



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**Máster en Ingeniería del Mantenimiento**

# **IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN LA PLANTA DE MONTAJE DE FORD ESPAÑA S.L.**

**Autor:** D. Javier de la Peña Ramírez

**Director:** Dr. D. José Miguel Salavert Fernández  
Departamento de Máquinas y Motores  
Térmicos

Valencia, junio 2017

## **Agradecimientos.**

Quisiera agradecer en primer lugar a José Miguel Salavert Fernández por haberme dado la oportunidad de realizar éste Trabajo Final de Máster y sobre todo por esa motivación dada durante todos estos 8 meses en los cuales ha habido altibajos y que gracias a él han sido más llevaderos.

En segundo lugar, quisiera agradecer tanto a Vicente Ferrando Chulvi, Rafa Fernández Orquín y José Luis Tabares Seisedos por darme la gran oportunidad y confiar en mí para la realización de éste Trabajo Final de Máster en una compañía tan grande y exigente como es Ford España. No quisiera dejar pasar la oportunidad de dar las gracias a Agustín Prats por su ayuda desinteresada durante mis inicios en Ford, ya que sin ella la realización de este trabajo hubiera sido si cabe más complicada.

También merecen ser citados todos mis profesores del Máster de Ingeniería de Mantenimiento, Vicente Macián, Bernardo Tormo, Antonio Besa, etc. por todos esos conocimientos que me han aportado en el campo del mantenimiento.

Quisiera agradecer también a mi familia y a mis amigos por todo el apoyo incondicional durante éstos últimos meses, sí a vosotros papá, mamá, tete, Jaime, Marco, Carlitos, Pablo, Romo, Lucía, Inma, gracias por aguantar mis charlas insufribles en temas que probablemente no os interesaban y por estar al pie del cañón.

Para terminar, quisiera dar las gracias a esa persona que ha sido capaz de levantarme el ánimo y provocarme una sonrisa en los peores momentos. Por todo el apoyo que me has dado y todo lo que has tenido que soportar, gracias Gema.

## Índice

1. Descripción de la empresa. ....	4
1.1. Ford España. ....	4
1.2. Factoría Ford Almussafes. ....	5
1.3. Planta de montaje Ford Almussafes. ....	6
2. Alcance del trabajo. ....	10
3. Objetivos. ....	11
4. Antecedentes y estudio de la situación actual. ....	11
5. Plan de trabajo.....	14
5.1. Estudio de los equipos a monitorizar. ....	14
5.2. Descripción de los equipos a monitorizar. ....	16
5.2.1. Descripción extractores. ....	16
5.2.2. Descripción elevadores. ....	17
5.2.3. Descripción rampa Foam.....	18
5.2.4. Descripción Water Test.....	19
5.2.5. Descripción Buy off chasis. ....	21
5.2.6. Descripción puertas.....	22
5.3. Monitorizado y diagnóstico.....	23
5.4. Compilación de datos. ....	28
5.4.1. Frecuencias características extractores. ....	29
5.4.2. Frecuencias características elevadores.....	30
5.4.3. Frecuencias características Foam. ....	32
5.4.4. Frecuencias características Water Test. ....	33
5.4.5. Frecuencias características Buy off chasis.....	34
5.4.6. Frecuencias características puertas. ....	35
5.5. Validación del sistema de medición y monitorizado. ....	37
5.6. Resultados obtenidos. ....	46
5.6.1. Identificación de las frecuencias características en extractores. ....	47
5.6.2. Identificación frecuencias características en elevadores. ....	49
5.6.3. Identificación frecuencias características Foam. ....	51
5.6.4. Identificación frecuencias características Water Test. ....	54
5.6.5. Identificación frecuencias características Buy off chasis.....	55
5.6.6. Identificación frecuencias características puertas. ....	59
5.7. Establecer baselines. ....	61

5.8. Seguimiento de los equipos monitorizados.....	64
5.8.1. Seguimiento extractores.....	65
5.8.2. Seguimiento elevadores.....	79
5.8.3. Seguimiento Foam.....	83
5.8.4. Seguimiento Water Test.....	87
5.8.5. Seguimiento Buy off chasis.....	93
5.8.6. Seguimiento puertas.....	99
6. Creación de Job Plan.....	107
7. Creación de checklists e informes 3P.....	109
7.1. Checklist.....	109
7.2. Informe 3P.....	111
8. Presupuesto.....	112
8.1. Presupuesto general.....	112
8.2. Presupuesto y mediciones.....	113
8.2.1. Capítulo 001. Identificación de equipos críticos.....	113
8.2.2. Capítulo 002. Estudio de equipos.....	113
8.2.3. Capítulo 003. Identificación ubicación acelerómetros.....	113
8.2.4. Capítulo 004. Medición e identificación de frecuencias.....	114
8.2.5. Capítulo 005. Seguimiento de equipos y baselines.....	114
8.2.6. Capítulo 006. Establecer frecuencias de monitorizado.....	114
8.2.7. Capítulo 007. Creación JP, checklist e informe 3P.....	115
9. Conclusiones y trabajos futuros.....	115
10. Bibliografía.....	117

## 1. Descripción de la empresa.

En este capítulo se va a presentar el entorno en el que se ha realizado este Trabajo Final de Máster, la empresa Ford España S.L., perteneciente a la multinacional Ford Motor Company, más concretamente en el Departamento de mantenimiento de la Planta de Montaje Final de la factoría de Valencia.

El capítulo comienza con una breve introducción a la historia de la empresa y de la factoría y continúa con la descripción de la Planta de Montaje.

### 1.1. Ford España.

En 1907 se abrió en España una de las primeras agencias de ventas de la marca en Europa, ya que en aquel año Ford disponía de dos distribuidores, el principal en Alemania. Esta oficina española vendió cinco coches el primer año y 190 el segundo.

En mayo de 1919 se autorizó el establecimiento de división en España, eligiéndose Cádiz por su puerto, su excelente localización geográfica y su potencial para obtener mano de obra. El primer Director de Ford en España fue el argentino Arthur Lloyd Davies, que instaló sus oficinas en una antigua bodega gaditana.

Sin embargo, la factoría de Cádiz no duraría mucho en este emplazamiento. A pesar de la elevada inversión inicial que se realizó, las huelgas y las elevadas tarifas de producción, propiciaron una suspensión temporal de la fabricación a partir de Julio de 1921.



**Figura 1.** Ford T producidos en la factoría de Cádiz.

En marzo de 1923 la firma española se trasladó a Barcelona y allí se siguió el montaje de coches con un éxito variable. En junio de 1930 el Gobierno decidió incrementar los impuestos y Ford cerró su planta de Barcelona como medida de protesta. España era el país en el que resultaba más caro fabricar un coche. Sin embargo, gracias a las gestiones de Jenkins, la situación económica se invirtió y en 1932 Ford Ibérica consiguió beneficios de 624.000 dólares, los mejores de Europa, excluida Inglaterra.

Los brillantes resultados motivaron que el 5 de mayo de 1936 los directivos de Ford Ibérica determinaran levantar una planta de fabricación en Barcelona. Sin embargo el estallido de la Guerra Civil Española propició una enorme cantidad de pérdidas y se decide cancelar el proyecto.

En 1973, se anuncia públicamente la decisión de Ford de fabricar coches en España, eligiendo como sede para realizar la construcción de la nueva planta la localidad de **Almussafes (Valencia)**. En septiembre del mismo año se crea Ford España S.L. cuyo primer presidente fue Claudio Boada.

En Diciembre se anuncia la fabricación en la planta del nuevo modelo de Ford llamado Ford Fiesta, y con ello se decide construir una planta de motores, junto a la nueva planta ya proyectada.

El 26 de marzo de 1974 Henry Ford II viaja hasta Almussafes y coloca la primera piedra de la futura factoría.



**Figura 2.** Visita del Rey Juan Carlos I a la Factoría de Almussafes en 1976.

## **1.2. Factoría Ford Almussafes.**

La factoría de Ford España está situada en el kilómetro 40,5 de la N-320, en el término municipal de Almussafes (Valencia). Almussafes es una pequeña población situada a unos 20 km. de Valencia, ciudad que, incluyendo su área metropolitana, sobrepasa el millón doscientos mil de habitantes. Uno de los motivos por los que se eligió la zona de Valencia es su economía, de las más dinámicas de España y a su gran capacidad exportadora.

Almussafes está unida por ferrocarril con Valencia, a su aeropuerto internacional y a su puerto marítimo, uno de los de mayor tránsito mercantil europeo. Comunicada mediante la autopista A-7 del Mediterráneo, que va desde Murcia hasta la frontera franco-española, a toda Europa, y conectada a Madrid por la N-III, Almussafes está situada en un lugar estratégico en cuanto a comunicaciones se refiere, factor también favorable para la instalación de esta multinacional norteamericana.

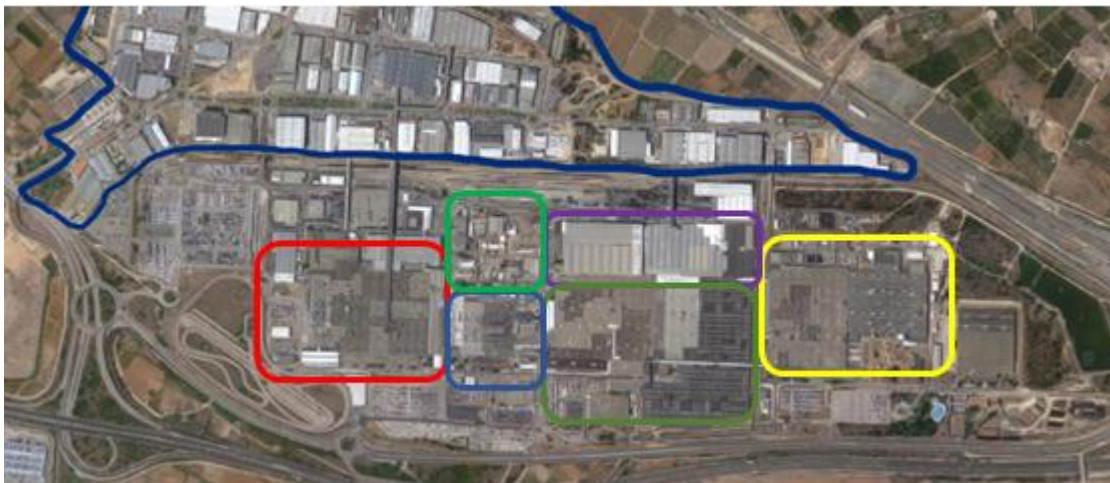
Como ya se ha comentado, en Diciembre de 1973 Ford Motor Company adquirió los terrenos de Almussafes y en 1974 comenzó la construcción de la

factoría. Aunque fue el 22 de Septiembre 1975 cuando se fabricó el primer motor, no fue hasta el 18 de Octubre de 1976 cuando salió de producción el primer Ford Fiesta.

Desde ese día la Factoría ha ido incrementando su producción desde los iniciales 495 en 1976 hasta los actuales 1945 vehículos/día. Entre los modelos fabricados se encuentran C520 (Kuga), C391-FC, CD391-HC y CD391-FF (Mondeo), V408 (Transit), CD390 (Galaxy) y CD539 (SMax).

La factoría **Ford de Almussafes** está dividida en **cinco grandes áreas**: Prensas, Carrocerías (formada por 3 plantas), Pinturas y Montaje final pertenecientes a Ford Valencia V.O. y la Planta de Motores que se gestiona por separado. Se procede a realizar una breve presentación de lo que en cada una de ellas se realiza.

El complejo industrial de Ford Almussafes está compuesto principalmente por Ford Valencia V.O. y la Planta de motores, pero además alrededor de la empresa existen numerosas compañías externas que proveen de equipos y servicios a Ford. Estas empresas se aglutinan en los alrededores de Ford y algunas tienen comunicación directa con la multinacional estadounidense por medio de túneles y puentes.



**Figura 3.** Vista aérea del complejo industrial de Ford Almussafes.

**Rojo Verde Azul Morado Naranja Amarillo Azul**

Montaje Motriz Pinturas Prensas Carrocerías Motores Proveedores

### **1.3. Planta de montaje Ford Almussafes.**

A continuación se va a describir en profundidad la planta de montaje debido a que es donde es el lugar donde se ha desarrollado el TFM. En primer lugar se describe el funcionamiento general de la planta y las áreas en las que se divide y posteriormente se va a hablar del departamento de mantenimiento y en concreto el puesto de trabajo derivado de este TFM.

La Planta de Montaje es el lugar dedicado a ensamblar todos los componentes del coche en la carrocería. Motor, asientos, tapicería,

salpicaderos, ruedas... incontables componentes que van configurando cada vehículo individualmente. Lo primero que se va a presentar es una serie de datos relativos al funcionamiento de esta planta, todos ellos recogidos en la tabla 1.

Dato	Valor
<b>Superficie</b>	94.000 m <sup>2</sup>
<b>Trabajadores</b>	3.000
<b>Coches/día</b>	1945

**Tabla 1.** Datos de la planta de montaje.

Como vemos, un total de 3.000 trabajadores producen 1945 coches diariamente. Se trata de una de las tasas de producción más elevadas del mundo y la mejor de Ford Europa.

La Planta de Montaje recibe las carrocerías directamente de Body 2 nada más entrar en la Planta de Montaje Final, las carrocerías reciben el fichero de demanda, que especifica los elementos que se han de montar en cada carrocería, en función de las peticiones de cada cliente, mediante un sistema codificado.

Montaje se puede dividir en 7 zonas principales:

**Pretrim.** Se trata de una nave que está fuera de la planta de montaje que recibe determinadas carrocerías a las que se les tiene que hacer un premontaje. En ella sobre todo, se colocan los techos solares de los coches y las ventanas traseras de las furgonetas.

**Mezzanine.** Recibe las carrocerías provenientes de un almacén de carrocerías de Body. Las organiza y las secuencia bajo un criterio de mezcla apropiado para obtener el mejor balance de carga de trabajo posible entre los sistemas A y B de Trim. Además, en este entresuelo, lo primero que se hace es desensamblar las puertas de la carrocería para acceder con mayor facilidad al habitáculo interior de manera que el interior del coche y las puertas se montan por separado.

**Kitting.** Es una zona adherida a la planta en la que se preparan todos los "kits" con todos los componentes que se deben montar en el coche en cada punto. Recibe los componentes de los proveedores por medio de camiones y dispone de un almacén para organizarlos. Los operarios conocen los ficheros de demanda y crean los kits en concordancia con estos ficheros. Los kits de piezas y equipos, son transportados por medio de carros hasta los puestos en los que se van a montar.

**Líneas de Trim.** La carrocería y las puertas por separado comienzan a vestirse con todos sus componentes en Mezzanine y continúan en las líneas de Trim. En ellas se realizan todos los premontajes iniciales: circuito eléctrico,



circuito de calefacción, asientos, guarnecido interior, volante, airbag, conjunto del salpicadero, cristales, faros y puertas.



**Figura 4.** Línea de Trim.

En estas líneas, la carrocería va sobre patines deslizándose por líneas, transfers y elevadores, durante todo su camino se va equipando hasta que finalmente las puertas son de nuevo ensambladas a la carrocería. Estas líneas se encuentran duplicadas, Trim A y Trim B realizan las mismas tareas y trabajan en paralelo.

**Descarga/Deskid.** Es un punto crítico de la planta de montaje dado que no está duplicado. En él, las carrocerías se liberan de los patines para ser colgadas en el EMS (Electrified Monorail System), un transportador aéreo que se encarga de conducir las carrocerías en altura con el fin de facilitar las operaciones de montaje a los operarios.

**Líneas de Chasis.** Son las líneas en las que se montan las partes mecánicas o motrices del coche, a lo largo de estas el coche está suspendido para facilitar la tarea. Uno de los momentos más críticos en el montaje, es el instante en el que las suspensiones, ejes, transmisión y el conjunto del motor, son ensamblados en cada unidad, éstos llegan por un carrusel paralelo en el mismo orden de pedido que cada carrocería. Esta operación reflejada en la figura 5 se realiza en torno a los 50 segundos por unidad. El montaje se lleva a cabo por la parte inferior de la carrocería en la estación denominada *Decking*.



**Figura 5.** Línea de chasis.

Una vez se ha introducido el motor en el coche, la línea se duplica y se trabaja en paralelo en las líneas Chasis A y Chasis B. A lo largo de Chasis, se van incorporando al vehículo elementos como la columna de dirección, circuitos de freno y dirección, el radiador, los depósitos de líquidos (refrigerante con anticongelante, líquido de frenos o limpiacristales), los pedales, la consola de la palanca de la caja de cambios, etcétera. Posteriormente se realiza el montaje de los discos de freno y, algo más adelante, el de las pastillas de freno y todo el conjunto del tubo de escape.

**Policonroles.** Tras una inicial alineación de la dirección, las unidades pasan al interior de unas cabinas en las cuales se lleva a cabo la prueba de rodillos. En ellas se chequean aspectos como la aceleración, el comportamiento del motor, el cambio, los frenos o la geometría de la dirección. Luego pasan a dos líneas en donde se realiza una alineación automática de los faros.

Todas las unidades pasan por unas líneas en las que se hace el chequeo de ralentí, se monta el aire acondicionado y se comprueba la emisión de gases para ajustar cada unidad a la legislación vigente en su país de destino. Al final de esta línea, con la ayuda de unos ordenadores, se realiza un completo test eléctrico a cada unidad y por último una prueba de estanqueidad en el Water Test (Figura 6).



**Figura 6.** Prueba de estanqueidad en Water test.

Este Trabajo Final de Máster ha sido desarrollado en el departamento de mantenimiento de la planta de montaje. En él trabajan; los operarios de mantenimiento, los jefes de equipo, el material planner, el maintenance planner, los process coach, el ingeniero de diseño y el encargado de mantenimiento en orden inverso de jerarquía.

El proyecto se encuentra dentro de un programa de becas Ford en colaboración con la UPV. Por lo tanto el puesto de trabajo dentro del departamento de mantenimiento es el de becario. Y las tareas a desarrollar son las siguientes:

- Implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones.
- Optimización del tiempo dedicado a cada tarea y planificación de la realización de operaciones de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones.

## **2. Alcance del trabajo.**

Este trabajo abordará la correcta implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L, consistente en el estudio de los espectros de frecuencia de los equipos, que determinarán el estado en el cual se encuentran los mismos y sus componentes. Para ello, se realizará un estudio detallado de toda la planta, así como de los equipos disponibles de modo que seamos conocedores de a cuales sería conveniente aplicar análisis de vibraciones, utilizando herramientas que nos ayuden a determinar la criticidad de los equipos dentro del proceso productivo. Con todo esto, se pretende aumentar, principalmente, la disponibilidad de los activos,

aprovechar al máximo la vida útil de los componentes que los constituyen, reduciendo la carga de mantenimiento correctivo y preventivo.

Así pues en este trabajo se describe la puesta en marcha e implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones motivado por un objetivo global marcado por el MOS (Maintenance Operation System), el estándar global de mantenimiento de Ford, para la detección de fallos en rodamientos, ejes, motores o engranajes.

### **3. Objetivos.**

El objetivo principal de este trabajo es la **correcta implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones**. A partir de este objetivo principal se derivan otros objetivos como:

- Reducción de la carga de mantenimiento preventivo y correctivo en un 30%.
- Aprovechar al máximo posible la vida útil de los componentes de los activos de un 60% a un 95%, especialmente rodamientos y motores.
- Evitar paradas de producción (este punto se explica de forma más detallada en el punto 5.1. Estudio de los equipos a monitorizar)

En definitiva, este proyecto, sienta las bases para que la Planta de Montaje de Ford Almussafes de un salto cualitativo en cuanto a la aplicación del mantenimiento predictivo se refiere y se ponga a la vanguardia de todas las plantas de la empresa. Para ello es necesario reducir la abundante carga de mantenimiento preventivo y correctivo aplicando las técnicas de mantenimiento predictivo de una manera novedosa e ingeniosa y así optimizar los recursos de la planta.

### **4. Antecedentes y estudio de la situación actual.**

El Departamento de Mantenimiento de la planta de montaje de Ford España S.L lleva varios años buscando lograr el objetivo que en este documento se presenta, motivado por un objetivo global marcado por el MOS (estándar global de mantenimiento de Ford), como se ha comentado en el punto 2.

El estándar marcó en 2012 las primeras directrices sobre como rebajar la carga de trabajo de mantenimiento correctivo y preventivo y aumentar la de predictivo. En esa fecha se iniciaron las primeras investigaciones sobre las posibilidades de implantación de nuevas técnicas de mantenimiento predictivo en planta.

Los becarios de los años 2014, 2015 y 2016 se dedicaron al estudio en exclusiva de las posibilidades de la cámara termográfica y ultrasonidos. Se confeccionaron las primeras rutas de inspección, las cuales ya están implantadas.

Actualmente la planta de Ford montaje tiene implantadas técnicas de mantenimiento predictivo como son la termografía, para el control de temperaturas anormales provocadas por un excesivo desgaste, daños en algún componente, una pobre lubricación o elementos sueltos y así poder

anticiparse a un posible fallo, y ultrasonidos, esta técnica es utilizada para la detección de fugas de aire en elementos neumáticos como cilindros o topes; esta técnica también se utiliza para asegurarse de que se hace un correcto engrase de componentes y así evitar el exceso o la falta de lubricación, ambas perjudiciales para los equipos. Ésta técnica también era empleada para la detección de anomalías en rodamientos y cojinetes, tales como roturas o grietas, pero se observó que había deficiencias en la eficacia de las mediciones.

Así pues en este proyecto se describe la puesta en marcha e implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones para la detección de fallos en rodamientos, ejes, motores o engranajes, como también se ha comentado en el punto 2.

Comentar que el mantenimiento predictivo se aplica en determinadas situaciones, para saber si es necesario o pertinente aplicarlo se puede seguir el siguiente flujograma (Figura 7) y que se pone en práctica en el siguiente punto.

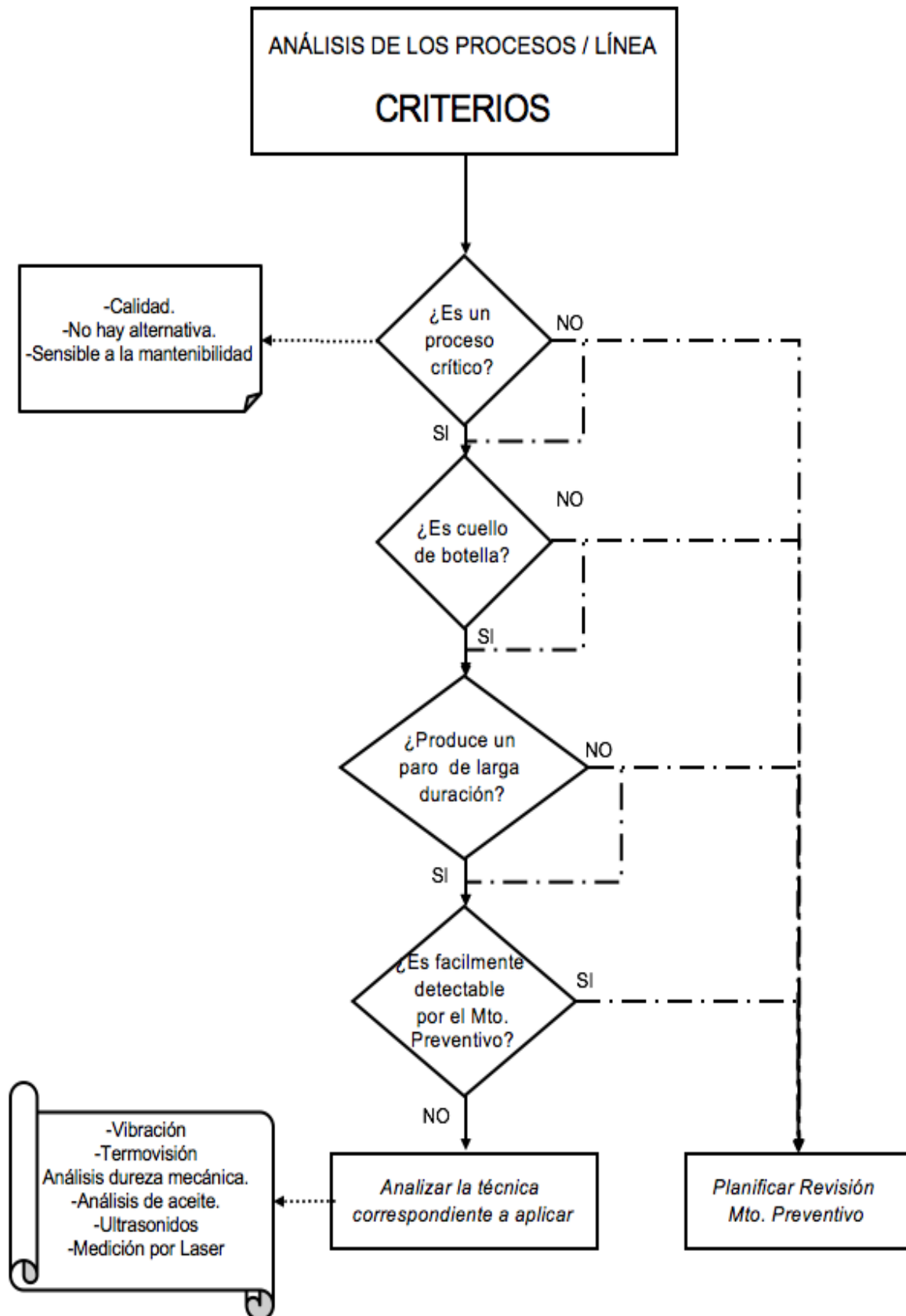
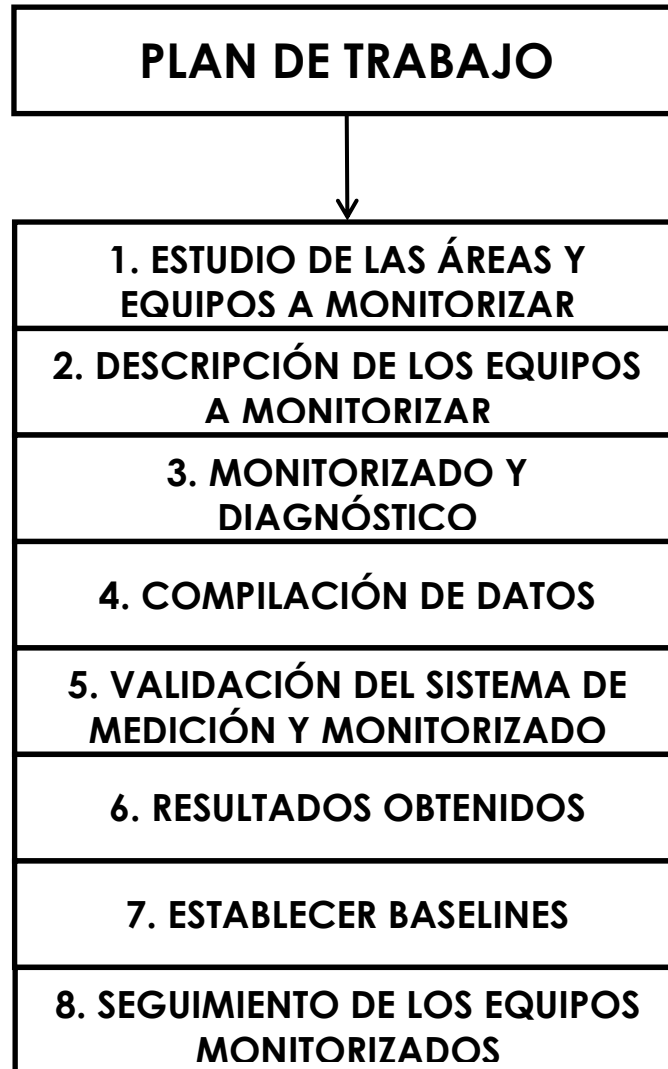


Figura 7. Flujograma decisiones sobre mantenimiento predictivo.

## 5. Plan de trabajo.

En este punto se abordarán todas las tareas llevadas a cabo para la implantación de la técnica de análisis de vibraciones, desde el estudio de los equipos hasta la creación de planes de trabajo.



### 5.1. Estudio de los equipos a monitorizar.

La planta de montaje de Ford se compone de un total de 6161 equipos relacionados con el proceso productivo, en este Trabajo Final de Máster se va a abordar el estudio y monitorizado de un total de 16 equipos lo que supone un 0,3% del total.

A la hora de priorizar los equipos que se van a monitorizar, se va a tener en cuenta tres parámetros marcados por el MOS (estándar global de mantenimiento de Ford) que son:

- Seguridad, salud y medio ambiente.
- Calidad.
- Producción.

Y su incidencia en el proceso productivo ya que por ellos pasa el 100% de la producción, considerándose las líneas donde están situados estos equipos cuellos de botella.

A continuación se explica de forma detallada el porqué de la selección de cada uno de nuestros equipos y en qué parámetro nos hemos apoyado.

En primer lugar, se van a monitorizar los **extractores** encargados de la extracción de gases del escape de los vehículos, situados en la línea de policontrols donde se realizan los test de potencia de los vehículos, ya que suponen un peligro para la **salud** de las personas si se produjera un fallo en dichos equipos, lo que provocaría una parada en la cadena producción al no ser aceptables estas condiciones de trabajo.

En segundo lugar, se ha optado por monitorizar equipos que interviene en el proceso de **calidad** como son los **motores** que accionan las bombas que se encargan de rociar agua sobre los vehículos en el **Water Test**, con tal de verificar la total estanqueidad de los mismos, ya que ningún vehículo puede ser puesto en el mercado sin haber superado dicho test. Su fallo provocaría una demora en la entrega del vehículo al cliente.

Por último, se van a monitorizar aquellos equipos cuyo fallo está relacionado únicamente con paradas en la cadena de **producción** y no disponen de un "pulmón" que permita la realización de una acción correctora sin que la producción se vea afectada, estos equipos son:

- Elevadores de carrocerías de vehículos.
- Motores de transporte de puertas.
- Motores Buy off de chasis.
- Motores Foam encargados del transporte del relleno (espuma) de los asientos.

En la siguiente tabla se especifica el tiempo que se emplea para la puesta en marcha de cada equipo después de una avería y la pérdida de producción que supondría:

	Tiempo corrección (min)	Pérdida producción en nº de vehículos
Extractor	25	33
Elevador	10	13
Rampa foam	15	20
Buy off	15	20
Puertas	20	26

**Tabla 2.** Tiempos de corrección y pérdida de producción.



## 5.2. Descripción de los equipos a monitorizar.

En este apartado se va a proceder a la descripción de los equipos que se van a monitorizar debido a su criticidad dentro del proceso productivo, y que en puntos sucesivos (apartado 5.4) se irán especificando características de los elementos de dichos equipos.

A la hora de realizar análisis de vibraciones en equipos, hay que tener en cuenta los elementos que lo componen tales como: rodamientos, ejes, correas, bombas, ventiladores, cajas reductoras, velocidades de giro, etc., cada uno de ellos tendrá una frecuencia característica que aparecerá en el espectro, ayudándonos a determinar el fallo del equipo y que se determinarán en el apartado 5.4.

En este punto también se analizará la ubicación de los acelerómetros con tal de obtener unos resultados fiables, para ello se tendrá en cuenta principalmente donde se encuentran los rodamientos de cada componente de los equipos, ya que por ellos es por donde mejor se van a transmitir las vibraciones.

### 5.2.1. Descripción extractores.

En primer lugar comenzaremos con la descripción de los **extractores** que se encuentran en la terraza y que se encargan de la extracción de humos procedentes del escape de los vehículos.

Este equipo se compone de un motor, cuyo eje (conductor), transmite el movimiento al eje conducido, el cual está soportado por dos rodamientos, a través de una correa trapezoidal, obteniendo así una disminución de la velocidad de entrada.



**Figura 8.** Elementos extractor terraza.

Una vez identificados los elementos del equipo, hay que determinar las ubicaciones más adecuadas de los acelerómetros (Figura 9), que como se

ha dicho anteriormente en el punto 5.2 será lo más cerca posible de los rodamientos de cada elemento.

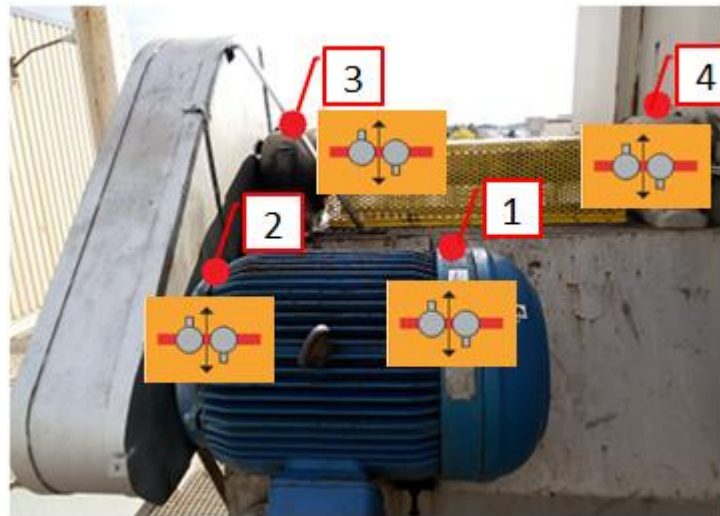


Figura 9. Ubicación acelerómetros en extractor.

### 5.2.2. Descripción elevadores.

En cuanto a los **elevadores**, éstos tienen distintas finalidades dependiendo de su ubicación, pero principalmente se encargan de pasar de un nivel a otro las carrocerías de los vehículos.

Este equipo se compone de un motor con **variador** de velocidad que va acoplado a una caja de engranajes de dos velocidades, consiguiendo una disminución de la velocidad de giro del motor. El movimiento es transmitido al eje, el cual está soportado por dos rodamientos, que es el encargado de la subida y bajada del elevador.

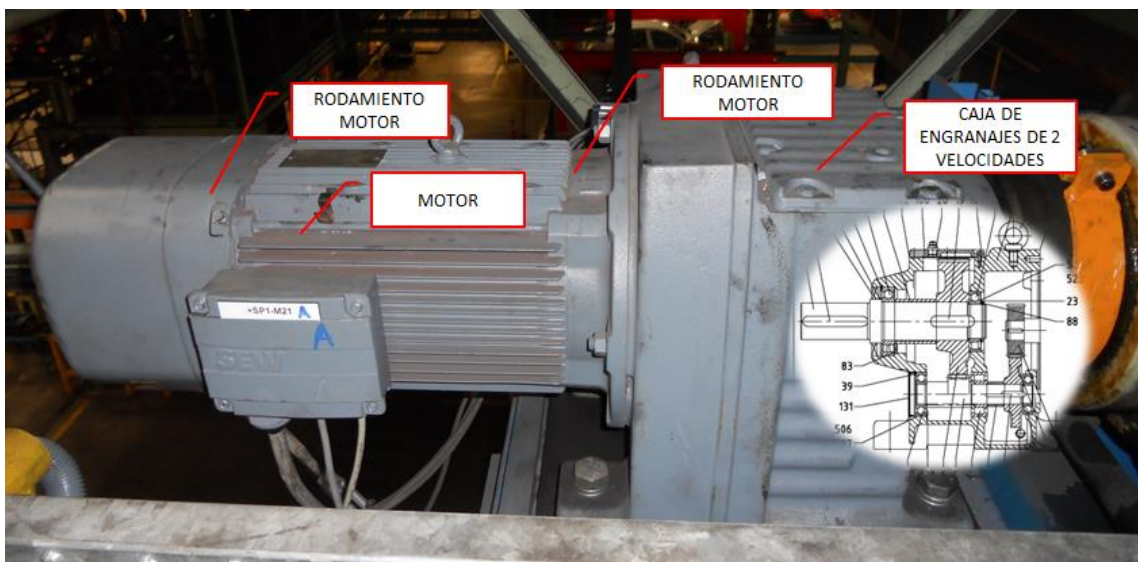




Figura 10. Elementos elevadores.

Atendiendo a los elementos que componen el elevador, las ubicaciones adecuadas de los acelerómetros (Figura 11) serán las siguientes:

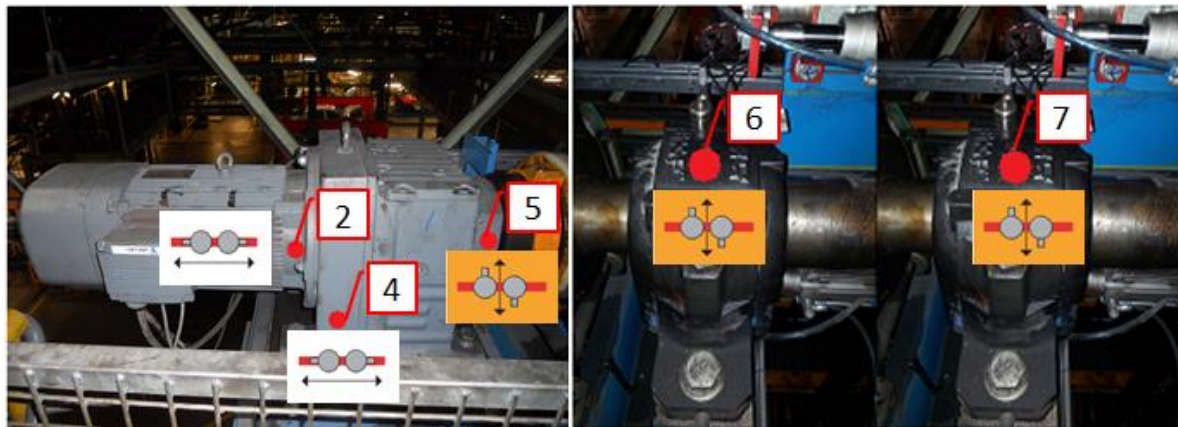


Figura 11. Ubicación acelerómetros en elevadores.

### 5.2.3. Descripción rampa Foam.

Los motores de las rampas de foam se encargan de la distribución de la espuma ya moldeada que sirve de relleno para los asientos de los vehículos.

Estos motores tienen **variador** de frecuencia y van acoplados a una caja de engranajes de tres velocidades, obteniendo velocidades de salida muy reducidas.

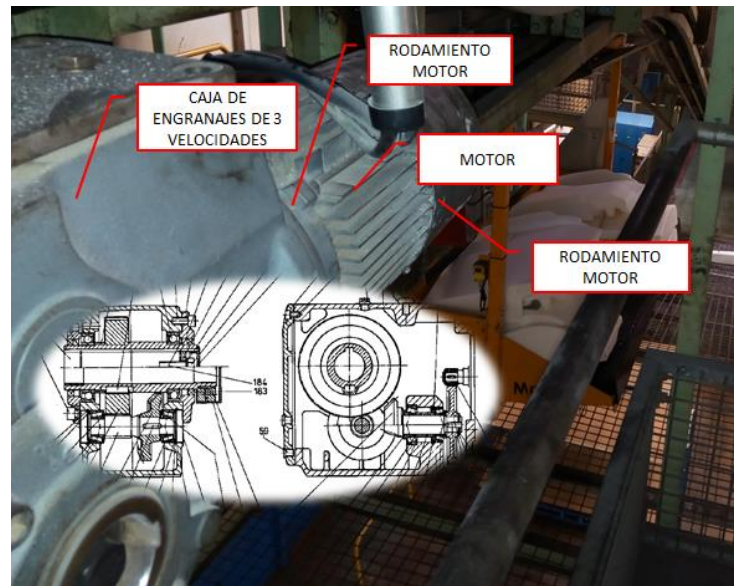


Figura 12. Elementos rampa foam.

Teniendo en cuenta la disposición de los rodamientos de los elementos que componen el equipo, las ubicaciones adecuadas de los acelerómetros (Figura 13) en este equipo serán:

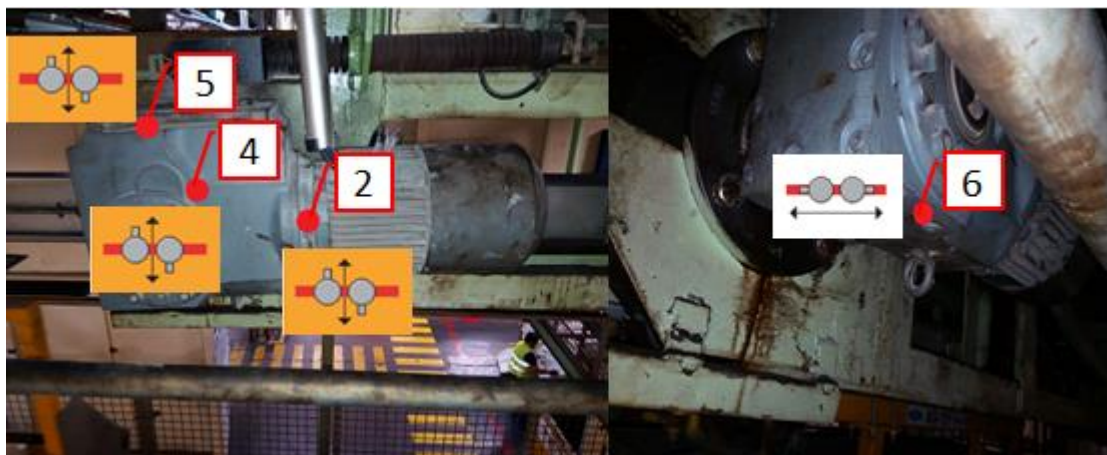
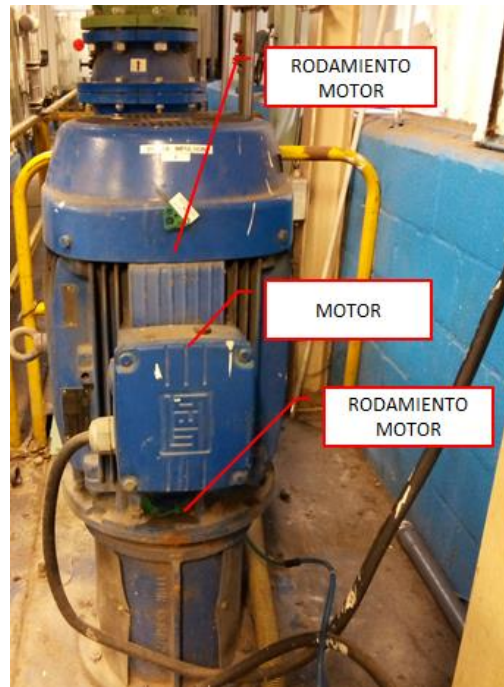


Figura 13. Ubicación acelerómetros foam.

#### 5.2.4. Descripción Water Test.

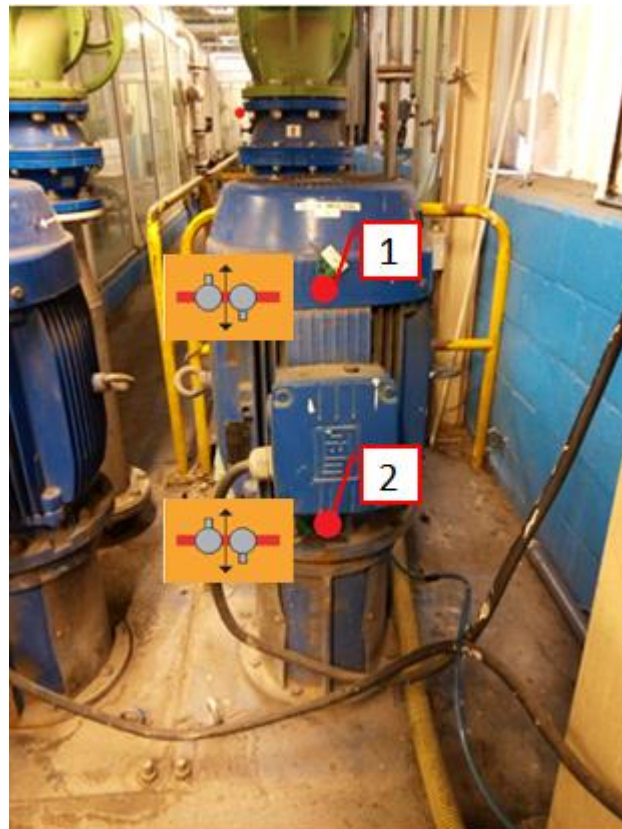
Los motores de Water Test se encargan de controlar el caudal de agua que es impulsado por las bombas utilizadas en el test de estanqueidad de líquidos de los vehículos. Esto se consigue mediante la instalación de **variadores** de velocidad.

Estos motores van conectados a bombas centrífugas mediante un eje, estas bombas se encuentran sumergidas en un foso con el agua que se va a rociar en el box donde se realiza la prueba de estanqueidad, por lo tanto en este equipo solo se podrá estudiar el motor.



**Figura 14.** Elementos water test.

Así pues, la identificación de los rodamientos en el motor es sencilla y la ubicación adecuada de los acelerómetros (Figura 15) será:



**Figura 15.** Ubicación acelerómetros Water Test.

### 5.2.5. Descripción Buy off chasis.

La línea de Buy off de chasis se encarga del transporte de vehículos hacia la línea de policonroles, una vez montados todos los elementos del chasis (descritos en el apartado 1.3).

Este equipo se compone de un motor con **variador** de velocidad que va unido a una caja de engranajes de tres velocidades, consiguiendo una disminución de la velocidad de giro del motor. El movimiento es transmitido al eje, el cual está soportado por dos rodamientos, que es el encargado de transmitir el movimiento a la cinta que transporta los vehículos.

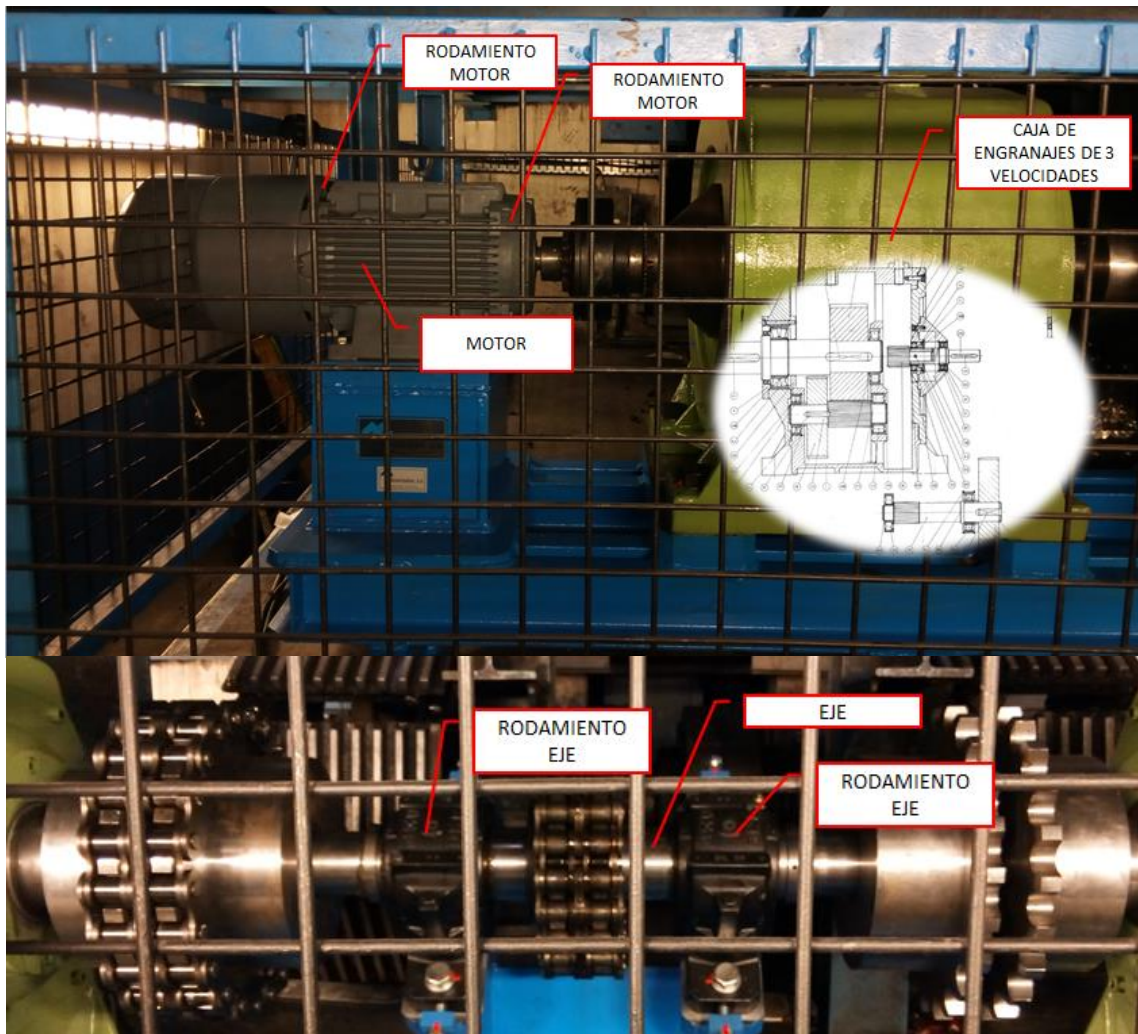


Figura 16. Elementos buy off chasis.

Teniendo en cuenta la disposición de los rodamientos de los elementos que componen el equipo, las ubicaciones adecuadas de los acelerómetros (Figura 17) en este equipo serán:

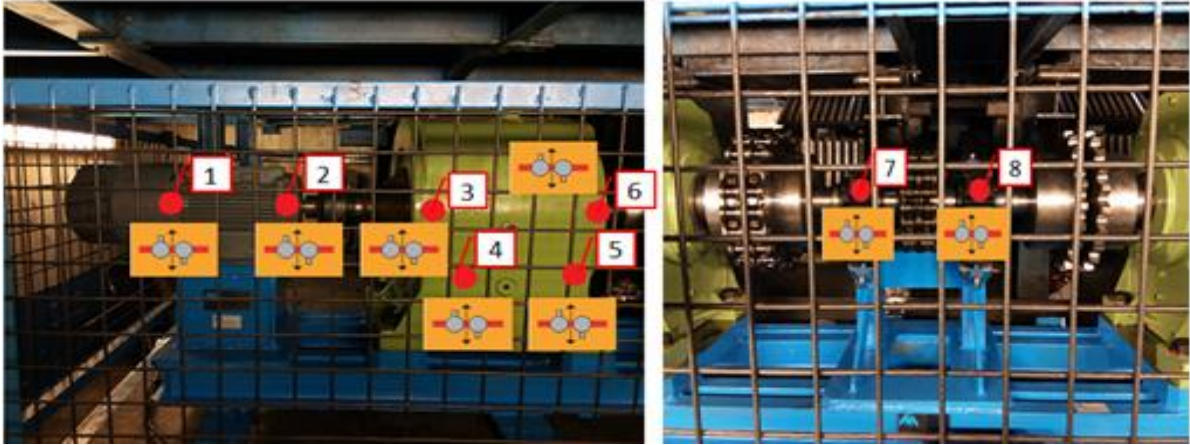
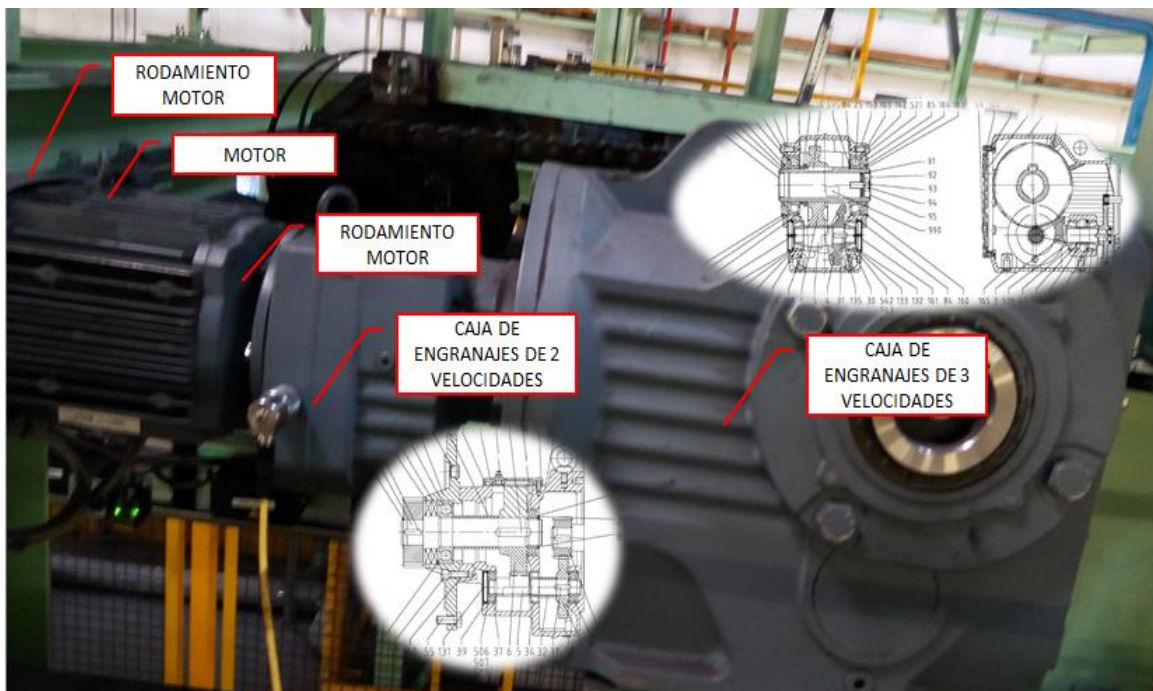


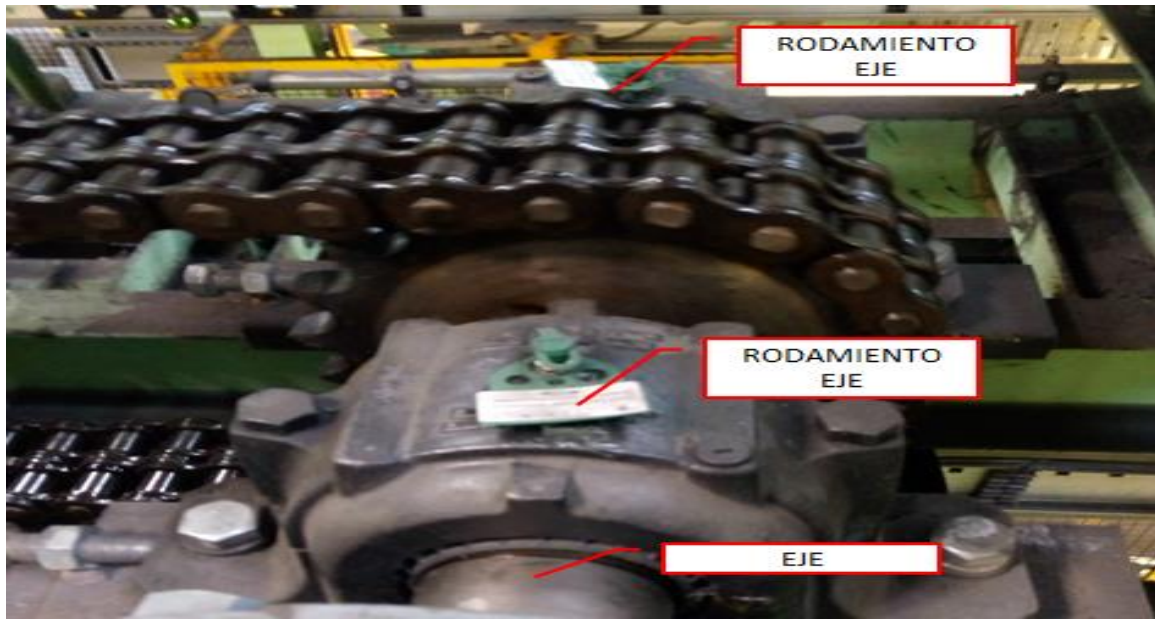
Figura 17. Ubicación acelerómetros buy off.

### 5.2.6. Descripción puertas.

Por último, los motores de puertas son los encargados de transportar las puertas de los distintos modelos de los vehículos.

Éstos motores llevan **variador** de velocidad y están acoplados a dos cajas de engranajes, la primera de ellas de dos velocidades y la siguiente de tres velocidades, consiguiendo una reducción de velocidad alfísima.





**Figura 18.** Elementos puertas.

La ubicación adecuada de los acelerómetros (Figura 19) será la siguiente:



**Figura 19.** Ubicación acelerómetros puertas.

### 5.3. Monitorizado y diagnóstico.

Para el monitorizado de síntomas y diagnóstico de fallos en los equipos estudiados se hará uso del analizador de vibraciones Fluke 810. Los fallos que se pretenden identificar estarán relacionados con los elementos de los equipos anteriormente descritos en el apartado 5.2, tales como:

- Rodamientos en motores, ejes o cajas de engranajes: desgaste de la pista fija, defecto en los elementos rodantes y deterioro de la jaula.
- Engranajes de las cajas de cambios: desgaste, juego, excentricidad y desalineación.
- Correas de transmisión: desgaste, desalineación y desequilibrio.
- Ejes: desequilibrios, desalineación y holguras.



- Motores: cortocircuitos en el estator.

Será necesario recoger la máxima cantidad de información posible a pie de máquina como **velocidades de giro de ejes, motores, número de dientes de engranajes, modelos de rodamientos, examinar la cimentación y el anclaje de la máquina a la misma**, etc., pues resultará imposible poder realizar ningún tipo de diagnóstico si no se conoce lo que hay en el interior de la carcasa (apartados 5.2 y 5.4), por lo tanto hay que estar familiarizado con la máquina.

Una vez recogidos los datos (velocidades de giro de ejes, motores, número de dientes de engranajes, modelos de rodamientos, etc.) se debe realizar la identificación teórica de frecuencias características de vibración de los distintos elementos (rodamientos, engranajes, motores, etc.) que componen la máquina (apartado 5.4).

Se determinan los puntos, direcciones de medida de vibraciones (axial, radial, tangencial) (Figura 20) y orientación de los acelerómetros (paralelo o perpendicular al eje de giro) (Figura 21), siendo conveniente el marcado de dichos puntos sobre la máquina y así asegurar la repetitividad de las medidas. En el apartado 5.2 se muestra los puntos y orientaciones de los acelerómetros en cada una de los equipos.

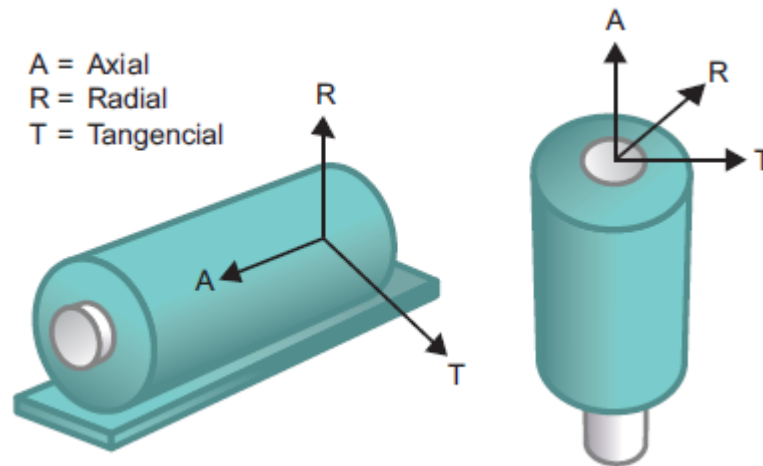


Figura 20. Direcciones de vibración.

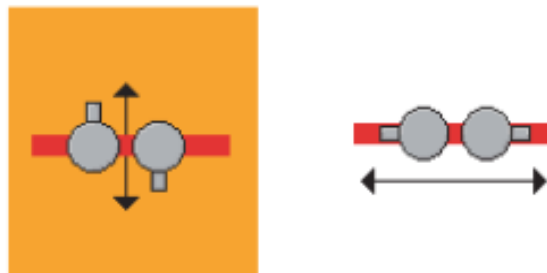
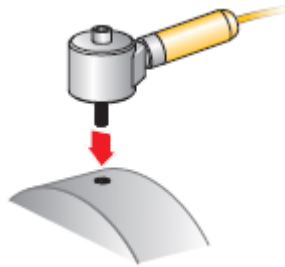


Figura 21. Orientación acelerómetros.

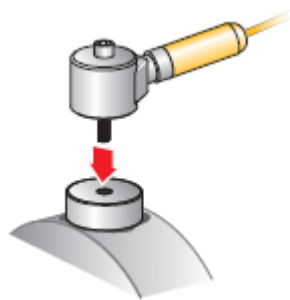
Otro factor a tener en cuenta para el diagnóstico de fallos es el tipo de montaje del acelerómetro:

- Montaje con espárrago (Figura 22): se obtiene una respuesta de frecuencia más alta, datos más repetibles y calidad de diagnóstico.



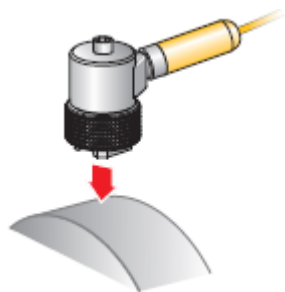
**Figura 22.** Montaje con espárrago.

- Montaje con adhesivo (Figura 23): alta respuesta de frecuencia que se acerca a la del montaje con espárrago, datos repetibles y calidad de diagnóstico.



**Figura 23.** Montaje con adhesivo.

- Montaje magnético (Figura 24): montaje más rápido y más cómodo para solución de problemas sobre la marcha, sin embargo la calidad del diagnóstico es inferior a los anteriores montajes.

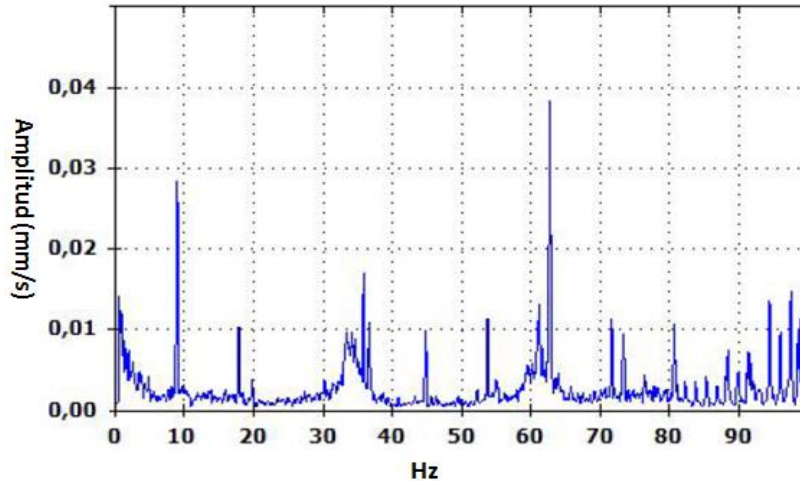


**Figura 24.** Montaje magnético.

En el caso de este Trabajo Final de Máster se ha probado el montaje magnético y el adhesivo y que en el apartado 5.5. *Validación del sistema*

de medición y monitorizado se estudia la influencia del tipo de montaje en la calidad del diagnóstico.

Serán dos los parámetros de vibración a examinar en el espectro en frecuencia para el diagnóstico de fallos: frecuencia (Hz) y amplitud (expresada en mm/s) (Figura 25). La magnitud de la amplitud caracteriza el estado de deterioro de la máquina (establecer baselines, apartado 5.6) y la frecuencia permite determinar el origen del fallo o elemento degradado.



**Figura 25.** Espectro en frecuencia

A continuación se indican las especificaciones del analizador de vibraciones:

**Especificaciones de diagnóstico:**

<b>Especificaciones de diagnóstico</b>	
<b>Averías estándar</b>	Desequilibrio, holgura, alineación incorrecta y averías en los rodamientos
<b>Análisis para</b>	Motores, ventiladores, correas y cadenas de transmisión, cajas de cambios y engranajes, acoplamientos, bombas (centrífugas, de pistón, de paletas deslizantes, de propulsión, de tornillo, de rotación de rosca, de engranajes, lobulares), compresores de pistón, compresores centrífugos, compresores de tornillo, máquinas con acoplamientos compactos, husillos
<b>Rango de velocidad de rotación de la máquina</b>	200 rpm a 12.000 rpm
<b>Detalles de diagnóstico</b>	Diagnósticos claros con indicaciones de gravedad de la avería (leve, moderada, grave, crítica), detalles de reparación, picos experimentados, espectros

**Especificaciones eléctricas:**

<b>Especificaciones eléctricas</b>	
<b>Selección de rangos</b>	Automática

<b>Convertidor A/D</b>	4 canales, 24 bits
<b>Ancho de banda útil</b>	2 Hz a 20 kHz
<b>Muestreo</b>	51,2 Hz
<b>Funciones de procesamiento de señales digitales</b>	Filtro anti-aliasing configurado automáticamente, filtro paso alto, decimación, superposición, presentación en ventana, FFT, cálculo de la media
<b>Velocidad de muestreo</b>	2,5 Hz a 50 kHz
<b>Rango dinámico</b>	128 dB
<b>Relación señal/ruido</b>	100 dB
<b>Resolución FFT</b>	800 líneas
<b>Ventanas espectrales</b>	Hanning
<b>Unidades de frecuencia</b>	Hz, órdenes, cpm
<b>Unidades de amplitud</b>	pulg./seg, mm/seg, VdB (EE.UU), VdB* (Europa)
<b>Selección de rangos</b>	Automática

### **Especificaciones del acelerómetro:**

<b>Especificaciones del sensor</b>	
<b>Tipo de sensor</b>	Acelerómetro piezoeléctrico
<b>Sensibilidad</b>	100 mV/g ( $\pm 5\%$ , 25 °C)
<b>Rango de aceleración</b>	Pico de 80 g
<b>No linealidad en amplitud</b>	1%
<b>Respuesta en frecuencia</b>	<b>Z</b> 2 - 7.000 Hz $\pm 3$ dB <b>X, Y</b> 2 - 5.000 Hz $\pm 3$ dB
<b>Requisitos de alimentación (IEPE)</b>	18 V CC a 30 V CC, 2 mA a 10 mA
<b>Tensión de salida de polarización</b>	12 V CC
<b>Conexión a tierra</b>	Carcasa con conexión a tierra
<b>Diseño del elemento</b>	Cerámicas piezoeléctricas/corte

<b>sensor</b>	
<b>Material del cuerpo</b>	Acero inoxidable 316L
<b>Soporte montaje</b>	Tornillo prisionero de cabeza redonda 10-32, imán de tierras raras de 2 polos (resistencia a la tracción de 21,7 Kg)
<b>Conector de salida</b>	M12 de 4 patillas
<b>Conector de acoplamiento</b>	M12 - F4D
<b>Memoria no volátil</b>	Compatible con TEDS 1451.4
<b>Límite de vibración</b>	Pico de 500 g
<b>Límite de impacto</b>	Pico de 5.000 g
<b>Sensibilidad electromagnética, equivalente en g</b>	100 µg/gauss
<b>Sellado</b>	Hermético
<b>Rango de temperatura</b>	-50 °C a 120 °C (-58 °F a 248 °F) ± 7 %

#### 5.4. Compilación de datos.

Una vez identificados los equipos a monitorizar, los elementos que los componen, determinado las ubicaciones de los acelerómetros y descrito el equipo de monitoreo, en este punto se van a determinar las frecuencias características de dichos elementos. El cálculo de dichas frecuencias características, todas ellas relacionadas con la frecuencia de giro de la máquina, se obtiene de las fórmulas que se dan en la publicación de la Universidad Politécnica de Valencia "*Diagnóstico y corrección de fallos de componentes mecánicos*" [1].

Para cada uno de los equipos estudiados se mostrará una imagen del equipo en la cual se indicará los elementos que lo componen y una tabla con las frecuencias características de cada uno de los elementos.

### 5.4.1. Frecuencias características extractores.

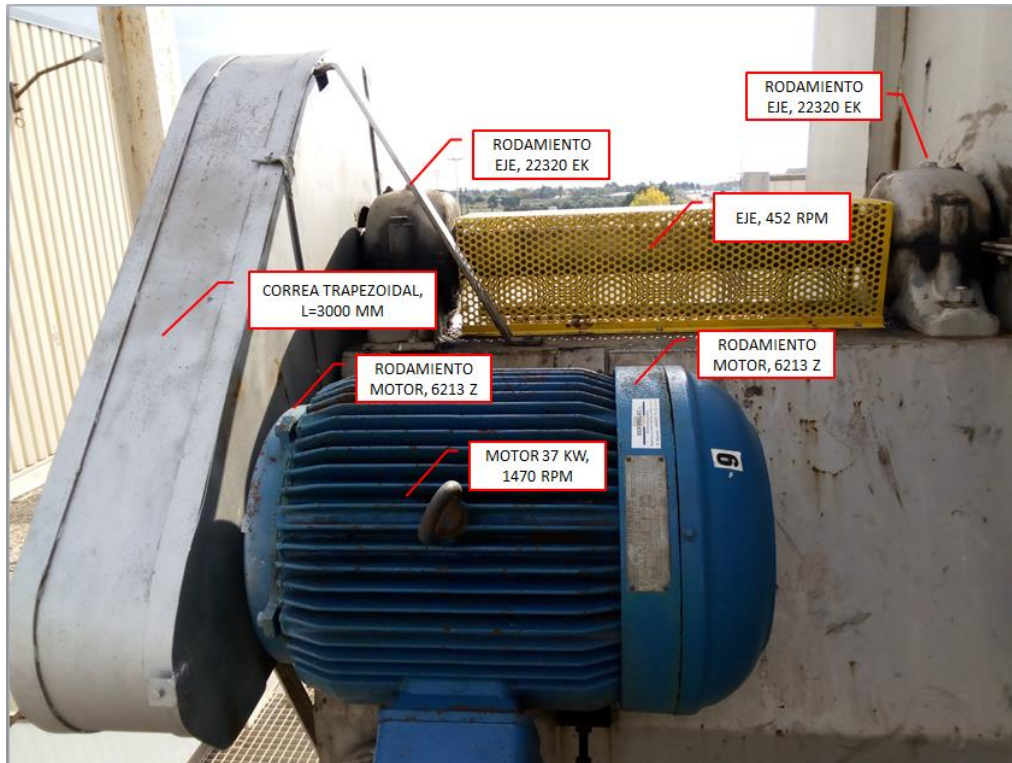


Figura 26. Elementos extractor.

FRECUENCIAS CALCULADAS	
Frecuencia de giro eje conductor	24,5 Hz
Frecuencia de giro eje conducido	7 Hz
Frecuencia correa	4,76 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS MOTOR	
Rodamiento 1 y 2	
Frecuencia paso bola	111 Hz
Deterioro pista fija	111 Hz
Defecto elemento rodante	138,5 Hz
Deterioro jaula	10,14 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS EJE	
Rodamiento 1 y 2	
Frecuencia paso bola	47,65 Hz
Deterioro pista fija	47,65 Hz
Defecto elemento rodante	44,9 Hz
Deterioro jaula	2,97 Hz

Tabla 3. Frecuencias características extractor.

### 5.4.2. Frecuencias características elevadores.

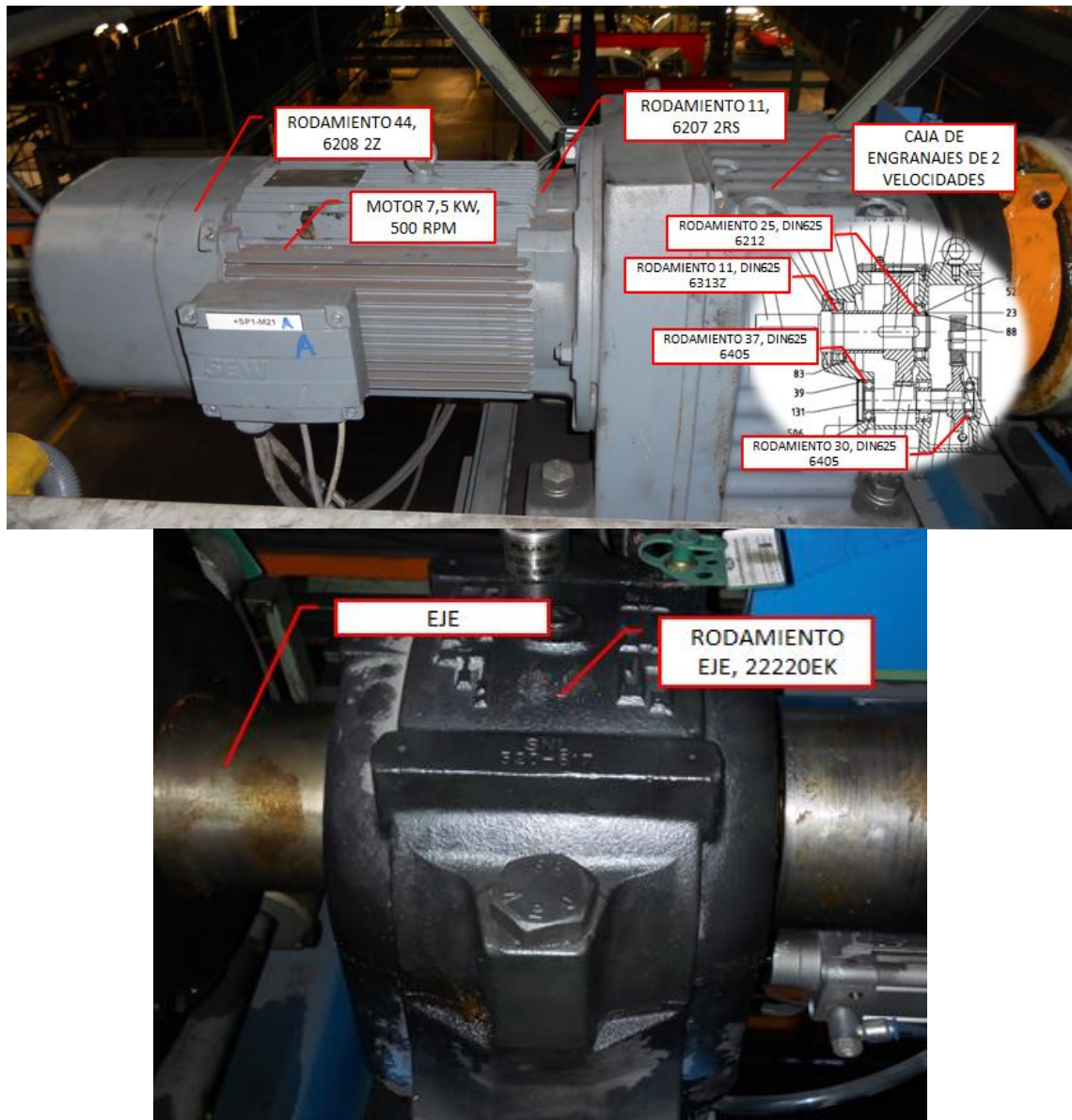


Figura 27. Elementos elevador.

<b>FRECUENCIAS CALCULADAS</b>	
Frecuencia giro motor y eje entrada reductor	8,33 Hz
Frecuencia giro eje intermedio reductor	2,06 Hz
Frecuencia giro eje salida reductor	0,37 Hz
<b>FRECUENCIAS DE ENGRANE</b>	
Eje entrada-intermedio	191,66 Hz
Eje intermedio-salida	31 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS MOTOR</b>	
<b>Rodamiento 11</b>	
Frecuencia paso bola	25,6 Hz
Deterioro pista fija	25,6 Hz
Defecto elemento rodante	34 Hz
Deterioro jaula	3,2 Hz
<b>Rodamiento 44</b>	
Frecuencia paso bola	28,85 Hz
Deterioro pista fija	28,85 Hz
Defecto elemento rodante	34,23 Hz
Deterioro jaula	3,2 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS REDUCTOR</b>	
<b>Rodamiento 11</b>	
Frecuencia paso bola	1,1 Hz
Deterioro pista fija	1,1 Hz
Defecto elemento rodante	1,4 Hz
Deterioro jaula	0,14 Hz
<b>Rodamiento 25</b>	
Frecuencia paso bola	1,5 Hz
Deterioro pista fija	1,5 Hz
Defecto elemento rodante	1,8 Hz
Deterioro jaula	0,15 Hz
<b>Rodamiento 30 y 37</b>	
Frecuencia paso bola	4,7 Hz
Deterioro pista fija	4,7 Hz
Defecto elemento rodante	5,2 Hz
Deterioro jaula	0,7 Hz
<b>Rodamiento 34</b>	
Frecuencia paso bola	10,3 Hz
Deterioro pista fija	10,3 Hz
Defecto elemento rodante	8,4 Hz
Deterioro jaula	0,8 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS EJE</b>	
<b>Rodamiento 1 y 2</b>	
Frecuencia paso bola	3 Hz
Deterioro pista fija	3 Hz
Defecto elemento rodante	2,3 Hz
Deterioro jaula	0,15 Hz

Tabla 4. Frecuencias características elevador.



### 5.4.3. Frecuencias características Foam.

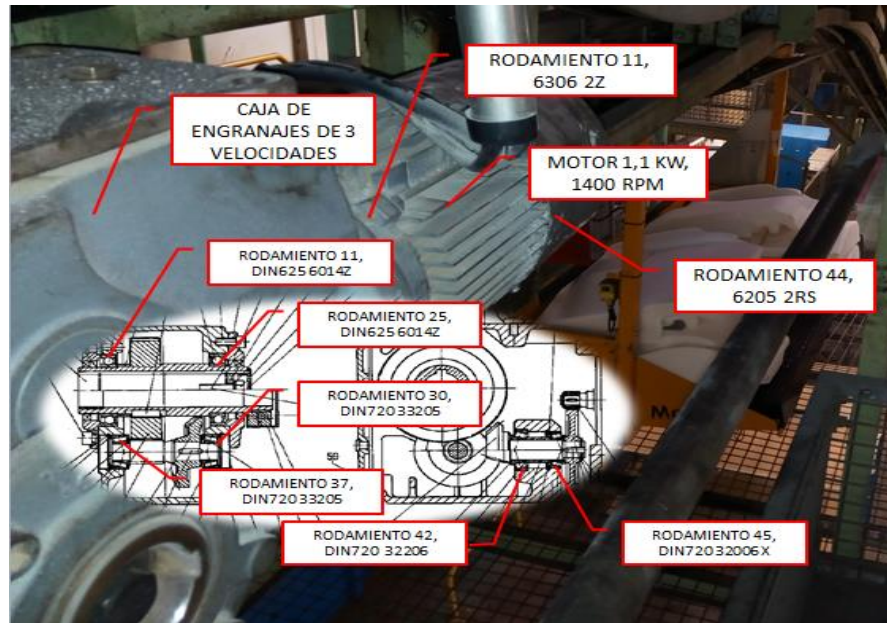


Figura 28. Elementos foam.

FRECUENCIAS CALCULADAS	
Frecuencia giro motor y eje entrada reductor	23,33 Hz
Frecuencia de giro eje intermedio 1 reductor	5 Hz
Frecuencia de giro eje intermedio 2 reductor	1,2 Hz
Frecuencia de giro eje salida reductor	0,215 Hz
FRECUENCIAS DE ENGRANE	
Eje entrada-intermedio 1	420 Hz
Eje intermedio 1-intermedio 2	40 Hz
Eje intermedio 2-salida	13,3 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS MOTOR	
Rodamiento 11	
Frecuencia paso bola	70,45 Hz
Deterioro pista fija	70,45 Hz
Defecto elemento rodante	90 Hz
Deterioro jaula	8,8 Hz
Rodamiento 44	
Frecuencia paso bola	98 Hz
Deterioro pista fija	98 Hz
Defecto elemento rodante	94,36 Hz
Deterioro jaula	9 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS REDUCTOR	
Rodamiento 11 y 25	
Frecuencia paso bola	1,28 Hz
Deterioro pista fija	1,28 Hz
Defecto elemento rodante	1,4 Hz
Deterioro jaula	0,1 Hz
Rodamiento 42	
Frecuencia paso bola	35 Hz
Deterioro pista fija	35 Hz
Defecto elemento rodante	28 Hz
Deterioro jaula	2,1 Hz
Rodamiento 45	
Frecuencia paso bola	42,9 Hz
Deterioro pista fija	42,9 Hz

Defecto elemento rodante	33,3 Hz
Deterioro jaula	2,15 Hz
<b>Rodamiento 30 y 37</b>	
Frecuencia paso bola	8 Hz
Deterioro pista fija	8 Hz
Defecto elemento rodante	6,7 Hz
Deterioro jaula	0,5 Hz

Tabla 5. Frecuencias características foam.

#### 5.4.4. Frecuencias características Water Test.

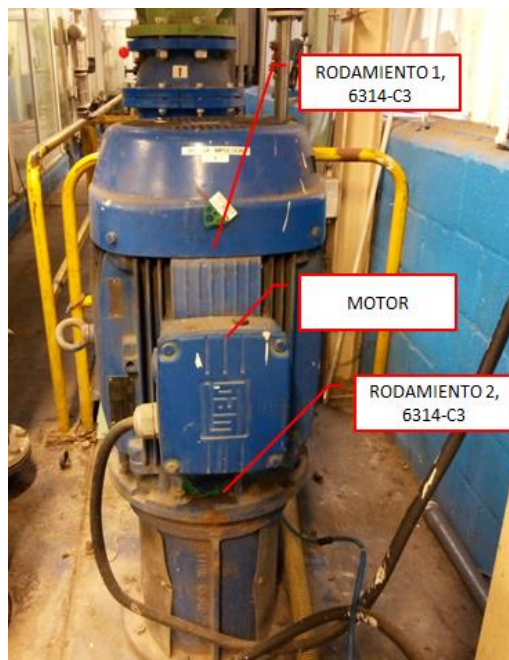


Figura 29. Elementos Water Test.

FRECuencias CALCULADAS	
Frecuencia de giro del motor	13,3 Hz
FRECuencias RODAMIENTOS MOTOR	
Rodamiento 1 y 2	
Frecuencia paso bola	51,33 Hz
Deterioro pista fija	51,33 Hz
Defecto elemento rodante	68,3 Hz
Deterioro jaula	6,4 Hz

Tabla 6. Frecuencias características Water Test.

### 5.4.5. Frecuencias características Buy off chasis.

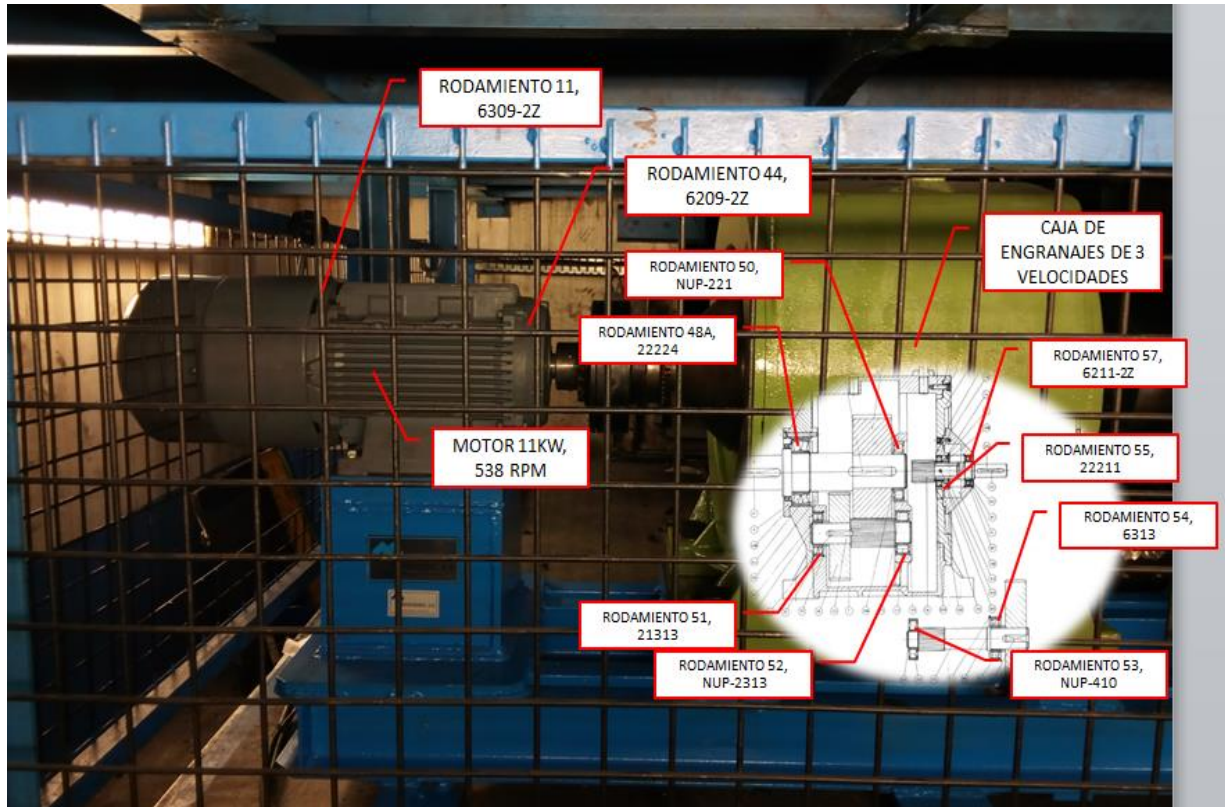


Figura 30. Elementos Buy off chasis.

FRECUENCIAS CALCULADAS		
Frecuencia giro motor y eje entrada reductor		9 Hz
Frecuencia giro eje intermedio 1 reductor		1,52 Hz
Frecuencia eje intermedio 2 reductor		0,3 Hz
Frecuencia eje salida reductor		0,06 Hz
FRECUENCIAS DE ENGRANE		
Eje entrada-intermedio 1		152,43 Hz
Eje intermedio 1-intermedio 2		19,81 Hz
Eje intermedio 2-salida		3,7 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS MOTOR		
Rodamiento 11		
Frecuencia paso bola		54,5 Hz
Deterioro pista fija		54,5 Hz
Defecto elemento rodante		35 Hz
Deterioro jaula		3,4 Hz
Rodamiento 44		
Frecuencia paso bola		72,7 Hz
Deterioro pista fija		72,7 Hz
Defecto elemento rodante		45,7 Hz
Deterioro jaula		3,63 Hz
FRECUENCIAS RODAMIENTOS REDUCTOR		
Rodamiento 57		
Frecuencia paso bola		36,57 Hz
Deterioro pista fija		36,57 Hz
Defecto elemento rodante		47,01 Hz
Deterioro jaula		3,65 Hz
Rodamiento 55		

Frecuencia paso bola	77,2 Hz
Deterioro pista fija	77,2 Hz
Defecto elemento rodante	62,5 Hz
Deterioro jaula	3,86 Hz
<b>Rodamiento 54</b>	
Frecuencia paso bola	4,68 Hz
Deterioro pista fija	4,68 Hz
Defecto elemento rodante	6,2 Hz
Deterioro jaula	0,6 Hz
<b>Rodamiento 53</b>	
Frecuencia paso bola	5,2 Hz
Deterioro pista fija	5,2 Hz
Defecto elemento rodante	6,17 Hz
Deterioro jaula	0,5 Hz
<b>Rodamiento 52</b>	
Frecuencia paso bola	1,6 Hz
Deterioro pista fija	1,6 Hz
Defecto elemento rodante	1,44 Hz
Deterioro jaula	0,12 Hz
<b>Rodamiento 51</b>	
Frecuencia paso bola	2,1 Hz
Deterioro pista fija	2,1 Hz
Defecto elemento rodante	2,01 Hz
Deterioro jaula	0,13 Hz
<b>Rodamiento 50</b>	
Frecuencia paso bola	0,42 Hz
Deterioro pista fija	0,42 Hz
Defecto elemento rodante	0,37 Hz
Deterioro jaula	0,02 Hz
<b>Rodamiento 48 A</b>	
Frecuencia paso bola	0,37 Hz
Deterioro pista fija	0,37 Hz
Defecto elemento rodante	0,37 Hz
Deterioro jaula	0,02 Hz

Tabla 7. Frecuencias características Buy off.

### 5.4.6. Frecuencias características puertas.

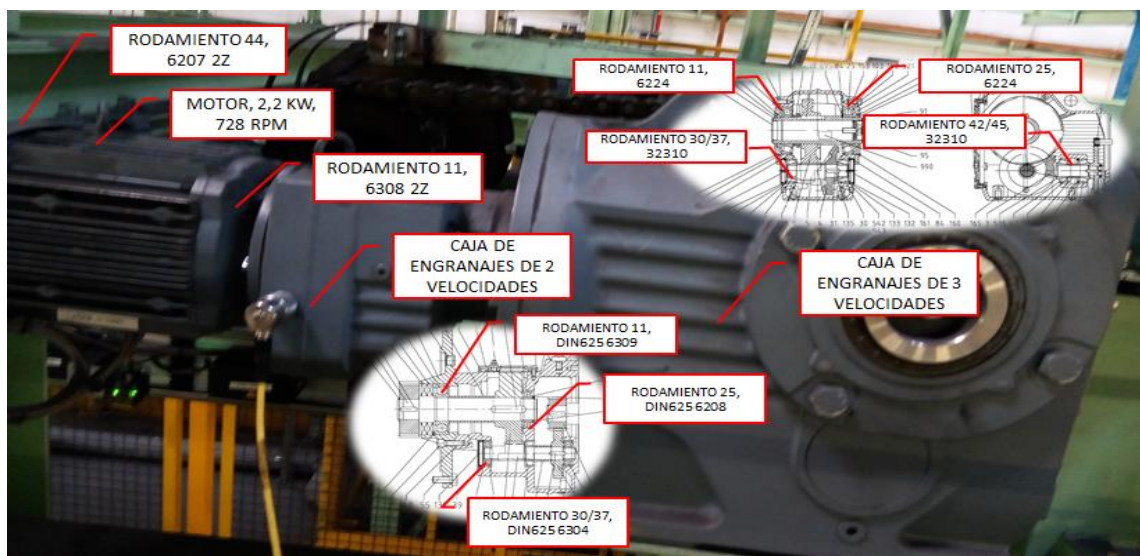


Figura 31. Elementos puertas.

<b>FRECUENCIAS CALCULADAS</b>	
Frecuencia giro motor y eje entrada reductor 1	12,13 Hz
Frecuencia giro eje intermedio reductor 1	5 Hz
Frecuencia giro eje salida reductor 1	1,6 Hz
<b>FRECUENCIAS DE ENGRANE REDUCTOR 1</b>	
Eje entrada-intermedio	255 Hz
Eje intermedio-salida	80 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS MOTOR</b>	
<b>Rodamiento 11</b>	
Frecuencia paso bola	37,3 Hz
Deterioro pista fija	37,3 Hz
Defecto elemento rodante	49,5 Hz
Deterioro jaula	4,6 Hz
<b>Rodamiento 44</b>	
Frecuencia paso bola	43,3 Hz
Deterioro pista fija	43,3 Hz
Defecto elemento rodante	49,5 Hz
Deterioro jaula	4,6 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS REDUCTOR 1</b>	
<b>Rodamiento 11</b>	
Frecuencia paso bola	4,77 Hz
Deterioro pista fija	4,77 Hz
Defecto elemento rodante	6,13 Hz
Deterioro jaula	0,6 Hz
<b>Rodamiento 25</b>	
Frecuencia paso bola	5,5 Hz
Deterioro pista fija	5,5 Hz
Defecto elemento rodante	6,7 Hz
Deterioro jaula	0,6 Hz
<b>Rodamiento 30 y 37</b>	
Frecuencia paso bola	12,3 Hz
Deterioro pista fija	12,3 Hz
Defecto elemento rodante	15,4 Hz
Deterioro jaula	1,76 Hz
<b>REDUCTOR 2</b>	
Frecuencia giro eje entrada reductor 2	1,6 Hz
Frecuencia giro eje intermedio 1 reductor 2	0,91 Hz
Frecuencia giro eje intermedio 2 reductor 2	0,22 Hz
Frecuencia giro eje salida reductor 2	0,04 Hz
<b>FRECUENCIAS DE ENGRANE REDUCTOR 2</b>	
Eje entrada-intermedio 1	37,6 Hz
Eje intermedio 1-intermedio 2	7,3 Hz
Eje intermedio 2-salida	3,55 Hz
<b>FRECUENCIAS RODAMIENTOS REDUCTOR 2</b>	
<b>Rodamiento 11 y 25</b>	
Frecuencia paso bola	0,25 Hz
Deterioro pista fija	0,25 Hz
Defecto elemento rodante	0,3 Hz
Deterioro jaula	0,02 Hz
<b>Rodamiento 30 y 37</b>	
Frecuencia paso bola	1,1 Hz
Deterioro pista fija	1,1 Hz
Defecto elemento rodante	1,1 Hz
Deterioro jaula	0,1 Hz
<b>Rodamiento 42 y 45</b>	
Frecuencia paso bola	4,5 Hz
Deterioro pista fija	4,5 Hz

<b>Defecto elemento rodante</b>	<b>4,7 Hz</b>
<b>Deterioro jaula</b>	<b>0,37 Hz</b>

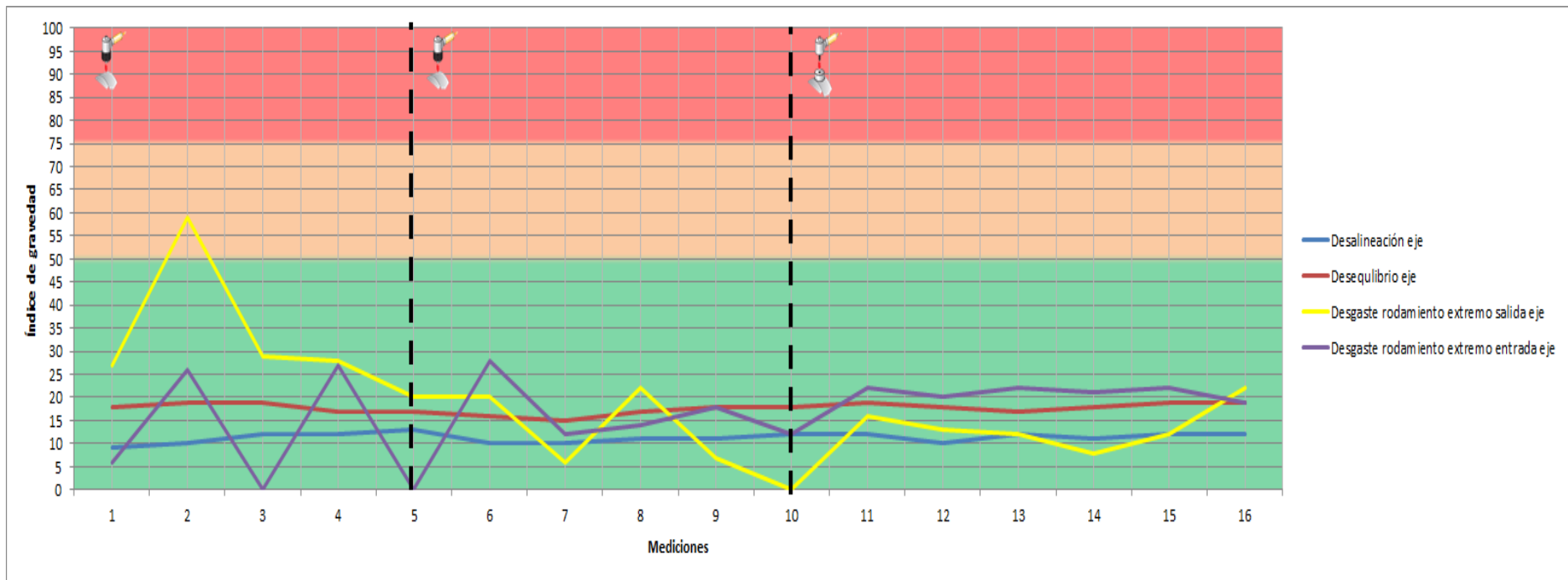
**Tabla 8.** Frecuencias características puertas.

### **5.5. Validación del sistema de medición y monitorizado.**

En este apartado se va a validar el proceso de medición y monitorizado en cada uno de los equipos, prestando atención a los espectros obtenidos y cómo influye la colocación y fijación de los acelerómetros en las medidas e identificación y gravedad de los fallos. Para ello nos fijamos principalmente en uno de los extractores y se aplicó el mismo principio de medición a los demás equipos.

Extractor 8104500	Validación medición y monitorizado															
Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Desalineación eje	9	10	12	12	13	10	10	11	11	12	12	10	12	11	12	12
Desequilibrio eje	18	19	19	17	17	16	15	17	18	18	19	18	17	18	19	19
Desgaste rodamiento extremo salida eje	27	59	29	28	20	20	6	22	7	0	16	13	12	8	12	22
Desgaste rodamiento extremo entrada eje	6	26	0	27	0	28	12	14	18	12	22	20	22	21	22	19

Tabla 9. Mediciones e índices de gravedad.



Gráfica 1. Evolución índice de gravedad según montaje.

Las 5 primeras mediciones se realizaron con fijación del acelerómetro mediante imán (figura 32), en estas mediciones observamos que los índices de gravedad referentes a fallos relacionados con bajas frecuencias (desalineación y desequilibrio del eje) siguen una tendencia lineal y uniforme, mientras que los índices de gravedad referentes a fallos relacionados con altas frecuencias (desgaste rodamientos) los resultados son muy dispares. Al estudiar los espectros en frecuencia (espectros mediciones 1-5) nos dimos cuenta de que esta disparidad se debía a traqueteos que distorsionaban la medición en el rango de altas frecuencias, dando lugar a falsos positivos.

Lo que se hizo para evitar esta disparidad de resultados fue adaptar la superficie donde se colocaban los acelerómetros, haciéndola totalmente plana y consiguiendo así una mejor sujeción del imán, pero se observó que los resultados, respecto a los fallos en los rodamientos, aun no siendo tan dispares no seguían una linealidad (mediciones de la 6 a la 10). Al estudiar los espectros en frecuencia (espectros mediciones 6-10) se observa que éstos ya son uniformes, pero los índices de gravedad que daba el analizador eran dispares. Además estas medidas se realizaron sin dejar un tiempo entre mediciones y quitando y poniendo el acelerómetro cada vez que se realizaba una medición.

Por último se optó por realizar el montaje del acelerómetro con adhesivo (mediciones 11-16) (figura 32), dejar los acelerómetros fijos en cada una de las ubicaciones, sin ponerlos ni quitarlos cada vez que se realizaba una medición, y dejar transcurrir un tiempo de 5 minutos entre mediciones. Y como se puede observar en la gráfica y en los espectros (espectros mediciones 11-16), los resultados obtenidos respecto a fallos relacionados con rodamientos ya siguen una tendencia uniforme.

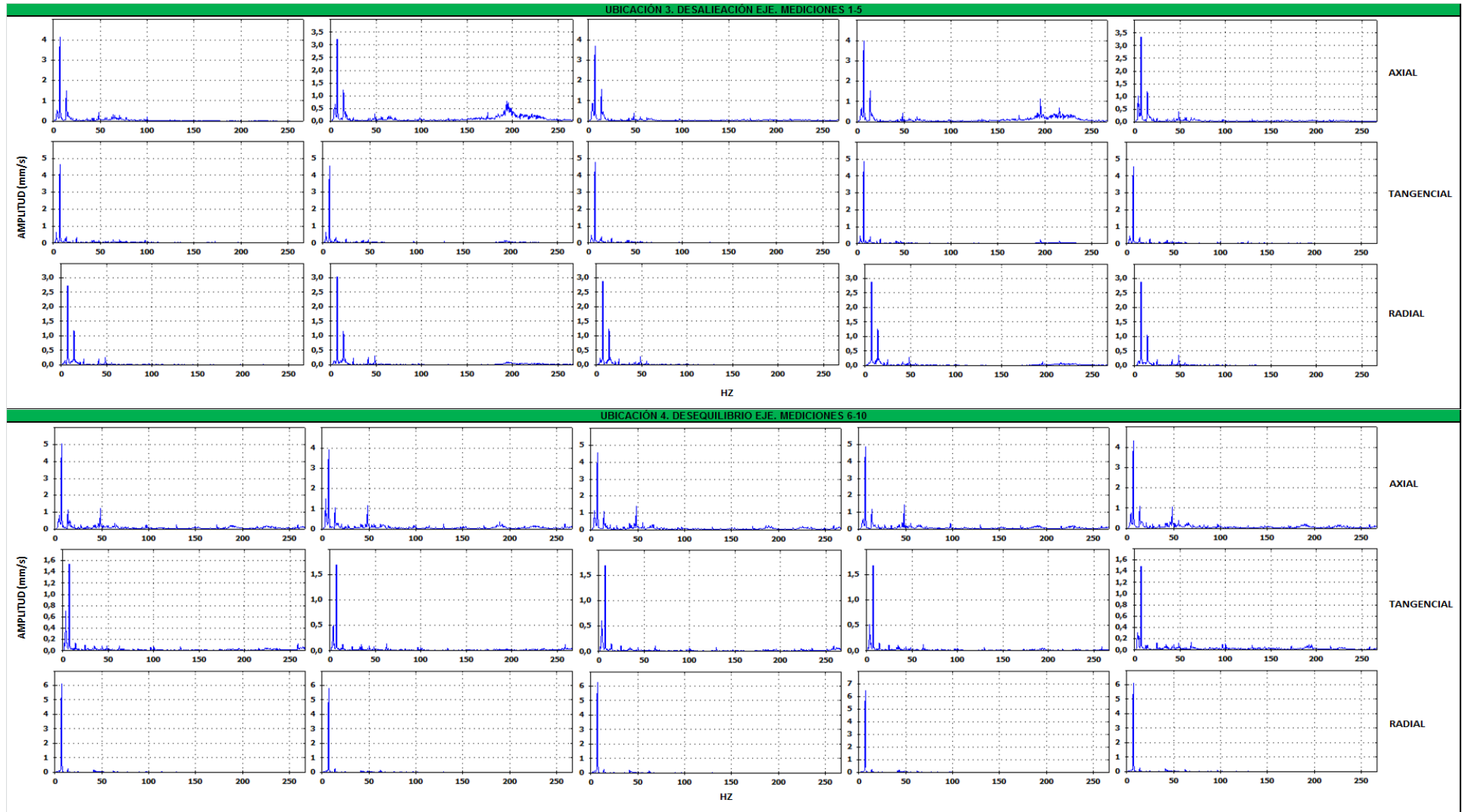
De aquí la importancia del tipo de montaje del acelerómetro, la adaptación de la superficie, la repetitividad de las mediciones y el tiempo transcurrido entre cada una de ellas.



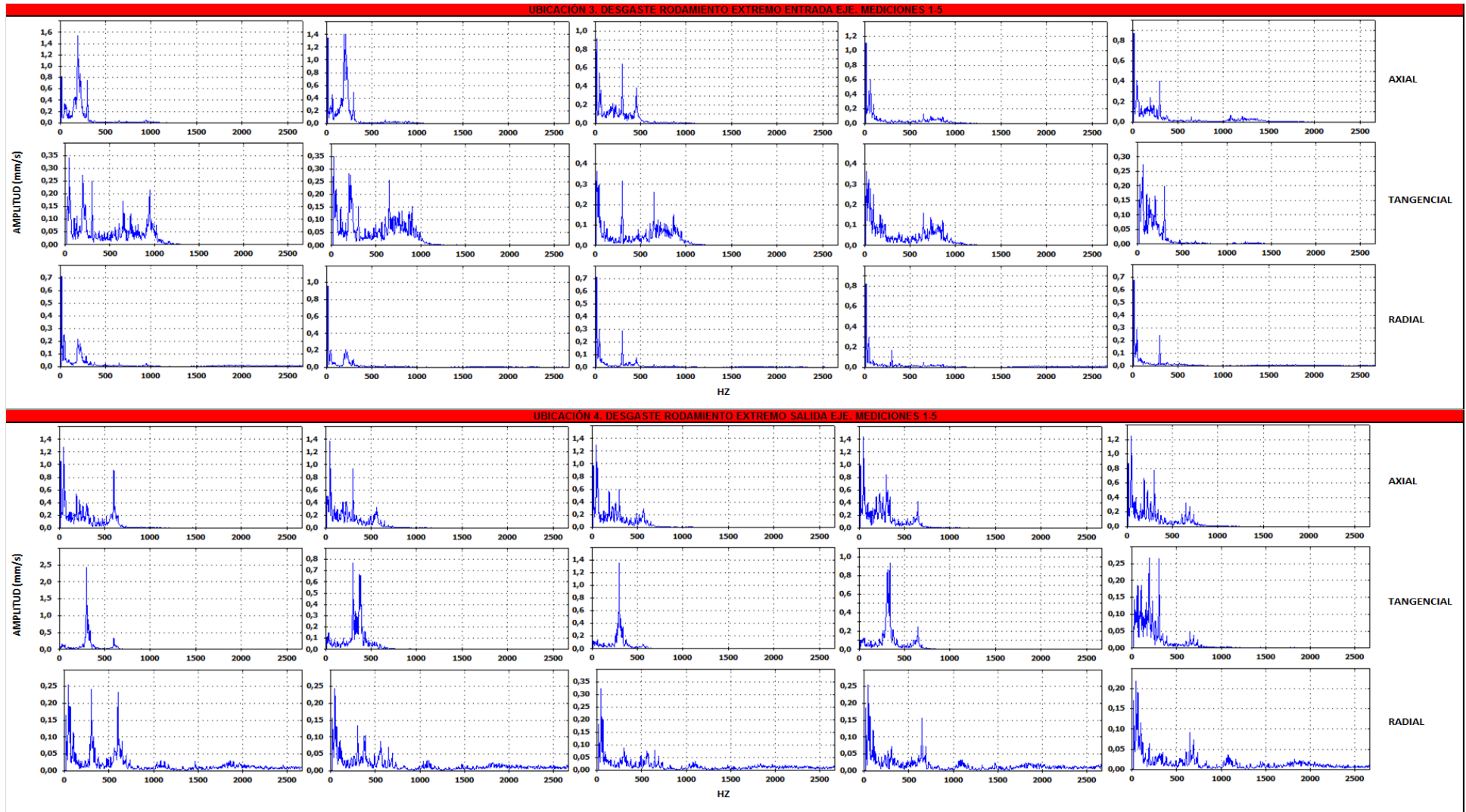
**Figura 32.** Montajes acelerómetros.



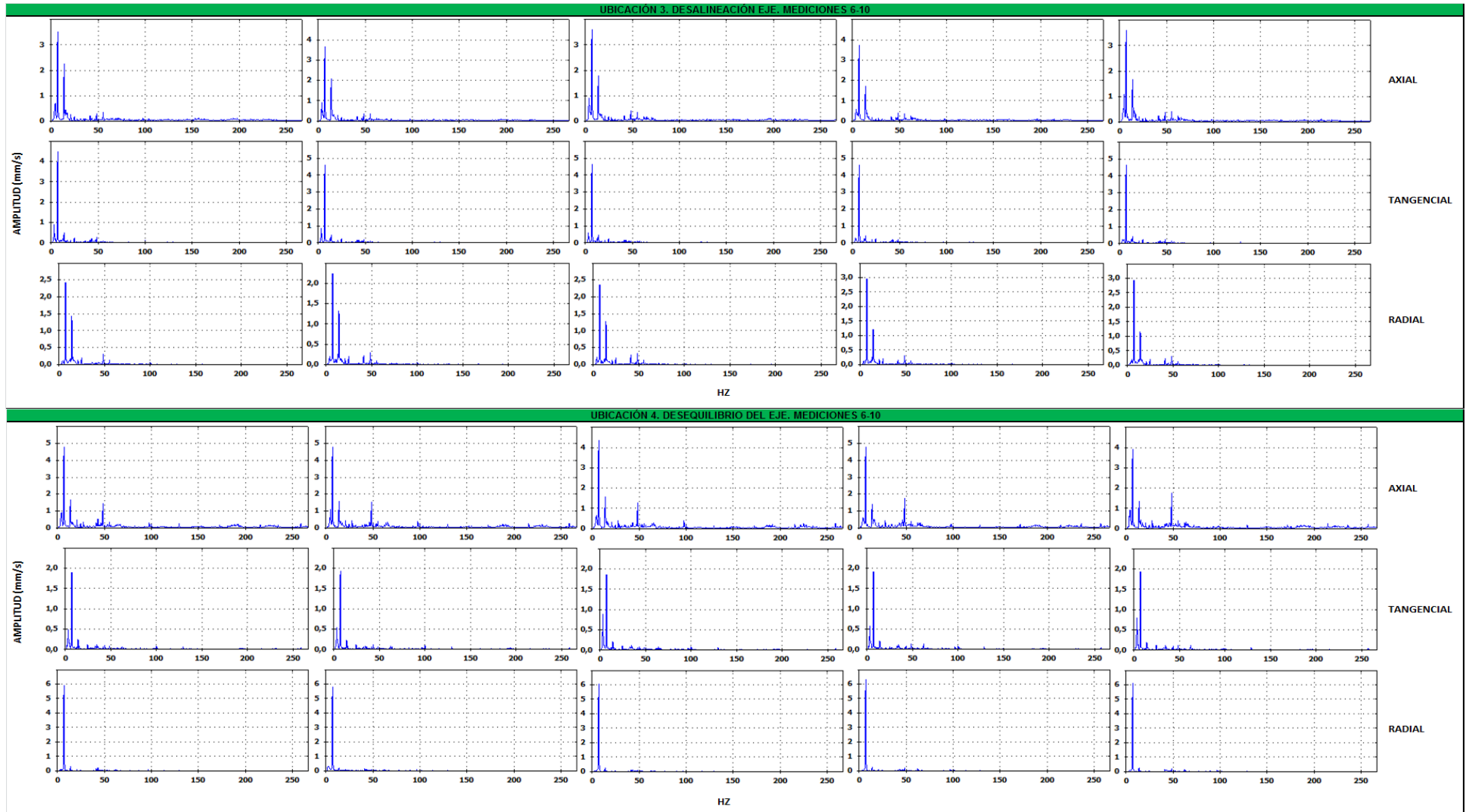
### Espectros mediciones 1-5:



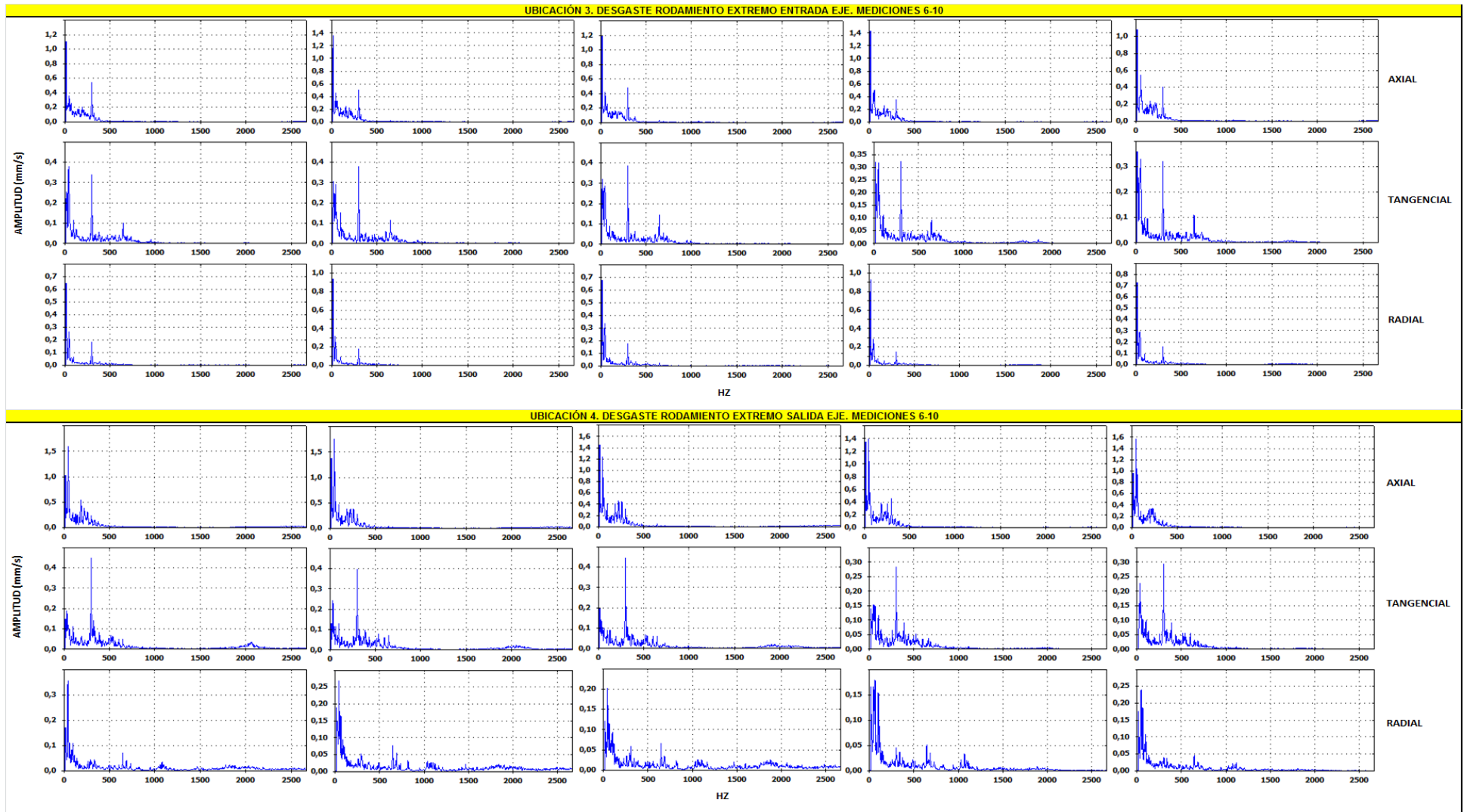
# Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L



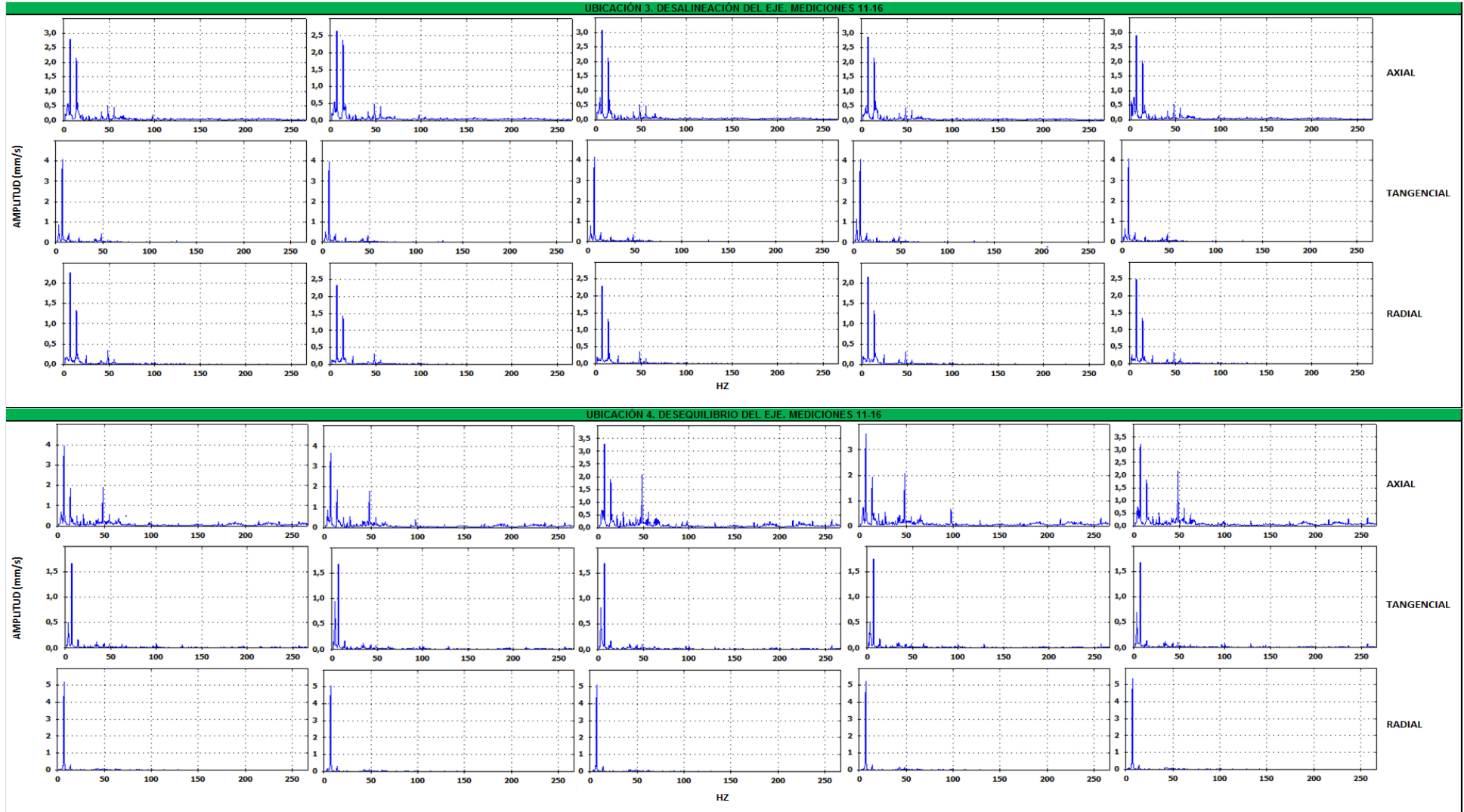
**Espectros mediciones 6-10:**



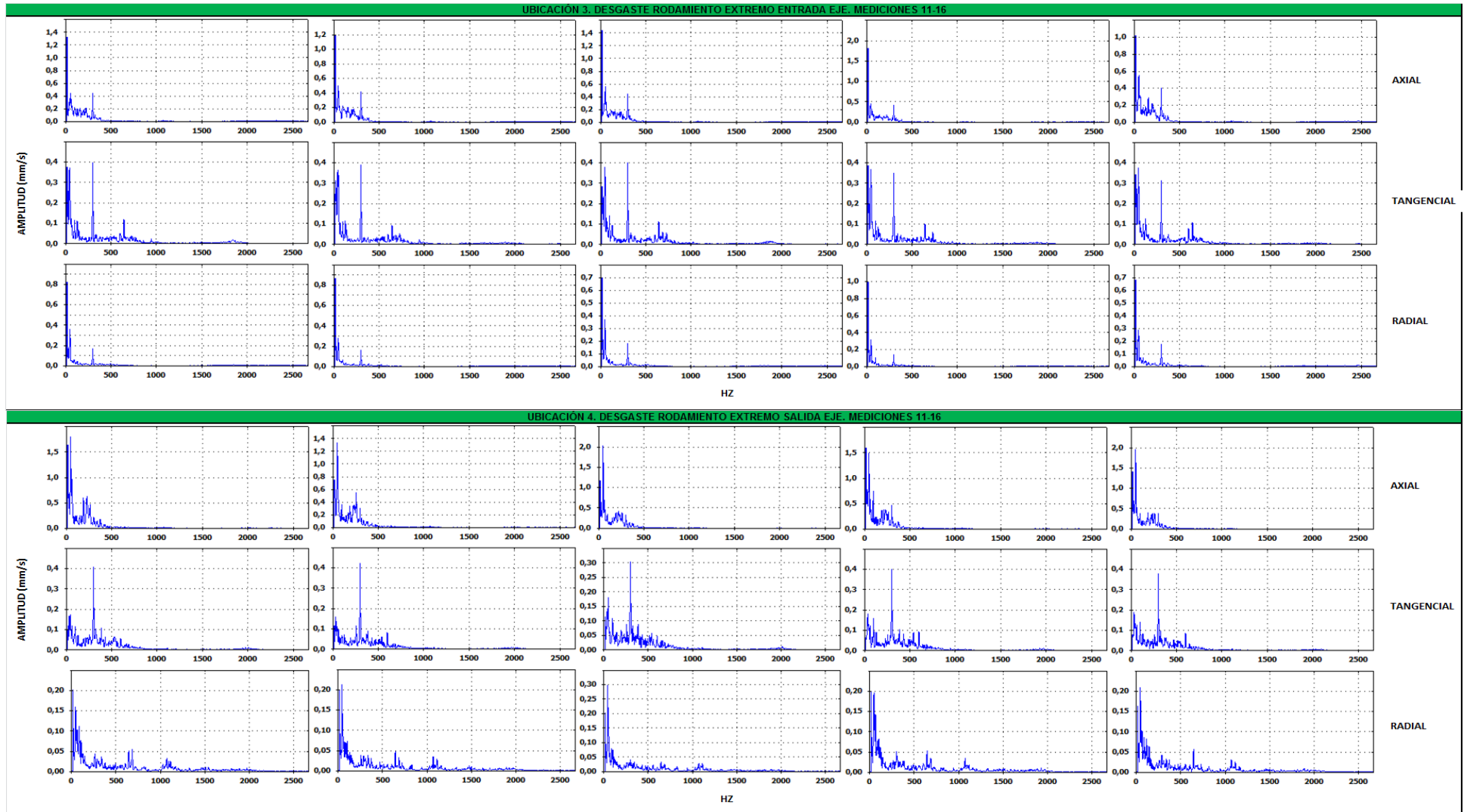
# Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L



Mediciones 11-16:



# Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L



## 5.6. Resultados obtenidos.

Una vez calculadas las frecuencias características de cada uno de los elementos de los equipos, se procederá a identificarlas en los espectros obtenidos durante las mediciones.

Antes de empezar con la identificación de frecuencias, hay que tener en cuenta varias consideraciones en cuanto a rodamientos y velocidades de giro.

En primer lugar, referente a las frecuencias características de los rodamientos, hay que saber que durante el funcionamiento va cambiando la calidad superficial de los mismos, lo que ocasiona un incremento en las vibraciones del rodamiento. En una primera fase, se genera vibración a muy alta frecuencia (20kHz a 60 kHz), sólo detectable con métodos como el **pulso de choque**.

En la segunda fase los pequeños impactos sobre los defectos superficiales causan vibración a las frecuencias naturales del rodamiento.

En la tercera fase del deterioro los defectos alcanzan un tamaño tal que aparecen las frecuencias de paso de los elementos rodantes, sus armónicos y en ocasiones bandas laterales.

En la última fase, aparece un ruido de banda ancha que puede llegar a ocultar a las anteriores frecuencias.

Muy importante y algo a tener muy en cuenta es que a causa de los deslizamientos que aparecen entre elementos rodantes y pistas de rodadura, las frecuencias asociadas a los defectos más habituales en rodamientos pueden sufrir ligeras variaciones.

En segundo lugar, referente a las frecuencias relacionadas con el régimen de giro de las máquinas, hay que tener en cuenta que éstas no giran siempre exactamente a la misma velocidad ya que algunos de los motores llevan variadores de frecuencia, como se detalla en el punto 5.2. *Descripción de los equipos a monitorizar*. Por lo tanto, estas frecuencias no siempre serán las mismas.

A continuación se va a proceder a la identificación de frecuencias características de cada uno de los equipos.

Para la identificación de las frecuencias características de cada equipo, tendremos en cuenta la ubicación de los acelerómetros, de esta forma identificaremos los picos de frecuencia adecuadamente.

### 5.6.1. Identificación de las frecuencias características en extractores.

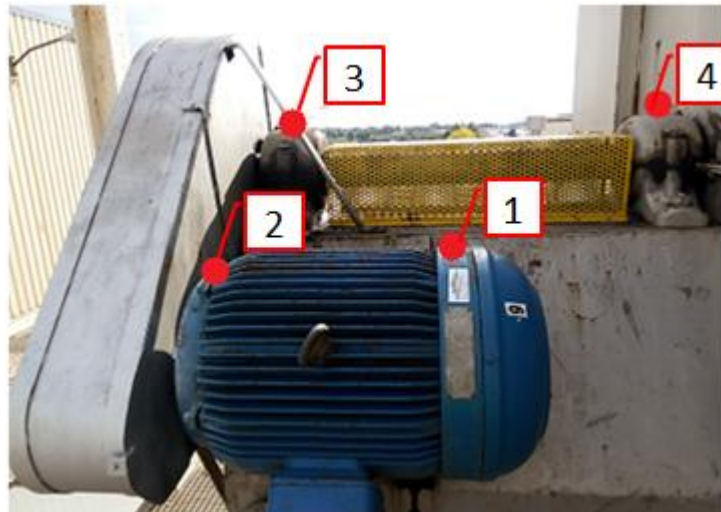
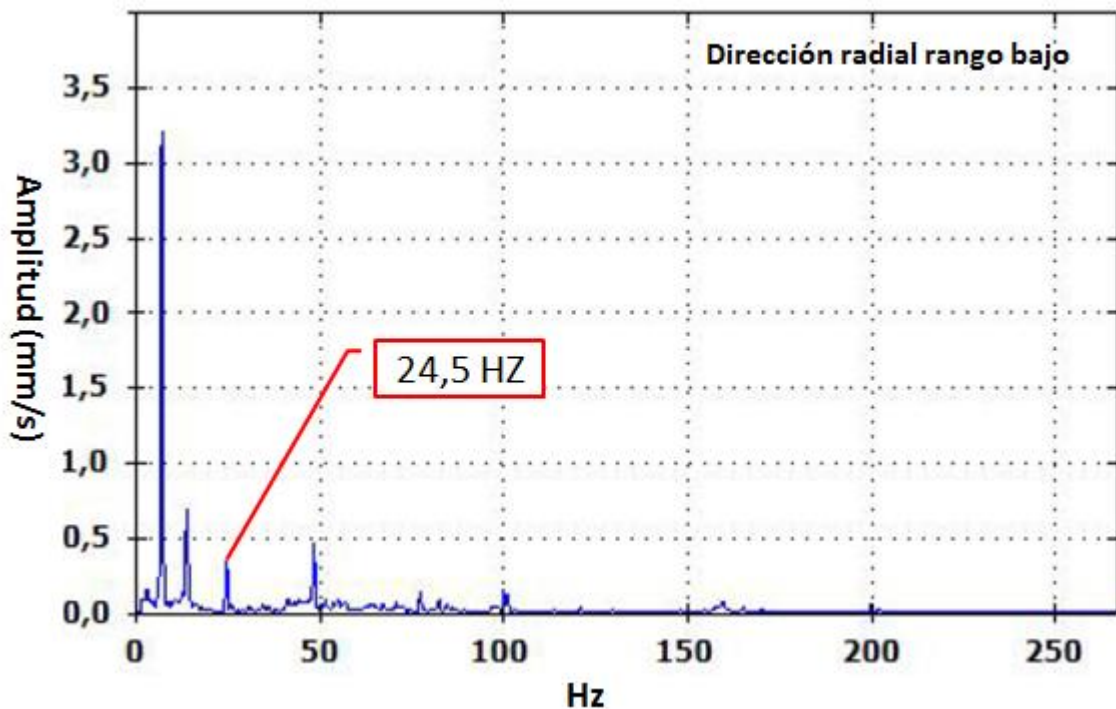


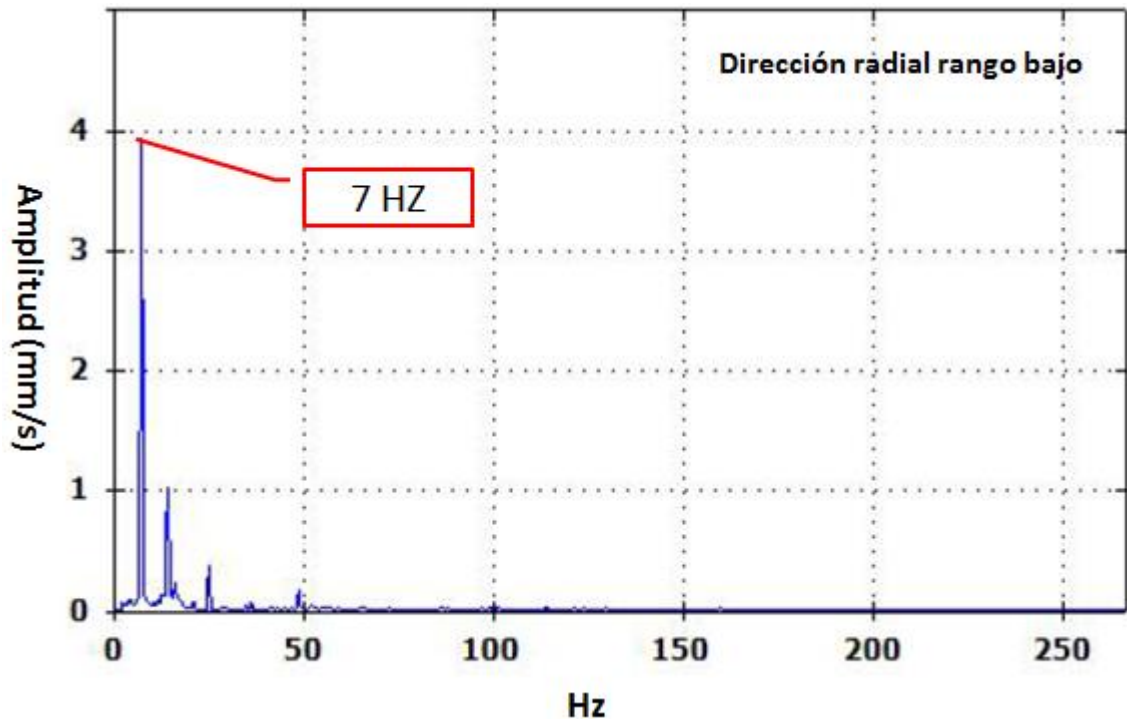
Figura 33. Ubicación acelerómetros.

En las **ubicaciones 1 y 2** se identifica la frecuencia de giro del motor [24.5 Hz].

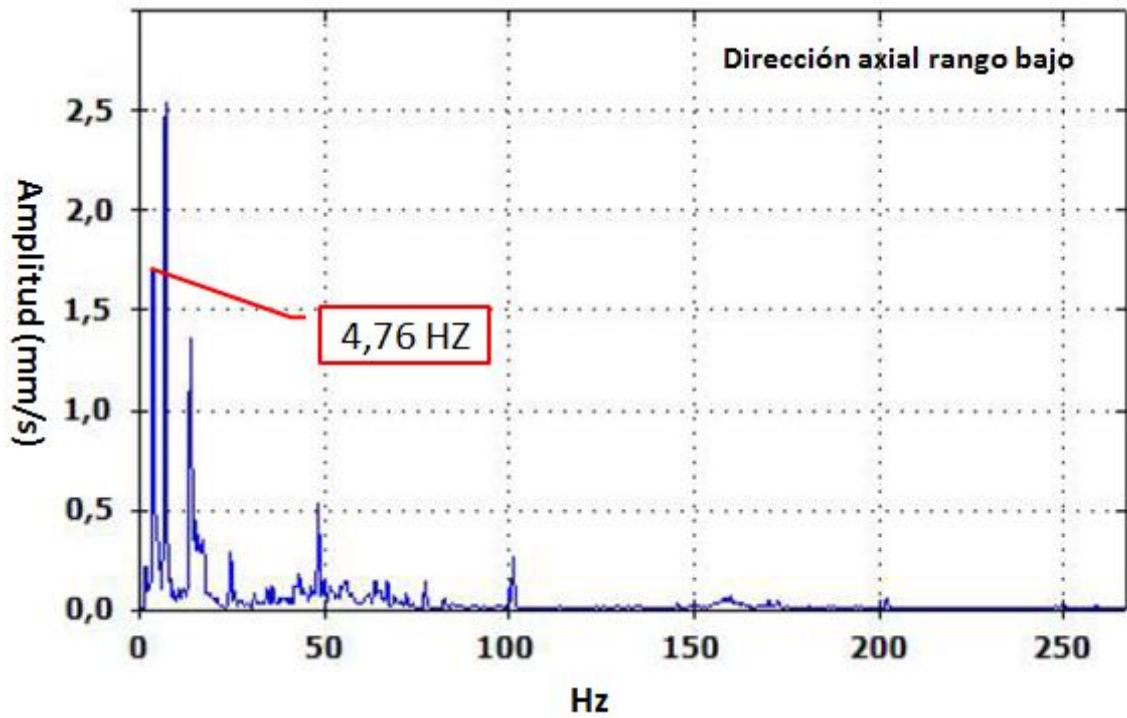


En las **ubicaciones 3 y 4** se identifica la frecuencia de giro del eje de salida [7Hz].





En la **ubicación 2** también se identifica la frecuencia de giro de la correa [4,76 Hz].



### 5.6.2. Identificación frecuencias características en elevadores.

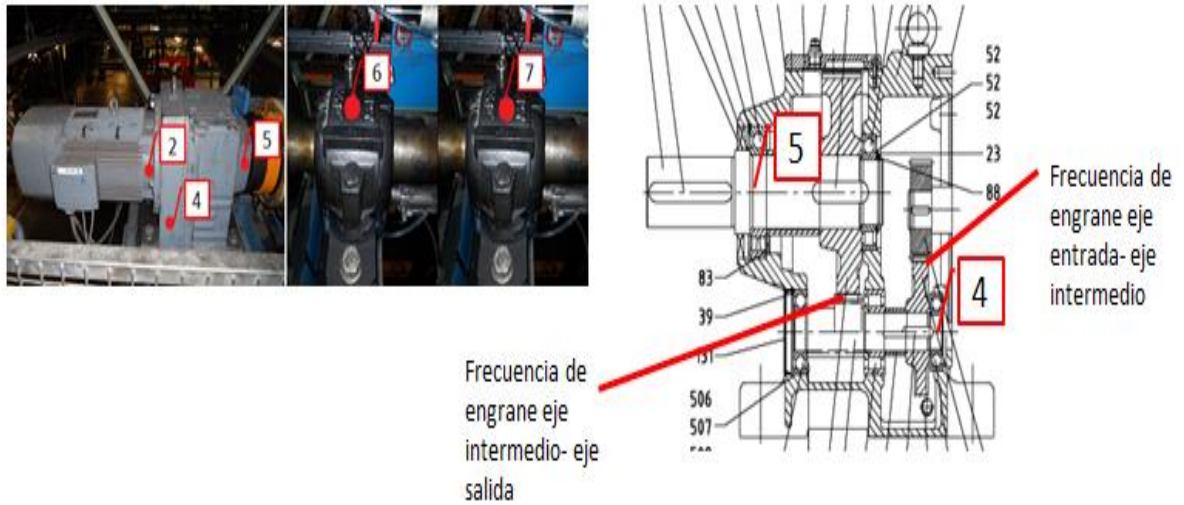
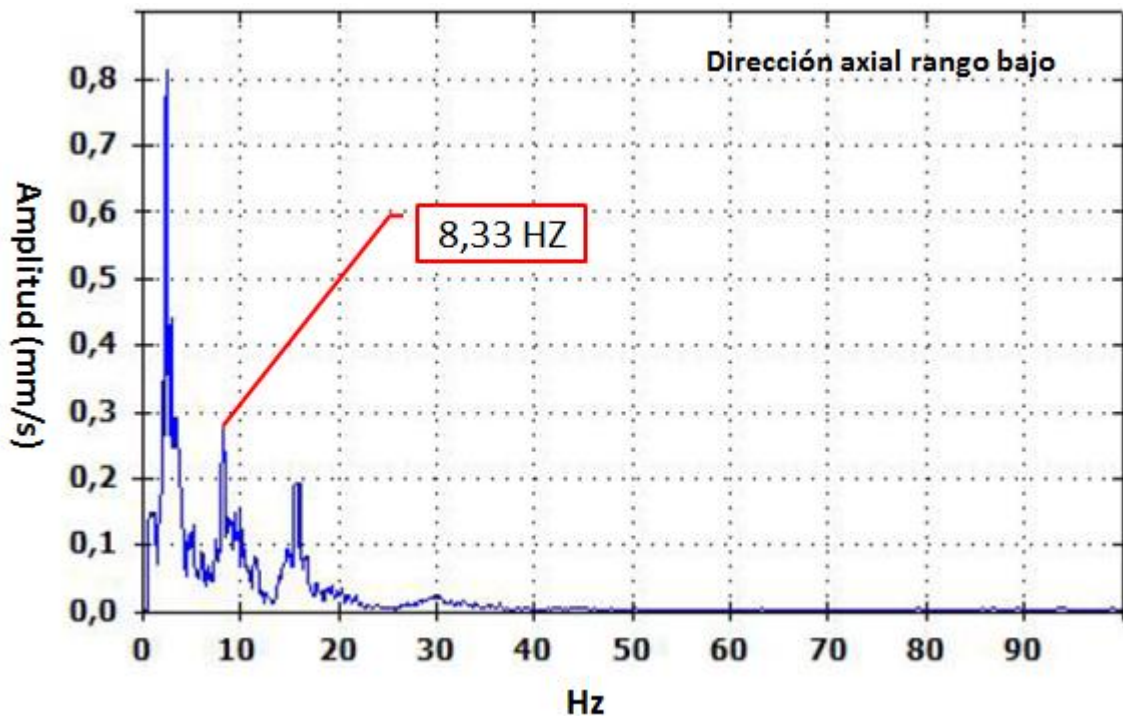
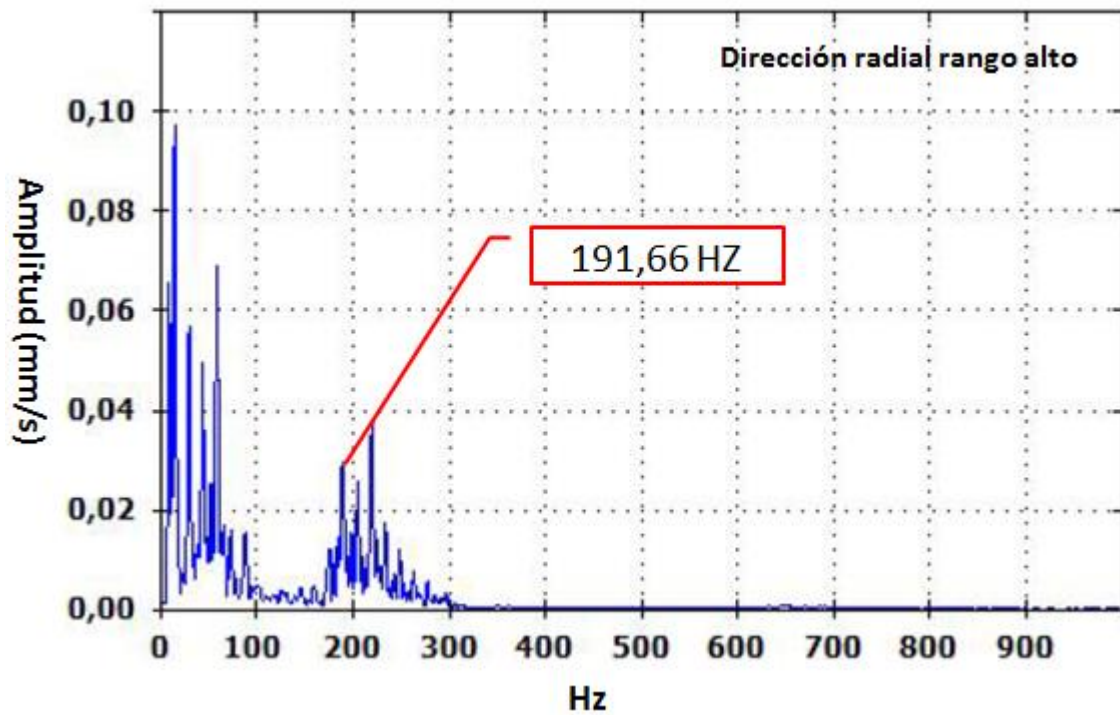
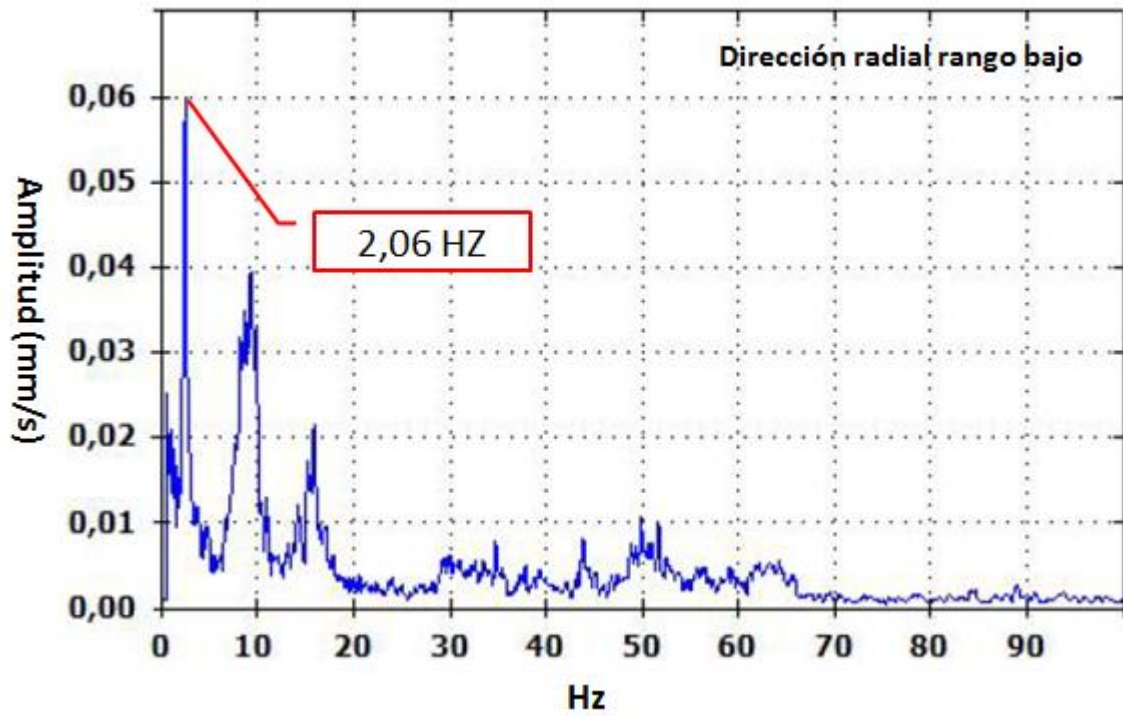


Figura 34. Ubicación acelerómetros.

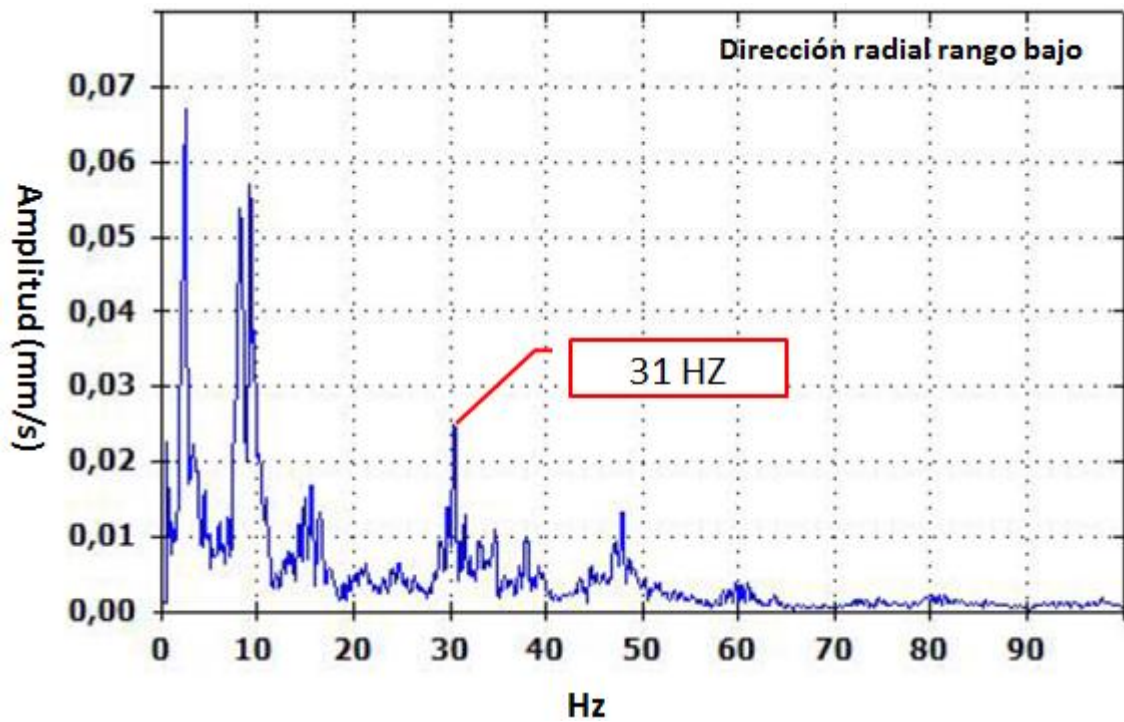
En la **ubicación 2** se identifica la frecuencia de giro del motor y del eje de entrada del reductor [8,33 Hz].



En la **ubicación 4** se identifica la frecuencia de giro del eje intermedio del reductor [2.06 Hz] y la frecuencia de engrane del eje de entrada y el intermedio [191.66 Hz].



En la **ubicación 5** se identifica la frecuencia de engrane del eje intermedio y el de salida [31 Hz].



### 5.6.3. Identificación frecuencias características Foam.

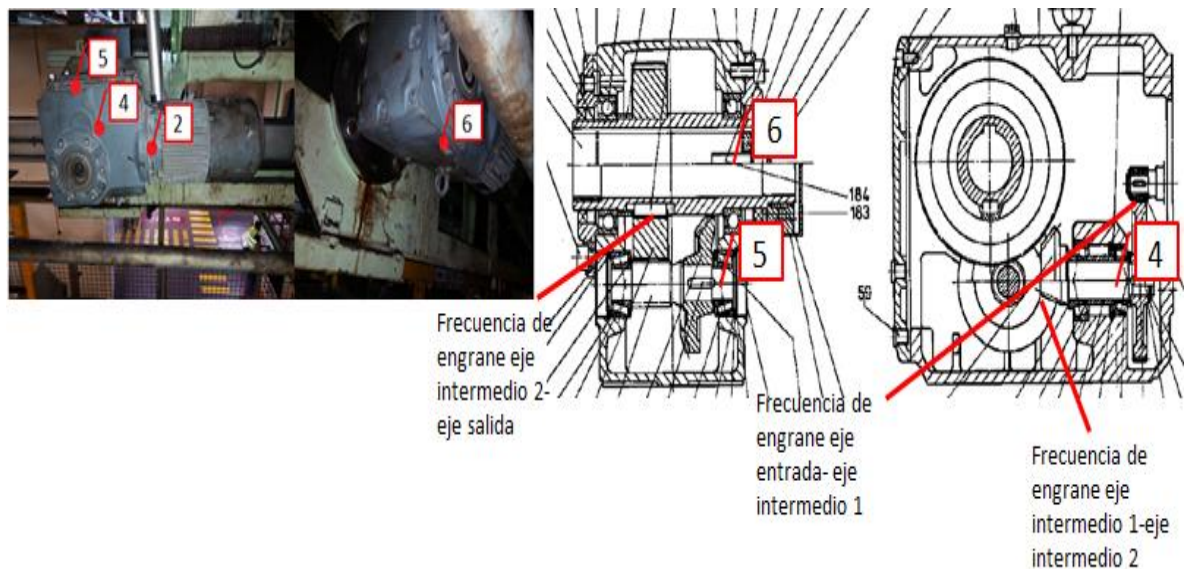
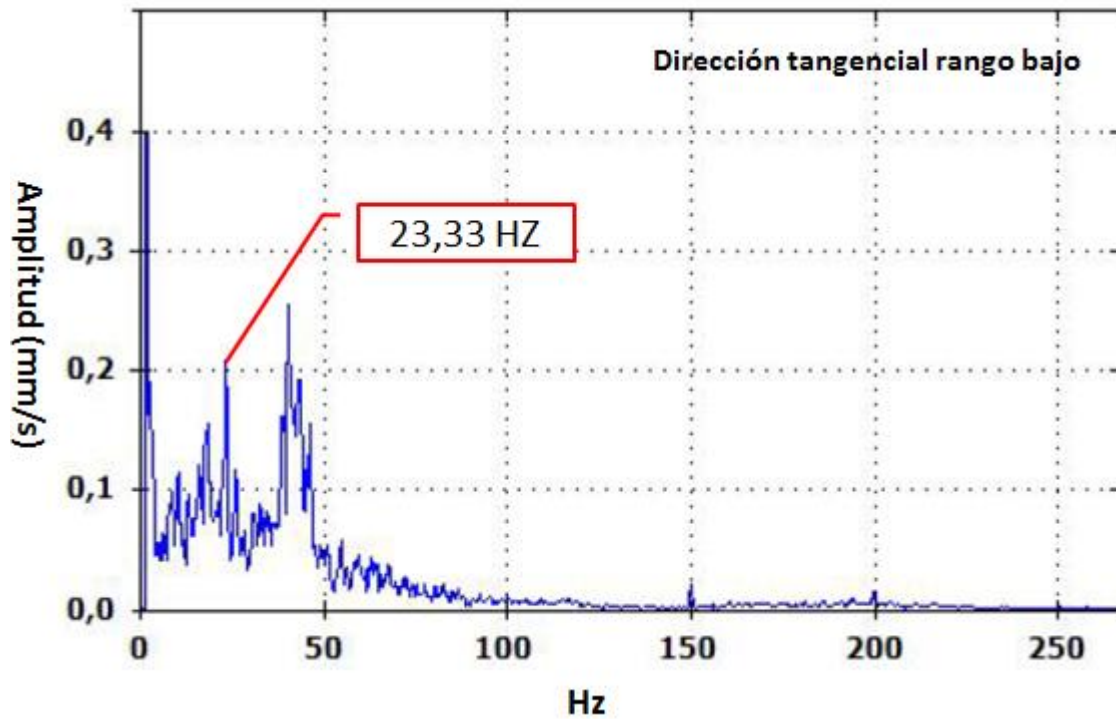
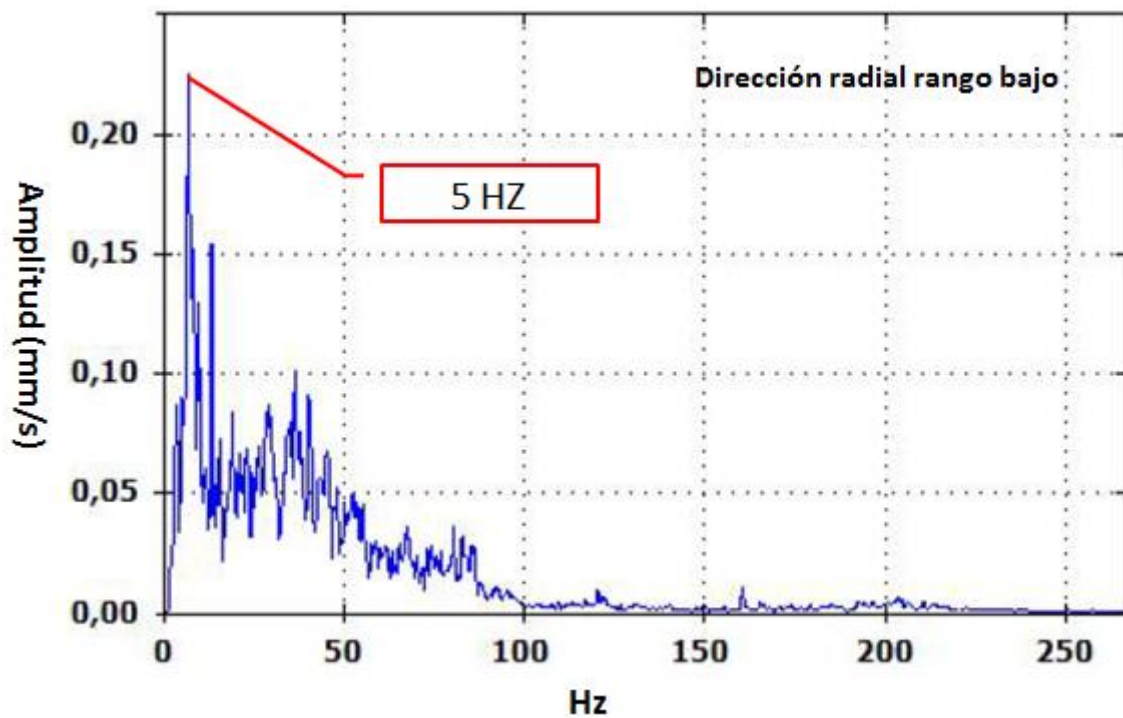


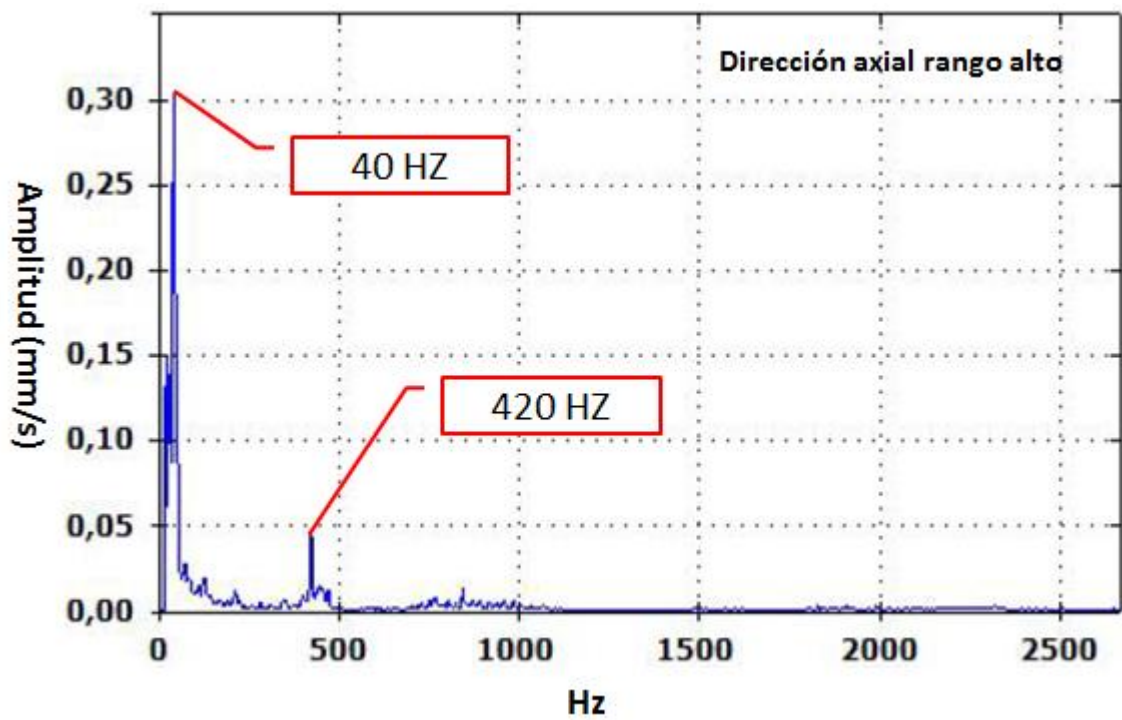
Figura 35. Ubicación acelerómetros.

En la **ubicación 2** se identifica la frecuencia de giro del motor y del eje de entrada del reductor [23.33 Hz].

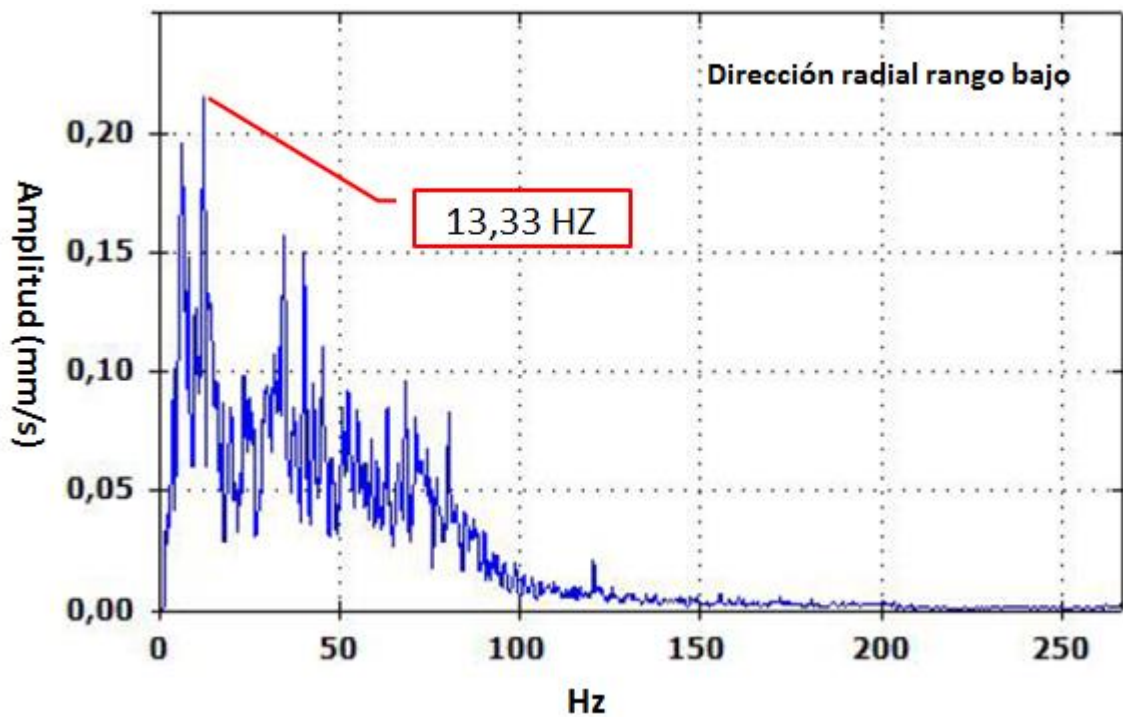


En la **ubicación 4** se identifica la frecuencia de giro del eje intermedio [5 Hz], la frecuencia de engrane del eje de entrada y el intermedio [420 Hz] y la frecuencia de engrane del eje intermedio 1 y el intermedio 2 [40 Hz].





En la ubicación 5 se identifica la frecuencia de engrane del eje intermedio 2 y el de salida [13.33 Hz].



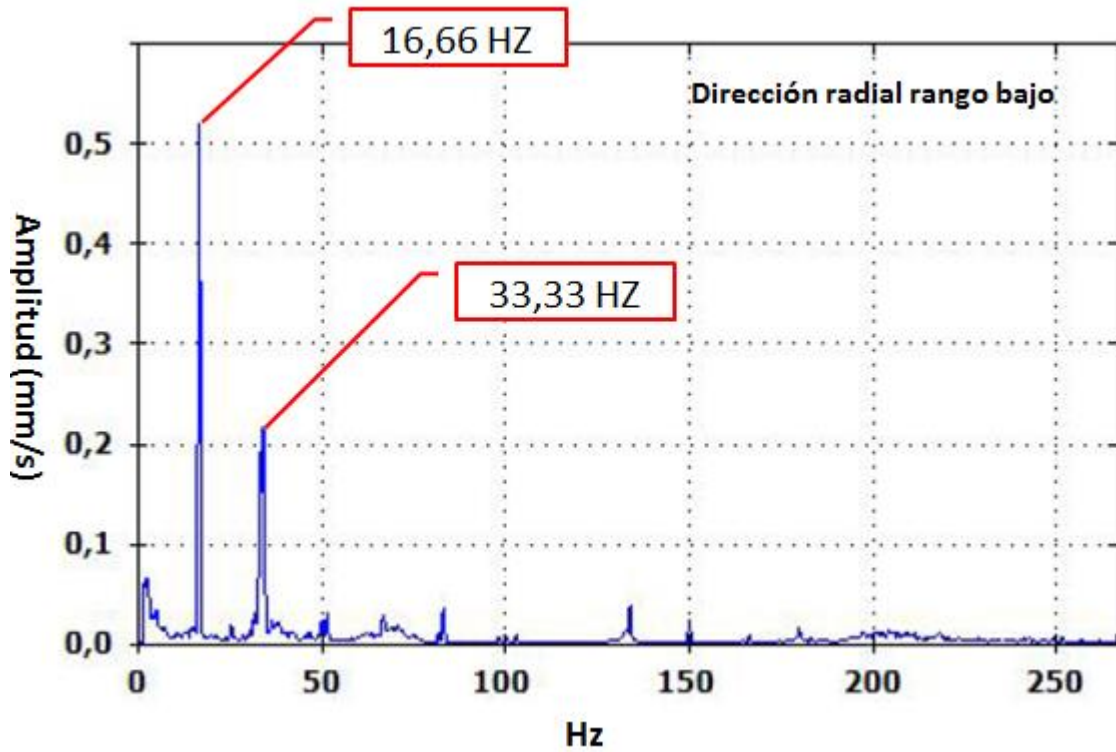
### 5.6.4. Identificación frecuencias características Water

Test.

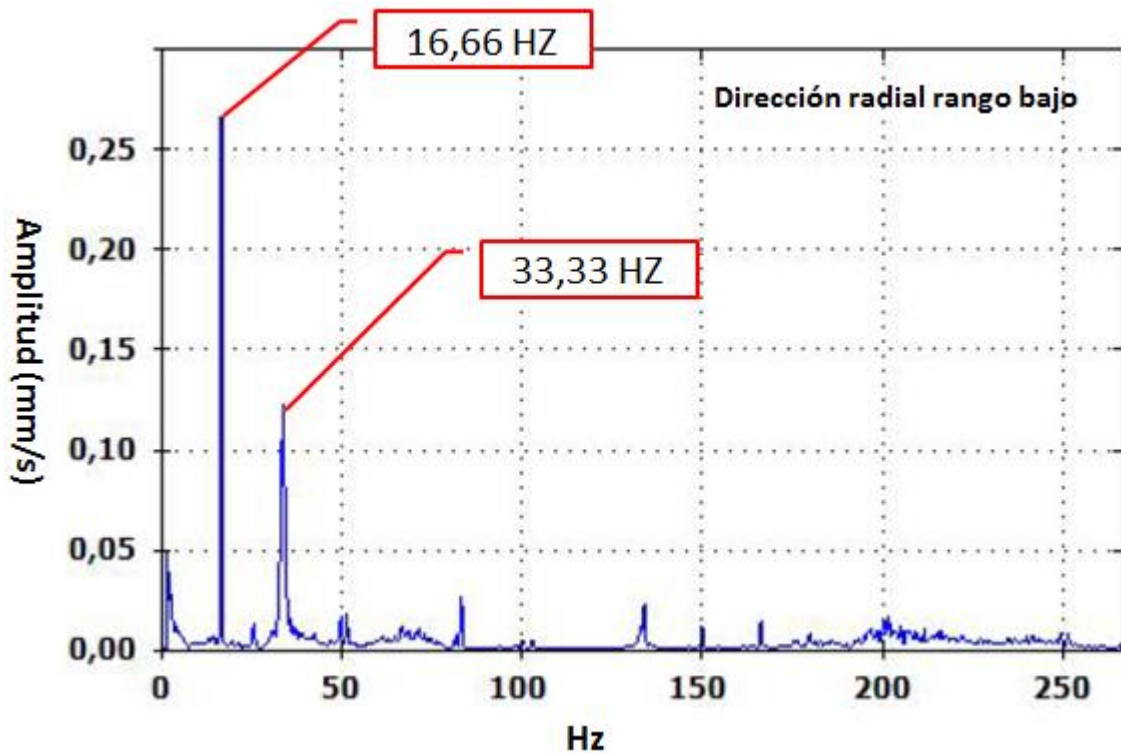


Figura 36. Ubicación acelerómetros.

En la **ubicación 1** se identifica la frecuencia de giro del motor [16,66 Hz] y armónicos de la frecuencia de giro del motor [33,33 Hz].



En la **ubicación 2** se identifica la frecuencia de giro del motor [16.66 Hz] y armónicos de su frecuencia de giro [33.33 Hz].



### 5.6.5. Identificación frecuencias características Buy off chasis.

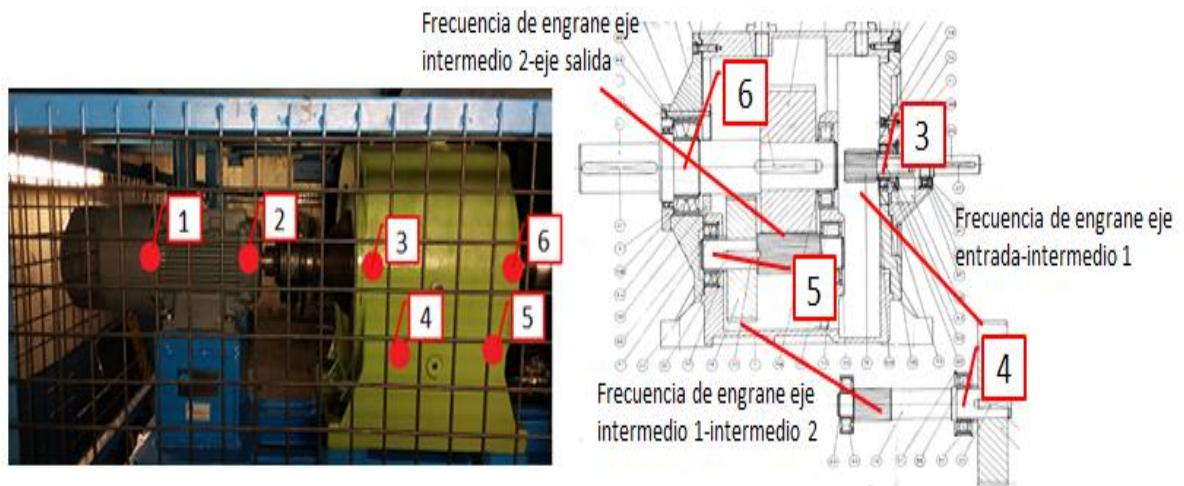
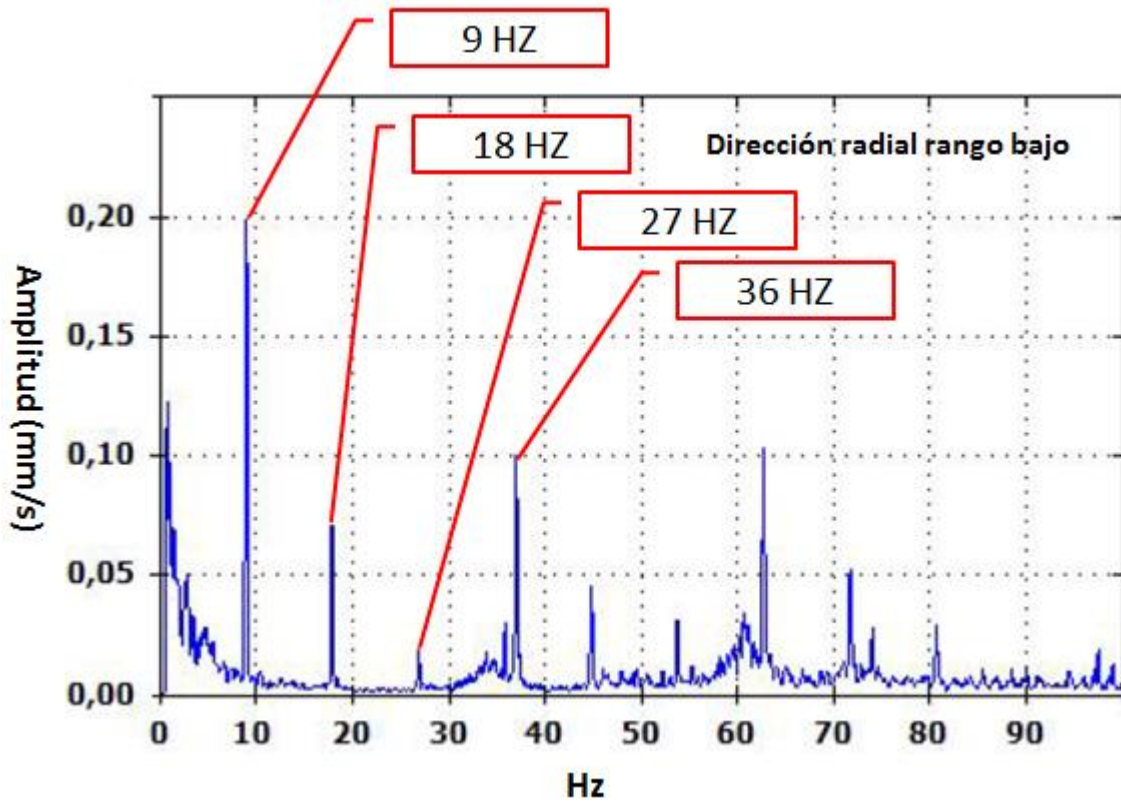


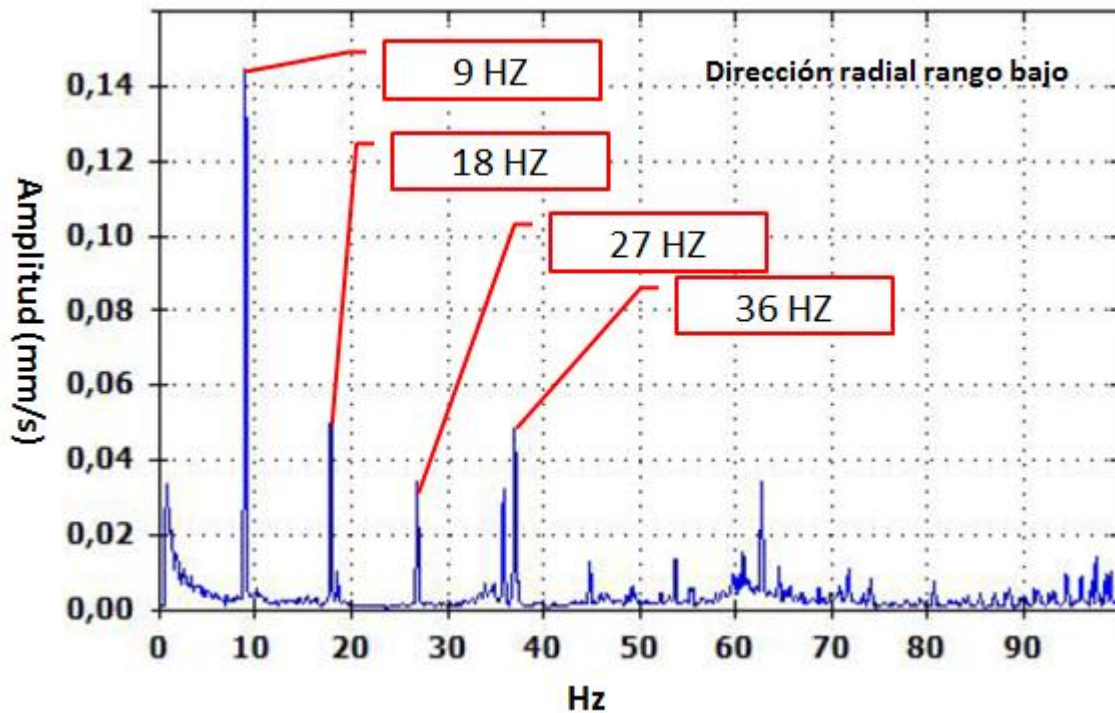
Figura 37. Ubicación acelerómetros.

En la **ubicación 1** se identifica la frecuencia de giro del motor [9 Hz] así como sus armónicos [18, 27,36, etc. Hz]].

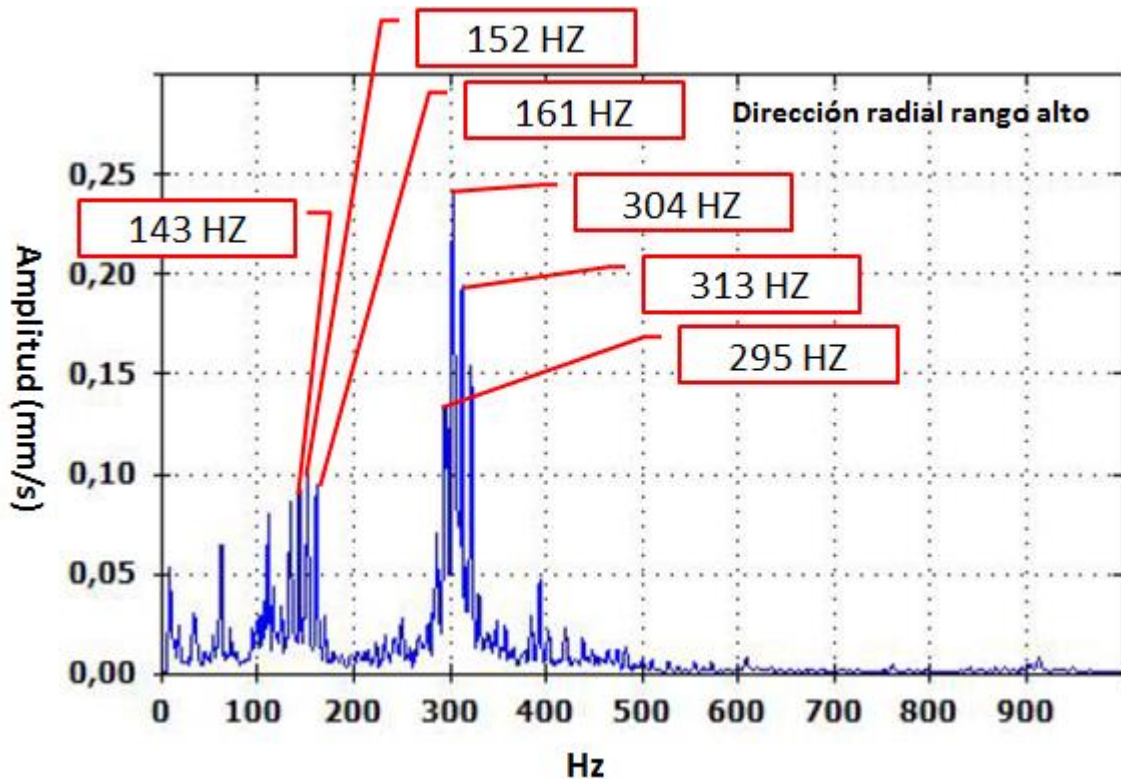
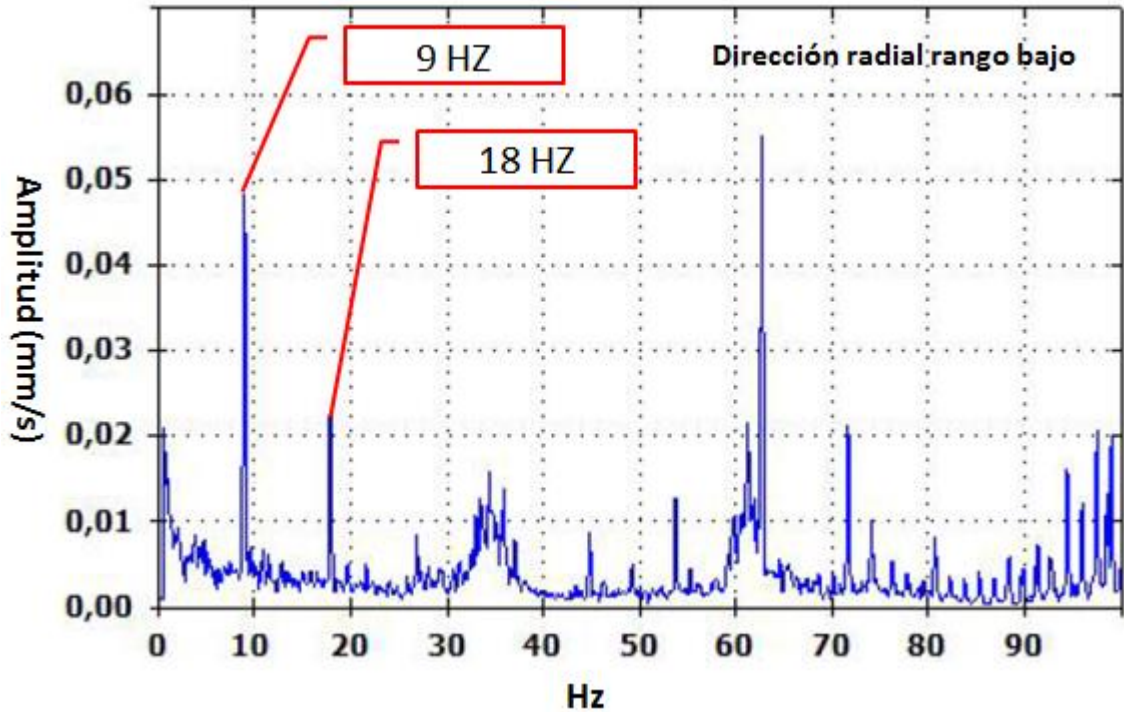




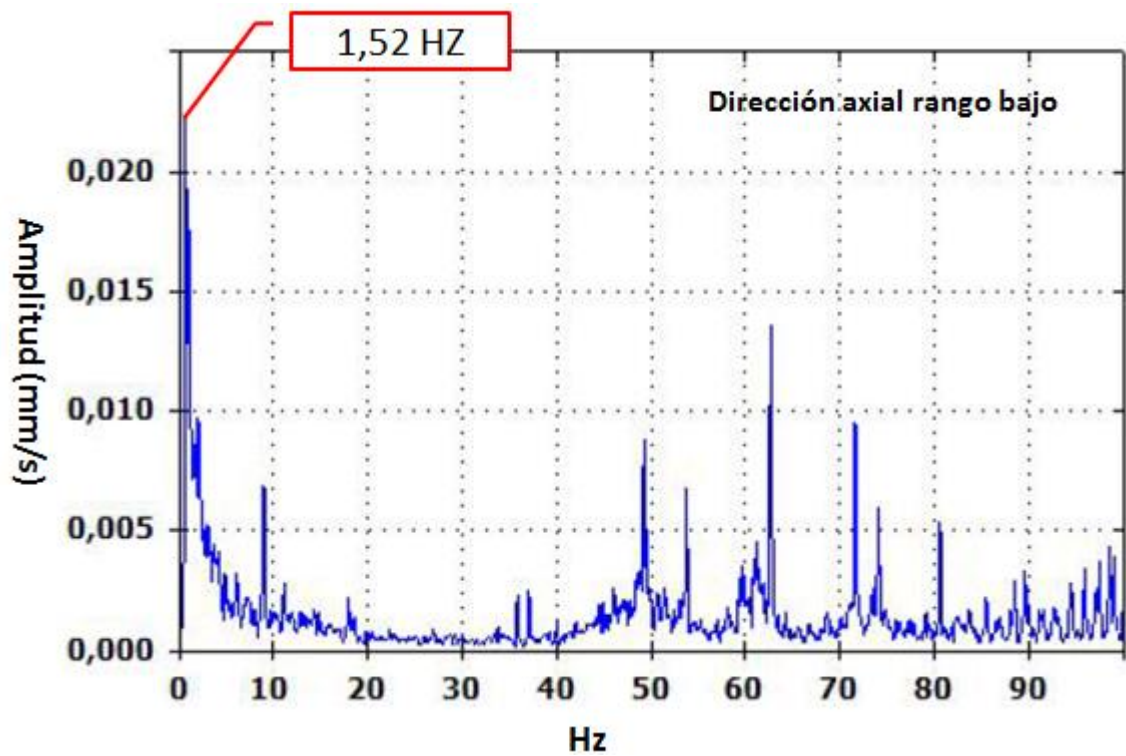
En la **ubicación 2** se identifica la frecuencia de giro del motor [9 Hz] así como sus armónicos [18, 27, 36, etc. Hz].



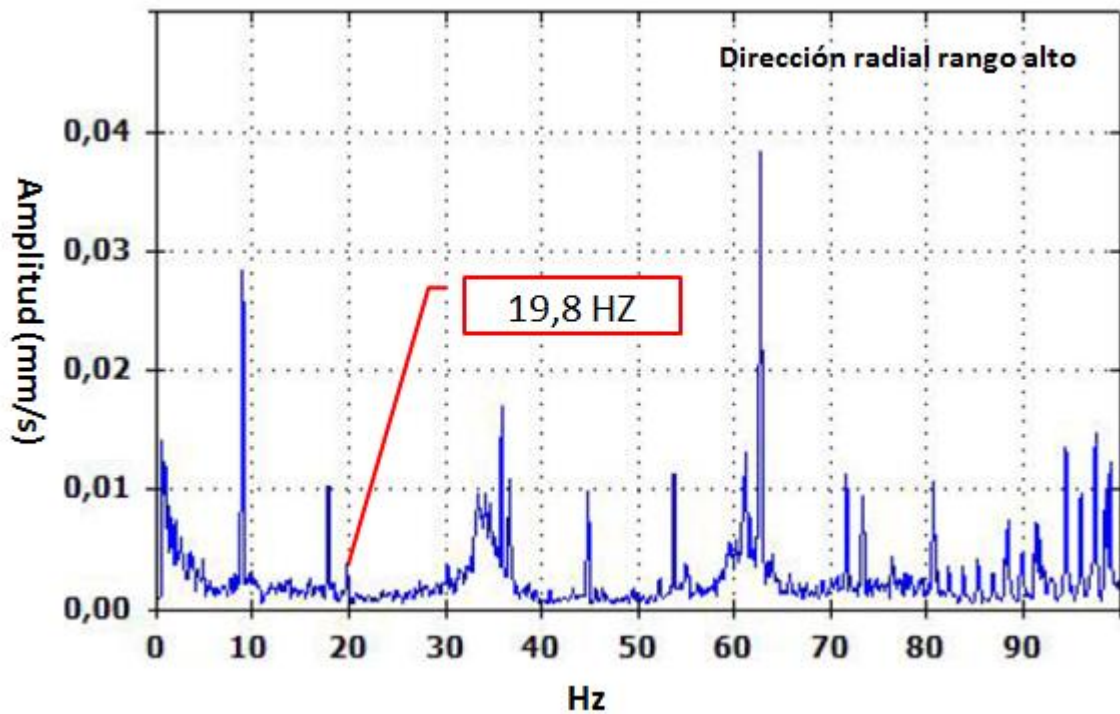
En la **ubicación 3** se identifica la frecuencia de giro del eje de entrada del reductor [9 Hz] y la frecuencia de engrane del eje de entrada y el intermedio 1 [152 Hz] y su primer armónico [304 Hz] acompañadas de bandas laterales igual a la frecuencia de giro del eje de entrada [9 Hz].



En la **ubicación 4** se identifica la frecuencia de giro del eje intermedio 1 del reductor [1,52 Hz].



En la **ubicación 5** se identifica la frecuencia de engrane del eje intermedio 1 y el intermedio 2 [19.8 Hz].



### 5.6.6. Identificación frecuencias características puertas.

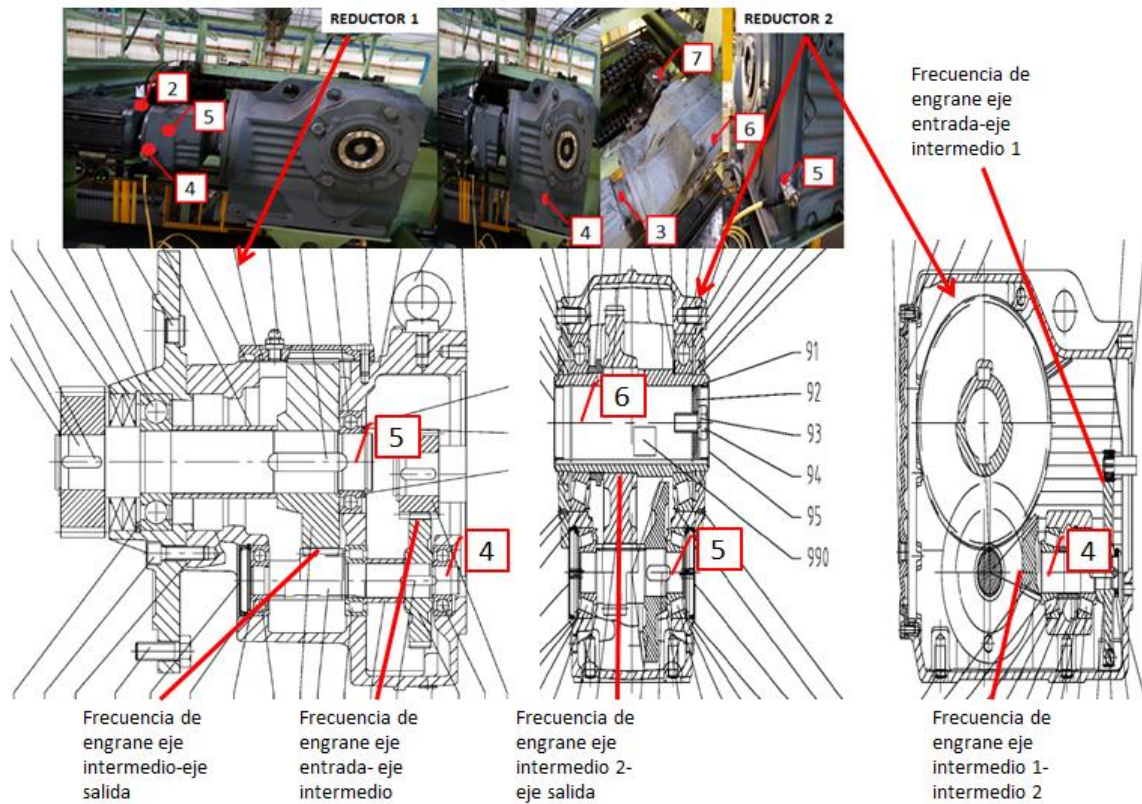
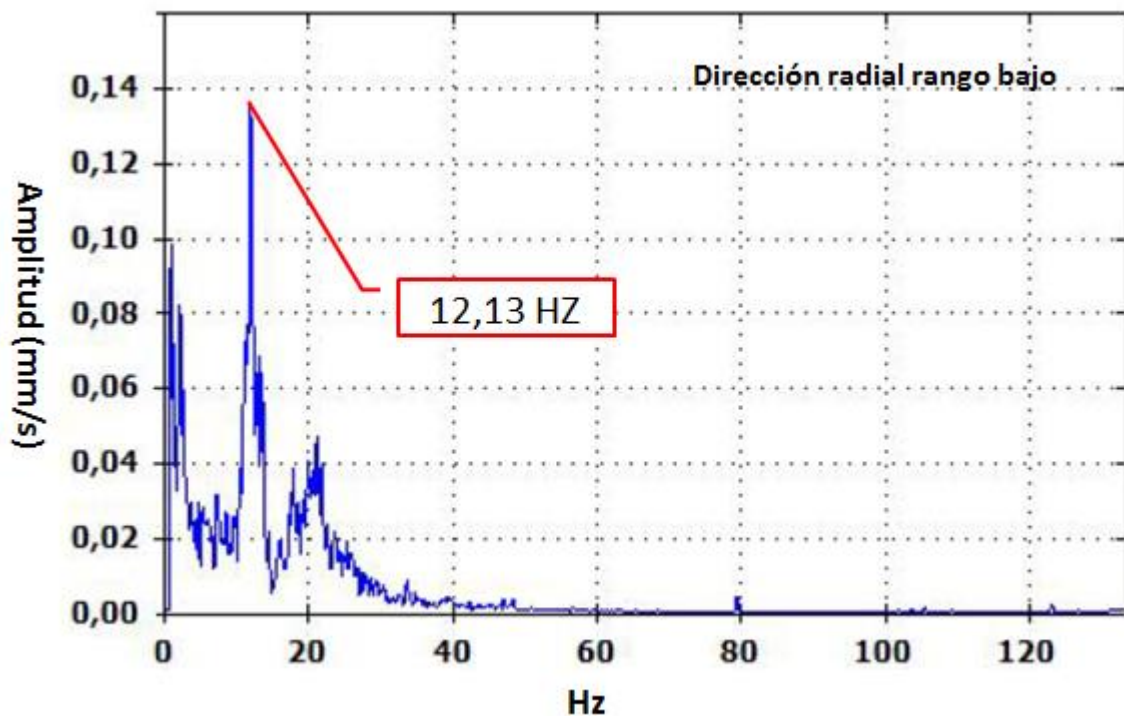
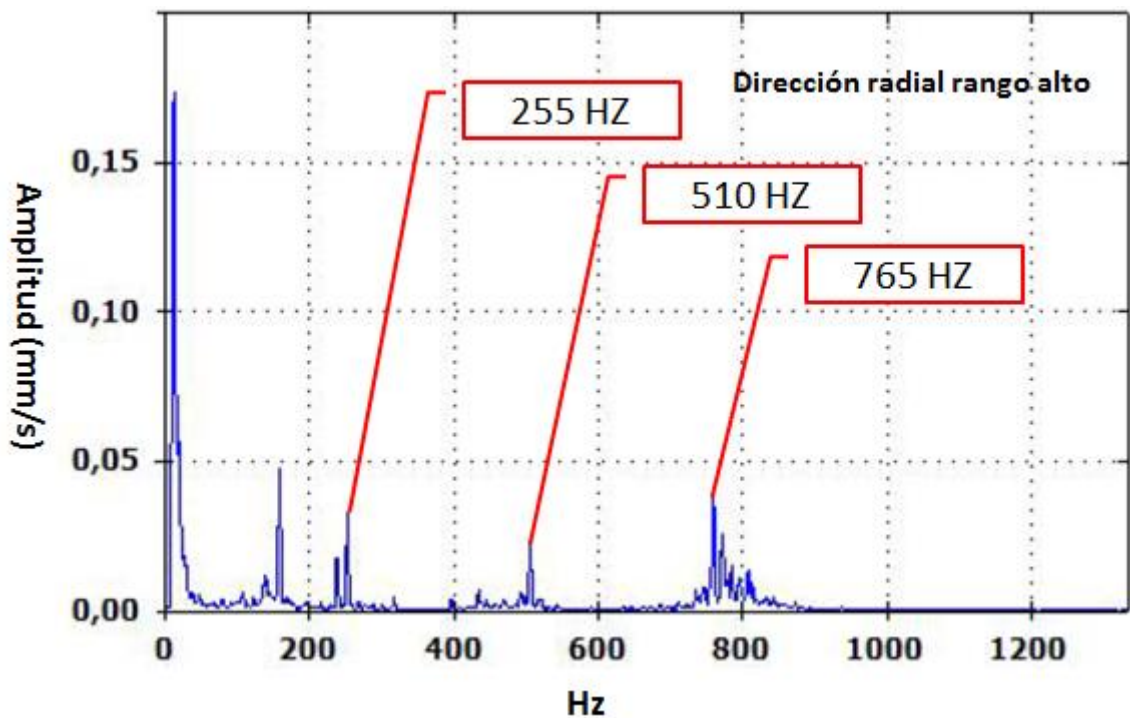
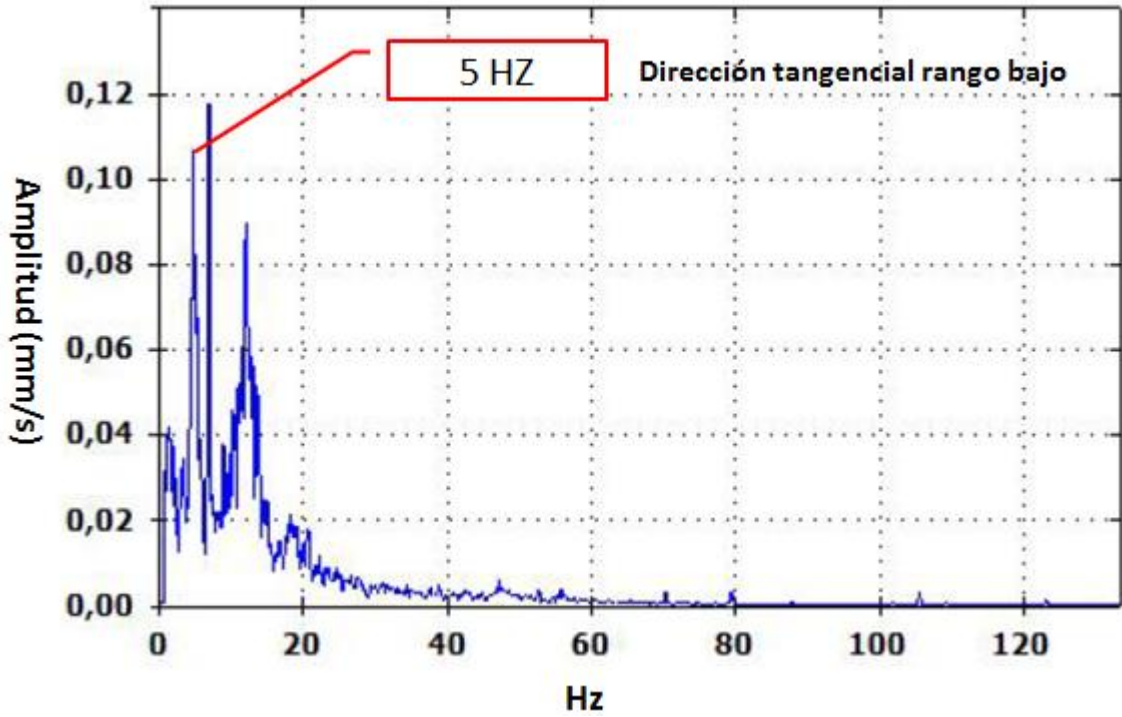


Figura 38. Ubicación acelerómetros.

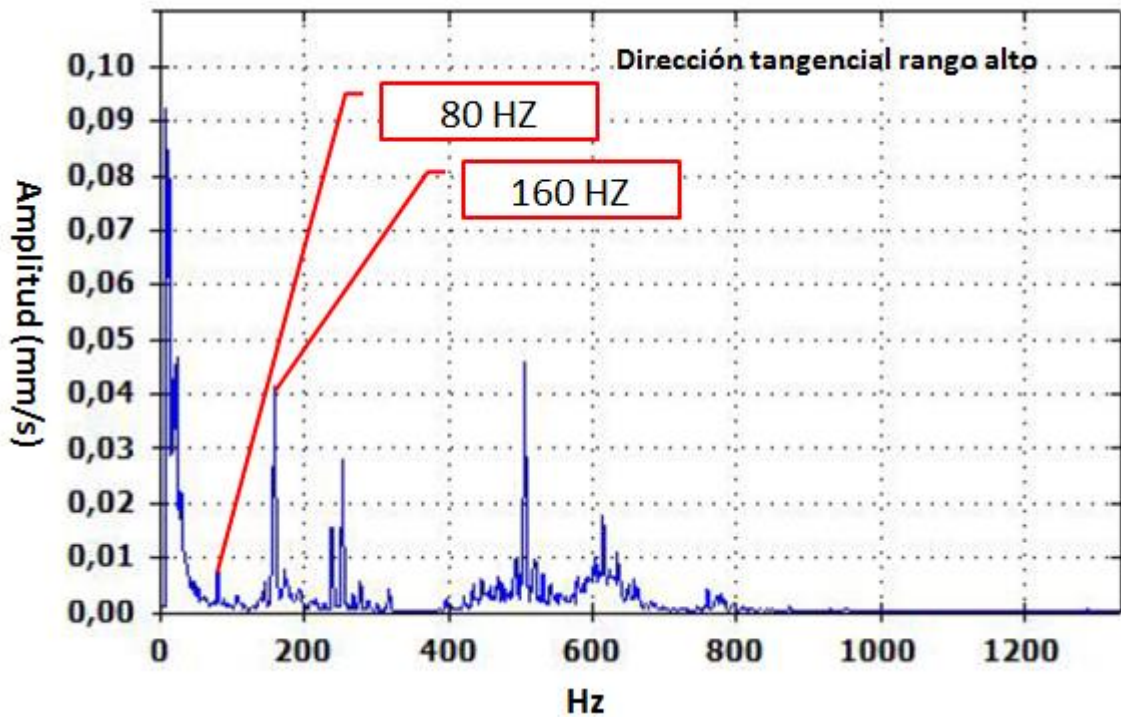
En la **ubicación 2 del reductor 1** se identifica la frecuencia de giro del motor y la del eje de entrada del reductor 1 [12,13 Hz].



En la **ubicación 4 del reductor 1** se identifica la frecuencia de giro del eje intermedio del reductor [5 Hz], la frecuencia de engrane del eje de entrada y el intermedio [255 Hz] y sus armónicos acompañadas por bandas laterales iguales a la frecuencia de giro del eje de entrada [12,13 Hz]



En la **ubicación 5 del reductor 1** se identifica la frecuencia de engrane del eje intermedio y el de salida [80 Hz] y su primer armónico.



### 5.7. Establecer baselines.

Para el establecimiento de baselines nos fijaremos en la severidad de vibración de la máquina según la norma ISO.

Existen dos grupos de Normas ISO que pueden emplearse para el análisis de la severidad de vibración en máquinas. Las ISO 7919 "Vibraciones mecánicas-Evaluación de las vibraciones de máquinas mediante medidas sobre ejes" donde se emplea como dato las amplitudes de desplazamiento de los ejes medidas con sondas de proximidad situadas en o junto a los rodamientos, y las **ISO 10816** "Vibraciones mecánicas-Evaluación de las vibraciones de máquinas mediante medidas sobre partes no giratorias" que trabaja con amplitudes de vibración registradas sobre los apoyos de los rodamientos o sobre la carcasa de la máquina, medidas con una sonda de velocidad o con un acelerómetro. Ésta última va a ser en la cual nos fijaremos para establecer las baselines de nuestros equipos como hemos visto en puntos anteriores.

Estas normas están compuestas de cinco partes, en función del tipo de máquina estudiado:

**Parte 1:** Disposiciones generales.

**Parte 2:** Grupos turbinas de vapor-generator de más de 50 MW con velocidades usuales de trabajo de 1500 rpm, 1800 rpm, 3000 rpm y 3600 rpm.

**Parte 3:** *Maquinaria industrial de potencia nominal superior a 15 kW y velocidades entre 120 rpm y 15000 rpm.*

**Parte 4:** Turbinas de gas excepto las de aviación.

**Parte 5:** Grupos en plantas de energía hidráulica y estaciones de bombeo.

Los equipos estudiados pertenecen a la parte 1 y a la parte 3, con lo cual nos fijaremos en los límites que nos proporciona la norma para este tipo de maquinaria.

En ambas normas se definen cuatro zonas para evaluar el estado de la máquina:

**Zona A:** es donde deberían encontrarse las vibraciones en una máquina nueva.

**Zona B:** las máquinas que se encuentren dentro de esta zona pueden seguir trabajando sin restricciones.

**Zona C:** se considera que la máquina no debe continuar trabajando dentro de esta zona durante un tiempo prolongado. Se puede continuar trabajando durante un tiempo limitado hasta que se lleve a cabo una acción correctora.

**Zona D:** las vibraciones dentro de esta zona pueden dañar gravemente la máquina.

Atendiendo a la norma ISO 10816, como magnitud de la vibración medida permite las tres posibilidades, es decir desplazamiento en micras, velocidad en milímetros por segundo o aceleración en metros por segundo al cuadrado. Si bien se recomienda el empleo del **valor r.m.s** de la velocidad, que es en lo que nos vamos a fijar. El rango de frecuencias cubierto por las medidas depende del tipo de maquinaria ensayada. En cuanto a los puntos de medida, estos serán los soportes de los rodamientos, o en cualquier otro punto de la carcasa que tenga una respuesta significativa frente a las cargas dinámicas. Hay que medir junto a cada apoyo del eje en tres direcciones, axial, radial y tangencial, para ello haremos uso de un acelerómetro triaxial.

La parte 1 de la norma, la cual nos conviene para el análisis de nuestros equipos, agrupa las máquinas en 4 clases:

**Clase I:** Componentes individuales de máquinas (por ejemplo los motores eléctricos hasta 15 kW).

**Clase II:** Máquinas de tamaño medio (por ejemplo motores eléctricos de 15 kW hasta 75 kW) sin bancada especial, máquinas de hasta 300 kW con bancadas sujetas a la cimentación. (Sustituido por la 10816-3).

**Clase III:** Grandes máquinas rotativas montadas sobre bancadas pesadas y bastante rígidas en la dirección de medida de la vibración. (Sustituido por la 10816-3, 10816-5).

**Clase IV:** Grandes máquina rotativas montadas sobre bancadas poco rígidas en la dirección de medida (por ejemplo turbinas de gas de más de 10 MW). (Sustituido por la 10816-3, 10816-4).

En el caso de este trabajo atenderemos a los límites que nos facilita la norma para la maquinaria de clase I (Norma ISO 10816-1) y maquinaria clase II (Norma ISO 10816-3).

A continuación se muestra los valores de velocidad r.m.s de estas dos clases de maquinaria:

SEVERIDAD VIBRACIÓN ISO 10816-1					
Máquina	Clase I: Máquinas pequeñas hasta 15 KW	Clase II: Máquinas de tamaño medio de 15-300 KW	Clase III: Grandes máquinas con apoyos rígidos	Clase IV: Grandes máquinas con apoyos poco rígidos	
mm/seg					
Vrms	0,28				BIEN
	0,45				
	0,71				
	1,12				SATISFACTORIO
	1,8				
	2,8				INSATISFACTORIO
	4,5				
	7,1				INACEPTABLE
	11,2				
	18				
	28				
	45,9				

**Tabla 10.** Límites de vibración máquinas clase I. Norma ISO 10816-1.

SEVERIDAD VIBRACIÓN ISO 10816-3					
Máquina	Maquinaria grupo 2 y 4 de 15-300 KW		Maquinaria grupo 1 y 3. Grupo 1 de 300 KW-50MW. Grupo 3 más de 15 KW		
mm/seg					
Vrms	0				BIEN
	0,7				
	1,4				SATISFACTORIO
	2,3				
	2,8				INSATISFACTORIO
	3,5				
	4,5				INACEPTABLE
	7,1				
	11				
Apoyos	Rigido	Flexible	Rigido	Flexible	

**Tabla 11.** Límites de vibración máquinas clase II. Norma ISO 10816-3.



### **5.8. Seguimiento de los equipos monitorizados.**

En este punto se abordará el seguimiento de los distintos equipos monitorizados en el que se podrá visualizar de forma gráfica la evolución del estado de los elementos de cada equipo con el paso del tiempo y las baselines correctamente definidas, según **ISO 10816-1**, **ISO 10816-3** y el índice de gravedad dado por el analizador de vibraciones.

Se realizarán mediciones una vez por semana en los distintos equipos durante toda la duración del Trabajo Final de Máster. Una vez implantada la técnica de análisis de vibraciones, se seguirá una frecuencia de mediciones de 4 meses impuesta por el MOS (Maintenance Operating System), el estándar global de mantenimiento de Ford.

Por último, se irán comentando las distintas incidencias encontradas durante la realización de este punto como: identificación de fallos, evolución del RMS.

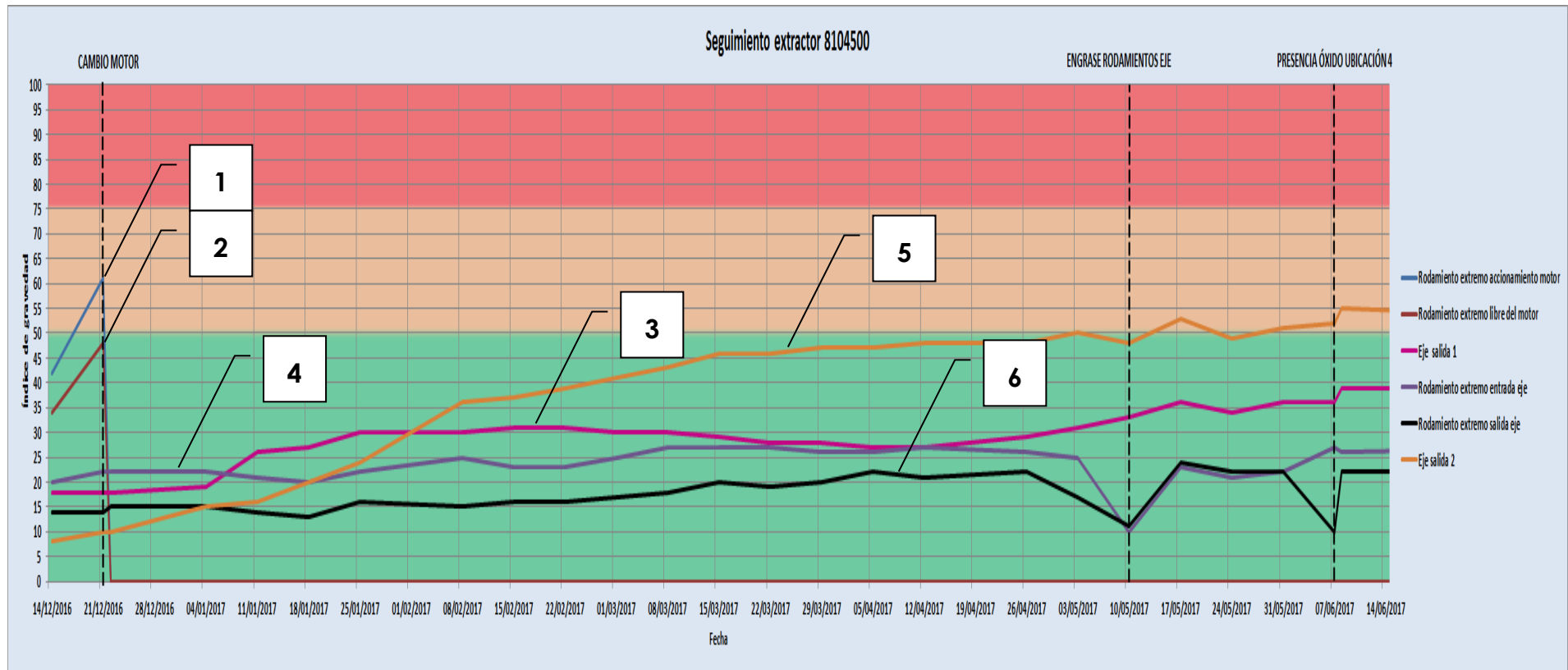
### 5.8.1. Seguimiento extractores.

En este apartado, veremos la evolución del índice de gravedad de los fallos en uno de los extractores estudiados, así como la del RMS en cada una de las ubicaciones y se identificarán los distintos fallos en los espectros de frecuencia.

Evolución índice de gravedad		Fecha/Gravedad																										
Elemento	Modo de fallo	14/12	21/12	22/12	04/01	11/01	18/01	25/01	08/02	15/02	22/02	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	08/06	14/06	
Rodamiento extremo accionamiento motor	Desgaste	42	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rodamiento extremo libre motor	Desgaste	34	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eje salida	Desequilibrio	18	18	18	19	26	27	30	30	31	31	30	30	29	28	28	27	27	29	31	33	36	34	36	36	39	39	
Eje salida	Desalineación	8	10	10	15	16	20	24	36	37	39	41	43	46	46	47	47	48	48	50	48	53	49	51	52	55	53	
Rodamiento extremo entrada eje	Desgaste	20	22	22	22	21	20	22	25	23	23	25	27	27	27	26	26	27	26	25	10	23	21	22	27	26	27	
Rodamiento extremo salida eje	Desgaste	14	14	15	15	14	13	16	15	16	16	17	18	20	19	20	22	21	22	17	11	24	22	22	10	22	22	

Tabla 12. Índices de gravedad fallos extractor.

A continuación se muestra la gráfica de la evolución del índice de gravedad de los fallos (gráfica 2):



Gráfica 2. Evolución índice de gravedad.

Observando la **gráfica 2**, vemos como los fallos 3, 4, 5 y 6 siguen una línea ascendente con el paso del tiempo, en el que habrá que prestar atención a la evolución del fallo 5 (desalineación del eje) ya que éste se encuentra limitando con la zona C (insatisfactorio), según la norma ISO 10816-3, también se observa como los fallos 4 y 6 relacionados con fallos en rodamientos se atenúan cuando se realiza el engrase de los mismos, lo mismo ocurre con la presencia de óxido. En cuanto a los fallos 1 y 2 (desgaste rodamientos) vemos como una vez cambiado el motor desaparece el fallo.

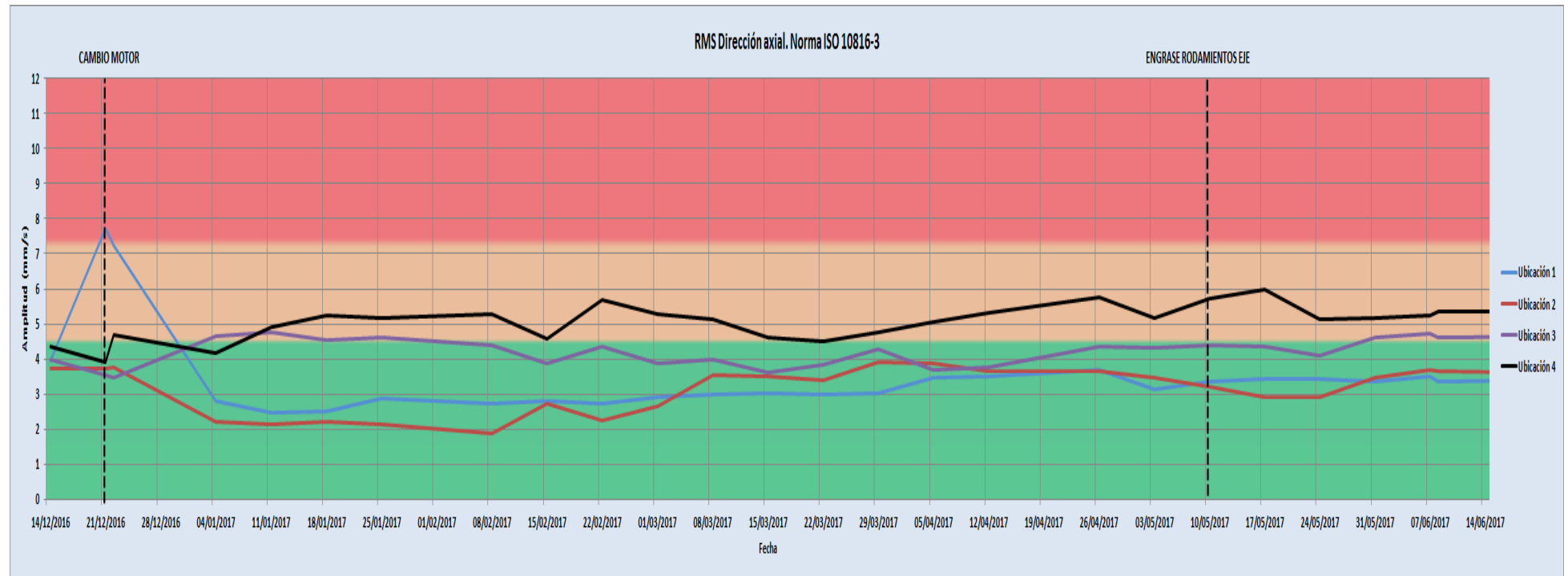
# Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L

El cambio de motor fue debido a un cortocircuito en el estator, el cual se identificará más adelante en el espectro en frecuencia al igual que los demás fallos.

Evolución RMS		Fecha																									
Ubicación	Dirección	14/12	21/12	22/12	04/01	11/01	18/01	25/01	08/02	15/02	22/02	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06	21/06
Ubicación 1	Axial	3,94	7,73	7,23	2,82	2,47	2,52	2,88	2,72	2,79	2,71	2,9	3	3,02	2,98	3,04	3,47	3,5	3,69	3,14	2,85	3,43	3,43	3,36	3,52	3,37	3,45
	Tangencial	2,51	2,79	2,72	2,7	2,43	2,32	2,68	2,85	2,69	2,94	2,93	2,93	2,7	2,9	3,01	2,79	2,98	2,86	3,18	2,82	2,73	2,82	2,87	2,74	2,95	2,97
	Radial	5,03	4,88	4,87	1,35	1,49	1,45	1,45	1,88	2,06	1,92	2,93	3,08	3,34	3,2	3,27	3,38	3,07	3,17	3,04	3,09	3,09	3,34	3,52	4,16	4,16	4,16
Ubicación 2	Axial	3,71	3,71	3,76	2,21	2,12	2,21	2,15	1,89	2,72	2,26	2,65	3,53	3,51	3,4	3,93	3,86	3,67	3,66	3,45	3,22	3,93	2,93	3,47	3,7	3,66	3,56
	Tangencial	2,07	2,11	2,29	2,11	2,24	2,11	2,32	3,04	2,93	2,78	2,86	2,52	2,83	2,74	2,94	2,97	2,78	3,18	3,16	2,9	3,11	2,89	3,27	3,36	3,21	3,11
	Radial	3,69	3,67	3,89	2,74	2,97	3,01	2,61	2,82	3	3,11	3,39	2,61	2,76	2,89	3,04	3,1	2,63	3,17	2,9	3,61	3,43	3,44	3,46	3,17	3,5	3,5
Ubicación 3	Axial	3,99	3,56	3,48	4,65	4,77	4,53	4,6	4,4	3,88	4,35	3,86	3,99	3,62	3,85	4,27	3,68	3,78	4,35	4,32	4,4	5,56	4,08	4,6	4,73	4,6	4,7
	Tangencial	2,72	2,51	2,19	3,03	3,24	3,03	3,61	3,15	3,35	3,25	3,41	3,56	3,28	3,76	4,09	4,02	4,16	4,05	4,27	4,16	4,39	4,31	4,74	4,8	4,93	4,93
	Radial	3,94	3,83	3,85	2,08	2,03	2,33	2,46	2,87	3,16	2,84	3,57	3,5	3,36	3,02	2,78	2,71	2,93	2,68	3,23	3,4	4,16	3,51	3,51	3,74	4,34	4,34
Ubicación 4	Axial	4,37	3,91	4,67	4,18	4,9	5,23	5,16	5,29	4,58	5,67	5,29	5,15	4,62	4,52	4,75	5,04	5,32	5,75	5,16	4,73	5,97	5,12	5,17	5,24	5,35	5,35
	Tangencial	1,09	1,4	1,31	1,36	1,35	1,35	1,31	1,35	1,37	1,55	1,58	1,65	1,98	1,69	1,83	1,77	1,86	1,94	2,02	1,78	2,09	1,69	2,24	1,71	1,72	1,72
	Radial	3,57	3,62	3,62	3,72	4,57	5,33	5,28	5,48	5,52	5,16	4,92	5,08	4,9	4,95	5,14	5,14	5	4,94	5,73	6,12	6,91	6,67	6,18	6,93	6,61	6,53

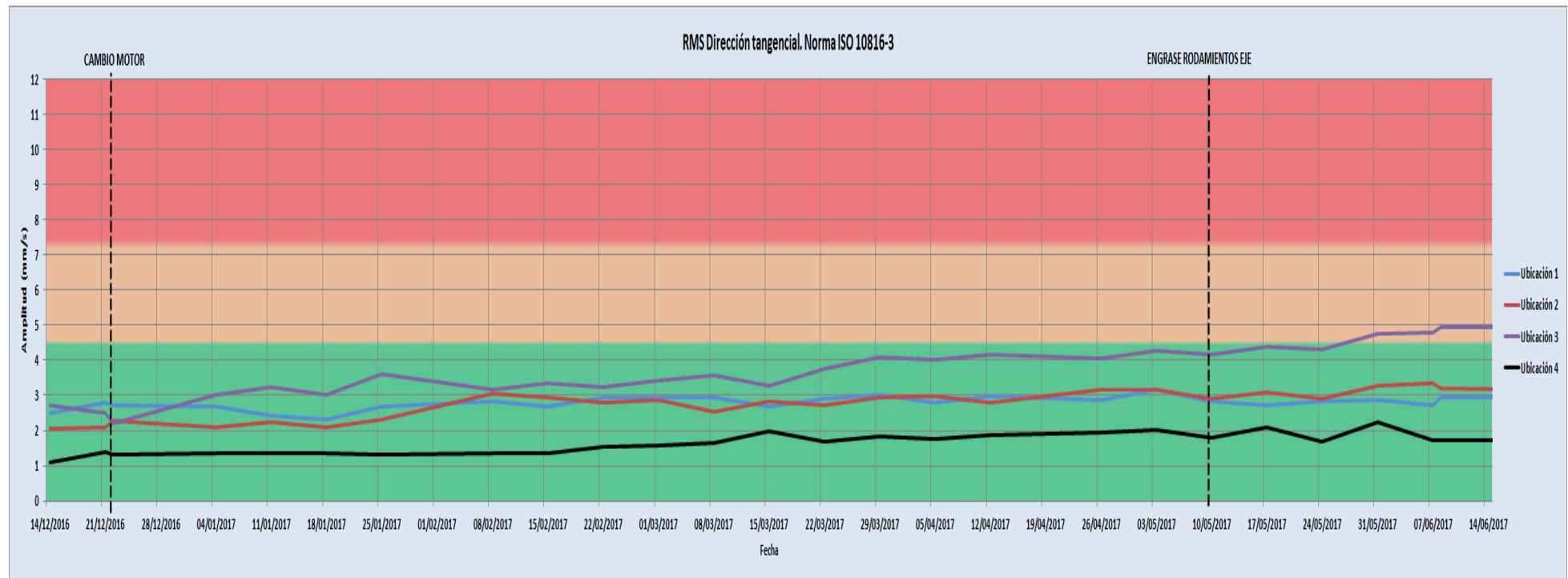
**Tabla 13.** Valores RMS.

A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 3,4 y 5) donde están dispuestos los acelerómetros.



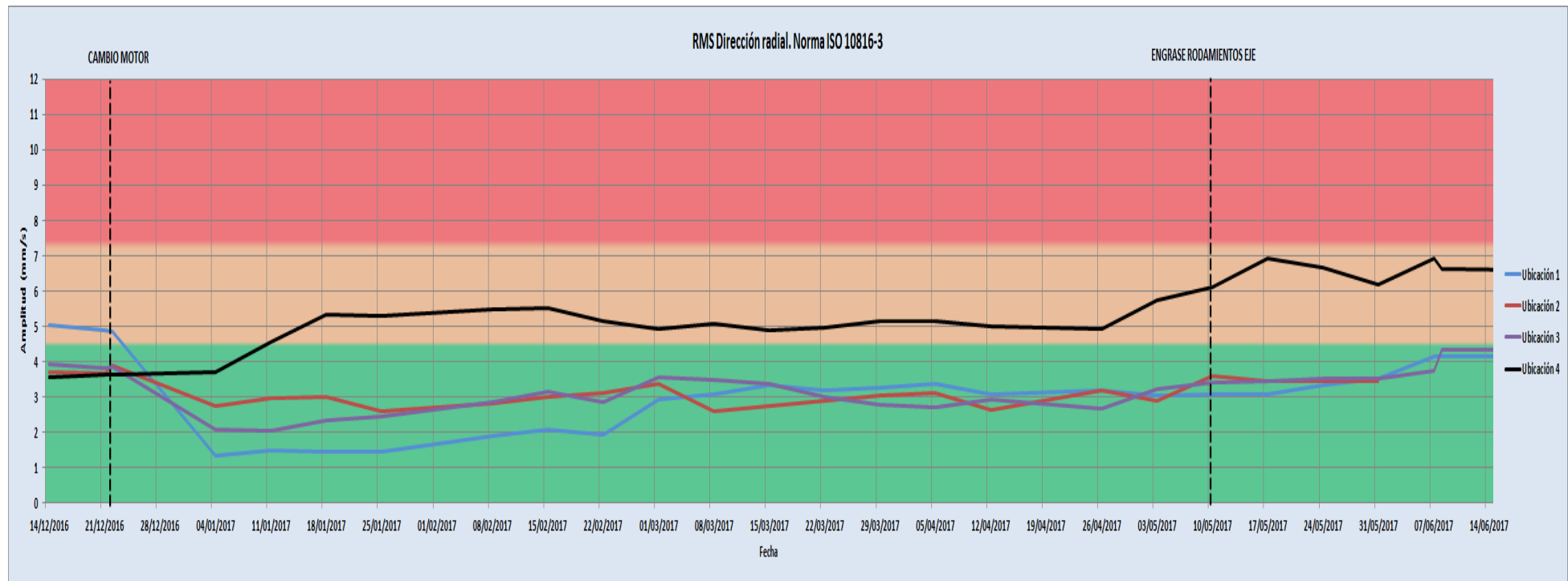
**Gráfica 3.** Evolución RMS dirección axial.

En la **gráfica 3**, vemos como el RMS de las ubicaciones 1 y 2 disminuye considerablemente una vez cambiado el motor, mientras que el de las ubicaciones 3 y 4 se encuentra la zona C (insatisfactorio) según norma ISO 10816-3, esto puede ser debido a la combinación de los fallos existentes en estas ubicaciones (desalineación y desequilibrio del eje y desgaste de rodamientos) y la excesiva vibración de la estructura donde se encuentra el equipo.



Gráfica 4. Evolución RMS dirección tangencial.

En la **gráfica 4**, se observa como el RMS de todas las ubicaciones, excepto la ubicación 3, se encuentra en la zona B (satisfactorio) según norma ISO 10816-3, en la cual la máquina puede seguir trabajando sin restricciones.

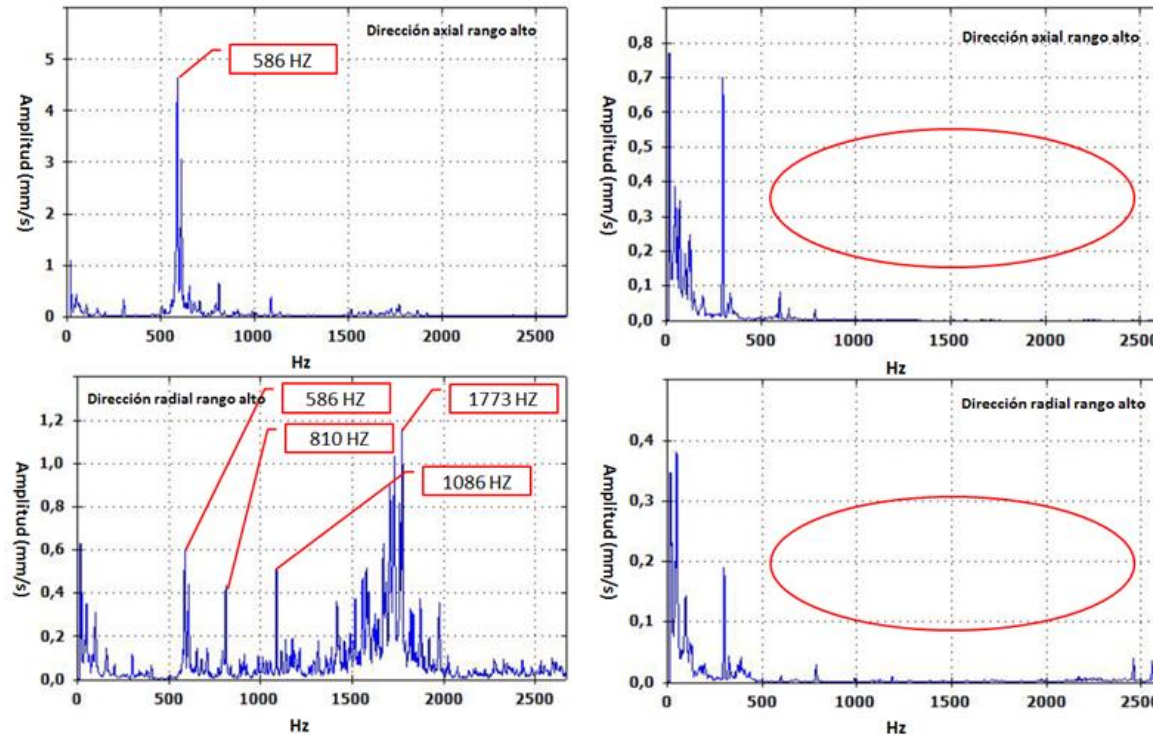


**Gráfica 5.** Evolución RMS dirección radial.

En la **gráfica 5**, ocurre exactamente lo mismo que la evolución del RMS en dirección axial (gráfica 3), vemos como el RMS de las ubicaciones 1 y 2 disminuye considerablemente una vez cambiado el motor, y que en la ubicación 4 el RMS se encuentra en la zona C (insatisfactorio) según norma ISO 10816-3, también debido a la combinación de fallos en esta ubicación y a la excesiva vibración de la estructura donde se encuentra el equipo, Pero en este caso habrá que ir pensando en realizar una acción correctiva ya que su RMS está lindando con la zona de vibración **inaceptable**.

Por último y atendiendo a los fallos marcados en gráfica de la evolución del índice de gravedad (gráfica 2), iremos identificando los distintos fallos en los espectros de frecuencia obtenidos en las mediciones.

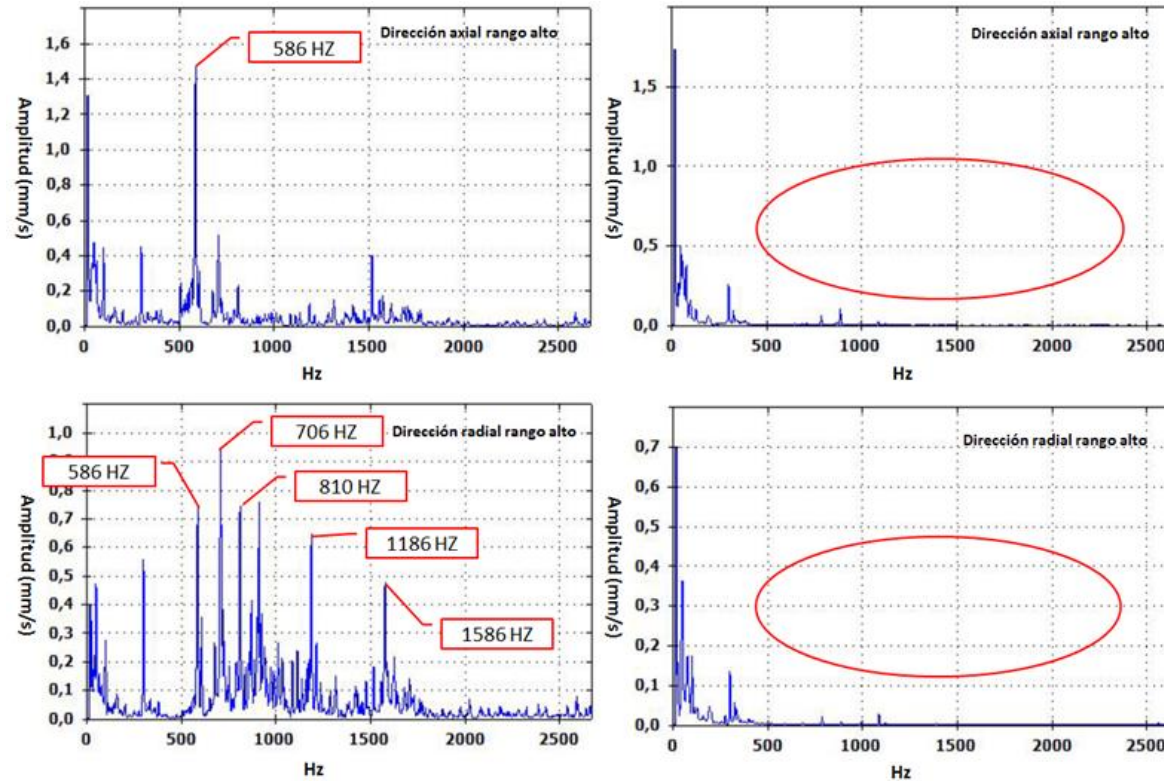
- **Fallo 1.** Desgaste rodamiento extremo accionamiento motor (Ubicación 2):



En los espectros vemos como cuando hay fallo en el rodamiento aparecen picos de alta frecuencia, debido a pequeños defectos superficiales que excitan las frecuencias naturales del rodamiento. Una vez cambiado el motor vemos como esos picos de frecuencia desaparecen completamente, tanto en dirección axial como radial.

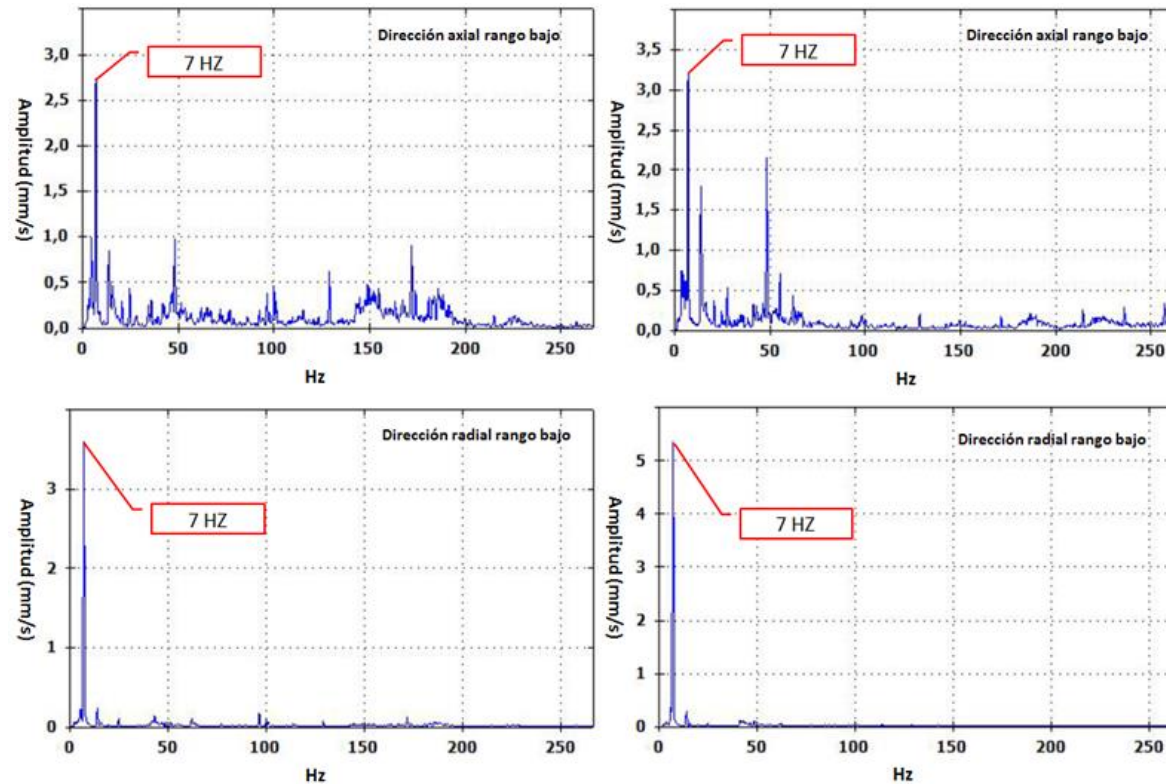


- **Fallo 2.** Desgaste rodamiento extremo libre motor (Ubicación 1):



Como se puede observar en este caso pasa exactamente lo mismo que en el fallo1, aparecen picos de alta frecuencia relacionados con pequeños defectos superficiales que excitan las frecuencias naturales del rodamiento y cuando se cambia el motor éstas desaparecen completamente.

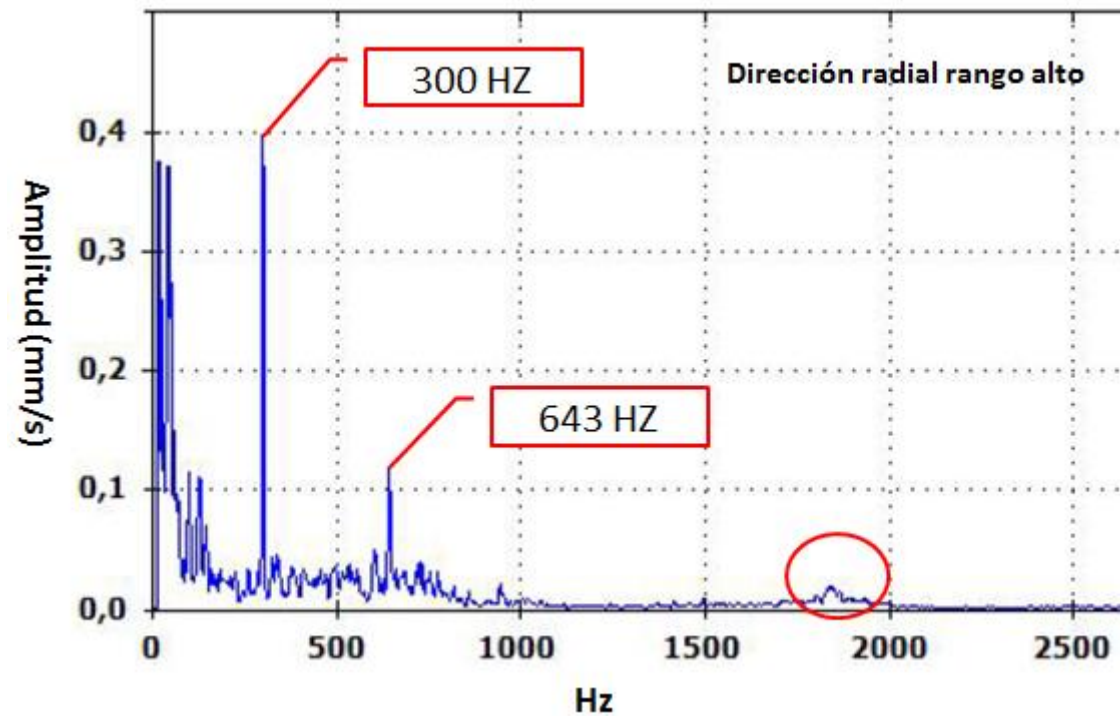
- **Fallo 3.** Desequilibrio del eje de salida (Ubicación 4):



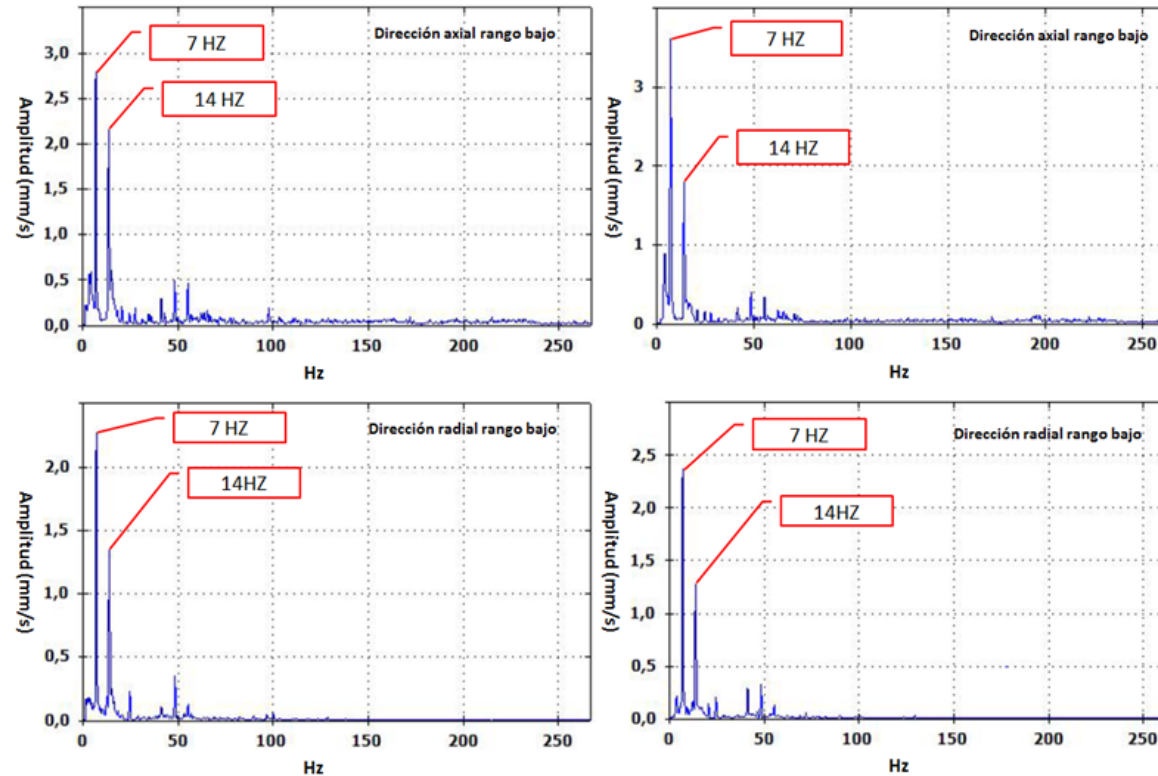
Estudiando los espectros en frecuencia se puede observar que existe un desequilibrio en el eje de salida del equipo ya que aparecen picos de frecuencia a la velocidad de giro de dicho eje tanto en dirección axial como radial, siendo las vibraciones en dirección radial mayores que en dirección axial, característica de desequilibrios en ejes. También se puede ver cómo ha ido evolucionando el fallo a lo largo del tiempo, aumentando la amplitud de los picos de frecuencia relacionados con la velocidad de giro del eje.

- **Fallo 4.** Desgaste en el rodamiento de entrada al eje (Ubicación 3):

En este caso la evolución del fallo no ha sido tan visible atendiendo a los espectros en frecuencia, por lo que se indicarán las frecuencias que identifican a este fallo, que son frecuencias naturales del rodamiento debido a la aparición de defectos superficiales como ocurría en los fallos 1 y 2.



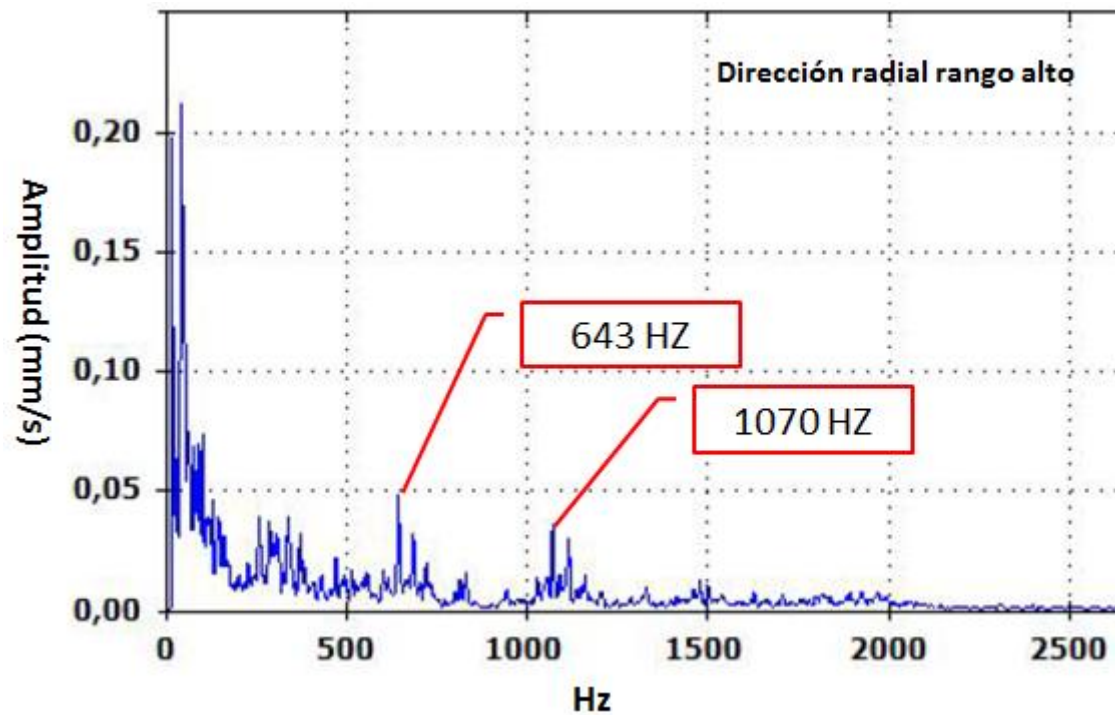
- **Fallo 5.** Desalineación del eje de salida (Ubicación 3):



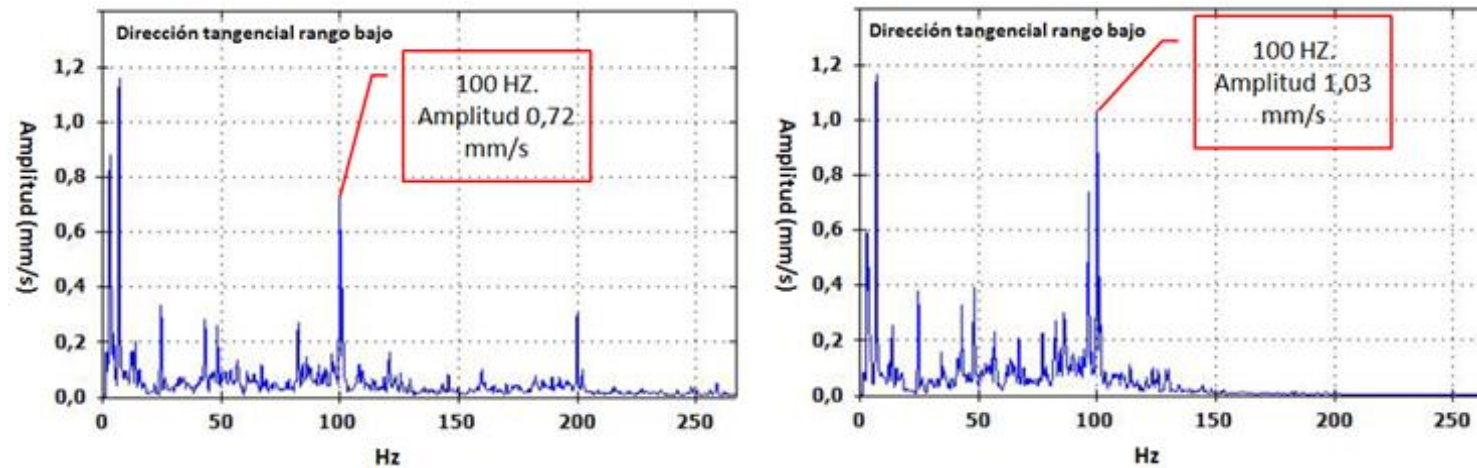
Estudiando los espectros en frecuencia se puede observar que existe una desalineación del eje de salida del equipo ya que aparecen picos de frecuencia a la velocidad de giro de dicho eje tanto en dirección axial como radial, pero en este caso a diferencia del desequilibrio en el fallo 3, las vibraciones en dirección axial son mayores que en dirección radial además de la aparición del primer armónico de la frecuencia de giro del eje, característica de desalineaciones en ejes. También se puede ver cómo ha ido evolucionando el fallo a lo largo del tiempo, aumentando la amplitud de los picos de frecuencia relacionados con la velocidad de giro del eje.

- **Fallo 6.** Desgaste en el rodamiento de salida al eje (Ubicación 4):

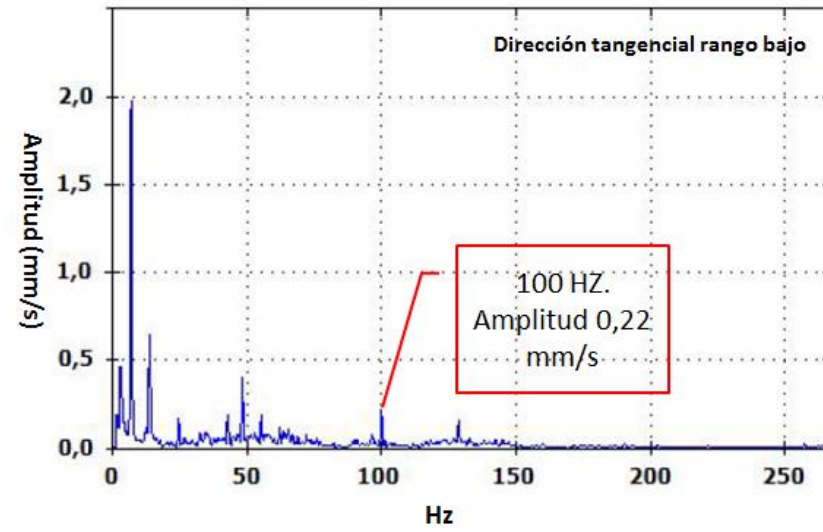
Al igual que ocurre en el fallo 3, la evolución del fallo no ha sido tan visible atendiendo a los espectros en frecuencia, por lo que se indicarán las frecuencias que identifican a este fallo, que son frecuencias naturales del rodamiento debido a la aparición de defectos superficiales como ocurría en los fallos 1 y 2.



Por último, veremos en los espectros en frecuencia la evolución del fallo que provocó un cortocircuito en el estator del motor que llevó a la sustitución del mismo.



En motores de inducción o asíncronos, un cortocircuito en los devanados del estator entre bobinas de la misma fase genera vibraciones de frecuencia doble que la red eléctrica, es decir 100 Hz, como se puede observar claramente en los espectros de la imagen, el tiempo transcurrido entre las mediciones fue de una semana. Esto ocasionó el salto de las protecciones con el consiguiente paro del motor. Una vez cambiado el motor, se realizó una medición obteniendo el siguiente espectro, en el cual se observa que la frecuencia a 100 Hz disminuyó de forma clara.



### 5.8.2. Seguimiento elevadores.

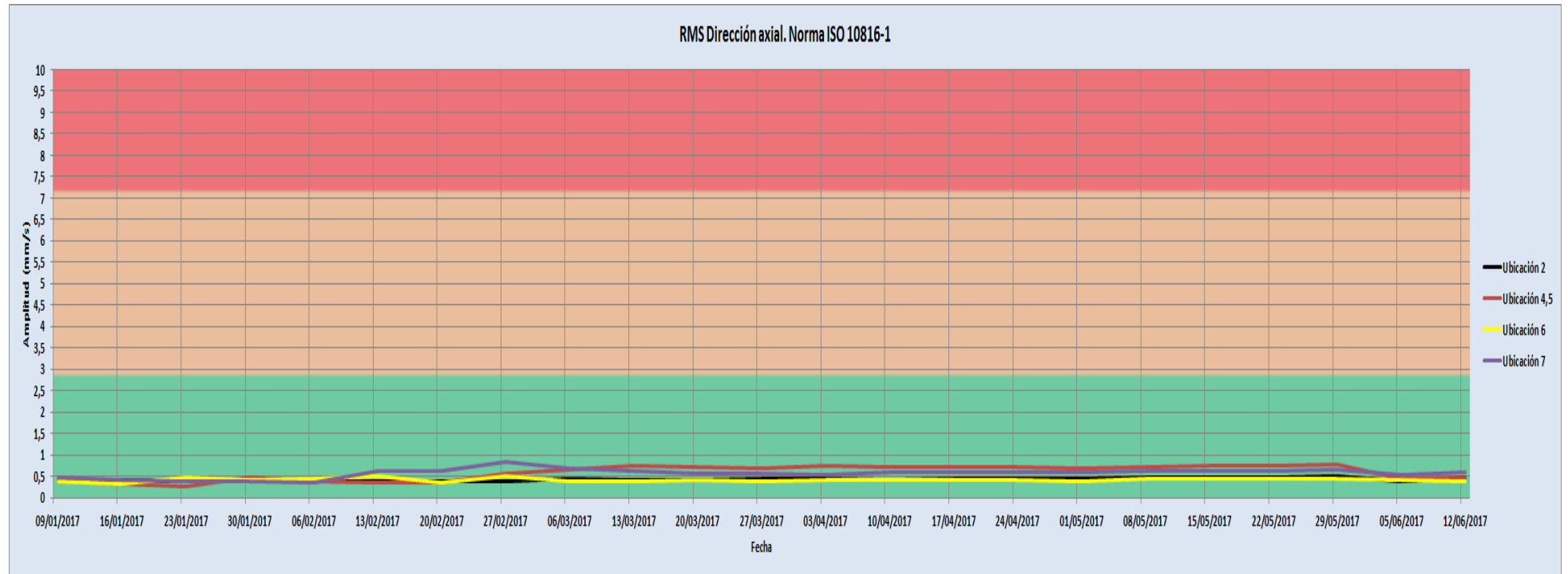
En este caso, como el analizador de vibraciones no detecta ningún tipo de fallo, nos fijaremos en la evolución del RMS del equipo en sus distintas ubicaciones.

Evolución RMS		Fecha																							
Ubicación	Dirección	09/01	16/01	23/01	30/01	06/02	13/02	20/02	27/02	06/03	13/03	20/03	27/03	03/04	10/04	17/04	24/04	01/05	08/05	15/05	22/05	29/05	05/06	12/06	
Ubicación 2	Axial	0,41	0,42	0,38	0,43	0,38	0,37	0,37	0,39	0,45	0,42	0,42	0,44	0,44	0,41	0,45	0,46	0,44	0,47	0,47	0,48	0,5	0,39	0,49	
	Tangencial	0,41	0,39	0,41	0,46	0,52	0,55	0,64	0,67	0,63	0,69	0,66	0,68	0,66	0,67	0,68	0,69	0,7	0,71	0,69	0,7	0,71	0,72	0,62	
	Radial	0,23	0,25	0,32	0,11	0,12	0,29	0,26	0,26	0,22	0,18	0,25	0,22	0,24	0,24	0,23	0,27	0,25	0,26	0,27	0,26	0,28	0,21	0,21	
Ubicación 4,5	Axial	0,43	0,32	0,25	0,49	0,37	0,36	0,34	0,57	0,65	0,75	0,72	0,7	0,75	0,73	0,73	0,72	0,7	0,73	0,74	0,75	0,77	0,45	0,48	
	Tangencial	0,49	0,47	0,51	0,57	1,03	0,42	0,6	0,75	0,68	0,95	0,67	0,66	0,68	0,66	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,68	1,1	1,1	
	Radial	0,17	0,1	0,12	0,21	0,2	0,16	0,18	0,24	0,28	0,31	0,27	0,25	0,26	0,32	0,28	0,27	0,3	0,29	0,3	0,28	0,3	0,25	0,32	
Ubicación 6	Axial	0,37	0,33	0,48	0,42	0,44	0,52	0,35	0,5	0,37	0,37	0,4	0,39	0,42	0,41	0,41	0,42	0,38	0,44	0,45	0,44	0,45	0,4	0,39	
	Tangencial	0,38	0,34	0,35	0,44	0,42	0,46	0,58	0,58	0,59	0,58	0,56	0,55	0,55	0,57	0,52	0,57	0,56	0,56	0,55	0,56	0,55	0,34	0,38	
	Radial	0,3	0,16	0,33	0,52	0,07	0,26	0,19	0,24	0,27	0,22	0,24	0,24	0,23	0,2	0,21	0,22	0,23	0,21	0,22	0,23	0,25	0,37	0,42	
Ubicación 7	Axial	0,48	0,41	0,39	0,37	0,34	0,62	0,63	0,85	0,68	0,63	0,56	0,57	0,55	0,6	0,6	0,59	0,61	0,63	0,64	0,62	0,65	0,55	0,6	
	Tangencial	0,68	0,59	0,42	0,58	0,44	0,62	0,69	0,79	0,77	0,78	0,75	0,75	0,74	0,76	0,77	0,75	0,75	0,74	0,72	0,7	0,69	0,72	0,67	
	Radial	0,27	0,22	0,19	0,31	0,19	0,39	0,22	0,33	0,33	0,39	0,4	0,38	0,37	0,42	0,41	0,41	0,43	0,4	0,42	0,43	0,44	0,2	0,27	

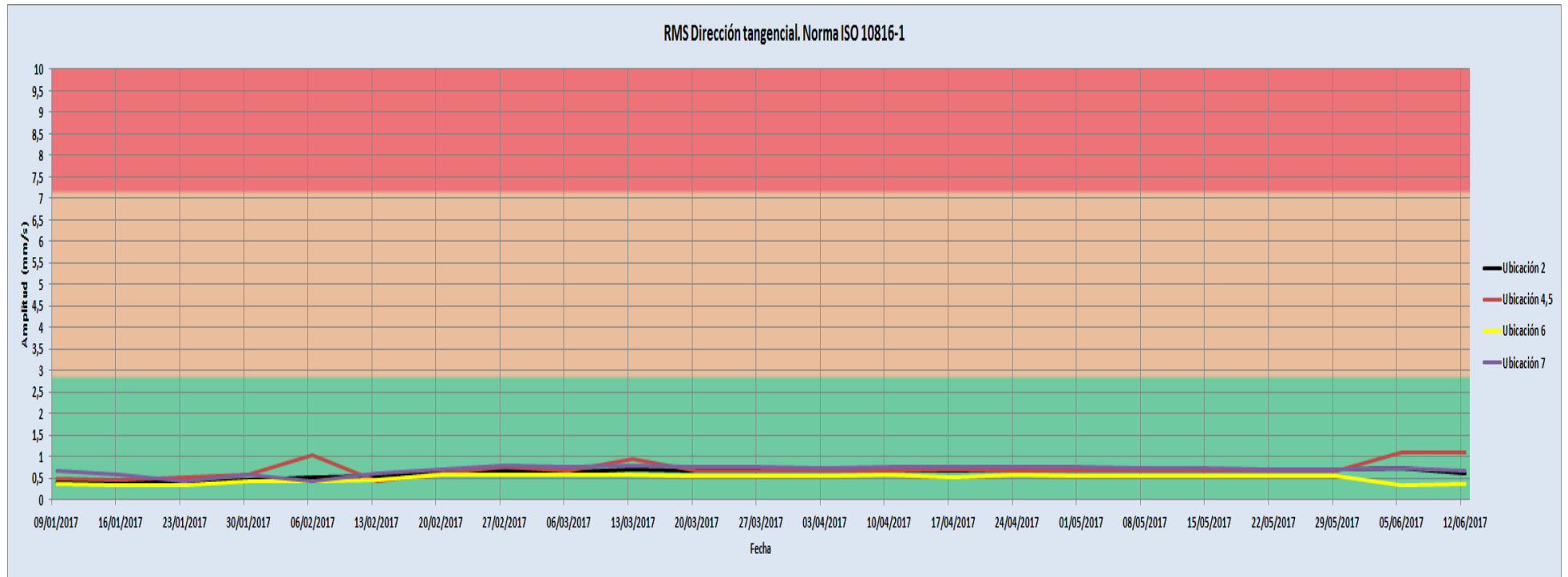


**Tabla 14.** Valores RMS.

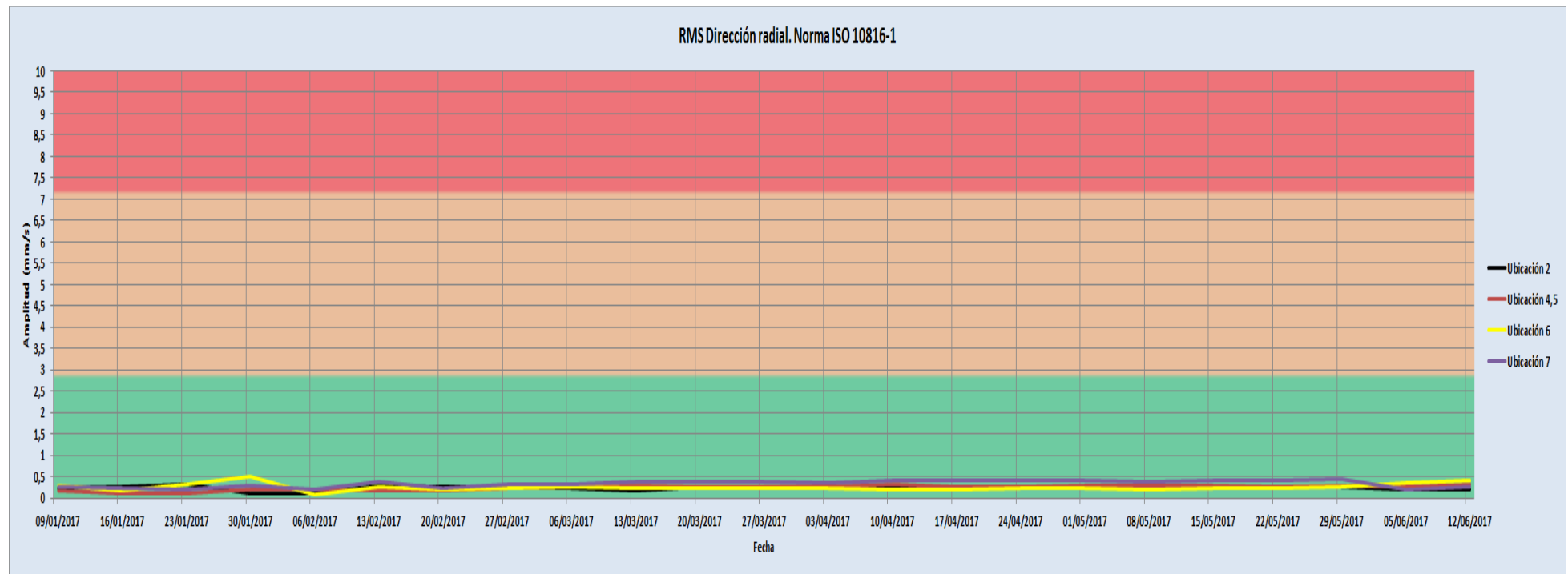
A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 6,7 y 8) donde están dispuestos los acelerómetros.



**Gráfica 6.** Evolución RMS dirección axial.



Gráfica 7. Evolución RMS dirección tangencial.



**Gráfica 8.** Evolución RMS dirección radial.

Al tratarse de un equipo nuevo, el RMS del mismo en todas las direcciones (axial, radial y tangencial) se encuentra en la zona B (satisfactorio) según ISO 10816-1, por lo que el equipo puede seguir trabajando sin ningún tipo de restricción.

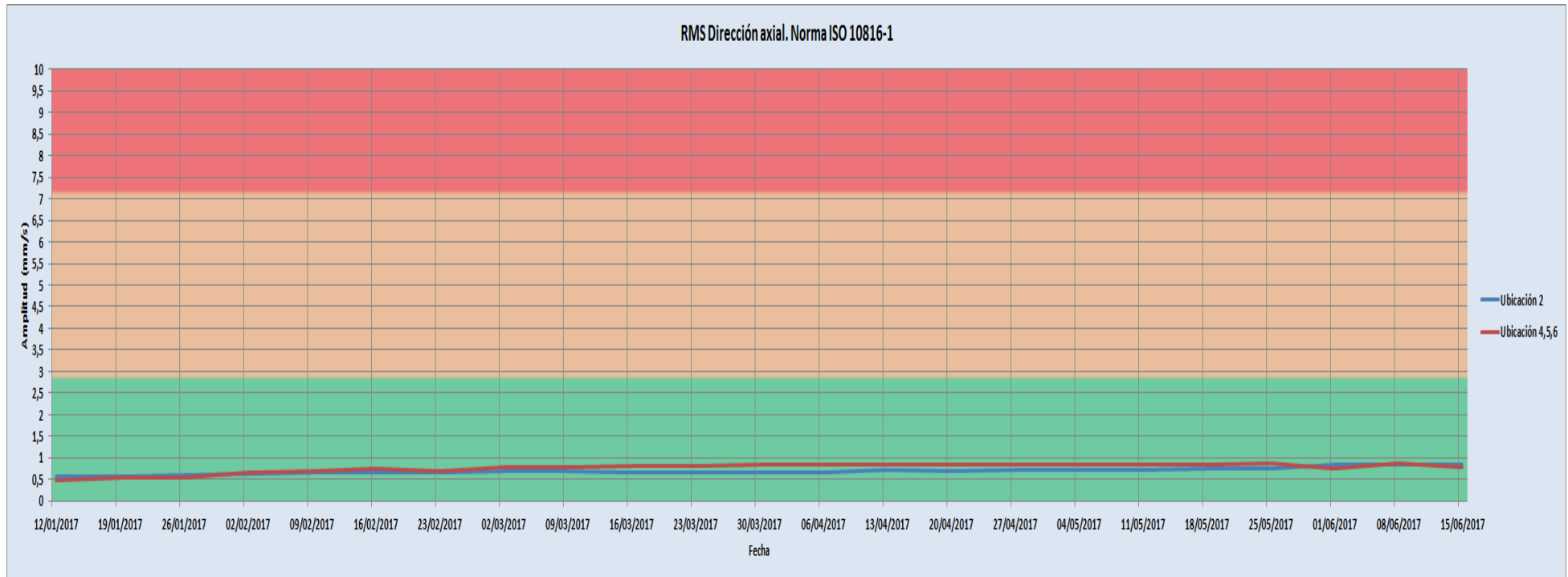
### 5.8.3. Seguimiento Foam.

En este caso, como el analizador de vibraciones no detecta ningún tipo de fallo, al igual que ocurre con el elevador, nos fijaremos en la evolución del RMS del equipo en sus distintas ubicaciones.

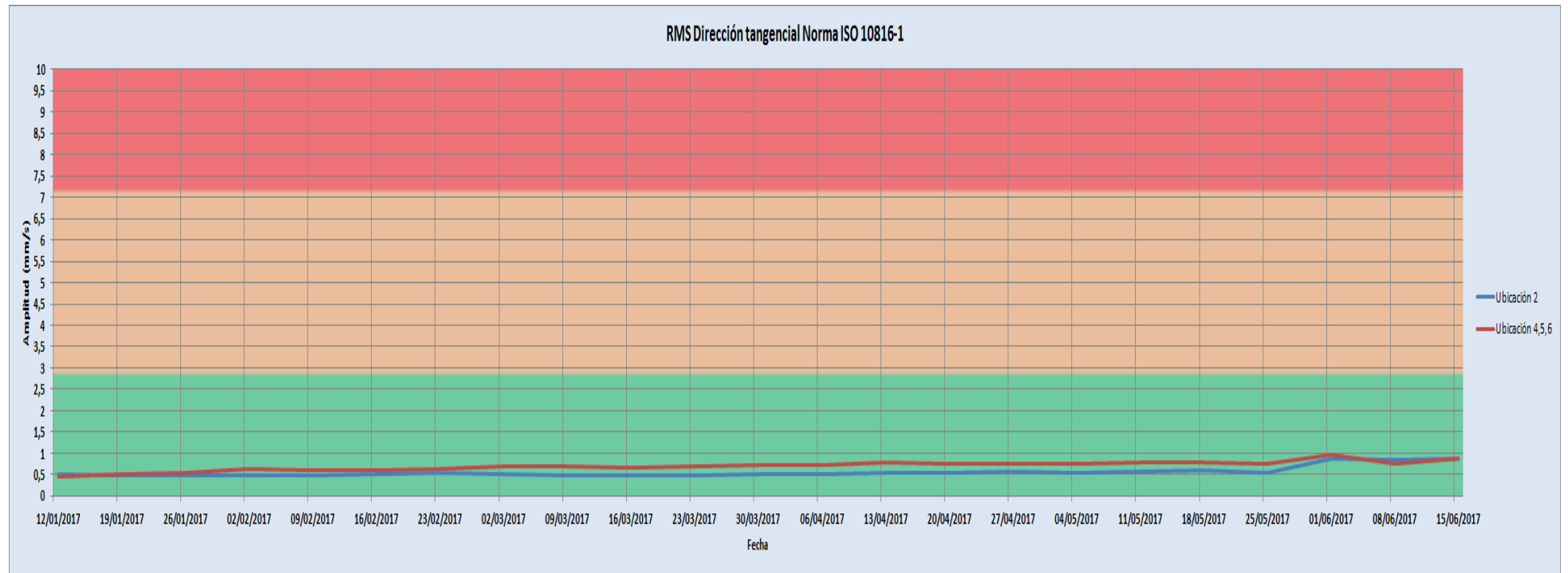
Evolución RMS		Fecha																						
Ubicación	Dirección	12/01	19/01	26/01	02/02	09/02	16/02	23/02	02/03	09/03	16/03	23/03	30/03	06/04	13/04	20/04	27/04	04/05	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06
Ubicación 2	Axial	0,57	0,58	0,6	0,64	0,66	0,65	0,65	0,68	0,7	0,65	0,66	0,67	0,67	0,71	0,7	0,72	0,72	0,72	0,74	0,74	0,84	0,85	0,84
	Tangencial	0,5	0,48	0,47	0,49	0,48	0,52	0,55	0,51	0,49	0,48	0,48	0,5	0,51	0,53	0,53	0,56	0,55	0,57	0,59	0,53	0,88	0,83	0,88
	Radial	0,82	0,8	0,85	0,85	0,8	0,85	0,85	0,89	0,88	0,84	0,87	0,92	0,92	0,95	0,94	0,98	0,99	0,99	1,01	1	1,53	1,42	1,33
Ubicación 4,5,6	Axial	0,49	0,53	0,55	0,65	0,7	0,75	0,7	0,78	0,77	0,82	0,81	0,83	0,85	0,84	0,83	0,84	0,84	0,85	0,84	0,87	0,76	0,87	0,79
	Tangencial	0,45	0,52	0,54	0,62	0,6	0,61	0,62	0,7	0,69	0,67	0,7	0,72	0,72	0,77	0,75	0,74	0,74	0,79	0,78	0,74	0,97	0,74	0,88
	Radial	0,45	0,44	0,47	0,48	0,5	0,55	0,55	0,56	0,52	0,54	0,53	0,52	0,55	0,52	0,55	0,58	0,57	0,56	0,54	0,58	0,75	0,58	0,82

Tabla 15. Valores RMS.

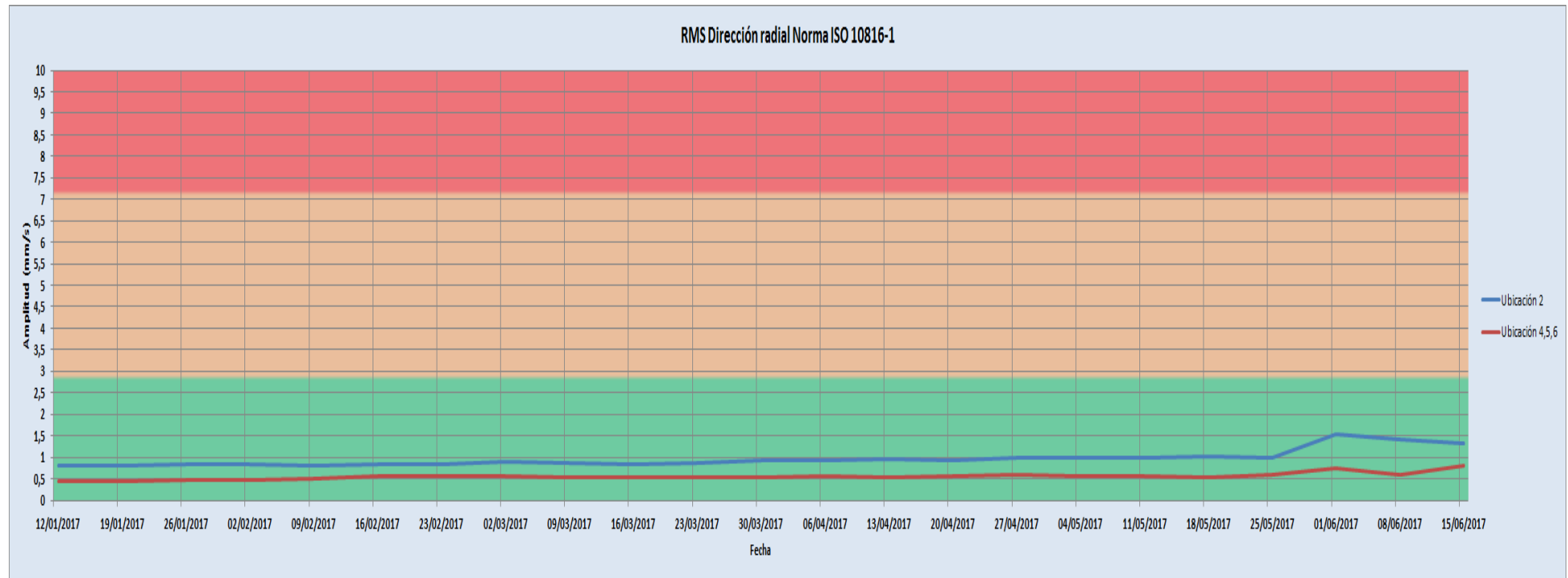
A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 9,10 y 11) donde están dispuestos los acelerómetros.



Gráfica 9. Evolución RMS dirección axial.



Gráfica 10. Evolución RMS dirección tangencial.



Gráfica 11. Evolución RMS dirección radial.

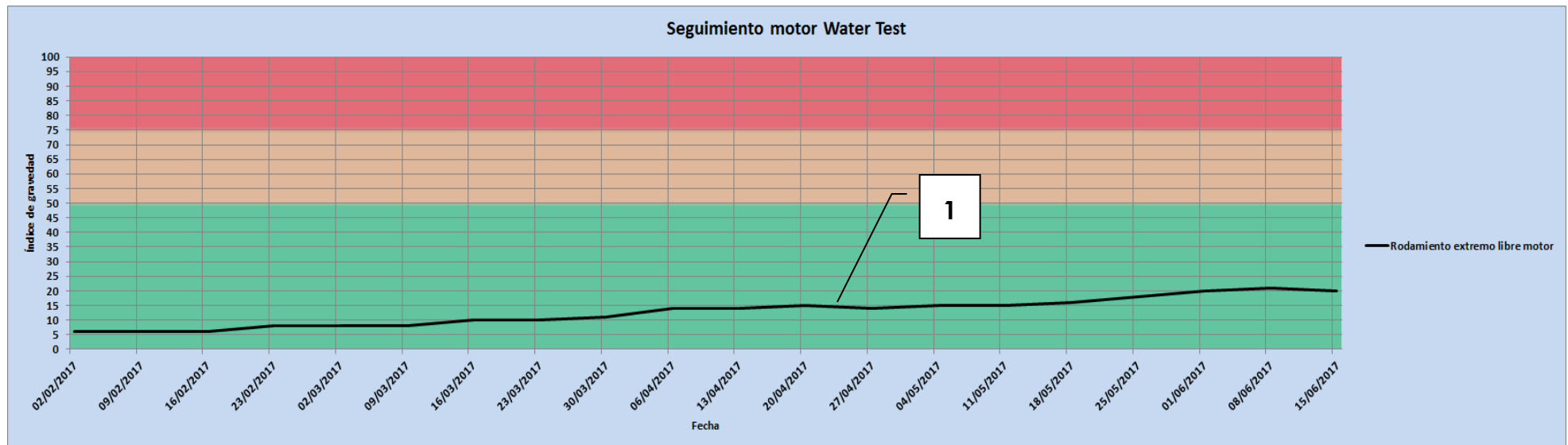
Al igual que ocurre con el elevador, el RMS del equipo se encuentra en la zona B (satisfactorio) según norma ISO 10816-1 en todas las direcciones, con lo que puede seguir trabajando sin ningún tipo de restricción.

### 5.8.4. Seguimiento Water Test.

En este apartado, veremos la evolución del índice de gravedad de los fallos identificados por el analizador de vibraciones, así como la del RMS en cada una de las ubicaciones y se identificarán los distintos fallos en los espectros de frecuencia.

Evolución índice de gravedad		Fecha/gravedad																			
Elemento	Modo de fallo	02/02	09/02	16/02	23/02	02/03	09/03	16/03	23/03	30/03	06/04	13/04	20/04	27/04	04/05	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06
Rodamiento extremo libre motor	Desgaste	6	6	6	8	8	8	10	10	11	14	14	15	14	15	15	16	18	20	21	20

Tabla 16. Índices de gravedad fallos motor Water Test.



Gráfica 12. Evolución índice de gravedad.

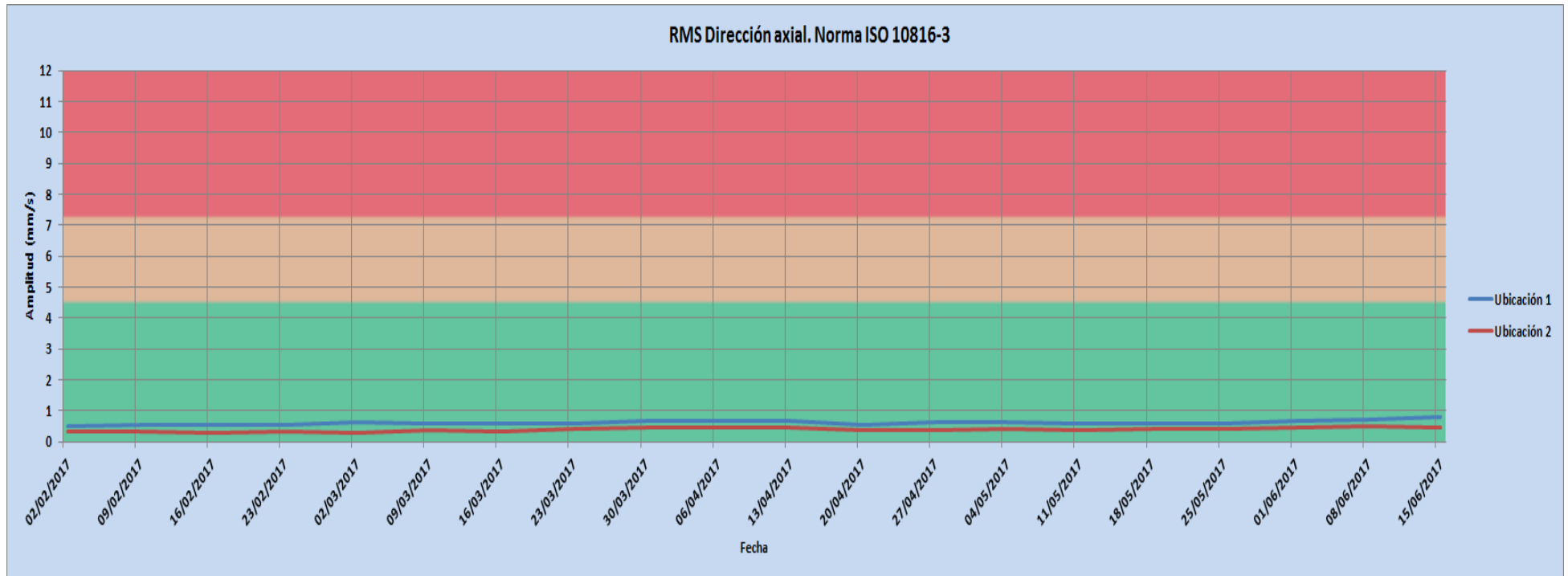


En la **gráfica 12** se observa como el fallo en el rodamiento del extremo libre del motor (Ubicación 1) se encuentra en su etapa inicial y que sigue una tendencia lineal y ascendente en el tiempo.

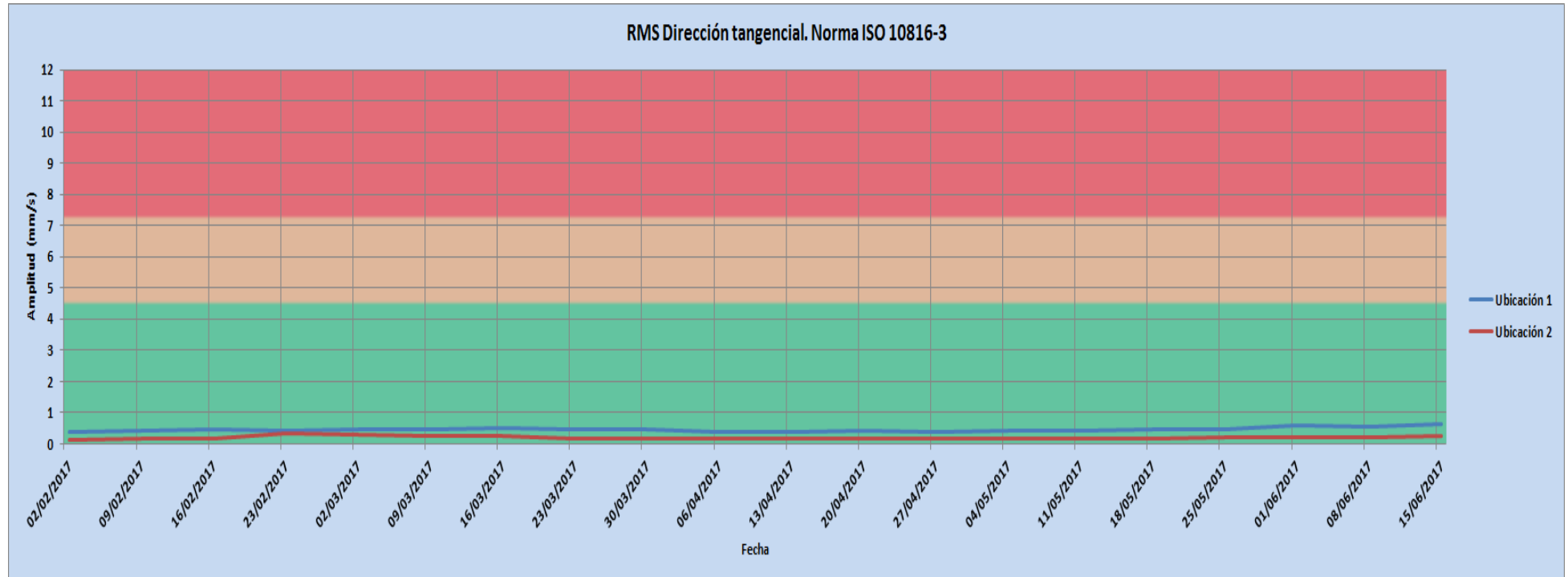
Evolución RMS		Fecha																			
Ubicación	Dirección	02/02	09/02	16/02	23/02	02/03	09/03	16/03	23/03	30/03	06/04	13/04	20/04	27/04	04/05	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06
Ubicación 1	Axial	0,51	0,54	0,54	0,56	0,62	0,58	0,59	0,61	0,69	0,69	0,68	0,54	0,62	0,62	0,58	0,59	0,6	0,69	0,72	0,79
	Tangencial	0,4	0,43	0,48	0,44	0,46	0,46	0,49	0,45	0,48	0,38	0,4	0,42	0,39	0,42	0,44	0,45	0,47	0,6	0,57	0,63
	Radial	0,81	0,69	0,74	0,87	0,89	0,74	0,76	0,77	0,85	0,95	0,9	0,94	0,88	0,87	0,87	0,88	0,92	0,97	0,95	0,96
Ubicación 2	Axial	0,33	0,33	0,27	0,34	0,31	0,37	0,35	0,44	0,48	0,48	0,47	0,39	0,37	0,4	0,39	0,4	0,4	0,48	0,49	0,48
	Tangencial	0,14	0,15	0,17	0,34	0,29	0,24	0,24	0,18	0,15	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,17	0,18	0,2	0,21	0,2	0,25
	Radial	0,38	0,35	0,31	0,44	0,39	0,39	0,42	0,47	0,44	0,34	0,37	0,49	0,42	0,34	0,36	0,37	0,35	0,39	0,4	0,39

Tabla 17. Valores RMS.

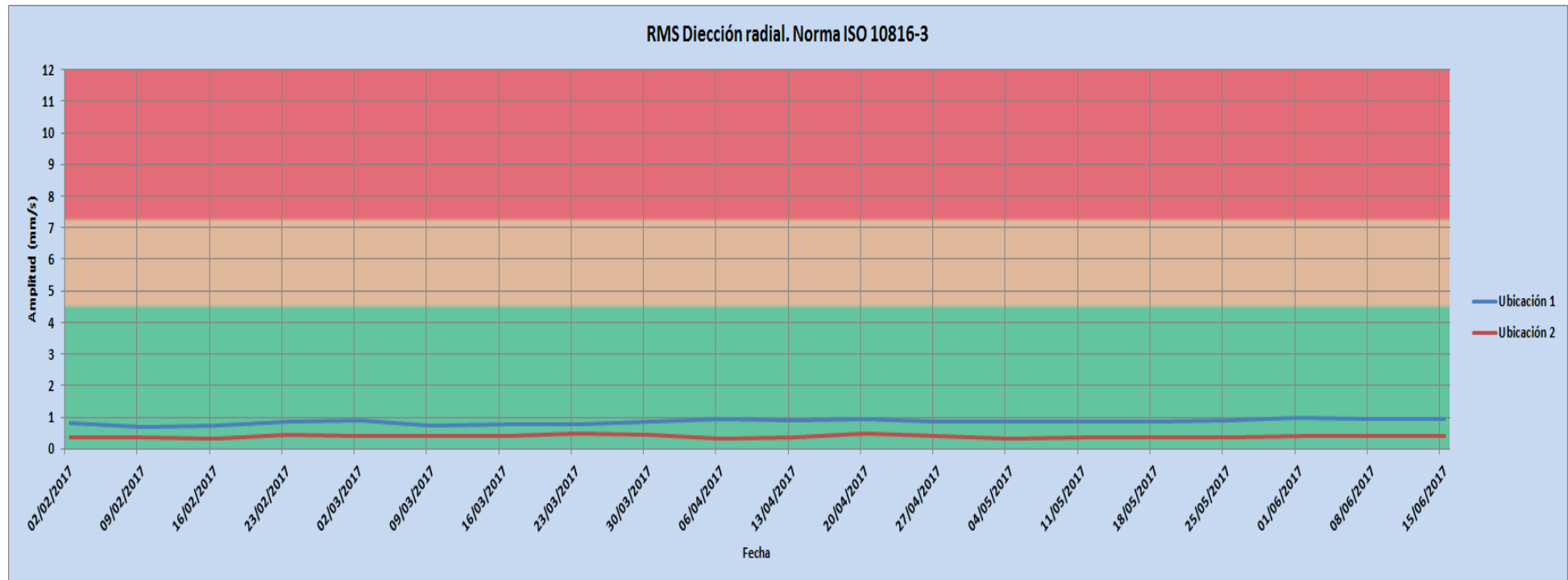
A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 13,14 y 15) donde están dispuestos los acelerómetros.



Gráfica 13. Evolución RMS dirección axial.



Gráfica 14. Evolución RMS dirección tangencial.

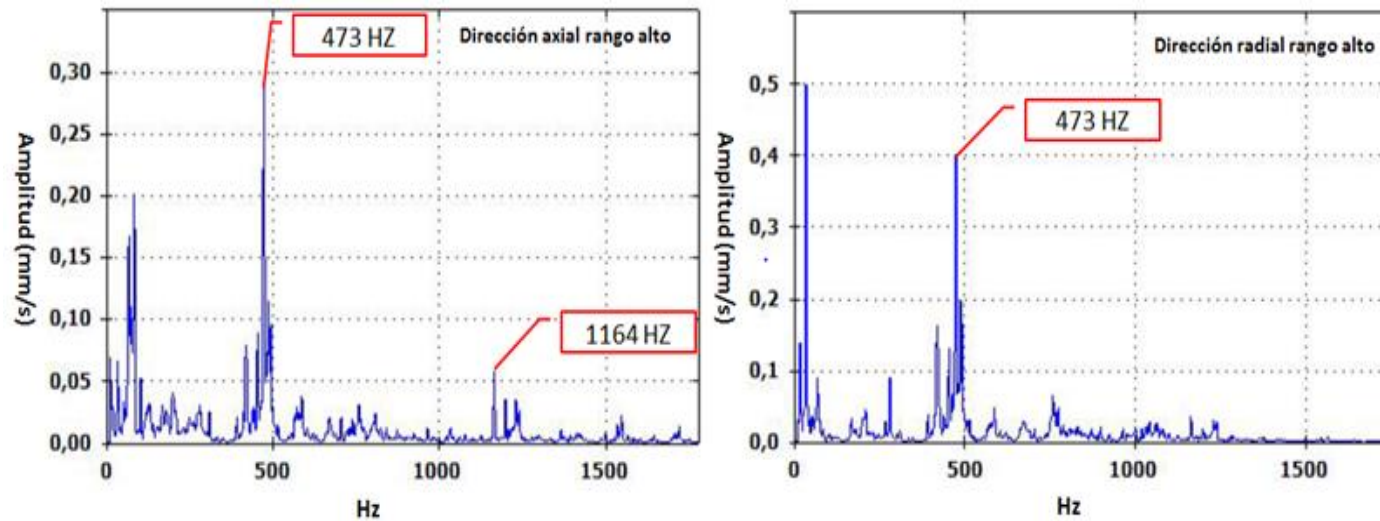


Gráfica 15. Evolución RMS dirección radial.

Comparando los resultados obtenidos por el analizador de vibraciones y los RMS en cada una de las ubicaciones y direcciones, se observa que el equipo se encuentra trabajando en la zona B (satisfactorio) según norma ISO 10816-3, en la cual el equipo puede seguir trabajando sin ningún tipo de restricción.

Por último y atendiendo a los fallos marcados en gráfica de la evolución del índice de gravedad (gráfica 12), se identificará el fallo en el rodamiento de extremo libre del motor.

- **Fallo 1:** Desgaste rodamiento extremo libre motor (Ubicación 1):



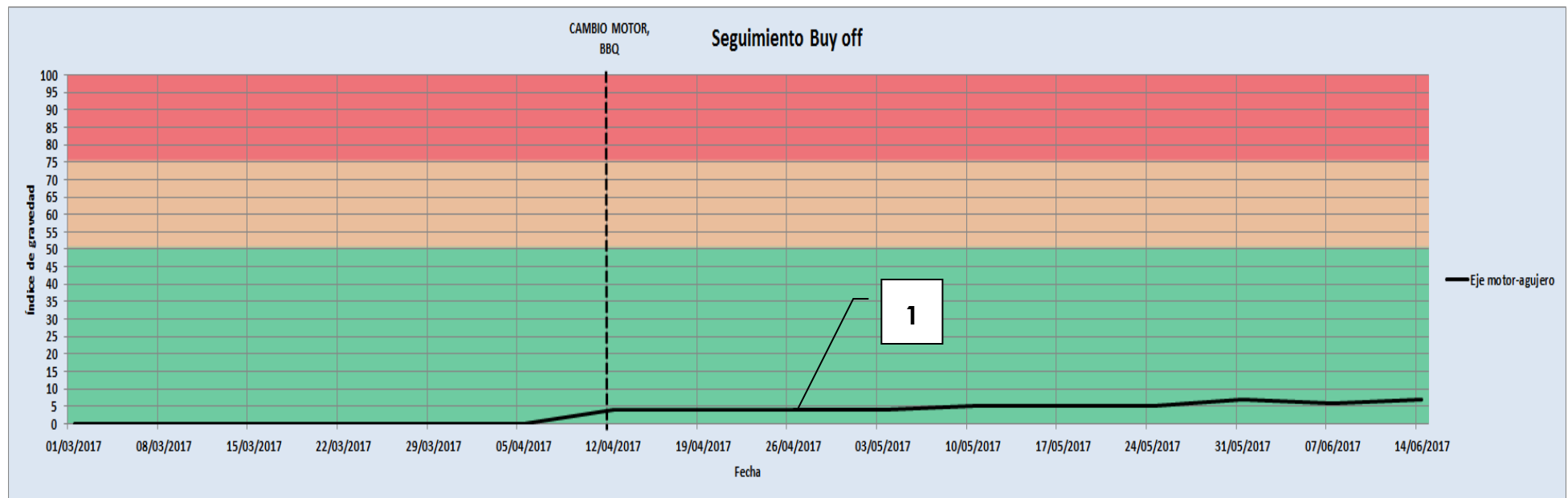
Como se puede observar en los espectros en frecuencia se empiezan a excitar picos de alta frecuencia (473, 1164 Hz) relacionados con frecuencias naturales del rodamiento excitadas por pequeños defectos superficiales en el mismo.

### 5.8.5. Seguimiento Buy off chasis.

En este apartado, veremos la evolución del índice de gravedad de los fallos identificados por el analizador de vibraciones, así como la del RMS en cada una de las ubicaciones y se identificarán los distintos fallos en los espectros de frecuencia.

Evolución índice de gravedad		Fecha														
Elemento	Modo de fallo	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06
Eje motor-agujero	Holgura	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	5	5	7	6	7

Tabla 18. Índices de gravedad fallos Buy off.



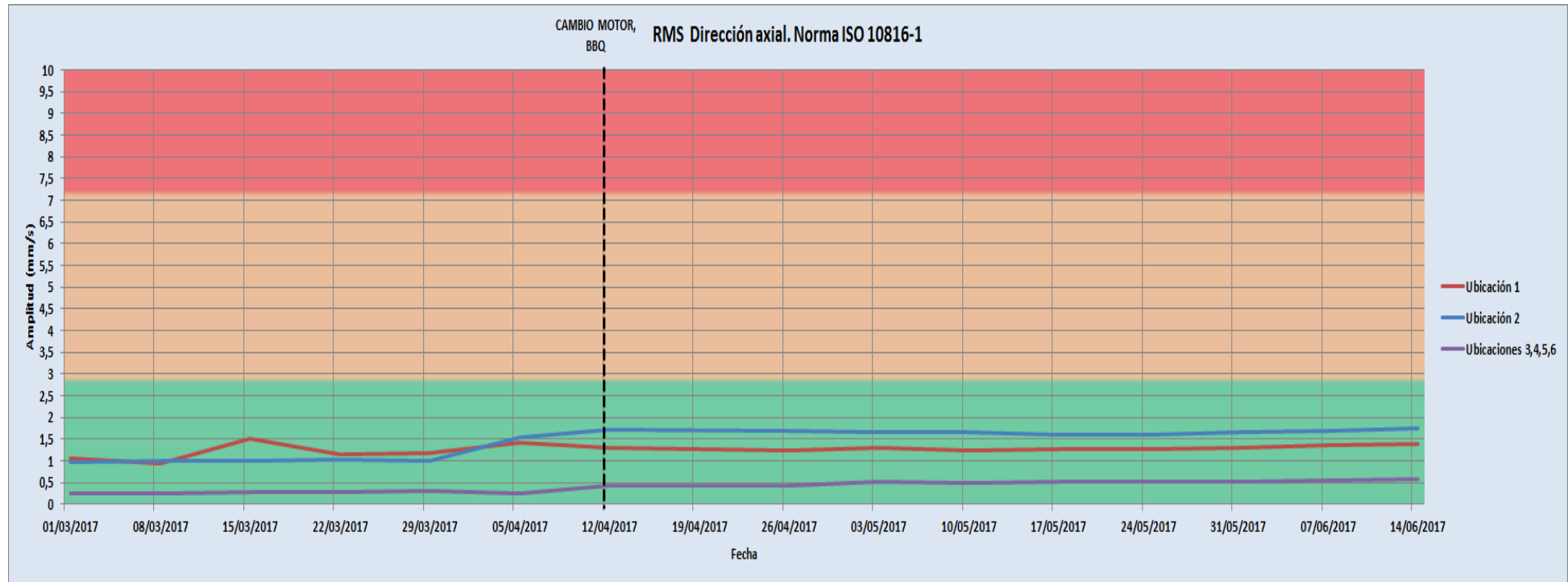
Gráfica 16. Evolución índice de gravedad.

En la **gráfica 16**, se observa como la evolución del fallo evoluciona linealmente y de forma ascendente con el tiempo. El cambio de motor (el motor está duplicado en la instalación) se debe a un estándar de Ford llamado BBQ que establece que cada 6 meses se ha de cambiar de motor por motivos de mantenimiento preventivo, además de familiarizar al personal de mantenimiento con cómo realizar este cambio en caso de avería.

Evolución RMS		Fecha														
Ubicación	Dirección	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06
Ubicación 1	Axial	1,06	0,95	1,5	1,15	1,17	1,41	1,3	1,23	1,31	1,25	1,27	1,26	1,3	1,36	1,39
	Tangencial	0,46	0,49	0,47	0,46	0,54	0,47	0,43	0,37	0,42	0,4	0,41	0,42	0,42	0,48	0,53
	Radial	0,45	0,5	1,39	0,91	1	1,03	1,2	0,98	1,1	1,1	0,99	0,98	0,95	0,98	0,99
Ubicación 2	Axial	0,97	1,01	0,99	1,02	1,01	1,54	1,71	1,68	1,66	1,65	1,6	1,59	1,65	1,7	1,75
	Tangencial	0,62	0,66	0,65	0,62	0,68	0,85	1,97	1,96	1,96	1,9	1,91	1,91	1,9	1,91	1,96
	Radial	1,33	1,43	1,4	1,47	1,41	1,54	1,4	1,39	1,37	1,35	1,36	1,37	1,42	1,47	1,47
Ubicación 3,4,5,6	Axial	0,26	0,26	0,29	0,28	0,32	0,26	0,43	0,42	0,53	0,5	0,51	0,52	0,53	0,56	0,57
	Tangencial	0,22	0,2	0,19	0,19	0,2	0,2	0,39	0,41	0,44	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45	0,49
	Radial	0,28	0,3	0,3	0,29	0,3	0,31	0,56	0,62	0,79	0,72	0,75	0,74	0,72	0,77	0,76

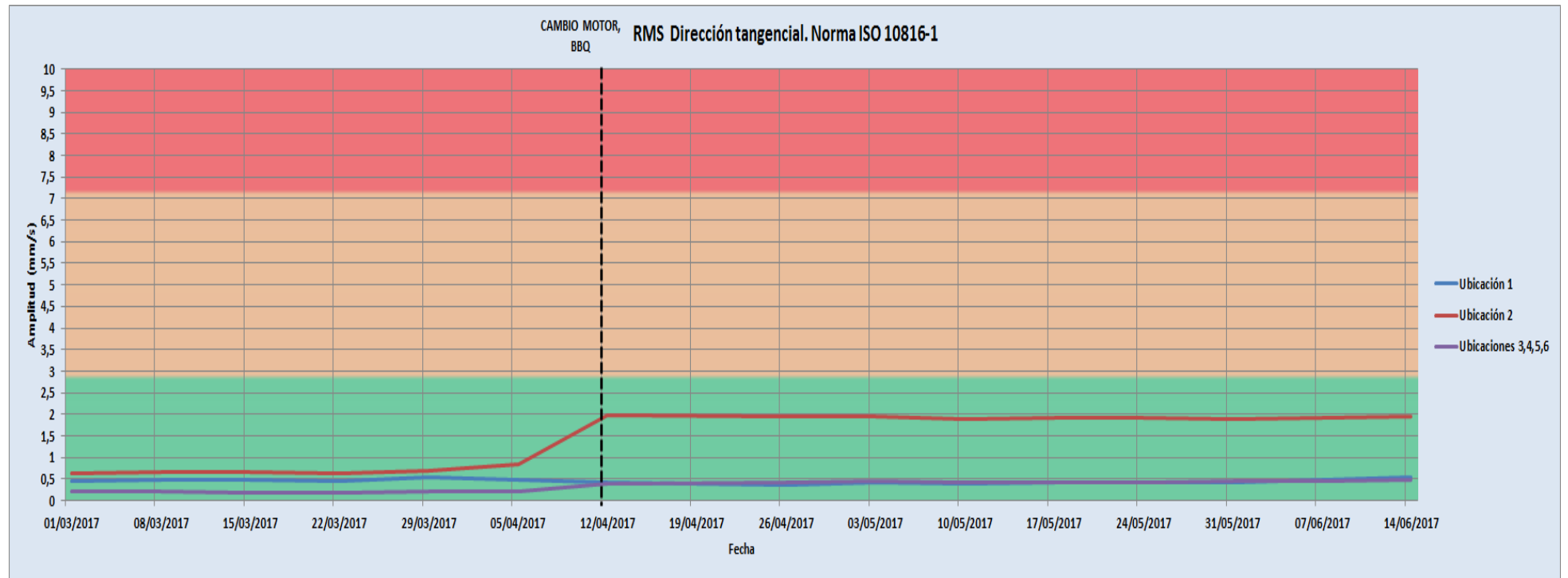
Tabla 19. Valores RMS.

A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 17,18 y 19) donde están dispuestos los acelerómetros.

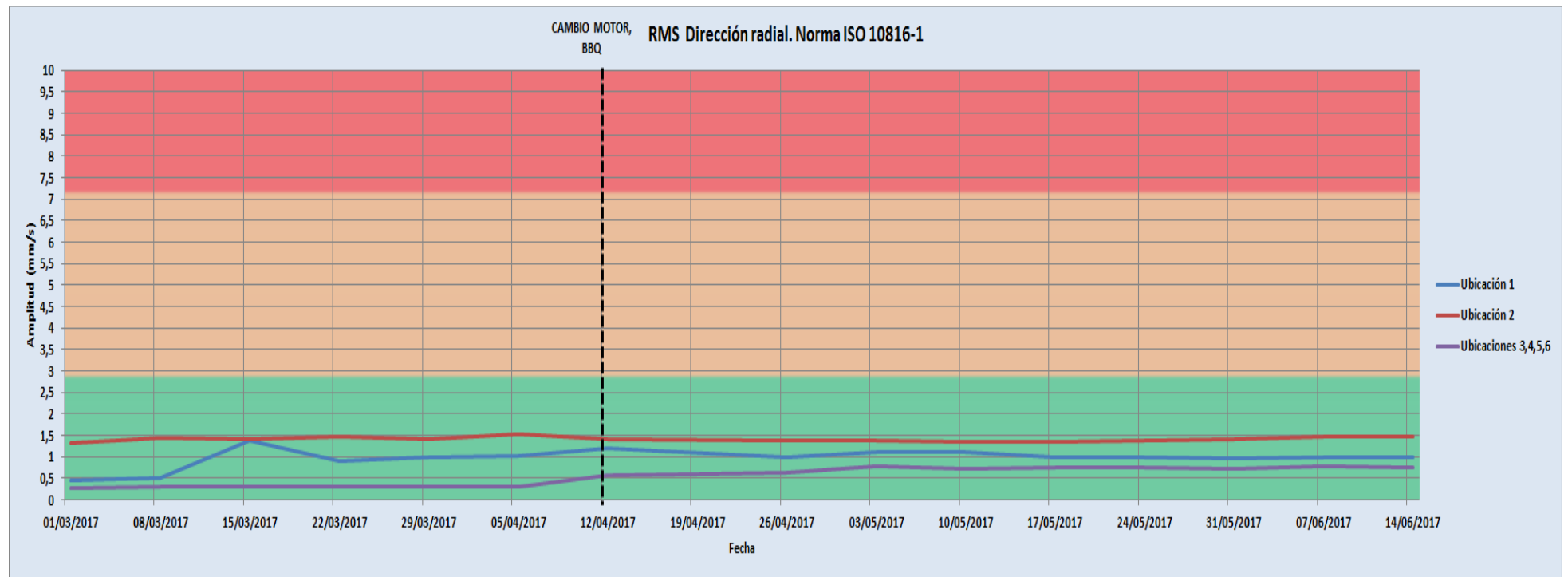


Gráfica 17. Evolución RMS dirección axial.





Gráfica 18. Evolución RMS dirección tangencial.

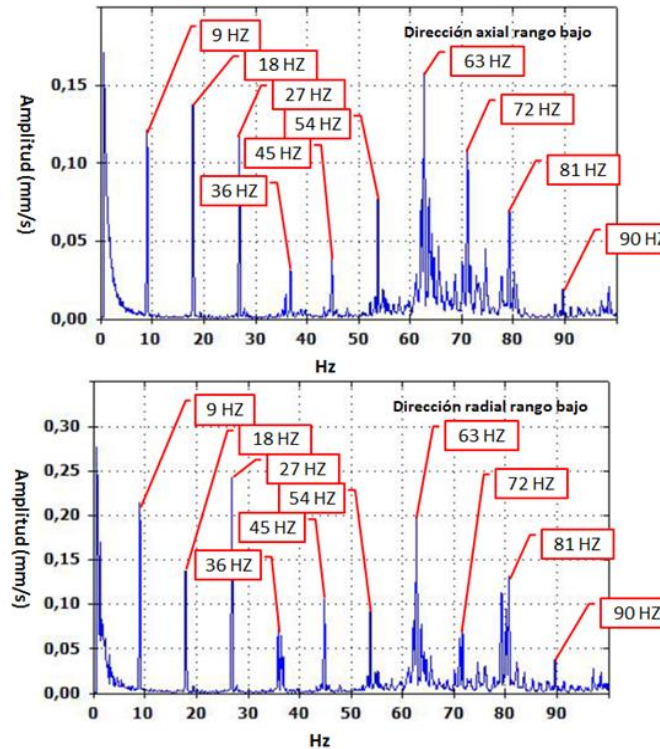


Gráfica 19. Evolución RMS dirección radial.

Como se puede observar en las gráficas de evolución del RMS en dirección axial, tangencial y radial el equipo se encuentra trabajando en la zona B (satisfactorio) según norma ISO 10816-1, pudiendo seguir trabajando sin ningún tipo de restricción. El RMS de las ubicaciones 1 y 2 es más elevado e irregular debido a que la fijación de los acelerómetros aún se realiza con imán.

Por último y atendiendo a los fallos marcados en gráfica de la evolución del índice de gravedad (gráfica), se identificará el fallo de la existencia de holgura en el eje del motor.

- **Fallo 1:** Holgura en el eje del motor (Ubicación 2):



Estudiando los espectros en frecuencia se puede observar que existe holgura ya que se excita hasta el décimo armónico de la frecuencia de velocidad de giro del motor, manifestándose más significativamente en dirección radial, característica de holguras en elementos rotativos.

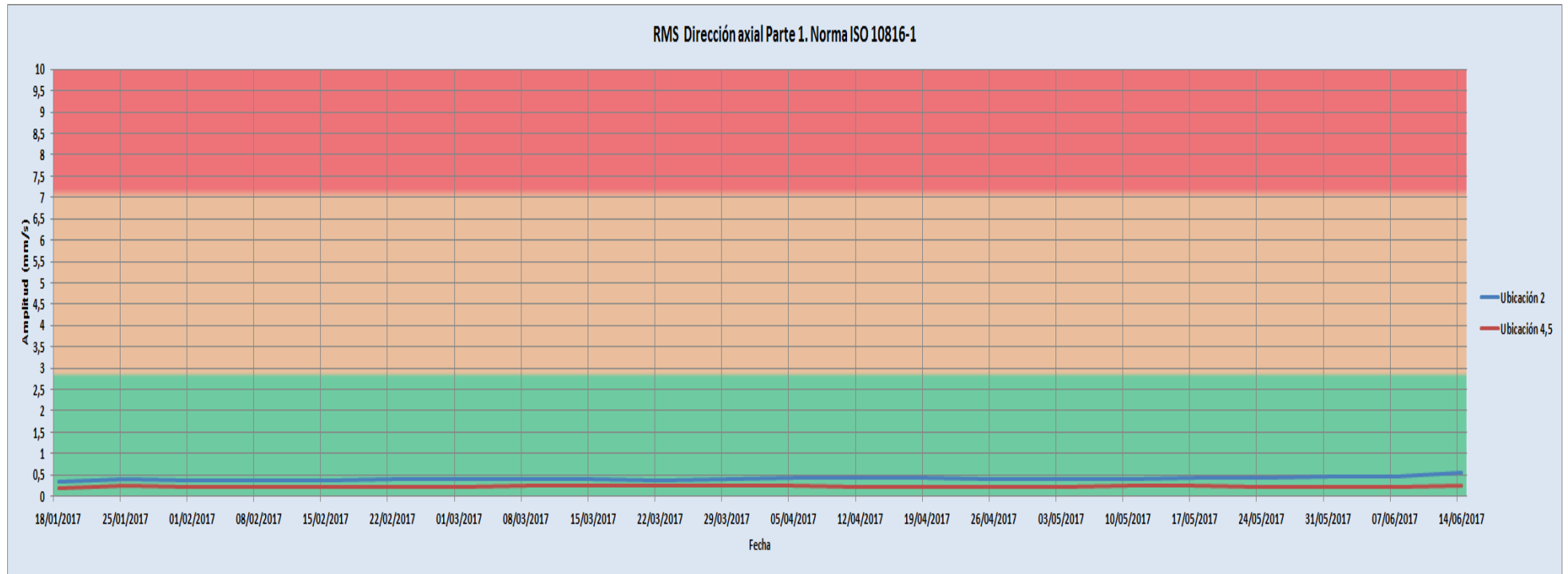
### 5.8.6. Seguimiento puertas.

En este caso, como el analizador de vibraciones no detecta ningún tipo de fallo, nos fijaremos en la evolución del RMS del equipo en sus distintas ubicaciones.

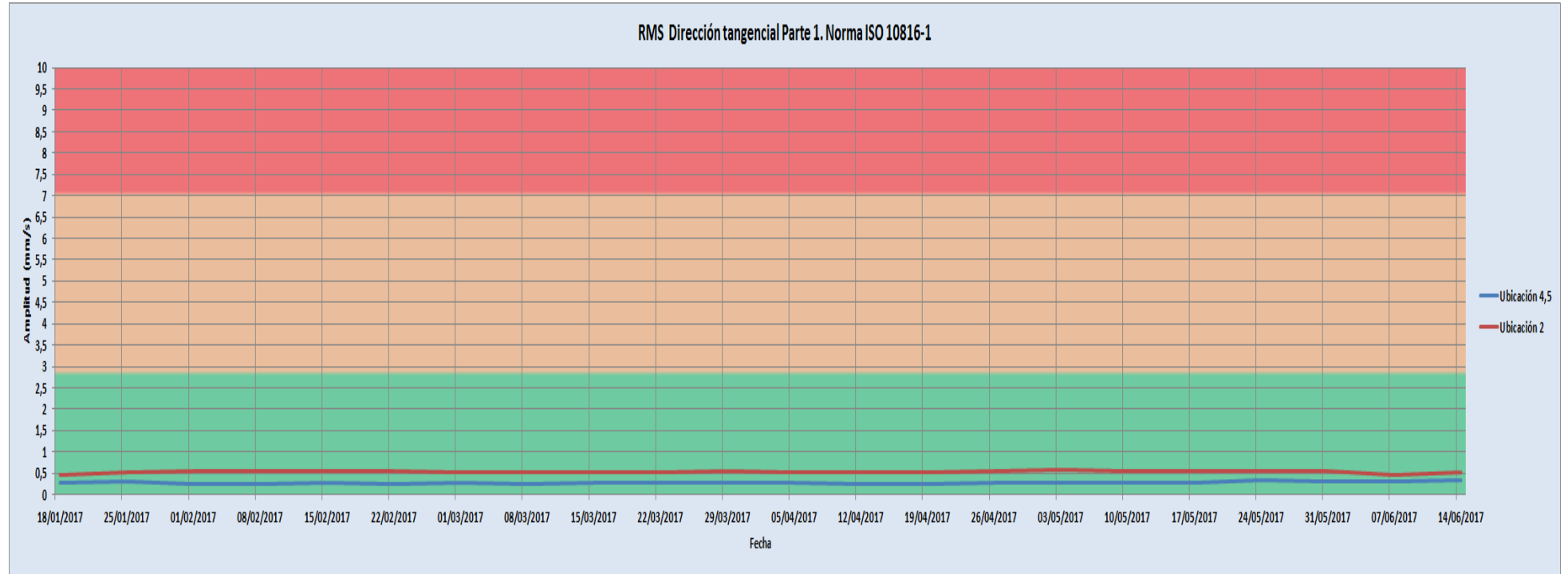
Evolución RMS Reductor 1		Fecha																					
Ubicación	Dirección	18/01	25/01	01/02	08/02	15/02	22/02	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	19/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06
Ubicación 2	Axial	0,33	0,39	0,38	0,37	0,38	0,4	0,39	0,41	0,41	0,38	0,39	0,42	0,42	0,42	0,41	0,39	0,41	0,42	0,42	0,45	0,47	0,55
	Tangencial	0,45	0,53	0,55	0,55	0,54	0,56	0,53	0,53	0,52	0,51	0,55	0,52	0,53	0,53	0,56	0,57	0,54	0,56	0,55	0,55	0,45	0,52
	Radial	0,43	0,51	0,47	0,48	0,48	0,47	0,5	0,52	0,5	0,5	0,53	0,51	0,52	0,54	0,55	0,55	0,51	0,52	0,51	0,53	0,57	0,63
Ubicación 4,5	Axial	0,18	0,24	0,22	0,22	0,21	0,23	0,23	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,23	0,21	0,23	0,23	0,25	0,26	0,23	0,22	0,21	0,24
	Tangencial	0,27	0,3	0,25	0,25	0,27	0,25	0,27	0,26	0,27	0,29	0,28	0,28	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,33	0,31	0,32	0,34
	Radial	0,29	0,35	0,33	0,32	0,32	0,31	0,34	0,33	0,32	0,31	0,34	0,34	0,35	0,37	0,35	0,36	0,36	0,37	0,4	0,38	0,39	0,42

Tabla 20. Valores RMS.

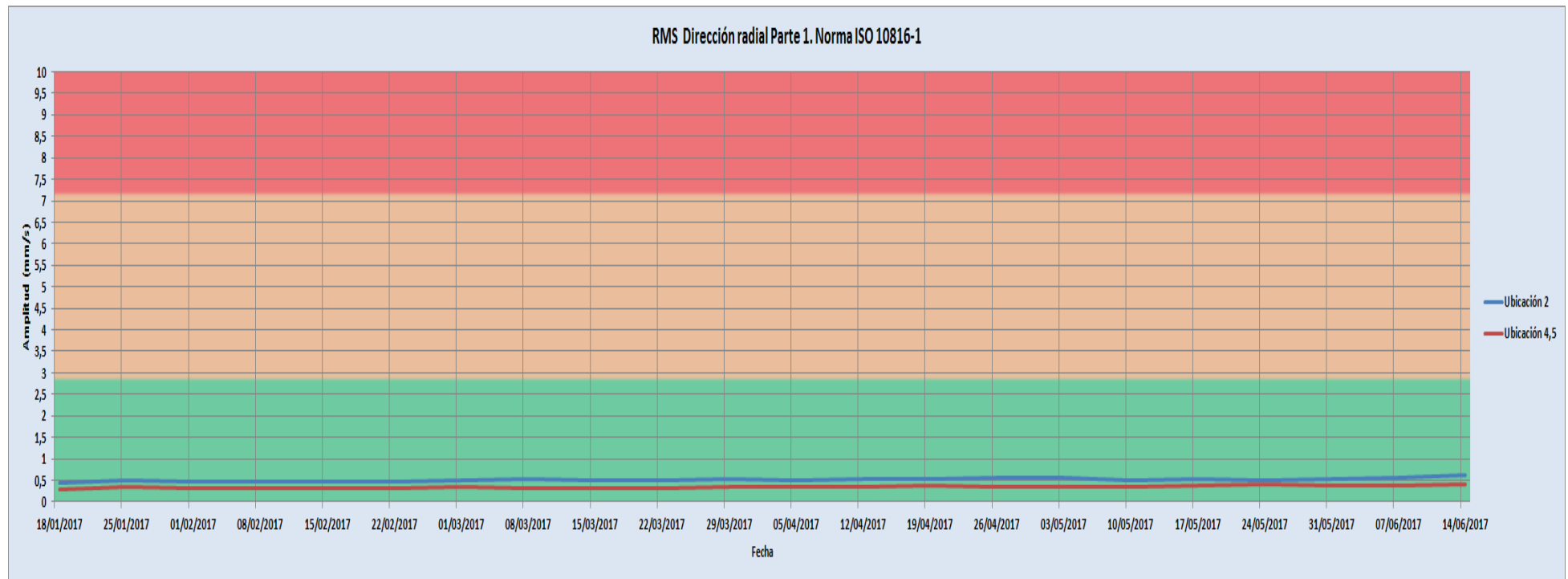
A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 20,21 y 22) donde están dispuestos los acelerómetros.



Gráfica 20. Evolución RMS dirección axial.



Gráfica 21. Evolución RMS dirección tangencial.



**Gráfica 22.** Evolución RMS dirección tangencial.

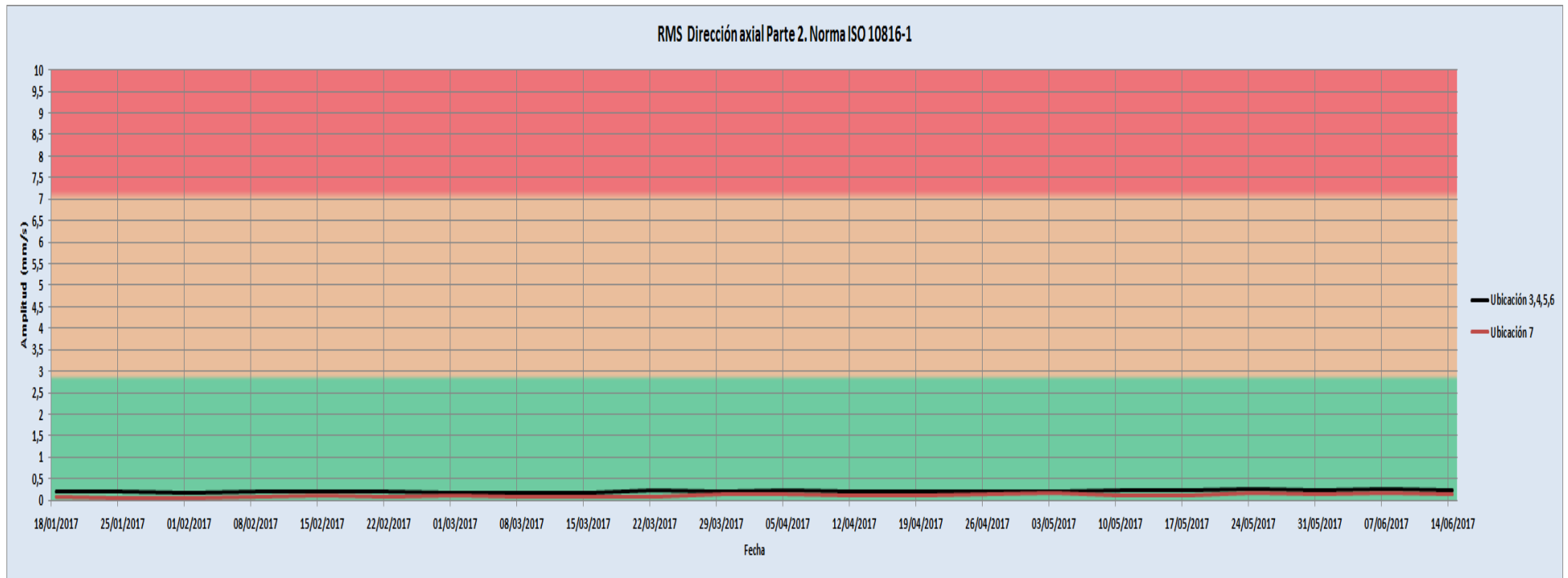
Al tratarse de un equipo nuevo, al igual que ocurre con el elevador, el RMS del equipo en todas las direcciones y ubicaciones se encuentra en la zona A,B (satisfactorio) según norma ISO 10816-1 con lo que el equipo puede seguir trabajando sin ningún tipo de restricción.

Evolución RMS reductor 2		Fecha																					
Ubicación	Dirección	18/01	25/01	01/02	08/02	15/02	22/02	01/03	08/03	15/03	22/03	29/03	05/04	12/04	19/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06
Ubicación 3,4,5,6	Axial	0,19	0,2	0,18	0,2	0,21	0,21	0,17	0,18	0,18	0,22	0,19	0,23	0,21	0,19	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,23	0,26	0,24
	Tangencial	0,18	0,18	0,17	0,19	0,18	0,16	0,17	0,2	0,2	0,22	0,17	0,21	0,21	0,22	0,15	0,22	0,26	0,23	0,22	0,25	0,27	0,26
	Radial	0,15	0,14	0,17	0,17	0,15	0,13	0,19	0,18	0,18	0,2	0,19	0,19	0,22	0,22	0,26	0,24	0,27	0,22	0,25	0,28	0,23	0,28
Ubicación 7	Axial	0,07	0,05	0,05	0,09	0,12	0,09	0,11	0,08	0,07	0,09	0,13	0,13	0,12	0,11	0,15	0,16	0,12	0,12	0,17	0,14	0,17	0,15
	Tangencial	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,07	0,07	0,05	0,04	0,07	0,05	0,07	0,09	0,1	0,06	0,06	0,08	0,09	0,1
	Radial	0,07	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,08	0,07	0,05	0,06	0,08	0,05	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06

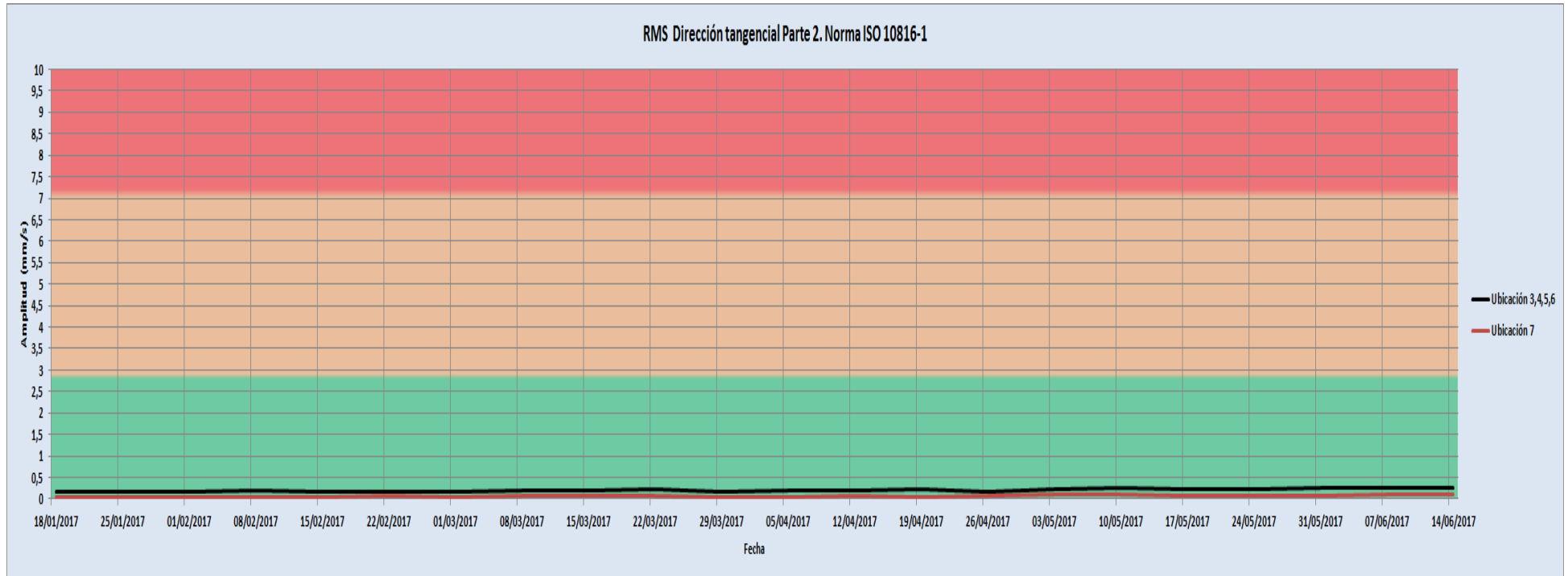
Tabla 21. Valores RMS.

A continuación se muestran las gráficas de la evolución del RMS en cada una de las ubicaciones (gráficas 23,24 y 25) donde están dispuestos los acelerómetros.

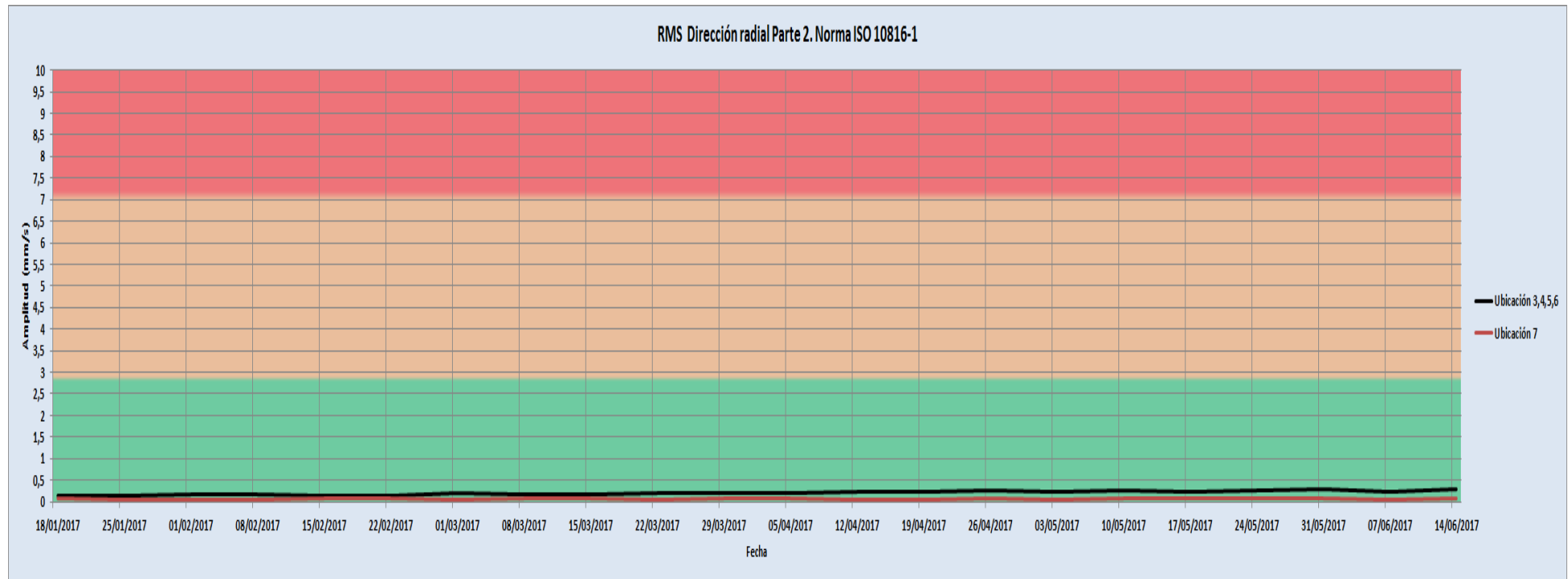




Gráfica 23. Evolución RMS dirección axial.



Gráfica 24. Evolución RMS dirección tangencial.



**Gráfica 25.** Evolución RMS dirección radial.

Al tratarse de un equipo nuevo, al igual que ocurre con el elevador, el RMS del equipo en todas las direcciones y ubicaciones se encuentra en la zona A,B (satisfactorio) según norma ISO 10816-1 con lo que el equipo puede seguir trabajando sin ningún tipo de restricción.

## **6. Creación de Job Plan.**

En este sentido se van a realizar nuevos planes de trabajo para que el operario de mantenimiento pueda interpretar como tiene que realizar las mediciones en los equipos sin que quepa ninguna duda de cómo se debe realizar la tarea.

Además de buscar una reducción en el tiempo de dedicación a cada tarea de predictivo por análisis de vibraciones, se busca una calidad máxima en cada una de las operaciones. Para ello es necesario configurar planes de trabajo donde las tareas a realizar se encuentren bien definidas y detalladas.

En los planes de trabajo se podrán distinguir distintas partes que a continuación se describirán más detalladamente:

# Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España S.L

**PLAN DE TRABAJO VISUAL** | MANTENIMIENTO | Título: ANÁLISIS DE VIBRACIONES | Fecha de Creación: 24/01/2017

Página 1 de 2 | N° Job Plan MFM | N° JP As: | 2. Tiempo requerido y nº de operarios: | Versión: |

Equipo: Según indique la orden | N° PCON: | Ubicación: |

Descripción: Análisis de vibraciones extractores terraza

Frecuencia en días: | Frecuencia: | Tiempo/operario requerido: 15 | (Minutos)

¿Requiere paro del equipo? (Interrompible?) | No (Si/No) | Si (Si/No) | Operarios: 1 |

Reglas del Manual Ref. PM: | Preparado por: J. de la Peña

**1. Frecuencia de monitorizado**

**3. Apartado de seguridad**

**4. Ayudas visuales**

**5. Descripción**

**6. EPI requeridos**

**7. Procedimiento**

**8. Equipo requerido**

**9. Nº de equipo**

**10. Ubicación del equipo**

**11. Checklist**

**12. Rangos de gravedad del fallo**

**10. Análisis de vibraciones extractores terraza**

Los sensores proporcionan una inmensa cantidad de información acerca del Equipo o Máquina. Los sensores en esta vista son buenos indicadores de la salud del equipo, ponga los 5 sensores cuando esté realizando esta tarea.

**RUTA ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

Es necesario coger del taller el equipo de análisis de vibraciones, y cerciorarse de que dentro del maletín se encuentra el acelerómetro y el cable de desconexión rápida. Además, también se requiere **muñequera** en caso de llevar reloj y el **protector de hebilla** en caso de llevar cinturón. En el punto de partida recoger el **checklist**. Se inspeccionarán todos los puntos indicados en la checklist y **SÓLO** en caso de encontrar alguna anomalía se procederá a realizar un informe 3P.

Es posible que exista algún componente con un **informe 3P anterior**, este informe estará en el casillero del punto de partida y es necesario cogelo para tener información suficiente para analizar el componente afectado.

**PROCEDIMIENTO**

Los puntos de inspección son diferentes, es necesario intentar medir lo más cerca posible fácilmente las vibraciones producidas por un fallo en algún punto.

**MUY IMPORTANTE: SEGURIDAD**

Al estar realizando mediciones en altura y sobre plataformas, prestar especial atención donde se pisa y seguir los caminos por los cuales se puede circular en la terraza. Hacer caso omiso de estas pautas podría provocar lesiones graves.

El procedimiento para realizar las mediciones es el siguiente:

41 El primer paso será conectar el extremo del cable de desconexión rápida del acelerómetro a la clavija 3 del analizador de vibraciones y el otro al acelerómetro correspondiente a la misma ubicación que aparece en la checklist.

42 Encender el analizador de vibraciones, pulsar el botón MEASURE y a continuación pulsar F2 (máquina guardada) y con ayuda del dial buscar el número de equipo correspondiente al equipo que deseamos medir y pulsar INTRO.

50 Una vez seleccionado el equipo, el analizador comprueba la buena conexión del cable de desconexión rápida. Después aparecerá una pantalla en la que habrá que seleccionar ÚLTIMAS ORIENTACIONES/SUBUBICACIONES y pulsar INTRO.

52 A continuación, aparecerá en la pantalla todas las ubicaciones en las que tenemos que medir y que conciden con las que se muestran en la checklist. Para ello, seleccionar la ubicación 1 y pulsar F3 (Medida), el analizador empezará a medir y cuando haya acabado guardará la medición. Este paso se realizará en todas las ubicaciones. Para cambiar de ubicación usar el dial.

53 A la hora de realizar la medición, habrá que cerciorarse de que la ubicación seleccionada en el analizador concide con la ubicación real en el equipo.

**OTROS**

Importante prestar donde se pisa y por donde se anda, ya que se realizan trabajos en altura y se podrían producir caídas con consecuencias graves.

**Visuals**

10: Análisis de vibraciones extractores terraza

20: TIEMPO CHECKLIST CON MAPA Y UBICACIONES

40: Visualización de mediciones

50: Visualización de mediciones

51: Visualización de mediciones

52: Visualización de mediciones

**Firma/Aprobación ASSEMBLY**

Ingeniero de Seguridad: R. Relanzón | Fecha: |

Lead Process Coach: V. Ferrando Chulvi | Fecha: |

Requerimientos de material:	Ford MCC #	Fabricante	Referencia del Fabricante	Cantidad	Descripción/Comentario
1					
2					

Herramientas especiales / Equipo Requerido:

Equipo de análisis de vibraciones Fluke 810

Comentarios:

Figura 39. Ejemplo Job Plan.

1. **Frecuencia de monitorizado:** donde se especifica cada cuanto se debe de realizar el predictivo de análisis de vibraciones en días.
2. **Tiempo requerido y nº de operarios:** tiempo necesario para realizar la tarea y el número de operarios necesarios para llevarla a cabo.
3. **Seguridad:** descripción de los riesgos de seguridad que aparecen durante la realización de la tarea y que pueden poner en peligro la integridad física del operario.
4. **Ayudas visuales:** conjunto de imágenes que agilizan la realización de la tarea y el entendimiento de la misma por parte del operario.
5. **Descripción:** se muestra un avance de cómo se va a realizar la tarea, precauciones de seguridad a tener en cuenta y material necesario.
6. **EPI's requeridos:** Equipos Protección Individual necesarios.
7. **Procedimiento:** descripción detallada de cada uno de los pasos a seguir.
8. **Equipo requerido:** equipo de diagnóstico necesario.
9. **Nº de equipo:** para identificar de forma rápida y eficiente a qué equipo se está aplicando la técnica.
10. **Ubicación del equipo:** para identificar de forma rápida y eficiente donde se encuentra el equipo dentro de la planta.
11. **Checklist:** explicación de cómo se debe de rellenar el checklist con tal de llevar un seguimiento adecuado del estado del equipo.
12. **Rangos de gravedad del fallo:** descripción de qué se debe hacer dependiendo de la gravedad del fallo identificado.

Los apartados 11 y 12 se van a describir más detalladamente en el siguiente apartado.

## 7. Creación de checklists e informes 3P.

### 7.1. Checklist.

Su misión es la de llevar un correcto seguimiento del estado del equipo y facilitar al operario su tarea. Al igual que ocurre con el Job Plan, las checklist se crean con el objetivo de reducir el tiempo de dedicación a las tareas de predictivo.

Como se ha especificado en el apartado 12 del punto 6 de este trabajo, dependiendo del índice de gravedad del fallo identificado, se deberá llevar a cabo distintas acciones.

- En caso de **funcionamiento correcto**, el operario de mantenimiento que realice la tarea de análisis de vibraciones deberá de anotar **OK** en la checklist.
- Si la gravedad es **seria**, el operario de mantenimiento deberá de anotar en la checklist **SEG**, para realizar un seguimiento del elemento

en cuestión, realizar un informe 3P y comunicar al jefe de equipo, de modo que se tengan preparadas las piezas de repuesto necesarias.

- Por último si la gravedad es **extrema**, anotar **NOK**, realizar informe 3P, comunicar al jefe de equipo y llevar a cabo acción correctora.

En cuanto a la estructura de una checklist, podemos distinguir distintos apartados tal y como ocurre con el Job Plan:

**1. Ubicaciones**

**2. Nº de equipo**

**3. Elementos**

**4. Ayuda visual**

EXTRACTOR TERRAZA 8104500

Operating System

UBICACIONES

FECHA

REALIZADO POR

OBSERVACIONES (en caso de emitir suborden de mantenimiento, anotar nº de suborden, descripción, fecha, etc.)

1

RODAMIENTO E

2

RODAMIENTO EXTREMO ACCIONAMIENTO MOTOR

3

RODAMIENTO ENTRADA EJE

4

RODAMIENTO SALIDA EJE

OTROS

DESLINEACIÓN

HOLGURA

DESEQUILIBRIO

CORREA

MANTENIMIENTO MONTAJE

EXTRACTOR PASADIZO

EXTRACTOR PASADIZO

Gravidad: Baja, Moderada, Seria, Extrema

GRAVEDAD BAJA: ANOTAR OK.  
GRAVEDAD MODERADA: ANOTAR OK.  
GRAVEDAD SERIA: ANOTAR SEG.  
GRAVEDAD EXTREMA: ANOTAR NOK.

Cuando se complete la hoja entregar al Jefe de equipo

Figura 40. Ejemplo checklist.

- Ubicaciones:** ayuda visual de donde se encuentran las distintas ubicaciones de medición y el orden que se debe seguir.
- Nº de equipo:** especifica el número de equipo, para que no se comentan errores a la hora de realizar las mediciones al equipo que toca.
- Elementos:** seguimiento de los distintos elementos que componen el equipo.
- Ayuda visual:** donde se incluye una imagen de la ubicación exacta del equipo, para que el operario pueda ver de forma rápida dónde

tiene que ir, así como, que se debe anotar en la checklist según el índice de fallo obtenido.

### 7.2. Informe 3P.

Durante el trabajo se ha hablado de los informes 3P, estos informes se realizan cuando se encuentra algún fallo serio en elementos del equipo y requiere de una acción correctiva. Significa *Three Pictures* (tres imágenes) y consiste en:

1. **Imagen digital:** imagen digital del equipo, para identificar de forma rápida y eficiente qué equipo requiere la acción correctiva.
2. **Espectro base:** espectro en frecuencia del equipo en estado de buen funcionamiento.
3. **Espectro con fallo:** espectro de frecuencia del equipo en mal estado.
4. **Acción correctiva:** acción correctiva recomendada.
5. **Índice de gravedad y baseline:** donde se indica el índice de gravedad de cada elemento y las baselines bien definidas.

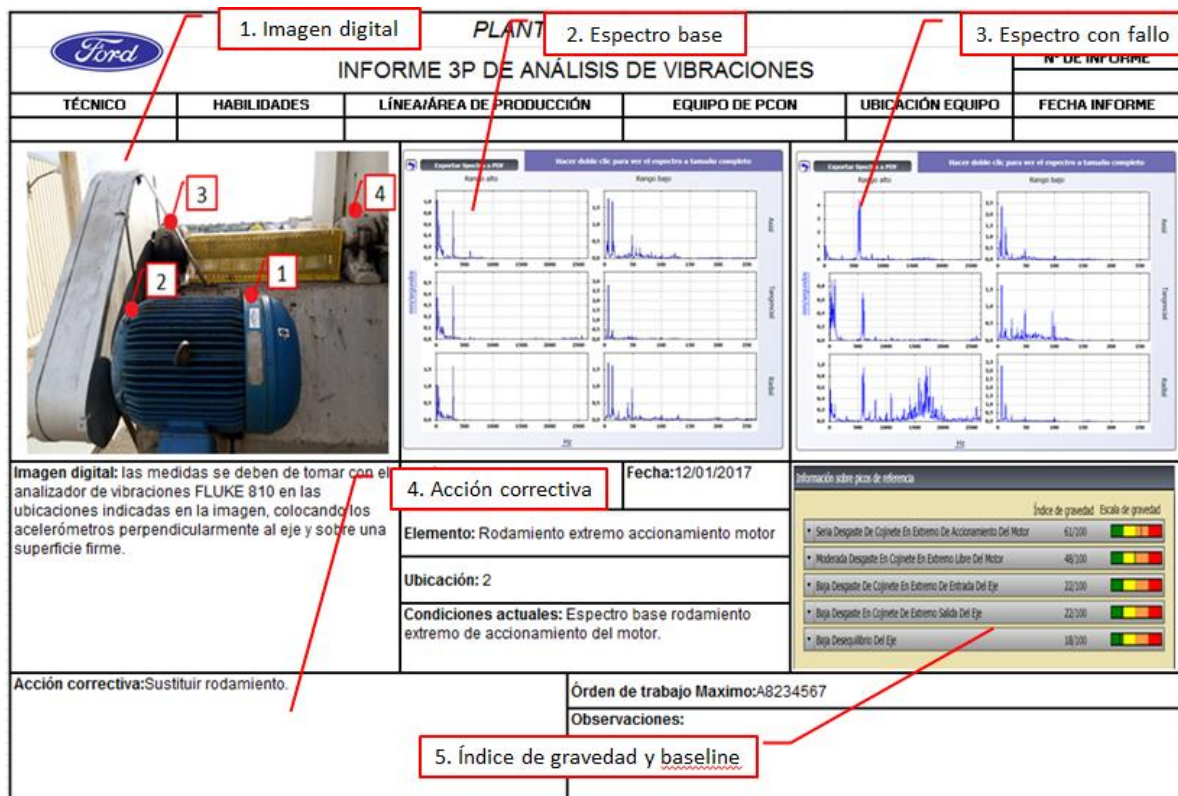


Figura 41. Ejemplo informe 3P.

Con estos informes conseguimos ver de forma visual y clara la evolución del fallo del elemento.



## 8. Presupuesto.

En el siguiente punto se valorará monetariamente el trabajo invertido en el proyecto. Para ello se tendrá en cuenta el número de horas dedicadas a la elaboración de informes, estudio detallado de los equipos, estudio de los equipos monitorizados, coste de los equipos y materiales empleados, honorarios, etc.

### 8.1. Presupuesto general.

Código	Capítulo	Presupuesto
001	Identificación de equipos críticos	<b>265 €</b>
002	Estudio de equipos	<b>300 €</b>
003	Identificación ubicaciones acelerómetros	<b>170 €</b>
004	Medición e identificación de frecuencias	<b>11216 €</b>
005	Seguimiento de equipos y baselines	<b>8775 €</b>
006	Establecer frecuencias de monitorizado	<b>265 €</b>
007	Creación JP, checklist e informes 3P	<b>900 €</b>

**TOTAL EJECUCION MATERIAL.....22141 €**

13 %Gastos generales.....2878,33 €

6% Beneficio Industrial.....1328,46 €

SUMA DE G.G. y B.I.....4206,79 €

**TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA SIN IVA.....26347,79 €**

21 % IVA.....5533,03 €

Honorarios del Proyecto.....3240 €

21 % IVA.....680,4 €

**TOTAL HONORARIOS.....3920,4 €**

**TOTAL PRESUPUESTO GENERAL**

**35801,22 €**

## 8.2. Presupuesto y mediciones.

### 8.2.1. Capítulo 001. Identificación de equipos críticos.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€/h]	Importe [€]
001.1	Director proyecto	5	30	150
001.2	Maintenance Planner	5	20	100
001.3	Ingeniero en prácticas	5	3	15
<b>Total capítulo 001. Identificación de equipos críticos</b>				<b>265 €</b>

### 8.2.2. Capítulo 002. Estudio de equipos.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
002.1	Ingeniero en prácticas	100	3	300
<b>Total capítulo 002. Estudio de equipos</b>				<b>300 €</b>

### 8.2.3. Capítulo 003. Identificación ubicación acelerómetros.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
003.1	Ingeniero en prácticas	15	3	45
003.2	Tutor UPV	5	25	125
<b>Total capítulo 003. Identificación ubicación acelerómetros</b>				<b>170 €</b>

#### 8.2.4. Capítulo 004. Medición e identificación de frecuencias.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
004.1	Ingeniero en prácticas	100	3	300
004.2	Tutor UPV	4	25	100
004.3	Personal mantenimiento	15	15	225
004.4	Herramientas de monitorizado y diagnóstico	-	-	10591
<b>Total capítulo 004. Medición e identificación de frecuencias</b>				<b>11216 €</b>

#### 8.2.5. Capítulo 005. Seguimiento de equipos y baselines.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
005.1	Ingeniero en prácticas	300	3	900
005.2	Tutor UPV	5	25	125
005.3	Acelerómetros	-	250	7750
<b>Total capítulo 005. Seguimiento de equipos y baselines</b>				<b>8775 €</b>

#### 8.2.6. Capítulo 006. Establecer frecuencias de monitorizado.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
006.1	Director proyecto	5	30	150
006.2	Maintenance Planner	5	20	100
006.3	Ingeniero en prácticas	5	3	15
<b>Total Capítulo 006. Establecer frecuencias de monitorizado</b>				<b>265 €</b>

### 8.2.7. Capítulo 007. Creación JP, checklist e informe 3P.

Código	Descripción	Rendimiento [h]	Coste unitario [€]	Importe [€]
007.1	Ingeniero en prácticas	200	3	600
007.2	Maintenance planner	15	20	300
<b>Total capítulo 007. Creación JP, checklist e informe 3P</b>				<b>900 €</b>

## 9. Conclusiones y trabajos futuros.

En primer lugar, decir que el objetivo principal marcado al inicio de este Trabajo Final de Máster que es la correcta implantación de la técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones se ha logrado de manera satisfactoria, atendiendo a los resultados obtenidos a lo largo de dicho trabajo, tales como:

- I. Estudio de los equipos a monitorizar ya que es de vital importancia saber los elementos que componen un equipo: tipo de rodamientos, engranajes, velocidades de giro, etc. ya que sin ésta información sería imposible implantar la técnica de análisis de vibraciones.
- II. Correcta ubicación de los acelerómetros, es decir, saber por dónde se van a transmitir mejor las vibraciones, asegurándonos unos resultados fiables y repetitivos, descartando falsos positivos o falsos negativos debido a una mala colocación o sujeción de los mismos.
- III. Cálculo e identificación de frecuencias características, cerciorándonos de este modo que los componentes de los equipos así como sus velocidades de giro, son los correctos a través de la identificación de las frecuencias características en los espectros de frecuencia.
- IV. Seguimiento de los equipos monitorizados, de esta forma hemos visto la evolución y tendencia de los distintos fallos de los equipos a lo largo del tiempo.
- V. Establecer baselines conforme a la norma ISO 10816-1 y 10816-3, con esto se hemos conseguido comparar los resultados obtenidos con el analizador de vibraciones y lo que establecen las normas ISO, viendo que dichos resultados tienen relación, tal y como se observa en las gráficas del punto 5.8 del trabajo.

Durante el desarrollo de este trabajo nos hemos encontrado con algunos impedimentos a la hora de realizar mediciones en equipos debido a temas relacionados con la seguridad, de ahí que algunas de las mediciones

realizadas en el seguimiento de los equipos no hayan sido exactamente cada semana, pudiéndose ir esta periodicidad en algunos casos 3 o 4 días.

También comentar que algunas frecuencias características relacionadas con fallos en rodamientos, más concretamente en fallos relacionados con la jaula de los mismos son muy bajas no pudiéndose detectar con el analizador de vibraciones, ya que éste tiene un rango de medición de 2-7000 Hz. Pero atendiendo a información proporcionada por fabricantes de rodamientos, un fallo en la jaula viene precedido por fallos de mayor gravedad en otros elementos de los rodamientos como son las pistas o elementos rodantes, pudiendo de esta forma “obviar” estas frecuencias tan bajas.

Por otro lado, nos hemos encontrado con un problema en cuanto a la fiabilidad de las mediciones en los elevadores ya que éstos disponen de variador de frecuencia con rampa de aceleración y deceleración, de forma que la frecuencia de giro es variable y por lo tanto las frecuencias características irán variando. Es sabido que la mejor solución sería la de coger un trozo de la señal temporal en la cual la velocidad fuese constante y analizarla, pero el analizador de vibraciones no contempla esta opción por lo tanto, una solución que se aportó fue la de accionar manualmente estos equipos en periodo de no producción para que las mediciones tomadas fueran a velocidad constante y de esta forma asegurar que el diagnóstico dado por el analizar es fiable.

Por último, decir que el analizador de vibraciones utilizado para el diagnóstico de fallos y monitorizado de los equipos es un Sistema Experto capaz de identificar los fallos más comunes, sin embargo hay que tener en cuenta que estos Sistemas Expertos están limitados por los conocimientos de la persona que creó la base de datos y las reglas para identificar el fallo. En éste caso, con el fin de determinar la gravedad del fallo, comparará las amplitudes de la vibración medida con el “umbral de vibración” interno que simula un estado de “como nuevo”. No sabe cómo vibraría normalmente la máquina, pero compara el funcionamiento de ésta con máquinas similares de su base de datos e identifica anomalías.

En cuanto a trabajos futuros queda pendiente:

- I. Instalación de acelerómetros de forma permanente para asegurar unos resultados fiables y repetitivos.
- II. Seguimiento de las mediciones en los elevadores teniendo en cuenta la solución aportada debido al problema de la variabilidad de la velocidad de giro del equipo.
- III. Ampliar la implantación de la técnica de análisis de vibraciones a más equipos de la planta.
- IV. Familiarizar a los operarios de mantenimiento con la técnica de análisis de vibraciones.

## 10. Bibliografía.

· Antonio José Besa González y Javier Caballeira Morado. *Diagnóstico y corrección de fallos de componentes mecánicos*. [1]

· Sew Eurodrive España.

[https://www.sew-eurodrive.es/productos/buscador\\_de\\_productos/buscador\\_de\\_productos.html](https://www.sew-eurodrive.es/productos/buscador_de_productos/buscador_de_productos.html). [2]

· Part community. <https://b2b.partcommunity.com/community/>. [3]

· Traceparts. <http://www.traceparts.com/es/>. [4]

· Fluke. <http://www.fluke.com/fluke/eses/home/default>. [5]