical Seal under Wear and Damage Degree. China, Shenzhen: Hindawi Shock and Vibration, 2021. pág. 9. ISSN:6670-7410.

MARTIN MUÑOZ, Antonio. Study on damage to steam turbines: causes, mechanisms and prevention. 2021.

MOHAMAD, Mohd y WAN, Rahiman. Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis: A Systematic Review. Malasia: Hindawi, 2021. ISSN: 9469318.

MORA, L. 2018. Industrial maintenance planning. Lima: National University of Engineering, 2018. ISBN: 9812456342125.

MURMANSKI, Iliia. Turbine diagnostics: algorithms adaptation problems. Rusia: WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2020. ISSN 1743-3541.

NELSON, Pedro. 2020. Norma ISO 690 "Mechanical Vibration." Chile: University of Concepción, 2020.

NIVEDITA, Monika. Behavioral Analysis of Cooling Tower in Steam Turbine Power Plant using Reliability, Availability, Maintainability and Dependability Investigation. India: Engineering Science and Technology Review, 2020. ISSN 191-198.

NONNA, Taleb. Vibration analysis of rotating machines for an optimal preventive maintenance. China: Mining Science, (1):8, 2021.

NOROÑA, Bryan. 2020. Parameterization of a pump operating as a turbine: creation of the mathematical model for loss analysis using python. Girona: Reed-Elsevier, 2020. ISSN 489-662.

PALOMINO, Valles. TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the

Construction Sector. Lima: Sciences & Engineering IOP Publishing, 2019. pág. 11. ISSN 1757-8981.

PARDO, Amparo. Análisis de vibraciones en cojinetes y trabajos de mantenimiento correctivo para acometer solución y mejorar fiabilidad de una turbina. 2020.

PÉREZ, Carlos. Maintenance management and indicator calculation tools. Lima: National University of Piura, 2021. ISBN: 5678410XX.

PRAVIN, Singh. Research on the effect of mechanical vibration on mild steel welding pools. India: Manufacturing, (1):13, 2020.

RAFIQUE, Yasir. Energy Efficient Strategy Development of Steam Turbine through Vibration Reduction Using ANN and SVM Approaches. Pakistan: International Conference on Energy, 2021. ISSN 21012065.

ROJAS, Jhan; NIETO, Zulmary; VERGEL, Mawency. Efficiency and vibration model in turbogenerator machine. Colombian Magazine of Advanced Technologies, 2020, vol. 1, no 35 (2020), p. 101-114.

RUSIN, Tomala. Steam turbine maintenance planning based on forecasting of life consumption processes and risk analysis. Polonia: E.N. Maintenance and Reliability, 2022. ISSN 395–406.

SOLUCIONES difusas interactivas para problemas de vibraciones mecánicas por Sánchez Daniel [et al]. Chile: Modelado Matemático Aplicado, (1):17, 2021.

SOTO, Manuel. Industrial maintenance. Lima: National University of Engineering, 2020. ISBN: 5298765558431.

TORRE, Francisco. 100 MW's evaluation of the mechanical dynamic functional behavior in steam turbines. Chile: Centro de Estudios en Ingeniería de mantenimiento, CEIM, 2022. ISSN 1815-5944.

VIDOSIC, Joseph. *Machine Design Projects*. New York: The Ronald Press, 2021. ISBN: 958758612342.

WANG, Jianguo. Online Bearing Clearance Monitoring Based on an Accurate Vibration Analysis. China: Energies, 2020. ISSN 1302-0389.

YUDHO, Eduardo. A stable neuro-controller in real time to reduce the energy consumption in a centrifugal pump when faced with disturbances. Almería: Wiley-Blackwell, 2022. ISSN 368-8952.

ZHANG, Jifan. Investigación sobre Diagnóstico de Fallas por Vibraciones de Turbinas de Vapor Basado en Árbol de Equipos. En Journal of Physics: Serie de conferencias. Publicaciones IOP, 2023. pág. 012029.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Variable independiente: Confiabilidad	La confiabilidad es un indicador clave para la gestión del mantenimiento mecánico. Se refiere a la probabilidad estadística de que un activo físico o una máquina realice un determinado trabajo en determinadas condiciones y no falle en un momento requerido durante el proceso (Jia <i>et al.</i> , 2020).	La confiabilidad operacional de un activo físico esta influenciado por los tiempos operativos del mantenimiento (tiempo operacional, tiempo en reparaciones y tiempo programado) y por la frecuencia de averías ocurridas durante la producción y durante la planificación del mantenimiento (Gonzalo, 2019).	Tiempos operativos del mantenimiento	Tiempo operacional (h/año)	De Razón
				Tiempo de reparaciones (h/año)	
				Tiempo programado (h/año)	
			Frecuencia de averías del mantenimiento	Frecuencia durante la producción (veces/año)	
Frecuencia de fallas planificadas o programadas (veces/año)					
Variable dependiente: Vibración mecánica	La vibración mecánica es un efecto que permite cuantificar la velocidad de vibración y aceleración a la que se somete un activo físico giratorio en presencia de cargas interna o externa. Es decir, el movimiento de un sólido alrededor de su punto de estabilidad hace que esta energía se transfiera a otras partes, provocando así daños o fallos en el sólido (Kentpark, 2019).	La vibración mecánica está relacionada de los parámetros velocidad (amplitud y período), aceleración (fuerza oscilante, masa giratoria, periodo y variación de la velocidad de vibración), desplazamiento (axial y radial) y potencia de eje (flujo, velocidad rotacional y momento torsor) (Bukowitz, 2019).	Velocidad de vibración	Amplitud de onda (mm)	De Razón
				Período de vibración (s)	
			Aceleración de vibración	Fuerza de oscilación para la amplitud (N)	
				Masa del activo que vibra (Kg)	
				Período de vibración (s)	
				Intervalos de variación de la velocidad de vibración (mm/s)	
			Desplazamiento de vibración	Vibración axial (mm)	
				Vibración radial (mm)	
			Potencia de eje	Flujo de vapor (Kg/s)	
				Velocidad de rotación (rad/s)	
Momento torsionante (N.m)					

Anexo 2. Instrumento de recolección de datos

Ficha de registro para la variable confiabilidad

INGENIO AZUCARERO: Empresa Casa Grande de la provincia de Ascope																							
ACTIVO FÍSICO: Turbogenerador de vapor de 12 MW de generación de energía eléctrica																							
ÁREA DE TRABAJO: Planta Fuerza																							
MODELO: 12 TGM Proveedor brasileño																							
VELOCIDAD DE ROTACIÓN: 6500 rpm (680.7 rad/s)																							
FLUJO DE VAPOR: 18 Kg/s																							
PARÁMETROS DE PRESIÓN TEMPERATURA DE INGRESO AL TURBOGENERADOR: 40 bar @ / 540 °C.																							
PARÁMETROS DE PRESIÓN TEMPERATURA DE SALIDA DEL TURBOGENERADOR: 1.5 bar @ / 200 °C.																							
ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	MUESTRA																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	Tiempos operativos del mantenimiento	Tiempo operacional (h/año)																					
		Tiempo de reparaciones (h/año)																					
		Tiempo programado (h/año)																					
2	Frecuencia de averías del mantenimiento	Frecuencia durante la producción (veces/año)																					
		Frecuencia de fallas planificadas o programadas (veces/año)																					

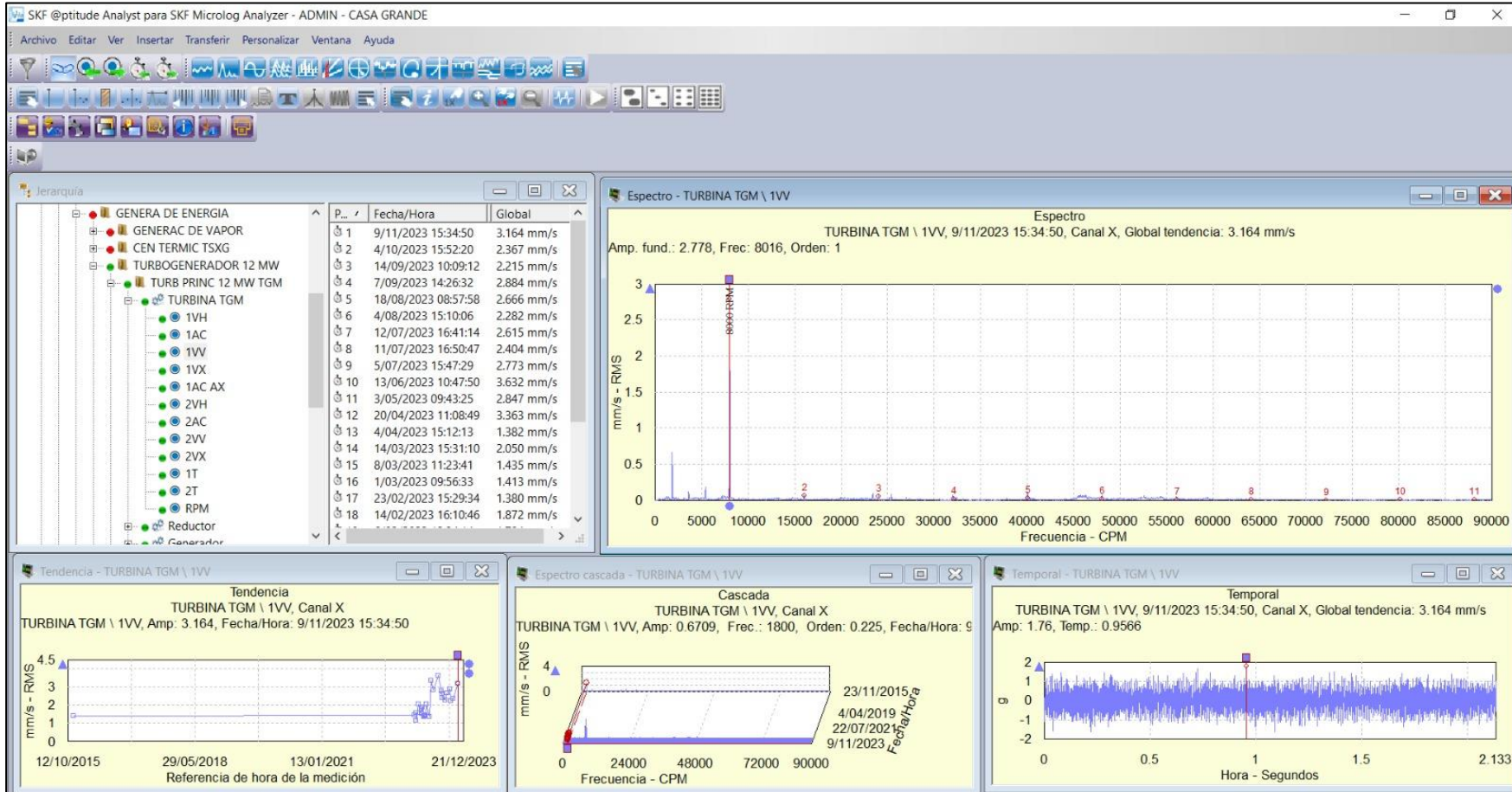
Ficha de registro para la variable vibración mecánica

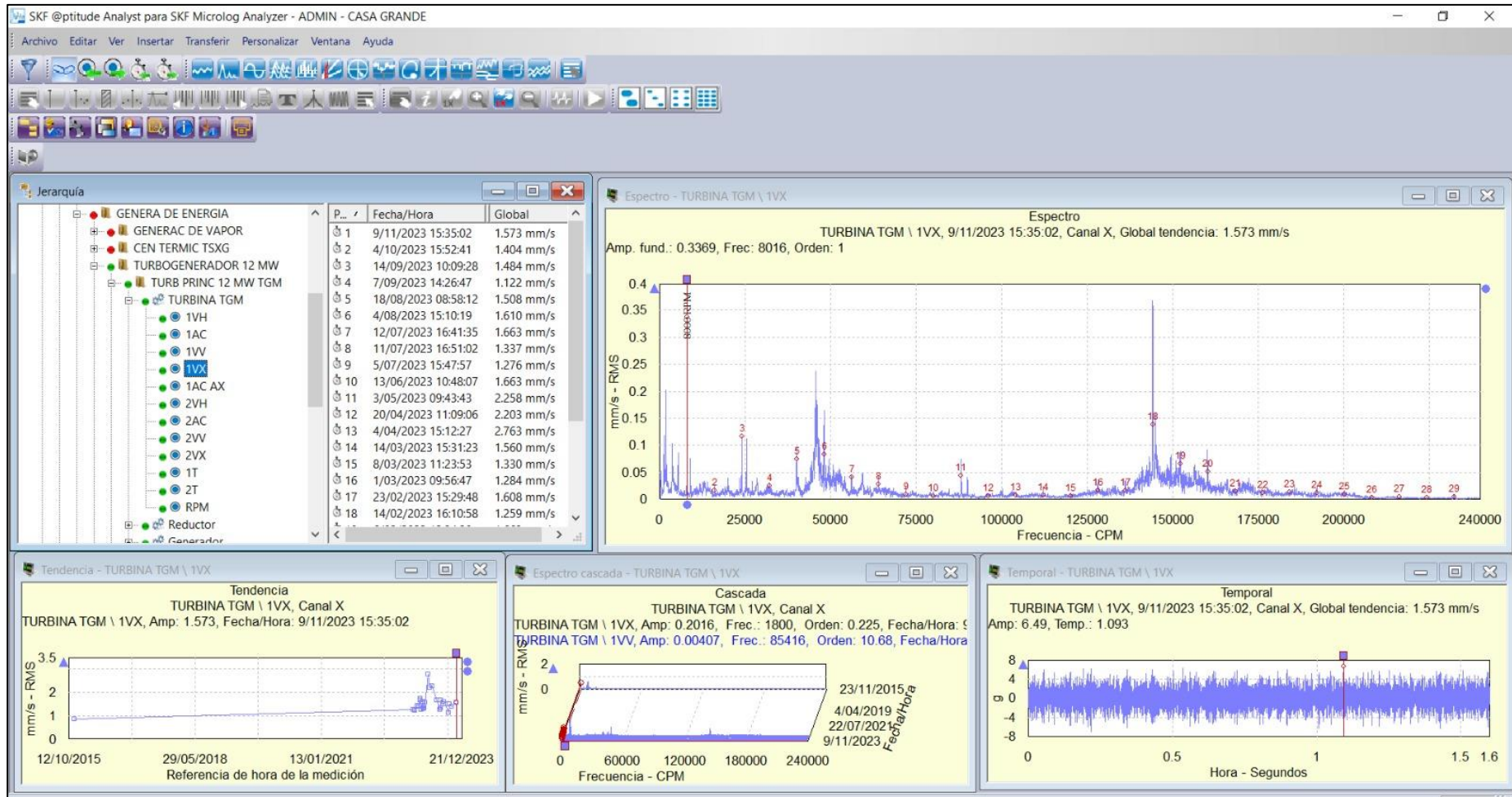
INGENIO AZUCARERO: Empresa Casa Grande de la provincia de Ascope																							
ACTIVO FÍSICO: Turbogenerador de vapor de 12 MW de generación de energía eléctrica																							
ÁREA DE TRABAJO: Planta Fuerza																							
MODELO: 12 TGM Proveedor brasileño																							
VELOCIDAD DE ROTACIÓN: 6500 rpm (680.7 rad/s)																							
FLUJO DE VAPOR: 18 Kg/s																							
PARÁMETROS DE PRESIÓN TEMPERATURA DE INGRESO AL TURBOGENERADOR: 40 bar @ / 540 °C.																							
PARÁMETROS DE PRESIÓN TEMPERATURA DE SALIDA DEL TURBOGENERADOR: 1.5 bar @ / 200 °C.																							
ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	MUESTRA																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	Velocidad de vibración	Amplitud de onda (mm)																					
		Período de vibración (s)																					
2	Aceleración de vibración	Fuerza de oscilación para la amplitud (N)																					
		Masa del activo que vibra (Kg)																					
		Período de vibración (s)																					
		Intervalos de variación de la velocidad de vibración (mm/s)																					
3	Desplazamiento de vibración	Vibración axial (mm)																					
		Vibración radial (mm)																					
4	Potencia de eje	Flujo de vapor (Kg/s)																					
		Velocidad de rotación (rad/s)																					
		Momento torsionante (N.m)																					

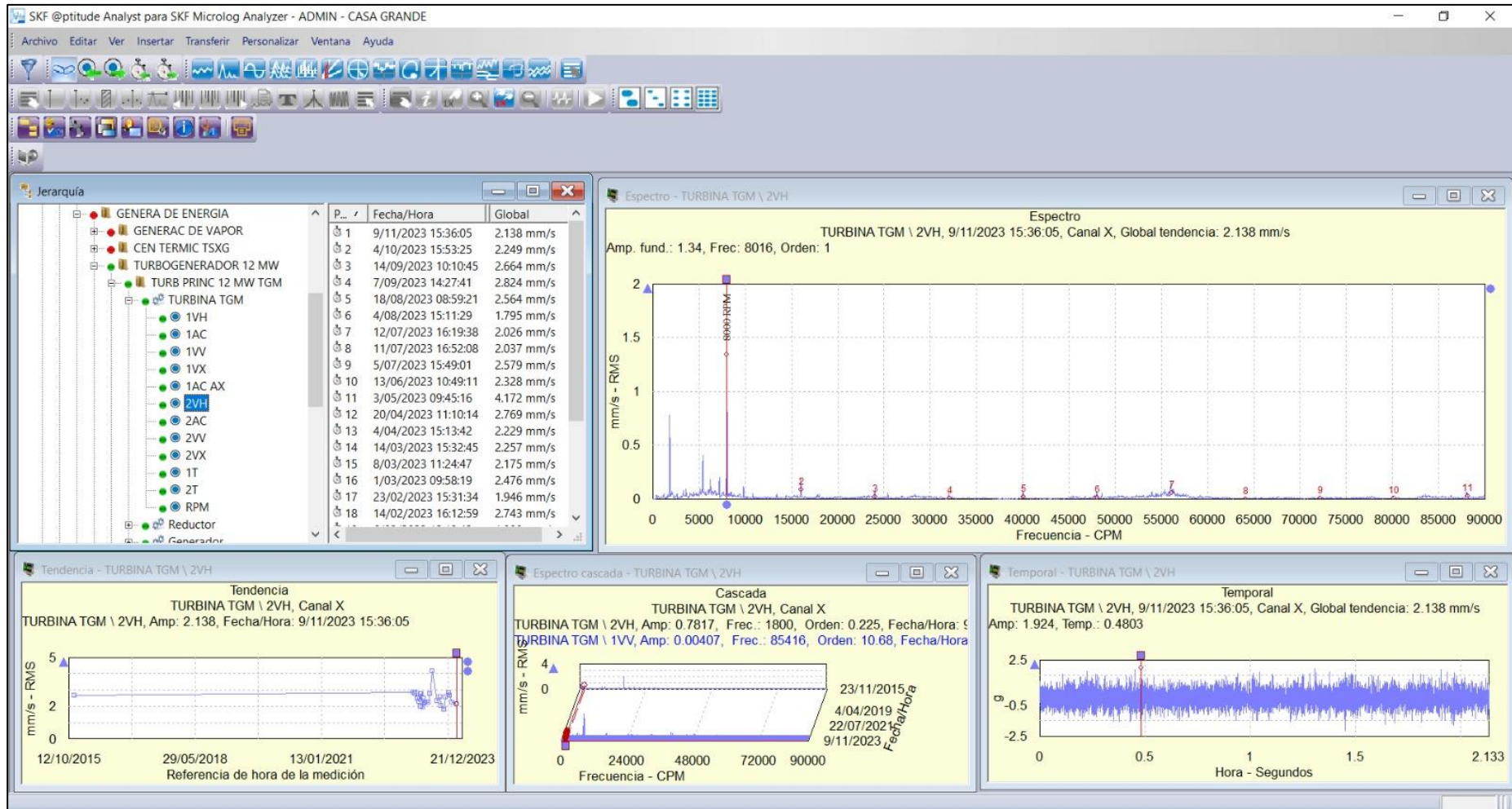
Anexo 3.

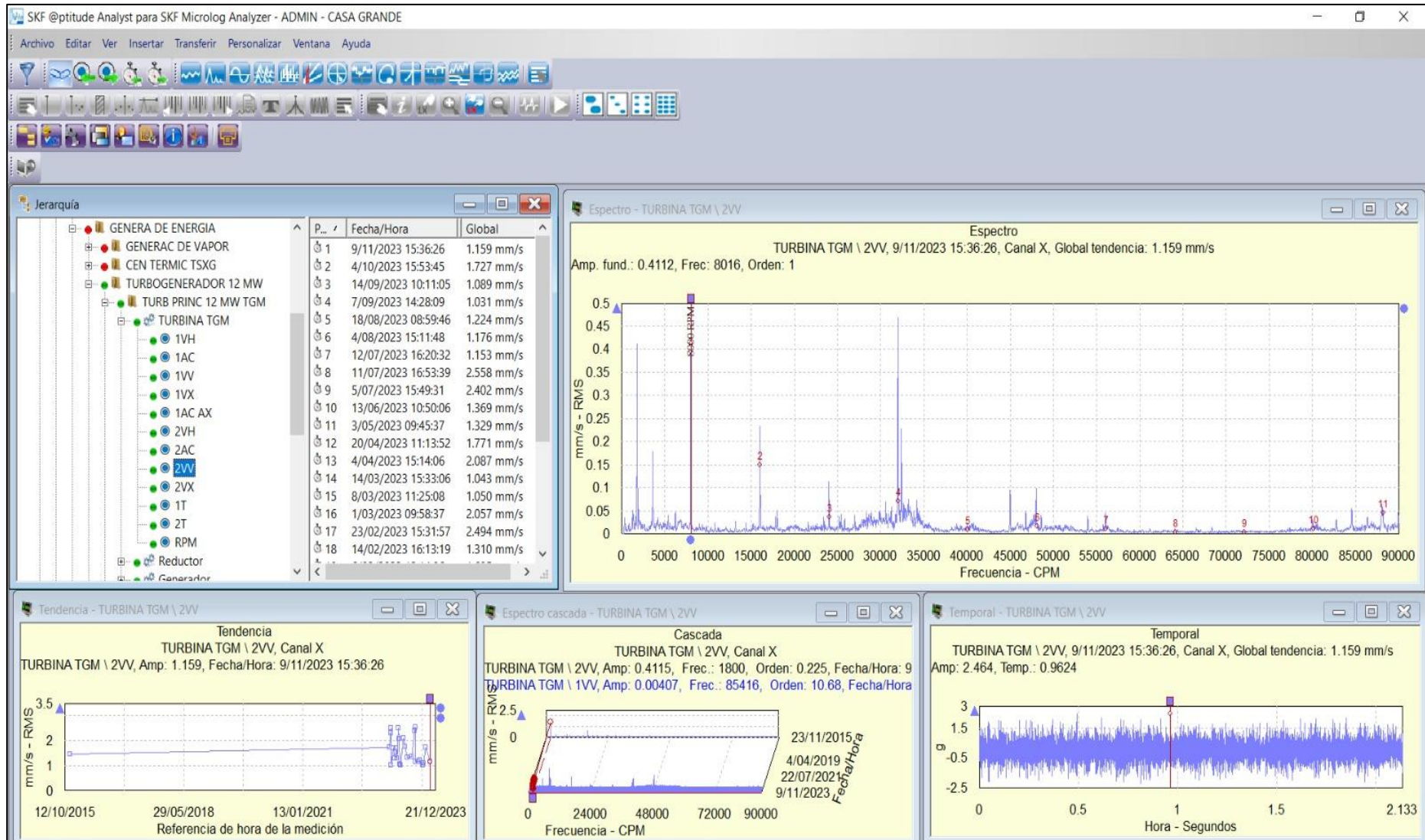
Tabla 7. Información de vibración del turbogenerador de vapor

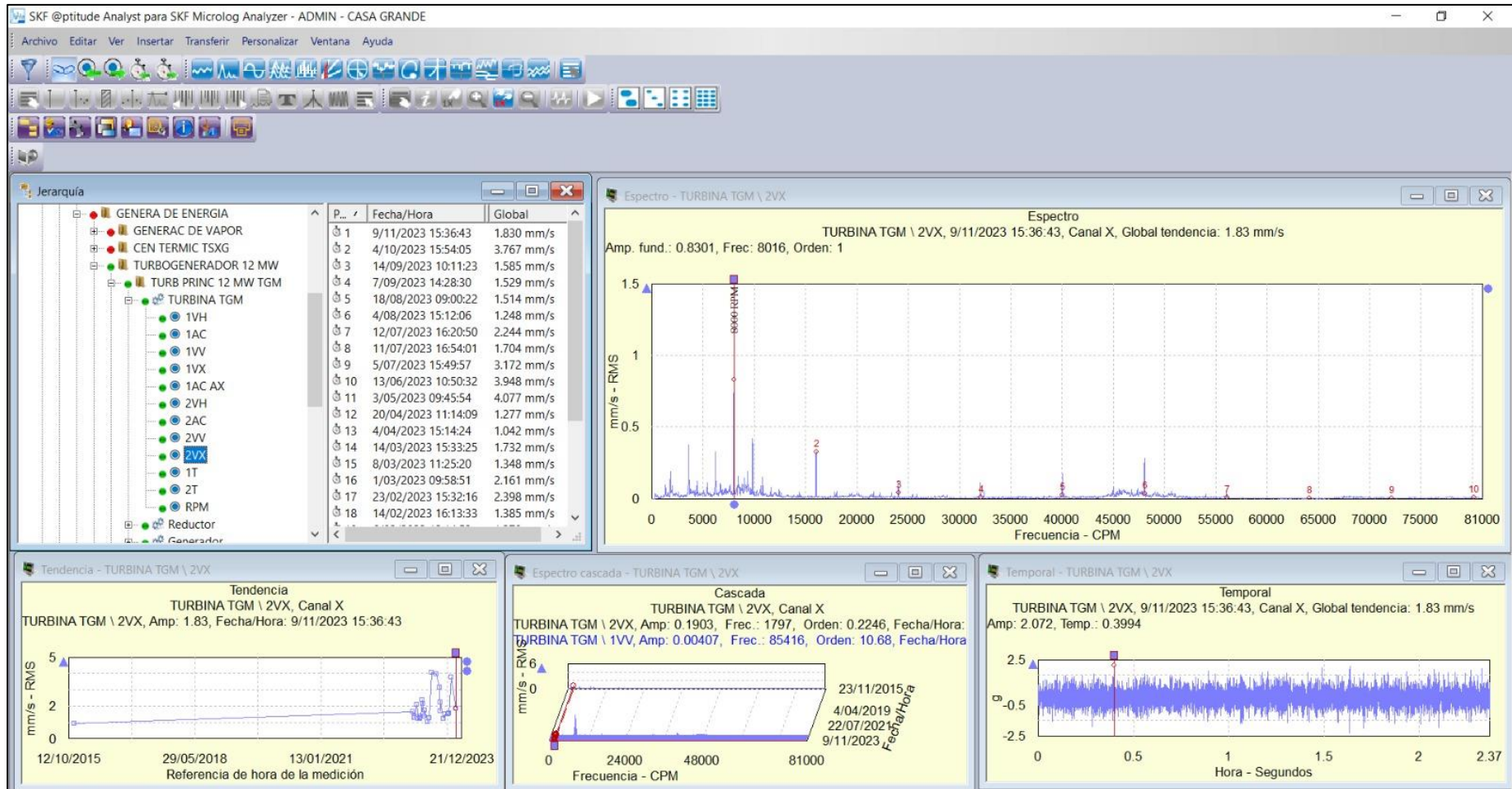
Vibración en turbina



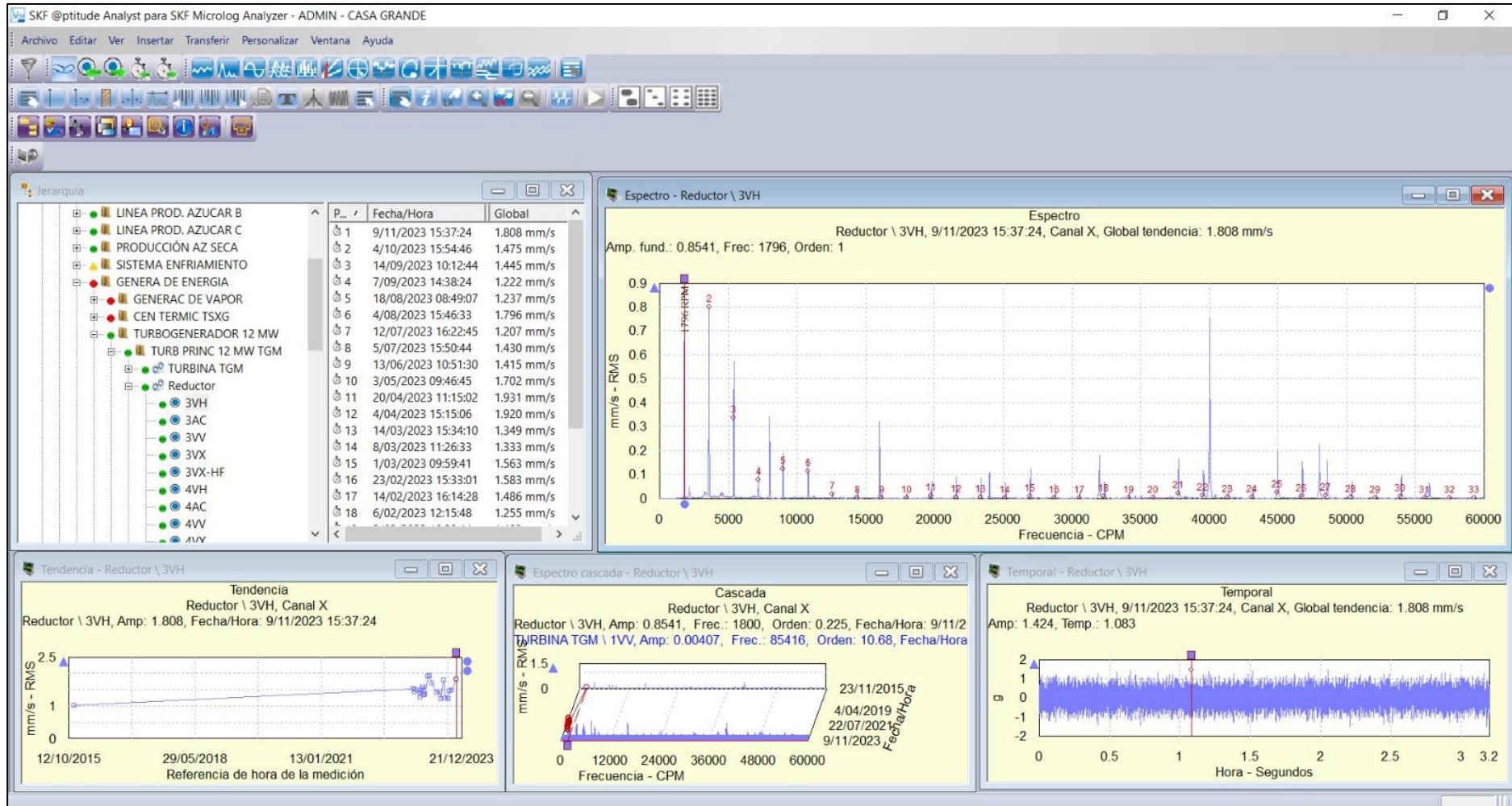


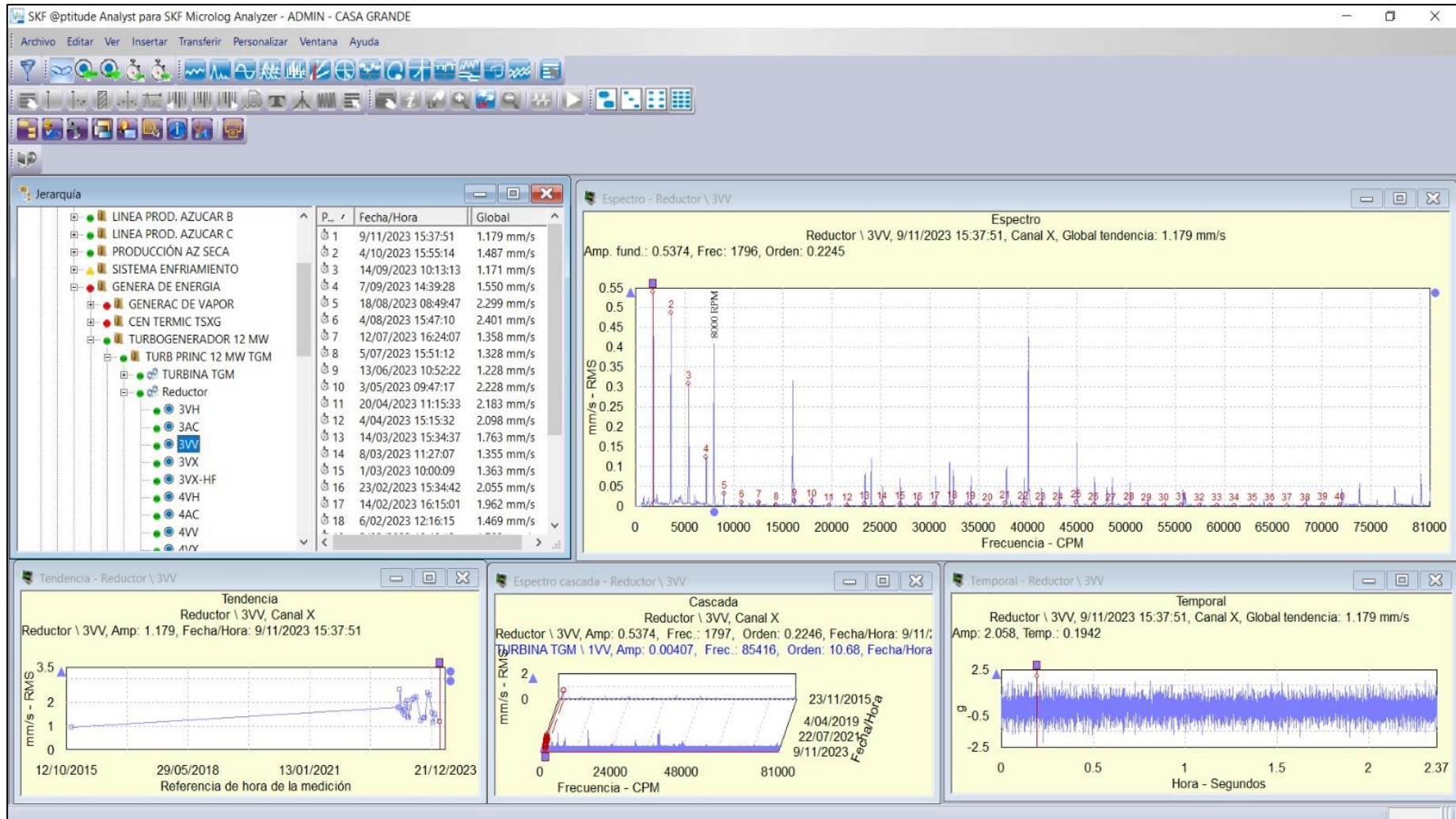


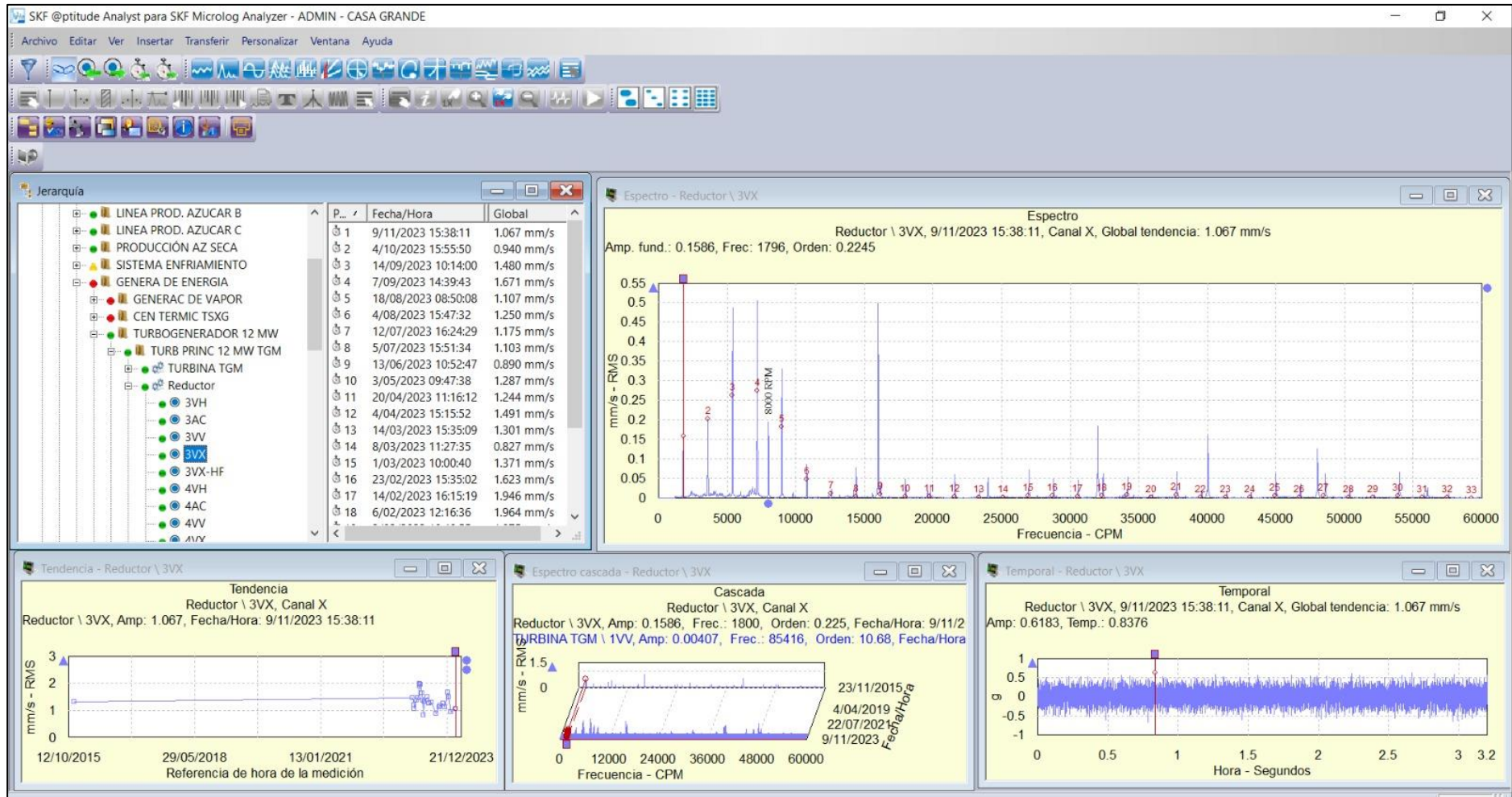


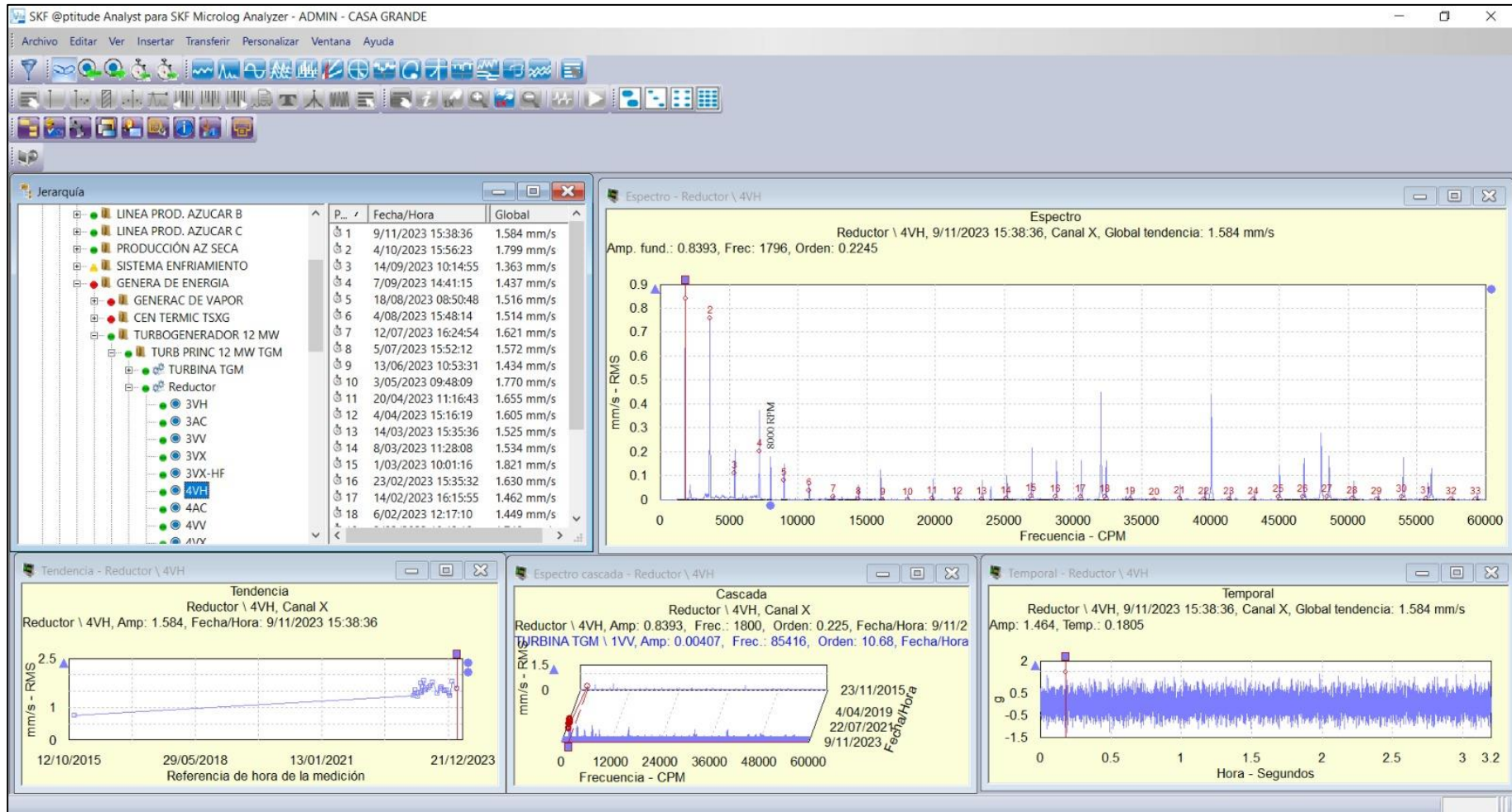


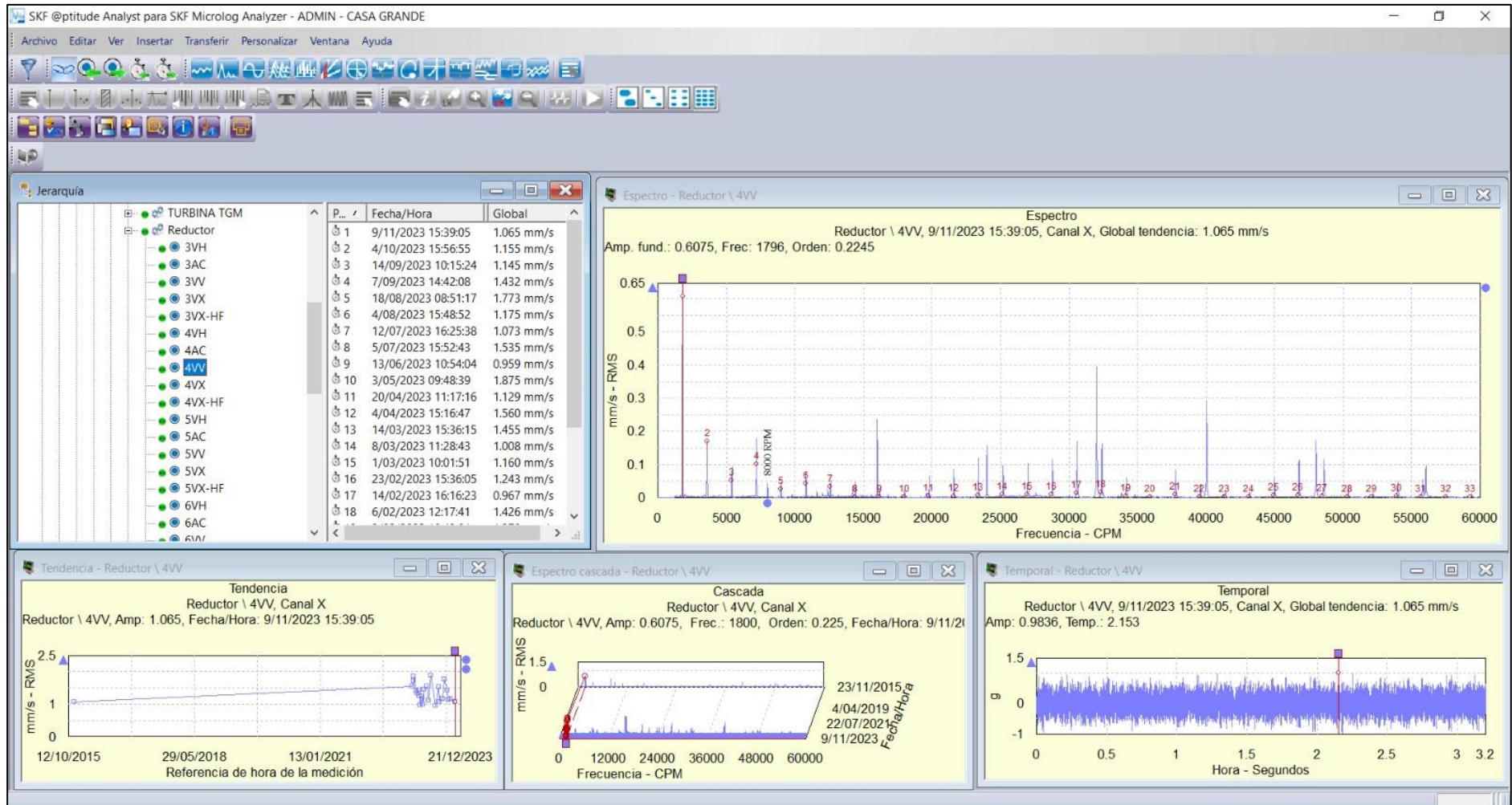
Vibración en reductor de velocidad

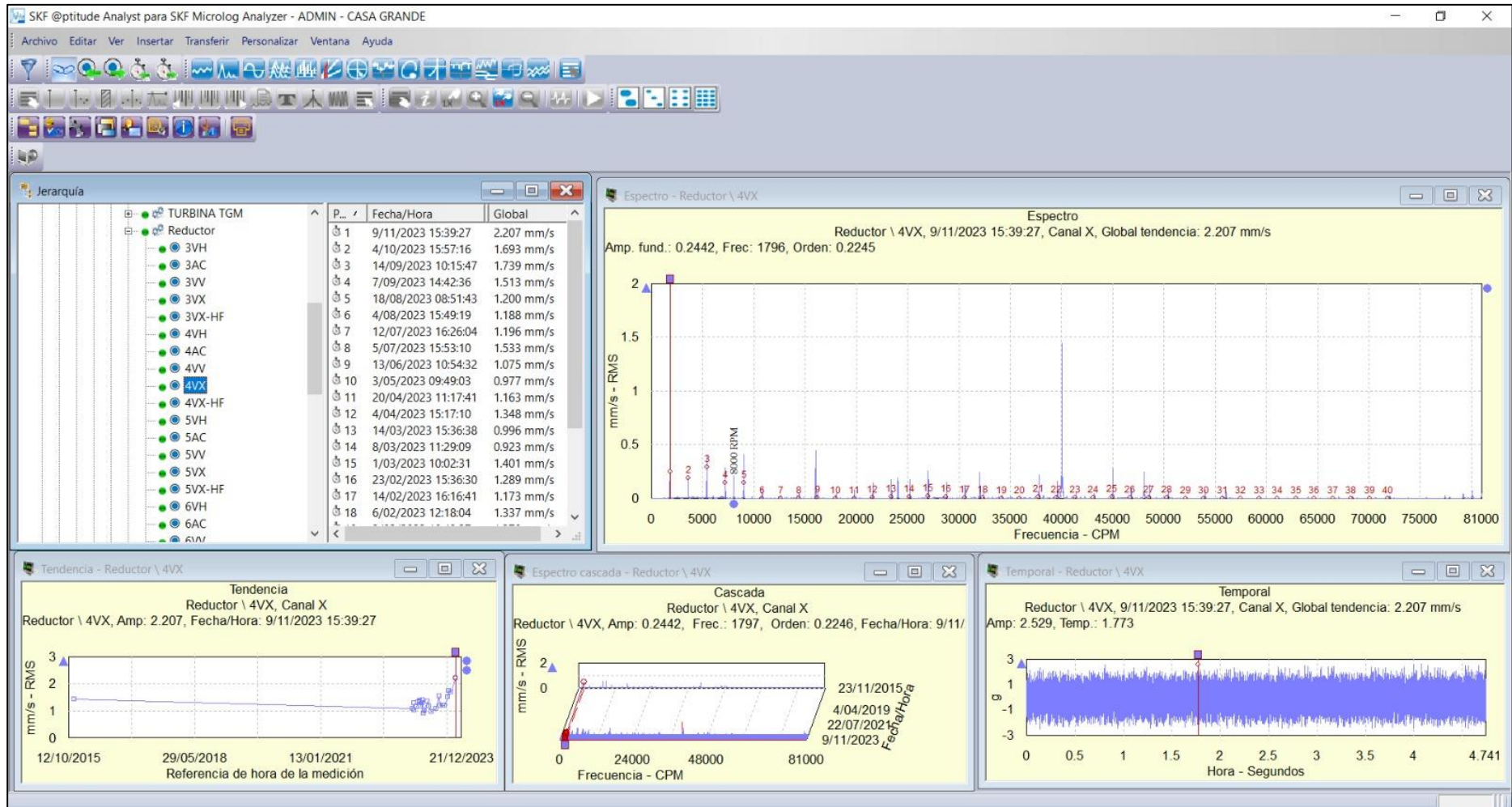


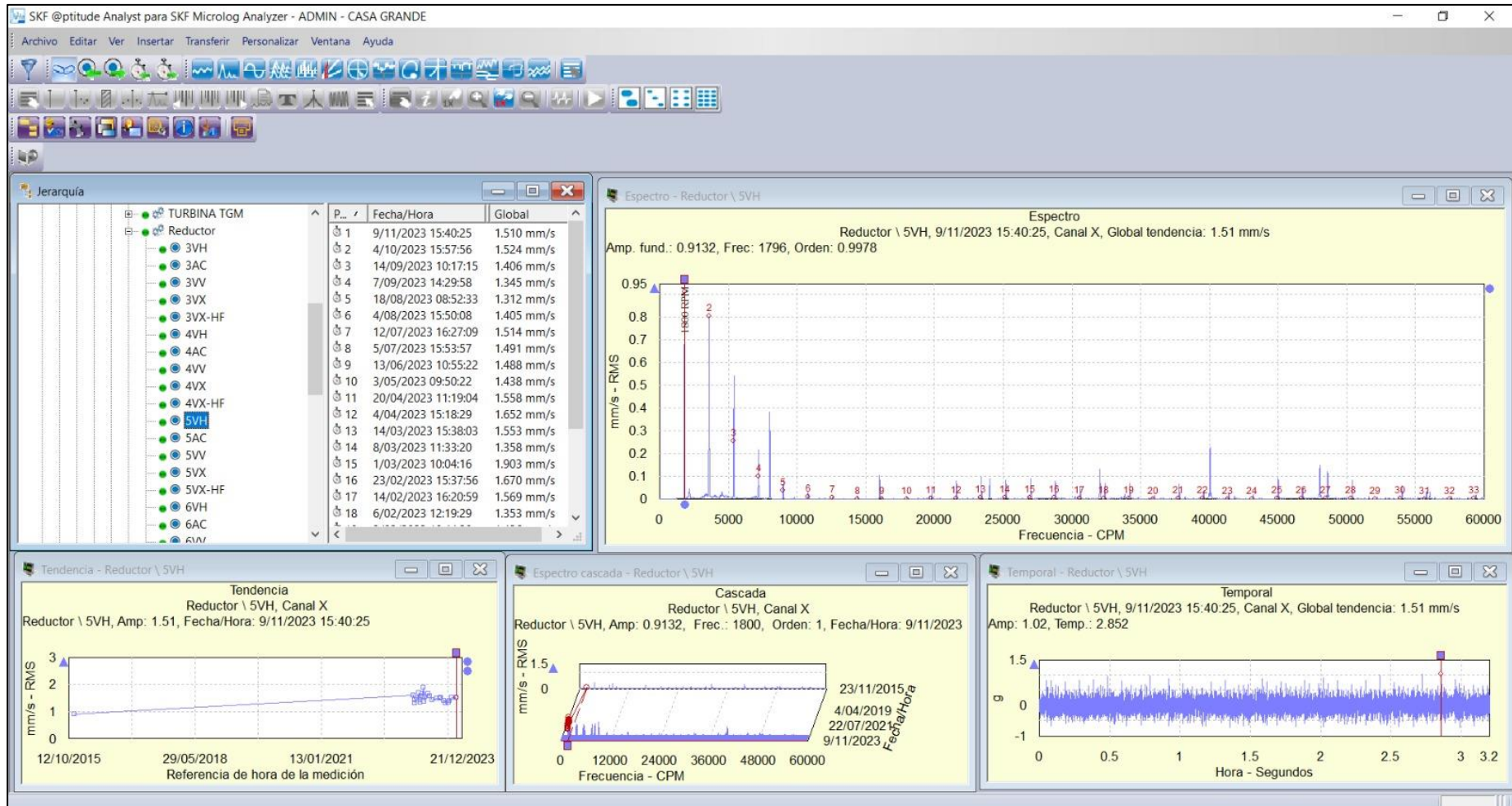


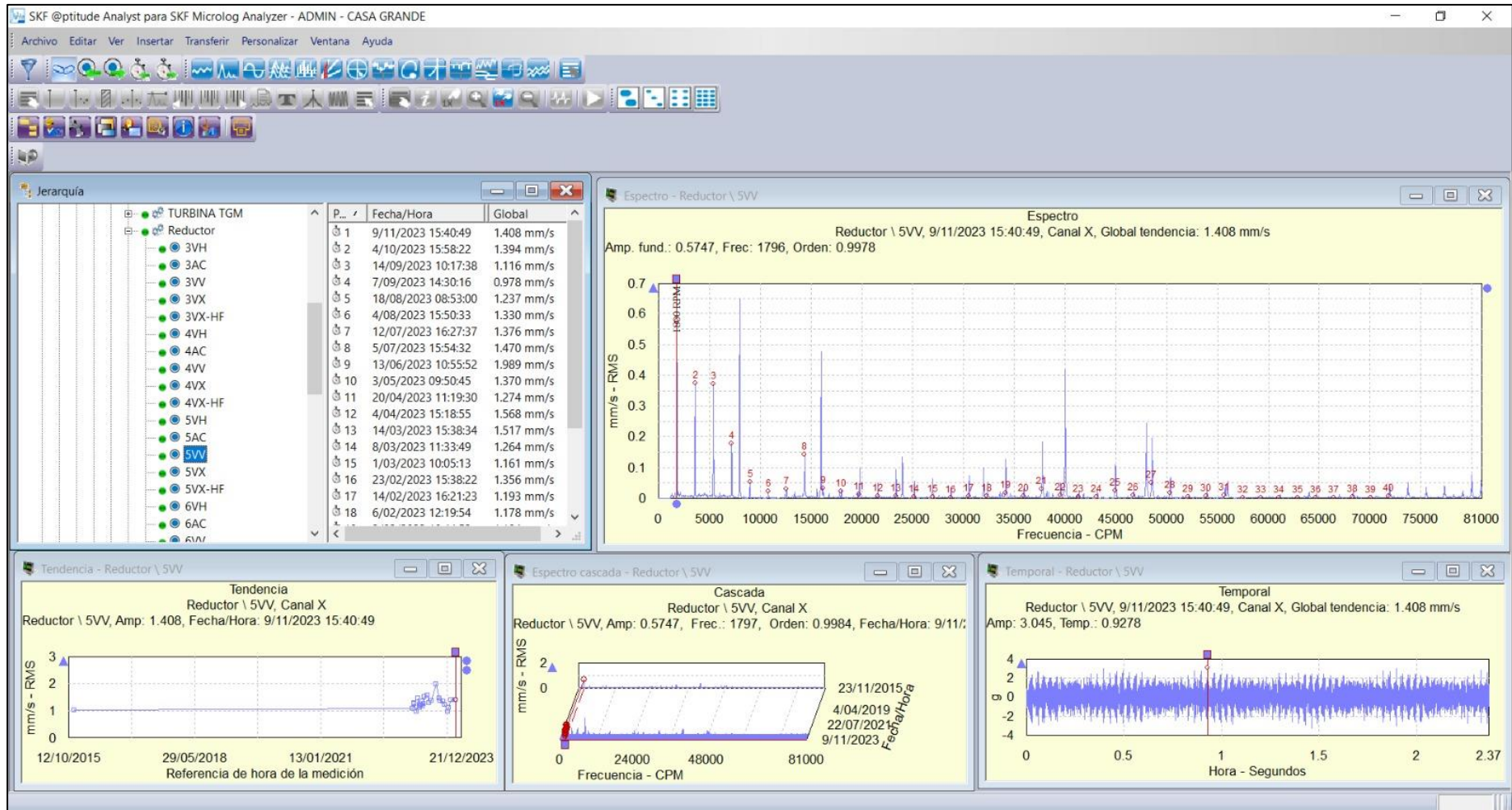


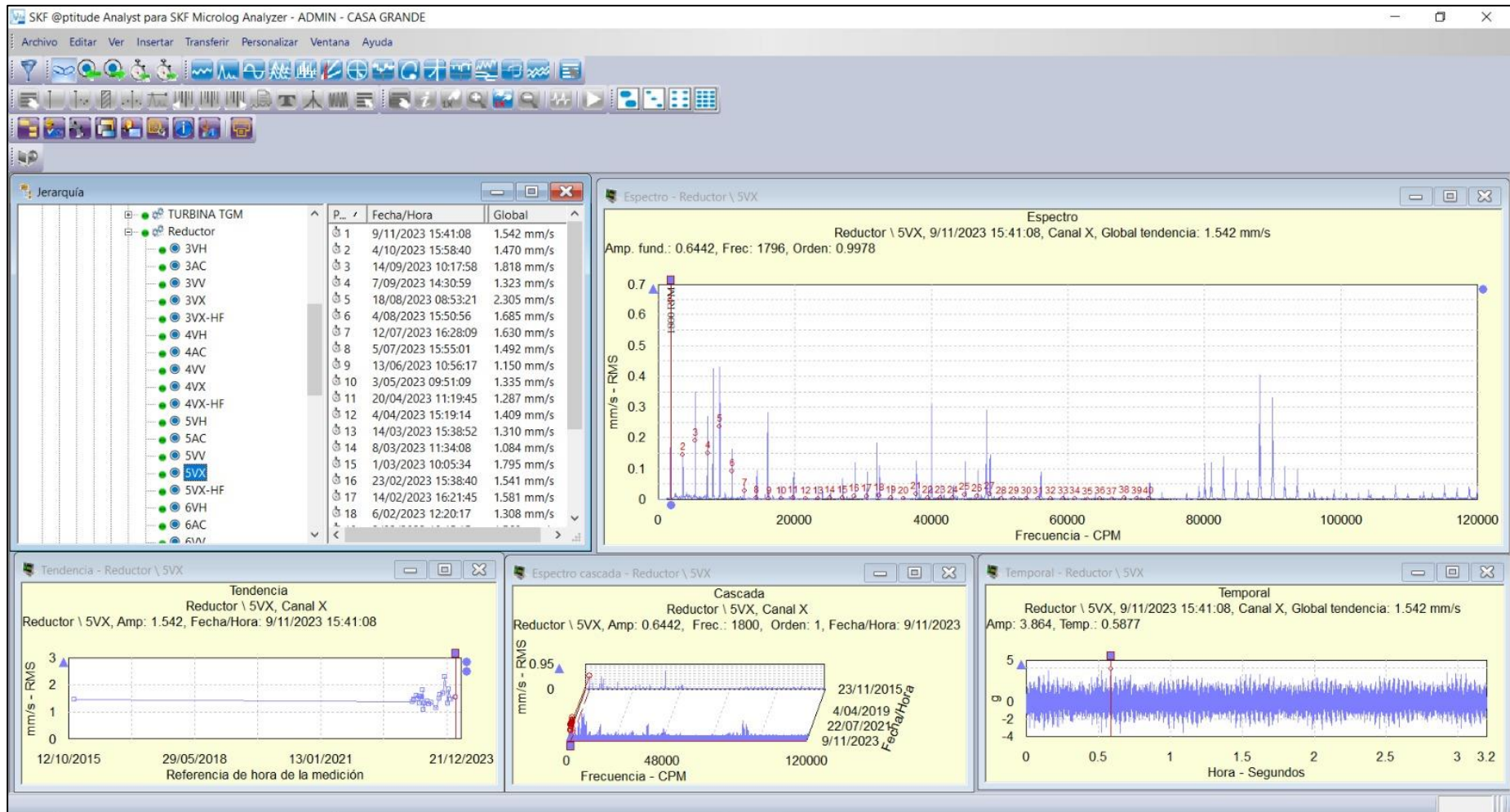


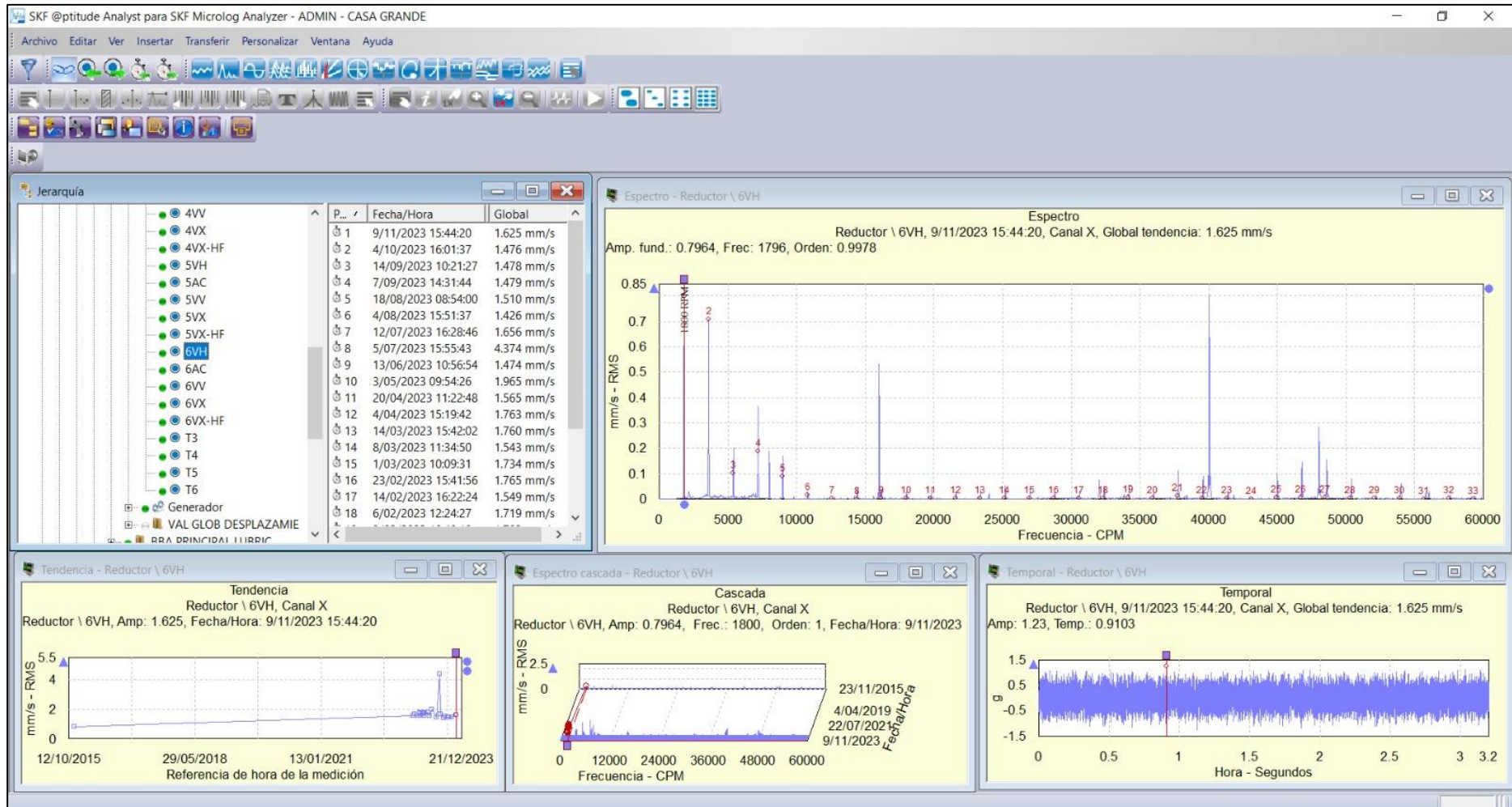


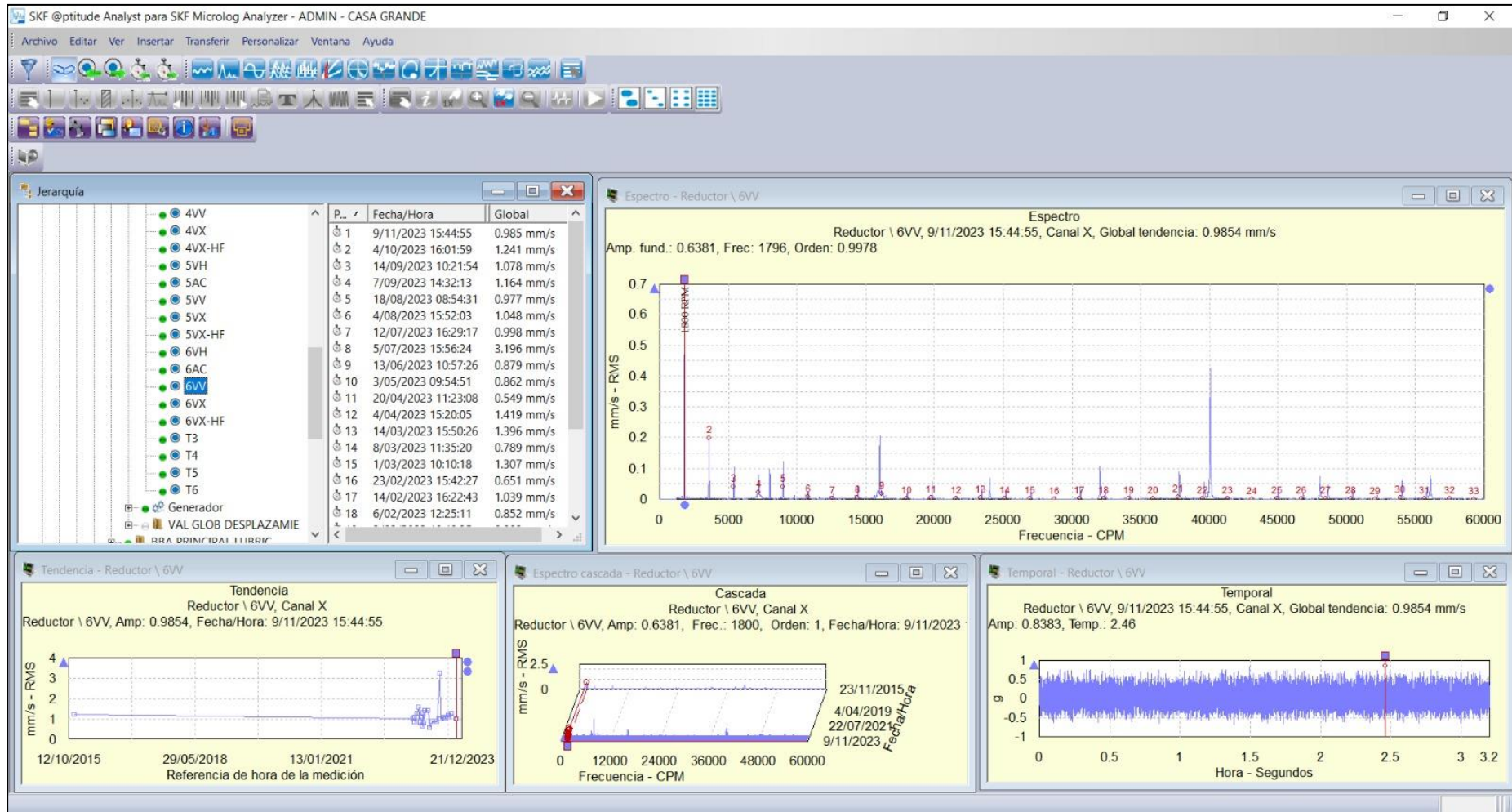


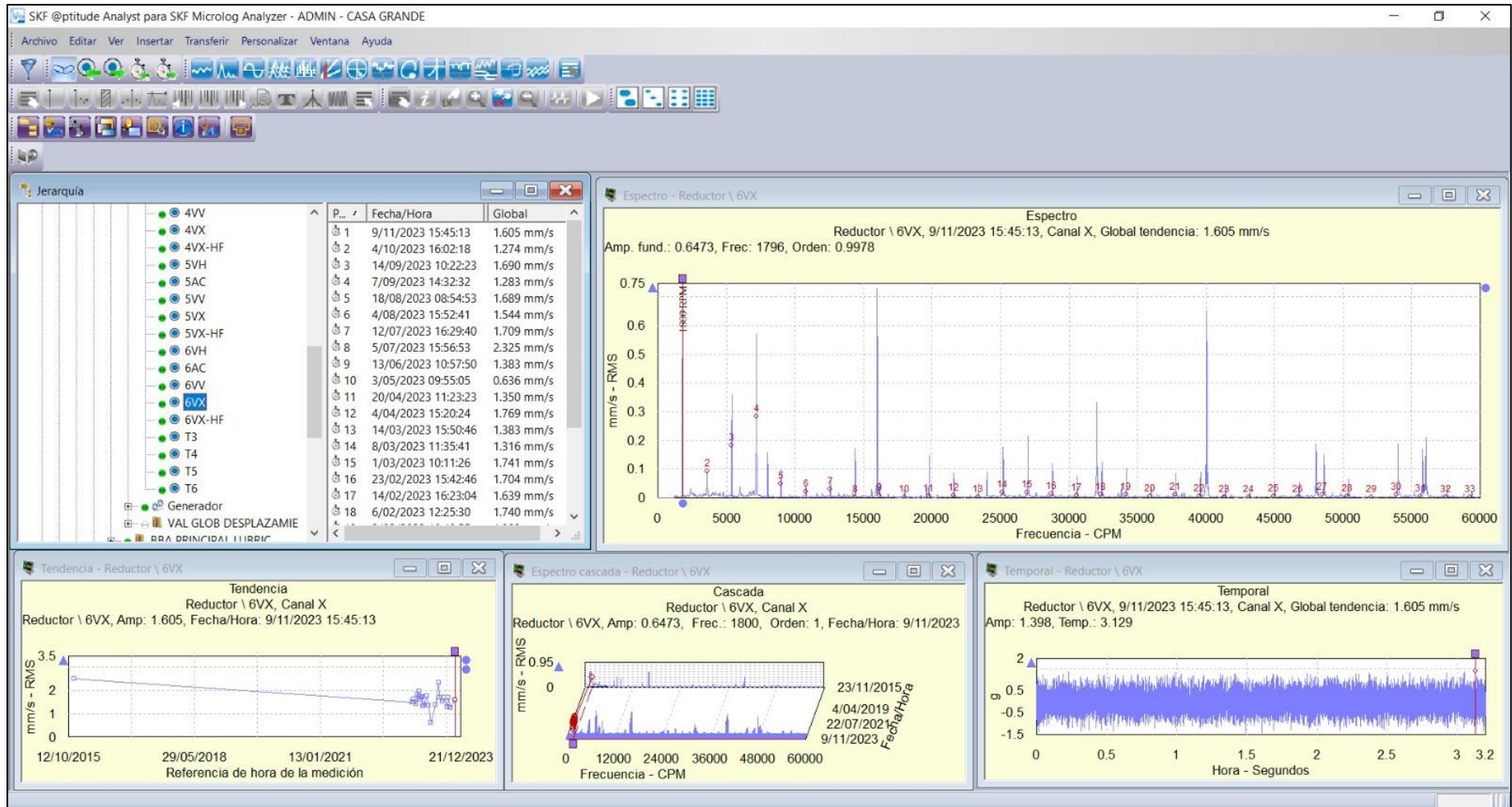




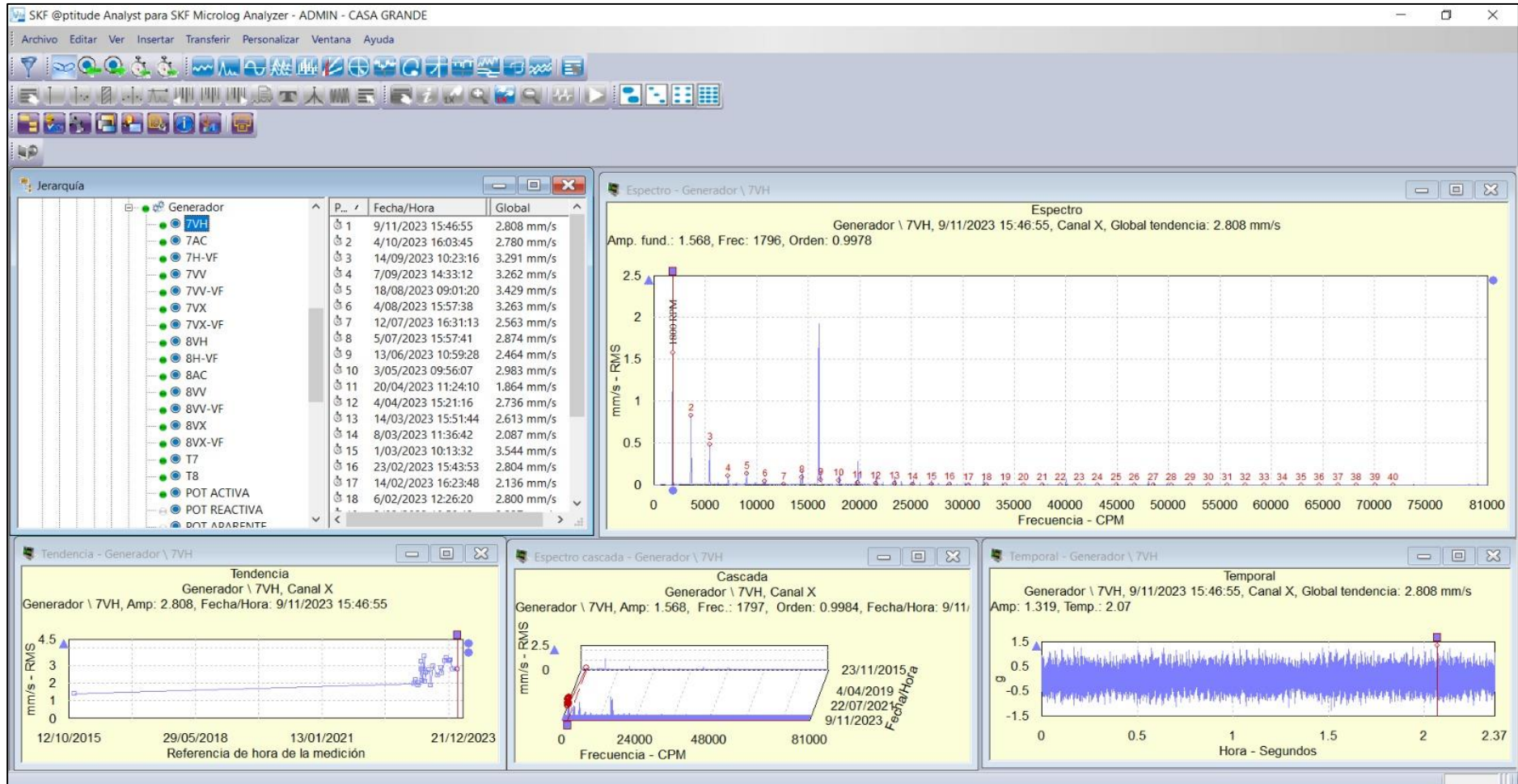


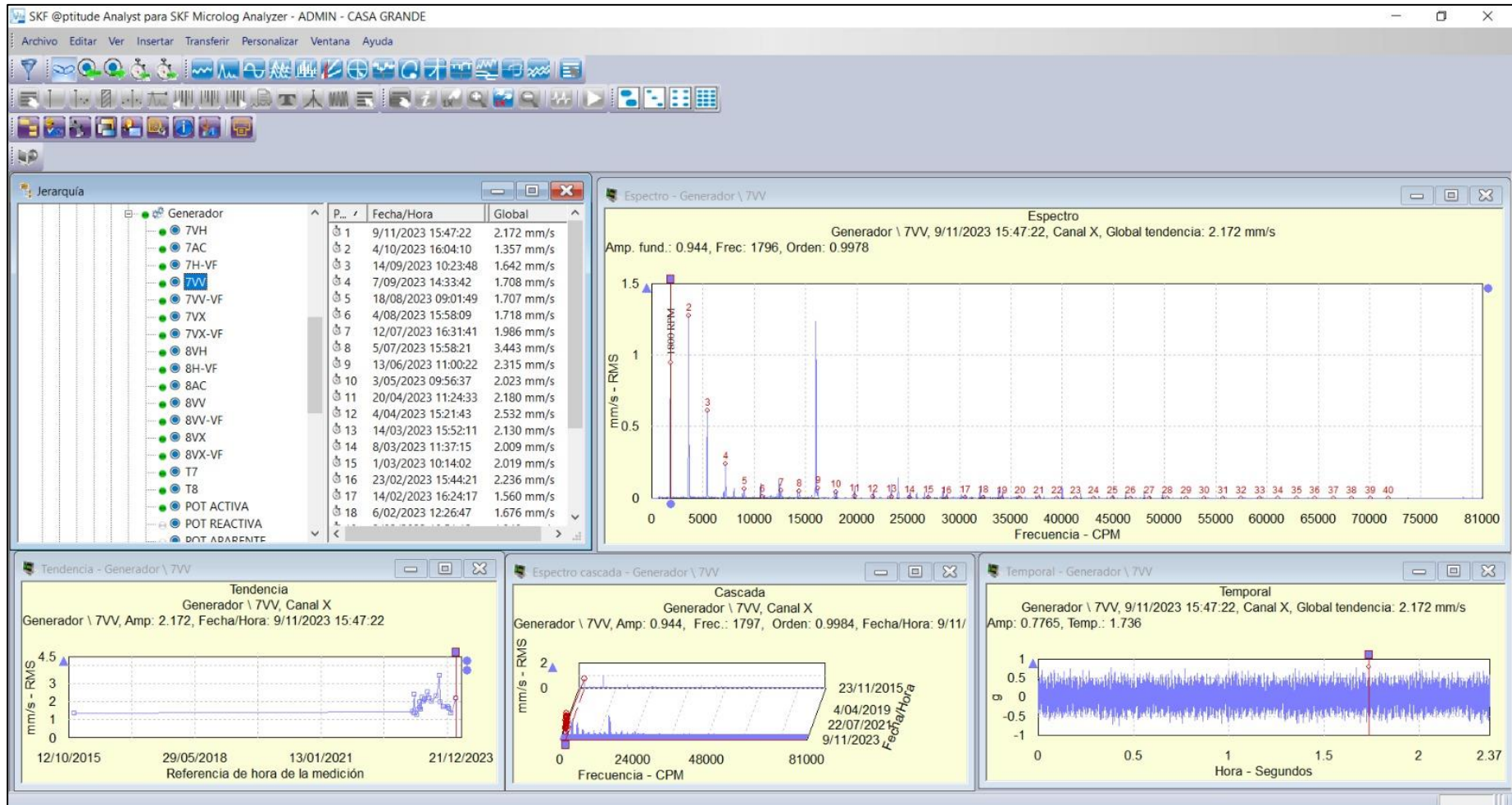


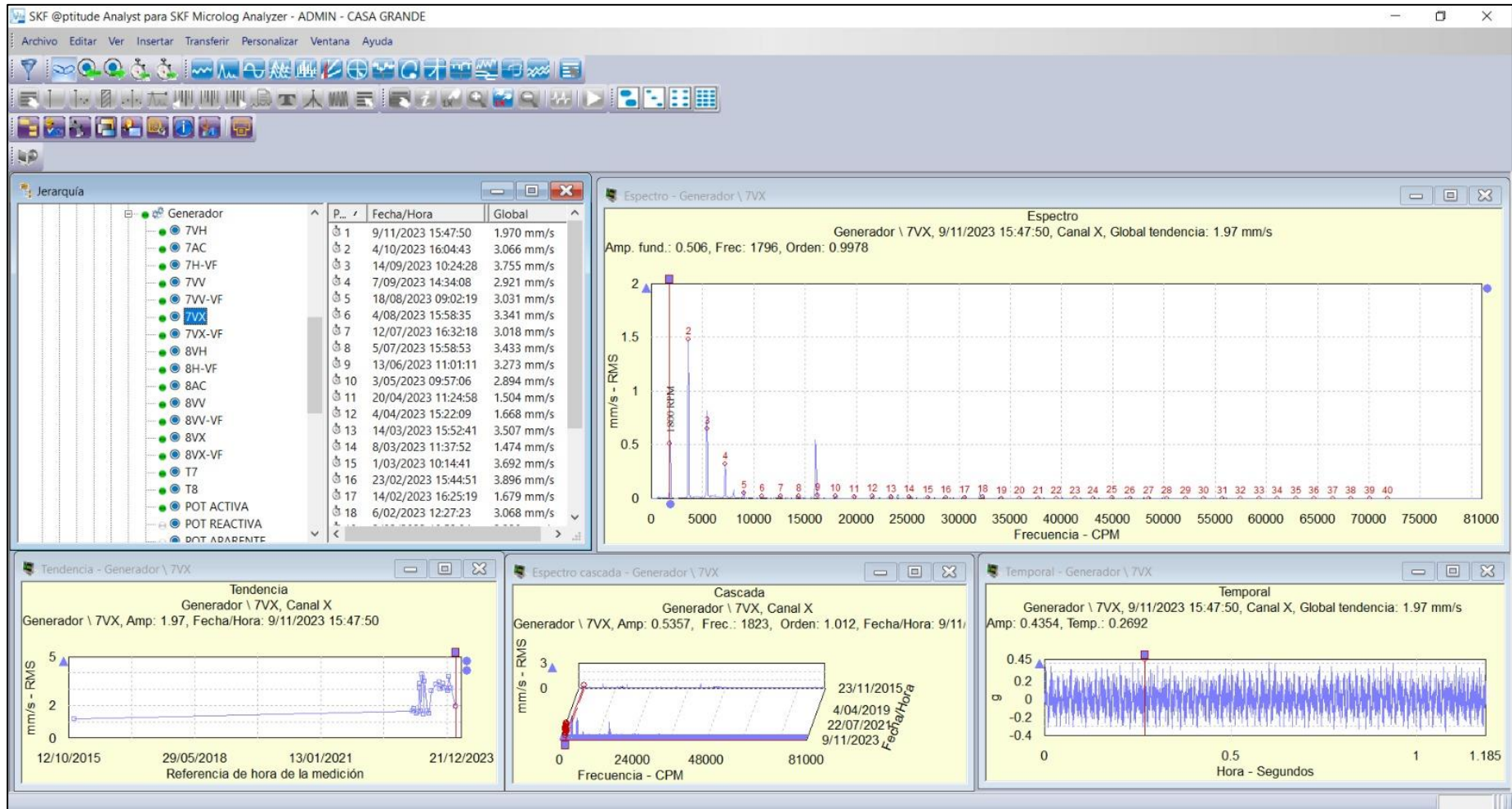


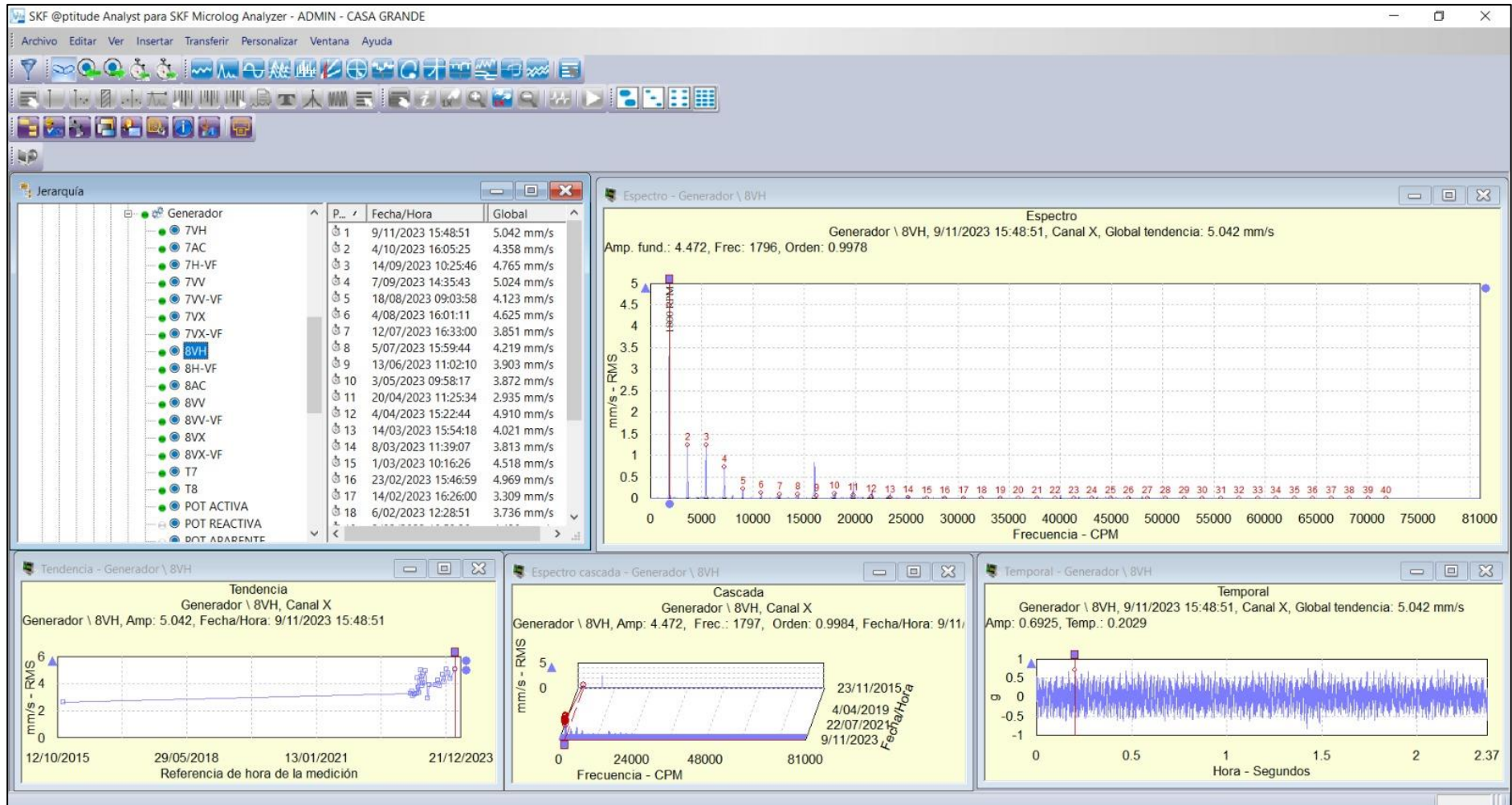


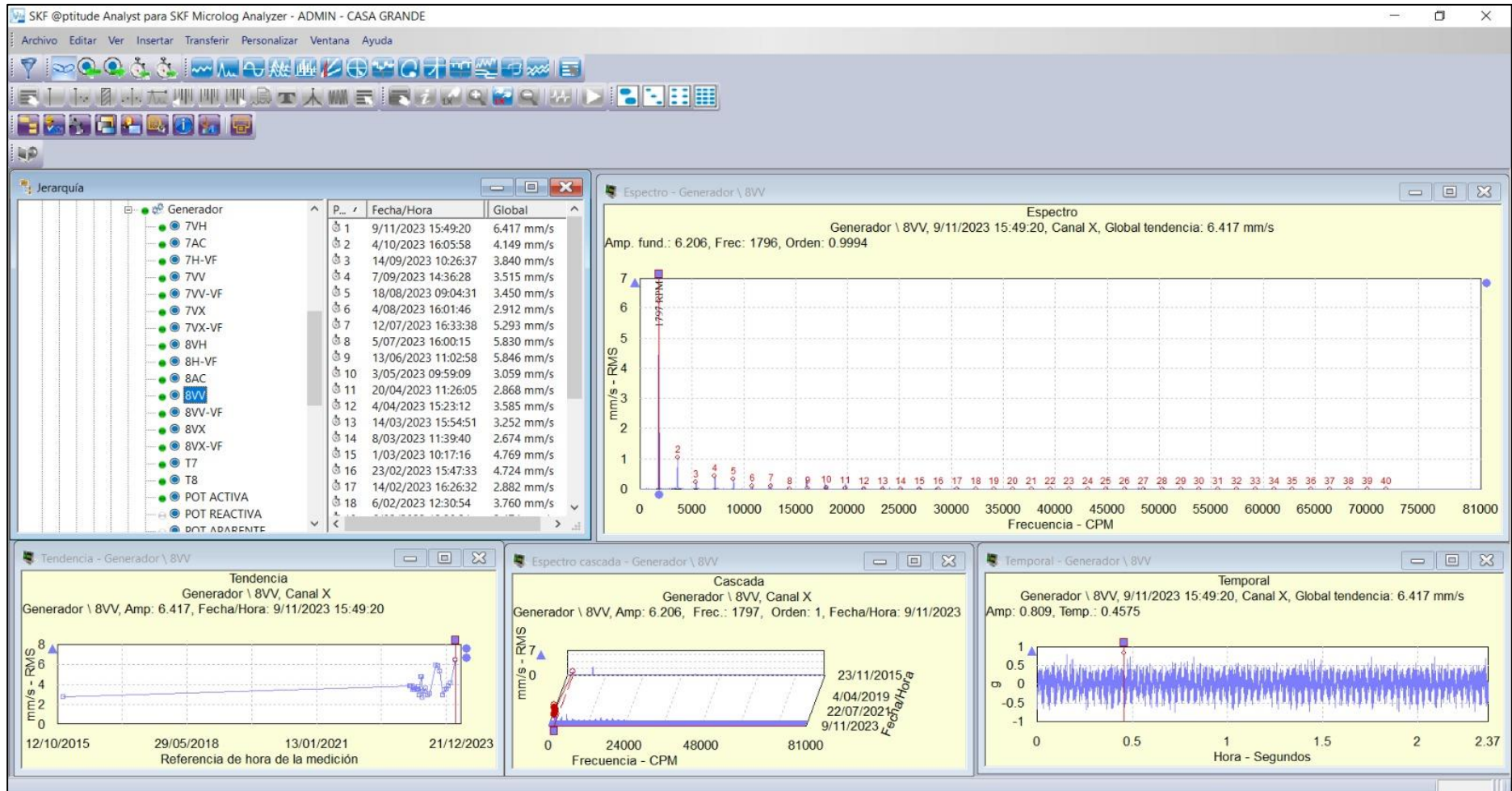
Vibración en generador

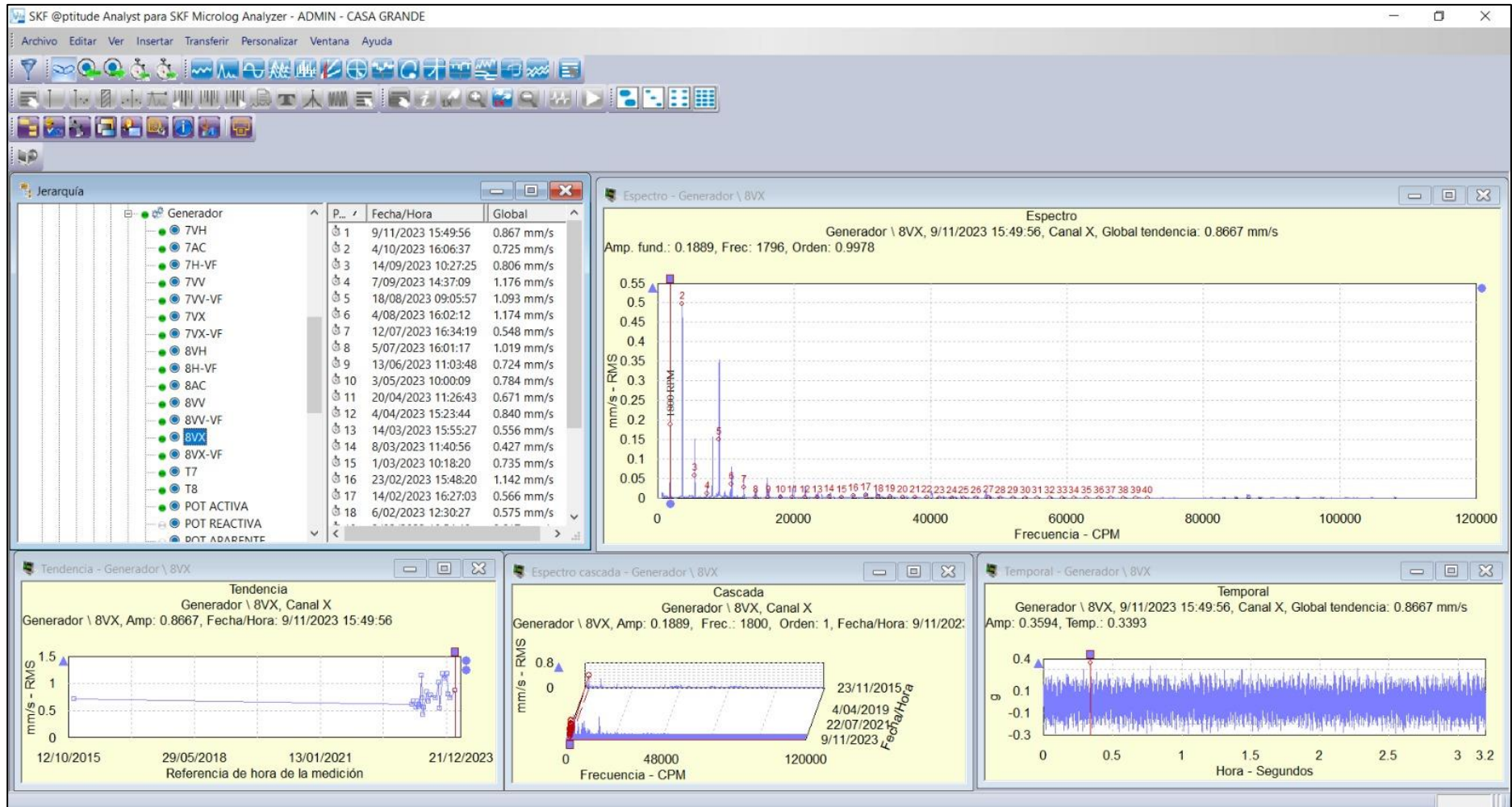












Anexo 4.

Tabla 8. Valores acumulativos de vibración mecánica

TURBOGENERADOR DE 12 MW																								
TURBINA						REDUCTOR									GENERADOR									
1VH	1VV	1VX	2VH	2VV	2VX	3VH	3VV	3VX	4VH	4VV	4VX	5VH	5VV	5VX	6VH	6VV	6VX	7VH	7VV	7VX	8VH	8VV	8VX	
2.887	3.164	1.573	2.138	1.159	1.830	1.808	1.179	1.067	1.584	1.065	2.207	1.510	1.408	1.542	1.625	0.985	1.605	2.808	2.172	1.970	5.040	6.417	0.867	mm/s.
2.067	2.367	1.404	2.249	1.727	3.767	1.475	1.487	0.940	1.799	1.155	1.693	1.524	1.394	1.470	1.476	1.241	1.274	2.780	1.357	3.066	4.358	4.149	0.725	mm/s.
1.589	2.215	1.484	2.664	1.089	1.585	1.445	1.171	1.480	1.363	1.145	1.739	1.406	1.116	1.818	1.478	1.078	1.690	3.291	1.642	3.755	4.765	3.840	0.806	mm/s.
3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.550	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176	mm/s.
1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.200	1.312	1.237	2.305	1.510	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.450	1.093	mm/s.
1.628	2.282	1.610	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.250	1.514	1.175	1.188	1.405	1.330	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174	mm/s.
2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.630	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548	mm/s.
2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.430	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.470	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.830	1.019	mm/s.
2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.890	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.150	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724	mm/s.
3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.770	1.875	0.977	1.438	1.370	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784	mm/s.
4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.350	1.864	2.180	1.504	2.935	2.868	0.671	mm/s.
2.520	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.920	2.098	1.491	1.605	1.560	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.910	3.585	0.840	mm/s.
1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.310	1.760	1.396	1.383	2.613	2.130	3.507	4.021	3.252	0.556	mm/s.
1.548	2.050	1.560	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427	mm/s.
1.767	1.435	1.330	2.175	1.050	1.348	1.563	1.363	1.371	1.821	1.160	1.401	1.903	1.161	1.795	1.734	1.307	1.741	3.544	2.019	3.692	4.518	4.769	0.735	mm/s.
1.705	1.413	1.284	2.476	2.057	2.161	1.583	2.055	1.623	1.630	1.243	1.289	1.670	1.356	1.541	1.765	0.651	1.704	2.804	2.236	3.896	4.969	4.724	1.142	mm/s.
1.814	1.380	1.608	1.946	2.494	2.398	1.486	1.962	1.946	1.462	0.967	1.173	1.569	1.193	1.581	1.549	1.039	1.639	2.136	1.560	1.679	3.309	2.882	1.566	mm/s.
1.907	1.872	1.259	2.743	1.310	1.385	1.255	1.469	1.964	1.449	1.426	1.337	1.353	1.178	1.308	1.719	0.852	1.740	2.800	1.676	3.068	3.736	3.760	0.575	mm/s.

Anexo 5.

Tabla 9. *Valores acumulados de la velocidad de vibración en los elementos turbina, reductor y generador.*

Valores acumulados de velocidad RMS (mm/s)			
TURBINA	REDUCTOR	GENERADOR	ACUMULADO
2.125	1.486	2.610	6.221
2.264	1.437	2.270	5.971
1.771	1.409	2.483	5.663
2.142	1.386	2.392	5.920
1.902	1.554	2.334	5.790
1.623	1.527	2.339	5.489
2.030	1.350	2.402	5.782
2.161	1.439	3.413	7.013
2.386	1.292	2.473	6.151
2.736	1.554	2.120	6.410
3.214	1.492	1.721	6.426
2.317	1.628	2.358	6.303
1.835	1.419	2.291	5.545
1.698	1.187	1.792	4.678
1.518	1.504	2.673	5.695
1.849	1.554	2.655	6.058
1.940	1.482	1.929	5.351
1.746	1.415	2.214	5.375
2.070	1.451	2.359	5.880

Anexo 6.

Tabla 10. *Valores acumulados de la aceleración de vibración en los elementos turbina, reductor y generador.*

Valores acumulados de aceleración efectiva (g)			
TURBINA	REDUCTOR	GENERADOR	ACUMULADO
1.081	0.756	1.328	3.164
1.151	0.731	1.154	3.037
0.901	0.717	1.263	2.881
1.089	0.705	1.217	3.011
0.967	0.790	1.187	2.945
0.826	0.777	1.190	2.792
1.033	0.687	1.222	2.941
1.099	0.732	1.736	3.567
1.214	0.657	1.258	3.129
1.392	0.790	1.078	3.260
1.635	0.759	0.875	3.269
1.179	0.828	1.199	3.206
0.933	0.722	1.165	2.820
0.864	0.604	0.912	2.380
0.772	0.765	1.360	2.897
0.941	0.791	1.350	3.082
0.987	0.754	0.981	2.722
0.888	0.720	1.126	2.734
1.053	0.738	1.200	2.991

Anexo 7.

Tabla 11. *Valores acumulados del desplazamiento de vibración en los elementos turbina, reductor y generador.*

Valores acumulados de desplazamiento resultante (mm)			
TURBINA	REDUCTOR	GENERADOR	ACUMULADO
0.754	0.527	0.926	2.206
0.803	0.510	0.805	2.117
0.628	0.500	0.880	2.008
0.759	0.491	0.848	2.099
0.674	0.551	0.828	2.053
0.576	0.542	0.829	1.947
0.720	0.479	0.852	2.051
0.766	0.510	1.210	2.487
0.846	0.458	0.877	2.182
0.970	0.551	0.752	2.273
1.140	0.529	0.610	2.279
0.822	0.577	0.836	2.235
0.651	0.503	0.812	1.966
0.602	0.421	0.636	1.659
0.538	0.533	0.948	2.020
0.656	0.551	0.941	2.149
0.688	0.526	0.684	1.898
0.619	0.502	0.785	1.906
0.734	0.515	0.837	2.085

Anexo 8.

Tabla 12. *Valores potencia mecánica consumida en los elementos turbina, reductor y generador.*

Potencia mecánica (MW)		
TURBINA	REDUCTOR	GENERADOR
5.651	3.950	6.940
6.019	3.822	6.035
4.709	3.747	6.602
5.694	3.685	6.362
5.057	4.132	6.207
4.316	4.061	6.220
5.398	3.590	6.388
5.746	3.827	9.074
6.345	3.436	6.577
7.276	4.131	5.637
8.545	3.966	4.575
6.161	4.329	6.270
4.880	3.773	6.092
4.516	3.157	4.766
4.035	4.000	7.108
4.917	4.133	7.059
5.159	3.941	5.129
4.643	3.764	5.887
5.504	3.858	6.274

Anexo 9.

Tabla 13. Frecuencia de fallas y Tiempo de reparación del turbogenerador de vapor.

PERIODOS		FRECUENCIA (Vez/mes)	TTR (horas)
Mes 01	Enero	15	91.25
Mes 02	Febrero	17	88.00
Mes 03	Marzo	21	75.40
Mes 04	Abril	19	87.90
Mes 05	Mayo	22	96.14
Mes 06	Junio	19	79.85
Mes 07	Julio	23	79.86
Mes 08	Agosto	25	89.45
Mes 09	Setiembre	19	96.25
Mes 10	Octubre	21	89.56
TOTAL		201	873.66

Anexo 10. Variabilidad de la frecuencia de fallas del turbogenerador de vapor

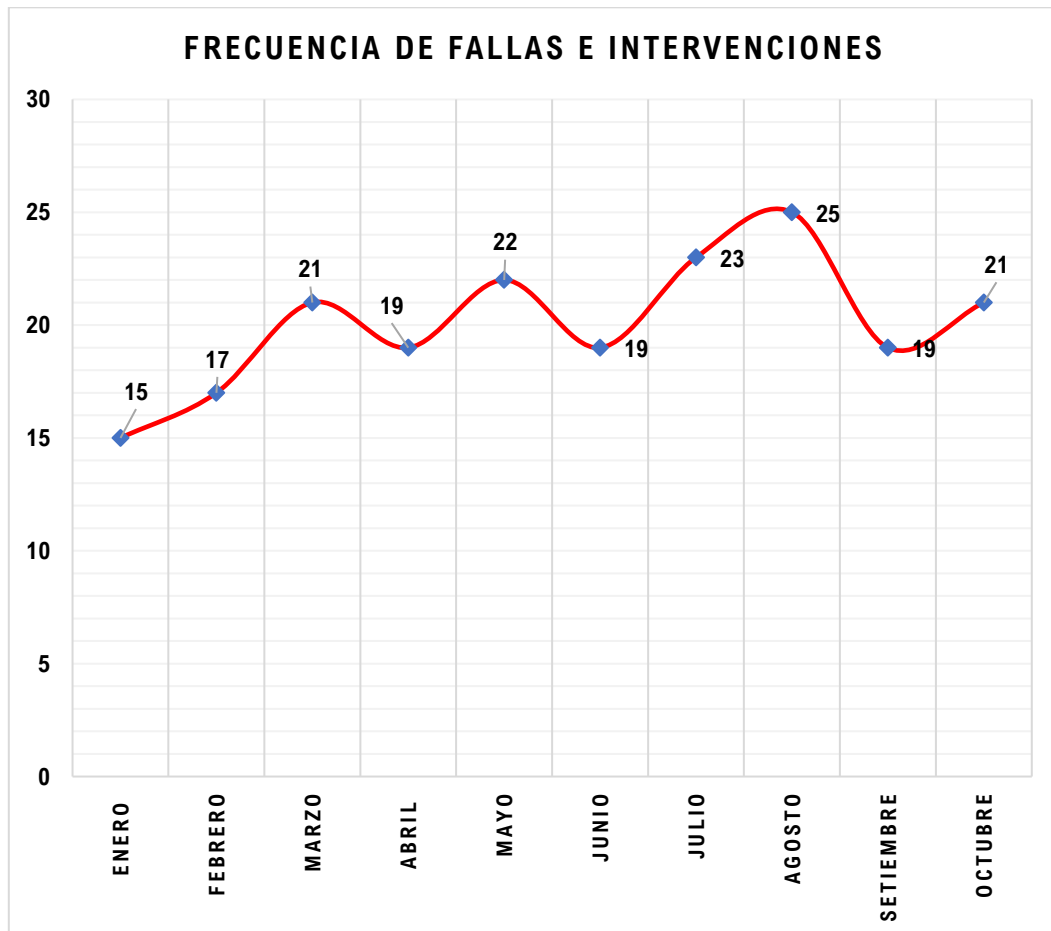


Figura 5. Variabilidad de la frecuencia de fallas del turbogenerador de vapor

Anexo 11.

Tabla 14. Variabilidad del tiempo de reparación del turbogenerador de vapor

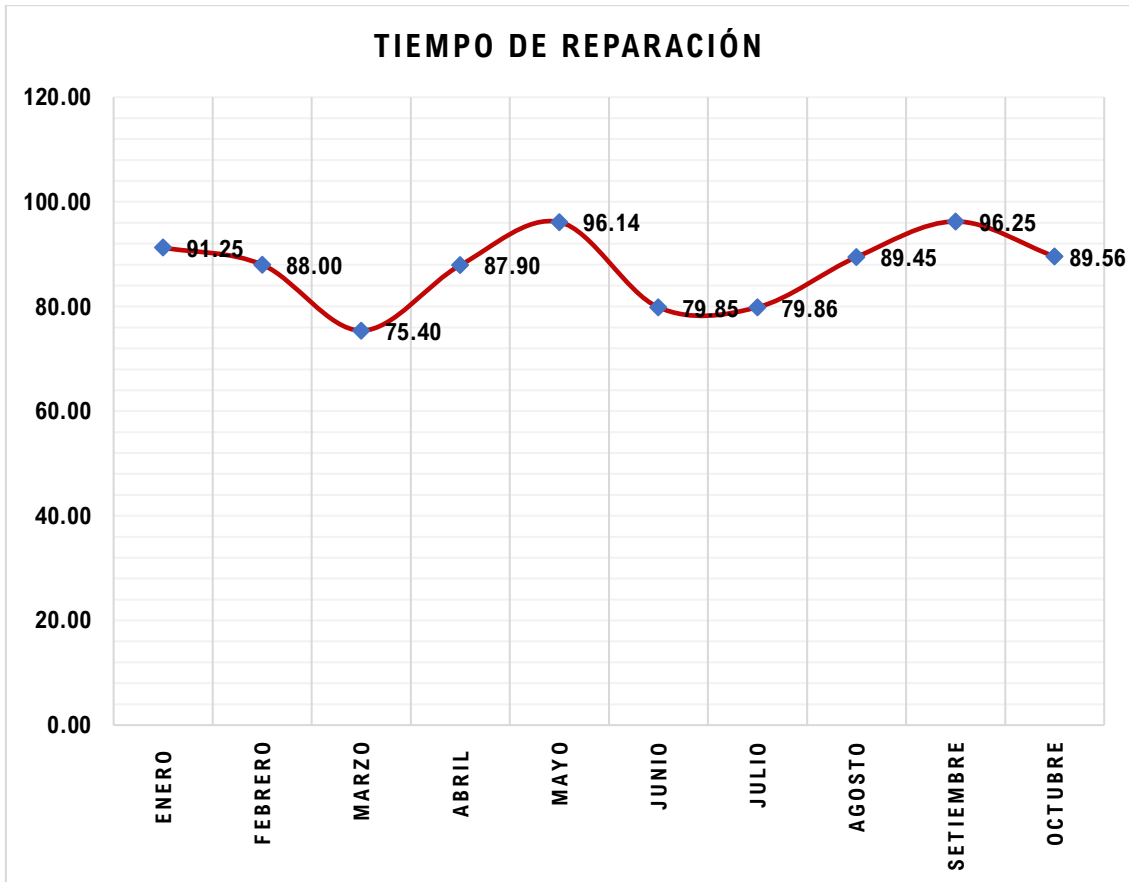


Figura 6. Variabilidad del tiempo de reparación del turbogenerador de vapor

Anexo 12.

Tabla 15. Tiempo nominal y tiempo útil del generador de vapor

PERIODOS		Tiempo nominal total (TNT) (h/mes)	Tiempo entre fallas (TBF) inicial (h/mes)
Mes 01	Enero	660	568.75
Mes 02	Febrero	662	574.00
Mes 03	Marzo	665	589.60
Mes 04	Abril	655	567.10
Mes 05	Mayo	670	573.86
Mes 06	Junio	674	594.15
Mes 07	Julio	679	599.14
Mes 08	Agosto	672	582.55
Mes 09	Setiembre	669	572.75
Mes 10	Octubre	676	586.44
		6682.00	5808.34

Anexo 13. Variabilidad del tiempo nominal requerido del turbogenerador de vapor

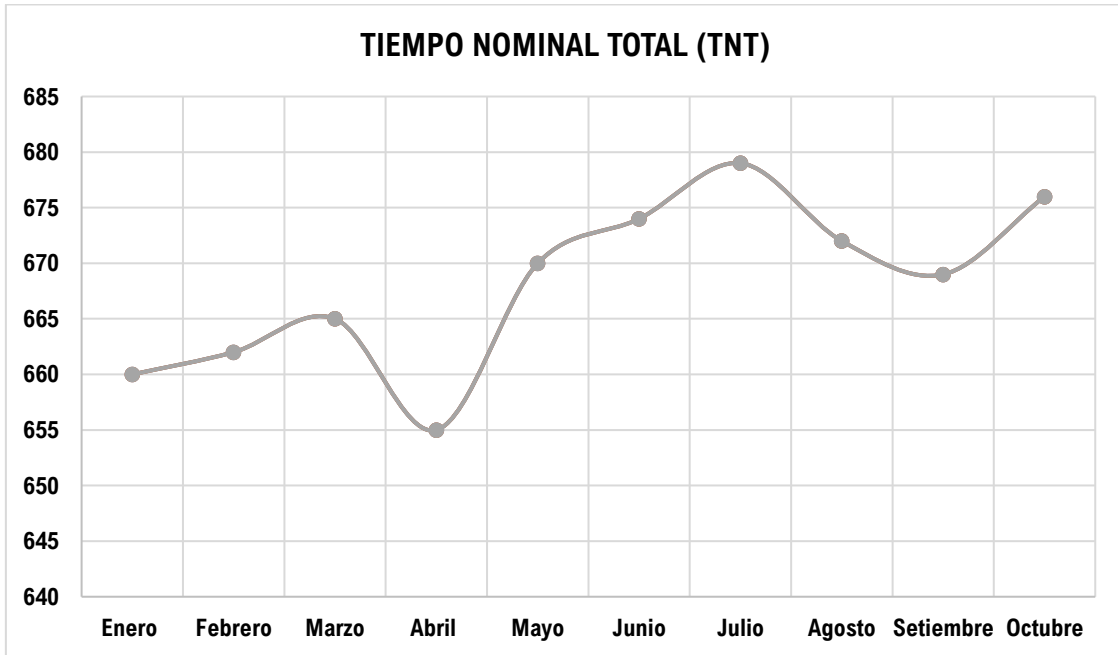


Figura 7. Variabilidad del tiempo nominal requerido del turbogenerador de vapor

Anexo 14. Tiempo útil de trabajo del turbogenerador de vapor

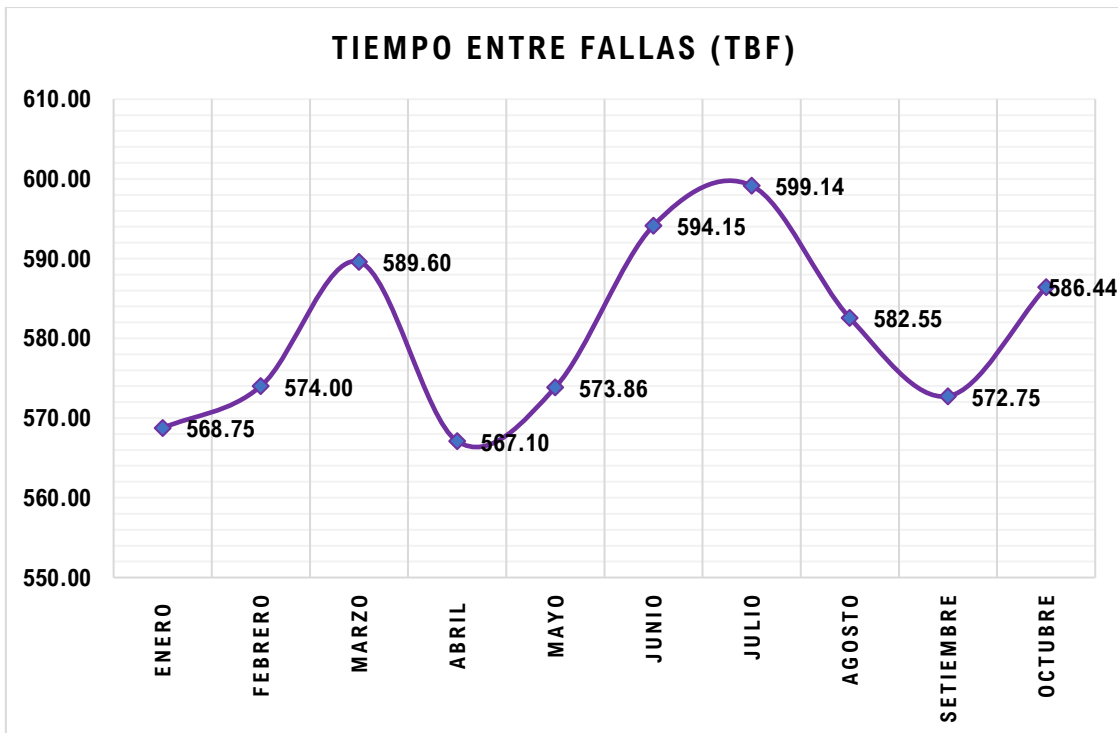


Figura 8. Tiempo útil de trabajo del turbogenerador de vapor

Anexo 15.

Tabla 16. *Tiempos medios para reparar (MTTR) y tiempo medio entre fallas (MTBF) para el turbogenerador de vapor.*

Periodo		TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (MTTR) (h/falla)	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) (h/falla)
Mes 01	Enero	6.08	37.92
Mes 02	Febrero	5.18	33.76
Mes 03	Marzo	3.59	28.08
Mes 04	Abril	4.63	29.85
Mes 05	Mayo	4.37	26.08
Mes 06	Junio	4.20	31.27
Mes 07	Julio	3.47	26.05
Mes 08	Agosto	3.58	23.30
Mes 09	Setiembre	5.07	30.14
Mes 10	Octubre	4.26	27.93
GLOBAL		4.35	17.21

Anexo 16. *Variabilidad del tiempo medio para reparar del turbogenerador de vapor*

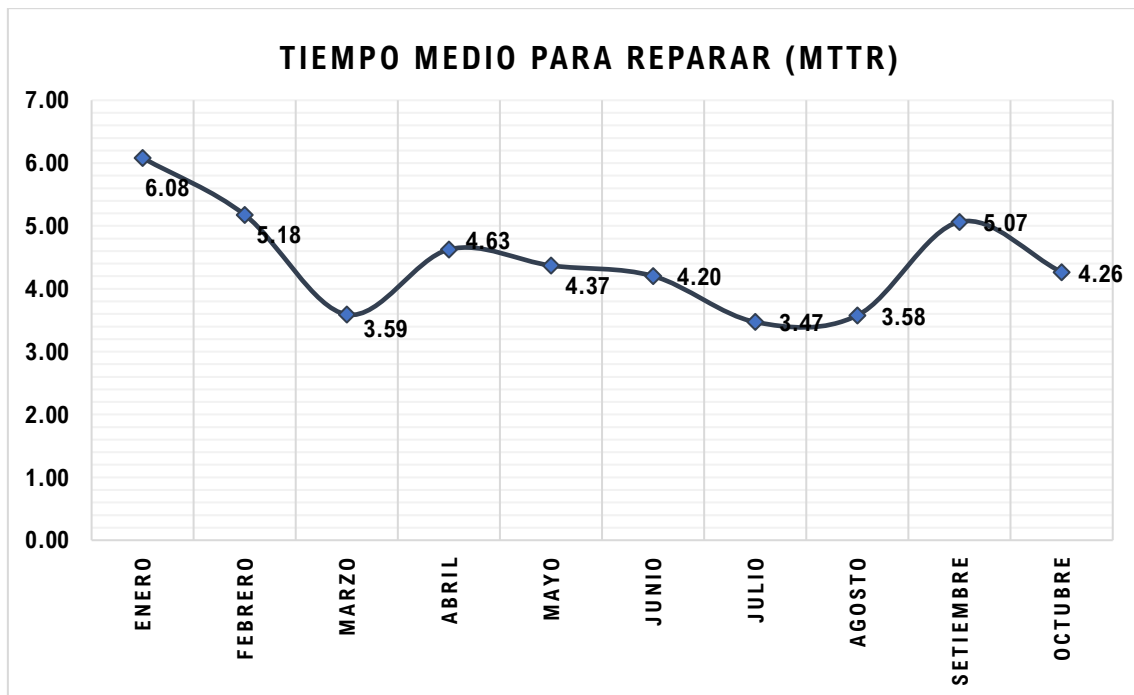


Figura 9. *Variabilidad del tiempo medio para reparar del turbogenerador de vapor*

Anexo 17. Variabilidad del tiempo medio para reparar del turbogenerador de vapor

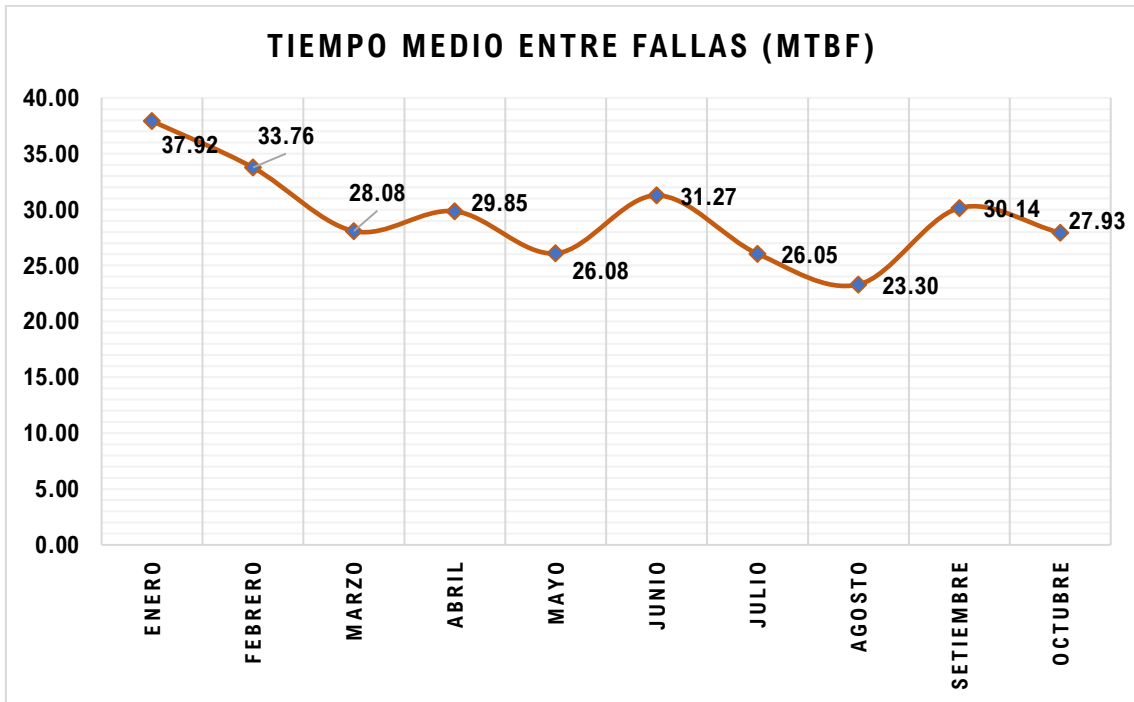


Figura 10. Variabilidad del tiempo medio para reparar del turbogenerador de vapor

Anexo 18.

Tabla 17. Tasas de mantenimiento del turbogenerador de vapor

Periodo		TASA DE OPERACIÓN (MOR) (falla/h)	TASA DE REPARACIÓN (MRR) (falla/h)
Mes 01	Enero	0.026	0.164
Mes 02	Febrero	0.030	0.193
Mes 03	Marzo	0.036	0.279
Mes 04	Abril	0.034	0.216
Mes 05	Mayo	0.038	0.229
Mes 06	Junio	0.032	0.238
Mes 07	Julio	0.038	0.288
Mes 08	Agosto	0.043	0.279
Mes 09	Setiembre	0.033	0.197
Mes 10	Octubre	0.036	0.234
GLOBAL		0.0581	0.230

Anexo 19. Tasa de operación del mantenimiento del turbogenerador de vapor.

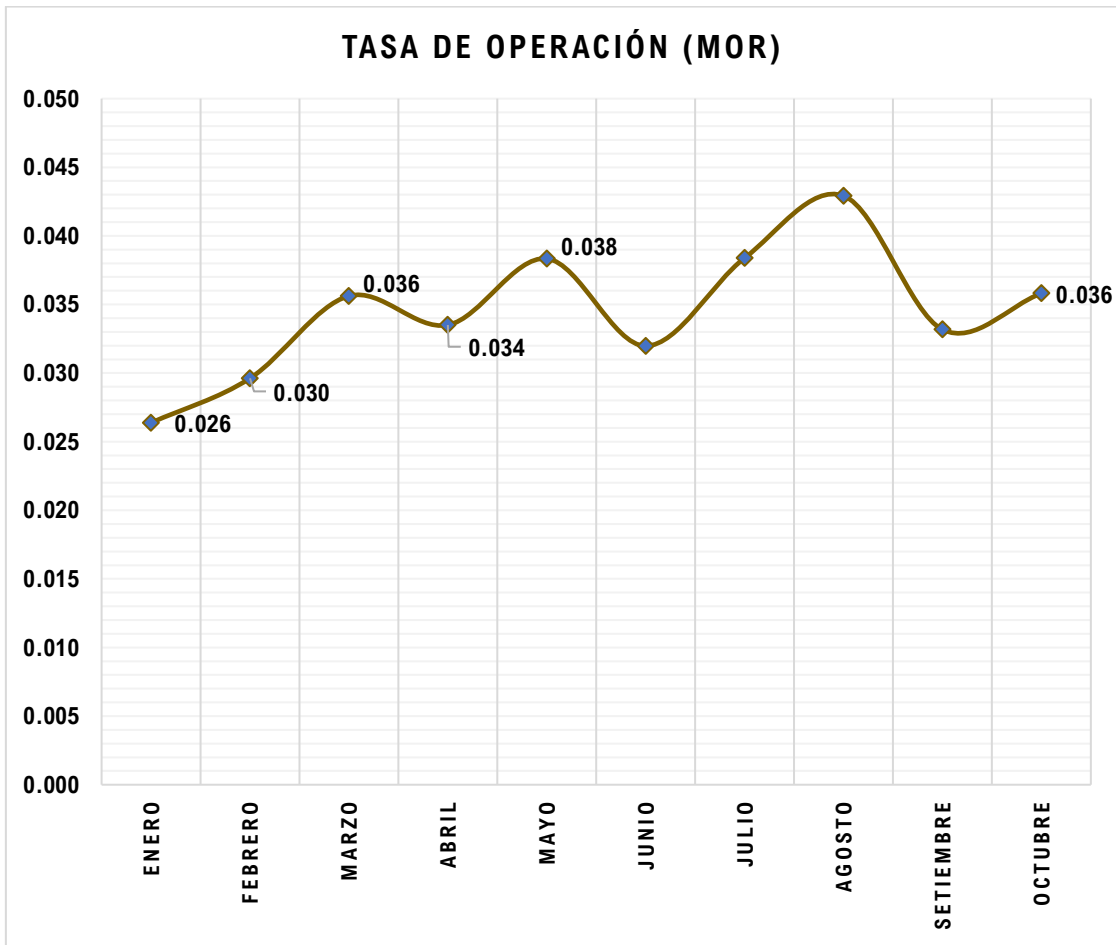


Figura 11. Tasa de operación del mantenimiento del turbogenerador de vapor

Anexo 20. Tasa de reparación del mantenimiento del turbogenerador de vapor

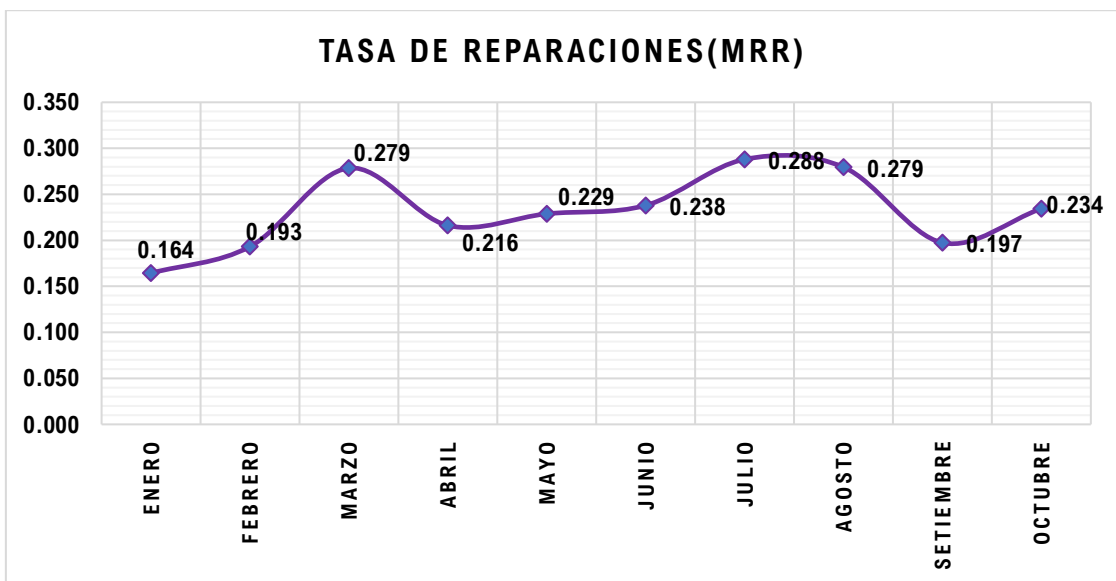


Figura 12. Tasa de reparación del mantenimiento del turbogenerador de vapor

Anexo 21.

Tabla 18. Confiabilidad operacional por LogNormal

PERIODO		CONFIABILIDAD INICIAL
Mes 01	Enero	84.02%
Mes 02	Febrero	82.20%
Mes 03	Marzo	78.91%
Mes 04	Abril	80.30%
Mes 05	Mayo	77.35%
Mes 06	Junio	80.61%
Mes 07	Julio	77.05%
Mes 08	Agosto	74.95%
Mes 09	Setiembre	80.10%
Mes 10	Octubre	78.50%
Resultado		67.83%

Anexo 22. Variabilidad en el tiempo del turbogenerador de vapor

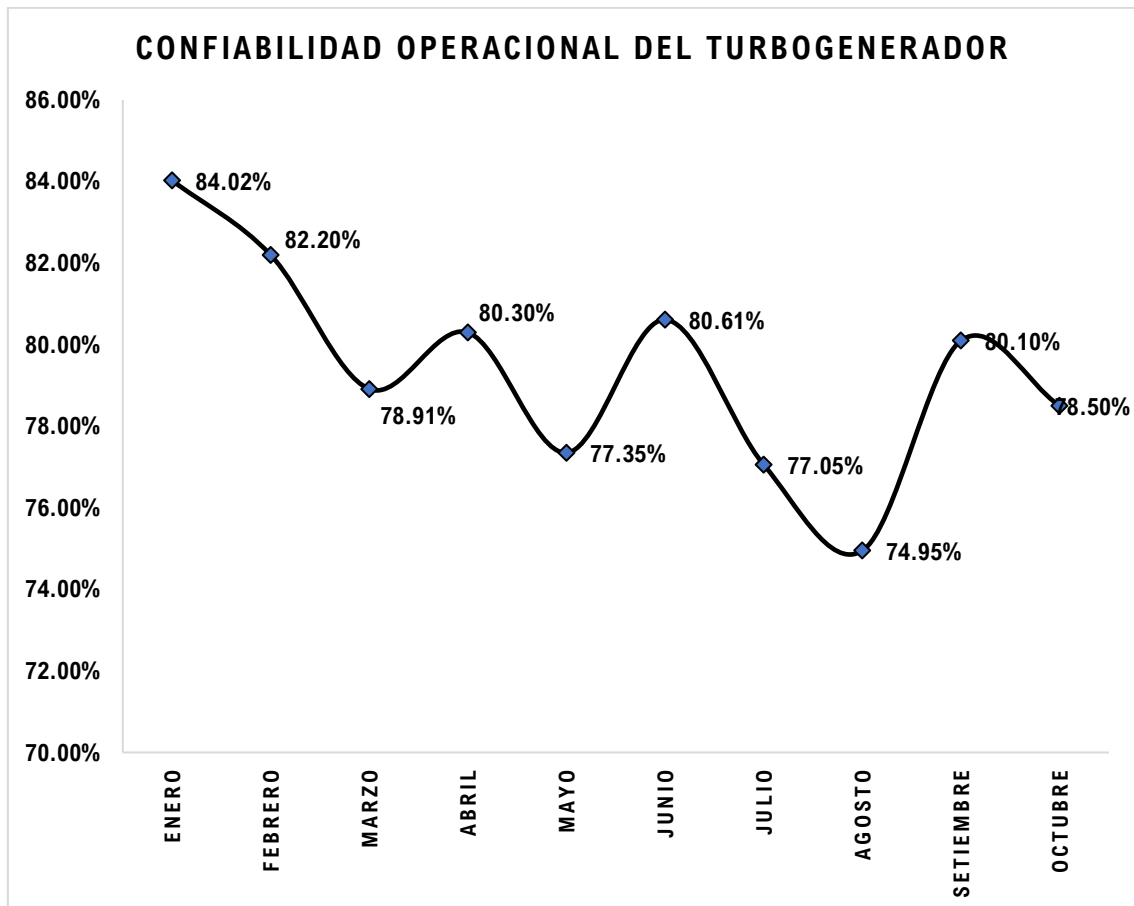


Figura 13. Variabilidad en el tiempo del turbogenerador de vapor

Anexo 23.**Tabla 19.** *Velocidad de vibración estimada en unidades de mm/s*

MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO
MM1	0.213	0.223	0.470	0.905
MM2	0.226	0.216	0.409	0.850
MM3	0.177	0.211	0.447	0.835
MM4	0.214	0.208	0.431	0.853
MM5	0.190	0.233	0.420	0.843
MM6	0.162	0.229	0.421	0.812
MM7	0.203	0.202	0.432	0.838
MM8	0.216	0.216	0.614	1.046
MM9	0.239	0.194	0.445	0.878
MM10	0.274	0.233	0.382	0.888
MM11	0.321	0.224	0.310	0.855
MM12	0.232	0.244	0.424	0.900
MM13	0.184	0.213	0.412	0.809
MM14	0.170	0.178	0.323	0.671
MM15	0.152	0.226	0.481	0.859
MM16	0.185	0.233	0.478	0.896
MM17	0.194	0.222	0.347	0.764
MM18	0.175	0.212	0.399	0.785
	0.207	0.218	0.425	0.849

Anexo 24.

Tabla 20. *Aceleración de vibración estimada en unidades g*

MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO
MM1	0.1079784	0.1132137	0.23867997	0.4598721
MM2	0.1150071	0.1095472	0.20755575	0.43211
MM3	0.0899834	0.1073964	0.22705538	0.4244352
MM4	0.1088083	0.1056012	0.21879421	0.4332037
MM5	0.0966225	0.1184298	0.21347982	0.4285322
MM6	0.0824721	0.1163806	0.2139066	0.4127593
MM7	0.1031431	0.102883	0.21970873	0.4257349
MM8	0.1097991	0.1096911	0.31208557	0.5315758
MM9	0.1212312	0.0984629	0.22620183	0.4458959
MM10	0.139023	0.1183959	0.19385825	0.4512772
MM11	0.1632845	0.1136709	0.15735868	0.4343141
MM12	0.1177338	0.1240609	0.21564419	0.4574389
MM13	0.0932437	0.1081246	0.20950673	0.410875
MM14	0.0862913	0.0904863	0.16392291	0.3407005
MM15	0.0771033	0.1146363	0.24447194	0.4362115
MM16	0.0939635	0.1184637	0.24276483	0.455192
MM17	0.0985702	0.1129512	0.17639089	0.3879123
MM18	0.0887132	0.1078705	0.20247508	0.3990588
	0.1051651	0.1105703	0.21577008	0.4315055

Anexo 25.

Tabla 21. *Desplazamiento de vibración estimada en unidades de mm.*

	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO
MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	0.0755888	0.0792536	0.1670845	0.3219269
MM1	0.0805091	0.0766869	0.14529644	0.3024924
MM2	0.0629916	0.0751813	0.15894688	0.2971198
MM3	0.0761697	0.0739246	0.15316376	0.3032581
MM4	0.0676392	0.0829051	0.1494435	0.2999878
MM5	0.0577334	0.0814706	0.14974226	0.2889463
MM6	0.0722038	0.0720218	0.15380396	0.2980296
MM7	0.0768633	0.0767877	0.21847104	0.372122
MM8	0.0848662	0.0689275	0.15834936	0.3121431
MM9	0.0973211	0.0828814	0.1357077	0.3159101
MM10	0.114305	0.0795737	0.1101567	0.3040354
MM11	0.0824179	0.086847	0.15095863	0.3202236
MM12	0.0652739	0.0756911	0.14666219	0.2876272
MM13	0.060407	0.0633436	0.11475189	0.2385025
MM14	0.053975	0.0802495	0.17113909	0.3053636
MM15	0.0657778	0.0829288	0.16994405	0.3186507
MM16	0.0690027	0.0790699	0.12347992	0.2715525
MM17	0.0621024	0.0755132	0.14173978	0.2793554
MM18	0.0736193	0.0774032	0.15104676	0.3020693

Anexo 26.**Tabla 22.** *Frecuencia de fallas y tiempo de reparación en mejora del turbogenerador*

Periodo		FRECUENCIA (VEZ/mes)	TTR (h/mes)
Mes 01	Enero	7	11.18
Mes 02	Febrero	9	30.80
Mes 03	Marzo	5	26.39
Mes 04	Abril	7	30.77
Mes 05	Mayo	8	33.65
Mes 06	Junio	8	27.95
Mes 07	Julio	9	27.95
Mes 08	Agosto	10	31.31
Mes 09	Setiembre	9	33.69
Mes 10	Octubre	8	31.35
TOTAL		80	285.02

Anexo 27.**Tabla 23.** *Tiempo nominal y tiempo entre fallas en mejora del turbogenerador.*

Periodo		Tiempo nominal total (TNT) (h/mes)	Tiempo entre fallas (TBF) inicial (h/mes)
Mes 01	Enero	660	648.82
Mes 02	Febrero	662	631.20
Mes 03	Marzo	665	638.61
Mes 04	Abril	655	624.24
Mes 05	Mayo	670	636.35
Mes 06	Junio	674	646.05
Mes 07	Julio	679	651.05
Mes 08	Agosto	672	640.69
Mes 09	Setiembre	669	635.31
Mes 10	Octubre	676	644.65
		6682	6396.98

Anexo 28.

Tabla 24. *Tiempo medio para reparar y entre fallas en mejora del turbogenerador.*

Periodo		TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (MTTR) (h/falla)	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) (h/falla)
Mes 01	Enero	1.60	92.69
Mes 02	Febrero	3.42	70.13
Mes 03	Marzo	5.28	127.72
Mes 04	Abril	4.40	89.18
Mes 05	Mayo	4.21	79.54
Mes 06	Junio	3.49	80.76
Mes 07	Julio	3.11	72.34
Mes 08	Agosto	3.13	64.07
Mes 09	Setiembre	3.74	70.59
Mes 10	Octubre	3.92	80.58
GLOBAL		3.56	47.80

Anexo 29.

Tabla 25. *Tasas de mantenimiento en mejora del turbogenerador de vapor*

Periodo		TASA DE OPERACIÓN (MOR) (falla/h)	TASA DE REPARACIÓN (MRR) (falla/h)
Mes 01	Enero	0.011	0.626
Mes 02	Febrero	0.014	0.292
Mes 03	Marzo	0.008	0.189
Mes 04	Abril	0.011	0.228
Mes 05	Mayo	0.013	0.238
Mes 06	Junio	0.012	0.286
Mes 07	Julio	0.014	0.322
Mes 08	Agosto	0.016	0.319
Mes 09	Setiembre	0.014	0.267
Mes 10	Octubre	0.012	0.255
GLOBAL		0.0209	0.281

Anexo 30.

Tabla 26. *Confiabilidad operacional en mejora del turbogenerador de vapor*

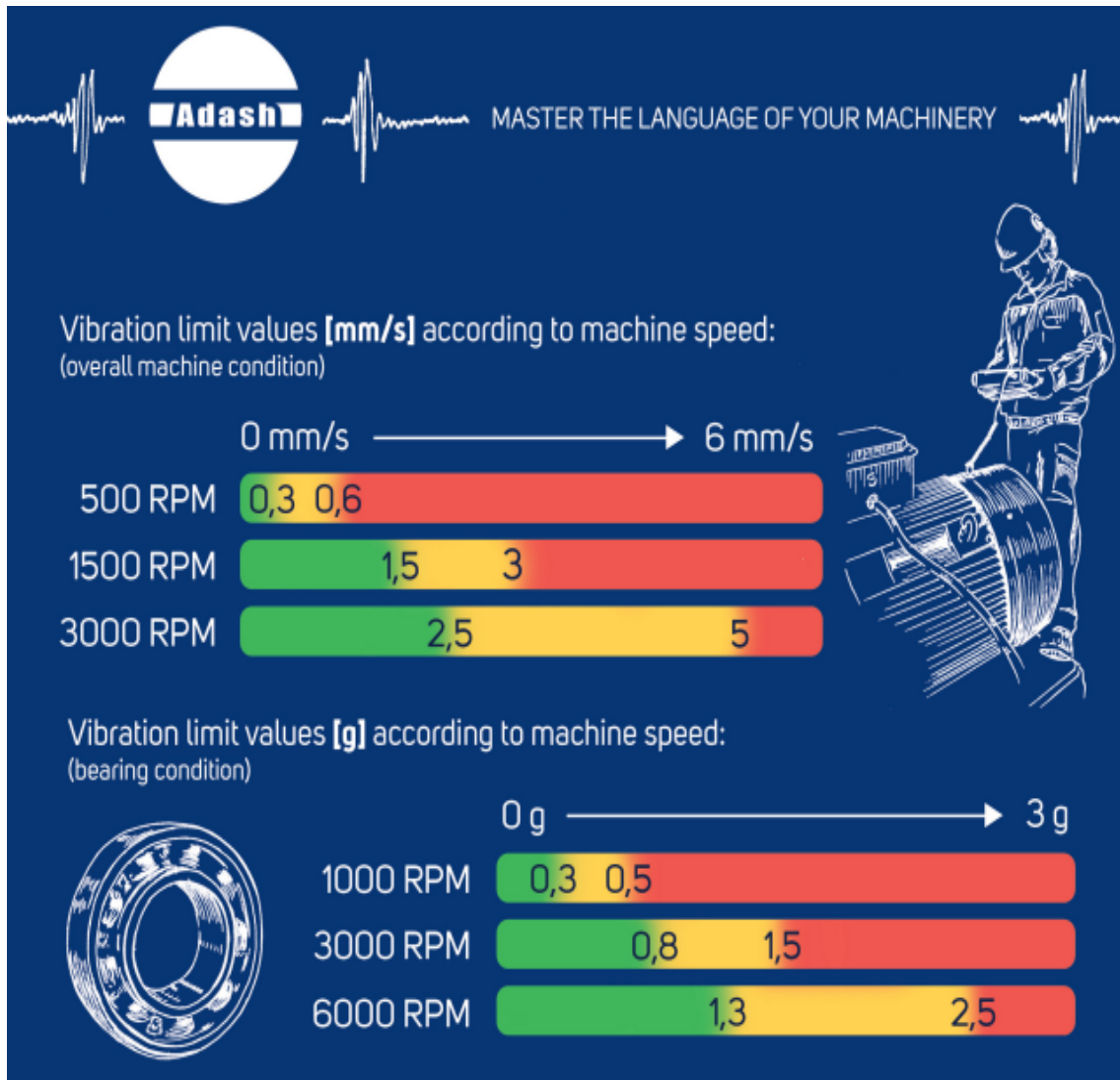
PERIODO		CONFIABILIDAD INICIAL
Mes 01	Enero	93.13%
Mes 02	Febrero	90.99%
Mes 03	Marzo	94.93%
Mes 04	Abril	92.92%
Mes 05	Mayo	91.92%
Mes 06	Junio	91.99%
Mes 07	Julio	91.04%
Mes 08	Agosto	90.04%
Mes 09	Setiembre	90.96%
Mes 10	Octubre	91.95%
Resultado		86.95%

Anexo 31.

Tabla 27. *Potencia mecánica estimada en mejora del turbogenerador de vapor*

MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO
MM1	8.4764264	5.925284	10.4097942
MM2	9.0281818	5.7333881	9.05234178
MM3	7.0637994	5.620821	9.90279923
MM4	8.5415734	5.5268673	9.542496
MM5	7.5849757	6.1982813	9.31071421
MM6	6.4741523	6.0910324	9.32932766
MM7	8.0968452	5.3846073	9.58238196
MM8	8.619351	5.7409221	13.6113078
MM9	9.5167846	5.1532687	9.86557233
MM10	10.913457	6.1965086	8.45493863
MM11	12.818011	5.9492156	6.86304538
MM12	9.2422364	6.4929944	9.405111
MM13	7.3197342	5.6589342	9.13743185
MM14	6.7739616	4.7357954	7.14933798
MM15	6.0526909	5.9997378	10.6624053
MM16	7.3762393	6.200054	10.5879515
MM17	7.7378718	5.9115455	7.69311666
MM18	6.9640846	5.6456389	8.83075308
MEDIA	8.2555765	5.7869387	9.41060148

Anexo 32. Norma de vibración internacional ADASH O ISO 10816



Norma ISO 10816

Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Este estándar consta de cinco partes:

- **Parte 1:** Indicaciones generales.
- **Parte 2:** Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- **Parte 3:** Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- **Parte 4:** Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- **Parte 5:** Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Este nuevo estándar evalúa la severidad de la vibración de maquinaria rotativa a través de mediciones efectuadas en planta en partes no giratorias de las mismas. Engloba y amplía los estándares citados anteriormente.

Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15.000 RPM. Los criterios son sólo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para vibraciones que son transmitidas a la máquina desde fuentes externas. El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se utiliza para determinar la condición de la máquina. Este valor se puede determinar con casi todos los instrumentos convencionales para la medición de vibración.

Se debe prestar especial atención para asegurar que los sensores estén montados correctamente y que tales montajes no degraden la precisión de la medición. Los puntos de medida típicamente son tres, dos puntos ortogonales en la dirección radial en cada caja de descanso y un punto en la medición axial.

Las mediciones deben realizarse cuando el rotor y los descansos principales han alcanzado sus temperaturas estacionarias de trabajo y con la máquina funcionando bajo condiciones nominales o específicas (por ejemplo de velocidad, voltaje, flujo, presión y carga).

En máquinas con velocidad o carga variable, las mediciones deben realizarse bajo todas las condiciones a las que se espera que la máquina trabaje durante períodos prolongados de tiempo. Los valores máximos medidos, bajo estas condiciones, serán considerados representativos de la vibración. Si la vibración es superior a lo que el criterio permite y se sospecha de excesiva vibración de fondo, las mediciones se deben realizar con la máquina detenida para determinar el grado de influencia de la vibración externa. Si con la máquina detenida excede el 25% de la vibración medida con la máquina operando, son necesarias acciones correctivas para reducir el efecto de la vibración de fondo. En algunos casos el efecto de la vibración de fondo se puede anular por análisis espectral o eliminando las fuentes externas que provocan las vibraciones de fondo.

La severidad de la vibración se clasifica conforme a los siguientes parámetros:

- Tipo de máquina.
- Potencia o altura de eje.
- Flexibilidad del soporte.

Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura de eje

Las significativas diferencias en el diseño, tipos de descanso y estructuras soporte de la máquina, requieren una división en grupos. Las máquinas de estos grupos pueden tener eje horizontal, vertical o inclinado y además pueden estar montados en soportes rígidos o flexibles.

- **Grupo 1:** Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.
- **Grupo 2:** Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H \leq 315$ mm.
- **Grupo 3:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.
- **Grupo 4:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD POR LOGNORMAL PARA REDUCIR LA VIBRACIÓN MECÁNICA EN EL TURBOGENERADOR DE VAPOR DE UNA EMPRESA AZUCARERA DE ASCOPE

ALGORITMO DE SIMULACION DE VIBRACION MECANICA PARA UN TURBOGENERADOR DE VAPOR



AUTORES

Lancunza Orbegozo, Romy Edgar
Valverde Salazar, Israel Hadid

VALORES ACTUALES DE VIBRACIÓN DEL TURBOGENERADOR: TURBINA DE VAPOR - REDUCTOR DE VELOCIDAD - GENERADOR ELÉCTRICO

MUESTRA	1000	pres de vibraci
PERÍODO	10 meses	enero - Octubre

MUESTRA	TURBINA DE VAPOR						REDUCTOR DE VELOCIDAD									GENERADOR ELÉCTRICO								
	1VH	1VV	1VX	2VH	2VV	2VX	3VH	3VV	3VX	4VH	4VV	4VX	5VH	5VV	5VX	6VH	6VV	6VX	7VH	7VV	7VX	8VH	8VV	8VX
M01	2.887	3.164	1.573	2.138	1.159	1.830	1.808	1.179	1.067	1.584	1.065	2.207	1.510	1.408	1.542	1.625	0.985	1.605	2.808	2.172	1.970	5.040	6.417	0.867
M02	2.067	2.367	1.404	2.249	1.727	3.767	1.475	1.487	0.940	1.799	1.155	1.693	1.524	1.394	1.470	1.476	1.241	1.274	2.780	1.357	3.066	4.358	4.149	0.725
M03	1.589	2.215	1.484	2.664	1.089	1.585	1.445	1.171	1.480	1.363	1.145	1.739	1.406	1.116	1.818	1.478	1.078	1.690	3.291	1.642	3.755	4.765	3.840	0.806
M04	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.550	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176
M05	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.200	1.312	1.237	2.305	1.510	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.450	1.093
M06	1.628	2.282	1.610	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.250	1.514	1.175	1.188	1.405	1.330	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M07	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.630	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M08	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.430	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.470	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.830	1.019
M09	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.890	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.150	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M10	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.770	1.875	0.977	1.438	1.370	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M11	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.350	1.864	2.180	1.504	2.935	2.868	0.671
M12	2.520	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.920	2.098	1.491	1.605	1.560	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.910	3.585	0.840
M13	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.310	1.760	1.396	1.383	2.613	2.130	3.507	4.021	3.252	0.556
M14	1.548	2.050	1.560	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M15	1.767	1.435	1.330	2.175	1.050	1.348	1.563	1.363	1.371	1.821	1.160	1.401	1.903	1.161	1.795	1.734	1.307	1.741	3.544	2.019	3.692	4.518	4.769	0.735
M16	1.705	1.413	1.284	2.476	2.057	2.161	1.583	2.055	1.623	1.630	1.243	1.289	1.670	1.356	1.541	1.765	0.651	1.704	2.804	2.236	3.896	4.969	4.724	1.142
M17	1.814	1.380	1.608	1.946	2.494	2.398	1.486	1.962	1.946	1.462	0.967	1.173	1.569	1.193	1.581	1.549	1.039	1.639	2.136	1.560	1.679	3.309	2.882	1.566
M18	1.907	1.872	1.259	2.743	1.310	1.385	1.255	1.469	1.964	1.449	1.426	1.337	1.353	1.178	1.308	1.719	0.852	1.740	2.800	1.676	3.068	3.736	3.760	0.575
M19	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.550	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176
M20	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.200	1.312	1.237	2.305	1.510	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.450	1.093
M21	1.628	2.282	1.610	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.250	1.514	1.175	1.188	1.405	1.330	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M22	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.630	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M23	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.430	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.470	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.830	1.019
M24	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.890	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.150	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M25	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.770	1.875	0.977	1.438	1.370	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M26	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.350	1.864	2.180	1.504	2.935	2.868	0.671
M27	2.520	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.920	2.098	1.491	1.605	1.560	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.910	3.585	0.840
M28	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.310	1.760	1.396	1.383	2.613	2.130	3.507	4.021	3.252	0.556
M29	1.548	2.050	1.560	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M30	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724

M31	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M32	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671
M33	2.52	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.92	2.098	1.491	1.605	1.56	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.91	3.585	0.84
M34	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.31	1.76	1.396	1.383	2.613	2.13	3.507	4.021	3.252	0.556
M35	1.548	2.05	1.56	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M36	1.767	1.435	1.33	2.175	1.05	1.348	1.563	1.363	1.371	1.821	1.16	1.401	1.903	1.161	1.795	1.734	1.307	1.741	3.544	2.019	3.692	4.518	4.769	0.735
M37	1.705	1.413	1.284	2.476	2.057	2.161	1.583	2.055	1.623	1.63	1.243	1.289	1.67	1.356	1.541	1.765	0.651	1.704	2.804	2.236	3.896	4.969	4.724	1.142
M38	1.814	1.38	1.608	1.946	2.494	2.398	1.486	1.962	1.946	1.462	0.967	1.173	1.569	1.193	1.581	1.549	1.039	1.639	2.136	1.56	1.679	3.309	2.882	1.566
M39	1.907	1.872	1.259	2.743	1.31	1.385	1.255	1.469	1.964	1.449	1.426	1.337	1.353	1.178	1.308	1.719	0.852	1.74	2.8	1.676	3.068	3.736	3.76	0.575
M40	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.55	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176
M41	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.2	1.312	1.237	2.305	1.51	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.45	1.093
M42	1.628	2.282	1.61	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.25	1.514	1.175	1.188	1.405	1.33	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M43	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.63	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M44	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.43	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.47	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.83	1.019
M45	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M46	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M47	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.55	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176
M48	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.2	1.312	1.237	2.305	1.51	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.45	1.093
M49	1.628	2.282	1.61	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.25	1.514	1.175	1.188	1.405	1.33	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M50	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.63	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M51	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.43	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.47	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.83	1.019
M52	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M53	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M54	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671
M55	2.52	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.92	2.098	1.491	1.605	1.56	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.91	3.585	0.84
M56	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.31	1.76	1.396	1.383	2.613	2.13	3.507	4.021	3.252	0.556
M57	1.548	2.05	1.56	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M58	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M59	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M60	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671
M61	2.52	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.92	2.098	1.491	1.605	1.56	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.91	3.585	0.84
M62	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.31	1.76	1.396	1.383	2.613	2.13	3.507	4.021	3.252	0.556
M63	1.548	2.05	1.56	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M64	1.767	1.435	1.33	2.175	1.05	1.348	1.563	1.363	1.371	1.821	1.16	1.401	1.903	1.161	1.795	1.734	1.307	1.741	3.544	2.019	3.692	4.518	4.769	0.735
M65	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.770	1.875	0.977	1.438	1.370	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M66	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.350	1.864	2.180	1.504	2.935	2.868	0.671
M67	2.520	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.920	2.098	1.491	1.605	1.560	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.910	3.585	0.840
M68	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.310	1.760	1.396	1.383	2.613	2.130	3.507	4.021	3.252	0.556
M69	1.548	2.050	1.560	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M70	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M71	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M72	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671
M73	2.52	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.92	2.098	1.491	1.605	1.56	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.91	3.585	0.84
M74	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.31	1.76	1.396	1.383	2.613	2.13	3.507	4.021	3.252	0.556
M75	1.548	2.05	1.56	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M76	1.767	1.435	1.33	2.175	1.05	1.348	1.563	1.363	1.371	1.821	1.16	1.401	1.903	1.161	1.795	1.734	1.307	1.741	3.544	2.019	3.692	4.518	4.769	0.735
M77	1.705	1.413	1.284	2.476	2.057	2.161	1.583	2.055	1.623	1.63	1.243	1.289	1.67	1.356	1.541	1.765	0.651	1.704	2.804	2.236	3.896	4.969	4.724	1.142
M78	1.814	1.38	1.608	1.946	2.494	2.398	1.486	1.962	1.946	1.462	0.967	1.173	1.569	1.193	1.581	1.549	1.039	1.639	2.136	1.56	1.679	3.309	2.882	1.566
M79	1.907	1.872	1.259	2.743	1.31	1.385	1.255	1.469	1.964	1.449	1.426	1.337	1.353	1.178	1.308	1.719	0.852	1.74	2.8	1.676	3.068	3.736	3.76	0.575
M80	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.55	1.671	1.437	1.43													

M81	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.2	1.312	1.237	2.305	1.51	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.45	1.093
M82	1.628	2.282	1.61	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.25	1.514	1.175	1.188	1.405	1.33	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M83	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.63	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M84	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.43	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.47	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.83	1.019
M85	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M86	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M87	3.459	2.884	1.122	2.824	1.031	1.529	1.222	1.55	1.671	1.437	1.432	1.513	1.345	0.978	1.323	1.479	1.164	1.283	3.262	1.708	2.921	5.024	3.515	1.176
M88	1.934	2.666	1.508	2.564	1.224	1.514	1.237	2.299	1.107	1.516	1.773	1.2	1.312	1.237	2.305	1.51	0.977	1.689	3.429	1.707	3.031	4.123	3.45	1.093
M89	1.628	2.282	1.61	1.795	1.176	1.248	1.796	2.401	1.25	1.514	1.175	1.188	1.405	1.33	1.685	1.426	1.048	1.544	3.263	1.718	3.341	4.625	2.912	1.174
M90	2.479	2.615	1.663	2.026	1.153	2.244	1.207	1.358	1.175	1.621	1.073	1.196	1.514	1.376	1.63	1.656	0.998	1.709	2.563	1.986	3.018	3.851	5.293	0.548
M91	2.926	2.404	1.337	2.037	2.558	1.704	1.43	1.328	1.103	1.572	1.535	1.533	1.491	1.47	1.492	4.374	3.196	2.325	2.874	3.443	3.433	4.219	5.83	1.019
M92	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M93	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M94	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671
M95	2.52	3.363	2.203	2.769	1.771	1.277	1.92	2.098	1.491	1.605	1.56	1.348	1.652	1.568	1.409	1.763	1.419	1.769	2.736	2.532	1.668	4.91	3.585	0.84
M96	1.508	1.382	2.763	2.229	2.087	1.042	1.349	1.763	1.301	1.525	1.455	0.996	1.553	1.517	1.31	1.76	1.396	1.383	2.613	2.13	3.507	4.021	3.252	0.556
M97	1.548	2.05	1.56	2.257	1.043	1.732	1.333	1.355	0.827	1.534	1.008	0.923	1.358	1.264	1.084	1.543	0.789	1.316	2.087	2.009	1.474	3.813	2.674	0.427
M98	2.114	2.773	1.276	2.579	2.402	3.172	1.415	1.228	0.89	1.434	0.959	1.075	1.488	1.989	1.15	1.474	0.879	1.383	2.464	2.315	3.273	3.903	5.846	0.724
M99	3.477	3.632	1.663	2.328	1.369	3.948	1.702	2.228	1.287	1.77	1.875	0.977	1.438	1.37	1.335	1.965	0.862	0.636	2.983	2.023	2.894	3.872	3.059	0.784
M100	4.599	2.847	2.258	4.172	1.329	4.077	1.931	2.183	1.244	1.655	1.129	1.163	1.558	1.274	1.287	1.565	0.549	1.35	1.864	2.18	1.504	2.935	2.868	0.671

MUESTRA	1000	Velocidad RMS (mm/s)
PERÍODO	10 meses	Enero - Octubre

MUESTRA	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	M31	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M66	3.21366667	1.49155556	1.72066667
M01	2.12516667	1.48555556	2.60988889	M32	3.21366667	1.49155556	1.72066667	M67	2.31716667	1.62788889	2.35800000
M02	2.26350000	1.43744444	2.26955556	M33	2.31716667	1.62788889	2.35800000	M68	1.83516667	1.41877778	2.29088889
M03	1.77100000	1.40922222	2.48277778	M34	1.83516667	1.41877778	2.29088889	M69	1.69833333	1.18733333	1.79244444
M04	1.95216667	1.38566667	2.39244444	M35	1.69833333	1.18733333	1.79244444	M70	2.38600000	1.29200000	2.47344444
M05	1.90166667	1.55400000	2.33433333	M36	1.51750000	1.50422222	2.67322222	M71	2.73616667	1.55355556	2.11977778
M06	1.62316667	1.52711111	2.33900000	M37	1.84933333	1.55444444	2.65455556	M72	3.21366667	1.49155556	1.72066667
M07	2.03000000	1.35000000	2.40244444	M38	1.94000000	1.48211111	1.92877778	M73	2.31716667	1.62788889	2.35800000
M08	2.16100000	1.43933333	3.41255556	M39	1.74600000	1.41544444	2.21400000	M74	1.83516667	1.41877778	2.29088889
M09	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M40	2.14150000	1.38566667	2.39244444	M75	1.69833333	1.18733333	1.79244444
M10	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M41	1.90166667	1.55400000	2.33433333	M76	1.51750000	1.50422222	2.67322222
M11	3.21366667	1.49155556	1.72066667	M42	1.62316667	1.52711111	2.33900000	M77	1.84933333	1.55444444	2.65455556
M12	2.31716667	1.62788889	2.35800000	M43	2.03000000	1.35000000	2.40244444	M78	1.94000000	1.48211111	1.92877778
M13	1.83516667	1.41877778	2.29088889	M44	2.16100000	1.43933333	3.41255556	M79	1.74600000	1.41544444	2.21400000
M14	1.69833333	1.18733333	1.79244444	M45	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M80	2.14150000	1.38566667	2.39244444
M15	1.51750000	1.50422222	2.67322222	M46	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M81	1.90166667	1.55400000	2.33433333
M16	1.84933333	1.55444444	2.65455556	M47	2.14150000	1.38566667	2.39244444	M82	1.62316667	1.52711111	2.33900000
M17	1.94000000	1.48211111	1.92877778	M48	1.90166667	1.55400000	2.33433333	M83	2.03000000	1.35000000	2.40244444
M18	1.74600000	1.41544444	2.21400000	M49	1.62316667	1.52711111	2.33900000	M84	2.16100000	1.43933333	3.41255556
M19	2.14150000	1.38566667	2.39244444	M50	2.03000000	1.35000000	2.40244444	M85	2.38600000	1.29200000	2.47344444
M20	1.90166667	1.55400000	2.33433333	M51	2.16100000	1.43933333	3.41255556	M86	2.73616667	1.55355556	2.11977778
M21	1.62316667	1.52711111	2.33900000	M52	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M87	2.14150000	1.38566667	2.39244444
M22	2.03000000	1.35000000	2.40244444	M53	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M88	1.90166667	1.55400000	2.33433333
M23	2.16100000	1.43933333	3.41255556	M54	3.21366667	1.49155556	1.72066667	M89	1.62316667	1.52711111	2.33900000
M24	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M55	2.31716667	1.62788889	2.35800000	M90	2.03000000	1.35000000	2.40244444
M25	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M56	1.83516667	1.41877778	2.29088889	M91	2.16100000	1.43933333	3.41255556
M26	3.21366667	1.49155556	1.72066667	M57	1.69833333	1.18733333	1.79244444	M92	2.38600000	1.29200000	2.47344444
M27	2.31716667	1.62788889	2.35800000	M58	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M93	2.73616667	1.55355556	2.11977778
M28	1.83516667	1.41877778	2.29088889	M59	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M94	3.21366667	1.49155556	1.72066667
M29	1.69833333	1.18733333	1.79244444	M60	3.21366667	1.49155556	1.72066667	M95	2.31716667	1.62788889	2.35800000
M30	2.38600000	1.29200000	2.47344444	M61	2.31716667	1.62788889	2.35800000	M96	1.83516667	1.41877778	2.29088889
				M62	1.83516667	1.41877778	2.29088889	M97	1.69833333	1.18733333	1.79244444
				M63	1.69833333	1.18733333	1.79244444	M98	2.38600000	1.29200000	2.47344444
				M64	1.51750000	1.50422222	2.67322222	M99	2.73616667	1.55355556	2.11977778
				M65	2.73616667	1.55355556	2.11977778	M100	3.21366667	1.49155556	1.72066667

MUESTRA	1000	Aceleración (g)
PERÍODO	10 meses	Enero - Octubre

MUESTRA	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	M31	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M66	1.632761957	0.757812001	0.87421608
M01	1.079729681	0.754763592	1.326001646	M32	1.632761957	0.757812001	0.87421608	M67	1.177278783	0.827078638	1.198024903
M02	1.150012454	0.730319865	1.15308909	M33	1.177278783	0.827078638	1.198024903	M68	0.932389893	0.720835924	1.163927879
M03	0.899788848	0.71598105	1.261420528	M34	0.932389893	0.720835924	1.163927879	M69	0.862869222	0.603246353	0.910684089
M04	0.991833876	0.70401322	1.215525031	M35	0.862869222	0.603246353	0.910684089	M70	1.212250813	0.656424162	1.256678558
M05	0.96617643	0.78953804	1.186000621	M36	0.770993549	0.764247532	1.358179301	M71	1.390159374	0.789312232	1.076991758
M06	0.824679427	0.77587665	1.188371606	M37	0.939587526	0.789763848	1.348695361	M72	1.632761957	0.757812001	0.87421608
M07	1.031378521	0.68589212	1.220605713	M38	0.98565238	0.753013579	0.979950725	M73	1.177278783	0.827078638	1.198024903
M08	1.09793546	0.731279549	1.733811084	M39	0.887087142	0.719142363	1.124863076	M74	0.932389893	0.720835924	1.163927879
M09	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M40	1.088028129	0.70401322	1.215525031	M75	0.862869222	0.603246353	0.910684089
M10	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M41	0.96617643	0.78953804	1.186000621	M76	0.770993549	0.764247532	1.358179301
M11	1.632761957	0.757812001	0.87421608	M42	0.824679427	0.77587665	1.188371606	M77	0.939587526	0.789763848	1.348695361
M12	1.177278783	0.827078638	1.198024903	M43	1.031378521	0.68589212	1.220605713	M78	0.98565238	0.753013579	0.979950725
M13	0.932389893	0.720835924	1.163927879	M44	1.09793546	0.731279549	1.733811084	M79	0.887087142	0.719142363	1.124863076
M14	0.862869222	0.603246353	0.910684089	M45	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M80	1.088028129	0.70401322	1.215525031
M15	0.770993549	0.764247532	1.358179301	M46	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M81	0.96617643	0.78953804	1.186000621
M16	0.939587526	0.789763848	1.348695361	M47	1.088028129	0.70401322	1.215525031	M82	0.824679427	0.77587665	1.188371606
M17	0.98565238	0.753013579	0.979950725	M48	0.96617643	0.78953804	1.186000621	M83	1.031378521	0.68589212	1.220605713
M18	0.887087142	0.719142363	1.124863076	M49	0.824679427	0.77587665	1.188371606	M84	1.09793546	0.731279549	1.733811084
M19	1.088028129	0.70401322	1.215525031	M50	1.031378521	0.68589212	1.220605713	M85	1.212250813	0.656424162	1.256678558
M20	0.96617643	0.78953804	1.186000621	M51	1.09793546	0.731279549	1.733811084	M86	1.390159374	0.789312232	1.076991758
M21	0.824679427	0.77587665	1.188371606	M52	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M87	1.088028129	0.70401322	1.215525031
M22	1.031378521	0.68589212	1.220605713	M53	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M88	0.96617643	0.78953804	1.186000621
M23	1.09793546	0.731279549	1.733811084	M54	1.632761957	0.757812001	0.87421608	M89	0.824679427	0.77587665	1.188371606
M24	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M55	1.177278783	0.827078638	1.198024903	M90	1.031378521	0.68589212	1.220605713
M25	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M56	0.932389893	0.720835924	1.163927879	M91	1.09793546	0.731279549	1.733811084
M26	1.632761957	0.757812001	0.87421608	M57	0.862869222	0.603246353	0.910684089	M92	1.212250813	0.656424162	1.256678558
M27	1.177278783	0.827078638	1.198024903	M58	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M93	1.390159374	0.789312232	1.076991758
M28	0.932389893	0.720835924	1.163927879	M59	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M94	1.632761957	0.757812001	0.87421608
M29	0.862869222	0.603246353	0.910684089	M60	1.632761957	0.757812001	0.87421608	M95	1.177278783	0.827078638	1.198024903
M30	1.212250813	0.656424162	1.256678558	M61	1.177278783	0.827078638	1.198024903	M96	0.932389893	0.720835924	1.163927879
				M62	0.932389893	0.720835924	1.163927879	M97	0.862869222	0.603246353	0.910684089
				M63	0.862869222	0.603246353	0.910684089	M98	1.212250813	0.656424162	1.256678558
				M64	0.770993549	0.764247532	1.358179301	M99	1.390159374	0.789312232	1.076991758
				M65	1.390159374	0.789312232	1.076991758	M100	1.632761957	0.757812001	0.87421608

MUESTRA	1000	Desplazamiento absoluto (mm)
PERÍODO	10 meses	Enero - Octubre

MUESTRA	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	M31	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M66	1.142991682	0.530495465	0.611982477
M01	0.755849338	0.528361469	0.928248508	M32	1.142991682	0.530495465	0.611982477	M67	0.824137193	0.578984584	0.838660217
M02	0.805049789	0.511249987	0.807203543	M33	0.824137193	0.578984584	0.838660217	M68	0.652706224	0.50461089	0.814791083
M03	0.629884328	0.501212305	0.883039419	M34	0.652706224	0.50461089	0.814791083	M69	0.604039272	0.422293991	0.637511386
M04	0.694319135	0.492834397	0.850910932	M35	0.604039272	0.422293991	0.637511386	M70	0.848618863	0.459520357	0.879719871
M05	0.676358007	0.552704825	0.830242791	M36	0.539723019	0.535000566	0.950774016	M71	0.973161209	0.552546751	0.753932694
M06	0.577305051	0.543141364	0.831902565	M37	0.657744824	0.552862899	0.944134919	M72	1.142991682	0.530495465	0.611982477
M07	0.722001799	0.480148979	0.854467591	M38	0.689991867	0.527136398	0.686000505	M73	0.824137193	0.578984584	0.838660217
M08	0.768594033	0.511921801	1.213729679	M39	0.62099268	0.503425337	0.787444326	M74	0.652706224	0.50461089	0.814791083
M09	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M40	0.761658548	0.492834397	0.850910932	M75	0.604039272	0.422293991	0.637511386
M10	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M41	0.676358007	0.552704825	0.830242791	M76	0.539723019	0.535000566	0.950774016
M11	1.142991682	0.530495465	0.611982477	M42	0.577305051	0.543141364	0.831902565	M77	0.657744824	0.552862899	0.944134919
M12	0.824137193	0.578984584	0.838660217	M43	0.722001799	0.480148979	0.854467591	M78	0.689991867	0.527136398	0.686000505
M13	0.652706224	0.50461089	0.814791083	M44	0.768594033	0.511921801	1.213729679	M79	0.62099268	0.503425337	0.787444326
M14	0.604039272	0.422293991	0.637511386	M45	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M80	0.761658548	0.492834397	0.850910932
M15	0.539723019	0.535000566	0.950774016	M46	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M81	0.676358007	0.552704825	0.830242791
M16	0.657744824	0.552862899	0.944134919	M47	0.761658548	0.492834397	0.850910932	M82	0.577305051	0.543141364	0.831902565
M17	0.689991867	0.527136398	0.686000505	M48	0.676358007	0.552704825	0.830242791	M83	0.722001799	0.480148979	0.854467591
M18	0.62099268	0.503425337	0.787444326	M49	0.577305051	0.543141364	0.831902565	M84	0.768594033	0.511921801	1.213729679
M19	0.761658548	0.492834397	0.850910932	M50	0.722001799	0.480148979	0.854467591	M85	0.848618863	0.459520357	0.879719871
M20	0.676358007	0.552704825	0.830242791	M51	0.768594033	0.511921801	1.213729679	M86	0.973161209	0.552546751	0.753932694
M21	0.577305051	0.543141364	0.831902565	M52	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M87	0.761658548	0.492834397	0.850910932
M22	0.722001799	0.480148979	0.854467591	M53	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M88	0.676358007	0.552704825	0.830242791
M23	0.768594033	0.511921801	1.213729679	M54	1.142991682	0.530495465	0.611982477	M89	0.577305051	0.543141364	0.831902565
M24	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M55	0.824137193	0.578984584	0.838660217	M90	0.722001799	0.480148979	0.854467591
M25	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M56	0.652706224	0.50461089	0.814791083	M91	0.768594033	0.511921801	1.213729679
M26	1.142991682	0.530495465	0.611982477	M57	0.604039272	0.422293991	0.637511386	M92	0.848618863	0.459520357	0.879719871
M27	0.824137193	0.578984584	0.838660217	M58	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M93	0.973161209	0.552546751	0.753932694
M28	0.652706224	0.50461089	0.814791083	M59	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M94	1.142991682	0.530495465	0.611982477
M29	0.604039272	0.422293991	0.637511386	M60	1.142991682	0.530495465	0.611982477	M95	0.824137193	0.578984584	0.838660217
M30	0.848618863	0.459520357	0.879719871	M61	0.824137193	0.578984584	0.838660217	M96	0.652706224	0.50461089	0.814791083
				M62	0.652706224	0.50461089	0.814791083	M97	0.604039272	0.422293991	0.637511386
				M63	0.604039272	0.422293991	0.637511386	M98	0.848618863	0.459520357	0.879719871
				M64	0.539723019	0.535000566	0.950774016	M99	0.973161209	0.552546751	0.753932694
				M65	0.973161209	0.552546751	0.753932694	M100	1.142991682	0.530495465	0.611982477

MUESTRA	1000	Potencia Mecánica (MW)
PERÍODO	10 meses	Enero - Octubre

MUESTRA	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO
M01	5.667263658	3.961588116	6.959891044
M02	6.036162476	3.833288366	6.052311059
M03	4.722793791	3.758027081	6.620918957
M04	5.205917906	3.695210576	6.380023584
M05	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M06	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M07	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M08	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M09	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M10	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M11	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M12	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M13	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M14	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M15	4.046775594	4.011367234	7.128784479
M16	4.931688303	4.145296765	7.079005361
M17	5.173472588	3.952402684	5.143545857
M18	4.65612533	3.774620121	5.904158923
M19	5.710820386	3.695210576	6.380023584
M20	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M21	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M22	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M23	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M24	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M25	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M26	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M27	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M28	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M29	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M30	6.362837936	3.445426074	6.596029398

M31	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M32	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M33	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M34	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M35	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M36	4.046775594	4.011367234	7.128784479
M37	4.931688303	4.145296765	7.079005361
M38	5.173472588	3.952402684	5.143545857
M39	4.65612533	3.774620121	5.904158923
M40	5.710820386	3.695210576	6.380023584
M41	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M42	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M43	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M44	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M45	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M46	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M47	5.710820386	3.695210576	6.380023584
M48	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M49	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M50	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M51	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M52	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M53	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M54	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M55	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M56	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M57	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M58	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M59	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M60	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M61	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M62	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M63	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M64	4.046775594	4.011367234	7.128784479
M65	7.296640849	4.142926331	5.652892901

M66	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M67	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M68	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M69	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M70	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M71	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M72	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M73	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M74	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M75	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M76	4.046775594	4.011367234	7.128784479
M77	4.931688303	4.145296765	7.079005361
M78	5.173472588	3.952402684	5.143545857
M79	4.65612533	3.774620121	5.904158923
M80	5.710820386	3.695210576	6.380023584
M81	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M82	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M83	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M84	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M85	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M86	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M87	5.710820386	3.695210576	6.380023584
M88	5.071247615	4.144111548	6.22505645
M89	4.328560957	4.072405914	6.237501229
M90	5.413479049	3.600096904	6.406690968
M91	5.762821785	3.838325539	9.100393105
M92	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M93	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M94	8.570008458	3.977588547	4.588567956
M95	6.17927744	4.341153889	6.28816926
M96	4.893909508	3.783509249	6.109201479
M97	4.529010797	3.16630745	4.779980515
M98	6.362837936	3.445426074	6.596029398
M99	7.296640849	4.142926331	5.652892901
M100	8.570008458	3.977588547	4.588567956

MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	VELOCIDAD VIBRACIONAL RMS (mm/s)			ACUMULADO
	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	
MM1	2.1251667	1.4855556	2.60988889	6.2206111
MM2	2.2635	1.4374444	2.26955556	5.9705
MM3	1.771	1.4092222	2.48277778	5.663
MM4	2.1415	1.3856667	2.39244444	5.9196111
MM5	1.9016667	1.554	2.33433333	5.79
MM6	1.6231667	1.5271111	2.339	5.4892778
MM7	2.03	1.35	2.40244444	5.7824444
MM8	2.161	1.4393333	3.41255556	7.0128889
MM9	2.386	1.292	2.47344444	6.1514444
MM10	2.7361667	1.5535556	2.11977778	6.4095
MM11	3.2136667	1.4915556	1.72066667	6.4258889
MM12	2.3171667	1.6278889	2.358	6.3030556
MM13	1.8351667	1.4187778	2.29088889	5.5448333
MM14	1.6983333	1.1873333	1.79244444	4.6781111
MM15	1.5175	1.5042222	2.67322222	5.6949444
MM16	1.8493333	1.5544444	2.65455556	6.0583333
MM17	1.94	1.4821111	1.92877778	5.3508889
MM18	1.746	1.4154444	2.214	5.3754444
MEDIA	2.0697963	1.4508704	2.35937654	5.8800432

TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO
1.0810096	0.7556583	1.32757354	3.1642415
1.1513757	0.7311856	1.15445601	3.0370173
0.9008555	0.7168298	1.26291586	2.8806012
1.0893179	0.7048478	1.21696596	3.0111317
0.9673218	0.790474	1.18740655	2.9452023
0.825657	0.7767964	1.18978035	2.7922338
1.0326012	0.6867052	1.22205267	2.941359
1.099237	0.7321464	1.73586641	3.5672498
1.2136879	0.6572023	1.25816827	3.1290584
1.3918073	0.7902479	1.07826846	3.2603237
1.6346975	0.7587103	0.87525241	3.2686602
1.1786744	0.8280591	1.19944509	3.2061785
0.9334952	0.7216904	1.16530764	2.8204933
0.8638921	0.6039615	0.91176365	2.3796172
0.7719075	0.7651535	1.35978934	2.8968504
0.9407013	0.7907001	1.35029416	3.0816956
0.9868208	0.7539062	0.9811124	2.7218394
0.8881387	0.7199949	1.12619653	2.7343301
1.0528444	0.738015	1.20014529	2.9910046

DESPLAZAMIENTO VIBRACIONAL (mm)			
TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO
0.7536616	0.5268322	0.9255618	2.2060557
0.8027197	0.5097703	0.8048672	2.1173572
0.6280612	0.4997616	0.8804836	2.0083064
0.759454	0.491408	0.8484481	2.0993101
0.6744004	0.5511051	0.8278398	2.0533453
0.5756341	0.5415693	0.8294947	1.9466982
0.7199121	0.4787593	0.8519945	2.0506658
0.7663695	0.5104401	1.2102167	2.4870263
0.8461627	0.4581903	0.8771737	2.1815267
0.9703445	0.5509475	0.7517505	2.2730426
1.1396835	0.52896	0.6102112	2.2788547
0.8217519	0.5773088	0.8362328	2.2352935
0.6508171	0.5031504	0.8124328	1.9664002
0.602291	0.4210717	0.6356662	1.6590289
0.5381609	0.5334521	0.9480221	2.0196351
0.6558411	0.5512627	0.9414023	2.1485061
0.6879948	0.5256107	0.684015	1.8976205
0.6191953	0.5019682	0.7851652	1.9063287
0.7340253	0.5145316	0.836721	2.0852779

POTENCIA MECÁNICA (MW)		
TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO
5.650955	3.9501879	6.93986263
6.0187923	3.8222573	6.03489438
4.709203	3.7472126	6.601866
5.6943864	3.6845769	6.36166385
5.0566541	4.1321861	6.20714266
4.3161047	4.0606868	6.21955163
5.3979007	3.5897369	6.38825449
5.7462382	3.82728	9.07420498
6.3445277	3.4355112	6.57704806
7.2756434	4.1310043	5.63662562
8.5453466	3.9661423	4.57536347
6.1614954	4.3286614	6.27007385
4.8798263	3.7726215	6.09162108
4.5159777	3.1571958	4.76622521
4.0351302	3.9998238	7.10827004
4.9174964	4.1333679	7.05863417
5.1585849	3.9410289	5.12874432
4.6427264	3.7637579	5.88716858
5.5037216	3.8579577	6.27373417

DATOS DE INGRESO

POTENCIA NOMINAL	12	MW
POTENCIA MECÁNICA CALCULADA	6.3	MW
VIDA NOMINAL DEL TURBOGENERADOR	50	Años
VIDA ÚTIL DEL TURBOGENERADOR	20	Años
VELOCIDAD DE ROTACIÓN NOMINAL	8000	rpm
VELOCIDAD DE ROTACIÓN OPERATIVA	6300	rpm
POTENCIA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	3.86	MW
INTERVENCIONES DEL MANTENIMIENTO ACTUALES	201	Veces/año
INTERVENCIONES DEL MANTENIMIENTO ESTIMADAS - CALCULADAS	80	Veces/año
TIEMPO DE REPARACIÓN ACTUAL	873.66	Horas
TIEMPO DE REPARACIÓN ESTIMADA - CALCULADA	285.02	Horas
GRADO DE CONFIABILIDAD REQUERIDO POR LA EMPRESA	85	%
GRADO DE CONFIABILIDAD ACTUAL - CALCULADA	67.83	%
PERIODO DE CURVA CARACTERÍSTICA DE VIBRACIÓN	0.00952	s
FRECUENCIA RECURRENTE DE VIBRACIÓN MECÁNICA	105	Hz

NORMA ISO 10816

VELOCIDAD DE VIBRACIÓN REQUERIDA	≤	2.5	mm/s
ACELERACIÓN DE VIBRACIÓN REQUERIDA	≤	1.3	g

FACTORES % OPERACIÓN

% DE POTENCIA CONSUMIDA	52.281	%
% DE VIDA DEL TURBOGENERADOR	40	%
% DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN	78.75	%
% DE POTENCIA EN REDUCTOR	32.15	%
% DE INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO	39.80	%
% DE TIEMPO DE REPARACIÓN	32.62	%
% DE DIFERENCIA DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL	17.17	%

FACTOR INCIDENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE VIBRACIÓN EN TURBINA				0.100
MUESTRA (MM)	VELOCIDAD (mm/s)	NORMA ISO 10816	ACUMULADO	EXCESO %
MM1	2.125167	2.5	6.220611	57.119%
MM2	2.263500	2.5	5.970500	65.221%
MM3	1.771000	2.5	5.663000	55.991%
MM4	2.141500	2.5	5.919611	62.624%
MM5	1.901667	2.5	5.790000	57.801%
MM6	1.623167	2.5	5.489278	54.300%
MM7	2.030000	2.5	5.782444	61.844%
MM8	2.161000	2.5	7.012889	47.885%
MM9	2.386000	2.5	6.151444	65.344%
MM10	2.736167	2.5	6.409500	69.988%
MM11	3.213667	2.5	6.425889	81.858%
MM12	2.317167	2.5	6.303056	60.929%
MM13	1.835167	2.5	5.544833	60.271%
MM14	1.698333	2.5	4.678111	77.973%
MM15	1.517500	2.5	5.694944	47.497%
MM16	1.849333	2.5	6.058333	51.972%
MM17	1.940000	2.5	5.350889	68.049%
MM18	1.746000	2.5	5.375444	60.721%
MEDIA	2.069796	2.5	5.880043	61.236%

FACTOR INCIDENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE VIBRACIÓN EN REDUCTOR				0.150
MUESTRA (MM)	VELOCIDAD (mm/s)	NORMA ISO 10816	ACUMULADO	EXCESO %
MM1	1.485556	2.5	6.220611	39.928%
MM2	1.437444	2.5	5.970500	41.419%
MM3	1.409222	2.5	5.663000	44.553%
MM4	1.385667	2.5	5.919611	40.521%
MM5	1.554000	2.5	5.790000	47.234%
MM6	1.527111	2.5	5.489278	51.086%
MM7	1.350000	2.5	5.782444	41.128%
MM8	1.439333	2.5	7.012889	31.894%
MM9	1.292000	2.5	6.151444	35.383%
MM10	1.553556	2.5	6.409500	39.738%
MM11	1.491556	2.5	6.425889	37.993%
MM12	1.627889	2.5	6.303056	42.805%
MM13	1.418778	2.5	5.544833	46.596%
MM14	1.187333	2.5	4.678111	54.512%
MM15	1.504222	2.5	5.694944	47.081%
MM16	1.554444	2.5	6.058333	43.685%
MM17	1.482111	2.5	5.350889	51.988%
MM18	1.415444	2.5	5.375444	49.225%
MEDIA	1.450870	2.5	5.880043	42.925%

FACTOR INCIDENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE VIBRACIÓN EN GENERADOR				0.180
MUESTRA (MM)	VELOCIDAD (mm/s)	NORMA ISO 10816	ACUMULADO	EXCESO %
MM1	2.609889	2.5	6.220611	70.147%
MM2	2.269556	2.5	5.970500	65.396%
MM3	2.482778	2.5	5.663000	78.494%
MM4	2.392444	2.5	5.919611	69.962%
MM5	2.334333	2.5	5.790000	70.952%
MM6	2.339000	2.5	5.489278	78.246%
MM7	2.402444	2.5	5.782444	73.191%
MM8	3.412556	2.5	7.012889	75.618%
MM9	2.473444	2.5	6.151444	67.739%
MM10	2.119778	2.5	6.409500	54.221%
MM11	1.720667	2.5	6.425889	43.829%
MM12	2.358000	2.5	6.303056	62.003%
MM13	2.290889	2.5	5.544833	75.239%
MM14	1.792444	2.5	4.678111	82.294%
MM15	2.673222	2.5	5.694944	83.670%
MM16	2.654556	2.5	6.058333	74.601%
MM17	1.928778	2.5	5.350889	67.655%
MM18	2.214000	2.5	5.375444	76.997%
MEDIA	2.359377	2.5	5.880043	69.803%

MUESTRAS ABSOLUTAS MEDIAS	VELOCIDAD VIBRACIONAL RMS (mm/s)						ACUMULADO
	TURBINA DE VAPOR	FACTOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	FACTOR	GENERADOR ELÉCTRICO	FACTOR	
MM1	0.2125274	0.100	0.2228317	0.150	0.46977936	0.180	0.9051
MM2	0.2263615	0.100	0.2156151	0.150	0.40851944	0.180	0.8505
MM3	0.177109	0.100	0.2113817	0.150	0.44689939	0.180	0.8354
MM4	0.2141609	0.100	0.2078484	0.150	0.43063941	0.180	0.8526
MM5	0.1901763	0.100	0.2330983	0.150	0.42017943	0.180	0.8435
MM6	0.1623249	0.100	0.2290649	0.150	0.42101942	0.180	0.8124
MM7	0.2030103	0.100	0.2024985	0.150	0.43243941	0.180	0.8379
MM8	0.216111	0.100	0.2158984	0.150	0.61425916	0.180	1.0463
MM9	0.2386121	0.100	0.1937985	0.150	0.44521939	0.180	0.8776
MM10	0.2736305	0.100	0.2330316	0.150	0.38155948	0.180	0.8882
MM11	0.321383	0.100	0.2237317	0.150	0.30971958	0.180	0.8548
MM12	0.2317284	0.100	0.2441815	0.150	0.42443942	0.180	0.9003
MM13	0.183526	0.100	0.2128151	0.150	0.41235944	0.180	0.8087
MM14	0.1698419	0.100	0.1780987	0.150	0.32263956	0.180	0.6706
MM15	0.1517577	0.100	0.2256316	0.150	0.48117934	0.180	0.8586
MM16	0.1849427	0.100	0.2331649	0.150	0.47781935	0.180	0.8959
MM17	0.1940098	0.100	0.222315	0.150	0.34717953	0.180	0.7635
MM18	0.1746089	0.100	0.2123151	0.150	0.39851946	0.180	0.7854
MEDIA	0.2069901		0.2176289		0.4246872		0.8493

ACELERACIÓN VIBRACIONAL (g)				DESPLAZAMIENTO VIBRACIONAL (mm)				POTENCIA MECÁNICA (MW)		
TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO	ACUMULADO	TURBINA DE VAPOR	REDUCTOR DE VELOCIDAD	GENERADOR ELÉCTRICO
0.1079784	0.1132137	0.23867997	0.4598721	0.0755888	0.0792536	0.1670845	0.3219269	8.4764264	5.925284	10.4097942
0.1150071	0.1095472	0.20755575	0.43211	0.0805091	0.0766869	0.14529644	0.3024924	9.0281818	5.7333881	9.05234178
0.0899834	0.1073964	0.22705538	0.4244352	0.0629916	0.0751813	0.15894688	0.2971198	7.0637994	5.620821	9.90279923
0.1088083	0.1056012	0.21879421	0.4332037	0.0761697	0.0739246	0.15316376	0.3032581	8.5415734	5.5268673	9.542496
0.0966225	0.1184298	0.21347982	0.4285322	0.0676392	0.0829051	0.1494435	0.2999878	7.5849757	6.1982813	9.31071421
0.0824721	0.1163806	0.2139066	0.4127593	0.0577334	0.0814706	0.14974226	0.2889463	6.4741523	6.0910324	9.32932766
0.1031431	0.102883	0.21970873	0.4257349	0.0722038	0.0720218	0.15380396	0.2980296	8.0968452	5.3846073	9.58238196
0.1097991	0.1096911	0.31208557	0.5315758	0.0768633	0.0767877	0.21847104	0.372122	8.619351	5.7409221	13.6113078
0.1212312	0.0984629	0.22620183	0.4458959	0.0848662	0.0689275	0.15834936	0.3121431	9.5167846	5.1532687	9.86557233
0.139023	0.1183959	0.19385825	0.4512772	0.0973211	0.0828814	0.1357077	0.3159101	10.913457	6.1965086	8.45493863
0.1632845	0.1136709	0.15735868	0.4343141	0.114305	0.0795737	0.1101567	0.3040354	12.818011	5.9492156	6.86304538
0.1177338	0.1240609	0.21564419	0.4574389	0.0824179	0.086847	0.15095863	0.3202236	9.2422364	6.4929944	9.405111
0.0932437	0.1081246	0.20950673	0.410875	0.0652739	0.0756911	0.14666219	0.2876272	7.3197342	5.6589342	9.13743185
0.0862913	0.0904863	0.16392291	0.3407005	0.060407	0.0633436	0.11475189	0.2385025	6.7739616	4.7357954	7.14933798
0.0771033	0.1146363	0.24447194	0.4362115	0.053975	0.0802495	0.17113909	0.3053636	6.0526909	5.9997378	10.6624053
0.0939635	0.1184637	0.24276483	0.455192	0.0657778	0.0829288	0.16994405	0.3186507	7.3762393	6.200054	10.5879515
0.0985702	0.1129512	0.17639089	0.3879123	0.0690027	0.0790699	0.12347992	0.2715525	7.7378718	5.9115455	7.69311666
0.0887132	0.1078705	0.20247508	0.3990588	0.0621024	0.0755132	0.14173978	0.2793554	6.9640846	5.6456389	8.83075308
0.1051651	0.1105703	0.21577008	0.4315055	0.0736193	0.0774032	0.15104676	0.3020693	8.2555765	5.7869387	9.41060148