



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis e implementación de mantenimiento predictivo en línea continua de fabricación de placas de yeso

Analysis and implementation of predictive maintenance in a continuous line of plasterboard manufacturing

Autor/es

Aroa Rodríguez Dobato

Director/es

Jesús Antonio Royo Sánchez

Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2022/2023

(Página intencionadamente en blanco)

AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias a mis abuelos, quienes me han acogido durante mi primer contacto con el mundo laboral y han sido de ayuda durante tantos años. También a mi madre y a mi hermana, que a pesar de todo me han ayudado a seguir con mi sueño de poder ser ingeniera, a mis tíos y a mis primas, que me subíais la moral cada vez que me decíais que era la lista de la familia. Y quiero hacer una mención especial a Nieves quien me ha aguantado en mis bajones, me ha cuidado cuando yo no tenía tiempo ni para mí, y por estar siempre conmigo apoyándome.

(Página intencionadamente en blanco)

RESUMEN

El auge en el mantenimiento predictivo va de la mano de la implementación de la Industria 4.0, la cual necesita a su vez un mantenimiento 4.0 para completarse. El mantenimiento predictivo es el encargado de analizar los datos recogidos mediante sensores o equipos de medida portátiles, es decir, lo conocido como Data Analytics dentro del Big Data.

Para poder soportar este flujo de datos o poder hacer frente al coste que supone subcontratar este servicio, se necesita una elevada inversión, por lo que habitualmente se encuentra en grandes empresas. Pese a la inversión los beneficios son sustanciales debido a, reducir costes de mantenimiento, fallas inesperadas, stock de las piezas de repuesto, y aumentar el tiempo de funcionamiento de la maquinaria sin paradas programadas.

En el presente proyecto se documenta el análisis e implementación del mantenimiento predictivo de una nueva línea de producción de la empresa PLACO del grupo Saint-Gobain, fabricante de placas de yeso.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, ultrasonidos, vibraciones y termografía.

ABSTRACT

The boom in predictive maintenance goes hand in hand with the implementation of Industry 4.0, which in turn requires 4.0 maintenance to complete. Predictive maintenance is responsible for analyzing the data collected through sensors or portable measurement equipment, what is known as Data Analytics within Big Data.

To be able to support this flow of data or to be able to face the cost of subcontracting this service, a high investment is needed, which is why it is usually found in large companies. Despite the investment, the benefits are substantial due to reducing maintenance costs, unexpected failures, stock of spare parts, and increasing the operating time of the machinery without scheduled stops.

This project documents the analysis and implementation of predictive maintenance of a new production line of the PLACO company of the Saint-Gobain group, a manufacturer of plasterboard.

KEY WORD

Predictive maintenance, preventive maintenance, ultrasound, vibration and thermography.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. OBJETIVOS.....	12
1.2. ALCANCE.....	13
2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	14
3. RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA	16
3.1. PROCESO DE FABRICACION	16
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN DE PLACO EN QUINTO DE EBRO.....	17
4. SELECCIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS.....	27
4.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	27
4.2. VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN DEL SECADERO	29
5. IMPLANTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	32
6. RESULTADOS	35
6.1. MAGNITUDES BASE ESTABLECIDAS.....	35
6.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	38
6.3. CAMBIOS FUTUROS.....	39
7. CONCLUSIONES.....	42
ANEXO I: CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	43
ANEXO II: ESTUDIO DEL VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN	48
ANEXO III: TÉCNICAS UTILIZADAS PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO	54
1. TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	54
1.1. <i>FLUKE Ti60+</i>	57
2. ULTRASONIDOS	58
2.1. <i>ULTRAPROBE 3000</i>	61
3. VIBRACIONES.....	62
3.1. <i>IFM VTV122</i>	69
ANEXO IV: RESULTADOS	71
1. CONCLUSIONES.....	71
1.1. <i>ULTRASONIDOS</i>	72
1.2. <i>TEMPERATURA</i>	75
1.3. <i>VIBRACIONES</i>	79
2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	82
2.1. <i>INFORMACIÓN DE LOS RODAMIENTOS</i>	82
2.2. <i>DATA SHEET TCF</i>	85
2.3. <i>CATÁLOGO SKF</i>	86
2.4. <i>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</i>	87
3. CONCLUSIONES.....	91
3.1. <i>FORMACIÓN DE PERSONAL</i>	91
3.1. <i>TERMOGRAFIA PARA POBRLEMAS DE CALORIFUGADO Y DISPIACION DE CALOR</i>	93
BIBLIOGRAFÍA.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mantenimiento 4.0 (Vibromontajes, 2023)	12
Figura 2: Planta Cubierto Mineral (Elaboración Propia, 2023)	18
Figura 3: Fabricación de HRA (Elaboración Propia, 2023).....	18
Figura 4: Planta de Calcinación (Elaboración Propia, 2023).....	19
Figura 5: Producción de estuco (Elaboración Propia, 2023)	19
Figura 6: Aditivos sólidos (Elaboración Propia, 2023)	20
Figura 7: Aditivos líquidos (Elaboración Propia, 2023)	21
Figura 8: Mixer (Elaboración Propia, 2023).....	22
Figura 9: Reglas alisadoras (Elaboración Propia, 2023)	22
Figura 10: Prensa 4BA (Elaboración Propia, 2023).....	23
Figura 11: Cizalla (Elaboración Propia, 2023).....	23
Figura 12: Volteador húmedo (Elaboración Propia, 2023).....	24
Figura 13: Zonas del secadero (Elaboración Propia, 2023).....	24
Figura 14: Distribución de temperaturas en el secadero (Elaboración Propia, 2023)	25
Figura 15: Bundler (Elaboración Propia, 2023)	25
Figura 16: Jürgens (Elaboración Propia, 2023).....	26
Figura 17: Ventilador Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023).....	30
Figura 18: Placa ventilador Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023).....	31
Figura 19: Siglas DE y NDE (Munir, 2021).....	31
Figura 20: Curva de bañera (Wikipedia, 2019).....	32
Figura 21: Curva de bañera ventiladores del secadero (Elaboración Propia, 2023)	32
Figura 22: Grafica general de rendimientos aplicando técnicas no destructivas (Apuntes de la asignatura de Producción Industrial, 2023)	33
Figura 23: Componentes de un rodamiento (SKF, 2023)	36
Figura 24: Modelo ruta de engrase (Elaboración Propia, 2023)	39
Figura 25: Sensores de vibraciones colocado incorrectamente (Elaboración Propia, 2023).....	39
Figura 26: Propuesta de colocación de los sensores (TCF, 2019)	40
Figura 27: Factor CM en GMAO (Elaboración Propia, 2023).....	44
Figura 28: Factor BM en GMAO (Elaboración Propia, 2023).....	45
Figura 29: Factor FF en GMAO (Elaboración Propia, 2023)	45
Figura 30: Data Sheet TCF (TCF, 2023)	49
Figura 31: Ventilador BC-SW (TCF, 2019).....	50
Figura 32: Medidas del rodete (TCF, 2019).....	50
Figura 33: Datos de eje y rodamiento (TCF, 2019).....	51
Figura 34: Caja de entrada (TCF, 2019)	51
Figura 35: Tabla de valores CL.22 (TCF, 2019).....	52
Figura 36: Ventilador tipo directo (TCF, 2019).....	53
Figura 37: Ubicación de los sensores (TCF, 2019)	53
Figura 38: Espectro electromagnético (VISION ONLINE, 2020)	54
Figura 39: Energía infrarroja (JUAN PALACIOS, 2015).....	54
Figura 40: Termografía motor eléctrico en buen estado (Ávila, 2020)	56
Figura 41: Clasificación NETA (JUAN PALACIOS, 2015)	56
Figura 42: FLUKE Ti60+ (MyFlukeStore, 2023)	57
Figura 43: ULTRAPROBE 3000 (ue SYSTEMS IN, 2023).....	61
Figura 44: Medidas de la amplitud de una onda (POWER-MI, 2018)	62
Figura 45: Desfase entre dos señales (POWER-MI, 2018).....	63
Figura 46: Procesado FFT de una onda vibratoria compleja (POWER-MI, 2018).....	63
Figura 47: Ejemplo espectro de vibraciones (POWER-MI, 2018)	63
Figura 48: Sensor de proximidad (POWER-MI, 2018)	64

Figura 49: Sensor de velocidad (POWER-MI, 2018)	65
Figura 50: Transductor piezoeléctrico (POWER-MI, 2018)	66
Figura 51: Técnica de fijación de sensores (POWER-MI, 2018).....	67
Figura 52: IFM VTV122 (IFM, 2023).....	69
Figura 53: Graficas de los valores obtenidos en la técnica de ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)	73
Figura 54: Muestra de virutas metálicas en la grasa del rodamiento NDE del Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023).....	74
Figura 55: Descomposición de grasa y virutas del rodamiento NDE de Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)	74
Figura 56: Temperaturas de los rodamiento día 30/05/2023 (Elaboración Propia, 2023)	77
Figura 57: Temperaturas de los rodamiento día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)	77
Figura 58: Ejemplo de grafica general día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)	78
Figura 59: Vibraciones el día 30/05/2023 (Elaboración Propia, 2023)	81
Figura 60: Vibraciones el día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)	81
Figura 61: Vibraciones día 27/04/2023 antes y después de la parada (Elaboración Propia, 2023)	82
Figura 62: Rodamientos de rodillos a rotula (SKF, 2019).....	83
Figura 63: Rodamientos de rodillos a rótula (SKF, 2019).....	84
Figura 64: Data Sheet información rodamientos (TCF, 2023).....	85
Figura 65: Datos de rodamientos (Elaboracion Propia, 2023)	86
Figura 66: Datos cargas, velocidad y temperatura (Elaboracion Propia, 2023)	86
Figura 67: Datos de lubricacion y contaminacion (Elaboracion Propia, 2023)	86
Figura 68: Resultados calculo aplicación SKF (Elaboracion Propia, 2023)	87
Figura 69: Lubricación lateral rodamiento (SKF, 2019)	88
Figura 70: Diagrama 2 (SKF, 2019)	90
Figura 71: Contrato de análisis de vibraciones (Elaboración Propia, 2023).....	92
Figura 72: Antiguo disipador y nuevo disipador en Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)	93

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Criticidad (Elaboración Propia, 2023).....	27
Tabla 2: Equipos con mayor número de fallos en la puesta en marcha (Elaboración Propia, 2023)	28
Tabla 3: Equipos del análisis de criticidad (Elaboración Propia, 2023)	28
Tabla 4: Nivel de criticidad de los equipos estudiados (Elaboración Propia, 2023).....	29
Tabla 5: Número de alarmas ventiladores (Elaboración Propia, 2023)	30
Tabla 6: Componentes del ventilador (Elaboración Propia, 2023)	31
Tabla 7: Valores obtenidos en ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)	36
Tabla 8: Temperaturas limitantes rodamientos (Elaboración Propia, 2023)	37
Tabla 9: Factores de ponderación (Elaboración Propia, 2023)	46
Tabla 10: Nivel de riesgo de cada equipo (Elaboración Propia, 2023).....	47
Tabla 11: Frecuencia máxima en función del montaje (Elaboración Propia, 2023).....	66
Tabla 12: Clasificación de equipos según norma ISO 2372 (POWER-MI, 2018).....	67
Tabla 13: Severidad de la vibración según norma ISO 2372 (POWER-MI, 2018).....	68
Tabla 14: Severidad de la vibración según norma ISO 10816 (POWER-MI, 2018).....	69
Tabla 15: Registro de paradas/alarmas de los ventiladores de recirculación del secadero (Elaboración Propia, 2023).....	71
Tabla 16: Porcentaje de alarmas y parada en ventiladores de recirculación del secadero (Elaboración Propia, 2023).....	72
Tabla 17: Promedios en decibelios de los rodamientos Z1-VRI y Z1-VRD (Elaboración Propia, 2023)	72
Tabla 18: Valores obtenidos del estudio de ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)	73
Tabla 19: Tabla de estabilización de temperaturas de los rodamientos del catálogo de SKF (SKF, 2019)	75
Tabla 20: Alarmas y Parada en función de temperatura exterior, tipo de placa y temperatura en el secadero (Elaboración Propia, 2023)	76
Tabla 21: Medias de los días de parada (Elaboración Propia, 2023)	79
Tabla 22: Selección de valores límite para vibraciones con la norma ISO 10816 (POWER-MI, 2018)	80
Tabla 23: Resumen rodamientos (Elaboración Propia, 2023).....	82
Tabla 24: Características MOBILITH SHC 100 (Elaboración Propia, 2023)	85
Tabla 25: Características rodamientos para lubricación o re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)	87
Tabla 26: Volumen libre rodamientos (Elaboración Propia, 2023).....	88
Tabla 27: Cantidad de grasa en el primer engrase (Elaboración Propia, 2023)	88
Tabla 28: Cantidad de grasa en re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)	89
Tabla 29: Factor nd_m (Elaboración Propia, 2023).....	89
Tabla 30: Factor ndm límite (Elaboración Propia, 2023).....	89
Tabla 31: Tiempo de intervención para re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)	91

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se ha desarrollado en la empresa Saint-Gobain Placo, cuya ubicación se encuentra en Quinto de Ebro, Zaragoza.

En la planta se ha llevado a cabo el montaje de una nueva línea de producción continua. Esta ampliación se debe al aumento de demanda, siendo una forma de construcción cada vez más utilizada, ya no solo en Latinoamérica, lugar al que se exporta la mayor parte de la producción, sino aquí en Europa. Este auge en el sector se debe a lo económico y polivalente del producto.

Se conoce como producción continua aquella que no se ve interrumpida por el avance de los procesos, la línea no se debería detener hasta que el producto ha finalizado el proceso de producción. Las fábricas que poseen este formato de producción son aquellas que tienen un alto volumen de fabricación estandarizada, o donde no existe otra opción para generar el producto final. Son líneas que cuentan con una alta automatización.

Los beneficios que genera una producción continua son mayor eficiencia y productividad, reducción de residuos, tiempos de fabricación y costes de producción. Esto se debe a que no aparece interrupción en el flujo de producción y se tiene una gran optimización de recursos y mano de obra.

Sin embargo, este proceso también tiene desventajas, como la falta de flexibilidad para producir productos personalizados o adaptarse a cambios de la demanda del mercado. Además, requiere una inversión inicial significativa en equipos y tecnología.

Los departamentos de Producción y Procesos se encargan de que la línea de producción obtenga beneficios, a pesar de que un correcto funcionamiento, sin paradas establecidas, necesita a su vez del departamento de mantenimiento. Esta necesidad de colaboración surge de las paradas programadas que tiene la línea para evitar paradas imprevistas que puedan suponer una pérdida o defecto del producto.

Las acciones de mantenimiento están divididas en 4 tipos, correctivo, preventivo, predictivo y proactivo; siendo los dos primeros los más comunes en la industria ya que son los mantenimientos propios que se realizan de forma habitual en las empresas. Las más grandes comienzan a decantarse cada vez más por los últimos dos tipos de mantenimiento, debido a la reducción de costes que implica.

El mantenimiento predictivo es una estrategia de basada en la monitorización e interpretación de datos para detectar anomalías en el funcionamiento, indicando cuándo será necesario realizar tareas de mantenimiento en una maquina o equipo, previo a la aparición de un fallo. Consiguiendo así evitar posibles fallos mediante diversas técnicas no destructivas, como podrían ser análisis de vibraciones, análisis de aceites, ultrasonidos, etc. Pudiendo además realizar un mantenimiento preventivo más acorde al estado de la maquina o equipo basado en los resultados obtenidos.

Para un mantenimiento predictivo completo es necesario contar con un IIoT (Internet Industrial de las Cosas), que es el conjunto de sensores, instrumentos y dispositivos autónomos conectados entre sí a través de internet a aplicaciones industriales, ya sean WINCC o Software de compañías que ayuden a analizar los datos recogidos. Esta estrategia puede ser muy efectiva, ya que permite reducir los costes de mantenimiento, evitar paradas no programadas y aumentar la vida útil de los equipos. Además, al predecir cuándo se necesitará mantenimiento, se puede optimizar las operaciones de producción, reducir el inventario de piezas de repuesto y mejorar la productividad (Iberdrola, s.f.).

La revolución industrial ha ido avanzando hasta llegar a la denominada Industria 4.0, caracterizada por los avances tecnológicos, concretamente gracias a la automatización y la interconexión con el sistema productivo. Para poder adaptarse el departamento de mantenimiento debe introducir el Mantenimiento 4.0, cuyo objetivo es optimizar la eficiencia y productividad de los procesos de mantenimiento, reducir el tiempo de inactividad, disminuir los costes asociados y respaldar la gestión de mantenimiento. Estas tecnologías digitales suelen o se recomienda que vayan acompañadas de IIOT, IA (Inteligencia Artificial), AR (Realidad Aumentada), Big Data y Data Analytics (Vibromontajes, s.f.).

En resumen, el mantenimiento 4.0 se centra en la prevención de fallas y la optimización de los procesos de mantenimiento, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad para las empresas.



Figura 1: Mantenimiento 4.0 (Vibromontajes, 2023)

1.1. OBJETIVOS

La idea del presente proyecto surge tras la observación de que la empresa cuenta con un mantenimiento preventivo y correctivo propio. Sin embargo, para el mantenimiento predictivo se recurre a la subcontratación de una empresa externa.

El objetivo principal es mejorar la capacidad del departamento de mantenimiento de prevenir diversos fallos en la maquinaria, en caso de conseguir evitar estos se obtendrá un beneficio en la producción, debido a la eliminación de paradas imprevistas de la línea.

Hoy en día es posible tener una planta industrial en la cual se conozcan cuáles son los equipos que pueden generar problemas en un corto periodo de tiempo, estas ventajas deben aprovecharse y para ello es necesaria la formación de personal y sensorización de los equipos.

Con la puesta en marcha de la nueva línea de fabricación han sido implantados sensores junto a una monitorización de los mismos. Para obtener un mayor rendimiento de esta tecnología es necesario implantar unas magnitudes base. Es decir, un estudio de los equipos en los que se quiere conseguir un riguroso seguimiento de mantenimiento predictivo, para poder establecer magnitudes de alerta.

Los sensores y la posición deberán ser los adecuados, en función de lo que convenga en cada equipo.

Con el conocimiento e implicación dentro del departamento de mantenimiento, se estarían ahorrando costes de subcontratación del mantenimiento predictivo. Como consecuencia de un mantenimiento predictivo certero se obtendrá una mejora del mantenimiento preventivo.

1.2. ALCANCE

Para poder llevar a cabo los objetivos propuestos anteriormente, es necesario un estudio de la nueva línea de fabricación. Se debe realizar un análisis de criticidad, un mantenimiento predictivo efectivo no puede tener exceso de datos, por ello se pretende, con este análisis, hacer una selección de los equipos que realmente necesiten de este.

Una vez determinados los equipos, se ha seleccionado un equipo que estaba mostrando un elevado número de fallos durante la puesta en marcha.

La obtención de datos se ha podido realizar gracias a los equipos de termografía, ultrasonidos y sensores de vibraciones de los que ya disponía la empresa.

Existen normas ISO para comprobar si las magnitudes medidas se cumplen, pero se estipularán valores a través de los datos recogidos durante el periodo de duración de las prácticas. Con las magnitudes medidas se pretende comprobar los límites a los que pueden someterse antes de llegar a producirse una rotura.

Una vez obtenidos los límites deseados se estipularán unas alertas dentro del programa WINCC. Además de dichas alertas, se generará un modelo de ruta en marcha para la realización de mantenimiento preventivo y predictivo con los equipos que no están sensorizados.

2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo es el que se debe a un mantenimiento subordinado a un tipo de acontecimiento predeterminado (medida, diagnóstico) (según normas AFNOR X 60010 y 60011). Es decir, este mantenimiento debe tener una medición con un equipo no destructivo, un posterior análisis de los datos tomados y por último la respuesta a los resultados.

Se basa en dos hechos, la existencia de parámetros fundamentales, indicadores del estado del equipo, y la vigilancia continua y monitorización. En este proyecto, se pretende conseguir definir algunos parámetros fundamentales como la implantación de una correcta monitorización.

Para poder considerarse un programa de mantenimiento predictivo como efectivo, debe incrementar la fiabilidad y el estado operacional de la máquina, además de reducir costes de producción y mantenimiento.

Dicho programa debe diseñarse en función de los equipos con los que es posible realizar el mantenimiento predictivo, y con un estudio que justifique en que máquinas debe realizarse. Las fases que debe tener son las siguientes:

- Reconocimiento de la planta.
- Selección de equipos críticos, Análisis de Criticidad.
- Definir técnicas no destructivas más adecuadas para el mantenimiento predictivo.
- Implantación del plan de mantenimiento predictivo.
- Mediciones de referencia.
- Medidas periódicas.
- Análisis de las medidas.
- Corrección.

Para percibir los síntomas con que la máquina o equipo está alertando, es necesario aplicar alguna de las técnicas no destructivas expuestas a continuación:

- *Termografía infrarroja*: Se utiliza para medir la temperatura de los equipos y detectar cualquier anomalía. Existen equipos que leen la temperatura en un punto exacto, denominados termómetro de infrarrojo, o bien una cámara termográfica que muestra el espectro de temperaturas de un plano determinado.

- *Análisis de aceite:* Empleado para detectar contaminación o pérdidas de las propiedades del aceite que pueda llevar que el equipo falle. Para un mayor detalle en el análisis es necesario enviar una muestra del aceite a un laboratorio, donde se comprueba si este está contaminado. En caso de no ser necesario conocer con mucha exactitud el estado del aceite puede realizarse un estudio de viscosidad para conocer si se han perdido las propiedades de lubricación, para ello es necesario contar con un viscosímetro.
- *Monitoreo acústico:* Comúnmente denominado como medición de ultrasonidos, utilizado para detectar fugas en equipos. Con los avances de la tecnología actualmente existen equipos que pueden realizar lecturas de elementos mecánicos tales como rodamientos
- *Análisis de vibraciones:* La toma de datos puede realizarse mediante sensores fijos o mediante equipos móviles que llevan integrado el sensor. Estos pueden ser acelerómetros o velocímetros, en ambos casos será necesario contar con un programa que realice la transformada de Laplace, obteniéndose un espectro de vibraciones que pueda ser interpretado. Con este es posible detectar desalineamientos, desequilibrios, desalineaciones, holguras, desgaste de rodamientos, fallos en engranajes, etc.

Con el avance de la tecnología muchas de las técnicas mencionadas anteriormente pueden recoger datos y analizarlos sin necesidad de ir al equipo. Esto presenta una mejora en el mantenimiento, dado que es posible comprobar el estado de la maquina en tiempo real.

Estas técnicas pueden ser utilizadas tanto en el ámbito mecánico como en el eléctrico, siendo más comunes en el eléctrico la termografía y en el mecánico las vibraciones.

Las ventajas que presenta el mantenimiento predictivo es el incremento de la vida útil de la maquinaria y sus componentes, reducción de costes en mantenimiento (horas de personal y piezas que deben cambiarse), mejora la seguridad de maquinaria y trabajadores, e incremento del rendimiento de la maquinaria, con un menor coste que conlleva ganancias en la producción.

Y entre las desventajas que supone se encuentra la necesidad de mayor cualificación laboral y una elevada inversión inicial.

3. RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA

La placa de yeso laminado, también conocida como PYL, es un tipo de panel utilizado en la construcción, este está compuesto por un alma de yeso recubierto por dos capas de papel o cartón.

El alma, zona intermedia de la placa de yeso, no solamente es yeso, sino que se le añaden aditivos sólidos y líquidos para que la placa de yeso laminado obtenga las características que se requiera en el modelo que se está fabricando en ese preciso instante. Los aditivos cambian en función de las propiedades que la placa requiere. En el caso de las salas de rayos X, los paneles que cubren sus paredes requieren de sulfato de bario como aditivo.

Hoy en día, son ampliamente utilizadas tanto en construcción como en reformas, en instalaciones interiores y exteriores. Su popularidad ha ido ganando adeptos gracias a la facilidad de su instalación, resistencia y versatilidad, su principal ventaja es lo económico que supone en comparación con otros materiales de construcción. A su vez, también se puede destacar la gran versatilidad de placas que se encuentran en el mercado, donde existen algunos de los siguientes modelos: estándar, ignífuga, protección acústica, para zonas húmedas, de alta dureza, o anti-radiación.

Las placas de yeso laminado pueden ser empleadas para una amplia variedad de aplicaciones, como podría ser la creación de muros, falsos techos, revestimiento de paredes, entre otros. Además, cabe destacar que su fácil montaje se debe a la facilidad de corte y modelado para poderse adaptar a casi cualquier forma o tamaño que se desee.

3.1. PROCESO DE FABRICACION

La fabricación de PYL se realiza en varias etapas, donde hay un flujo continuo. A continuación, se exponen brevemente los pasos a seguir para la obtención del producto final.

- 1º. Extracción del yeso: En esta primera etapa se extrae el mineral de la cantera de yeso, y una vez extraído se transporta a la fábrica.
- 2º. Molienda del yeso: El mineral se calienta y seguidamente se muele hasta conseguir que el yeso sea un polvo fino. Una vez molido, se enfría para poderse almacenar.
- 3º. Fabricación del alma de la placa de yeso: El yeso en polvo se combina con los aditivos líquidos y sólidos que son necesarios para obtener las propiedades requeridas.
- 4º. Formación de la placa: Con la mezcla anterior en forma líquida se vierte sobre una capa de papel, a la cual se le denomina papel inferior, y a su vez pasa por encima otra capa de papel, denominado papel superior. Esta se prensa hasta conseguir el espesor deseado.

- 5º. Corte: Con la plancha ya formada llega a la cizalla donde se corta transversalmente, para dar la longitud deseada a la placa.
- 6º. Secadero: Las placas se someten a altas temperaturas durante un tiempo determinado para eliminar la humedad.
- 7º. Refinado: Para dar un acabado sin imperfecciones en los bordes se realiza un corte longitudinal en los laterales de la placa, así esta cumplirá las medidas especificadas por el fabricante.
- 8º. Embalaje: Se apilan las placas que posteriormente serán paletizadas y embaladas.
- 9º. Distribución: Finalmente, se almacenan y distribuyen.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN DE PLACO EN QUINTO DE EBRO

Para poder introducir un mantenimiento predictivo eficaz se debe conocer en profundidad la línea en la que se va a implantar, por ello, en este apartado se expone cómo está conformada la fábrica de PLACO en Quinto de Ebro.

Las etapas con las que cuenta el proceso de fabricación han sido explicadas brevemente en el apartado anterior, a continuación, se profundizará en los procesos mencionados.

En la primera etapa de extracción del mineral, en este caso el yeso, se cuenta con una cantera de grandes dimensiones en el municipio de Quinto de Ebro, Zaragoza, esta cantera es explotada para la fabricación de placas de yeso o para yeso en polvo de múltiples empresas cercanas a la cantera. Una vez extraído el mineral se transporta en camiones cada 2h a la fábrica.

La recepción del material en la fábrica se hace en la planta de cubierto mineral, superficie resguardada de la lluvia, ya que el mineral cuando se moja cambia la pureza y atasca la tolva de descarga por formación de arcillas. Se cuenta con unas cintas de transporte para que el mineral llegue a la siguiente etapa o bien para que se vuelva a depositar en la planta y se use en otro momento.

Se cuenta con 12 cintas transportadoras para llevar el material a la siguiente planta, que puede ser la denominada HRA o calcinación 1 o calcinación 2.

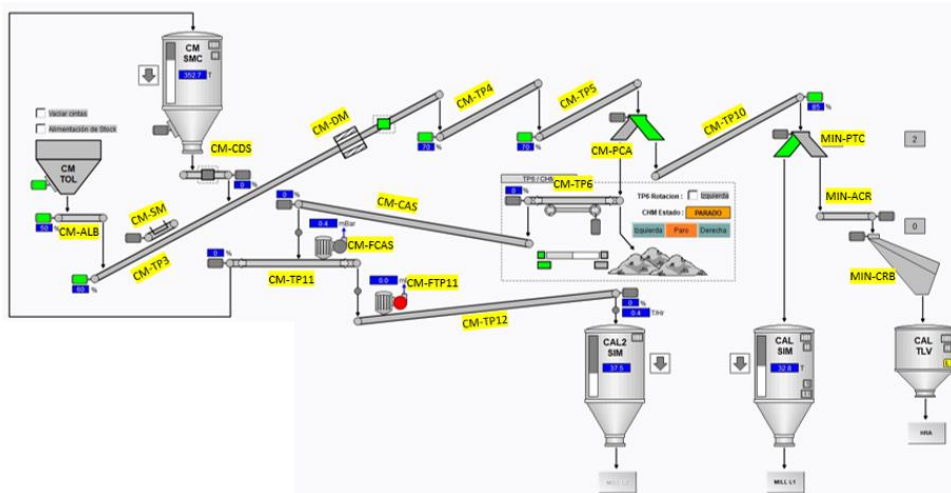


Figura 2: Planta Cubierta Mineral (Elaboración Propia, 2023)

La planta HRA al igual que el cubierto mineral sirve para la línea 1 y 2. El HRA es la mezcla de yeso natural y dextrosa, el yeso natural se obtiene del cubierto mineral, y en una de las cintas transportadoras se realiza una criba, el material más pequeño es el que se destina a la planta de HRA.

La fabricación de HRA comienza en el cubierto mineral con la criba mencionada, una vez seleccionado el yeso de menor tamaño se lleva mediante un circuito neumático al molino de martillos donde el mineral se convierte en polvo y de ahí se almacena en el silo SMHRA hasta que sea necesario para la fabricación. Cuando se demanda la fabricación de HRA se transporta el yeso del silo SMHRA al molino de bolas. En este se añade la dextrosa, siendo muy importante controlar la temperatura, ya que si sobrepasa cierta temperatura el azúcar se carameliza o el mineral se convierte en hemihidrato, es decir, el HRA pierde su efectividad, una vez se obtiene la mezcla se almacena en el silo HRA.

La dextrosa es un aditivo sólido que está presente en todas las placas ya que es necesario para acelerar el proceso de fraguado, pero si se excede al añadir material provoca defectos en la placa como formación de bolsas, malformación de bordes, etc.



Figura 3: Fabricación de HRA (Elaboración Propia, 2023)

Las plantas de calcinación 1 y 2 están compuestas por los mismos equipos, el proceso de calcinación transforma el yeso en estuco, material con el que luego se trabaja.

El estuco se genera por la quema del yeso, esto se debe a que el yeso sometido a altas temperaturas se descompone en estuco, anhídrido soluble (AIII) o insoluble (AII) y yeso residual, desapareciendo casi al 100% aquellos compuestos que no aportan al proceso.

Una vez sometido a altas temperaturas se transporta hasta el molino Claudius Peter el cual debe tener entorno al 95% de rendimiento, significando este porcentaje la cantidad de estuco existente en el proceso. El estuco molido es enviado mediante un ciclón al filtro de mangas extrayendo el estuco del flujo de aire de la instalación.

Una vez separado el aire del estuco se procede a su enfriamiento. El descenso de la temperatura es un paso necesario previo al almacenamiento en el silo, de esta forma se obtiene un mejor control sobre las fases. El enfriador es un intercambiador de contacto indirecto donde circula el aire frío por el interior de los tubos en sentido opuesto al estuco, la temperatura del aire dependerá de las condiciones ambientales.

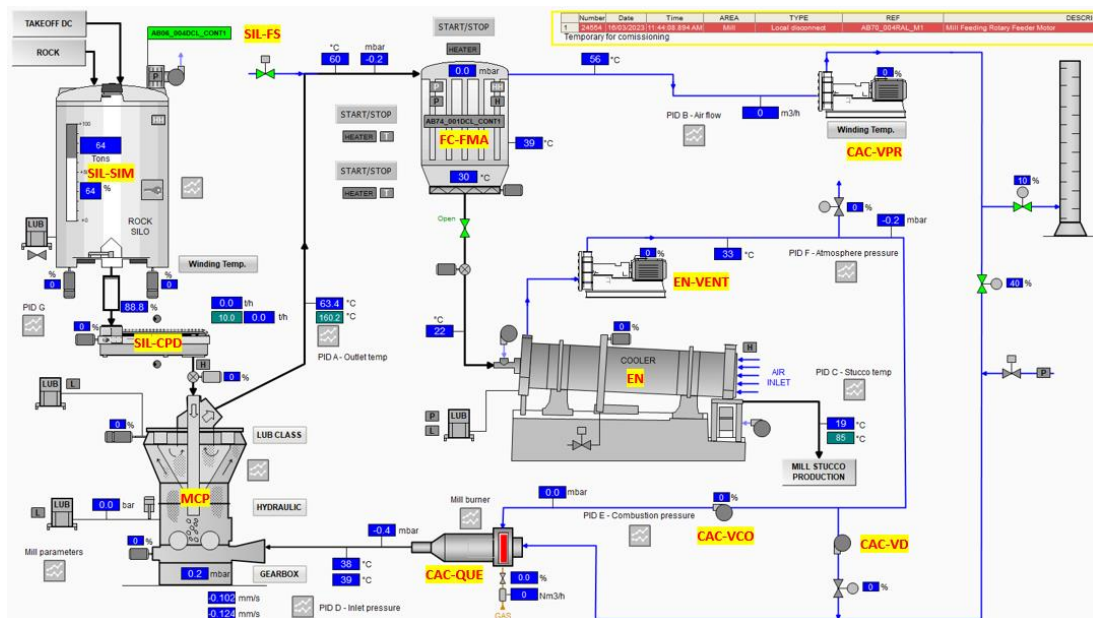


Figura 4: Planta de Calcinación (Elaboración Propia, 2023)

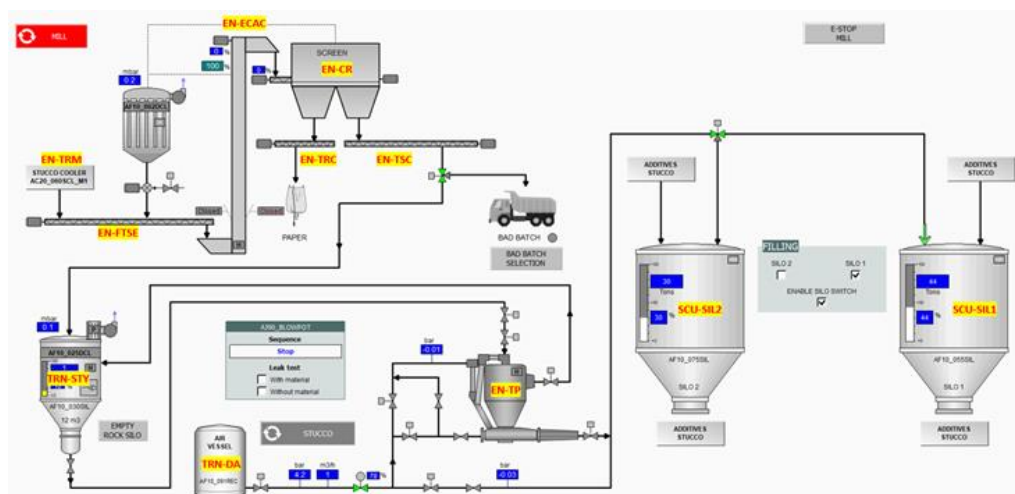


Figura 5: Producción de estuco (Elaboración Propia, 2023)

El estuco obtenido pasa a la planta de la línea de fabricación 1 o 2. Esta planta está dividida en diferentes grupos:

- Grupos de aditivos secos (ADS): Compuesto por el estuco fabricado, el HRA obtenido en la planta de HRA, la meritosa y el almidón. El almidón es utilizado para mejorar la adherencia seca de las placas, sirviendo de pegamento entre cartón y el alma de yeso. Además, sirve como protector en el secadero frente al sobrecalentamiento, y mejora las propiedades mecánicas de la placa, siendo el núcleo más resistente.

Los casos que contienen fibra de vidrio, como son las placas ignifugas, se mejora la integridad de la placa en presencia del fuego, siendo un aditivo seco añadido.

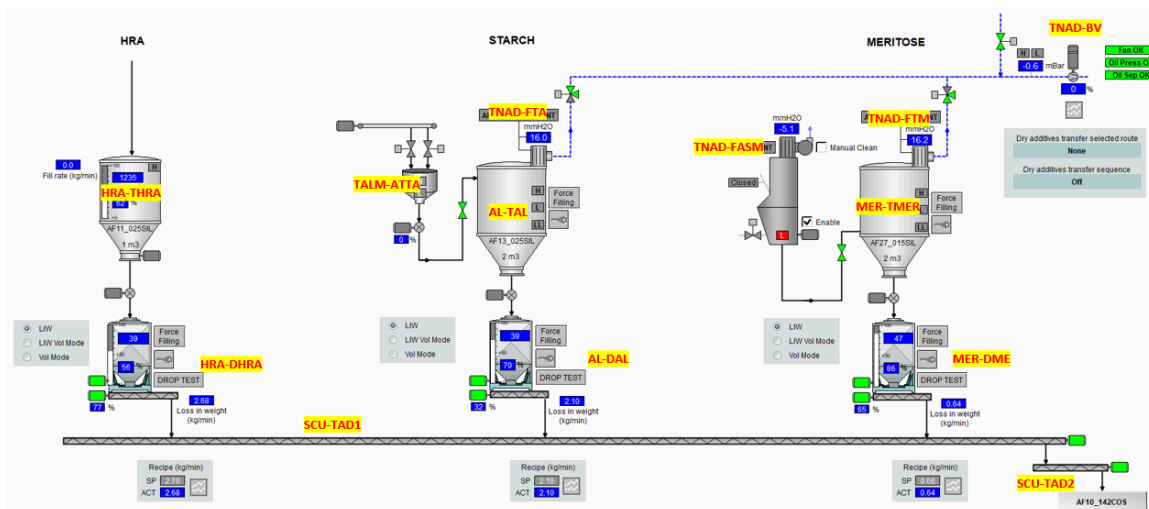


Figura 6: Aditivos sólidos (Elaboración Propia, 2023)

- Aditivos líquidos (ADL): En este grupo se encuentran los siguientes equipos agua de proceso, agua-espuma, silicona, retardante, cola de bordes, fluidificante, STMP, gel estable, gel inestable y el sistema de recuperación de agua.

El retardante retrasa el inicio del fraguado, reduciendo el apelmazamiento dentro del mixer, asegurando así el tiempo que debe pasar para que la pasta moje el cartón y así crear la adherencia húmeda y mejora de la fluidez.

Otra forma de mejorar la fluidez es el fluidificante, a su vez evita la coalescencia de las burbujas.

La silicona se emplea en las placas que requieren resistencia a la humedad, esta lo que genera es una reducción de la absorción de agua en la placa al impedir que penetre en la matriz, y están marcadas con el código PPM.

Las placas utilizadas en techos contienen STMP, el cual se emplea como elemento anti-pandeo, como desventaja aparece la variación de anchura, por lo cual se debe tomar especial cuidado en mezcla al producir estas placas.

El gel inestable es utilizado para la reducción de peso de la placa, además de reducir el almidón, la energía necesaria en el secado y las emisiones de CO₂. Es un producto reactivo por lo que es incompatible con la silicona y su homologación de resistencia al fuego.

Para el control de la cabeza, el espesor de la placa, se utiliza el agua-espuma que se genera mediante el gel estable.

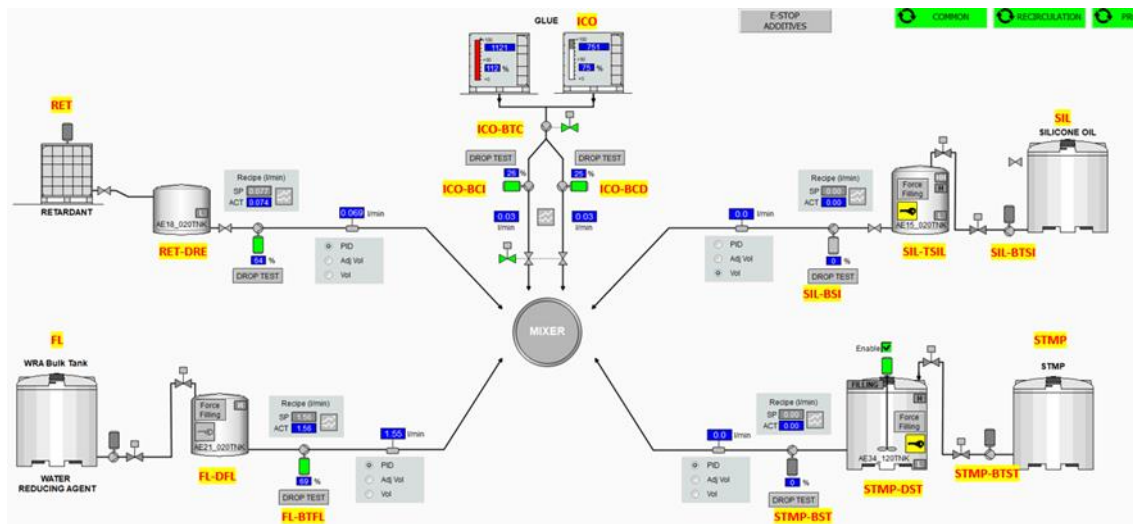


Figura 7: Aditivos Líquidos (Elaboración Propia, 2023)

- Grupo cartón: Compuesto por dos estaciones, una empleada para el cartón inferior, también conocido como cartón crema, y otra para el cartón superior, conocida como cartón gris. Ambas con capacidad para dos bobinas, de esta forma cuando una está terminando se prepara una unión con la otra para así no detener el proceso.

Sobre el cartón crema se vierte la mezcla generada en el mixer, mientras que el cartón gris se encarga de cubrir el alma de la placa. El cartón crema tiene una mayor anchura para así poder cerrar lateralmente y que la mezcla no se derrame.

- Mixer: Lugar donde se produce la mezcla de ADS y ADL. Posteriormente se añade agua a este conjunto para así mejorar las condiciones de fluidez de la pasta y que permita una uniformidad al verter sobre el cartón crema.
- Extruder: Equipo encargado de conformar el espesor requerido de forma manual.



Figura 8: Mixer (Elaboración Propia, 2023)

- Banda de formación: La placa avanza por la banda de formación comenzando así el proceso de hidratación o fraguado hasta alcanzar la entrada del secadero, momento en el cual la hidratación ha alcanzado su máximo nivel.
- Transfer húmedo: Lugar donde se produce el fraguado. Este se compone de 2 bandas de formación en la nueva línea y 3 en la antigua, teniendo el primer transportador de bandas una cinta de chaflan, donde se permite controlar la anchura y profundidad. Durante este primer transporte se cuenta con unas reglas alisadoras que tienen como función mantener la geometría deseada, y evitar defectos superficiales.



Figura 9: Reglas alisadoras (Elaboración Propia, 2023)

- Prensa hidráulica: Utilizada únicamente en los modelos 4PRO STD y 4PRO PPM, esto se debe a que son placas que tienen los 4 bordes afinados, es decir, se consigue formar chaflan transversal además del longitudinal que ya había. Este proceso de prensado dura aproximadamente 1 segundo, mientras acompaña el movimiento de la placa.

Es un equipo que en la línea 2 no existe.



Figura 10: Prensa 4BA (Elaboración Propia, 2023)

- Cizalla: Tras 300 metros recorridos por la placa mientras fragua, llega al equipo cizalla, encargado de cortar la placa transversalmente para obtener el largo deseado. Para que este proceso se lleve a cabo en condiciones óptimas la placa debe encontrarse suficientemente hidratada, ya que en caso contrario las lamas de la cizalla pueden sufrir daños en un reducido periodo de tiempo.

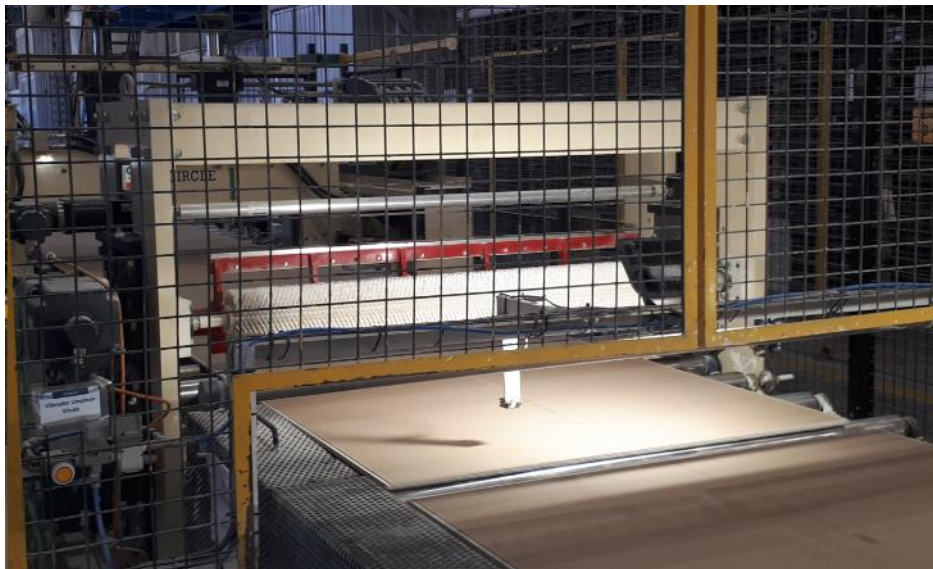


Figura 11: Cizalla (Elaboración Propia, 2023)

- Volteador húmedo: Posteriormente a la cizalla las placas se desplazan por la mesa de aceleración hasta llegar a la mesa de cambio, esta deposita las placas en los brazos volteadores, haciendo pilas de dos con el cartón gris en la parte inferior



Figura 12: Volteador húmedo (Elaboración Propia, 2023)

- Transporte secadero: Para transportarse es necesario que haya 2 columnas paralelas. Este conjunto de placas avanza hasta la elevación Tipple, equipo encargado de introducir en uno de los diez pisos que tiene el transporte a la entrada del secadero.

En la línea 1 cada agrupación de filas y columnas y conjuntos va a un piso, en cambio en la línea 2 cada fila va a un piso.

En el transporte existen dos etapas, una rápida y otra lenta, velocidad a la cual va la línea dentro del secadero.

- Secadero: Tiene como misión evaporar el agua en exceso añadida en el mixer con el objetivo de obtener a la salida de este una placa con una humedad residual no superior al 0,3%. Este proceso de secado se realiza a través del intercambio de calor entre la superficie de la placa y el aire que circula en el interior del secadero. En dicho proceso hay tres parámetros del aire claves: Velocidad, humedad y temperatura; siendo la velocidad un parámetro clave.

En el siguiente esquema gráfico se pueden ver las entradas y salidas del aire de recirculación en cada una de las zonas del secadero. Se puede observar que en la ZONA 1 el aire fluye a contracorriente de la placa, sin embargo, en la ZONA 2 y ZONA 3 el aire fluye en el mismo sentido de avance de la placa. Siendo importante para conocer el perfil de temperatura del aire y de la placa dentro del secadero.



Figura 13: Zonas del secadero (Elaboración Propia, 2023)

La distribución de temperatura dentro de cada zona es muy importante, siendo la zona 1 la que alcanza mayor temperatura, entorno al 250°C, mientras que en la zona 3 hay 100°C menos que en la zona 1.

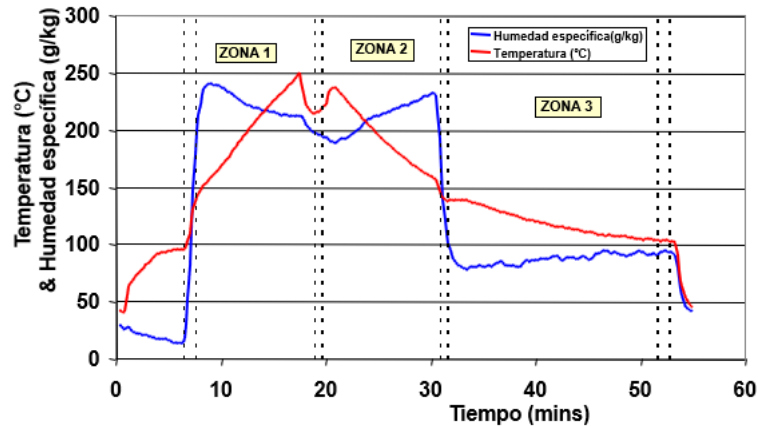


Figura 14: Distribución de temperaturas en el secadero (Elaboración Propia, 2023)

Si el secado se produce excesivamente rápido, a temperatura y velocidad del aire muy elevadas, el frente del secado puede retroceder hacia el alma. La salida de vapor de agua tiene su propia velocidad por lo que estos factores deben ir en consonancia, provocando que el cartón se despegue y pierda la adherencia húmeda, denominado formación de bolsas.

En caso de no disminuirse la velocidad de secado el yeso de la interfase se seca, pudiendo quemarse, mientras que el alma continúa húmeda.

En el secadero, el almidón gelatiniza y una porción de éste migra a la interfase cartón-yeso. En la cual, el almidón forma una capa que une el cartón con el alma de yeso y ayuda a prevenir la calcinación del yeso que está bajo el cartón. La adherencia cristalina del alma y el cartón es muy débil sin almidón.

- Transfer seco: Se extrae la placa del secadero y mediante un sistema en cascada se unifican en la línea de transporte. Se trasladan las placas a un volteador seco, donde quedara el cartón crema hacia abajo
- Bundler: Lugar donde se sierran las placas longitudinalmente para que se ajuste a las dimensiones deseadas.

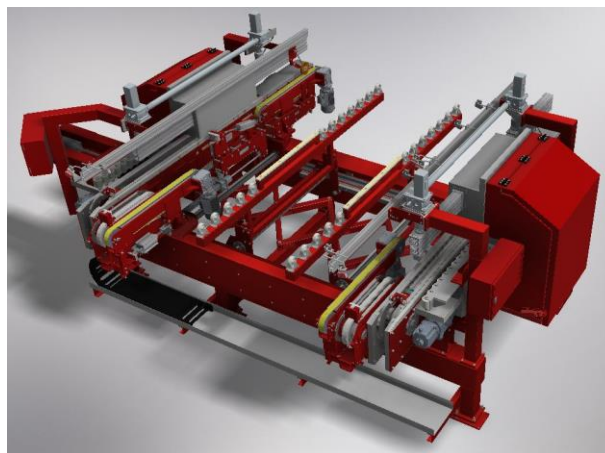


Figura 15: Bundler (Elaboración Propia, 2023)

- Apiladora (Staker): Cada línea tiene su propia staker, teniendo ambas la misma finalidad, apilar 30 placas. El transbordador de la línea 1, o un transporte de rodillos en la línea 2, son los encargados de transportar los paquetes.
- JÜRGENS: Encargada de colocar las calas que harán de soporte del paquete y de envolver el paquete en film, además es capaz de agrupar 3 paquetes que luego serán desplazados hasta la mesa de recogida por carretilla para su correspondiente almacenamiento.

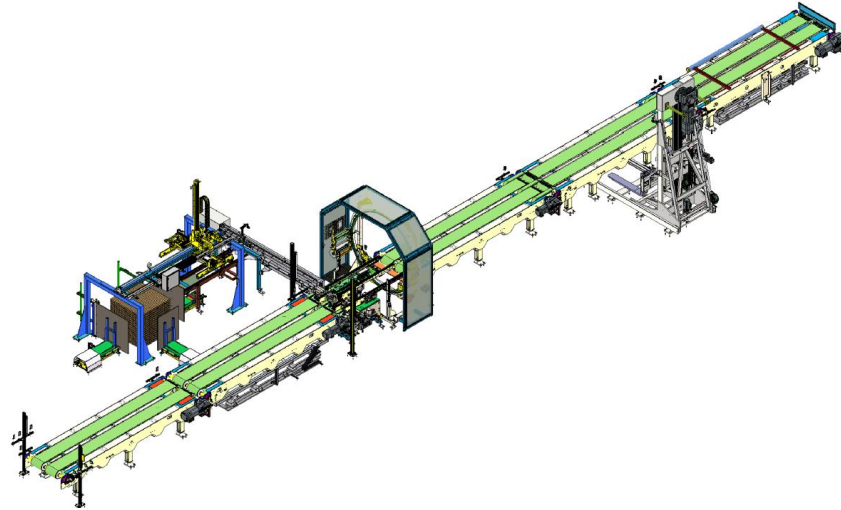


Figura 16: Jürgens (Elaboración Propia, 2023)

4. SELECCIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

Con la llegada del mantenimiento 4.0 se han introducido nuevas metodologías en los planes de mantenimiento, cambiando los programas de mantenimiento que establecían los fabricantes por programas basados en la experiencia operativa. (Gutiérrez, Agüero, & Calixto, 2023)

Las nuevas metodologías han conseguido optimizar los planes de mantenimiento, siendo algunas de ellas, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Inspección Basada en Riesgo, Análisis de Criticidad para propósitos de Mantenimiento y Diseño de Planes y Programas de Activos Basados en Confiabilidad.

En el presente proyecto se desarrolla la metodología de Análisis de criticidad, con el objetivo de generar una jerarquización de los equipos por nivel de criticidad y la posibilidad de centrar los recursos disponibles para un mantenimiento predictivo de los mismos.

4.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para su realización es necesario definir un alcance y un propósito, establecer los criterios y método de evaluación que va a ser utilizado para jerarquizar los equipos y comprobar cuáles son susceptibles de realizar un mantenimiento predictivo, es decir, donde se deben dirigir los recursos tecnológicos y económicos para mejorar la instalación.

Se basa en generar una lista ponderada, para ello se deben establecer rangos relativos con los que poder representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia y sus consecuencias. Los criterios a seguir son: seguridad, costes de operación y mantenimiento, ambiente, producción, tiempo de reparación y ratio de fallos, generando una puntuación que dará como resultado el nivel de criticidad, alto, medio o bajo.

FRECUENCIA	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
CONSECUENCIAS		1	2	3	4	5

Tabla 1: Matriz de Criticidad (Elaboración Propia, 2023)

Como se observa en *Tabla 1* se obtienen un nivel de riesgo en función del color obtenido tras el estudio.

Riesgo “Contingencia o proximidad de un daño” (RAE, 2001), es un término que conlleva una probabilidad, y matemáticamente puede evaluarse como probabilidad por consecuencias evaluadas ambas en el tiempo. Existen diferentes técnicas para el análisis del riesgo:

- Modelo de flujograma de análisis de criticidad (cualitativo).
- Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (criticidad total por riesgo).
- Modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” (matriz de criticidad por riesgo).

El modelo utilizado en este proyecto es “MCR”, ya que la línea de fabricación se encuentra en la puesta en marcha, al contar con la línea 1 con similares componentes y funcionamiento ya se cuenta con un historial. Además, los nuevos equipos tienen un alto volumen de información siendo más sencillo obtener conclusiones.

Se ha establecido que aquellos equipos que han tenido un elevado número de fallos durante la puesta en marcha deben incluirse como equipos críticos, para ello se ha recabado información en el GAMO de la empresa y se ha generado una tabla, *Tabla 1*, en la que se muestran los 3 equipos con mayor número de fallos.

Problema	Tipo	Area	Solución
El rodamiento cercano al rotor del ventilador Z1-VRI alcanza 100°C	Mecanica	DRY	Cambio de grasa
El rodamiento cercano al rotor del ventilador Z2-VRI alcanza 100°C	Mecanica	DRY	Cambio de grasa
El rodamiento cercano al rotor del ventilador Z2-VRD alcanza 100°C	Mecanica	DRY	Cambio de grasa y comprobacion rodamiento con galgas

Tabla 2: Equipos con mayor número de fallos en la puesta en marcha (Elaboración Propia, 2023)

A continuación, se ha realizado una tabla, *Tabla 3*, con aquellos equipos que han tenido un menor número de fallos en la puesta en marcha, junto a los equipos que en la línea 1 tienen un mayor histórico de fallos, o a los cuales ya se les realiza un mantenimiento predictivo.

EQUIPO	PLANTA	GRUPO	EQUIPO
Reductor molino	CAL2	MCP	RM
Ventilador principal	CAL2	CAC	VPR
Ventilador combustión	CAL2	CAC	VCO
Ventilador del enfriador	CAL2	EN	VENT
Enfriador rodamientos	CAL2	ENF	ENF
Mixer	LPN	MX	MIX-MIX
Ventilador de recirculacion precalenatamiento 1	LPN	DRY	Z0-VRP1
Ventilador de recirculacion precalenatamiento 2	LPN	DRY	Z0-VRP2
Ventilador entrada secadero	LPN	DRY	Z0-VES
Ventilador recirculacion izquierdo zona 1	LPN	DRY	Z1-VRI
Ventilador recirculacion derecho zona 1	LPN	DRY	Z1-VRD
Ventilador combustión zona 1	LPN	DRY	Z1-VCO
Ventilador de bordes zona 1	LPN	DRY	Z1-VB
Ventilador recirculacion izquierdo zona 2	LPN	DRY	Z2-VRI
Ventilador recirculacion derecho zona 2	LPN	DRY	Z2-VRD
Ventilador combustión zona 2	LPN	DRY	Z2-VCO
Ventilador de bordes zona 2	LPN	DRY	Z2-VB
Ventilador recirculacion izquierdo zona 3	LPN	DRY	Z3-VRI
Ventilador recirculacion derecho zona 3	LPN	DRY	Z3-VRD
Ventilador extracción zona 3	LPN	DRY	Z3-CEA
Ventilador combustión zona 3	LPN	DRY	Z3-VCO
Ventilador salida aire húmedo	LPN	DRY	RCS-VSAH
Ventilador entrada aire fresco	LPN	DRY	RCS-VEAF
Transmisión piso 1 y 2	LPN	DRY	TTR-T1
Transmisión piso 3 y 4	LPN	DRY	TTR-T2
Transmisión piso 5 y 6	LPN	DRY	TTR-T3
Transmisión piso 7 y 8	LPN	DRY	TTR-T4
Transmisión piso 9 y 10	LPN	DRY	TTR-T5
Ventilador sierra	LPN	TOF	SIE-VFS

Tabla 3: Equipos del análisis de criticidad (Elaboración Propia, 2023)

Conocida la matriz y las ponderaciones de cada factor, los cálculos realizados para la obtención de los factores se encuentran en el ANEXO I, se da valor a los equipos mostrados en la *Tabla 3*.

EQUIPO	PLANTA	GRUPO	EQUIPO	C				C	FF	RIESGO	NIVEL DE CRITICIDAD
				SHA	IP	BM	CM				
Reductor molino	CAL2	MCP	RM	1	4	3	3	2,2	3	6,6	M
Ventilador principal	CAL2	CAC	VPR	3	4	1	3	2,2	3	6,6	M
Ventilador combustión	CAL2	CAC	VCO	3	4	1	3	2,2	3	6,6	M
Ventilador del enfriador	CAL2	EN	VENT	1	4	1	3	1,8	3	5,4	M
Enfriador rodamientos	CAL2	ENF	ENF	1	4	1	4	2,0	3	6	M
Mixer	LPN	MX	MIX-MIX	1	5	5	3	2,8	4	11,2	A
Ventilador de recirculacion precalentamiento 1	LPN	DRY	Z0-VRP1	1	3	3	3	2,0	2	4	B
Ventilador de recirculacion precalentamiento 2	LPN	DRY	Z0-VRP2	1	3	3	3	2,0	2	4	B
Ventilador entrada secadero	LPN	DRY	Z0-VES	1	3	1	3	1,6	4	6,4	A
Ventilador recirculacion izquierdo zona 1	LPN	DRY	Z1-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculacion derecho zona 1	LPN	DRY	Z1-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador combustión zona 1	LPN	DRY	Z1-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6	M
Ventilador de bordes zona 1	LPN	DRY	Z1-VB	1	3	1	3	1,6	3	4,8	M
Ventilador recirculacion izquierdo zona 2	LPN	DRY	Z2-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculacion derecho zona 2	LPN	DRY	Z2-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador combustión zona 2	LPN	DRY	Z2-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6	M
Ventilador de bordes zona 2	LPN	DRY	Z2-VB	1	3	1	3	1,6	3	4,8	M
Ventilador recirculacion izquierdo zona 3	LPN	DRY	Z3-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculacion derecho zona 3	LPN	DRY	Z3-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12	MA
Ventilador extracción zona 3	LPN	DRY	Z3-CEA	1	3	1	3	1,6	3	4,8	M
Ventilador combustión zona 3	LPN	DRY	Z3-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6	M
Ventilador salida aire húmedo	LPN	DRY	RCS-VSAH	1	1	1	2	1,0	2	2	B
Ventilador entrada aire fresco	LPN	DRY	RCS-VEAF	1	1	1	2	1,0	2	2	B
Transmisión piso 1 y 2	LPN	DRY	TTR-T1	1	1	1	1	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 3 y 4	LPN	DRY	TTR-T2	1	1	1	1	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 5 y 6	LPN	DRY	TTR-T3	1	1	1	1	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 7 y 8	LPN	DRY	TTR-T4	1	1	1	1	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 9 y 10	LPN	DRY	TTR-T5	1	1	1	1	0,8	2	1,6	B
Ventilador sierra	LPN	TOF	SIE-VFS	3	1	3	2	1,8	3	5,4	M

Tabla 4: Nivel de criticidad de los equipos estudiados (Elaboración Propia, 2023)

En la *Tabla 4*, aparecen los 3 equipos en los que ha habido fallos durante la puesta en marcha como áreas de criticidad muy alta.

Los equipos con mayor criticidad son los ventiladores de recirculación del secadero, equipos con motores grandes y una compleja accesibilidad para la realización del cambio de motor.

En el nivel de alta criticidad se encuentran el equipo mixer y el ventilador de la entrada del secadero, el primero tiene una gran complejidad en los cambios de poleas o motor, y en el ventilador del secadero hay una alta frecuencia de fallo, si no está correctamente aislado puede penetrar la humedad haciendo que el polvo se apelmace dentro generando desequilibrios en este.

4.2. VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN DEL SECADERO

Como se menciona anteriormente los ventiladores de recirculación del secadero son los más críticos, esto se debe a la dificultad para realizar cambios de equipo, las altas temperaturas que alcanzan las cuales lleva a no tener unas condiciones seguras para el trabajador y el número elevado de problemas durante la puesta en marcha.

La puesta en marcha también se ha empleado para recoger alarmas, cuando se alcanzan los 90°C, y paradas, al llegar a los 100°C, de los ventiladores, obteniéndose:

	ALARMA	PARADA	ALARMAS+PARADAS
Z1-VRD	4	2	7
Z1-VRI	13	3	19
Z2-VRD	3	3	6
Z2-VRI	2	2	5
TOTAL	22	10	37

Tabla 5: Número de alarmas ventiladores (Elaboración Propia, 2023)

Por esta razón se realiza el estudio de este equipo, más concretamente el ventilador de recirculación izquierdo zona 1 (Z1-VRI), sirviendo de ejemplo sobre la forma en la que se debe realizar un mantenimiento preventivo.



Figura 17: Ventilador Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)

TCF Vzduchotechnika s.r.o, conocido también como Twin City Fan, es una empresa líder mundial en diseño y fabricación de ventiladores industriales, contando con ventiladores de proceso industrial de servicio pesado hasta una línea integral de suministro comercial y ventiladores de extracción específicos para HVAC (climatización y ventilación). (TCF, 2023)

Para la correcta realización del mantenimiento se debe conocer el equipo, para ello se procede a analizar el Data Sheet proporcionado por el fabricante. Este no es útil si no se estudia el significado de abreviaturas o magnitudes dadas para el mantenimiento, ya que en el caso del mantenimiento se dan valores idealizados.



Figura 18: Placa ventilador Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)

El ventilador es el modelo “BCS 660, CL.22, ARR_8” al que se le añaden los siguientes detalles “CCW90 (THD), W100%, D100%, SWSI”, es decir, es un ventilador para altas presiones y/o volúmenes, con el rodete en voladizo sobre el eje, cuenta con dos rodamientos y un acoplamiento flexible que conecta el ventilador con el eje motor y una bancada rígida. Análisis más exhaustivo del significado de cada sigla en el *Anexo II*.

Conocidos los componentes que conforman el ventilador, se presentan en la *Tabla 6* los componentes que conforman el rodamiento, zona en la cual el ventilador está presentando problemas.

EQUIPO	Posición	CARCASA	SELLOS	SEPARADORES	RODAMIENTO	CASQUILLO
Z1-VRI	DE	SNL 524-620	TSN 524 L	FRB 22/215	1224 K/C3	H3024
	NDE	SNL 528	TSN 528 L		22228 CCK/C3W33	H3128

Tabla 6: Componentes del ventilador (Elaboración Propia, 2023)

Las siglas que se encuentran en los componentes DE (Drive End) y NDE (Non Drive End), indican la colocación en el eje del rodamiento, siendo DE es el que corresponde al más cercano al motor y el NDE será el más cercano al rodete.

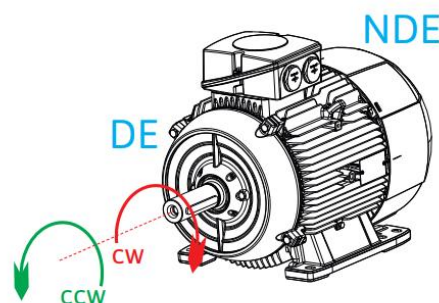


Figura 19: Siglas DE y NDE (Munir, 2021)

5. IMPLANTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Como se ha mencionado anteriormente existen diversas técnicas para la realización del mantenimiento predictivo, una vez estudiado el equipo se debe seleccionar que técnica es la más adecuada.

Los ventiladores del secadero han registrado un importante número de fallos por altas temperaturas en los rodamientos, siendo un claro ejemplo de los fallos iniciales en la etapa de rodaje.

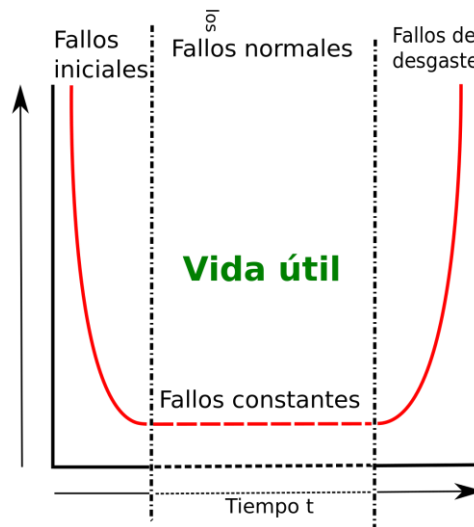


Figura 20: Curva de bañera (Wikipedia, 2019)

La curva de bañera es una gráfica que enfrenta el número de fallos y el tiempo transcurrido del equipo. Se distinguen en ella tres etapas, la inicial, denominada “rodaje” en la cual comienza la vida útil y va disminuyendo el número de fallos en función del avance del tiempo, la segunda etapa, también conocida como “madurez”, cuenta con un número constante de fallos durante una etapa, siendo esta la más prolongada en el tiempo, y por último la etapa de envejecimiento, donde comienza el incremento paulatino de fallos.

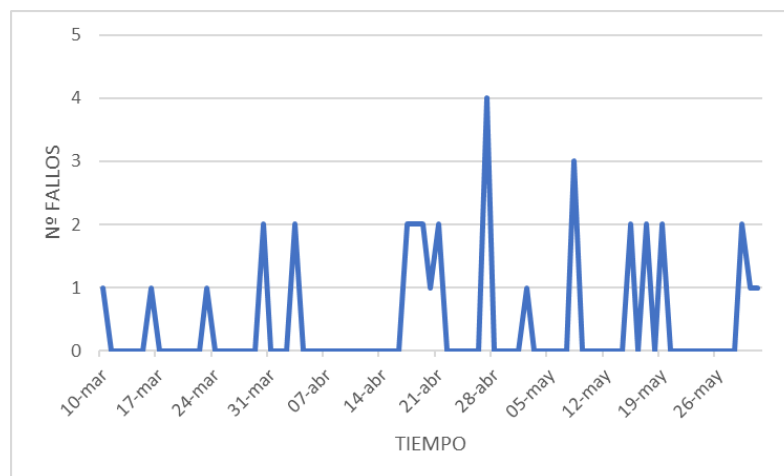


Figura 21: Curva de bañera ventiladores del secadero (Elaboración Propia, 2023)

Durante los 2 meses de recogida de datos mediante el software WINCC, se ha detectado este número de fallos en los ventiladores de recirculación del secadero, siendo en poco tiempo un número muy elevado, un total de 28. La línea no trabajaba las horas correspondientes ni con la carga de trabajo habitual, siendo por esa razón más llamativa esta cifra.

Por ello es conveniente una implantación de mantenimiento predictivo en esta etapa de los ventiladores del secadero, ya que se puede lograr una mayor producción eliminando paradas inesperadas.

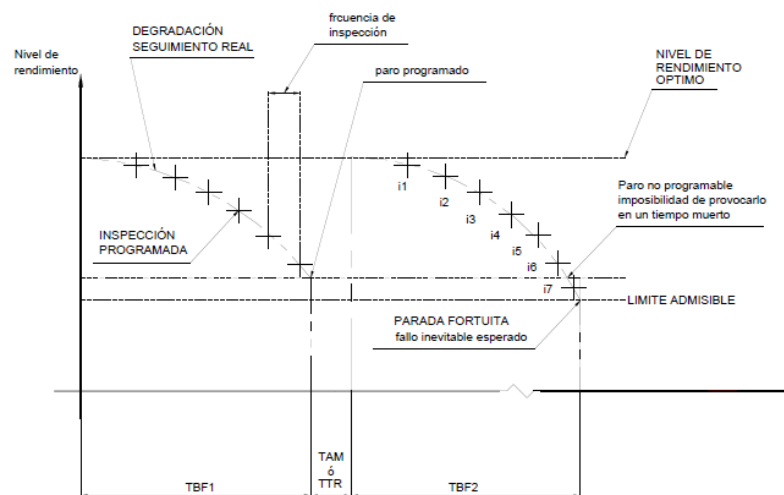


Figura 22: Grafica general de rendimientos aplicando técnicas no destructivas (Apuntes de la asignatura de Producción Industrial, 2023)

Para ejemplificar la implantación del mantenimiento predictivo se va a tomar el ventilador de recirculación Z1-VRI, dado que es el que mayor número de incidencias ha recogido, un total de 16.

Las técnicas a realizar en los rodamientos del Z1-VRI, van desde la sensorización de vibraciones y temperatura hasta un análisis de ultrasonidos.

Debido al número de paradas que se sufre la línea por alarmas sobre la temperatura a la que se encuentra el rodamiento más próximo al rodete, siendo esta de 90°C, con una histéresis de 0,5°C, se cuestionó el funcionamiento de dicho sensor. El uso de la termografía fue clave durante este proceso, debido a que sirvió para corroborar que las temperaturas que mostraban los sensores eran las correctas. Además, se utilizó para analizar otros componentes del ventilador y comprobar si existía algún otro problema además del rodamiento.

Respecto al uso de los sensores de vibraciones estos pueden ser de gran ayuda debido a que, con un correcto análisis, es una técnica que puede ayudar a determinar el fallo en el rodamiento.

El problema existente en la monitorización de la empresa es que únicamente se recogen magnitudes en m/s, siendo esta únicamente encargada de informar si existe la posibilidad de que pueda estar sucediendo algo o no, si previamente se han establecido unas magnitudes base. Para que esta técnica fuese más efectiva sería necesario realizar una serie de Fourier obteniendo así un espectro de vibraciones y de esta forma poder conocer realmente lo que le sucede al rodamiento.

La empresa cuenta con un equipo de ultrasonidos, el cual es recomendable para un diagnóstico temprano de fallos en los rodamientos. Es un estudio que se adelanta a los resultados de las vibraciones, por lo que es recomendable realizar periódicamente un examen de los elementos con este equipo.

El equipo utilizado para la termografía es FLUKE TIS60+, teniendo como principales especificaciones:

- Rango de temperatura de -20°C a 400°C
- Pantalla para LCD con la que ver la distribución de temperaturas.
- Corrección de emisividad.
- Software con el que realizar informes.

El equipo de ultrasonidos es ULTRAPROBE 3000, teniendo como principales especificaciones:

- Amplio rango de sensibilidad.
- Software para generar informes.
- Detección de fugas de aire, lectura rodamientos.

Los sensores que montados para la lectura de vibraciones es el modelo IFM VTV122:

- Tipo MEMS (sistema microelectromecánico).
- Rango de medición 0 a 25 mm/s.
- Salida analógica.
- Y los sensores que realizan la lectura de temperatura son IFM TA2135:
- Rango de medición -50 a 150 °C.
- Salida analógica.

En el *ANEXO III*, se expone más en detalle las técnicas utilizadas como los equipos con los que se han realizado.

6. RESULTADOS

6.1. MAGNITUDES BASE ESTABLECIDAS

Para poder establecer unas magnitudes base, ha sido necesario realizar un estudio de vibraciones, ultrasonidos y temperatura a lo largo de la estancia en la empresa. Anteriormente ya se ha comentado el equipo utilizado como referencia para poder continuar con la implementación, el ventilador de recirculación Z1-VRI.

Se han establecido valores para ultrasonidos, vibraciones y temperatura de los rodamientos con los que cuenta el equipo. Cada técnica ha seguido un criterio diferente para establecer la magnitud, por ello, a continuación, se explican brevemente los pasos seguidos, siendo expuesto con mayor amplitud en el *Anexo IV*.

ULTRASONIDOS

Para poder establecer la línea base de los rodamientos objeto del estudio se pueden utilizar dos métodos, en este caso el método comparativo es el más adecuado ya que no se cuenta con un historial de datos y existe un equipo muy similar trabajando en idénticas condiciones.

El equipo seleccionado para realizar la comparativa es el ventilador de recirculación Z1-VRD. Se han tomado datos de ambos equipos los mismos días generando así una Excel en la cual poder comparar las magnitudes tomadas en ambos. Para la obtención de la línea base se ha realizado la media de las magnitudes tomadas y se ha corregido con un factor de 0,8, valor dado ya que el 20% de las alarmas/paradas por altas temperatura se han dado en este equipo. Este valor deberá ajustarse cuando se realice un cambio de rodamientos y estipular realmente cual es la línea base más certera.

Para realizar un análisis más completo sería necesario el software de UE SYSTEMS, más concretamente, DMS, siendo un sistema de gestión de datos que almacena y organiza registros pudiendo realizarse informes exhaustivos, alarmas y gráficos, y SPECTRALYZER, con este se pueden analizar sonidos y diagnosticar que tipo de avería tiene el rodamiento. Se instalaron estos programas, pero al conectar el equipo había un fallo y no permitía ver los datos tomados.

A continuación, se muestra una tabla, *Tabla 7*, con los datos tomados con una leyenda de colores, esta leyenda se ha establecido en función de la línea base, la cual se ha estipulado en 28 dB para el rodamiento DE y en 34 dB para el rodamiento NDE. En color amarillo se marcan aquellos valores que sobrepasan en 8 dB a la línea base y en rojo aquellos que lo sobrepasan en 16 dB. Como se ha comentado en el *Anexo III*, el primer rango marcaría falta de lubricante y el segundo rango marcaría el inicio de fallo en el rodamiento.

FECHA	HORA	Z1-VRI		Z1-VRD	
		Rod DE	Rod NDE	Rod DE	Rod NDE
14-abr.	13:35	38	38	37	43
17-abr.	10:00	45	38	34	37
17-abr.	12:05	40	36	30	37
20-abr.	11:15	32	33	30	38
27-abr.	15:40	30	30	30	40
1-may.	10:10	38	51	39	46
9-may.	16:20	40	54	44	50
12-may.	15:30	37	50	39	48
15-may.	12:20	39	48	36	43
19-may.	13:10	42	49	35	40
23-may.	9:30	40	46	37	45
27-may.	16:00	44	50	38	42
30-may.	15:30	43	50	42	52

Tabla 7: Valores obtenidos en ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)

TEMPERATURA

Las magnitudes estipuladas en el WINCC serían correctas para rodamientos habituales, pero en este caso se cuenta con unos rodamientos tratados térmicamente, en especial el rodamiento de rodillos a rotula, NDE. Aparecían definidas en 90°C como alarma de sobrecalentamiento y cuando se alcanzaban los 100°C \pm 0,3 °C (precisión que tiene el sensor IFM TA2135) provocaba un paro en el ventilador por alta temperatura de los rodamientos.

Al ser rodamientos diferentes y estar sometidos a temperaturas, debido a la ubicación, distintas, no es correcto marcar límites de temperatura iguales, por ello, con la experiencia y los valores dados por el fabricante, SKF, se cree conveniente que las magnitudes aumenten.

Con las gráficas obtenidas en WINCC a tiempo real se ha podido observar como el rodamiento NDE tarda una media de 1h 34 min en alcanzar los 90 °C, desde el momento en el que se da la alarma hasta que se para por alta temperatura. Este tiempo se ha estipulado tomando los datos de los días en los que el equipo ha tenido alarma y se ha detenido, además al observarse las gráficas esos días se observa como a partir de los 90°C el crecimiento exponencial que lleva la temperatura empieza a ser constante. Con este simple análisis se puede observar que la magnitud tomada como referencia para las alarmas no es la más adecuada, ya que el rodamiento comienza a estabilizarse en el momento en el que se detiene.

Por otra parte, se encuentra la información aportada por el fabricante, de la cual se debe tener en cuenta la composición del rodamiento.

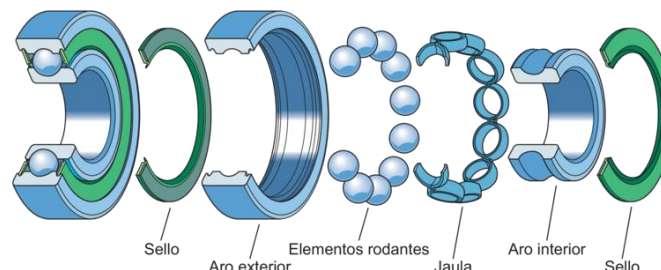


Figura 23: Componentes de un rodamiento (SKF, 2023)

Como se observa la composición de un rodamiento tiene multitud de componentes, por tanto, la temperatura a la que se podrá exponer como máximo el rodamiento debería ser la más restrictiva de los componentes.

RODAMIENTO DE RODILLOS A RÓTULA		RODAMIENTO DE BOLAS A RÓTULA	
COMPONENTE	TEMPERATURA MAXIMA [°C]	COMPONENTE	TEMPERATURA MAXIMA [°C]
Sello	90	Sello	90
Aros	200	Aros	120

Tabla 8: Temperaturas limitantes rodamientos (Elaboración Propia, 2023)

En este caso la más restrictiva es la del sello, ya que se cuenta con un sello NBR el cual puede trabajar en un rango de temperaturas de -40°C a 90°C, pudiendo llegar a los 120°C en periodos muy breves.

Por este motivo las alarmas están estipuladas a esta temperatura, pero como se observa en el rodamiento de rodillos a rotula, el cual recoge la mayor cantidad de alarmas y paradas, hay 110°C de diferencia entre componentes, por lo que no se está aprovechando esta característica tan ventajosa que posee este tipo de rodamiento.

En caso de que se decidiese cambiar el sello, al menos en el rodamiento de rodillos a rotula, se podría llegar a subir la alarma a 150°C. Este aumento de temperatura debería ir acompañado de un cambio dentro del mantenimiento predictivo expuesto en el *Punto 6.2*.

VIBRACIONES

En este caso no se cuenta con alarmas por elevadas vibraciones en WINCC, por lo que se han establecido a que magnitudes deberían estar. Se han estudiado los valores del ventilador y se ha tenido en cuenta la norma ISO 10816, norma que para establecer criterios de referencia es muy útil, pero que, para un estudio más completo sobre lo que está sucediendo no es del todo adecuada, ya que, se debería optar por un análisis del espectro y para ello sería necesario realizar la FFT.

Para poder saber sobre que rango de vibraciones es admisible es necesario hacer la clasificación que plantea la norma, en este caso se cuenta con un equipo del grupo 4, de tamaño medio y base rígida. Con esta información en la *Tabla 14*, se obtiene que de 1,4 a 2,8 mm/s la maquina empieza a dar síntomas de un fallo en un tiempo indefinido, en este caso al ser una maquina nueva, no se va a marcar el rango siguiente, de 2,8 a 4,5 mm/s, debido a que es un equipo que no debería tener problemas.

El rango que se establece como alarma de elevadas vibraciones es de 1,4 mm/s, no supondría una parada del equipo, pero si deberá aparecer un mensaje que indique la necesidad de realizar un análisis de ultrasonidos, para comprobar si ese rodamiento tiene un problema puntual o es un problema que lleve a fallo del equipo.

6.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo está definido según AFNOR (norma 60010) como “Mantenimiento efectuado con la intención de reducir la probabilidad de fallos de un bien o la degradación de un servicio prestado”. Se puede entender que es el conjunto de operaciones programadas que se van a realizar en un equipo antes de la aparición de un fallo. Para evitar el sobremantenimiento que se produce con un mantenimiento preventivo, refiriéndose a sobremantenimiento este que realiza cambios de componentes que se encuentran en buen estado debido a los protocolos de tiempo de duración establecidos, nació el mantenimiento predictivo. Por ello con un mantenimiento predictivo bien ejecutado se puede obtener un mantenimiento preventivo sin sobremantenimiento.

Este mantenimiento se realiza en el ventilador de recirculación Z1-VRI, para continuar el ejemplo de un correcto mantenimiento.

Un primer acercamiento al mantenimiento preventivo que debe realizarse al equipo seleccionado debe tener en cuenta la documentación aportada por TCF, empresa fabricante del ventilador, y el catálogo de lubricación y re-lubricación de SKF.

Ambas empresas han dado diferentes valores de re-lubricación de los rodamientos, por lo que se ha podido comprobar durante la puesta en marcha de línea más el mantenimiento predictivo realizado, se decide que mantenimiento preventivo es el idóneo a realizar.

Los rodamientos de estudio son del fabricante SKF por lo que se toman los datos necesarios para realiza un cálculo de lubricación y re-lubricación que deben tener. Estos cálculos se encuentran en el *ANEXO IV*.

Una vez definidos los tiempos de re-lubricación, así como las cantidades correspondientes, se genera una orden de mantenimiento preventivo, también pudiendo ser reconocida como una ruta de engrase en marcha.

Debe destacarse que el uso de grasa MOBILITH SHC 100 se ha indicado en la ruta de engrase dado que es la recomendada por TCF y el equipo está en periodo de garantía, por lo tanto, es recomendable seguir con esta grasa hasta que finalice el periodo de garantía o se realice un cambio de los rodamientos.

Esta grasa puede ser sustituida por la PETAMO GHY 133n, utilizada en la empresa como grasa térmica. Ambas grasas son NLGI 2 e ISO VG 100 y los compuestos principales son los mismos, si pasado un tiempo se decide implantar la grasa PETAMO, se recomendaría limpiar el rodamiento de la antigua grasa y hacer un relleno con los valores obtenidos anteriormente.

placo DRY - SECADERO		RUTA ENGRASE EN MARCHA						OPERARIO
								FECHA (MES)
ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	Nº ptos engrase	Frecuencia	Tipo Grasa	Bombazos	Engrasado	OBSERVACIONES	
Z1-VRI	Rodamiento NDE	1	Mensual	MOBILITH SHC 100	43	X		
	Rodamiento DE	1			23			
Z1-VRD	Rodamiento NDE	1	Mensual	MOBILITH SHC 100	43	X		
	Rodamiento DE	1			23			
Z2-VRI	Rodamiento NDE	1	Mensual	MOBILITH SHC 100	43	X		
	Rodamiento DE	1			23			
Z2-VRD	Rodamiento NDE	1	Mensual	MOBILITH SHC 100	43	X		
	Rodamiento DE	1			23			

Figura 24: Modelo ruta de engrase (Elaboración Propia, 2023)

6.3. CAMBIOS FUTUROS

La empresa contaba con equipos para la realización de mantenimiento predictivo, los cuales no eran utilizados o no correctamente. Con la implantación de magnitudes base para generar alarmas, una ruta de engrase basada el mantenimiento preventivo, la asignación de que equipos ya se podría hablar de la aparición de un mantenimiento predictivo, se puede decir que la implantación ha comenzado, pero aún queda un largo camino por recorrer.

Para que siga la implantación por buen camino se debe realizar cambios, ya que se debe mejorar puntos necesarios para un correcto mantenimiento predictivos, siendo:

- Implantar sensores de vibraciones y temperatura.
- Cambio de los sensores de vibraciones incorrectamente colocados: Una mala colocación del sensor de vibraciones da como lugar una toma de datos falseada, por lo que es fundamental para un correcto análisis que estos sensores estén colocados en la posición correcta.

Se han encontrado sensores que no estaban colocados en el rodamiento, por tanto, las mediciones que se estaban teniendo del rodamiento eran inexistentes, siendo este el caso más llamativo.



Figura 25: Sensores de vibraciones colocado incorrectamente (Elaboración Propia, 2023)

Como se puede comprobar en el *Anexo III*, el fabricante TCF en el manual de instalación del equipo adjunta una recomendación de cómo deben colocarse los sensores. Esta recomendación no es la más adecuada para la toma de datos, ya que se debe colocar el sensor lo más cercano al rodamiento debido a que se atenúa la señal conforme se aleja del apoyo del eje, ya que si se quiere conocer la vibración que provoca eje y rodamiento debe aislarse en la medida de lo posible, por lo que alejarlo de la bancada sería más correcto. Este deberá colocarse de forma radial o axial, pero nunca tangencial, y lo más próximo al eje, en este caso colocarlo en la vertical del rodamiento daría una mayor proximidad del rodamiento.

El punto de colocación del sensor de vibraciones deberá cumplir que es seguro para el operario, respecto a la exposición de partes rotativas como a altas temperaturas, la colocación más cercana al rodamiento, superficie apta para la colocación del sensor, y la orientación no es tangencial respecto al rodamiento.

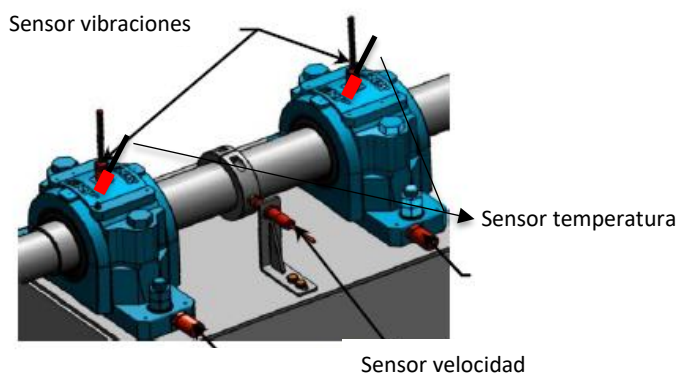


Figura 26: Propuesta de colocación de los sensores (TCF, 2019)

- Realización de engrase basado en condición: Dado que la empresa cuenta con los medios para poder realizarse sería conveniente su uso, la realización de engrase la realizan de forma excesiva como se puede comprobar en la *Tabla 20*, que cuando se realizaba un engrase la temperatura aumentaba, esto se debe al exceso de grasa.

Un exceso de grasa en los rodamientos provoca una salida forzada de la grasa, es decir, una presión en los retenes que hacen que se dañen y a su vez puedan entrar contaminantes en el rodamiento. Por ello se debe cambiar la filosofía de la empresa de engrasar hasta que se salga del rodamiento.

- Uso de termografía para detectar fallos de sensores de temperatura o encontrar fugas: Al igual que se ha utilizado la termografía para comprobar que realmente la temperatura que se estaba midiendo era la correcta, se puede utilizar para comprobar que las zonas que deben estar calorífugadas lo están.

Este problema ha sucedido en el secadero, donde la parte más cercada a los ventiladores de recirculación deberían estar aisladas y se ha comprobado que no, siendo un factor que provocaba el aumento del rodamiento NDE.

En el *Anexo IV*, se expone como la termografía ha sido de ayuda para detectar los problemas de aislamiento del secadero, además de un mal diseño del disipador de calor que provocaba esos aumentos de temperatura en el rodamiento.

- Cambio de los sensores de vibraciones: Como se ha comentado en anteriores ocasiones, la magnitud que magnifica la severidad del equipo es la velocidad, pero un sensor de velocidad tiene limitaciones que en el caso de los ventiladores de recirculación del secadero se deben tener en cuenta, la temperatura a la que se encuentran los rodamientos, a salida depende de la temperatura.

En los casos en los que haya variación de temperatura o temperaturas por encima de los 90 °C sería recomendable optar por sensores piezoeléctricos o MEMS que tengan mayor rango de temperatura. Siendo las temperaturas del rodamiento del ventilador de recirculación del secadero elevadas se optaría por un sensor piezoeléctrico, como podría ser el VSP003 de IFM, el cual tiene un rango de operación de -55 °C a 130 °C.

- Introducir un espectro de vibraciones: Para poder contar con una información más detallada de que le está sucediendo al rodamiento es necesario contar con un espectro de vibraciones, por ellos es recomendable que se realice la transformada de Laplace en los datos que están obteniendo. Si además se le incluyese una IA, se contaría con un análisis rápido de que está sucediendo, pudiendo actuarse de una manera más rápida y coordinada con el departamento de Producción y solventar los problemas.
- Formar al personal: La formación de personal es necesaria ya sea para la realización de lubricación basado en la condición como si se opta por realizar análisis de vibraciones en la empresa. Es necesario que alguien tenga nociones básicas del tema para poder ir con el tiempo ganando experiencia y poder la empresa ahorrarse la subcontratación de un mantenimiento predictivo o en las paradas de mantenimiento tener a 2 o 4 personas dedicándose solo a engrases.

Se expone en el *Anexo IV* una justificación de que supondría para la empresa la formación del personal.

7. CONCLUSIONES

El mantenimiento predictivo ha sido la principal razón de este proyecto, partiendo de los elementos en los que se ha realizado una inversión y que no estaban siendo utilizados de forma óptima. Se ha tratado de buscar el fallo en los mismos y a su vez corregirlos.

Partiendo de esta base se ha tratado de implantar un mantenimiento preventivo a la nueva línea, a realizar dentro de la empresa, ya que hasta el momento se encargaba de ello una empresa subcontratada.

En este estudio se han buscado los elementos más propensos al fallo en los cuales la inversión de un mantenimiento predictivo pueda ser compensada.

Se han expuesto diversas técnicas las cuales van a ser de gran ayuda en el futuro para evitar paradas no deseadas en la línea de producción y no realizar un sobremantenimiento. Las técnicas recogidas en el proyecto son el análisis de vibraciones, ultrasonidos y la termografía infrarroja.

La implantación ha comenzado por un equipo clasificado como muy alta criticidad, este es el Z1-VRI, se han establecido las magnitudes con las que se obtiene una alerta para vibraciones, ultrasonidos y temperatura de los rodamientos que componen el equipo. A su vez, se ha establecido un mantenimiento preventivo basado en el mantenimiento predictivo.

Con esta implantación se estaría ahorrando la empresa, como mínimo, alrededor de 5.000 € al año en la línea 2. Por otra parte, las paradas imprevistas se reducirían, significando una reducción de costes de mantenimiento de un 20-25% y un aumento de la disponibilidad de entorno al 10%.

Para seguir avanzando en la implantación se deberían realizar cambios de sensores de vibraciones, implantar sensores en equipos críticos, realizar mantenimiento predictivo en el engrase y formar al personal, siendo este último el más importante y donde más dinero puede ahorrar la empresa.

ANEXO I: CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

En este anexo se muestran los cálculos realizados para obtener la *Tabla 3*. El modelo MCR se calcula en función del artículo “Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos” escrito por PhD. Carlos Parra Marques y PhD. Adolfo Crespo Márquez.

El modelo de criticidad escogido es el MCR, el cual está basado en la estimación del factor de riesgo, cuantificándose dicho factor (Parra & Crespo Martínez, 2012).

$$Riesgo = FF \cdot C \quad (1)$$

Siendo los factores FF y C:

FF: Frecuencia de fallos en un tiempo determinado

C: Consecuencia de los fallos. Impacto en seguridad y medio ambiente (SHA), impacto en producción (IP), impacto por baja mantenibilidad (BM) y costes de mantenimiento (CM).

$$C = 0,2 \cdot (SHA + IP + BM + CM) \quad (2)$$

Conocida la expresión con la que se calcula el riesgo, se deben de conocer los factores ponderados diseñados para poder cuantificar los factores de frecuencia y consecuencias de fallos, todos con una escala de 1 a 5 (Parra & Crespo Martínez, 2012):

- FF: Factor de frecuencia de fallos
 1. Hondamente improbable: menos de 1 evento en 5 años.
 2. Improbable: 1 evento en 5 años.
 3. Posible: 1 evento en 3 años.
 4. Probable: 1-3 eventos al año.
 5. Frecuente: más de 3 eventos al año.
- SHA: Impacto de seguridad y medio ambiente
 1. No existe riesgo de salud ni daños ambientales.
 3. Riesgo de vida del personal o daños menores a la salud personal y/o incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.
 5. Alto riesgo de vida del personal, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental catastrófica, derrames y fugas que excedan los límites permitidos.
- IP: Impacto en producción
 1. Perdidas de producción menor al 10%.
 2. Perdidas de producción entre el 10%-20%.

3. Pérdidas de producción entre el 25%-49%.
 4. Pérdidas de producción entre 50%-74% (unidades de reserva parcial).
 5. Pérdidas de producción superior al 75% (no hay unidades de reserva).
- BM: Impacto por baja mantenibilidad
 1. Existen unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.
 3. Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
 5. No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logísticas muy grandes.
 - CM: Impacto en costes de mantenimiento
 1. Costes de reparación incluyendo materiales y HH (tiempo de trabajo), por debajo del 10% del valor del equipo.
 2. Costes de reparación incluyendo materiales y HH, entre el 11%-24% del valor del equipo.
 3. Costes de reparación incluyendo materiales y HH, entre el 25%-49% del valor del equipo.
 4. Costes de reparación incluyendo materiales y HH, entre el 50%-74% del valor del equipo.
 5. Costes de reparación incluyendo materiales y HH, más del 75% del valor del equipo.

Una vez definidos los valores de ponderación se comienza el estudio de los equipos que hay en la *Tabla 3*.

El factor FF, BM y CM son del ámbito del departamento de mantenimiento, pudiendo usar como herramienta de ayuda el GMAO. A continuación, se muestran unos ejemplos de cómo ha sido recogida la información para poder darle un valor de ponderación más adecuado a estos factores.

Pieza	Organización de la pieza	Organización	Condición	Tipo de precio	Precio promedio	Último precio	Precio estándar	Valor de pieza reparable
ROD1318	QO	QO		Último precio	307.02	307.02	0.00	

Figura 27: Factor CM en GMAO (Elaboración Propia, 2023)

El factor BM se encuentra en lugar de en la pestaña de precios en la pestaña de stock, obteniéndose la cantidad de repuestos que hay en ese momento en la empresa.

Almacén	Descripción	Organización del almacén	Estante	Cantidad disponible	Cantidad de piezas reparables	ID del activo	UDM
80ALMA-MANTTO	Almacén de Mantenimiento - Quinto	QO	A05	2	0		EA

Figura 28: Factor BM en GMAO (Elaboración Propia, 2023)

El factor FF, se realiza en función de los fallos producidos durante la puesta en marcha o los fallos que están almacenados en el GMAO de la línea 1, del equipo equivalente al que se está estudiando. Para ello se deben analizar al menos las ordenes de trabajo del último año.

Orden de trabajo	Descripción	Equipo	Prioridad	Fecha de inicio programada	Estado	Clase	Fecha de finalización programada	Tipo de trabajo
408305	cambiar grasa a los rodamientos del ventilador por saltar alarma alta temperatur	Z1-VRI		05-05-2023	Terminada O.T	PRG	05-05-2023	Avería
408116	cambiar la grasa del rodamiento pegado al ventilador por alta temperatura 2vez	Z1-VRI		28-04-2023	Terminada O.T	PRG	28-04-2023	Avería
408109	cambiar la grasa del rodamiento pegado al ventilador por alta temperatura	Z1-VRI		28-04-2023	Terminada O.T	PRG	28-04-2023	Avería

Figura 29: Factor FF en GMAO (Elaboración Propia, 2023)

El resto de los factores por valorar están relacionados con otros departamentos, el factor IP se ha podido obtener por los informes elaborados por el departamento de producción junto al de WCM, encargado de realizar el OEE. Y el factor SHA, estaría relacionado con el departamento de seguridad y prevención, pudiendo lograrse una ponderación gracias a los informes elaborados por la empresa CUALTIS, la cual elabora informes de seguridad de los equipos instalados.

Estos dos últimos factores se han ponderado de acuerdo con lo que se ha considerado en los departamentos mencionados.

EQUIPO	PLANTA	GRUPO	EQUIPO	C				C	FF	RIESGO
				SHA	IP	BM	CM			
Reductor molino	CAL2	MCP	RM	1	4	3	3	2,2	3	6,6
Ventilador principal	CAL2	CAC	VPR	3	4	1	3	2,2	3	6,6
Ventilador combustión	CAL2	CAC	VCO	3	4	1	3	2,2	3	6,6
Ventilador del enfriador	CAL2	EN	VENT	1	4	1	3	1,8	3	5,4
Enfriador rodamientos	CAL2	ENF	ENF	1	4	1	4	2,0	3	6
Mixer	LPN	MX	MIX-MIX	1	5	5	3	2,8	4	11,2
Ventilador de recirculacion precalentamiento 1	LPN	DRY	Z0-VRP1	1	3	3	3	2,0	2	4
Ventilador de recirculacion precalentamiento 2	LPN	DRY	Z0-VRP2	1	3	3	3	2,0	2	4
Ventilador entrada secadero	LPN	DRY	Z0-VES	1	3	1	3	1,6	4	6,4
Ventilador recirculacion izquierdo zona 1	LPN	DRY	Z1-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador recirculacion derecho zona 1	LPN	DRY	Z1-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador combustión zona 1	LPN	DRY	Z1-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6
Ventilador de bordes zona 1	LPN	DRY	Z1-VB	1	3	1	3	1,6	3	4,8
Ventilador recirculacion izquierdo zona 2	LPN	DRY	Z2-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador recirculacion derecho zona 2	LPN	DRY	Z2-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador combustión zona 2	LPN	DRY	Z2-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6
Ventilador de bordes zona 2	LPN	DRY	Z2-VB	1	3	1	3	1,6	3	4,8
Ventilador recirculacion izquierdo zona 3	LPN	DRY	Z3-VRI	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador recirculacion derecho zona 3	LPN	DRY	Z3-VRD	1	3	5	3	2,4	5	12
Ventilador extracción zona 3	LPN	DRY	Z3-CEA	1	3	1	3	1,6	3	4,8
Ventilador combustión zona 3	LPN	DRY	Z3-VCO	3	3	1	3	2,0	3	6
Ventilador salida aire húmedo	LPN	DRY	RCS-VSAH	1	1	1	2	1,0	2	2
Ventilador entrada aire fresco	LPN	DRY	RCS-VEAF	1	1	1	2	1,0	2	2
Transmisión piso 1 y 2	LPN	DRY	TTR-T1	1	1	1	1	0,8	2	1,6
Transmisión piso 3 y 4	LPN	DRY	TTR-T2	1	1	1	1	0,8	2	1,6
Transmisión piso 5 y 6	LPN	DRY	TTR-T3	1	1	1	1	0,8	2	1,6
Transmisión piso 7 y 8	LPN	DRY	TTR-T4	1	1	1	1	0,8	2	1,6
Transmisión piso 9 y 10	LPN	DRY	TTR-T5	1	1	1	1	0,8	2	1,6
Ventilador sierra	LPN	TOF	SIE-VFS	3	1	3	2	1,8	3	5,4

Tabla 9: Factores de ponderación (Elaboración Propia, 2023)

Los resultados obtenidos de los factores de frecuencia de fallos, FF, y la consecuencia de los fallos, C, se transfieren a la matriz de criticidad, *Tabla 1*. La matriz se divide cuatro en niveles de criticidad o riesgo, siendo:

B- Baja criticidad.

M- Media criticidad.

A- Alta criticidad.

MA- Muy alta criticidad.

Quedando por tanto los equipos estudiados con el siguiente nivel de criticidad:

EQUIPO	PLANTA	GRUPO	EQUIPO	C	FF	RIESGO	NIVEL DE CRITICIDAD
Reductor molino	CAL2	MCP	RM	2,2	3	6,6	M
Ventilador principal	CAL2	CAC	VPR	2,2	3	6,6	M
Ventilador combustión	CAL2	CAC	VCO	2,2	3	6,6	M
Ventilador del enfriador	CAL2	EN	VENT	1,8	3	5,4	M
Enfriador rodamientos	CAL2	ENF	ENF	2,0	3	6	M
Mixer	LPN	MX	MIX-MIX	2,8	4	11,2	A
Ventilador de recirculación precalentamiento 1	LPN	DRY	Z0-VRP1	2,0	2	4	B
Ventilador de recirculación precalentamiento 2	LPN	DRY	Z0-VRP2	2,0	2	4	B
Ventilador entrada secadero	LPN	DRY	Z0-VES	1,6	4	6,4	A
Ventilador recirculación izquierdo zona 1	LPN	DRY	Z1-VRI	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculación derecho zona 1	LPN	DRY	Z1-VRD	2,4	5	12	MA
Ventilador combustión zona 1	LPN	DRY	Z1-VCO	2,0	3	6	M
Ventilador de bordes zona 1	LPN	DRY	Z1-VB	1,6	3	4,8	M
Ventilador recirculación izquierdo zona 2	LPN	DRY	Z2-VRI	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculación derecho zona 2	LPN	DRY	Z2-VRD	2,4	5	12	MA
Ventilador combustión zona 2	LPN	DRY	Z2-VCO	2,0	3	6	M
Ventilador de bordes zona 2	LPN	DRY	Z2-VB	1,6	3	4,8	M
Ventilador recirculación izquierdo zona 3	LPN	DRY	Z3-VRI	2,4	5	12	MA
Ventilador recirculación derecho zona 3	LPN	DRY	Z3-VRD	2,4	5	12	MA
Ventilador extracción zona 3	LPN	DRY	Z3-CEA	1,6	3	4,8	M
Ventilador combustión zona 3	LPN	DRY	Z3-VCO	2,0	3	6	M
Ventilador salida aire húmedo	LPN	DRY	RCS-VSAH	1,0	2	2	B
Ventilador entrada aire fresco	LPN	DRY	RCS-VEAF	1,0	2	2	B
Transmisión piso 1 y 2	LPN	DRY	TTR-T1	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 3 y 4	LPN	DRY	TTR-T2	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 5 y 6	LPN	DRY	TTR-T3	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 7 y 8	LPN	DRY	TTR-T4	0,8	2	1,6	B
Transmisión piso 9 y 10	LPN	DRY	TTR-T5	0,8	2	1,6	B
Ventilador sierra	LPN	TOF	SIE-VFS	1,8	3	5,4	M

Tabla 10: Nivel de riesgo de cada equipo (Elaboración Propia, 2023)

ANEXO II: ESTUDIO DEL VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN

Como se ha mencionado en el apartado 4.1 los ventiladores de recirculación del secadero son los más críticos, por lo que el estudio del mantenimiento predictivo y preventivo se centrará en ellos. Se ha seleccionado el ventilador correspondiente al Z1-VRI, debido a que es la zona del secadero que alcanza mayores temperaturas, siendo este el que mayor número de alertas por altas temperaturas ha tenido.

Cabe destacar que la parte más importante del mantenimiento predictivo es conocer cuáles son las magnitudes óptimas de trabajo para un equipo. Estas pueden aparecer descritas por el fabricante, tratados como ideales, por lo tanto, se debe realizar en todos los casos un estudio previo y comprobar sobre qué márgenes trabaja de forma correcta el equipo.

En este anexo se van a exponer los componentes que conforman el ventilador junto a los parámetros recomendados por TCF, el fabricante.


		FAN DATASHEET				Project No.:		Z210228-07
						Serial No.:		Z210228-07-01
Customer:		Saint - Gobain UK Limited				Drawing No.:		S914 675-1
Fan description								
Designation:		BCS 660, CL.22, ARR. 8		Details:		CCW 90 (THD), W100%, D100%, SWSI		
Performance data				Airstream properties				
Volume flow:		Qv =	42,9 m ³ /s	Airstream type:		flue gases		
Total pressure:		pcv =	1690 Pa	Density:		$\rho =$	0,54 kg/m ³	
Operation / max. RPM:		n =	989 / 1146 1/min	Inlet temperature:		T =	275 °C	
Fan BHP:		Pk =	90,4 kW	Design temperature range :		T =	275 °C	
Other information				Ambient conditions				
Weight:		m =	6500 kg	Fan location:		inside installation		
Connection to ducting:		Inlet and outlet						
Noise data				Ambient temperature:				
Acoustic pressure at 1m distance from fan (no acoustic measures applied): **		83±2 dBA		Acoustic power into attached duct:		101±2 dBA		
Acoustic pressure at 1m distance from fan (with acoustic measures): **		--- dBA		* Assuming the noise spreading in a free field (Q=1) and maximum background noise level at least 10 dBA lower				
Motor data								
Type:		SIEMENS 1LE1603-3AC43-4AB4-Z L51+N05		Additional data:		105,6kW, 991RPM, 400V, IMB3, 315L, -20 ÷ +45 °C		
Notes:		IP55, L51 - Bearing insulation NDE, N05 - Temperature class 155(F), utilised to 130(B), cooling medium temperature 45°C, power reduced						
Fan bearings and lubrication details								
Bearing type:		fan side 22228 CCK/C3W33	drive 1224 K/C3	Applied lubricant:		GREAS MOBILITH SHC 100		
Lubrication:		110g@720h	80g@720h	Please see maintenance instruction for fan bearing lubrication				
Coupling								
Coupling type:		PHE 1100 TGH		Bore:	fan side 100	motor side 80	Lubrication required: 2x per year	
Fan vibration levels								
Vibration sensor:		IFM VTV 122		Range (velocity - RMS):		0 ÷ 25 mm/s	Output: 4 ÷ 20 mA	
Normal operation:		0 ÷ 7,1 mm/s	Elevated (WARNING):	7,1 ÷ 9,0 mm/s	Emergency (SHUTDOWN): > 9 mm/s			
Fan bearings temperature levels								
Temperature sensor:		IFM TA2135		Range:	-50 ÷ 150 °C	Transmitter:	integrated	
Transmitter type:		IFM TA2135		Range:	-50 ÷ 150 °C	Output:	4 ÷ 20	
Normal operation:		20 ÷ 85 °C	Elevated (WARNING):	85 ÷ 100 °C	Emergency (SHUTDOWN): > 100 °C			
Fan speed								
Speed sensor:		IFM DI6001		Operation distance:	12 mm	See section "Performance data" for maximum allowed operation speed of the fan		
Speed monitor:		IFM DI6001		Output:	relay output			
Remarks								
Customer marking: AK10-010FAN								

Figura 30: Data Sheet TCF (TCF, 2023)

A continuación, se realiza un desglose del Data Sheet, para conocer en mayor medida el tipo de ventilador a estudiar.

El ventilado es el modelo "BCS 660, CL.22, ARR_8" al que se le añaden los siguientes detalles "CCW90 (THD), W100%, D100%, SWSI".

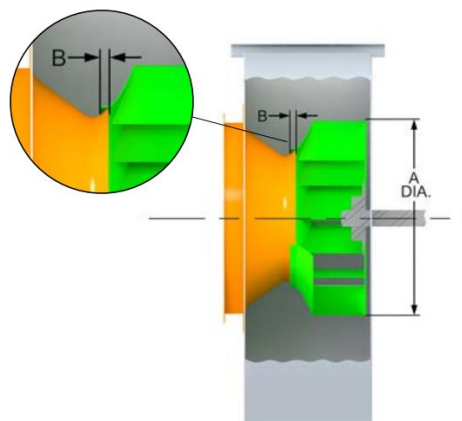
Como se ha mencionado anteriormente se debe hacer un estudio del significado de las siglas:

- BCS 660: Ventilador con alabes curvados hacia atrás para trabajar a grandes volúmenes y/o presiones, el aire transportado deberá estar relativamente limpio. Usado comúnmente para aire de combustión, soplado de humedad, etc.



Figura 31: Ventilador BC-SW (TCF, 2019)

- El rodete está construido en acero y diseñado sin sobrecargas siendo adecuado para grandes volúmenes de aire a una presión moderada o alta, además se puede usar en aplicaciones donde el aire que pueda contener partículas suspendidas. Este además esta equilibrado estática y dinámicamente según ANSI S2.19, y un equilibrado final.
- Este modelo se nombra como 660 teniendo relación con el tamaño del diámetro del rodete, siendo este 66”, y la separación en el “oído” de 1,36”.



Models BC-SW, BAF-SW, BAE-SW, BCS, HIB, BAV, RTF, HRT, HAF, BCV, DCV, TCBI

	BC-SW, BC-DW, BAF SWSI & DWDI, BCS, BCV (Class I & II), DCV Wheel Overlap																					
Size	105	122	135	150	165	182	200	222	245	270	300	330	365	402	445	490	542	600	660	730	807	890
A	10.50	12.25	13.50	15.00	16.50	18.25	20.00	22.25	24.50	27.00	30.00	33.00	36.50	40.25	44.50	49.00	54.25	60.00	66.00	73.00	80.75	89.00
B	0.28	0.31	0.34	0.38	0.38	0.47	0.52	0.55	0.59	0.67	0.75	0.82	0.72	0.90	1.00	1.10	1.25	1.24	1.36	1.88	2.09	2.28

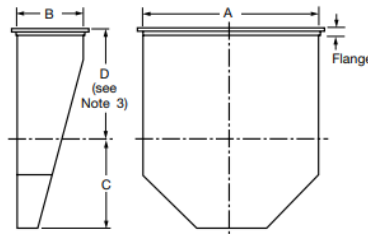
Figura 32: Medidas del rodete (TCF, 2019)

- CL.22: Dentro del tamaño 660 existen diferentes diseños, en este caso se cuenta con un eje de 4,4375“(11,25 cm). y un diseño de rodamientos RB (Roller bearing), es decir, cuenta con rodamientos de rodillo.

FAN SIZE	DESIGN BCS	ARRANGEMENT 1, 9 & 9F			ARRANGEMENT 8	
		MAX. MTR. HP	SHAFT DIA.	BRGS.	SHAFT DIA.	BRGS.
445	14	75	2.688	RB	2.4375	RB
	17	200	3.438	RB-C	3.4375	RB
	22	300	3.938	RB-C	3.9375	RB
	26	350	3.938	SRB	3.4375*	RB*
490	14	100	2.938	RB	2.4375	RB
	17	250	3.938	RB-C	3.4375	RB
	22	350	3.938	RB-C	3.9375*	RB*
	26	400	4.438	SRB	3.9375*	RB*
542	14	125	3.438	RB	2.6875	RB
	17	300	3.938	RB-C	3.9375	RB
	22	400	4.438	RB-C	3.9375	RB
	26	500	4.938	SRB	3.9375*	RB*
600	14	125	3.438	RB	2.6875	RB
	17	250	3.938	RB-C	3.4375	RB
	22	500	4.938	SRB	3.9375	RB
	26	500	4.938	SRB	4.4375*	RB*
660	14	150	3.938	RB	3.4375	RB
	17	300	3.938	RB-C	3.9375	RB
	22	500	4.938	SRB	4.4375*	RB*
	26	500	4.938	SRB	4.9375*	SRB*
730	14	200	3.938	RB	3.9375	RB
	17	350	4.438	RB-C	4.4375*	RB*
	22	500	4.938	SRB	4.9375*	RB*
	26	500	5.438	SRB	5.9375*	SRB*
807	14	250	4.438	SRB	3.9375	RB
	17	450	4.938	SRB	4.4375*	RB*
	22	500	4.938	SRB	5.4375*	SRB*
	26	500	5.438	SRB	5.9375*	SRB*
890	14	300	4.938	SRB	4.4375*	RB*
	17	500	4.938	SRB	4.9375*	RB*
	22	500	4.938	SRB	5.4375*	SRB*
	26	500	6.938	SRB	5.9375*	SRB*

Figura 33: Datos de eje y rodamiento (TCF, 2019)

- La caja que resguarda el rodete cumple las siguientes dimensiones:



FAN SIZE	A	B	C			D	INLET AISA (SQ. FT.)	FLANGE		
			CL. 14	CL. 17	CL. 22			CL. 14	CL. 17	CL. 22 & 26
165	27.25	9.00	10.75	10.75	—	11.25	1.70	1.00 X 1.00	1.00 X 1.00	—
182	30.00	10.00	12.13	12.13	—	12.39	2.08	1.25 X 1.25	1.25 X 1.25	—
200	33.00	11.00	13.44	13.44	—	13.53	2.52	1.25 X 1.25	1.25 X 1.25	—
222	36.75	12.25	15.31	14.81	14.31	15.00	3.13	1.25 X 1.25	1.25 X 1.25	2.50 X 2.50
245	40.50	13.50	15.50	15.50	15.50	16.47	3.80	1.25 X 1.25	1.50 X 1.50	2.50 X 2.50
270	44.50	14.75	17.44	17.44	17.44	18.10	4.56	1.50 X 1.50	1.50 X 1.50	2.50 X 2.50
300	49.50	16.50	22.75	19.81	19.81	20.05	5.67	1.50 X 1.50	1.50 X 1.50	2.50 X 2.50
330	54.50	18.25	26.00	22.25	22.25	22.01	6.91	1.50 X 1.50	1.50 X 1.50	2.50 X 2.50
365	60.25	20.00	25.00	25.00	25.00	24.29	8.37	1.50 X 1.50	1.50 X 1.50	2.50 X 2.50
402	66.50	22.25	28.00	28.00	27.50	26.73	10.28	1.50 X 1.50	2.00 X 2.00	2.50 X 2.50
445	73.50	24.50	31.38	31.38	30.38	29.50	12.51	1.50 X 1.50	2.00 X 2.00	2.50 X 2.50
490	81.00	27.00	35.00	35.00	34.00	32.43	15.19	2.00 X 2.00	2.00 X 2.00	2.50 X 2.50
542	89.50	30.00	39.06	38.56	38.06	36.85	18.69	2.00 X 2.00	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50
600	99.00	33.00	43.69	43.19	42.69	39.60	22.69	2.00 X 2.00	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50
660	109.00	36.50	47.94	47.44	47.44	43.51	27.63	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50
730	120.50	40.00	52.50	52.00	52.00	48.07	33.47	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50
807	134.00	44.50	58.50	58.00	58.00	53.12	41.41	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50
890	147.00	49.00	64.75	64.25	64.25	58.50	50.02	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50	2.50 X 2.50

NOTES:
1. Dimensions are not to be used for construction.
2. Dimensions are in inches unless otherwise noted.
3. For Integral Inlet Box, consult factory for "D" dimensions.



Figura 34: Caja de entrada (TCF, 2019)

- A su vez, se conoce el peso únicamente del ventilador, siendo de 7199 lb. (3265,41 Kg), el caudal que mueve puede ser superior a 470.000 m³/h, temperatura del aire por encima de 400°C, área de salida del flujo del aire de 25.04 ft² (232,63 m²) y revoluciones máximas por minuto son de 1273. Pudiendo utilizarse en entornos potencialmente explosivos.

Max. RPM	Design 14 891	Design 17 1082	Design 22 1401	Design 26 1655
----------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------

600 BCS Outlet Area: 20.70 ft² Wheel Diameter: 60.00" Tip Speed (FPM): 15.71 x RPM

CFM	OV	2" SP		4" SP		6" SP		8" SP		10" SP		12" SP		14" SP		16" SP		18" SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
30000	1449	417	12.54	547	25.93	655	41.36	753	58.59										
33000	1594	433	14.04	554	27.87	660	43.94	754	61.77										
36000	1739	450	15.66	563	30.12	667	46.75	758	65.21	842	85.08								
39000	1884	468	17.43	575	32.67	675	49.82	764	68.81	845	89.27	921	110.84						
42000	2029	488	19.50	588	35.20	683	53.01	771	72.55	850	93.60	924	115.99	994	139.28				
45000	2174	508	21.70	602	37.84	692	56.33	778	76.36	856	97.98	928	120.93	996	144.90	1062	170.23	1126	196.90
48000	2319	528	24.04	618	40.85	704	60.09	786	80.61	863	102.65	934	126.26	1001	151.20	1064	176.67	1126	203.71
51000	2464	549	26.69	636	44.29	717	63.89	795	85.09	871	107.82	941	131.86	1006	157.04	1068	183.41	1128	210.91
54000	2609	571	29.68	654	47.80	731	67.87	806	89.92	879	113.14	949	137.94	1013	163.60	1074	190.66	1132	218.50
57000	2754	592	32.89	673	51.63	747	72.37	819	95.09	888	118.73	956	143.81	1020	170.13	1080	197.64	1137	226.09
60000	2899	614	36.05	693	55.84	763	76.90	832	100.11	899	124.81	965	150.65	1028	177.35	1087	205.08	1144	234.57
63000	3043	637	39.79	713	60.23	781	82.08	847	105.76	911	130.90	974	157.30	1036	184.80	1095	213.23	1151	242.96
66000	3188	660	43.74	733	64.81	799	87.35	862	111.38	924	137.21	985	164.54	1045	192.74	1103	221.67	1158	251.41
69000	3333	683	47.93	754	69.90	818	93.06	879	117.81	938	143.84	997	171.84	1054	200.33	1111	230.19	1166	260.82
72000	3478	707	52.58	775	75.25	837	98.94	895	124.31	953	150.87	1010	179.43	1065	208.68	1120	239.12	1174	270.41
75000	3623	730	57.27	796	80.86	857	105.38	914	131.29	969	158.38	1024	187.41	1078	217.73	1130	248.30	1183	280.58

CFM	OV	20" SP		22" SP		24" SP		25" SP		26" SP		27" SP		28" SP		29" SP		30" SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
63000	3043	1204	273.43	1256	304.77	1305	337.36	1329	353.56	1354	370.97	1377	387.15	1401	404.53	1425	422.33	1448	439.63
66000	3188	1211	282.74	1261	314.39	1310	347.43	1334	364.29	1358	381.60	1381	398.50	1404	415.79	1427	433.46	1450	451.51
69000	3333	1218	292.09	1268	324.63	1316	357.92	1340	375.36	1363	392.45	1386	409.99	1409	427.99	1431	445.48	1453	463.34
72000	3478	1226	302.46	1276	335.68	1323	369.08	1347	387.04	1369	403.80	1392	421.93	1414	439.60	1436	457.72	1458	476.27
75000	3623	1234	313.08	1283	346.22	1331	381.13	1354	398.67	1376	415.89	1399	434.53	1421	452.75	1442	470.48	1464	489.65
78000	3768	1242	323.68	1291	357.87	1338	392.57	1361	410.42	1384	428.93	1406	447.09	1427	464.80	1449	483.99	1470	502.68
81000	3913	1251	334.78	1299	369.56	1346	405.25	1369	423.45	1391	441.30	1413	459.77	1435	478.85	1456	497.49	1477	516.64
84000	4058	1262	347.02	1308	381.87	1354	418.02	1376	435.79	1399	455.01	1421	473.81	1442	492.16	1463	511.10	1484	530.62
87000	4203	1273	358.67	1318	394.64	1363	431.54	1385	450.00	1407	468.84	1428	487.13	1450	506.90	1471	526.17	1491	544.88
90000	4348	1285	370.68	1329	407.72	1372	444.65	1394	463.94	1415	482.52	1436	501.43	1458	521.80	1478	540.45	1499	560.65
93000	4493	1298	383.30	1341	421.13	1383	459.14	1404	478.41	1425	497.88	1446	516.55	1466	536.57	1487	556.95	1507	576.60
96000	4638	1312	396.64	1353	434.19	1394	472.95	1414	492.22	1435	512.69	1455	532.28	1475	552.07	1495	572.09	1515	592.44
99000	4783	1326	409.85	1367	448.95	1406	487.32	1426	507.45	1446	527.89	1466	548.50	1485	568.13	1505	589.10	1524	609.10
102000	4928	1341	423.92	1380	462.56	1419	502.45	1439	523.40	1458	543.57	1477	564.00	1496	584.67	1515	605.47	1534	626.41
105000	5072	1357	438.95	1395	478.07	1433	518.47	1452	539.12	1471	560.09	1489	580.17	1508	601.69	1526	622.28	1545	644.29
108000	5217	1373	454.04	1410	493.56	1447	534.33	1466	555.76	1484	576.35	1502	597.21	1520	618.35	1538	639.74	1556	661.40

CFM	OV	31" SP		32" SP		33" SP		34" SP		35" SP		36" SP		37" SP		38" SP		39" SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
81000	3913	1497	535.21	1518	555.32	1538	574.80	1558	594.70	1578	615.03	1597	634.58	1616	654.49	1636	676.00	1655	696.64
84000	4058	1504	549.60	1525	570.18	1545	590.15	1564	609.40	1584	630.27	1603	650.37	1622	670.85	1641	691.74		
87000	4203	1512	565.27	1532	585.13	1552	605.49	1571	625.19	1590	645.32	1609	665.90	1628	686.89	1647	708.33		
90000	4348	1519	580.23	1539	600.35	1559	621.01	1578	641.05	1598	662.83	1616	682.59	1635	704.05	1654	726.00		
93000	4493	1527	596.66	1547	617.18	1566	636.96	1586	658.48	1605	679.32	1624	700.71	1642	721.28				
96000	4638	1535	613.12	1555	634.19	1574	654.43	1593	675.11	1612	696.26	1631	717.91	1649	738.73				
99000	4783	1544	630.56	1563	651.10	1582	671.96	1601	693.19	1620	714.80	1638	735.52						
102000	4928	1553	647.55	1572	668.90	1591	690.53	1609	711.12	1628	733.38	1646	754.03						
105000	5072	1563	665.16	1582	687.47	1600	708.66	1618	730.07	1636	751.71	1654	773.03						
108000	5217	1574	683.28	1592	705.33	1610	727.50	1628	749.82	1646	772.36								
111000	5362	1586	702.05	1603	723.71	1621	746.93	1638	768.88	1655	790.97								
114000	5507	1599	721.80	1616	744.29	1633	767.02	1649	788.53										
117000	5652	1612	741.30	1628	763.16	1645	786.70												
120000	5797	1625	760.57	1641	783.18														
123000	5942	1639	781.08	1655	804.45														
126000	6087	1654	802.93																

Underlined numbers indicate maximum static efficiency.
Performance is for BCS with outlet duct and with or without inlet duct.
BHP is a fan shaft brake horsepower and does not include belt drive losses.

Figura 35: Tabla de valores CL.22 (TCF, 2019)

- ARR.8: Indica que el rodete se encuentra en voladizo sobre el eje, motor montado en el extremo opuesto, es decir, accionamiento directo. Además, cuenta con dos rodamientos montados sobre carcasa o pedestal, fuera de la corriente de aire (ideales para altas temperaturas o contaminación del aire). Cuenta con un acoplamiento flexible que conecta el ventilador con el eje del motor.

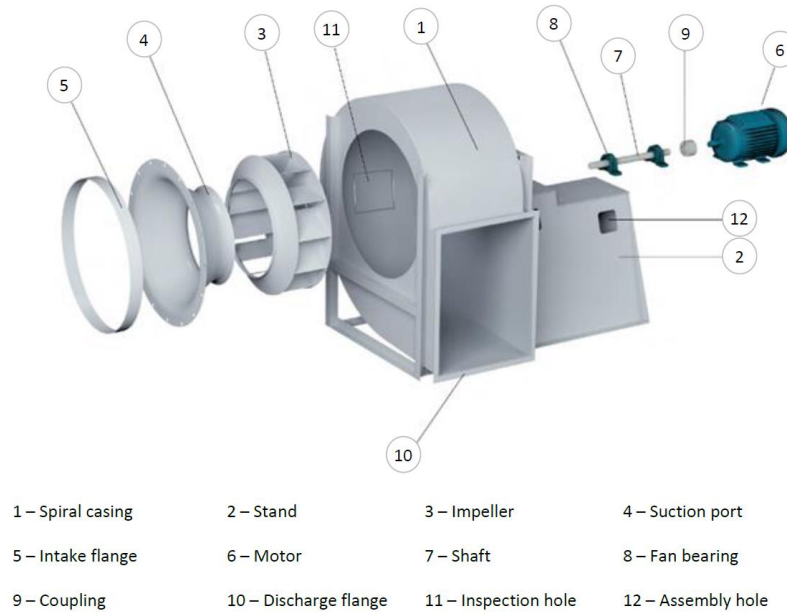


Figura 36: Ventilador tipo directo (TCF, 2019)

- CCW 90 (THD): indica la dirección de rotación del ventilador, en este caso gira en sentido horario mirando el ventilador desde el lado del variador, es decir el variador deberá girar en el mismo sentido.
- SWSI: Ventilador radial, con carcasa soldadura continua que proporciona resistencia y durabilidad.

Además, en el Data Sheet muestra que rodamientos, acoplamiento y motor, con los respectivos mantenimientos que deben hacerse en los rodamientos. También da la información de los sensores que hay colocados.

Las instrucciones de uso del ventilador ofrecen información de gran interés, ya sea para un correcto funcionamiento del ventilador o para obtener información útil en el mantenimiento de este. Existe una recomendación sobre el lugar en el que deben ir colocados los sensores de velocidad, temperatura y vibraciones, en caso de que se decidan colocar, siendo esto recomendable.

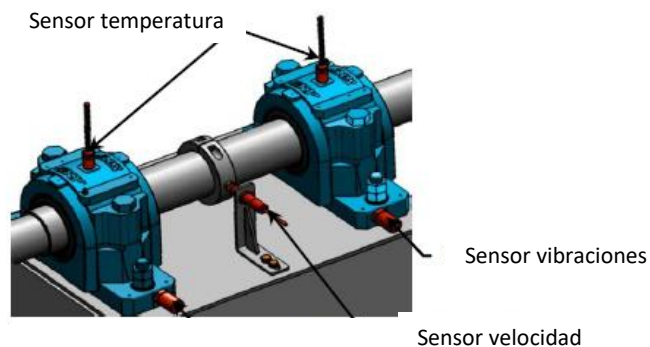


Figura 37: Ubicación de los sensores (TCF, 2019)

ANEXO III: TÉCNICAS UTILIZADAS PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En el presente proyecto se realizan tres técnicas no destructivas, análisis vibraciones, termografía infrarroja y ultrasonidos. A continuación, se expone en detalle en que consiste cada técnica, así como las características de los equipos con las que se han realizado.

1. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

El ojo humano es capaz únicamente de recoger un pequeño rango del espectro electromagnético, existiendo radiación invisible para ellos, ya que cualquier objeto por encima del cero absoluto, 0 K, emite radiación. El espectro electromagnético está compuesto por los diferentes tipos de radiación, rayos, Gammas, Rayos X, ultravioletas, luz visible, infrarrojos, microondas y las ondas de radio. Siendo la luz visible la capaz de ver el ojo humano, aunque no es todo su recorrido, ya que en un extremo el ser humano no ver la luz ultravioleta y en el otro no puede ver la infrarroja. La radiación infrarroja se encuentra entre la zona visible e invisible del espectro, y su principal fuente es el calor o radiación térmica.

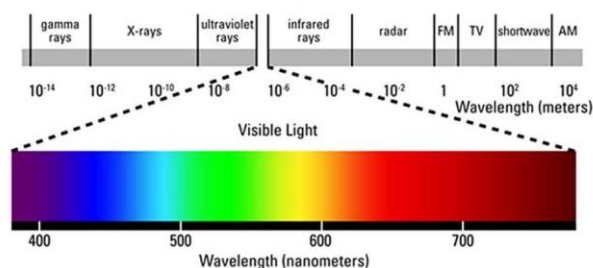


Figura 38: Espectro electromagnético (VISION ONLINE, 2020)

Como se muestra en la figura anterior el espectro visible tiene una banda de longitudes muy pequeñas, entre 0,4 a 0,7 μM , siendo posible gracias al uso de la cámara termográfica hacer visible el rango de infrarrojos, trabajando en la magnitud de 0,75 a 100 μM . Estas se desplazan en el rango de infrarrojos, siendo capaz de recoger la energía infrarroja que está compuesta por la energía procedente del objeto más la reflejada por dicho objeto y la emitida por el ambiente.

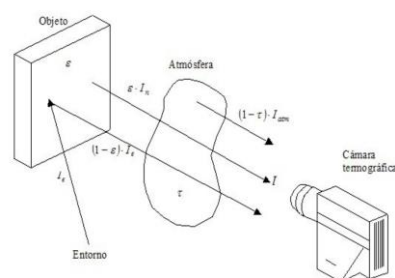


Figura 39: Energía infrarroja (JUAN PALACIOS, 2015)

Se trata, por tanto, de una tecnología no destructiva, pues no existe contacto con el objeto de estudio, siendo una técnica que mide las longitudes de onda infrarrojas para determinar la temperatura de un objeto.

Es una tecnología muy avanzada, debido a que las cámaras termográficas radiométricas captan y almacenan datos de las temperaturas en miles de puntos de un objeto, facilitando la realización de un análisis detallado. Estas también poseen la opción de adaptarse a la emisividad y poder obtener de esta forma valores correctos. Ofreciendo un amplio número de ventajas:

- Análisis no destructivo, peligrosidad nula al evitar contacto.
- Determinación exacta de puntos deficientes.
- Reducción del tiempo de reparación debido a la localización precisa del fallo.
- Informes precisos.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

Este equipo es de gran utilidad para el mantenimiento industrial (instalaciones eléctricas como mecánicas), mantenimiento de instalaciones (depósitos, tuberías, cámaras frigoríficas, transporte de vapor), edificación (defectos aislamiento, puentes térmicos, filtraciones de aire, humedades, localización de instalaciones y averías), instalaciones fotovoltaicas, instalaciones eólicas, medicina, control de calidad en procesos productivos, etc. Es de gran utilidad en los casos en los cuales aparecen situaciones en las que tienen presentes procesos de transferencia de calor susceptibles al uso de cámara termográfica.

En el mantenimiento industrial este equipo se emplea como herramienta para la realización de mantenimiento predictivo, donde se puede observar con antelación cualquier defecto grave. Es comúnmente utilizado para el mantenimiento eléctrico, como forma de detectar problemas en cuadros eléctricos, patologías que desprenden calor debido al efecto Joule. Para instalaciones mecánicas es muy útil en equipos donde existe fricción entre superficies, la cual va a ser causante de patrones termográficos, utilizado en rodillos, motores eléctricos, cojinetes y ejes. Los casos mencionados anteriormente tienen un patrón definido siendo fácilmente reconocible la presencia de fallo.

Se estudian a continuación los dos casos más relevantes para el presente proyecto:

- Rodamientos, cojinetes y ejes: se utiliza para encontrar los puntos calientes que salen de los rangos normales debidos a una fricción excesiva entre componentes provocada por falta de lubricación, exceso de lubricación, sobrecargas físicas o desalineamientos entre eje y rodamiento.

- Motores eléctricos: se utiliza para determinar los puntos calientes en los bobinados y para detectar defectos en el aislamiento. El análisis debe realizarse durante un periodo en el cual el elemento está en funcionamiento a un mínimo del 40% de su carga nominal, esto se debe a que la evaluación se da en condiciones normales a las de funcionamiento. Las diferentes situaciones que se pueden encontrar son un flujo de aire insuficiente, desequilibrio de la tensión o sobrecarga o fallo del aislamiento. Todo esto puede reconocerse fácilmente cuando la termografía tomada se sale del patrón que tiene un motor eléctrico, siendo esta una temperatura uniforme en todo el cuerpo.

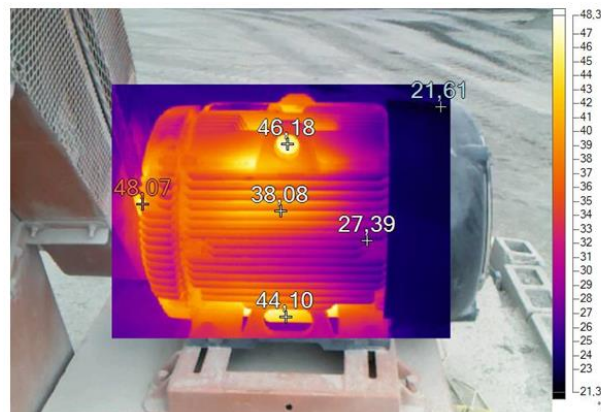


Figura 40: Termografía motor eléctrico en buen estado (Ávila, 2020)

El análisis termográfico puede realizarse por comparación con un valor previamente registrado del mismo equipo o de un equipo igual que trabaje en las mismas condiciones, otra opción es el análisis absoluto, el cual evalúa la temperatura de la superficie en relación con un valor teórico nominal.

Existe un criterio de temperaturas para reconocer la posibilidad de la existencia de un mal funcionamiento, criterio especificado por la NETA (International Electric Testing Association), el cual estipula que, si la diferencia de temperatura entre componentes similares y bajo las mismas cargas supera los 15°C, el componente se encuentra ante una futura avería. En caso de no ser posible la realización de esta comparación se recomienda que en el momento en que el componente supere en 40°C la temperatura del aire se genere la misma alerta. En función de las diferencias de temperatura con componentes similares o el aire la NETA ha generado la siguiente clasificación:

Nivel	Diferencia Temperaturas Puntos Similares $DIF_{SIM} = T_{PC} - T_{REF}$	Diferencia Temperatura Ambiente $DIF_{AMB} = T_{PC} - T_{AMB}$	Clasificación	Acción
1	$1^{\circ}C \leq DIF_{SIM} < 4^{\circ}C$	$1^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 11^{\circ}C$	Posible Deficiencia	Se requiere más información.
2	$4^{\circ}C \leq DIF_{SIM} < 15^{\circ}C$	$11^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 21^{\circ}C$	Probable Deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible.
3	$15^{\circ}C \leq DIF_{SIM}$	$21^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 40^{\circ}C$	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible.
4	$15^{\circ}C \leq DIF_{SIM}$	$40^{\circ}C \leq DIF_{AMB}$	Deficiencia Mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

Figura 41: Clasificación NETA (JUAN PALACIOS, 2015)

Donde:

- TPC: Temperatura del punto caliente.
- TAMB: Temperatura ambiente.
- TREF: Temperatura del punto de referencia de otro componente similar bajo cargas similares.
- DIFSIM: Diferencia de temperatura del punto caliente con la temperatura con punto similar.
- DIFAMB: Diferencia de temperatura del punto caliente con la temperatura ambiente.

1.1. FLUKE Ti60+

Para la realización del estudio se ha utilizado una cámara termográfica de la marca FLUKE modelo Ti60+, siendo algunas de las especificaciones (FLUKE, 2023):



Figura 42: FLUKE Ti60+ (MyFlukeStore, 2023)

Térmico

- Rango de temperaturas: -20°C a 400°C (-4°F a 752°F).
- Precisión: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2% (a 25°C nominales, la mayor de ambas).
- Sensibilidad térmica (NETD): $\leq 0,045^{\circ}\text{C}$ a una temperatura del objetivo de 30°C (45 mK).
- Corrección de emisividad.
- Compensación de temperatura reflejada en el fondo.
- Banda espectral infrarroja: $7,5\ \mu\text{M}$ a $14\ \mu\text{M}$.

Óptica

- Resolución espacial (IFOV): 1,86 mrad, 532:1 (relación de distancia al objeto).
- Resolución de infrarrojos: 320x240 (76.800 píxeles).

- Campo de visión: 34,1 °H x 25,6 °V.
- Enfoque fijo
- Distancia focal mínima 46 cm.
- Puntero láser.

Otras

- Pantalla LCD de 3,5”.
- Captura, revisión y almacenamiento de imágenes con una sola mano.
- Compatibilidad con software Fluke Connect.
- Incorpora IR-PhotoNotes

En la página web del fabricante (<https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis60plus#>) existen manuales de uso, especificaciones del producto, guía de referencia rápida, etc. Siendo recomendables alguno de ellos para aprender a hacer uso de esta tecnología y poder obtener mejores resultados.

2. ULTRASONIDOS

La principal función por la que se conoce esta técnica es la búsqueda de fugas en un equipo, pero esto no queda aquí, ya que dependiendo del tipo de receptor que se conecte al equipo se pueden detectar fallos en rodamientos o realizar un engrase basado en la condición. Todo elemento rodante con cuerpos metálicos va a tener una deformación natural, dicha deformación producirá contactos irregulares que provocaran emisiones de ondas de ultrasonidos.

Con una inspección adecuada se puede demostrar que el método de ultrasonidos es uno de los más efectivos para detectar fallos en rodamientos, adelantándose incluso al análisis de vibraciones. Las ventajas que posee un análisis de ultrasonidos frente a un análisis de vibraciones son:

- Detección de falta de lubricación.
- Primer aviso de fallo.
- Fácil utilización y lectura.

No es necesaria una gran formación para poder realizar un primer análisis con esta técnica, esto se debe a que únicamente con el sonido se puede notar la presencia de problemas, cuanto mayor sea la experiencia de la persona que realiza el estudio, más sencillo será detectar que tipo de fallo tiene el rodamiento.

Para poder analizar los datos recogidos por el equipo de ultrasonidos se deben interpretar las ondas de sonido, realizándose un estudio de la magnitud, en decibelios, y un estudio del tipo de sonido emitido. A continuación, se exponen ambos estudios que deben ser realizados para obtener un correcto análisis de ultrasonidos.

- **Estudio de la magnitud:** Se debe establecer una amplitud base o línea base, para determinar esta, se debe realizar un estudio del equipo previo al fallo o un estudio de un equipo similar, en condiciones de trabajo, funcionando de forma óptima, siendo el valor establecido como línea base aquel que sea más frecuente.

Partiendo de la línea base, momento en el cual el rodamiento se encuentra en un correcto estado, aparecen tres umbrales, el primero de ellos aparece cuando se excede en 8 dB la línea base, este umbral es el que marca una falta de lubricación en el rodamiento. El segundo umbral aparece tras excederse en 16 dB sobre la línea base, lo que significa que el rodamiento ha entrado en modo de fallo. Por último, cuando excede en 35 dB, junto a un aumento de temperatura, se da el fallo catastrófico inminente.

- **Estudio del ruido emitido:** Un rodamiento en buen estado emite un ruido blanco y constante, un ruido blanco es aquel que contiene todas las frecuencias y todas ellas a la misma potencia, es decir, un ruido relajante, cualquier otro tipo de sonido puede significar un problema en el rodamiento.

Un rodamiento está compuesto por diferentes componentes por lo que en función del tipo de ruido detectado se puede conocer que componente es el causante del fallo.

- Elemento rodante dañado: Emite un ruido de chasquido con una alta intensidad.
- Pista dañada: Emite un sonido áspero uniforme.
- Superficie plana: Aumento de corta duración en el nivel de sonido con sonido áspero o picado.
- Falta lubricación: Sonido similar al de un rodamiento en buen estado, pero un poco más áspero.

Ambos estudios son complementarios, dando lugar a la detección del problema de forma más certera.

Uno de los campos en los que más destaca este método es en la realización de un engrase basado en la condición, solventando el problema de defecto y exceso de grasa usando esta técnica. En la re-lubricación de un rodamiento se debe tener, en primera instancia, un sonido ligeramente áspero y de unos 8 dB por encima de la línea base, con el comienzo del engrase se produce una disminución de los decibelios y la aparición de un sonido más blanco. La introducción de lubricante debe realizarse paulatinamente, esto se debe a que durante el periodo en el que se introduce el lubricante el sonido obtenido está falseado, durante unos segundos se pueden tener unos decibelios o una percepción del sonido que varía antes de obtener una correcta distribución de la lubricación. Debe tenerse en cuenta que un exceso de lubricación en un rodamiento provoca un aumento de los decibelios, por tanto, en la re-lubricación se debe ir inyectando lubricante hasta que los decibelios comiencen a aumentar, además es una de las causas de incremento de temperatura en rodamientos.

Para la realización de un buen estudio es necesario contar con un software de análisis espectral donde se puedan observar las tendencias del sonido o reproducir de nuevo los sonidos captados. Es recomendable que junto a este procedimiento se realice un análisis de vibraciones para obtener una valoración más clara del fallo del rodamiento.

El estudio puede tener dos enfoques, comparativa o histórico, ambos son correctos siempre y cuando sean realizados de una forma adecuada. El método comparativo se basa en realizar pruebas a rodamientos similares (mismas cargas, utilización, forma de trabajo, etc.), y el método histórico requiere una monitorización del rodamiento en un periodo de tiempo extenso para poder observar las variaciones en el espectro o la tendencia.

En este proyecto se ha empleado el método comparativo, tomando seis ventiladores de iguales características, con una diferencia de unos 50°C entre las zonas 1,2 y 3 estipuladas anteriormente. Para la toma de estos datos se ha procedido a marcar en todas las carcasas de los rodamientos el mismo punto, indicando el ángulo en que se debe de colocar el instrumento. Una vez se ha estipulado la forma adecuada de tomar el sonido, se procede a reducir la sensibilidad para poder escuchar con claridad el sonido que está emitiendo. En función de los decibelios y el sonido, se ha generado un archivo Excel para posteriormente realizar una comparación.

Las ventajas de introducir ultrasonidos en un mantenimiento predictivo son:

- Una alerta temprana de condiciones de fallo del rodamiento.
- Detección de falta de lubricación y prevención de un exceso de lubricación.
- Monitorización de rodamientos a cualquier velocidad.
- El software aporta datos de tendencia, agrupación de alarmas y el análisis.
- Realización de tendencias de un problema de cavitación.
- Detección de problemas en elementos no visibles, como rodamientos o cajas de engranajes.
- Se puede utilizar en ambientes ruidosos.

La información plasmada anteriormente ha sido obtenida mediante la lectura de un documento de la empresa UE SYSTEMS INC y un curso impartido por la misma, empresa referente en el sector de ultrasonidos dedicado al mantenimiento. Los umbrales anteriormente estipulados han sido obtenidos a raíz de una investigación llevada a cabo por la NASA sobre rodamientos, y que UE SYSTEMS facilita.

2.1. ULTRAPROBE 3000

El instrumento utilizado es de la marca UE SYSTEMS modelo ULTRAPROBE 3000 junto al módulo de estetoscopio (contacto).



Figura 43: ULTRAPROBE 3000 (ue SYSTEMS IN, 2023)

Este equipo de inspección ultrasónica puede utilizarse para sistemas mecánicos, eléctricos o de fluidos, dependiendo del tipo de inspección que se quiera realizar se deberá usar un módulo u otro. Estos son el módulo de largo alcance para la detección de fugas, el módulo RAS-montaje magnético indicado en inspecciones eléctricas, y el módulo de estetoscopio empleado en inspecciones mecánicas.

Las especificaciones más relevantes de este equipo son:

- Lectura en decibelios.
- Panel de visualización, dividido en 16 segmentos.
- Entrada de almacenaje, hasta 400 datos.
- Tiempo de respuesta < 10 milisegundos.
- Temperatura de operación: 0°C a 50°C.
- Compatibilidad con el software Ultratrend DMS o la aplicación de fugas SideKick.

Hay que destacar que UE SYSTEMS es líder en el sector de ultrasonidos para la realización de mantenimiento predictivo en rodamientos, cuenta en su página web (<https://www.uesystems.com/es/instrumentos/>) con seminarios, artículos, cursos de formación, etc.

3. VIBRACIONES

El análisis de vibraciones es la tecnología más popular en la realización de mantenimiento predictivo, esto se debe a que aporta la posibilidad de detectar una gran cantidad de fallos: desequilibrio, desalineación, holguras mecánicas, fallos en rodamiento, en engranajes, en motores eléctricos, falta de lubricación, cavitación en bombas, etc.

Es una técnica no destructiva la cual requiere de una elevada inversión y conocimientos previos para poder sacar conclusiones del estado del equipo que está siendo analizado. Por ello se procede a exponer los fundamentos de este análisis.

- Vibración Simple: Las ondas sinusoidales son la base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo, siendo en este caso las más simples y la representación de oscilaciones puras. Para la descripción de la vibración es necesario conocer los siguientes parámetros.
- Amplitud: Cantidad de movimiento que puede tener una masa desde una posición neutral. Es la que marca la intensidad de la vibración, siendo indicativa de la severidad.

La amplitud es medida en mm, pero el valor para tener en cuenta es la amplitud pico (p_k), siendo amplitud positiva, y la amplitud denominada RMS (root-mean-square), siendo la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de la onda, pudiendo aproximarse su valor en ondas sinusoidales a 0,707 del valor pico, utilizada para medir la energía de la forma de onda.

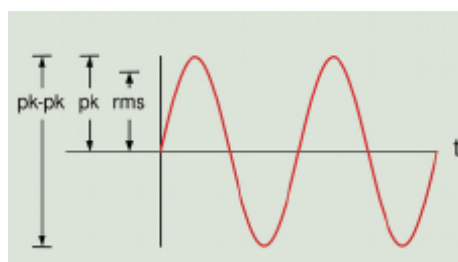


Figura 44: Medidas de la amplitud de una onda (POWER-MI, 2018)

- Frecuencia: Tiempo que tarda la masa en llegar al mismo punto. Conocida como periodo de oscilación, y es dada en Hz (ciclos por segundo) o CPM (ciclos por minuto).
- Fase: Diferencia de tiempo entre dos ondas, y viene dada grados o radianes.

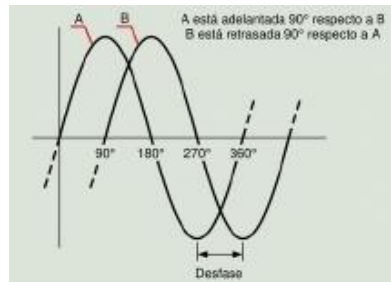


Figura 45: Desfase entre dos señales (POWER-MI, 2018)

- Vibración compuesta: Es la suma de varias vibraciones simples, siendo posible debido a la medición de un equipo el cual contiene componentes que producen vibraciones. Comúnmente no es sencillo obtener información relevante, pero hay casos en los que el análisis de la forma de onda puede resultar de utilidad.
- Transformada de Fourier: Las vibraciones en el dominio del tiempo son las señales capturadas directamente desde máquina, almacenando esta toda la información, pero de forma compleja. De la complejidad de la lectura aparece una nueva forma de realizar el estudio, la cual se basa en analizar las señales en el dominio de la frecuencia. Por tanto, un analizador de espectros que trabaja con la FFT (Transformada Rápida de Laplace) calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y las muestra de forma individual.

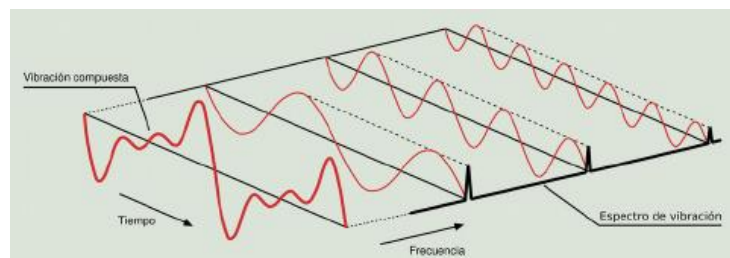


Figura 46: Procesado FFT de una onda vibratoria compleja (POWER-MI, 2018)

- Análisis espectral: Para la correcta interpretación de los espectros capturados deben efectuarse los siguientes pasos:

Identificación de los picos de vibración en el espectro: identificación del pico de primer orden (1X), el cual corresponde a la velocidad de rotación del eje.

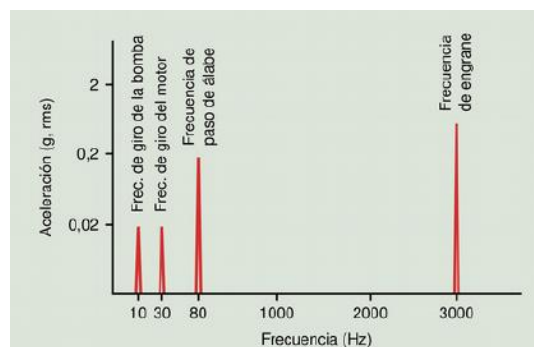


Figura 47: Ejemplo espectro de vibraciones (POWER-MI, 2018)

- Diagnóstico de la maquina: determinación de la gravedad basándose en las amplitudes y relación entre picos de vibración.

Recomendaciones basadas en la gravedad de los problemas de máquinas.

A continuación, se describen los dispositivos de medición adecuados los cuales son encargados de capturar las variables de entrada.

- Sensor: Elemento que se encuentra en contacto físico con el equipo a medir.
- Transductor: Elemento encargado de transformar la vibración mecánica en señal analógica, para poder ser procesada, medida y almacenada. Existen transductores de vibraciones de desplazamiento, velocidad y aceleración, teniendo que ser precisos en la toma de lecturas de amplitud y frecuencia.
- Transductor de desplazamiento o sonda de proximidad: Es sensible a desplazamientos, siendo adecuado para vibraciones a baja frecuencia (por debajo de 1.000 Hz), o cuando es necesario conocer el movimiento del rotor y no del rodamiento. Indicador del esfuerzo o la deformación que sufre la máquina.

Ventajas:

- Empleo especial en maquinaria rígida donde se transmite poca vibración o del mismo orden entre carcasa y eje.
- Mide tanto en continua, permitiendo localizar físicamente el eje en el cojinete, como en alterna, encargada de dar información sobre la forma de onda y el espectro de vibraciones.

Inconvenientes:

- Instalación permanente, siendo costoso e imposible en ciertos casos.
- Rango de frecuencia limitado, 0-1.000 Hz.
- Se requiere un acondicionador de señal.
- Afectados por errores de lectura eléctricos y mecánicos, también conocido como slow roll.

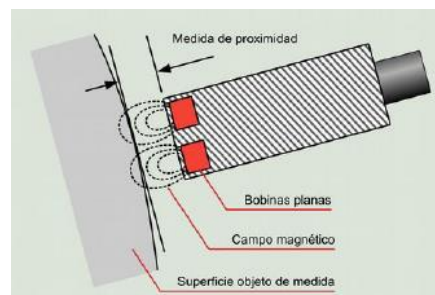


Figura 48: Sensor de proximidad (POWER-MI, 2018)

- Transductor sísmico de velocidad o sensor de velocidad: Es sensible a la velocidad, siendo el que mayor campo de aplicaciones abarca, esto se debe a que es un indicador de severidad y es proporcional al nivel de fatiga.

Ventajas:

- La medida de velocidad es proporcional a la severidad siendo el parámetro más importante.
- No es necesaria fuente externa de alimentación.
- Solo es necesario una derivación y una integración para obtener la información restante, obteniéndose así mejor calidad después del proceso de datos.
- Relación de señal respecto al ruido eléctrico muy buena.

Inconvenientes:

- Transductor de grandes dimensiones.
- Rango de frecuencia limitado, 10-1.000 Hz.
- Salida depende de la temperatura, esto se debe a que a altas temperaturas el campo magnético se debilita, siendo este el encargado de dar una señal eléctrica para el estudio.
- La orientación puede alterar la señal de salida en un orden del 5-10%.
- Calibración sensible, puede perderse debida al desgaste o cambios de temperatura.

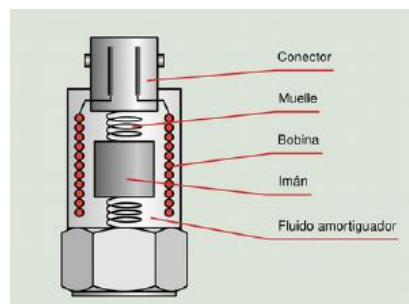


Figura 49: Sensor de velocidad (POWER-MI, 2018)

- Transductor piezoeléctrico o acelerómetro: Es sensible a la aceleración, siendo adecuado para analizar los fenómenos a altas frecuencias. Este parámetro ofrece la mejor medida de fuerzas internas asociadas a una fuente particular de vibraciones. Es el transductor más utilizado, aun siendo la medida de velocidad la que más información aporta.

Ventajas:

- Amplio rango de frecuencias, 2-15.000 Hz. Respuesta en frecuencia en función del montaje del sensor en la máquina.

- Muy compactos, necesitando únicamente una pequeña base magnética para fijarlo.
- Montaje temporal o aplicaciones especiales
- No requiere de acondicionador de señal externo.

Inconvenientes:

- Fijación en modo manual para medir altas frecuencias da como lugar una señal pobre por encima de 1.200 Hz.
- Necesaria una fuente de alimentación externa.
- Salida deberá integrarse para la representación del espectro o valor global de la amplitud de velocidad.

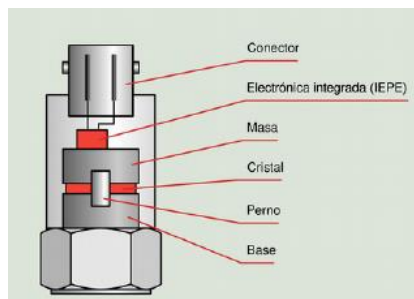


Figura 50: Transductor piezoeléctrico (POWER-MI, 2018)

El elevado uso del transductor piezoeléctrico se debe a que, en la práctica, si una señal se deriva, de manera general, se añade ruido, mientras que en la integración se realiza un proceso más preciso. La integración no es recomendable para lecturas de frecuencia baja, ya que en esta zona el nivel de ruido se incrementa progresivamente.

Como se ha mencionado anteriormente existen distintas técnicas de fijación de los sensores, siendo muy importante esta para poder leer ciertas frecuencias. El mejor método es atornillando el sensor a la superficie de la maquina a medir, el inconveniente es el coste, aunque si se realiza una monitorización continua es el adecuado. Para señales de alta frecuencia (6 a 8 kHz) es recomendable la utilización de grasas y pegamentos a base de silicona.

Forma de fijación	Frecuencia máxima [Hz]
Sujeción manual	2.000
Montaje con imán	5.000
Montaje con adhesivo	6.000
Montaje atornillado	7.000

Tabla 11: Frecuencia máxima en función del montaje (Elaboración Propia, 2023)

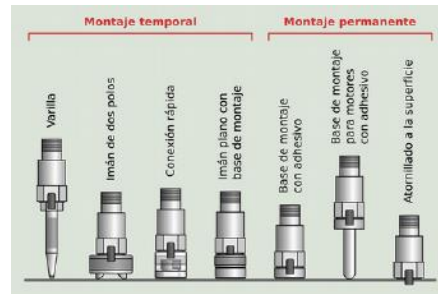


Figura 51: Técnica de fijación de sensores (POWER-MI, 2018)

Los instrumentos de medida de vibraciones utilizados hoy en día para el mantenimiento predictivo son las medidas periódicas de espectro y valores globales, y monitorización continua de vibraciones. Con el avance de la tecnología la monitorización es la que mayores ventajas puede dar, siempre que se acompañe de una IA, esto se debe a la reducción de los intervalos de tomas de datos, detectando un problema de forma inmediata, un menor coste de explotación, se elimina costes de mano de obra, y una mayor calidad de toma de datos, siendo el punto de toma de datos siempre el mismo.

Una vez se obtengan los datos se deben seguir unas normas internacionales, ISO, para la severidad, basadas en la amplitud y frecuencia. A continuación, se comentan aquellas que tienen mayor importancia y son las más frecuentemente empleadas.

- Norma ISO 2372-1974. “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 100 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación”.

Esta norma es aplicable a los equipos rotativos cuya velocidad de giro se encuentra entre 600 y 12.000 RPM, y los datos requeridos para su aplicación son el RMS, un rango de frecuencia de 10-1.000 Hz (600-60.000 CPM) y distinguir a que clase pertenece el equipo en función de la potencia.

Clase	Descripción
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 kW.
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 kW o hasta 300 kW con cimentación especial.
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 kW con cimentación rígida o de 300 kW con cimentación especial.
Clase IV	Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).

Tabla 12: Clasificación de equipos según norma ISO 2372 (POWER-MI, 2018)

Velocidad (mm/s, rms)	Tipos de máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 a 0,28				
0,28 a 0,45				
0,45 a 0,71				
0,71 a 1,12				
1,12 a 1,8				
1,8 a 2,8				
2,8 a 4,5				
4,5 a 7,1				
7,1 a 11,2				
11,2 a 18				
18 a 28				

A	Buena	C	Inatisfactoria
B	Satisfactoria	D	Inaceptable

Tabla 13: Severidad de la vibración según norma ISO 2372 (POWER-MI, 2018)

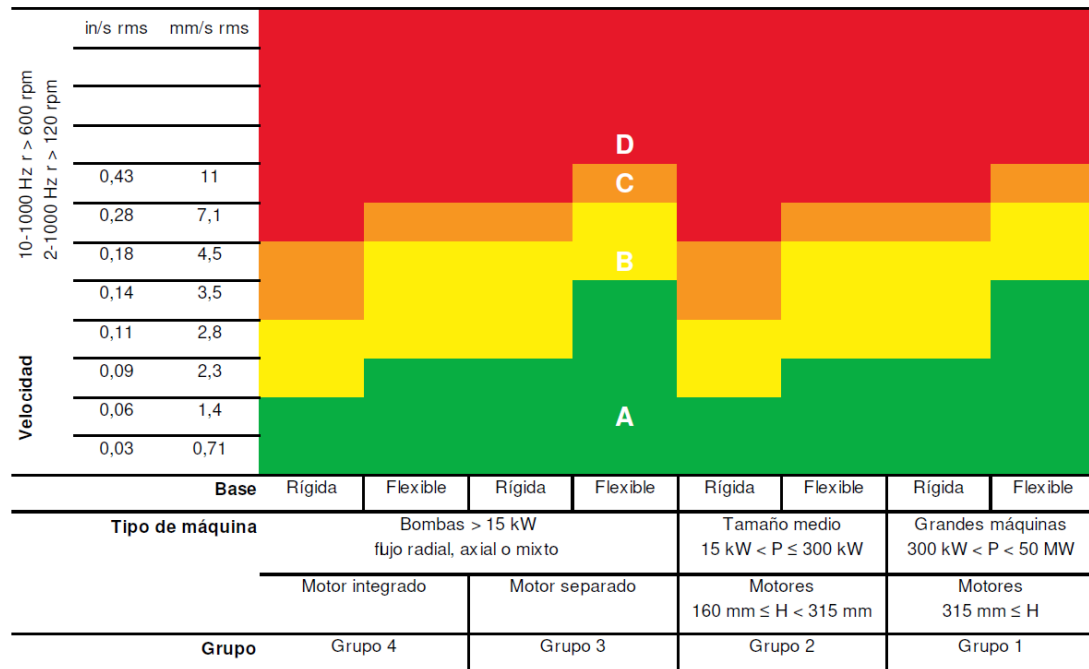
- Norma ISO 10816-1995. “Vibración mecánica. -Evaluación de la vibración en una maquina mediante medidas en partes rotativas”.

Esta norma reemplaza a la ISO 2372, y establece las condiciones y procedimientos para la medición y la evaluación de las vibraciones. El estándar consta de cinco partes (POWER-MI, 2018):

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superan los 50 MW con velocidades de trabajo de 1.500, 1.800, 3.000 y 3.600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 1.500 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.

Los nuevos criterios se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad 120-15.000 RPM, aplicable solo para aquellas maquinas que producen su propia vibración. Igual que en la anterior norma mencionada, el valor RMS se utiliza para determinar la condición de la máquina.

Para la nueva clasificación se conocerá el nivel de severidad de la vibración según el tipo de máquina, potencia o altura del eje y flexibilidad del soporte.



- A** Máquina nueva o reacondicionada
- B** La máquina puede operar indefinidamente
- C** La máquina no puede operar un tiempo prolongado
- D** La vibración está provocando daños

Tabla 14: Severidad de la vibración según norma ISO 10816 (POWER-MI, 2018)

- UNE-EN 60034-14:1997. “Vibraciones mecánicas de determinadas máquinas eléctricas rotativas de altura del eje igual o superior a 56 mm”.
- Norma basada en la norma ISO 2372.

3.1. IFM VTV122

Los sensores instalados son de la marca IFM del modelo VTV122, un transmisor de vibraciones analógico.



Figura 52: IFM VTV122 (IFM, 2023)

Es un modelo de transmisor que supervisa maquinas según ISO 10816, midiendo la velocidad efectiva de vibración en una de la pieza que no está girando y transmite el valor característico como señal de corriente.

Las especificaciones más relevantes de este equipo son:

- Rango de medición de vibraciones [mm/s]: 0-25.
- Rango de frecuencia: 10-1000.
- Clase de protección: III
- Tipo de sensor: Sistema microelectromecánico (MEMS).
- Número total de entradas y salidas: 1
- Número de ejes de medición:1
- Error de medición [% del valor final]: $< \pm 3$
- Repetibilidad: $< 0,5$; (% del valor final)
- Desvío de la linealidad: 0,25 %.
- Temperatura ambiente [°C]: -30...125.

Para más información sobre el montaje o especificaciones, puede encontrarse en la página web del fabricante (<https://www.ifm.com/es/es>).

ANEXO IV: RESULTADOS

1. CONCLUSIONES

Para la obtención de las magnitudes a las que deben establecerse unas alarmas o paradas por riesgo de rotura en el equipo, se ha realizado un estudio exhaustivo de que lo sucedido en cada momento en los rodamientos. La información se ha extraído del WINCC o de unas hojas EXCEL que desarrolladas para facilitar la toma de decisiones.

Se ha establecido un registro sobre los días en los que se han producido alarmas o paradas de la línea por los ventiladores de recirculación del secadero. Este va a ser la referencia para poder evaluar el estudio para establecer las magnitudes base

Fecha	Hora	Suceso	ZONA	Alarma/Parada
31/05/2023	13:39:50	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI
30/05/2023	18:57:23	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI
29/05/2023	16:45:39	Parada 100°C	Z2-VRI	SI
29/05/2023	16:22:23	Alarma 90°C	Z2-VRI	SI
19/05/2023	21:33:57	Parada 100°C	Z2-VRD	SI
19/05/2023	21:09:55	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI
17/05/2023	20:00:38	Parada 100°C	Z1-VRD	SI
17/05/2023	17:55:17	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI
15/05/2023	15:43:03	Parada 100°C	Z1-VRD	SI
15/05/2023	13:10:56	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI
08/05/2023	16:32:52	Parada 100°C	Z2-VRI	SI
08/05/2023	16:05:27	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI
08/05/2023	15:01:31	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI
02/05/2023	20:29:25	Parada 100°C	Z2-VRD	SI
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRD	SI
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRI	SI
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRI	SI
21/04/2023	16:39:55	Parada 100°C	Z1-VRI	SI
21/04/2023	16:02:32	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
20/04/2023	12:49:23	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
19/04/2023	16:08:45	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
19/04/2023	7:21:18	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
18/04/2023	10:13:13	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
18/04/2023	9:48:37	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
17/04/2023	17:59:17	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
17/04/2023	9:18:19	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
03/04/2023	17:52:04	Parada 100°C	Z1-VRI	SI
03/04/2023	17:12:43	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
30/03/2023	19:12:31	Parada 100°C	Z1-VRI	SI
30/03/2023	18:31:46	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
23/03/2023	19:44:23	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
16/03/2023	18:24:56	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI
10/03/2023	16:57:00	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI

Tabla 15: Registro de paradas/alarmas de los ventiladores de recirculación del secadero (Elaboración Propia, 2023)

1.1. ULTRASONIDOS

Para evaluar en esta técnica la que va a ser la línea base con la que se va a realizar el estudio sobre el estado del rodamiento, se ha desarrollado una hoja Excel. En esta se han anotado los días en los que se han realizado mediciones, los valores obtenidos y el sonido que emite cada rodamiento. Esta toma de datos se ha realizado en los ventiladores de recirculación Z1-VRD y Z1-VRI, debido a que son equipos iguales. Por lo que el método para obtener la línea base es el comparativo.

El primer paso realizado con los datos tomados es la comprobación del promedio, en decibelios, de cada rodamiento. Estos valores no pueden establecerse directamente como valor de línea base, ya que la línea ha sufrido paradas por ambos equipos, por lo que se realiza un estudio sobre el número de ocasiones en las que ha parado y/o ha habido alarma por altas temperaturas la línea en función del equipo, dando como resultado que el 21% de las paradas se deben al Z1-VRD, el 47% al Z1-VRI y el 32% a los ventiladores de recirculación de la Zona 2, los porcentajes se obtienen de la *Tabla 20*.

	ALARMA	PARADA	ALARMAS+PARADAS
Z1-VRD	15%	6%	21%
Z1-VRI	38%	9%	47%
Z2-VRD	9%	9%	18%
Z2-VRI	6%	9%	15%
TOTAL	23	11	34

Tabla 16: Porcentaje de alarmas y parada en ventiladores de recirculación del secadero (Elaboración Propia, 2023)

Como se observa el 21% de las paradas se deben al equipo con el que se va a establecer la línea base, por lo que poner un promedio de sus valores sería suponer que ese equipo tiene un óptimo funcionamiento cuando no es así, por lo que se toma como factor de ponderación para el promedio de 0,8.

Z1-VRI		Z1-VRD	
Rod DE	Rod NDE	Rod DE	Rod NDE
39,1	44,1	39,5	39,5
FACTOR DE 0,8		28	34

Tabla 17: Promedios en decibelios de los rodamientos Z1-VRI y Z1-VRD (Elaboración Propia, 2023)

Se estable como línea base para los rodamientos de estos equipos el valor de 28 dB para el rodamiento de bolas a rotula, DE, y de 34 dB para el rodamiento de rodillos a rotula, NDE. Valores orientativos hasta que se realice un cambio de rodamiento y se vuelva a realizar el estudio. Con estos valores se ha obtenido en momento en el que se ha encontrado dentro de la franja de +8 dB o de +16 dB.

FECHA	HORA	Z1-VRI				Z1-VRD	
		Rod DE	Rod NDE	Motor DE	Motor NDE	Rod DE	Rod NDE
14-abr.	13:35	38	38	50	48	37	43
17-abr.	10:00	45	38	49	42	34	37
17-abr.	12:05	40	36	50	40	30	37
20-abr.	11:15	32	33	45	45	30	38
27-abr.	15:40	30	30	47	41	30	40
1-may.	10:10	38	51	43	40	39	46
9-may.	16:20	40	54	53	47	44	50
12-may.	15:30	37	50	45	41	39	48
15-may.	12:20	39	48	46	40	36	43
19-may.	13:10	42	49	45	40	35	40
23-may.	9:30	40	46	47	42	37	45
27-may.	16:00	44	50	44	41	38	42
30-may.	15:30	43	50	47	44	42	52

Tabla 18: Valores obtenidos del estudio de ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)

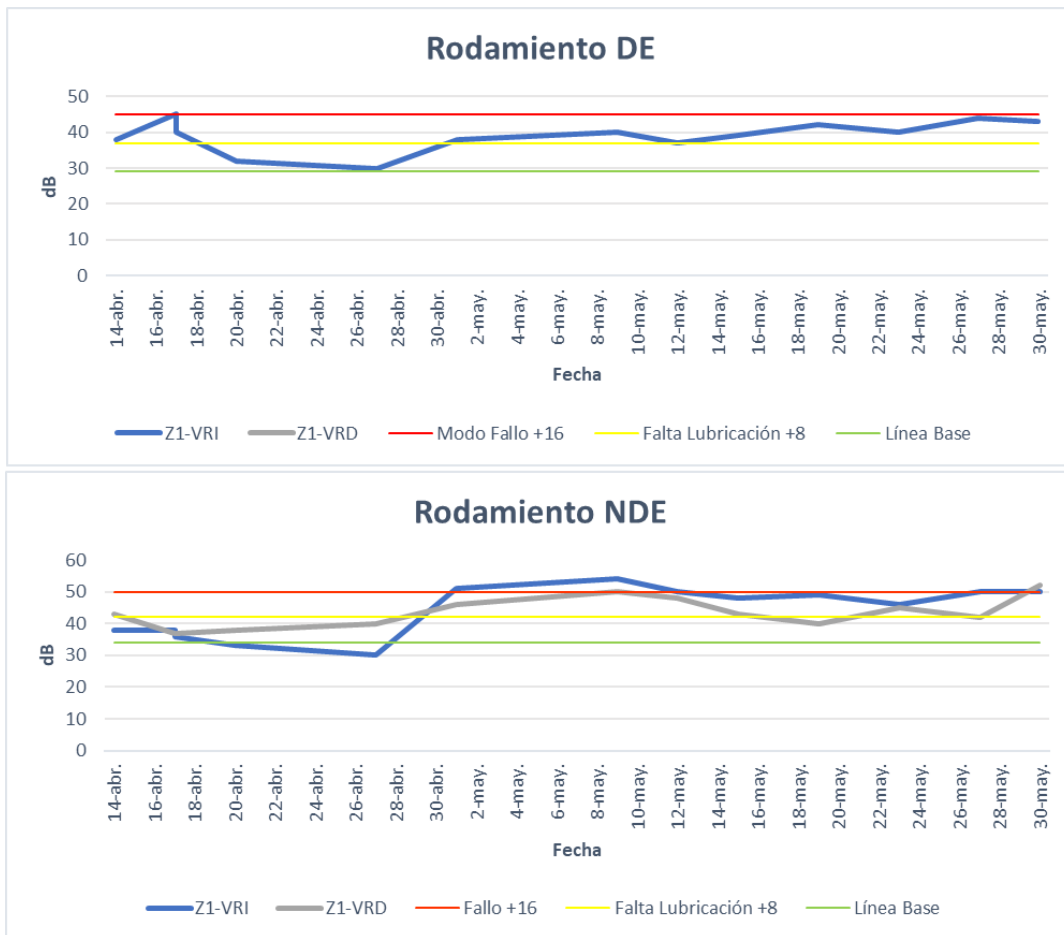


Figura 53: Graficas de los valores obtenidos en la técnica de ultrasonidos (Elaboración Propia, 2023)

Como se observa en la tabla anterior ambos rodamientos han sobrepasado el rango de +16 dB, y junto a las observaciones anotadas se puede afirmar que los rodamientos NDE se encuentran en modo fallo. Las conclusiones obtenidas con este análisis se han podido verificar en una parada realizada para mantenimiento en el equipo Z1-VRI, ya que en el cambio de grasa realizado permitió que se observaran virutas metálicas sobre la grasa a retirar.



Figura 54: Muestra de virutas metálicas en la grasa del rodamiento NDE del Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)

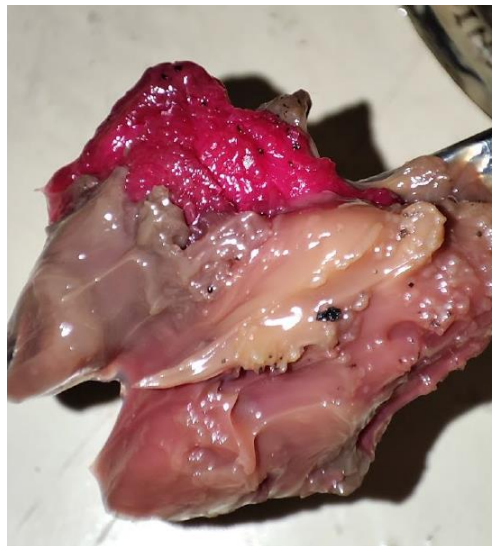


Figura 55: Descomposición de grasa y virutas del rodamiento NDE de Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)

1.2. TEMPERATURA

La razón de las paradas en la línea ha sido dada, en todas las ocasiones, debido a la temperatura alcanzada por los rodamientos, y es por esta razón que se debe realizar un estudio más exhaustivo sobre que magnitud debe ser la que limite el funcionamiento del equipo. Para conocer las temperaturas a las que pueden someterse los rodamientos se ha buscado información en el fabricante, SKF, dando como temperatura de estabilización de aros y bolas de rodamiento de ≤ 120 °C en rodamiento de bolas a rotula y de ≤ 200 °C en rodamiento de rodillos a rotula.

Tabla 2

Estabilización de los rodamientos SKF

			Estabilizado para temperaturas		
			≤ 120 °C (250 °F)	≤ 150 °C (300 °F)	≤ 200 °C (390 °F)
Rodamientos de bolas	Radial	Rodamientos rígidos de bolas	•	–	–
		Rodamientos de bolas de contacto angular	•	•	–
		Rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto	•	•	–
		Rodamientos de bolas a rótula	•	◦	–
	Axial	Rodamientos axiales de bolas	•	• 1)	–
Rodamientos de rodillos	Radial	Rodamientos de rodillos cilíndricos	•	•	–
		Rodamientos de agujas	•	–	–
		Rodamientos de rodillos cónicos	•	•	–
		Rodamientos de rodillos a rótula	•	•	•
		Rodamientos de rodillos toroidales CARB	•	•	•
	Axial	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	•	–	–
		Rodamientos axiales de agujas	•	–	–
		Rodamientos axiales de rodillos a rótula	•	•	•

• Disponible de forma estándar
 ◦ Compruebe la disponibilidad con SKF; compruebe el material de la jaula
 – Compruebe con SKF
 1) No en todos los tamaños.

Tabla 19: Tabla de estabilización de temperaturas de los rodamientos del catálogo de SKF (SKF, 2019)

Se deben conocer a su vez las temperaturas que pueden alcanzar el resto de los componentes del rodamiento.

En el rodamiento de bolas a rotula se deben evaluar las temperaturas que puede alcanzar la jaula y el sello, siendo la primera de ellas igual a la del aro y elementos rodantes, ya que es una jaula de acero, y la temperatura de que puede alcanzar el sello es de 100 °C, dado que es un sello de caucho de nitrilo-butadieno (NBR). Por tanto, la temperatura más restrictiva es la que soporta el sello, siendo la misma que la estipulada como parada del equipo.

Mientras que en el rodamiento de rodillos a rotula solo debe evaluarse la temperatura del sello, siendo este de igual composición que el rodamiento de bolas a rotula, aparece que la temperatura más restrictiva es la del sello, 100 °C. A diferencia del otro rodamiento en este existe la posibilidad de un cambio de sello que aumente la resistencia a la temperatura.

- HNBR: de -40 a +150 °C (de -40 a +300 °F)
- FKM: de -30 a +200 °C (de -20 a +390 °F)
- G-ECOPUR: de -30 a +110 °C (de -20 a +230 °F)

En el caso del rodamiento de rodillos a rotula sería conveniente realizar un cambio de sello, a HNBR o FKMM, ya que en las dos ocasiones en las que se ha abierto el rodamiento el sello estaba roto. Esto se debe a que es el rodamiento que más temperatura alcanza dado que es el más cercano al rodete, el cual se encuentra a unos 250 °C.

En el caso de que este rodamiento tuviese un cambio de sello, la temperatura que se podría establecer como magnitud de alarma sería de 120 °C.

Con la supervisión de la temperatura de los rodamientos los días que se alcanzaba la alarma por 90 °C se ha observado un periodo de tiempo de 49 min transcurrido hasta la llegada a los 100°C, siendo un extenso periodo de tiempo, en comparación al ritmo de aumento de la temperatura previamente a los 90 °C.

Fecha	Hora	Suceso	ZONA	Alarma/Parada	Modelo placa	Temperatura media zona media	Temperatura exterior
31/05/2023	13:39:50	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI	STD-15	180,6	30,4
30/05/2023	18:57:23	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI	STD-13	187,1	30,2
29/05/2023	16:45:39	Parada 100°C	Z2-VRI	SI	STD-15	185,3	30,1
29/05/2023	16:22:23	Alarma 90°C	Z2-VRI	SI	STD-15	181,1	30,1
29/05/2023		Cambio de grasa	Z1 y Z2	NO		X	
27/05/2023		Cambio disipador calor	Z1 y Z2	NO		X	
19/05/2023	21:33:57	Parada 100°C	Z2-VRD	SI	STD-15	191,9	23,4
19/05/2023	21:09:55	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI	STD-15	192,0	23,4
17/05/2023	20:00:38	Parada 100°C	Z1-VRD	SI	STD-15	197,0	25
17/05/2023	17:55:17	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI	STD-15	188,2	25
15/05/2023	15:43:03	Parada 100°C	Z1-VRD	SI	STD-15	166,3	22,7
15/05/2023	13:10:56	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI	STD-13	180,9	22,7
13/05/2023		Cambio de grasa	Z1-VRI y Z1-VRD NDE	NO			
11/05/2023		Cambio disipador calor	Z1-VRI	NO			
08/05/2023	16:32:52	Parada 100°C	Z2-VRI	SI	STD-15	183,2	28,8
08/05/2023	16:05:27	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI	STD-15	182,1	28,8
08/05/2023	15:01:31	Alarma 90°C	Z1-VRD	SI	STD-15	177,4	28,8
02/05/2023		Cambio grasa y obturador; cambio grasa	Z1-VRI y Z2-VRI	NO		171,5	
02/05/2023	20:29:25	Parada 100°C	Z2-VRD	SI	STD-13	170,3	28,8
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRD	SI	STD-15	185,1	32,5
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRI	SI	STD-15	185,1	32,5
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRD	SI	STD-15	185,0	32,5
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRI	SI	STD-15	185,0	32,5
21/04/2023	16:39:55	Parada 100°C	Z1-VRI	SI	STD-15	184,3	28,7
21/04/2023	16:02:32	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-15	186,1	28,7
20/04/2023	12:49:23	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-15	187,4	28,4
19/04/2023	16:08:45	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	170,9	26,3
19/04/2023	7:21:18	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	183,6	26,3
18/04/2023	10:13:13	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	190,2	22,8
18/04/2023	9:48:37	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	193,8	22,8
17/04/2023	17:59:17	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	197,7	22,3
17/04/2023		Relleno de grasa	Z1-VRI	NO			
17/04/2023	9:18:19	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	184,9	22,3
14/04/2023		Cambio de grasa	Z1-VRI	NO			23,2
03/04/2023	17:52:04	Parada 100°C	Z1-VRI	SI	STD-13	198,5	19,6
03/04/2023	17:12:43	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	182,8	19,6
30/03/2023	19:12:31	Parada 100°C	Z1-VRI	SI	STD-13	186,8	28
30/03/2023	18:31:46	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	176,2	28
23/03/2023	19:44:23	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	188,7	29
16/03/2023	18:24:56	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	181,3	24,2
10/03/2023	16:57:00	Alarma 90°C	Z1-VRI	SI	STD-13	185,8	22,2

Tabla 20: Alarmas y Parada en función de temperatura exterior, tipo de placa y temperatura en el secadero (Elaboración Propia, 2023)

Se muestra a continuación unos ejemplos de las gráficas que se han ido realizando para el análisis de temperatura en los rodamientos, una de ellas será del día 30/05/2023, el cual llego a los 90 °C y se estabilizo, y otra del día 27/04/2023, día que llego a los 100 °C.

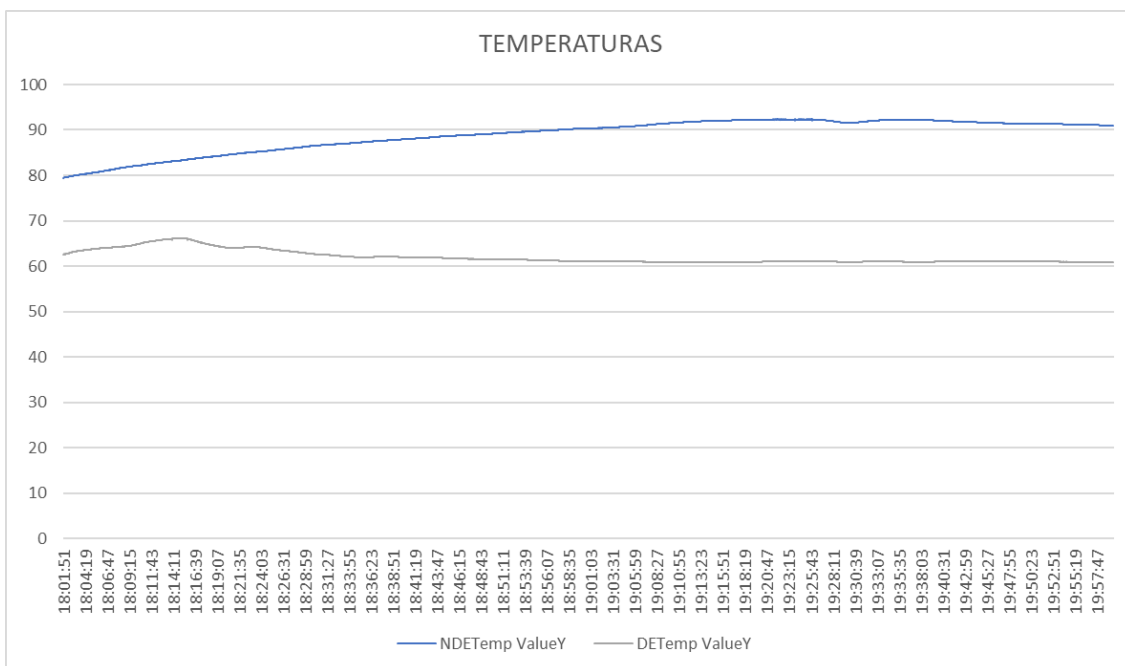


Figura 56: Temperaturas de los rodamiento día 30/05/2023 (Elaboración Propia, 2023)

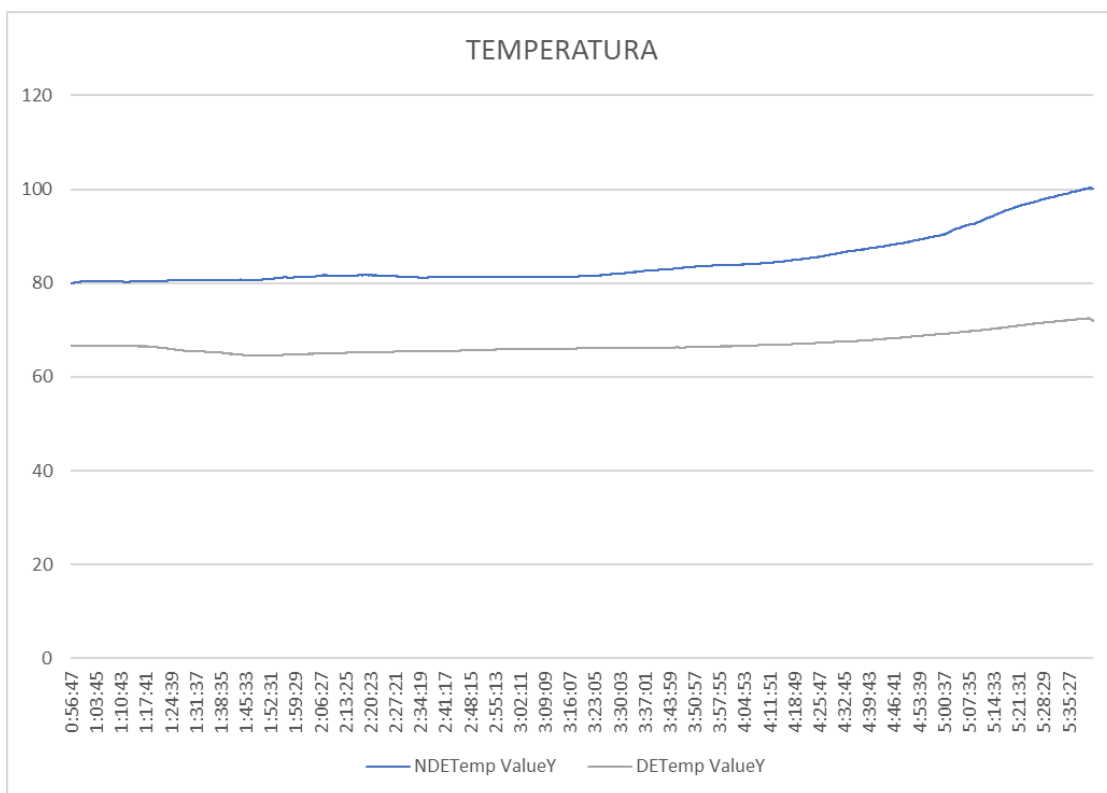


Figura 57: Temperaturas de los rodamiento día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)

Se han tomado de forma acotada los valores ya que el registro de datos es cada 2 segundos, abarcando una cantidad de datos muy amplio siendo difícil graficar en Excel, y en el caso de realizar medias cada minuto se pierde información de lo que realmente está sucediendo.

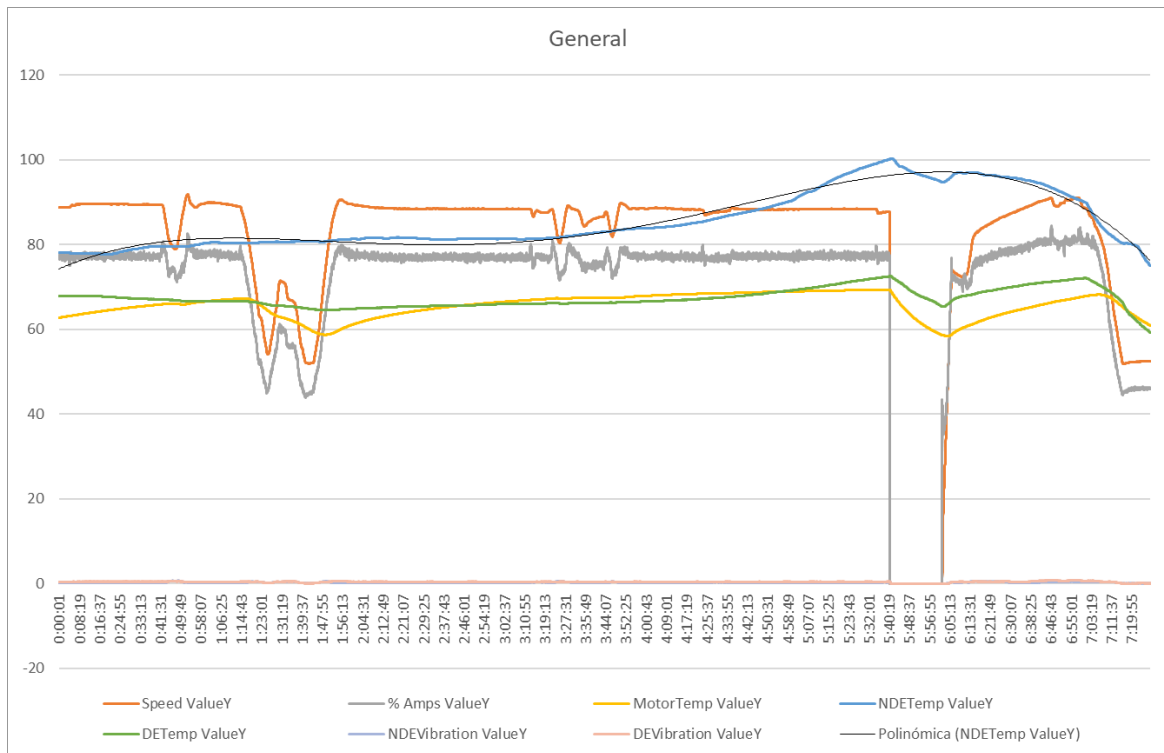


Figura 58: Ejemplo de grafica general día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)

Las gráficas estudiadas los días en los que ha surgido una alarma, y posteriormente una parada, daban como resultado que el aumento de temperatura del rodamiento no se debía al tipo de placa fabricada, 18 veces se estaba fabricando placa STD-15 frente a 16 veces que estaba fabricando placa STD-13, ni a la temperatura exterior, ni la temperatura de la zona 1 del secadero.

Fecha	Hora	Suceso	ZONA	Diferencia entre alarma y parada	Temperatura exterior	Temperatura media interior secadero
29/05/2023	16:45:39	Parada 100°C	Z2-VRI	0:23:16	30,1	183,2
29/05/2023	16:22:23	Alarma 90°C	Z2-VRI			
19/05/2023	21:33:57	Parada 100°C	Z2-VRD	0:24:02	23,4	191,92
19/05/2023	21:09:55	Alarma 90°C	Z2-VRD			
17/05/2023	20:00:38	Parada 100°C	Z1-VRD	2:05:21	25	192,575
17/05/2023	17:55:17	Alarma 90°C	Z1-VRD			
15/05/2023	15:43:03	Parada 100°C	Z1-VRD	2:32:07	22,7	173,58
15/05/2023	13:10:56	Alarma 90°C	Z1-VRD			
08/05/2023	16:32:52	Parada 100°C	Z2-VRI	0:27:25	28,8	182,65
08/05/2023	16:05:27	Alarma 90°C	Z2-VRI			
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRD	0:23:26	32,5	185,07
27/04/2023	5:40:44	Parada 100°C	Z2-VRI			
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRD	0:23:26	32,5	184,96
27/04/2023	5:17:18	Alarma 90°C	Z2-VRI			
21/04/2023	16:39:55	Parada 100°C	Z1-VRI	0:37:23	28,7	185,21
21/04/2023	16:02:32	Alarma 90°C	Z1-VRI			
18/04/2023	10:13:13	Alarma 90°C	Z1-VRI	0:24:36	22,8	192
18/04/2023	9:48:37	Alarma 90°C	Z1-VRI			
03/04/2023	17:52:04	Parada 100°C	Z1-VRI	0:39:21	19,6	190,65
03/04/2023	17:12:43	Alarma 90°C	Z1-VRI			
30/03/2023	19:12:31	Parada 100°C	Z1-VRI	0:40:45	28	181,5
30/03/2023	18:31:46	Alarma 90°C	Z1-VRI			

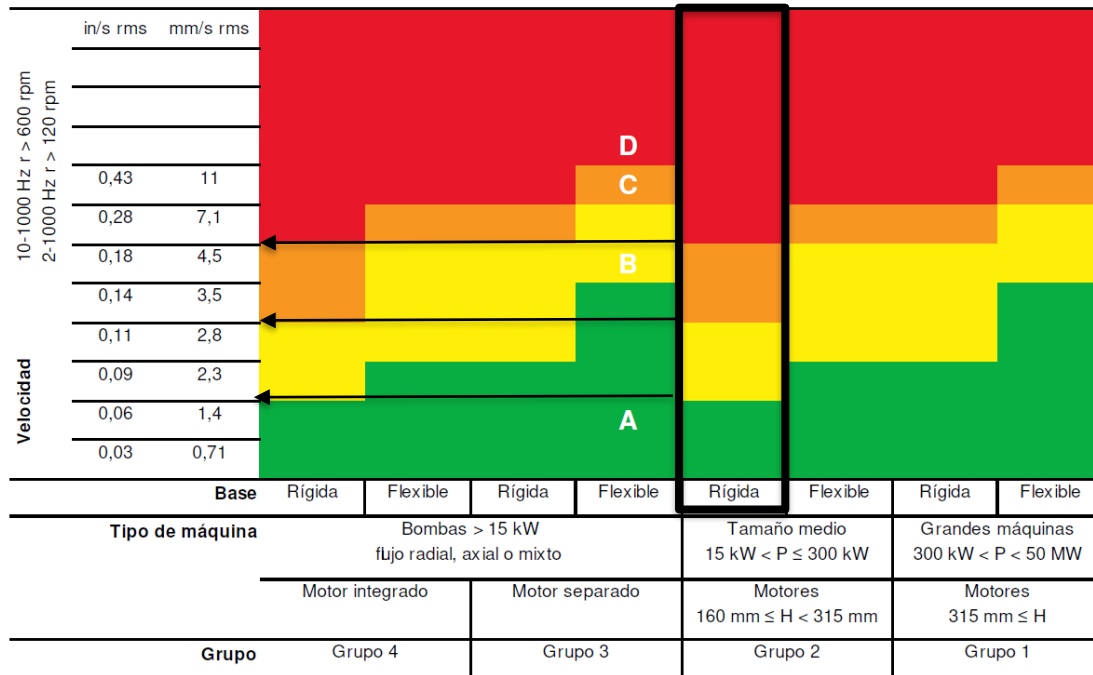
Tabla 21: Medias de los días de parada (Elaboración Propia, 2023)

Sin embargo, en la *Tabla 20*, sí que se aprecia como el 17 de abril y 29 de mayo tras la reposición de grasa se produjo un aumento de temperatura, lo que significa que se realizó una re-lubricación excesiva.

1.3. VIBRACIONES

Para esta técnica no existe ningún valor predefinido de alarma en el WINCC, siendo una técnica que aporta gran información en los rodamientos debe tener programada unas medidas para alertas. Existe la norma ISO 10816 la cual establece en función de la maquina y su tipo de base a qué condiciones de vibraciones puede trabajar, como se ha explicado en el *Anexo III*.

Los ventiladores de recirculación se pueden clasificar en tipo de máquina de tamaño medio debido a la potencia que tienen de 105,6 kW que tiene el motor y a su vez se clasifica en base rígida, debido a la bancada en la que se encuentra.



- A** Máquina nueva o reacondicionada
- B** La máquina puede operar indefinidamente
- C** La máquina no puede operar un tiempo prolongado
- D** La vibración está provocando daños

Tabla 22: Selección de valores límite para vibraciones con la norma ISO 10816 (POWER-MI, 2018)

Como se ve muestra en la tabla anterior el rango que debe tener una maquina nueva o reacondicionada es de 0 a 1,4 mm/s, el siguiente rango sería el que la maquina funciona sin problemas indefinidamente con un rango de 1,4 a 2,3 mm/s, el siguiente la maquina puede funcionar por un tiempo limitado con rango de 2,8 a 4,5 mm/s, y por último el rango en el que la vibración causa daños a la maquina siendo las vibraciones mayores a 4,5 mm/s.

Para una maquina nueva se ha considerado que debe establecerse a 1,4 mm/s una alarma que avise que el equipo está sufriendo algún problema. Este valor tan bajo se debe a que es un equipo que no debería dar ningún problema por las condiciones en las que trabaja, ya que debería aguantar más carga de la que está teniendo y tiene una garantía.

El estudio realizado con los valores obtenidos por los sensores muestra que no se ha llegado a alcanzar este valor en ningún momento. Esto puede ser debido a que el equipo está en condiciones óptimas o que los valores estén falseados, ya sea porque la colocación de los sensores en los rodamientos no es la ideal o porque estos sensores no son los más adecuados debido a las altas temperaturas que alcanzan estos rodamientos, provocando que el sensor no tome bien las medidas por que el su sistema de lectura se haya visto dañado el muelle o bobina que se encuentran en su interior.

Las vibraciones recogidas por WINCC han tenido valores por debajo de 1 mm/s, solamente sobrepasándose dicho valor un día que se alcanzó 1,2 mm/s, magnitud por debajo del 1,4 mm/s establecido como alarma. A continuación, se muestra como ejemplo alguna de las gráficas que se han ido obteniendo para el estudio, como se ha mencionado para la termografía se obtienen datos cada 2 segundos. Esta magnitud con una frecuencia de un dato cada minuto o cada 10 segundo pierde información, dado que las vibraciones no son constantes como la temperatura que se prolonga en el tiempo.

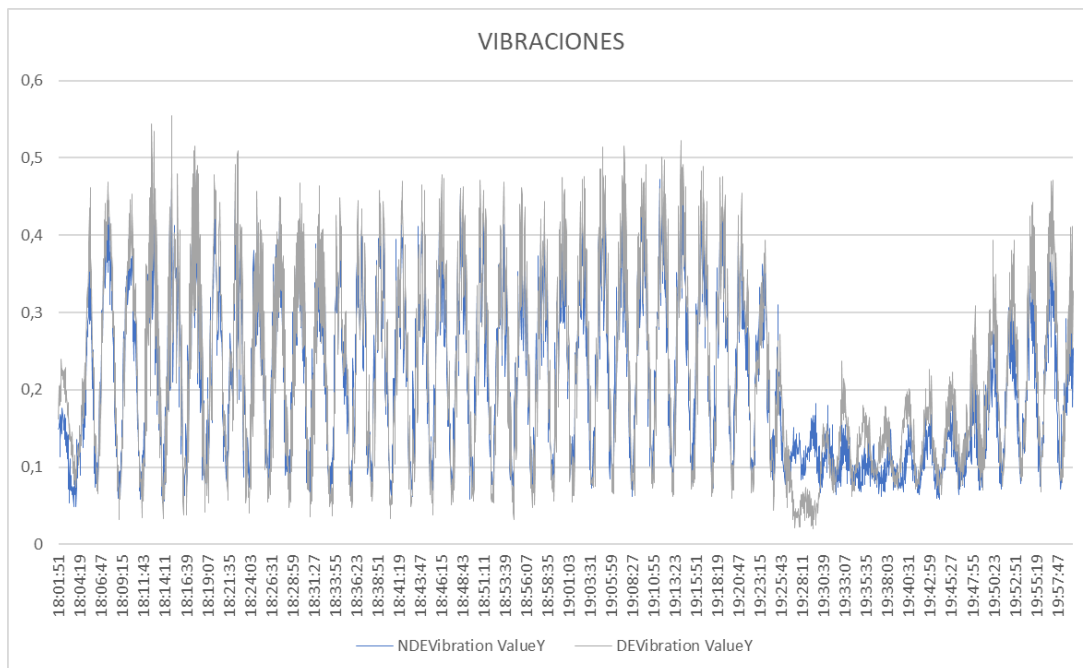


Figura 59: Vibraciones el día 30/05/2023 (Elaboración Propia, 2023)

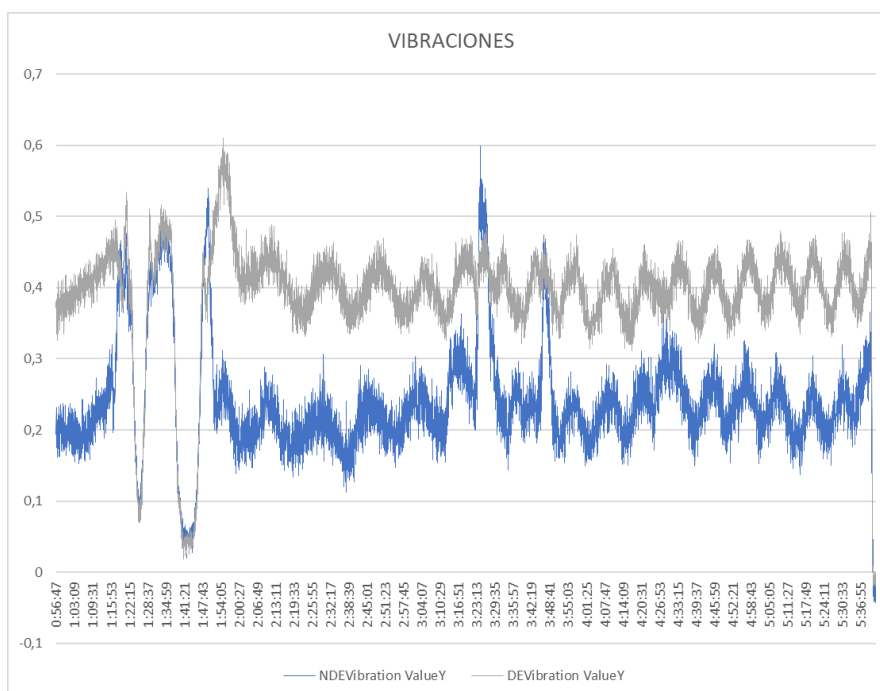


Figura 60: Vibraciones el día 27/04/2023 (Elaboración Propia, 2023)

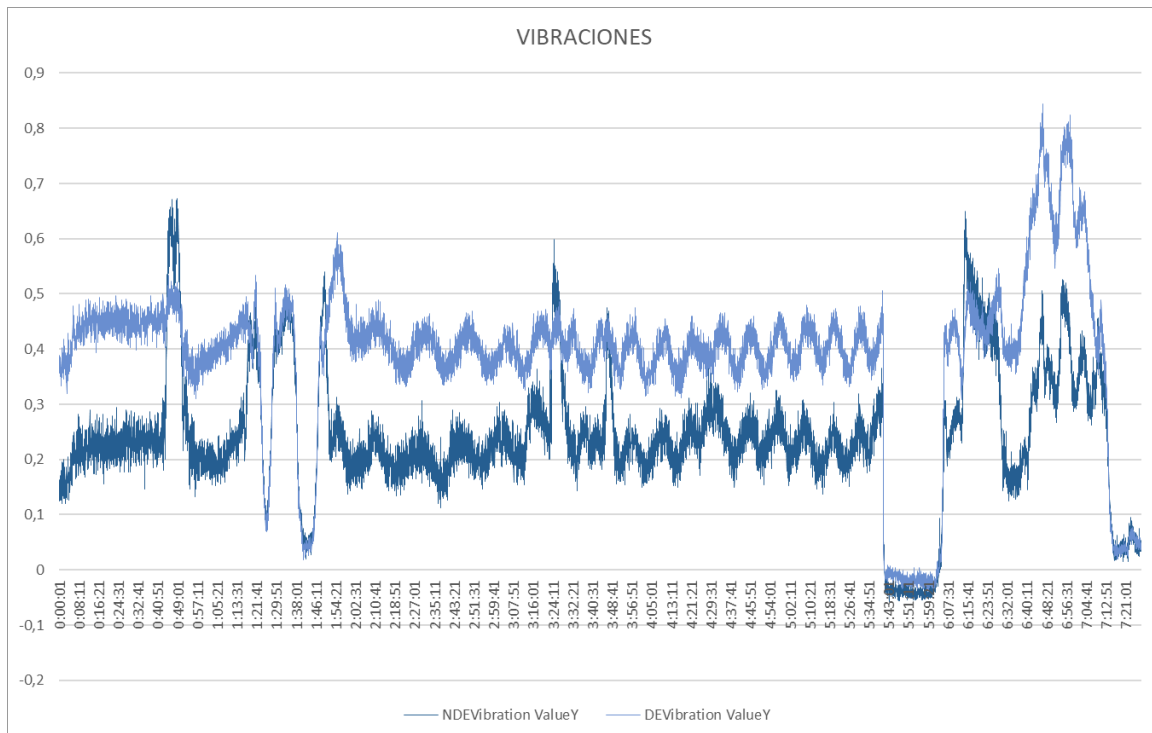


Figura 61: Vibraciones día 27/04/2023 antes y después de la parada (Elaboración Propia, 2023)

2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

2.1. INFORMACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

En el *Anexo II* se han expuesto los componentes del ventilador, siendo los rodamientos el componente más importante para este estudio, dado que son los que pueden ser reparados sin necesidad de desplazamiento al taller o una empresa especializada, además existe la posibilidad de un contacto directo a diferencia de los rodamientos de un motor, para la realización del mantenimiento preventivo.

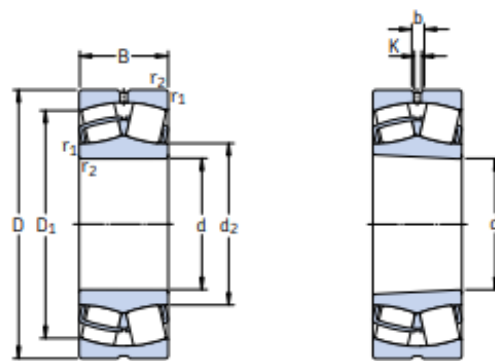
Sintetizando lo anteriormente expuesto, el ventilador contiene un rodamiento de rodillos a rotula 22228 CCK/C3W33 y un rodamiento de bolas a rotula 1224 KM/C3, ambos del fabricante SKF. Siendo las principales características de estos:

RODAMIENTOS	22228 CCK/C3W33	1224 KM/C3
Diametro interno [mm] → d	140	120
Diametro externo [mm] → D	250	215
Ancho [mm] → B	68	42
Masa [kg]	14	6,75

Tabla 23: Resumen rodamientos (Elaboración Propia, 2023)

Esta tabla resumen se obtiene del catálogo ofrecido por SKF. A continuación, se exponen las hojas que han sido empleadas:

Rodamientos de rodillos a rótula
d 120 – 150 mm



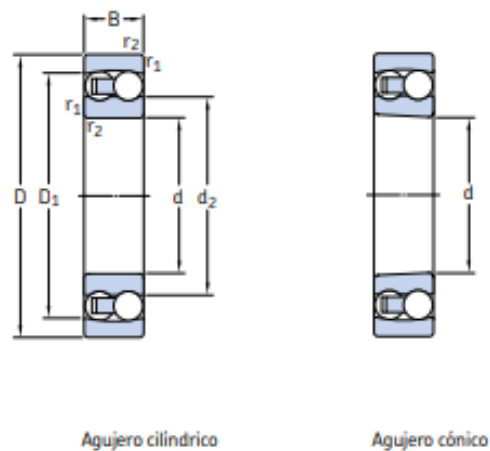
Agujero cilíndrico

Agujero cónico

Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designaciones				
	d	D		B	Velocidad de referencia		Velocidad límite	Rodamiento con agujero cilíndrico	agujero cónico		
mm	mm	mm	kN	kN	kN	rpm	kg	–			
120	180	46	355	510	53	3 200	4 000	4,20	* 23024 CC/W33	* 23024 CCK/W33	
	180	60	430	670	68	2 400	3 400	5,45	* 24024 CC/W33	* 24024 CCK30/W33	
	200	62	510	695	71	2 600	3 400	8,00	* 23124 CC/W33	* 23124 CCK/W33	
	200	80	655	950	95	1 900	2 600	10,3	* 24124 CC/W33	* 24124 CCK30/W33	
	215	58	630	765	73,5	2 800	3 800	8,70	* 22224 E	* 22224 EK	
	215	76	695	930	93	2 000	2 800	12,0	* 23224 CC/W33	* 23224 CCK/W33	
	260	86	965	1 120	100	2 000	2 600	23,0	* 22324 CC/W33	* 22324 CCK/W33	
	130	200	52	430	610	62	2 800	3 600	6,00	* 23026 CC/W33	* 23026 CCK/W33
		200	69	540	815	81,5	2 000	3 000	8,05	* 24026 CC/W33	* 24026 CCK30/W33
		210	64	560	780	78	2 400	3 200	8,80	* 23126 CC/W33	* 23126 CCK/W33
		210	80	680	1 000	100	1 800	2 400	11,0	* 24126 CC/W33	* 24126 CCK30/W33
		230	64	735	930	88	2 600	3 600	11,0	* 22226 E	* 22226 EK
230		80	780	1 060	104	1 900	2 600	14,5	* 23226 CC/W33	* 23226 CCK/W33	
140	280	93	1 120	1 320	114	1 800	2 400	29,0	* 22326 CC/W33	* 22326 CCK/W33	
	210	53	465	680	68	2 600	3 400	6,55	* 23028 CC/W33	* 23028 CCK/W33	
	210	69	570	900	88	2 000	2 800	8,55	* 24028 CC/W33	* 24028 CCK30/W33	
	225	68	630	900	88	2 200	2 800	10,5	* 23128 CC/W33	* 23128 CCK/W33	
	225	85	765	1 160	112	1 700	2 400	13,5	* 24128 CC/W33	* 24128 CCK30/W33	
	250	68	710	900	86,5	2 400	3 200	14,0	* 22228 CC/W33	* 22228 CCK/W33	
150	250	88	915	1 250	120	1 700	2 400	19,0	* 23228 CC/W33	* 23228 CCK/W33	
	300	102	1 290	1 560	132	1 700	2 200	36,5	* 22328 CC/W33	* 22328 CCK/W33	
	225	56	510	750	73,5	2 400	3 200	7,95	* 23030 CC/W33	* 23030 CCK/W33	
150	225	75	655	1 040	100	1 800	2 600	10,5	* 24030 CC/W33	* 24030 CCK30/W33	
	250	80	830	1 200	114	2 000	2 600	16,0	* 23130 CC/W33	* 23130 CCK/W33	
	250	100	1 020	1 530	146	1 500	2 200	20,0	* 24130 CC/W33	* 24130 CCK30/W33	
	270	73	850	1 080	102	2 200	3 000	18,0	* 22230 CC/W33	* 22230 CCK/W33	
	270	96	1 080	1 460	137	1 600	2 200	24,5	* 23230 CC/W33	* 23230 CCK/W33	
	320	108	1 460	1 760	146	1 600	2 000	43,5	* 22330 CC/W33	* 22330 CCK/W33	

Figura 62: Rodamientos de rodillos a rótula (SKF, 2019)

Rodamientos de bolas a rótula
d 70 – 120 mm



Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designaciones			
	d	B		Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento con agujero cilíndrico	agujero cónico		
mm	mm	mm	kN	kN	rpm	kg	-	-		
70	125	24	35,8	14,6	0,75	11 000	7 000	1,25	1214 ETN9	-
	125	31	44,2	17	0,88	10 000	6 700	1,50	2214	-
	150	35	74,1	27,5	1,34	8 500	6 000	3,00	1314	-
	150	51	111	37,5	1,86	8 000	6 000	3,90	2314	-
75	130	25	39	15,6	0,80	10 000	6 700	1,35	1215	1215 K
	130	31	58,5	22	1,12	9 000	6 300	1,60	2215 ETN9	2215 EKTN9
	160	37	79,3	30	1,43	8 000	5 600	3,55	1315	1315 K
	160	55	124	43	2,04	7 500	5 600	4,70	2315	2315 K
80	140	26	39,7	17	0,83	9 500	6 000	1,65	1216	1216 K
	140	33	65	25,5	1,25	8 500	6 000	2,00	2216 ETN9	2216 EKTN9
	170	39	88,4	33,5	1,50	7 500	5 300	4,20	1316	1316 K
	170	58	135	49	2,24	7 000	5 300	6,10	2316	2316 K
85	150	28	48,8	20,8	0,98	9 000	5 600	2,05	1217	1217 K
	150	36	58,5	23,6	1,12	8 000	5 600	2,50	2217	2217 K
	180	41	97,5	38	1,70	7 000	4 800	5,00	1317	1317 K
	180	60	140	51	2,28	6 700	4 800	7,05	2317	2317 K
90	160	30	57,2	23,6	1,08	8 500	5 300	2,50	1218	1218 K
	160	40	70,2	28,5	1,32	7 500	5 300	3,40	2218	2218 K
	190	43	117	44	1,93	6 700	4 500	5,80	1318	1318 K
	190	64	153	57	2,50	6 300	4 500	8,45	2318 M	2318 KM
95	170	32	63,7	27	1,20	8 000	5 000	3,10	1219	1219 K
	170	43	83,2	34,5	1,53	7 000	5 000	4,10	2219 M	2219 KM
	200	45	133	51	2,16	6 300	4 300	6,70	1319	1319 K
	200	67	165	64	2,75	6 000	4 500	9,80	2319 M	-
100	180	34	68,9	30	1,29	7 500	4 800	3,70	1220	1220 K
	180	46	97,5	40,5	1,76	6 700	4 800	5,00	2220 M	2220 KM
	215	47	143	57	2,36	6 000	4 000	8,30	1320	1320 K
	215	73	190	80	3,25	5 600	4 000	12,5	2320 M	2320 KM
110	200	38	88,4	39	1,60	6 700	4 300	5,15	1222	1222 K
	200	53	124	52	2,12	6 000	4 300	7,10	2222 M	2222 KM
	240	50	163	72	2,75	5 300	3 600	12,0	1322 M	1322 KM
120	215	42	119	53	2,12	6 300	4 000	6,75	1224 M	1224 KM

Figura 63: Rodamientos de rodillos a rótula (SKF, 2019)

2.2. DATA SHEET TCF

TCF es una empresa dedicada a la fabricación de ventiladores axiales y centrífugos industriales siendo de este último tipo que se encuentra en el secadero. El Data Sheet de cada ventilador viene dado por el fabricante, y en este se especifican las características y equipo montado como se ha visto en la *Figura 30*.

Del Data Sheet correspondiente al ventilador se extrae la información referente a los rodamientos de estudio.

Fan bearings and lubrication details			
	fan side	drive side	GREASE
Bearing type:	22228 CCK/C3W33	1224 K/C3	MOBILITH SHC 100
Lubrication:	110g@720h	80g@720h	Please see maintenance instruction for fan bearing lubrication

Figura 64: Data Sheet información rodamientos (TCF, 2023)

En la tabla anterior se pueden observar las magnitudes de re-lubricación para los rodamientos. En ambos se indica que deben ser re-lubricados mensualmente con cantidades distintas, 100 gramos para el rodamiento de rodillos a rotula y 80 gramos para el de bolas a rotula. A su vez, la grasa indicada para la re-lubricación es específica para altas temperaturas, esto se debe la designación C3 de los rodamientos.

La designación C3 indica un juego radial interno superior al nominal, es decir, el elemento rodante tiene una mayor holgura respecto a la jaula, por tanto, al dilatarse el elemento rodante ya sea por altas temperaturas o elevadas velocidades continúe su funcionamiento.

Mobilith SHC 100 es una grasa NLGI 2 Grade /ISO VG 100 con un fluido sintético, que posee un rango de temperaturas de operación de -40°C a 150°C. ("Mobilith SHC Series"). Con otorgación NLGI 2 estipulada por el Instituto Nacional de Grasas y Lubricantes (institución estadounidense) o por ISO VG (Grado de Viscosidad de la Organización Internacional de Estandarización). Es posible conocer, gracias a las normas descritas anteriormente, la viscosidad y el rango de operación en caso de no contar con ficha técnica de la grasa.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS BÁSICAS	
Estado físico:	Sólido
Color:	Rojo
Olor:	Característico
Punto de fusión:	N/D
Punto de congelamiento:	N/D
Punto inicial de ebullición / Rango:	> 316°C (600°F)
Inflamabilidad:	Inflamable
Límite superior e inferior de inflamabilidad y explosividad:	Inferior: N/D Superior: N/D
Punto de inflamación [Método]:	>204°C (400°F) [EST. PARA ACEITE, ASTM D-92 (COC)]
Temperatura de auto inflamación:	N/D
Temperatura de descomposición:	N/D
pH:	N/A
Viscosidad cinemática:	100 cSt (100 mm ² /seg) a 40°C
Solubilidad en agua:	Insignificante
Coefficiente de reparto: n-octanol/agua (valor log):	> 3.5
Presión de vapor:	< 0.013 kPa (0.1 mm Hg) a 20°C
Densidad (a 15.6 °C):	882 kg/m ³ (7.36 lbs/gal, 0.88 kg/dm ³)
Densidad relativa (a 15 °C):	0.88
Densidad de vapor relativa (aire = 1):	N/D

Tabla 24: Características MOBILITH SHC 100 (Elaboración Propia, 2023)

2.3. CATÁLOGO SKF

El grupo SKF es referente mundial en el sector de elementos de rodamientos, sellos y sistemas de lubricación. Existe la posibilidad, mediante la página web de SKF, de realizar el cálculo de lubricación y re-lubricación, así como mediante el catálogo ofrecido.

A continuación, se muestran datos obtenidos mediante la página web (<https://www.skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>), donde se introducen los valores conocidos, como los rodamientos, la distancia entre rodamientos, la velocidad (se ha colocado la máxima), las temperaturas en los rodamientos aproximada y la grasa utilizada, devolviendo la página los resultados de re-lubricación mostrados a continuación.

The screenshot shows the SKF Bearing Selection tool interface. It is divided into three main sections: 'Búsqueda y selección' (Search and selection), 'Calcular' (Calculate), and 'Ajustes y tolerancias' (Adjustments and tolerances). The 'Búsqueda y selección' section includes filters for bearing types (left and right) and dimensions. The 'Calcular' section shows a diagram of a shaft with two bearings and their dimensions. The 'Ajustes y tolerancias' section shows search results for bearings based on the input dimensions.

Dimensiones izquierda		Dimensiones Derecha	
d (mm)	D (mm)	d (mm)	D (mm)
120	215	140	250
42		68	

Dimensiones principales		Capacidades de carga básicas		Designación
d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	Designación
120	215	42	119	1224 M

Dimensiones principales		Capacidades de carga básicas		Designación
d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	Designación
140	250	68	744	22228-2C55/VT143
140	250	68	744	22228-2C55K/VT143
140	250	68	743	22228 CC/W33
140	250	68	743	22228 CCK/W33

Figura 65: Datos de rodamientos (Elaboracion Propia, 2023)

The screenshot shows the 'caso de carga' (load case) section of the SKF Bearing Selection tool. It includes fields for coordinate system, coordinates (x, y, z), effective forces (Fx, Fy, Fz), velocity (r/min), and temperature (°C) for both left and right bearings. A 'Calcular' button is visible at the bottom.

Coordenadas	Efectivo	Velocidad	Temperatura
x y z	efectos Fx Fy Fz	r/min	Izquierda Derecha
0 0 0	0 0 0	992	90 75

Figura 66: Datos cargas, velocidad y temperatura (Elaboracion Propia, 2023)

The screenshot shows the lubrication and contamination data section of the SKF Bearing Selection tool. It includes fields for lubrication type (Grasa ISOVG100) and contamination level (Contaminación ligera-típica) for both left and right bearings.

Lubricación	Contaminación
Grasa ISOVG100	Contaminación ligera-típica
Grasa ISOVG100	Contaminación ligera-típica

Figura 67: Datos de lubricacion y contaminacion (Elaboracion Propia, 2023)

④ Vida útil de la grasa e intervalo de relubricación t_f : Izquierda: 2340 h Derecha: 669 h

SKF		Grasa	Cantidad de grasa		factor de velocidad
Designación		Intervalo de relubricación	Lado	Anillo	Velocidad x diámetro medio
		t_f (h)	G_p (gramo)	G_p (gramo)	v_m (mm/min)
Izquierda	1224 KM	2340	45	-	165000
Bien	22228 CCK/W33	669	85	34	194000

Figura 68: Resultados calculo aplicación SKF (Elaboracion Propia, 2023)

En la Figura 63 no se han estipulado los valores de carga ya que no existe información sobre las fuerzas axiales y radiales que está soportando cada rodamiento. Sin esta situación de carga no se puede realizar un cálculo adecuado de re-lubricación, esto es debido a la necesidad del coeficiente C/P para poder conocer el tiempo de funcionamiento. Por esta razón el valor de la Figura 65, va a ser orientativo para la realización de los cálculos necesarios para estipular el mantenimiento preventivo.

2.4. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Con las recomendaciones de re-lubricación de TCF y SKF, se expone el criterio tomado para la creación del mantenimiento preventivo de los rodamientos de los ventiladores de recirculación del secadero.

Los cálculos realizados son los recomendados en el catálogo de SKF, y los datos necesarios, los cuales no aparecen detallados en ningún documento que este a disposición, se han estipulado con valores dados por el historial u orientados por los valores de re-lubricación que expone TCF. Previo a efectuar los cálculos que indica SKF es necesario recopilar los datos sobre los rodamientos en los que se va a efectuar el estudio.

RODAMIENTOS	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
Nº bolas	40	36
Diametro bolas [mm]	22	25
Diametro interno [mm] -- d	120	140
Diametro exterior [mm] -- D	215	250
Ancho [mm] -- B	42	68
C [KN]	119	710
C0 [KN]	53	900
Pu [KN]	2,12	86,5
Masa (kg)	6,75	14
Velocidad referencia [rpm]	6300	2400
Velocidad limite [rpm]	4000	3200

Tabla 25: Características rodamientos para lubricación o re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)

Una vez tomados los datos de interés se puede proceder a la realización del cálculo de lubricación o de re-lubricación, el primero de ellos se realiza para el primer engrase del rodamiento o cuando se efectuó un cambio de grasa del rodamiento.

- *Cálculo de lubricación:* En primer lugar, se debe obtener el volumen libre del rodamiento [ml], para ello se usa la fórmula proporcionada por SKF, expuesta a continuación.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} - \left(\frac{m}{7,8} \cdot 10^{-3}\right) \quad (3)$$

Aplicando el cálculo del volumen libre del rodamiento en ambos rodamientos obtenemos los siguientes resultados:

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
V = Volumen libre del rodamiento [ml]	270,956301	496,2917274

Tabla 26: Volumen libre rodamientos (Elaboración Propia, 2023)

Siendo ambos rodamientos sin jaulas metálicas y con llenado lateral del rodamiento, se obtiene que el primer llenado de grasa es el volumen libre del rodamiento más el 40% de este. Como se ha mencionado anteriormente esta unidad se da en mililitros por lo que se procede a un cambio de unidades a gramos, una vez se cuenta con unidades adecuadas se puede realizar el cálculo del número de inyecciones a realizar con la bomba de engrase.

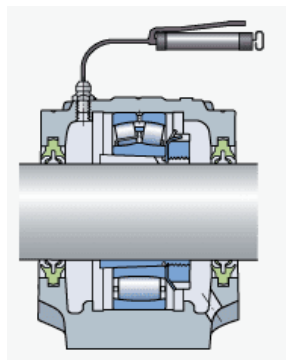


Figura 69: Lubricación lateral rodamiento (SKF, 2019)

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
Lubricación (V+0,4·V) [ml]	379,338822	694,8084183
Lubricación (V+0,4·V) [g]	333,818163	611,4314081
Número de inyecciones (1 inyección=2 g)	167	306

Tabla 27: Cantidad de grasa en el primer engrase (Elaboración Propia, 2023)

- *Cálculo de re-lubricación:* Para conocer la cantidad de grasa que se debe verter en el rodamiento es necesario conocer el punto de inyección de la grasa. Como se ha mencionado anteriormente la grasa se inyecta desde uno de los laterales, por tanto, la cantidad que debe añadirse en una re-lubricación viene dada por la siguiente fórmula, como resultante la unidad en gramos.

$$Gp = 0,005 \cdot B \cdot D \quad (4)$$

Obtenidas las unidades en gramos solo queda el cálculo del número de inyecciones a realizar con la bomba de engrase.

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
Gp(Cantidad de reposición) [g]	45,15	85
Número de inyecciones (1 inyección=2 g)	23	43

Tabla 28: Cantidad de grasa en re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)

La re-lubricación implica un cálculo adicional del periodo entre cada re-lubricación. Es importante no excederse demasiado en el tiempo, ya que el rodamiento se puede quedar sin grasa provocando fricción entre los elementos y produciendo fallos. Por el contrario, tampoco debe exceder la cantidad de grasa debido a que este exceso provoca un aumento de temperatura en el rodamiento. Para la realización de intervalos de re-lubricación es necesario seguir los siguientes pasos:

1º. Calcular el factor nd_m : Este factor se compone de la velocidad de giro en rpm, denominado n , del diámetro medio del rodamiento en mm, d_m , y de un factor del rodamiento que depende del rodamiento y condiciones de carga, b_f . El diámetro medio se calcula como la media del diámetro exterior e interior del rodamiento y el factor b_f , ubicado en la tabla 1 correspondiente a lubricación del catálogo SKF (página 113).

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
n = velocidad de giro [rpm]	991	991
d_m = diámetro medio del rodamiento [mm]	167,5	195
b_f = factor del rodamiento que depende de rodamiento y condiciones de carga	1	2
FACTOR nd_m [mm/min]	165992,5	386490

Tabla 29: Factor nd_m (Elaboración Propia, 2023)

2º. Relación de carga, C/P: Conocido el factor nd_m se debe observar cual es el límite recomendado. Dado que se desconoce la carga dinámica equivalente del rodamiento, debido a la falta de documentación, se desconocen las fuerzas axiales y radiales que debe soportar, se procede a tomar con el factor nd_m que relación de carga es a la que se encuentra cada rodamiento. En la misma tabla 1 mencionada en el punto anterior se encuentra en que rango de C/P se trabaja.

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
C/P > 15	500000	350000
C/P = 8	400000	200000
C/P = 4	300000	100000

Tabla 30: Factor nd_m límite (Elaboración Propia, 2023)

Hay 3 posibles relaciones de cargas en función del factor nd_m [mm/min], como se expone en la tabla anterior. Con el factor nd_m obtenido se selecciona el más próximo y con este se puede obtener esta relación. Para el rodamiento de bolas a rotula se obtiene un C/P =4, y para el rodamiento de rodillos a rotula un C/P>15.

3º. Cálculo del intervalo de re-lubricación: Es necesario el uso del Diagrama 2 de lubricación del catálogo SKF. Se entra al diagrama por el factor nd_m y se sube hasta que corte con la relación de carga C/P, en ese cruce se genera una recta horizontal que indica el intervalo de re-lubricación en horas.

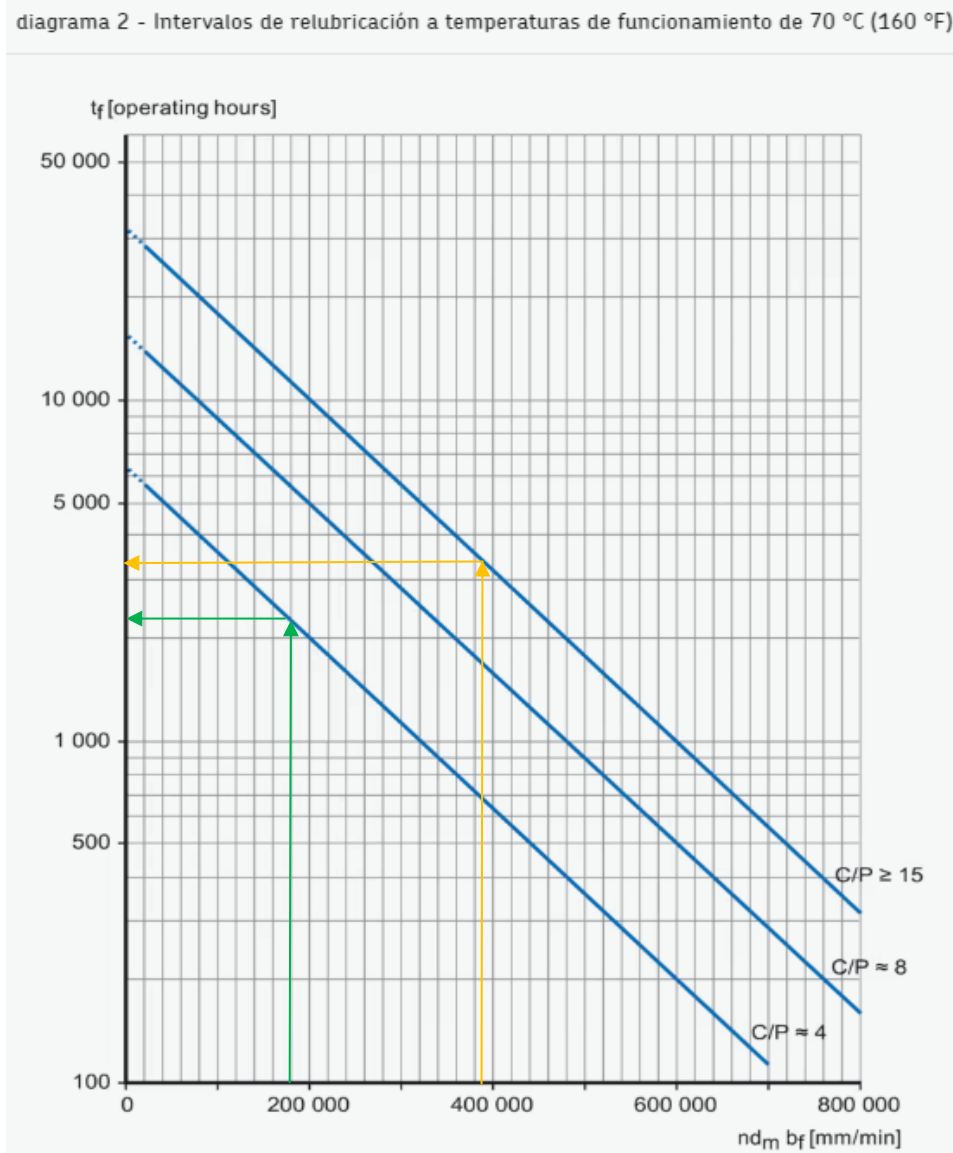


Figura 70: Diagrama 2 (SKF, 2019)

En verde se ha marcado el rodamiento de bolas a rotula, comenzando con el factor nd_m de 165992,5 mm/min y relación de carga $C/P=4$, dando como resultado aproximado un tiempo de operación, t_f , de 2500 horas. Y para el rodamiento de rodillos a rotula, marcado en amarillo, se comienza con un factor nd_m de 386490 mm/min y relación de carga $C/P >15$, dando como resultado un tiempo de operación aproximado, t_f , de 3500 horas.

4º. Cambio de condición de temperatura: En el encabezado del diagrama 2 se especifica que los tiempos de operación se dan para una temperatura de funcionamiento del rodamiento de 70°C, por lo que si un rodamiento no se encuentra dentro de esta condición deberá ser multiplicado por factores que reduzcan su intervalo de tiempo entre operación. Para dar valor a esos factores de reducción existe una tabla en el catálogo que indica los factores de ponderación (Tabla 2 de lubricación del catálogo de SKF).

Los factores a tener en cuenta son:

- Aumento de la temperatura superando los 70°C, donde indica que por cada incremento de 15°C se debe reducir el tiempo de operación a la mitad. Esto se debe a que el envejecimiento de la grasa se ve acelerado por este aumento de temperatura.
- El rodamiento de rodillos a rotula se ha demostrado que comienza a estabilizarse a una temperatura de 100°C, por lo que se estipula que trabaja a 100°C cuando el secadero está en funcionamiento, reduciendo así una cuarta parte el tiempo de operación.
- Contaminación, en función del tipo de contaminación debe multiplicarse por un valor u otro, en este caso tiene un nivel bajo, por lo que no será necesario verter más grasa de la estipulada en el rodamiento.

	1224 KM/C3	22228 CCK/C3W33
tf grafica [h]	2500	3500
Por cada 15°C por encima a la mitad [h]	1250	875
Reduccion del intervalo por nivel de contaminacion	1250	875
tf [h]	1250	875
tf [dias]	52,0833333	36,45833333

Tabla 31: Tiempo de intervención para re-lubricación (Elaboración Propia, 2023)

3. CONCLUSIONES

3.1. FORMACIÓN DE PERSONAL

Como se ha expuesto en el *Punto 6.3*, la formación de personal es conveniente para poder realizarse un mantenimiento predictivo, además de la repercusión que tendrá el impacto financiero en la formación.

El impacto financiero vendrá con la reducción de costes en subcontratación para el mantenimiento predictivo, siendo un ahorro muy notorio. No subcontratar este servicio conlleva una inversión en personal, siendo rentable para este tipo de fabrica debido al elevado número de equipos con los que cuenta.

El coste de subcontratación de un Analista de vibraciones Categoría III según ISO 18436-2 es de 1.516 €/medición, y se realizan mediciones cuatrimestrales, se obtiene un total de coste anual de 4.548 €, siempre y cuando no tenga que venir más veces.

Descripción trabajos	Cantidad	Observaciones
Configuración de rutas de medición, estableciendo de niveles de alarma y rangos frecuenciales.	Según cronograma: Marzo, julio y noviembre	Los trabajos son realizados tanto en planta como en oficina
Recogida de puntos de medición		
Análisis, diagnóstico e informes.		
Total servicio (por cuatrimestre)	3 veces/año	1.516,00 €/medición

• **Otras condiciones de la oferta:**

- Todos los gastos de desplazamiento, dietas y gastos generales ya están incluidos en los precios.
- Condiciones de pago: Las habituales con RODAMIENTOS HURYZA S.A

Figura 71: Contrato de análisis de vibraciones (Elaboración Propia, 2023)

Si se decidiese formar a una persona del equipo de mantenimiento con el mismo nivel de certificación que la empresa encargada de realizar el mantenimiento predictivo se tardaría tiempo, ya que hay que ir por categorías. El coste que tendría cada categoría en una empresa acreditada para ello, como es MOBIUS INSTITUTE, la categoría I tiene un coste de 1.017,81€, la categoría II tiene un coste de 1.199,99€ además de tener como experiencia 18 meses, y, por último, la categoría III con un coste de 3.099,98€ y una experiencia de 36 meses. Es decir, un coste de 5.317,78€ y 5 años para poder obtener la misma certificación, siendo un proceso lento e innecesario, debido a que una persona con una certificación de nivel I tiene los conocimientos para analizar el espectro de vibraciones. Si se optase por este nivel de certificación en 3 meses habría una persona cualificada, siendo amortizada la inversión que se ha hecho en menos de un año.

No solo interesa el tiempo necesario para amortizar la inversión sino la posibilidad de contar con una persona del departamento que puede hacer una lectura del estado de la maquina en tiempo real e incluso si se cuenta con un analizador de vibraciones de poder ir a otro equipo y poder examinarlos sin tener que esperar a que la subcontrata pueda venir otro día.

Un analizador de vibraciones evalúa las vibraciones que generan informes que muestran los espectros y la gravedad de la avería, un modelo de este es Fluke 810, tiene un coste de 13.084€, otra opción es el modelo de SKF Microlog Analyzer dBX, etc.

3.1. TERMOGRAFIA PARA POBREMAS DE CALORIFUGADO Y DISPIACION DE CALOR

Durante la estancia en la empresa se ha estado estudiando los ventiladores des recirculación, pero el problema iba más allá del equipo, sino que había un exceso de calor en la zona donde se encontraban, por lo que se decidió realizar un estudio de termografía de cómo estaba calorifugado el secadero. Durante el estudio se encontraron zonas las cuales están mal aisladas, entre esas zonas se encontraban juntas próximas al rodamiento que estaba alcanzando problemas, además de verse como el disipador de calor alcanzaba altas temperaturas.

Al persistir el problema de altas temperaturas se realizó una consulta a TCF de si podíamos realiza un cambio de disipador, ya que el que había era pequeño, siendo del mismo diámetro que el rodamiento, provocando que el calor no se disipase al ambiente.

Con la realización de dicho de disipador el equipo dejo de fallar durante una semana por altas temperatura, siendo efectivo el cambio, pero como los problemas de calorifugado que seguían se volvió a alcanzar temperaturas elevadas en el rodamiento, sin ser estas alarmas muy consecutivas como anteriormente.

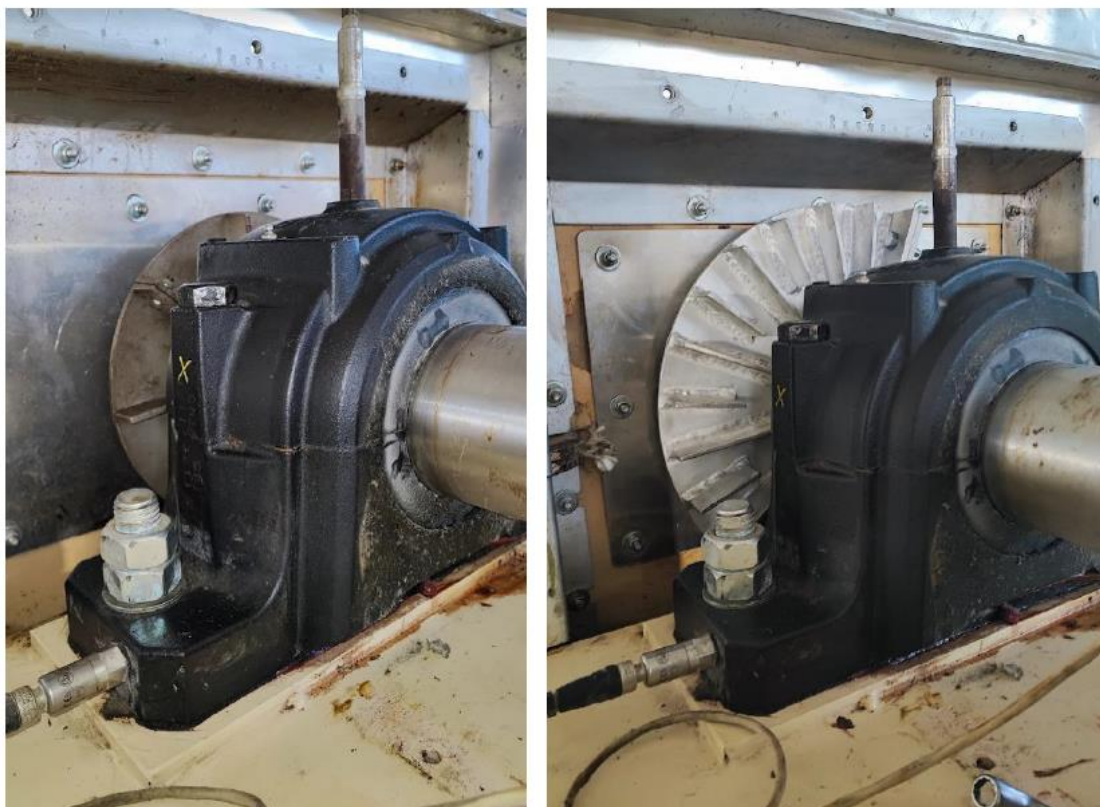


Figura 72: Antiguo disipador y nuevo disipador en Z1-VRI (Elaboración Propia, 2023)

A continuación, se exponen informes realizados con el equipo de infrarrojos, en el primero de ellos se ha realizado un estudio del ventilador de recirculación Z1-VRI un día después de haber tenido una parada por altas temperaturas. El segundo informe adjunto es un estudio para conocer que zonas del ventilador mas cercanas al rodamiento NDE podían tener perdidas por mal aislamiento, y el último informe es un estudio el día que se realizo el cambio de disipador.

En este último se muestra como la zona del eje que esta mas cercana al rodete se encuentra a una temperatura muy elevada, al igual que toda la tapa que aislar el rodete del exterior. Estas temperaturas se tenían pasada media hora desde que dejo de funcionar el equipo, por lo que se puede deducir que el aislamiento en zonas de cierre y proximidades no este puesto.

The logo consists of the word "FLUKE" in a bold, black, sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®). The text is centered within a solid yellow rectangular background.

Date: 9/05/2023

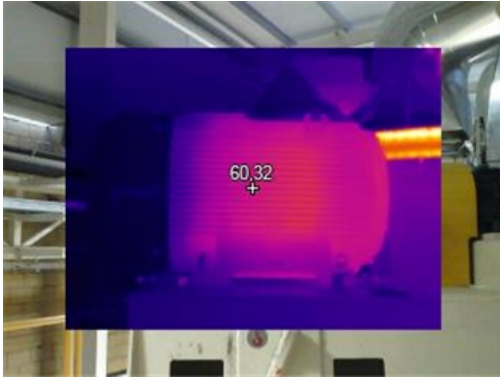
Author: Aroa Rodriguez Dobato

VENTILADOR Z1-VRI

Summary:

Table of Contents

IR_00101.IS2	3
IR_00102.IS2	4
IR_00103.IS2	5
IR_00104.IS2	6

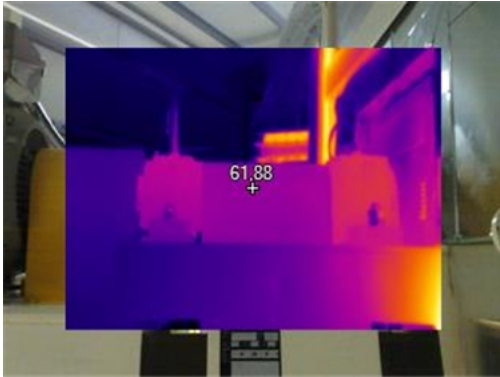


Información de la imagen

Name	IR_00101.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	33,86 °C a 109,28 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	11/07/2020 06:47:52

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	60,3 °C	60,3 °C	60,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

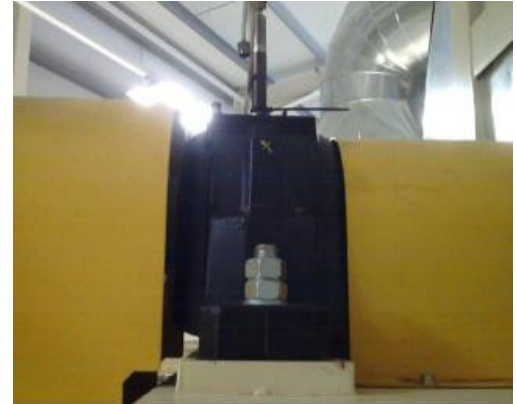
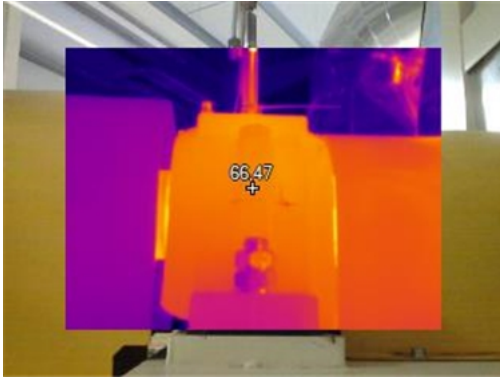


Información de la imagen

Name	IR_00102.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	35,46 °C a 131,28 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	11/07/2020 06:48:07

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	61,9 °C	61,9 °C	61,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

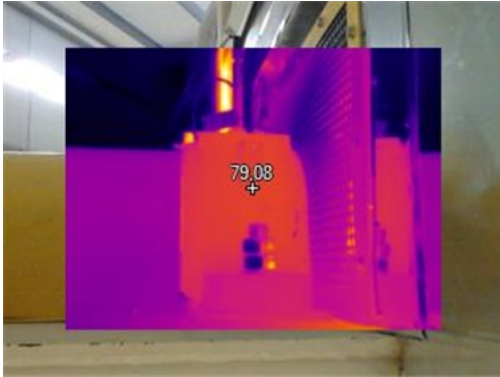


Información de la imagen

Name	IR_00103.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	36,46 °C a 84,27 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	11/07/2020 06:48:18

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	66,5 °C	66,5 °C	66,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	



Información de la imagen

Name	IR_00104.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	38,23 °C a 123,18 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	11/07/2020 06:48:26

Información del marcador

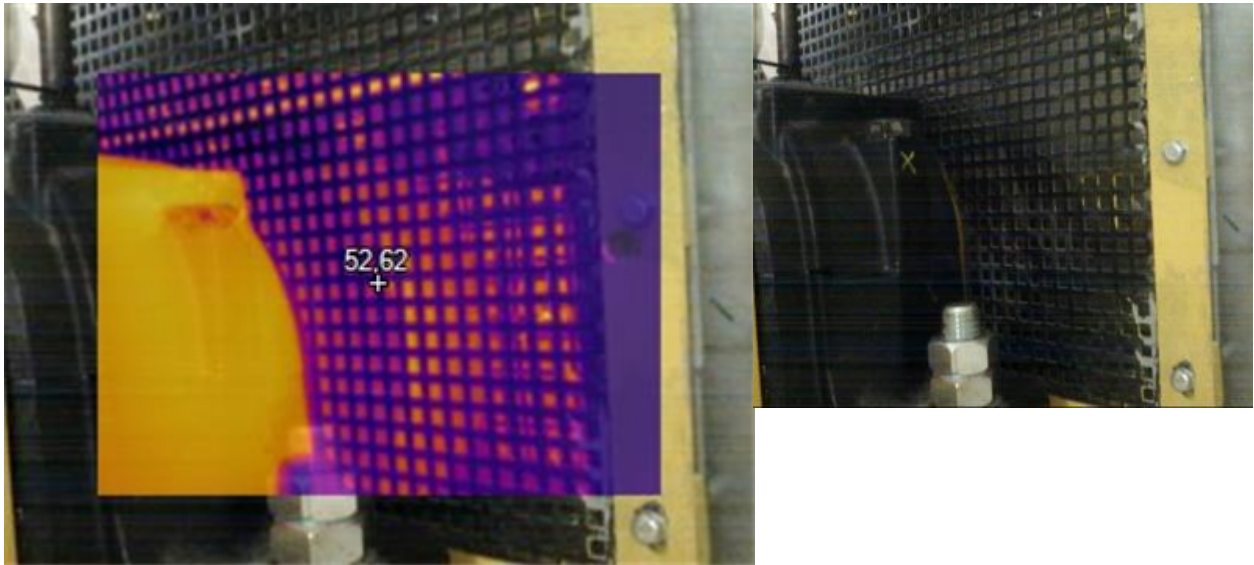
Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	79,1 °C	79,1 °C	79,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

Comprobación rodete zona 1

Summary:

Table of Contents

IR_00117.IS2	3
IR_00116.IS2	4
IR_00115.IS2	5
IR_00114.IS2	6

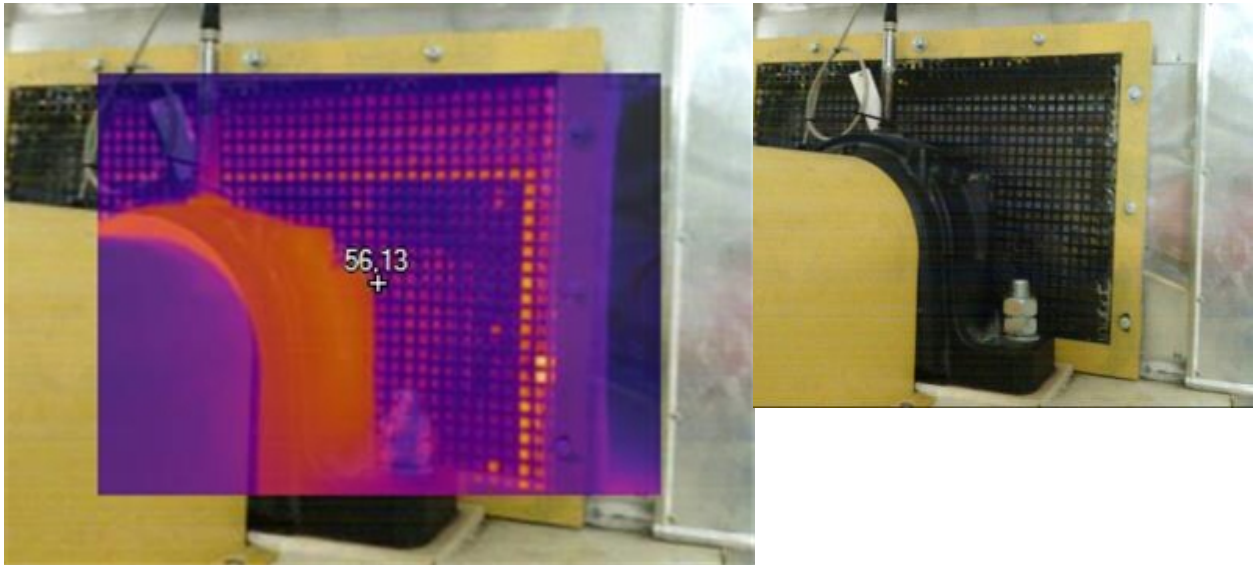


Información de la imagen

Name	IR_00117.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,0 °C
Rango de calibración	-20,0 °C a 150,0 °C
Rango de la imagen	44,4 °C a 115,3 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	17/07/2020 04:30:20

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	52,6 °C	52,6 °C	52,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

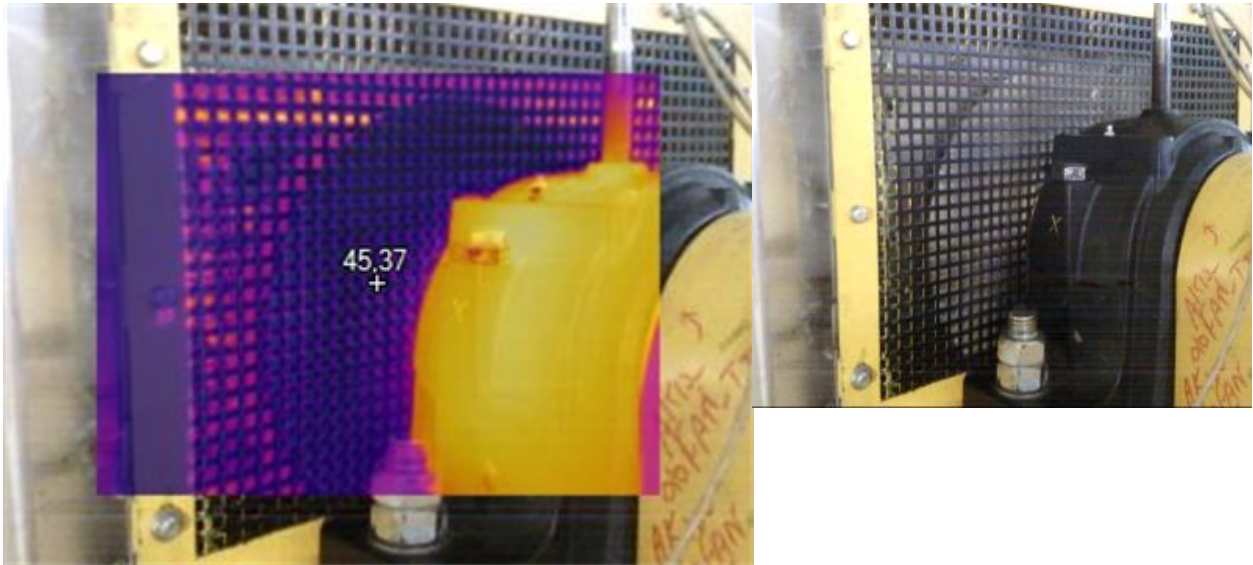


Información de la imagen

Name	IR_00116.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	33,38 °C a 147,40 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	17/07/2020 04:30:08

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	56,1 °C	56,1 °C	56,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

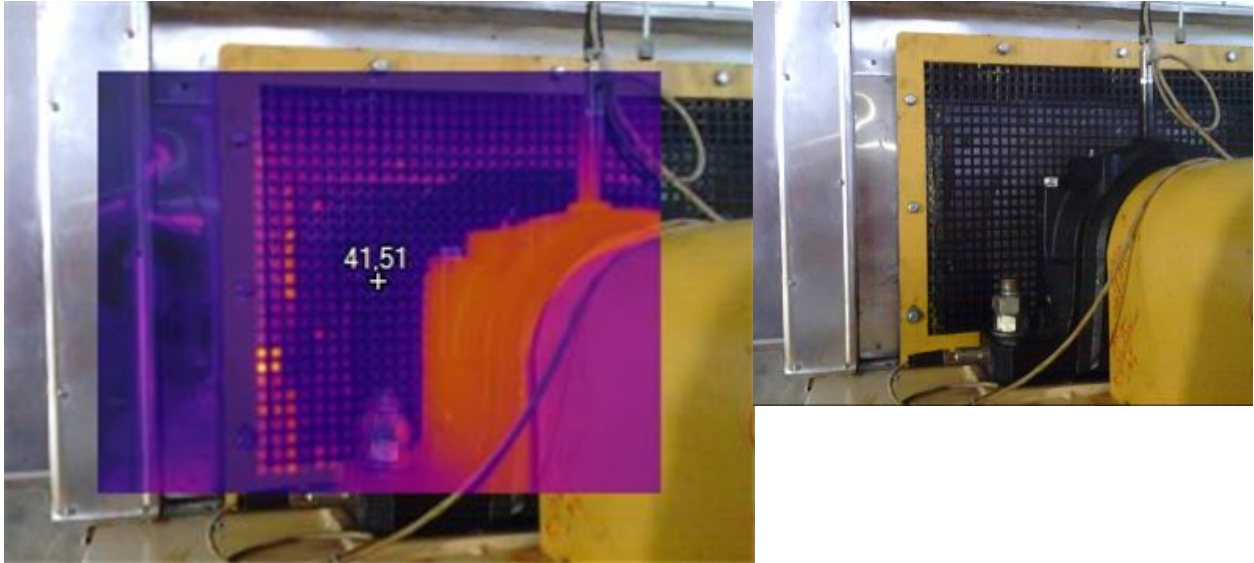


Información de la imagen

Name	IR_00115.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	38,81 °C a 93,44 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	17/07/2020 04:26:26

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	45,4 °C	45,4 °C	45,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	



Información de la imagen

Name	IR_00114.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	31,00 °C a 127,52 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	17/07/2020 04:26:15

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	41,5 °C	41,5 °C	41,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

FLUKE®

Date: 12/05/2023

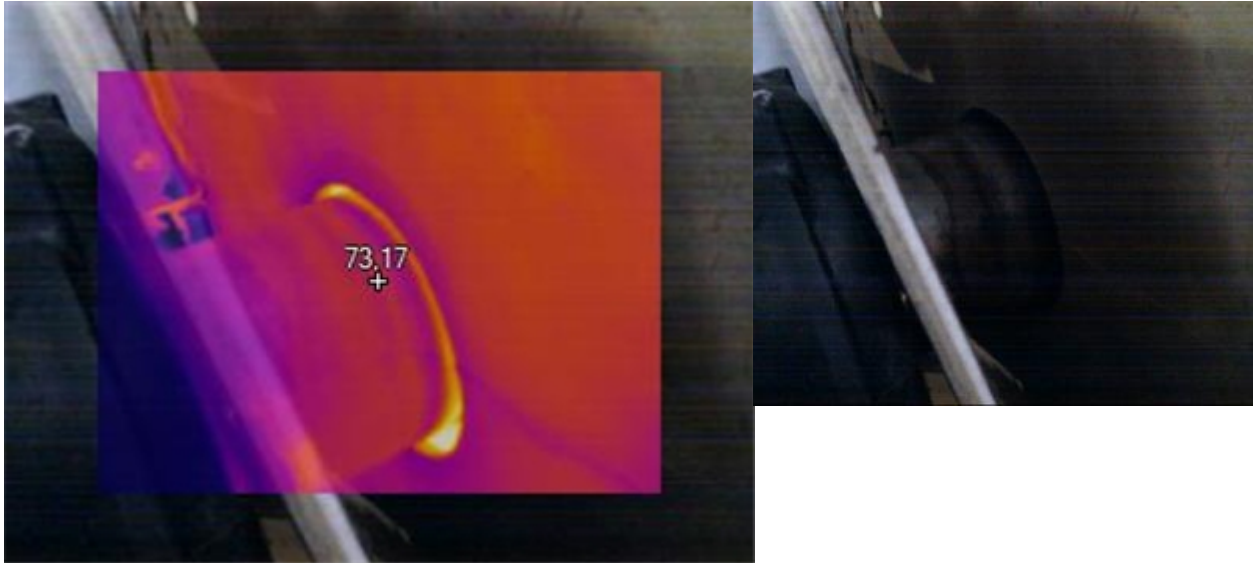
Author: Aroa Rodriguez Dobato

Z1-VRI DURANTE EL DESMONTAJE

Summary:

Table of Contents

IR_00109.IS2	3
IR_00110.IS2	4
IR_00107.IS2	5
IR_00106.IS2	6
IR_00105.IS2	7
IR_00098.IS2	8

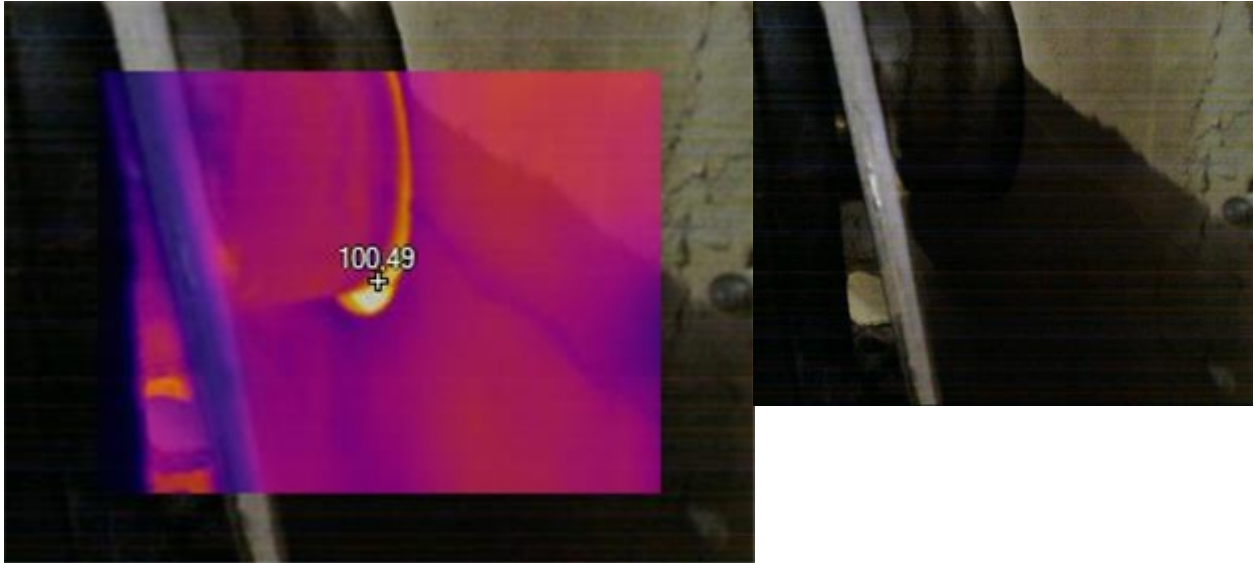


Información de la imagen

Name	IR_00109.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	43,12 °C a 112,34 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	13/07/2020 02:52:39

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	73,2 °C	73,2 °C	73,2 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

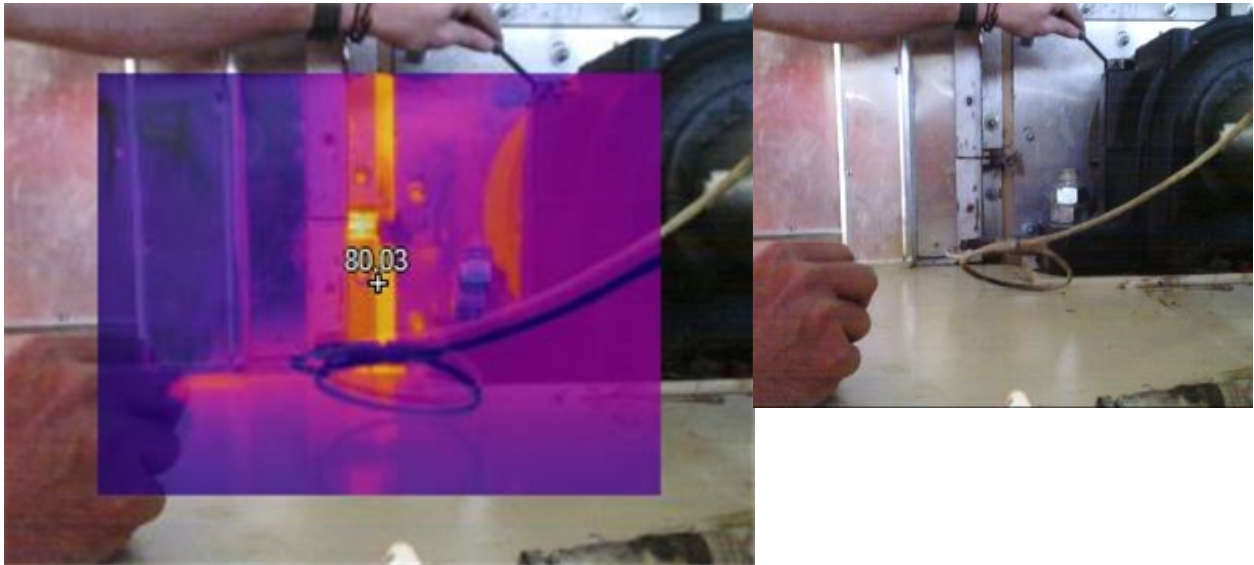


Información de la imagen

Name	IR_00110.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	47,44 °C a 112,27 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	13/07/2020 02:52:50

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	100,5 °C	100,5 °C	100,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

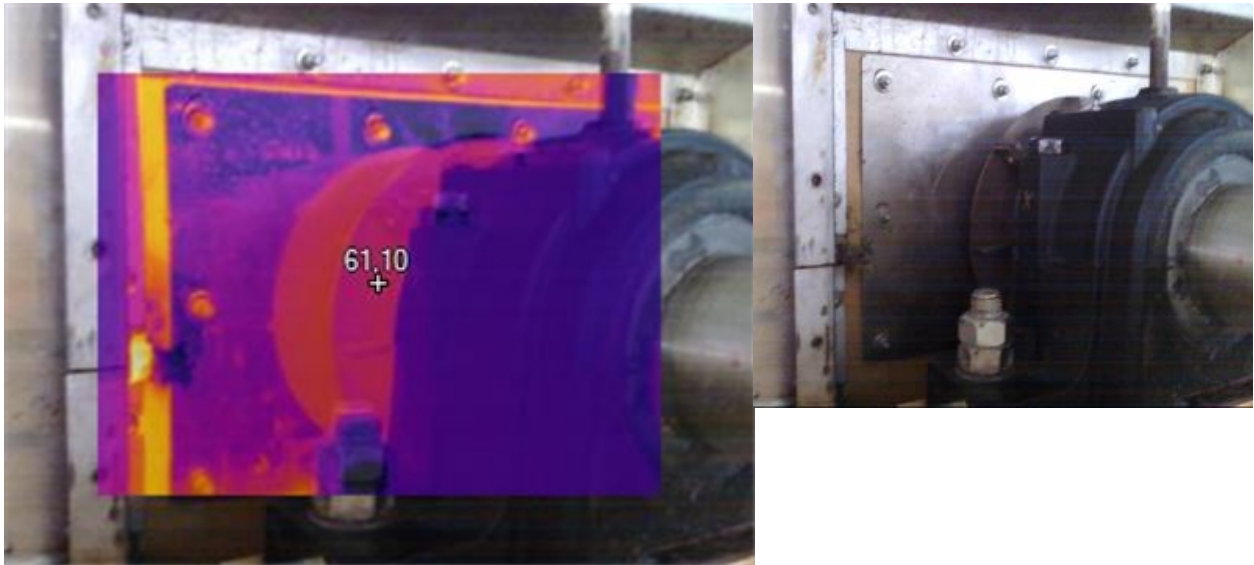


Información de la imagen

Name	IR_00107.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	27,53 °C a 95,12 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	13/07/2020 02:38:31

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	80,0 °C	80,0 °C	80,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

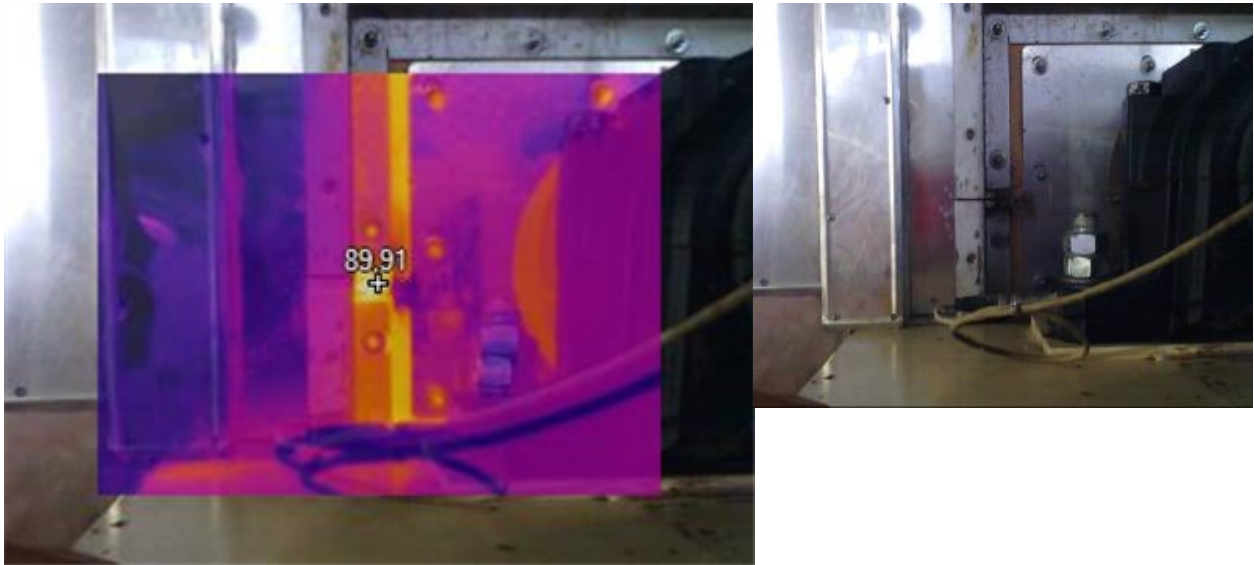


Información de la imagen

Name	IR_00106.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	37,48 °C a 94,05 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	13/07/2020 02:38:17

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	61,1 °C	61,1 °C	61,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

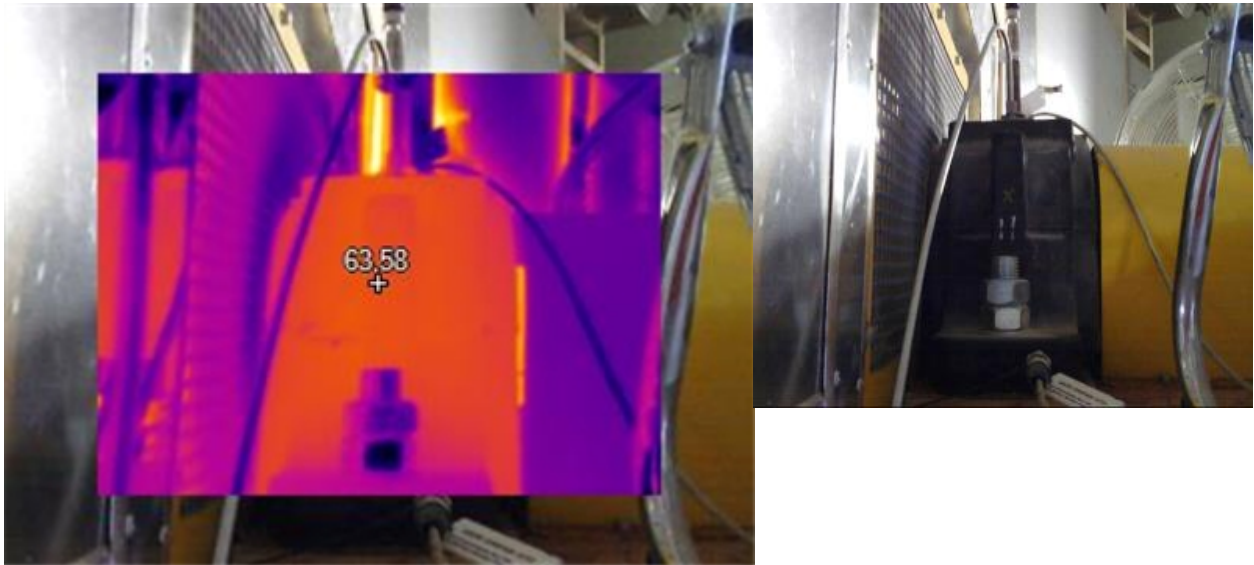


Información de la imagen

Name	IR_00105.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	24,10 °C a 95,44 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	13/07/2020 02:37:39

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	89,9 °C	89,9 °C	89,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	



Información de la imagen

Name	IR_00098.IS2
Emisividad	0,95
Temperatura de fondo	22,00 °C
Rango de calibración	-20,00 °C a 150,00 °C
Rango de la imagen	36,73 °C a 88,78 °C
Tamaño de sensor IR	320X240
Número de serie de la cámara	TiS60+-20040267
Versión DSP	6.3.40
Hora de la imagen	28/06/2020 23:13:07

Información del marcador

Nombre de marcador	Máximo	Mínimo	Promedio	Emisividad	BG Temp	Desviación estándar	Delta-T
Punto central	63,6 °C	63,6 °C	63,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

Bibliografía

- APLITER. (21 de Junio de 2023). *APLITER*. Obtenido de <https://www.apliter.com/camaras-termograficas-que-son/>
- Ávila, P. (5 de octubre de 2020). *ELVATRON*. Obtenido de <https://www1.elvatron.com/termograf%C3%ADa/consejos-sobre-mediciones>
- FLUKE. (17 de Mayo de 2023). *FLUKE*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis60plus>
- García, J. E. (4 de Junio de 2018). *Universitat Oberta de Catalunya*. Obtenido de https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/144051/28/Diseno%20y%20fabricacion%20inteligente_Modulo4.8_Mantenimiento%20predictivo.pdf
- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (15 de Junio de 2023). *Predictiva 21*. Obtenido de <https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos/>
- I.care. (8 de Junio de 2023). *I.care*. Obtenido de <https://www.icareweb.com/es/soluciones-mantenimiento-predictivo/>
- Iberdrola*. (2 de Mayo de 2023). Obtenido de [Iberdrola: https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo](https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo)
- IFM. (16 de Junio de 2023). *IFM*. Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/product/VTV122>
- IFM. (21 de Julio de 2023). *IFM*. Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/product/VTV122?tab=details>
- JUAN PALACIOS. (4 de Junio de 2015). *JUANPALACIOS INGENIERÍA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*. Obtenido de <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- KINENERGY. (2 de Enero de 2023). *KINENERGY CONSULTORIA INGENIERIA*. Obtenido de <https://www.kin.energy/blogs/post/tipos-ventiladores-ventajas-y-desventajas>
- MeteoSolana*. (20 de Julio de 2023). Obtenido de <https://es.meteosolana.net/estacion/9510X>
- Munir, F. A. (2 de junio de 2021). *Linkedin*. Obtenido de <https://id.linkedin.com/pulse/pengantar-analisa-vibrasi-pada-peralatan-berputar-4-alrosad-munir>
- MyFlukeStore. (17 de Julio de 2023). *MyFlukeStore.com*. Obtenido de MyFlukeStore
- Parra, C. A., & Crespo Martínez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla, España: ingemal.
- POWER-MI. (27 de Agosto de 2018). *POWER-MI*. Obtenido de <https://power-mi.com/es/content/power-mi-lanza-manual-de-an%C3%A1lisis-de-vibraciones>
- POWER-MI. (28 de Mayo de 2023). *Power-mi*. Obtenido de <https://power-mi.com/es/content/componentes-y-frecuencias-de-fallo-de-un-rodamiento>
- RAE. (29 de Julio de 2001). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <https://www.rae.es/drae2001/riesgo>
- Saint Gobain España*. (29 de Abril de 2023). Obtenido de Saint Gobain España: <https://www.saint-gobain.es/>
- SKF. (Enero de 2019). *SKF*. Obtenido de https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf
- SKF. (12 de Junio de 2023). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics/components-and-materials>
- TCF. (2019). *Centrifugal fans operating manual*. Průmyslová 920, 383 01 Prachatice, Czech Republic: TCF Vzduchotechnika, s.r.o.
- TCF. (2019). *TCF Twin City Fan*. Obtenido de Centrifugal Fans IM 955-1: <http://www.tcf.cz/wp-content/uploads/2020/05/Centrifugal-Fans-IM-995-1.pdf>

TCF. (13 de Agosto de 2023). *TCF Twin City Fan Europe*. Obtenido de <http://www.tcf.cz/products/radialni-ventilatory/bc-sw/>

ue SYSTEMS IN. (7 de Mayo de 2023). *ue SYSTEMS IN*. Obtenido de <https://www.uesystems.com/es/product/ultraprobe-3000/>

Universidade da Coruña. (12 de Junio de 2023). *UDC*. Obtenido de <https://lim.ii.udc.es/docencia/iin-manten/tema8.pdf>

Vibromontajes. (10 de Agosto de 2023). Obtenido de <https://vibromontajes.com/en-que-consiste-el-mantenimiento-4-0-y-cuales-son-sus-beneficios/>

VibroMontajes. (11 de Mayo de 2023). *VibroMontajes*. Obtenido de (<https://vibromontajes.com/en-que-consiste-el-mantenimiento-4-0-y-cuales-son-sus-beneficios/#:~:text=El%20mantenimiento%204.0%20busca%20implementar,que%20ocurra%20un%20fallo%20catastr%C3%B3fico>)

VISION ONLINE. (12 de Abril de 2020). *VISION ONLINE*. Obtenido de <https://www.visiononline.es/news/termografia/termografia-basics/>

White, G. (1990-2010). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. 300 TradeCenter, Suite 4610, Woburn, MA 01801 U.S.A: AZIMA DLI.

Wikipedia. (20 de julio de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Curva_de_la_ba%C3%B1era