

2017

# DIAGNÓSTICO POR ANÁLISIS DEL RUIDO DE UNA TORRE DE COLOR DE IMPRESIÓN OFFSET



Marcos Vivó Cervera

Master en Ingeniería del Mantenimiento

## Contenido

Prólogo.....	6
1. Introducción.....	8
2. Objeto.....	10
3. Alcance.....	11
4. Torre de impresión Offset.....	13
1. Motricidad:.....	13
2. Parada:.....	15
3. Caja de distribución:.....	17
4. Re- envío:.....	19
5. Cilindros plancha-caucho:.....	20
6. Embragues batería:.....	21
7. Debitor:.....	22
8. Sistema de mesas y batidores:.....	25
5. Mapa de ruido.....	27
6. Obtención de espectros en el dominio de la frecuencia.....	30
7. Frecuencias naturales:.....	32
8. Obtención de espectros y análisis posterior.....	34
1. Primera lectura. Marzo de 2017.....	34
2. Segunda lectura. Mayo de 2017.....	36
1. Régimen de giro de 10.000 p/h.....	36
2. Régimen de giro de 20.000 p/h.....	39
3. Régimen de giro de 30.000 p/h.....	41
4. Régimen de giro 50.000 p/h.....	43
3. Tercera lectura. Septiembre de 2017.....	46
1. Régimen de giro 10.000 p/h.....	46
2. Régimen de giro 20.000 p/h.....	48
3. Régimen de giro a 30.000 p/h.....	49
4. Régimen de giro a 50.000 p/h.....	52

9. Conclusiones.....	57
10. Bibliografía.....	59

A mi mujer Paqui por haber convertido lo difícil en fácil.

## Índice de figuras

Ilustración 1. Layout rotativa Euro-M.....	8
Ilustración 2. Esquema torre de impresión Offset.....	11
Ilustración 3. Fotografía del sistema motriz de la torre.....	13
Ilustración 4. Motricidad .....	13
Ilustración 5. Fotografía del sistema de frenado.....	15
Ilustración 6. Parada .....	15
Ilustración 7. Fotografía del sistema de re- envío.....	17
Ilustración 8. Caja de distribución.....	17
Ilustración 9. Sección de la caja de distribución .....	18
Ilustración 10. Re- envío. ....	19
Ilustración 11. Sección caja-reenvío.....	20
Ilustración 12. Sección cilindros plancha-caucho .....	21
Ilustración 13. Embrague de tinta.....	22
Ilustración 14. Fotografía del sistema Debitor .....	23
Ilustración 15. Esquema sistema de doble embrague. Debitor .....	23
Ilustración 16. Debitor: transmisión por correa. DS .....	24
Ilustración 17. Debitor. OS .....	25
Ilustración 18. Sistema de mesas y batidores .....	26
Ilustración 19. Sectorización torre AT-44 .....	27
Ilustración 20. Mapa AT-44. 09-03-2017 .....	29
Ilustración 21. Relación entre zonas y audios .....	30
Ilustración 22. Polea de referencia. nº1.....	31
Ilustración 23. Velocímetro .....	31
Ilustración 24. Espectro en tiempo y frecuencia. Ventilación forzada.....	32
Ilustración 25. Espectro [0-700] ventilación forzada. 08-11-2016.....	33
Ilustración 26. Espectro en frecuencia AT-44. 09-03-2017 .....	34
Ilustración 27. Espectro [0-800] a 716 rpm AT-44. 09-03-2017.....	35
Ilustración 28. Extracto; frecuencia de 113 Hz a 716 rpm .....	35
Ilustración 29. Espectro en frecuencia a 204 [rpm]. 17-05-2017 .....	36
Ilustración 30. Espectro [0-500] a 204 rpm AT-44. 17-05-2017.....	37
Ilustración 31. Extracto; frecuencia de 300 Hz a 204 rpm .....	37
Ilustración 32. Espectro [0-500](bis) a 204 rpm AT-44. 17-05-2017.....	38

Ilustración 33. Extracto; frecuencia de 110 Hz a 204 rpm .....	38
Ilustración 34. Espectro en frecuencia a 351 [rpm]. 17-05-2017 .....	39
Ilustración 35. Espectro [0-500] a 351 rpm AT-44. 17-05-2017.....	40
Ilustración 36. Extracto; frecuencia de 100 Hz a 351 rpm .....	40
Ilustración 37. Extracto; frecuencia de 223 Hz a 351 rpm .....	40
Ilustración 38. Extracto; frecuencia de 183 Hz a 351 rpm .....	41
Ilustración 39. Espectro a 351 rpm AT-44. 17-05-2017 .....	41
Ilustración 40. Espectro [0-600] a 351 rpm AT-44. 17-05-2017.....	42
Ilustración 41. Extracto; frecuencia de 84 Hz a 533 rpm. ....	42
Ilustración 42. Extracto; frecuencia de 100 Hz a 533 rpm. ....	43
Ilustración 43. Extracto; frecuencia de 100 Hz a 533 rpm. ....	43
Ilustración 44. Espectro a 713 rpm AT-44. 17-05-2017 .....	44
Ilustración 45. Espectro a 713 rpm AT-44. 17-05-2017.....	44
Ilustración 46. Extracto; frecuencia de 113 Hz a 713 rpm. ....	45
Ilustración 47. Extracto; frecuencia de 90 Hz a 713 rpm .....	45
Ilustración 48. Extracto; frecuencia de 534 Hz a 713 rpm .....	45
Ilustración 49. Espectro a 155 rpm AT-44. 15-09-2017 .....	46
Ilustración 50. Espectro [0-500] a 155 rpm AT-44. 15-09-2017.....	47
Ilustración 51. Extracto; frecuencia de 245 a 155 rpm .....	47
Ilustración 52. Espectro a 347 rpm AT-44. 15-09-2017.....	48
Ilustración 53. Espectro [0-500] a 347 rpm AT-44. 15-09-2017.....	48
Ilustración 54. Extracto; frecuencia de 99 Hz a 347 rpm .....	49
Ilustración 55. Espectro a 519 rpm AT-44. 15-09-2017 .....	49
Ilustración 56. Espectro [0-800] a 519 rpm AT-44. 15-09-2017.....	50
Ilustración 57. Extracto; frecuencia de 542 Hz a 519 rpm .....	51
Ilustración 58. Espectro [0-500] a 519 rpm AT-44. 15-09-2017.....	52
Ilustración 59. Extracto; frecuencia de 148 Hz y 107 Hz a 347 rpm .....	52
Ilustración 60. Espectro a 724 rpm AT-44. 15-09-2017 .....	53
Ilustración 61. Espectro [0-800] a 724 rpm AT-44. 15-09-2017.....	53
Ilustración 62. Extracto; frecuencia de 755 Hz a 724 rpm .....	54
Ilustración 63. Extracto; frecuencia de 92 a 724 rpm .....	55
Ilustración 64. Extracto; frecuencia de 138 a 724 rpm .....	55
Ilustración 65. Extracto; frecuencia de 115 a 724 rpm .....	56

## Prólogo

La mayoría de las actividades humanas implican vibración en una u otra forma. Por ejemplo, oímos porque nuestros tímpanos vibran y vemos porque las ondas luminosas vibran. La respiración está asociada con la vibración de los pulmones y el caminar implica el movimiento oscilatorio (periódico) de pierna y manos. El habla humana requiere el movimiento oscilatorio de la laringe (y la lengua) [1.1]. Los eruditos antiguos en el campo de la vibración concentraron sus esfuerzos en la comprensión de los fenómenos naturales y el desarrollo de las teorías matemáticas para describir la vibración de sistemas físicos.

La mayoría las máquinas, accionadas con motores, experimentan problemas vibratorios debido al desequilibrio inherente en los motores. El desequilibrio puede deberse al diseño defectuoso o a una fabricación deficiente. El desequilibrio en motores diésel utilizados como propulsores en la marina, por ejemplo, puede provocar ondas terrestres suficientemente poderosas como para provocar molestias en áreas urbanas. Las ruedas de algunas locomotoras pueden alzarse más de un centímetro de la vía a altas velocidades debido al desequilibrio.

En todas estas situaciones, el componente de la estructura o máquina sometido a vibración puede fallar debido a fatiga del material producida por la vibración cíclica del esfuerzo inducido. Además, la vibración provoca un desgaste más rápido de las partes de la máquina como cojinetes y engranes e incluso produce ruido excesivo.

En muchos sistemas de ingeniería, un ser humano actúa como parte integral del sistema. La transmisión de vibraciones a los seres humanos provoca molestias y pérdida de eficiencia. La vibración del ruido generado por una máquina molesta a las personas. La vibración de los paneles de mando puede derivar en disfunción de los mismos provocando interrupciones en la línea de montaje, por ejemplo.

Por lo tanto, uno de los propósitos importantes del estudio de la vibración y/o ruido es reducirlos al máximo y para ello el ingeniero mecánico puede hacer tres cosas:

- a) Un buen diseño de los componentes de la máquina de modo que reduzca el desequilibrio;
- b) Un buen diseño de la estructura que soportará a la máquina;
- c) Y por último, un buen mantenimiento del conjunto para mantener en el tiempo unas buenas condiciones de operación de la máquina;

El ingeniero de mantenimiento tiene la responsabilidad de mantener, en el tiempo, las condiciones de operación diseñadas por el fabricante con el objetivo, entre otros, de;

- d) Mantener, en el tiempo, el nivel de ruido que se transmite al operador de la máquina;
- e) Mantener, en el tiempo, el nivel de vibración al operador de la máquina;

En la actualidad se dispone de equipos muy sofisticados para el análisis de las vibraciones y el ruido que generan las máquinas. Pero también es verdad que el avance de la técnica en equipos domésticos, como es un Smart-fone, y con un software para tratar la señal de audio capturada, se pueden obtener resultados muy interesantes referidos al nivel de vibración de una máquina y/o parte de ella. El estudio que a continuación se expone se ha basado en la captura del ruido por mediación de un Smart-fone y el tratamiento posterior de la señal de audio capturada con un software de mercado, de una rotativa de prensa. Los resultados obtenidos son además de concluyentes, precisos, y han servido para programar acciones de carácter preventivo con el objetivo de adelantarse a un posible fallo en la máquina.

El trabajo se inicia con una breve descripción de lo que es una rotativa de prensa, se incluye un mapa de ruido de la parte de rotativa objeto de análisis, se explica cómo y con qué se captura la señal y se trata posteriormente. Se exponen los resultados y se explican las conclusiones de cada señal tratada. Al final, en el apartado de conclusiones se exponen las acciones que se derivan del estudio realizado. No es objeto del presente trabajo entrar en detalle de cómo se ha elaborado la tabla Excel de frecuencias ni el formulario utilizado para la identificación de frecuencias ni en las sentencias utilizadas en Matlab para el tratamiento de la señal de audio.

## 1. Introducción.

Una torre de impresión offset forma parte del conjunto de equipos que conforman una rotativa de prensa. Concretamente se trata de la parte donde se obtiene la imagen impresa sobre el papel.

El desarrollo del presente trabajo se ha basado en el análisis del ruido generado en una torre de impresión offset de color, a partir de ahora AT-44, equipada en una rotativa de prensa del fabricante Mitsubishi Heavy Industries, Co, modelo Euro-M. En la siguiente imagen se muestra el esquema de la rotativa Euro-M, y remarcado en rojo, se ubica la torre AT-44 dentro del conjunto rotativa de prensa,

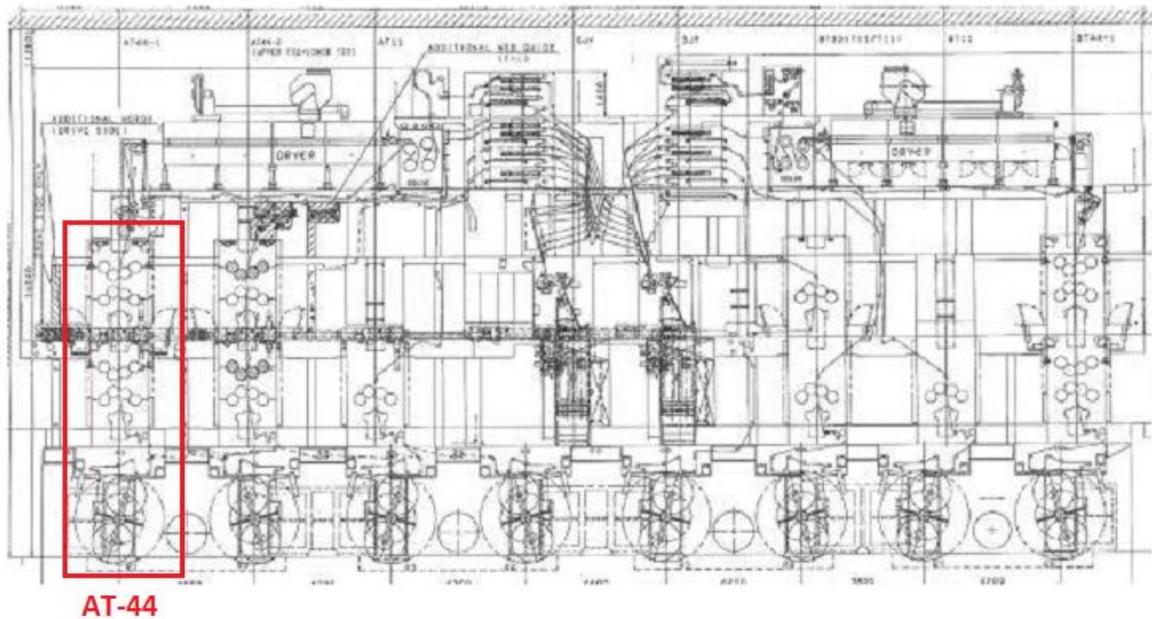


Ilustración 1. Layout rotativa Euro-M

Como se aprecia en la figura de arriba, el resto de torres son exactamente iguales y, en condiciones normales de uso, se comportarán de igual manera que la AT-44. Siendo así podemos afirmar que analizada una torre y caracterizado su comportamiento mediante la obtención de un modelo teórico, éste es válido para el resto de torres.

Una rotativa de prensa, como su nombre desvela, basa su funcionamiento en la rotación de sus diferentes elementos y estos son básicamente;

- a) Ejes;
- b) Rodillos;
- c) Motores;
- d) Engranajes;
- e) Rodamientos;

Del buen estado de ellos dependerá, ya no sólo su vida útil, sino también la calidad del producto impreso. Un producto mal impreso es un producto no vendido y por lo tanto es un producto cuyo coste de fabricación no retorna.

Además, al tratarse de un producto diario y con fecha de caducidad muy temprana, éste tiene que estar en el punto de venta a una hora determinada o de lo contrario ya no es vendible.

Es por todo que una avería en rotativa nos podría llevar a uno de los escenarios antes descritos. Si somos capaces de predecir el fallo antes de que este ocurra nos evitaremos disgustos y tener que dar explicaciones a la Dirección de la empresa.

De un buen mantenimiento de la rotativa dependerá;

- 1. la obtención de un producto de calidad en tiempo y en forma;
- 2. evitar sobrecostes de ejecución del producto;
- 3. evitar paros no programados en la producción;
- 4. y sobre todo, tratándose de prensa diaria, que nunca falte un ejemplar de nuestro periódico en los puntos de venta;

De los diferentes tipos de mantenimiento, es el mantenimiento PREDICTIVO el que nos proporciona información del estado de la rotativa, sin tener que intervenir previamente en ella, para;

- 1. conocer el estado de nuestra rotativa;
- 2. concretar cuándo es el momento adecuado para la sustitución y/o intervención en la rotativa;
- 3. caracterizar y dimensionar nuestro stock de recambios;
- 4. y en definitiva, adelantarnos a la avería;

## 2. Objeto.

En el presente trabajo se ha caracterizado el comportamiento de una torre de impresión offset mediante el análisis en frecuencia del ruido capturado con un móvil. A partir de la señal de audio capturada y tras su tratamiento con el software adecuado, se ha obtenido:

1. espectros en el dominio de la frecuencia;
2. y mapas de ruido en dB;

Las frecuencias de mayor amplitud<sup>1</sup> se cruzan con los valores teóricos<sup>2</sup> de los diferentes elementos estudiados para identificar cuáles son los rangos de frecuencia en el que se excitan y en qué condiciones.

---

<sup>1</sup> Es adimensional [-]

<sup>2</sup> A partir de los datos obtenidos con los modelos matemáticos de distintos libros de texto.

### 3. Alcance.

El presente trabajo se ha basado, como se indica al principio, en el análisis del comportamiento de una torre de impresión offset, en la figura siguiente se muestra el croquis de una torre de impresión,

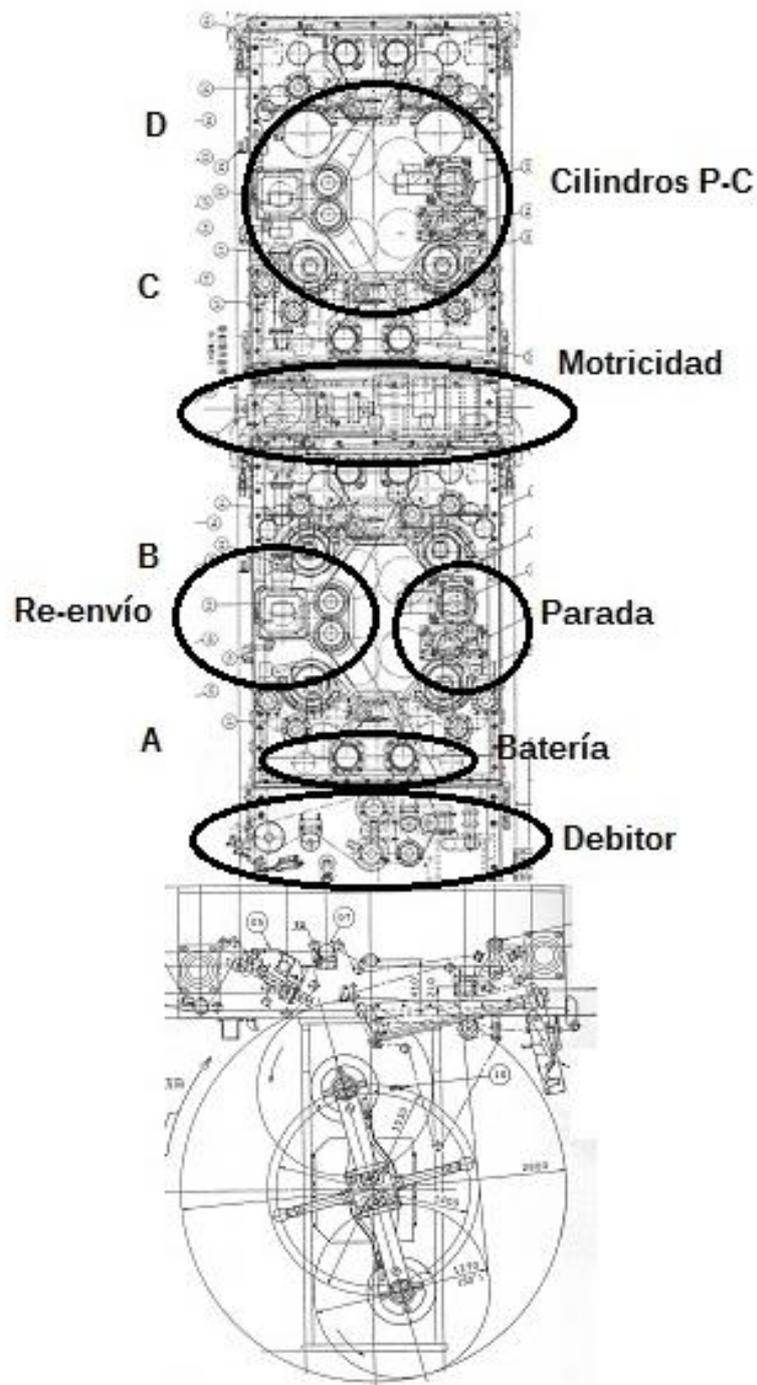


Ilustración 2. Esquema torre de impresión Offset.

De la torre de impresión se ha descartado el estudio correspondiente a los elementos del sistema de embarrado, es decir, la parte de preparación de la bobina de papel llamado autopaster. Esto es así porque en caso de que el autopaster se colapsara se podría utilizar el autopaster de back-up. Siendo al repercusión en la producción poco significativa.

En la figura 1 se han seleccionado siete zonas para su análisis y estas son las siguientes;

1. Motricidad;
2. Parada;
3. Re-envío;
4. cilindros plancha-caucho;
5. Embragues batería;
6. Debitor;
7. Sistema automático de lubricación;

El alcance del presente trabajo se basa en el análisis de los elementos comprendidos en la parte inferior de la torre, lo que se conoce como AT-44 AB y corresponde al cyan y magenta. Todas las torres de impresión son iguales y de igual forma deben comportarse. Las conclusiones que se obtendrán en este trabajo son aplicables al resto de torres, sea en su parte inferior o superior. Aunque las torres mono<sup>3</sup> sólo impriman negro, las baterías, la motricidad, el paro y en definitiva todo es igual que en una torre de color. La única diferencia es el número de cilindros plancha-caucho.

---

<sup>3</sup> Reciben el nombre de mono la torre que sólo tiene negros, es decir, sólo un grupo de cuatro rodillos. Una torre de color lleva cuatro grupos de cuatro rodillos uno por color. Cuatricomía.

## 4. Torre de impresión Offset.

### 1. Motricidad:

La motricidad comprende la unión entre el eje principal de la rotativa, la caja reductora (re- envío) y el motor de corriente continua.

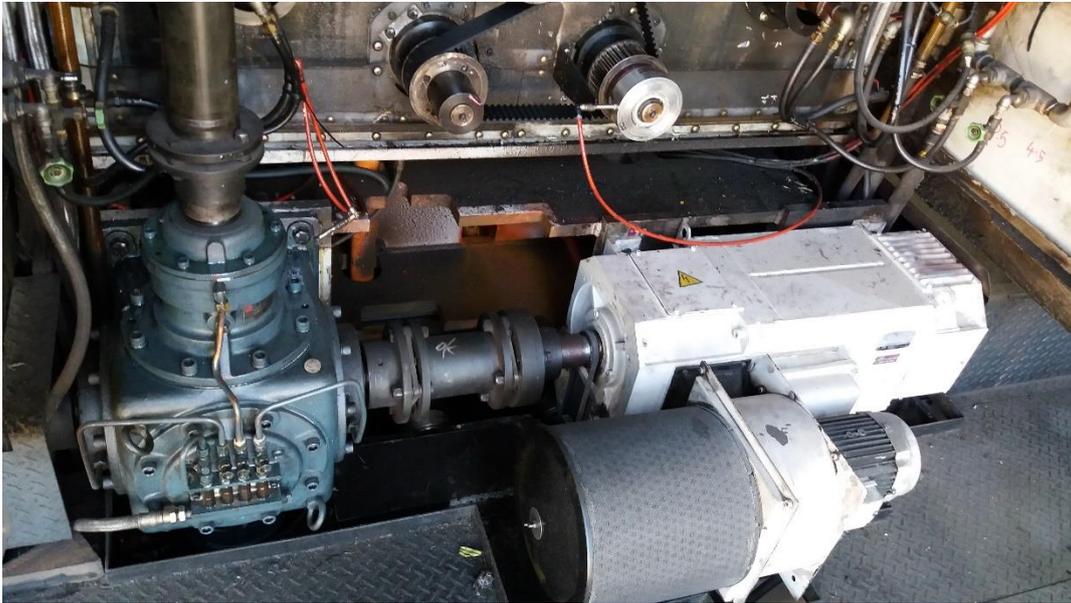


Ilustración 3. Fotografía del sistema motriz de la torre

Del sistema motriz se identifican los siguientes elementos objeto de análisis y para ello nos apoyamos en la siguiente figura en la que se muestra un croquis de sus componentes,

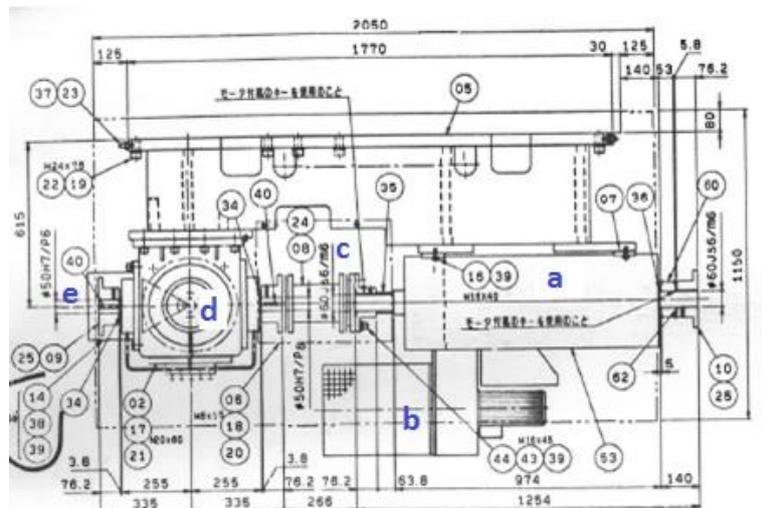


Ilustración 4. Motricidad

Según la nomenclatura de la figura 3 es,

- a. motor de corriente continua del fabricante Leroy Somer;
- b. ventilación forzada;
- c. unión cardam;
- d. re-envío;
- e. brida unión eje principal;

A continuación se identifican los elementos objetos de estudio,

<b>Grupo</b>	<b>Elemento</b>	<b>Identificación</b>	<b>Nº de eje</b>
motor	Apoyo delantero rodamiento 6313	A1	
	Apoyo trasero rodamiento 6313	A2	
ventilación	Apoyos rotor rodamientos 6004	B1,B2	
	Número de álabes centrífugo 42		
Re-envío	Corona cónica z= 45 dientes		
	Tapa vertical. Rodamiento 30312 rodillos cónicos	DV	
	Tapa horizontal. Rodamiento 30311 Rodillos cónicos	DH	

## 2. Parada:

La parada hace referencia al sistema de freno de disco equipado en la torre para su paro.



Ilustración 5. Fotografía del sistema de frenado

En la siguiente figura se muestra un croquis del sistema de freno,

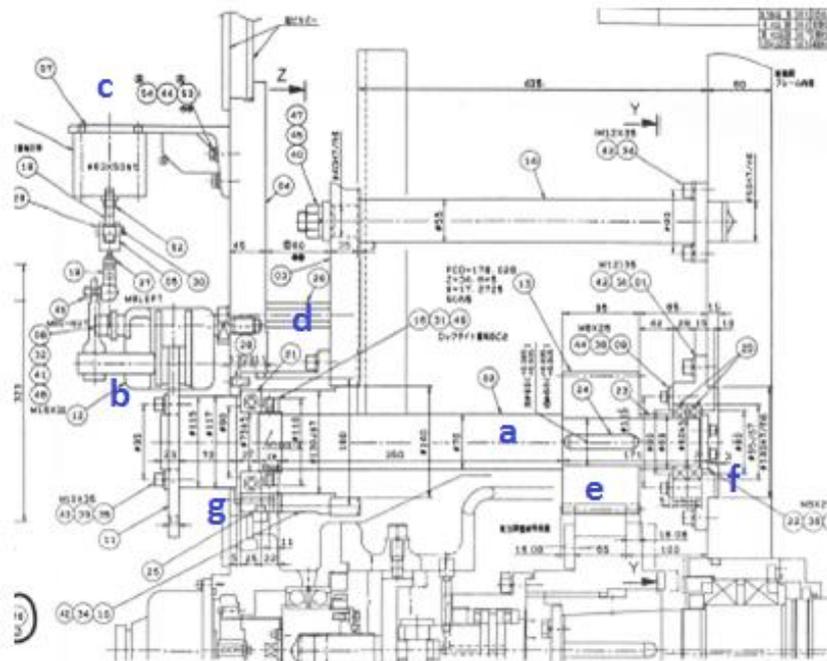


Ilustración 6. Parada

Se trata de un eje asociado al tren de engranes mediante la rueda dentada del cilindro de plancha de la CARA<sup>4</sup> de la torre. Según la figura 5 es,

- a. Eje solidario al freno;
- b. Disco-ferodo;
- c. Cilindro accionamiento;
- d. Rueda dentada
- e. Rueda dentada;
- f. Rodamientos apoyo trasero;
- g. Rodamientos apoyo delantero;

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
freno	Rueda dientes rectos z= 32	D	6
	Rueda dientes rectos z= 34	E	13
	Apoyos traseros rodamientos 6212	F	6
	Apoyos delanteros rodamientos 6215	G	6

<sup>4</sup> Hace referencia a la cara o revés del impreso. En nuestro caso y según la figura nº1 la CARA es el lado derecho del eje de simetría de la torre, visto desde el lado de transmisión.

### 3. Caja de distribución:

Caja de engranes rectos que transmite movimiento desde el eje principal a la torre, tanto a la zona AB (parte inferior) como a la zona CD (parte superior de la torre). En la figura siguiente se muestra una fotografía del sistema,

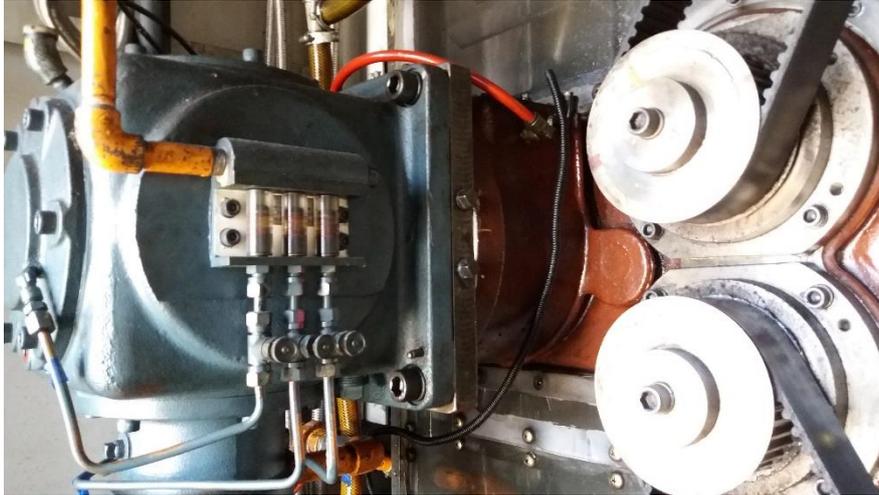


Ilustración 7. Fotografía del sistema de re-envío

En la siguiente figura se identifican los siguientes elementos de la caja de distribución,

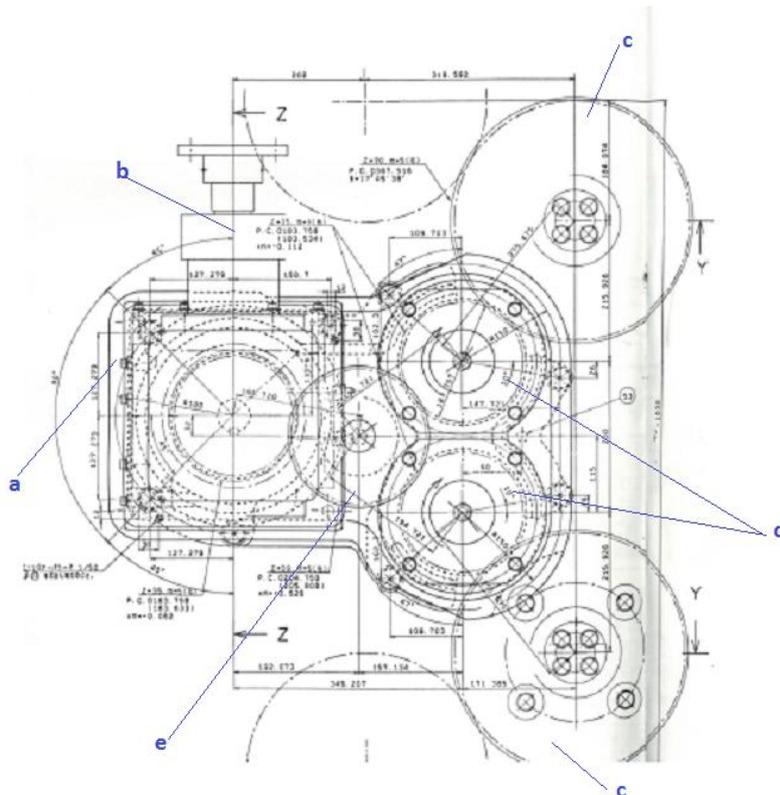


Ilustración 8. Caja de distribución.

- a. Caja reductora. Re-envío;
- b. Brida;
- c. Cilindro de caucho;
- d. Poleas de distribución;
- e. Rueda intermedia;

En la siguiente figura se muestra en detalle los elementos interiores el sistema,

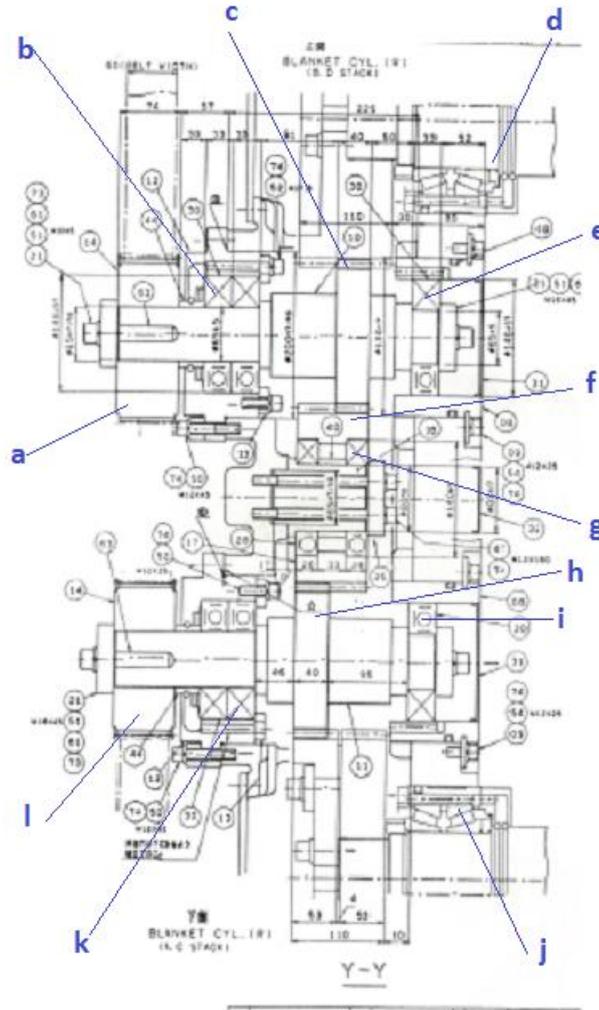


Ilustración 9. Sección de la caja de distribución

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
Caja de Distribución	Polea dentada z=35	a	3
	Rodamiento 6313	b	3
	Corona recta z=35	c	3
	Rodamiento rodillos cónicos 64450	d	5
	Rodamiento 6316	e	3
	Corona recta z=39	f	4
	Rodamiento 6216	g	4

	Corona recta z=35	h	3
	Rodamiento 6313	i	3
	Rodamiento rodillos cónicos 64450	j	5
	Rodamiento 6313	k	3
	Polea dentada z=35	l	3

#### 4. Re-envío:

La caja de distribución va unida a otra caja llamada re-envío que a su vez está unida, mediante un cardam, a otro re-envío unido al eje principal de la rotativa. En la figura siguiente se aprecia la caja de distribución, el re-envío y el cardam,

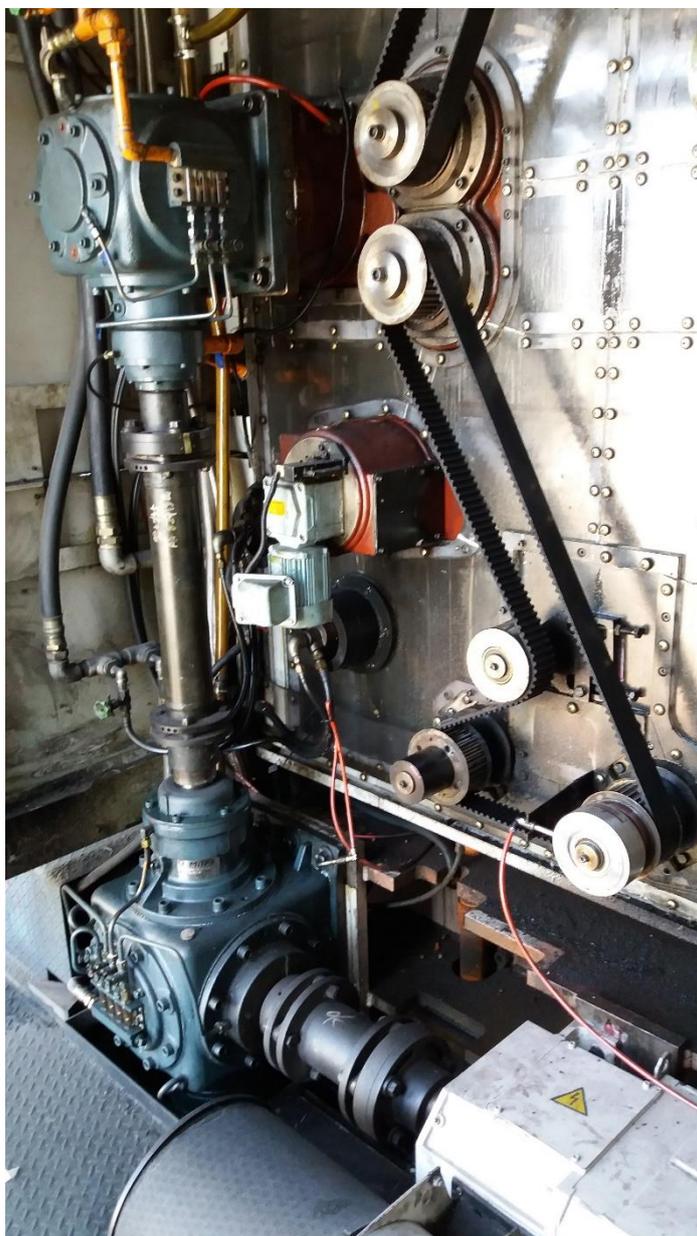


Ilustración 10. Re-envío.

En la siguiente figura se muestra una sección del re- envío de unidad,

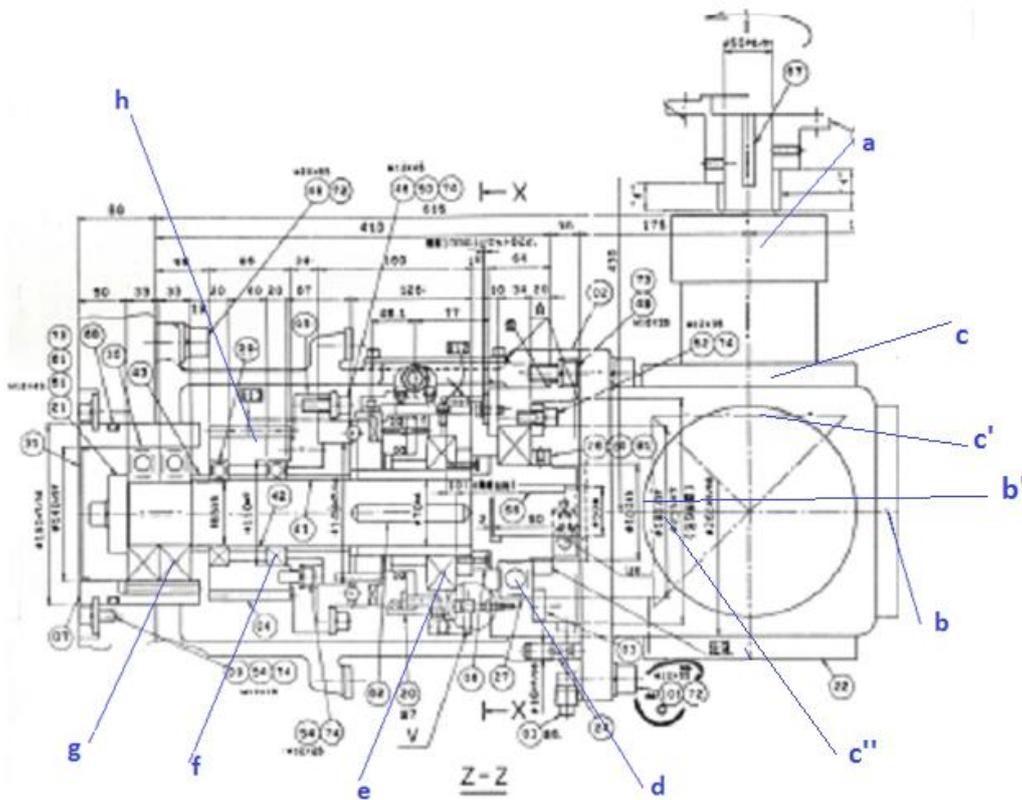


Ilustración 11. Sección caja-reenvío

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
Caja-reenvío	Brida: rodamiento 30311	a	
	Tapa horizontal Rodamiento 30311	b	
	Unión caja-carter rodamiento 30311	b'	
	Tapa vertical rodamiento 30311	c	
	Corona helicoidal z= 27	c'	
	Corona helicoidal z= 27	c''	
	Rodamiento 6220	d	3
	Rodamiento 6316	e	
	Rodamiento 6014	f	
	Rodamiento 6313	g	
	Corona recta z=35	h	

### 5. Cilindros plancha-caucho:

El papel pasa entre el cilindro de plancha y el de caucho de tal forma que la CARA y el REVÉS de la banda de papel quedará impresa cuando los cilindros

plancha-caucho y caucho-plancha entren en contacto. En la siguiente figura se muestra el croquis del sistema,

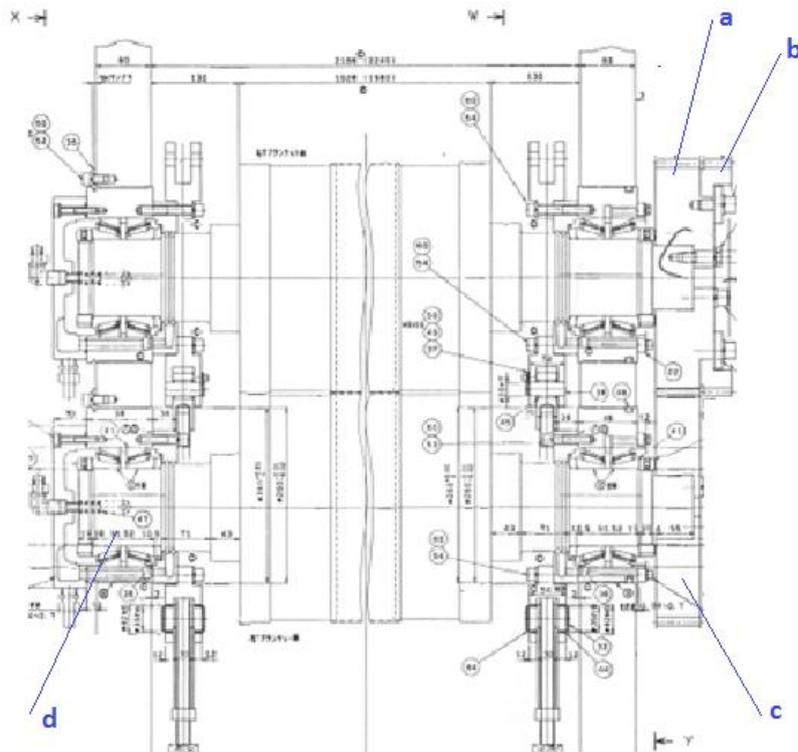


Ilustración 12. Sección cilindros plancha-caucho

Los apoyos de los rodillos es la parte más comprometida de la torre de impresión; el fallo de uno de ellos dejaría fuera de servicio a la torre durante al menos 24 h. Se identifican los siguientes componentes,

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
Cilindros	Corona recta z=70	a	5
	Corona recta z=70	c	
	Rodamiento 64450	d	

## 6. Embragues batería:

Los embragues de la batería son los encargados de transmitir giro a las mesas de la batería de impresión a voluntad del operador de la rotativa. En la figura siguiente se muestra el croquis del sistema,

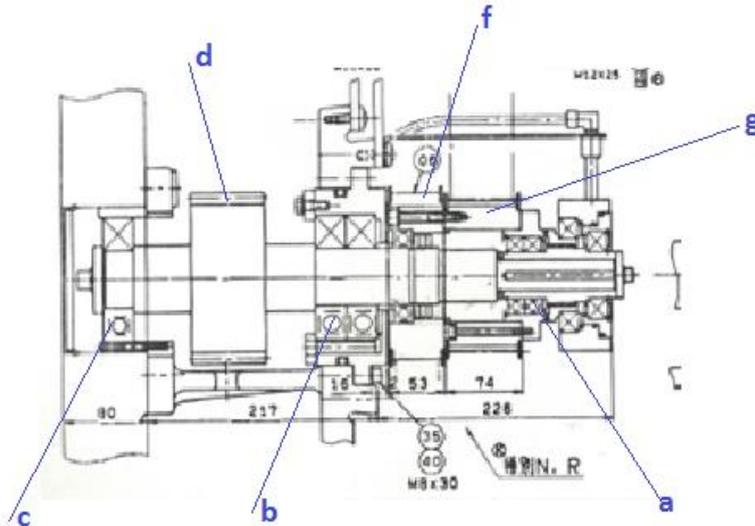


Ilustración 13. Embrague de tinta

En el embrague de tinta se identifican los siguientes elementos,

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
E. Tinta	Rodamiento 6011	a	2
	Rodamiento 6311	b	
	Rodamiento 6211	c	
	Engrane recto z= 30	d	
	Polea dentada z= 37	f	
	Polea dentada z= 33	g	

### 7. Debitor:

El Debitor se encarga de acondicionar la entrada de la banda de papel a la torre, para ello básicamente lo que hace es;

- a. Quitar arrugas a la banda de papel;
- b. Mantener una tensión adecuada de la banda de papel;

Todo esto lo consigue con un sistema de doble embrague de tal forma que la banda siempre se encuentra con la tensión suficiente sin llegar a romperse. En la siguiente figura se muestra el sistema,



Ilustración 14. Fotografía del sistema Debitor

En las dos figuras siguientes se esquematiza el sistema debitor,

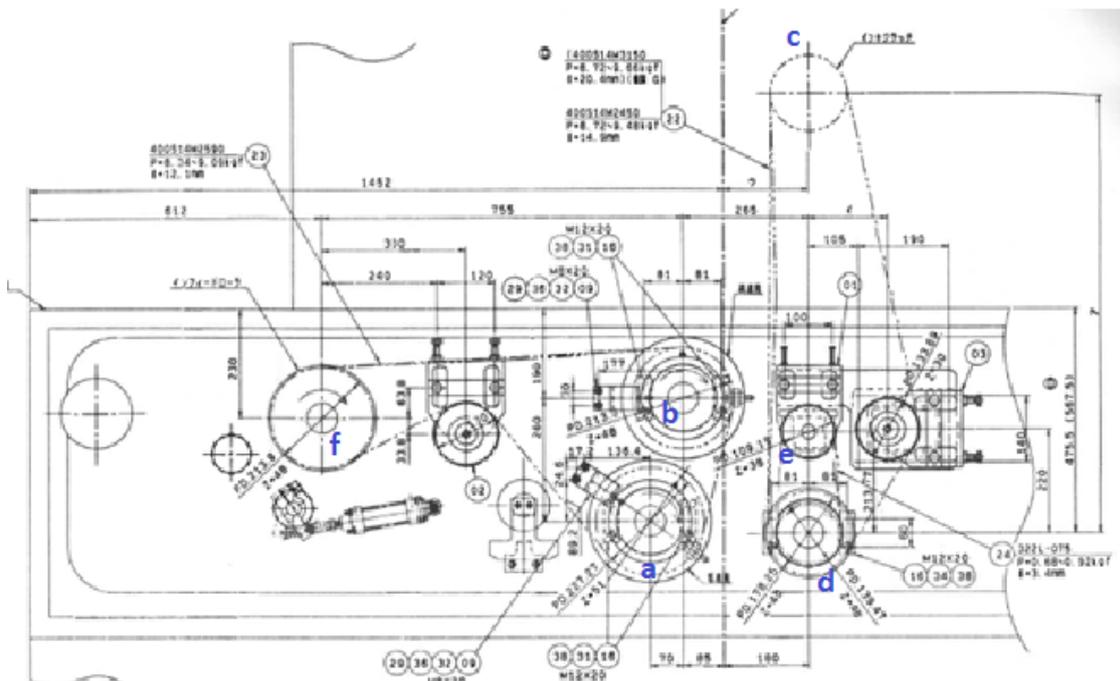


Ilustración 15. Esquema sistema de doble embrague. Debitor

En el sistema Debitor se ha hecho la siguiente identificación,

- a. Embrague inferior;
- b. Embrague superior;

- c. Polea sincronización;
- d. Polea accionamiento Debitor;
- e. Polea encoder;
- f. Polea rodillo debitor;

En la siguiente figura se aprecia el sistema en una vista seccionada,

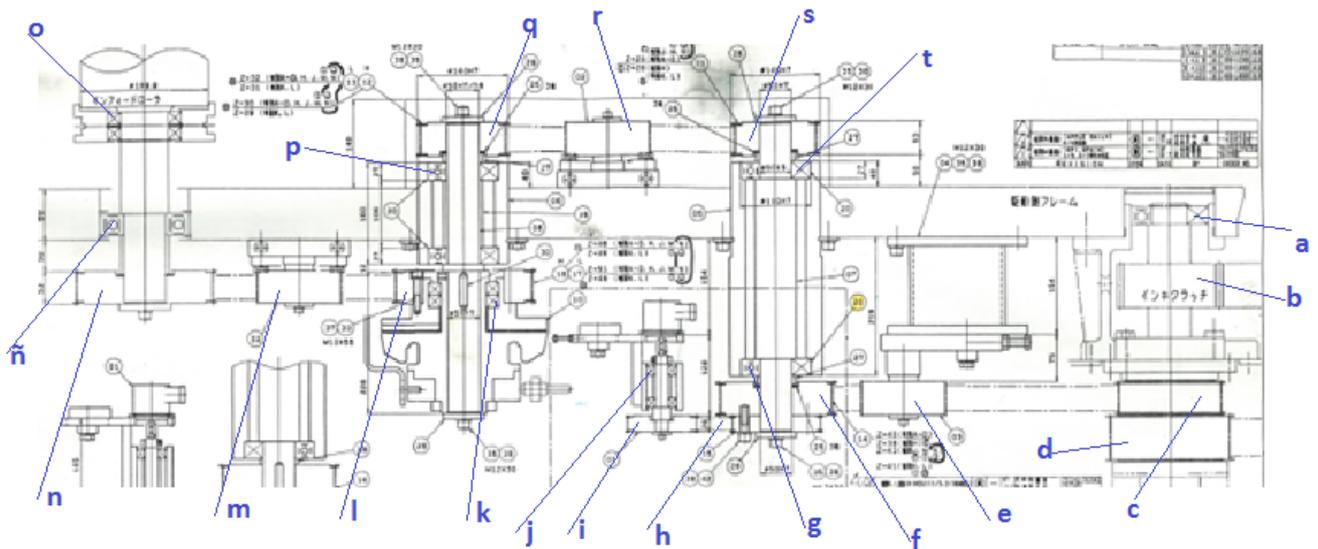


Ilustración 16. Debitor: transmisión por correa. DS

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
Debitor	Rodamiento 6211	a	2
	Engrane recto z= 30	b	
	Polea dentada z= 33	c	
	Polea dentada z= 37	d	
	Tensor. Rodamiento 6207/ z=30	e	14
	Polea dentada z= 43	f	
	Rodamiento 6310	g	
	Polea dentada z'= 44	h	19
	Polea dentada z'= 33	i	
	Rodamiento 6204	j	
	Rodamiento 6309	k	18
	Polea dentada z= 51	l	
	Polea dentada z= 48	l'	
	Tensor. Rodamiento 6207/ PD. 130	m	
	Polea dentada z= 48	n	
	Rodamiento 6313	ñ	
	Rodamiento 6015	o	
Rodamiento 6310	p		
Polea dentada z= 32/z'=30	q/q'		
Tensor. Rodamiento 6207	r		
Polea dentada z= 29	s		
Rodamientos 6310	t		

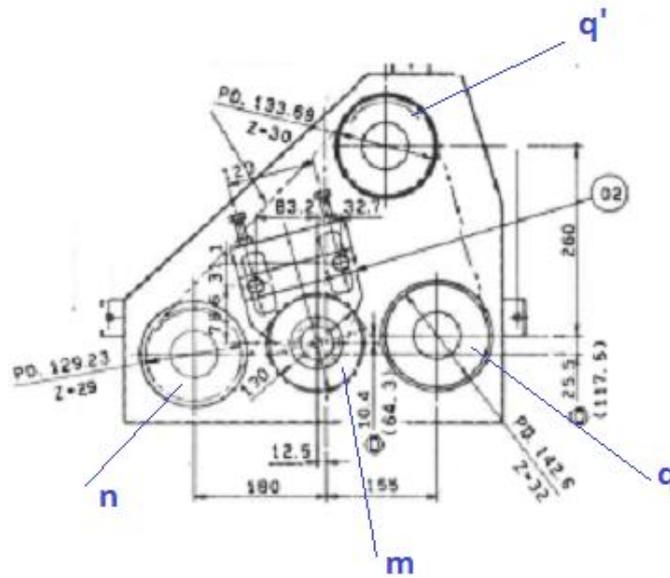


Ilustración 17. Debitor. OS

### 8. Sistema de mesas y batidores:

Conjunto de rodillos fijos (mesas) y oscilantes (batidores) en sentido longitudinal. Encargado de atomizar/batir la tinta y el agua para facilitar la transmisión de éstas hasta la plancha de impresión.

- a. Batidor de tinta;
- b. Mesa cromada;
- c. Transmisión;
- d. Mesa/ mojado;
- e. Transmisión;

En la siguiente figura se identifican las mesas y los batidores,

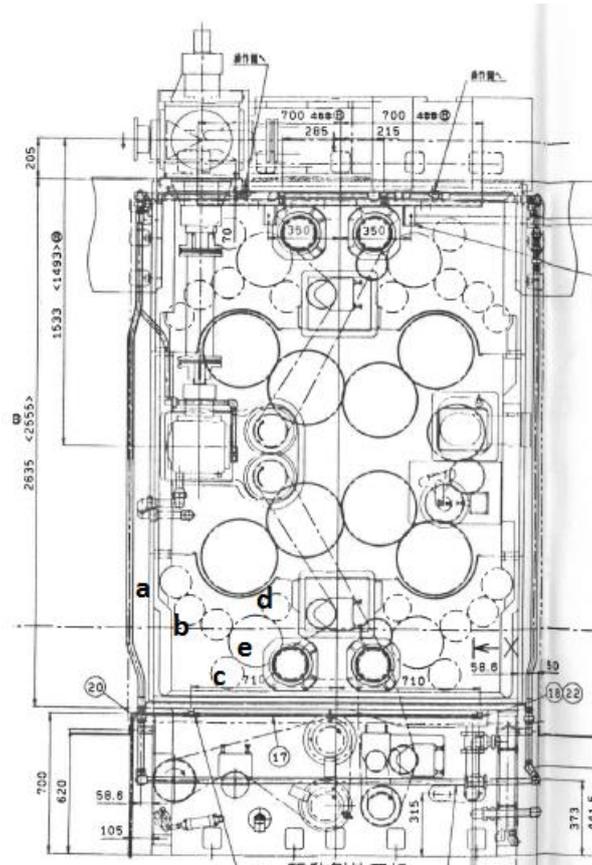


Ilustración 18. Sistema de mesas y batidores

Grupo	Elemento	Identificación	Nº de eje
Mesas/batidores	Batidor (6010)	a	7
	Mesa cromada (6212)	b	8
	Engrane (16017)	c	9
	Mesa/ mojado (6212)	d	10
	Engrane (6212)	e	11

## 5. Mapa de ruido.

Antes de iniciar los cálculos de velocidades, y posterior obtención de los espectros en el dominio de la frecuencia, hay que tomar registro del ruido. Para ello se ha utilizado un *smartphone* del fabricante Samsung modelo Galaxy J5.

Las lecturas se han realizado a una distancia aproximadamente de un metro y medio desde el lado de transmisión de la torre. Los puntos de lectura se muestran en la figura siguiente,

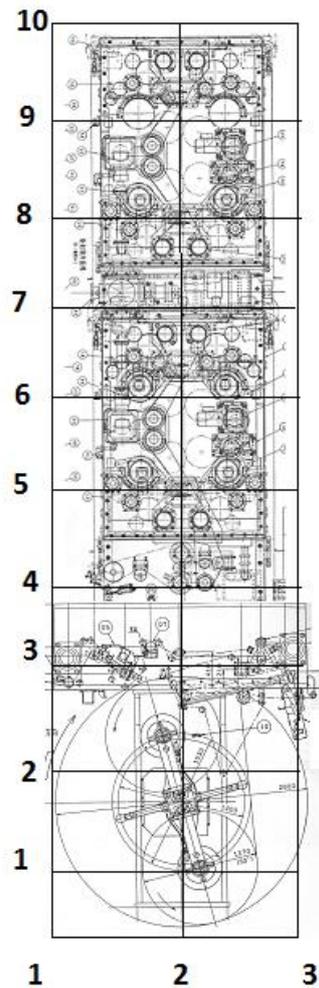


Ilustración 19. Sectorización torre AT-44

Teniendo un total de treinta puntos de lectura referidos con una par de dígitos siendo el primero la columna y el segundo la fila.

Se han realizado dos lecturas de ruido de la torre, espaciadas en el tiempo tres meses, para comparar resultados y comprobar si existen diferencias significativas.

Una vez registrada la señal de ruido, mediante el software gratuito *mp3cut.net*, se procede a;

1. Cortar la señal de audio en un segundo, tomando como primer valor del corchete 1s;
2. Convertir la señal de *mp4* en *wav*;

Con la señal de audio de un segundo y en formato *wav* se procesa en *Matlab* de forma que;

1. Se obtiene un valor de la señal en dB;
2. Se obtiene un espectro en el dominio de la frecuencia de la señal;

Todo esto por cada una de los treinta registros de audio obtenido en cada lectura de la torre.

El primer resultado objetivo que se obtiene es un mapa de colores que representa el nivel sonoro en dB de la torre de color. Para la obtención del mapa de color se han utilizado dos software,

1. *Paint*;
2. *Phixr*;

El resultado se muestra en la siguiente figura dónde las tonalidades de cyan representan las zonas de nivel sonoro más bajo y las magenta las de nivel sonoro más alto.

Es en la zona de los autopasters donde más ruido hay. Esto se entiende porque el autopaster se encuentra ubicado en planta sótano. Además, los cerramientos de obra están a escasos tres metros de la bancada de la máquina favoreciendo el efecto rebote a modo de caja de resonancia.

Es evidente que en el lado derecho es dónde más nivel sonoro hay pero es porque el ruido no tiene salida hacia ese lado y sí lo tiene hacia el lado izquierdo.

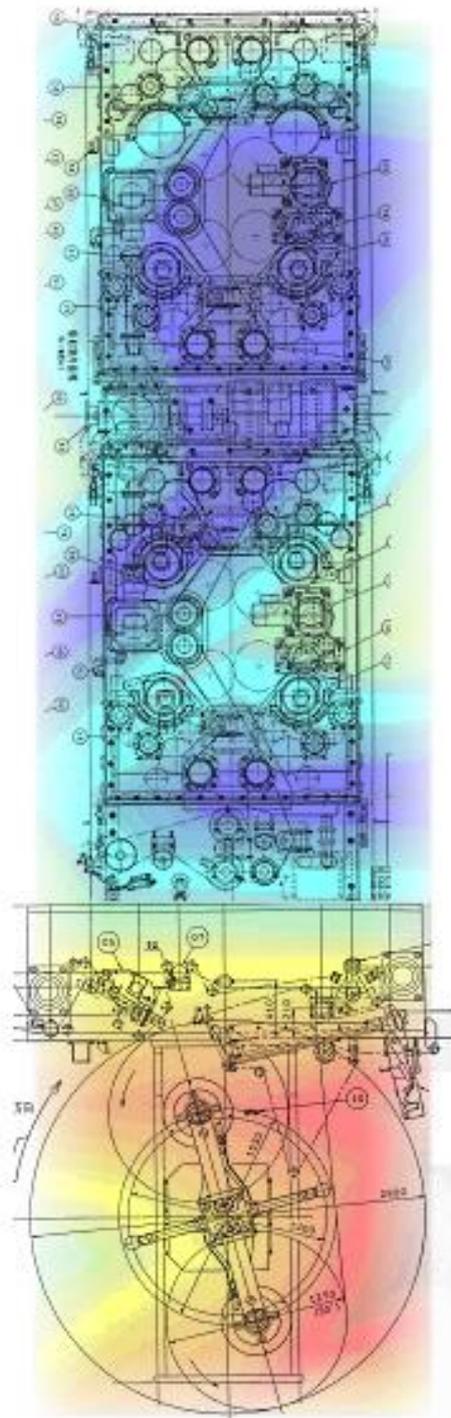


Ilustración 20. Mapa AT-44. 09-03-2017

## 6. Obtención de espectros en el dominio de la frecuencia.

Para facilitar la identificación de las lecturas se ha seguido la sectorización de la AT-44 tal y como se refiere en el apartado 3 del presente trabajo;

1. Motricidad;
2. Parada;
3. Re-envío;
4. Cilindros plancha-caucho;
5. Embragues batería;
6. Debitor;
7. Sistema de lubricación;

En la figura siguiente se relaciona la sectorización funcional con los puntos de lectura,

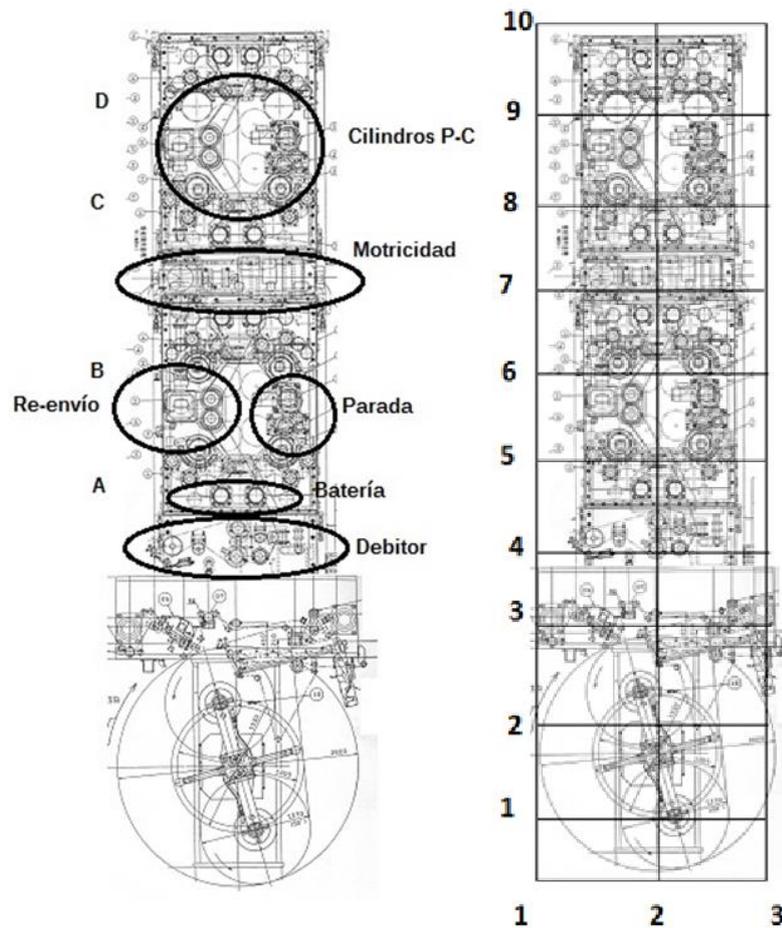


Ilustración 21. Relación entre zonas y audios

Para la obtención de espectros se ha empezado por el embrague de la batería. Esto es debido a que el registro de velocidad de la AT-44 se ha tomado en la polea tensora del sistema de embrague de la batería. La polea se identifica con el n°1.

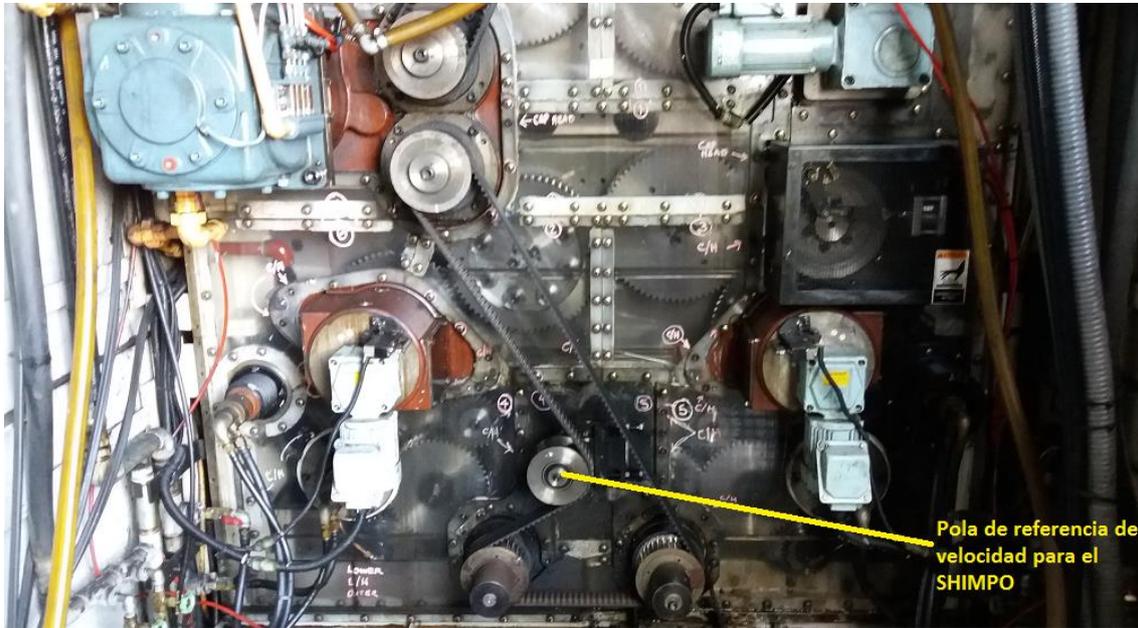


Ilustración 22. Polea de referencia. n°1.

La velocidad se ha tomado con un velocímetro del fabricante SHIMPO modelo DT-105. En la figura siguiente se muestra el velocímetro,



Ilustración 23. Velocímetro

## 7. Frecuencias naturales:

Es importante diferenciar entre frecuencias que dependen de la velocidad de giro de aquellas frecuencias que no lo hacen. Éstas últimas se denominan frecuencias naturales y son totalmente independientes de la velocidad de giro del sistema o elemento de la máquina que estamos analizando. Por ejemplo, en nuestro caso, la ventilación forzada del motor principal, mencionado en el capítulo 4 del presente trabajo, no depende de la velocidad de giro ya que el sistema se basa en un motor y un ventilador centrífugo montado sobre la carcasa del Leroy Somer. Además, nuestro torre AT-44, como todos los sistemas, tendrá una frecuencia natural que desconocemos pero que en caso de saberlo sería una información muy valiosa; cualquier amplitud por pequeña que esta sea si coincide con una frecuencia natural podría verse aumentada considerablemente hasta llegar a ser un problema.

Volviendo a la ventilación forzada, en la figura siguiente se muestra el espectro en el dominio del tiempo y en frecuencia del sistema de ventilación forzada del motor principal,

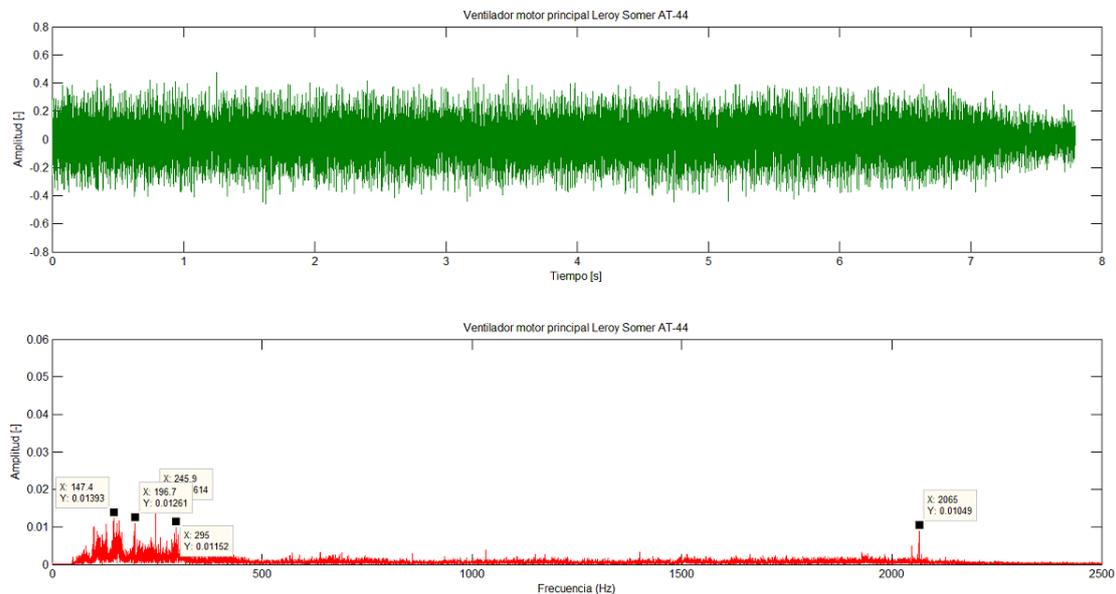


Ilustración 24. Espectro en tiempo y frecuencia. Ventilación forzada

Estos valores en frecuencia no varían, pero el valor de las amplitudes pueden verse aumentadas si coinciden con alguna otra frecuencia propia de la AT-44.

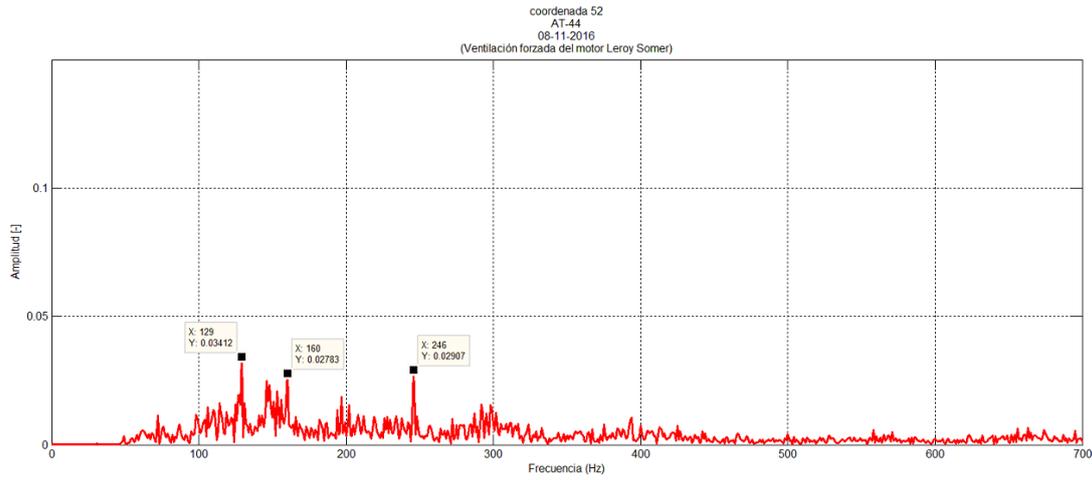


Ilustración 25. Espectro [0-700] ventilación forzada. 08-11-2016

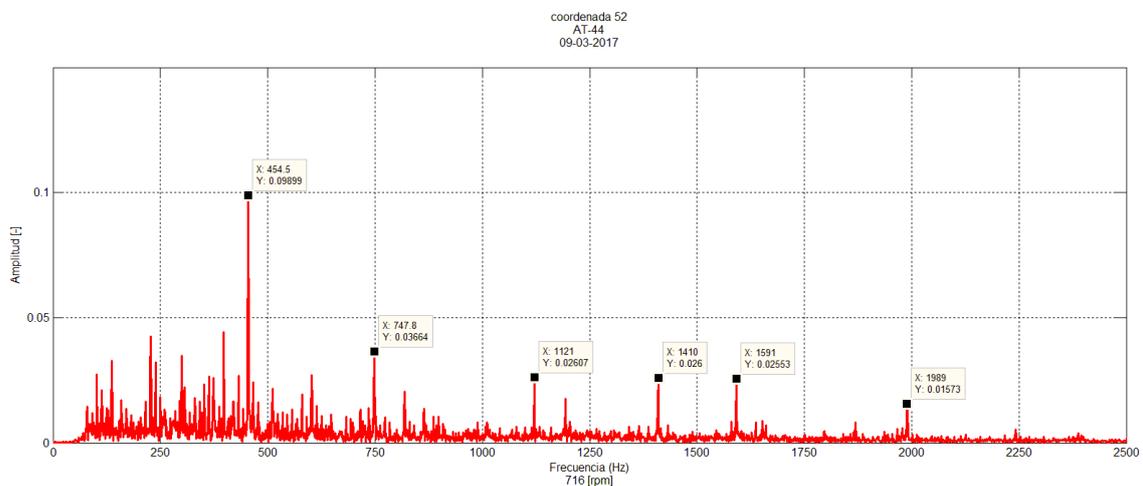
En la siguiente figura se muestra el espectro en el rango de frecuencia comprendido entre 0 y 500 Hz. Aunque se aprecian tres amplitudes de mayor calado, éstas son muy bajas y no vamos a entrar en detalle.

## 8. Obtención de espectros y análisis posterior.

### 1. Primera lectura. Marzo de 2017.

Para el análisis en profundidad de nuestra torre de color AT-44, se ha decidido que el punto, para la grabación del ruido, sean las coordenadas 52 y 62. Esto es así porque los puntos de encuentro entre el eje vertical de simetría de la torre y los dos ejes horizontales representan la zona dónde se concentran la mayor parte de los elementos más críticos de la torre; cilindro plancha-caucho, re- envíos y mesas/batidores.

La primera lectura de ruido se toma en marzo de 2017. En la figura siguiente se muestra el espectro en frecuencia resultante una vez tratada la señal de audio.



*Ilustración 26. Espectro en frecuencia AT-44. 09-03-2017*

Entre otras, la amplitud más significativa es la de 454.5 Hz. Para su análisis en detalle nos valemos de la siguiente figura en la que se muestra el mismo espectro pero acotado entre 0-800Hz.

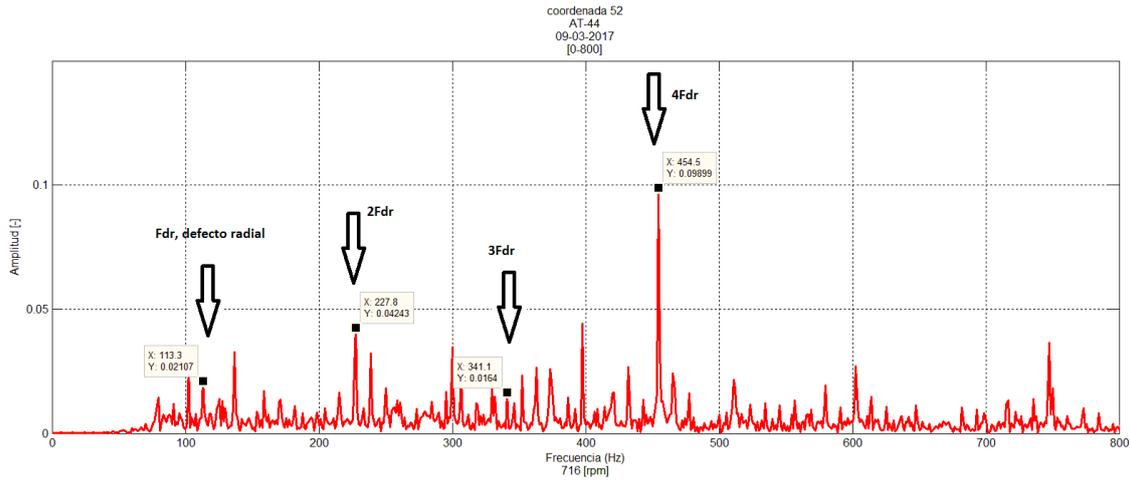


Ilustración 27. Espectro [0-800] a 716 rpm AT-44. 09-03-2017

De la tabla de frecuencias tomamos el valor que coincide con la frecuencia más significativa y que corresponde a la de 454.5 Hz. El resultado se muestra a continuación.

mesas/batidores	mesa (7)	6010	725.60	12.09	24.19	36.28	48.37	75.54	93.77	110.99	113.60
	mesa (8)	6212	749.79	12.50	24.99	37.49	49.99	76.19	98.76	95.24	98.46
	mesa (9)	16107	702.93	11.72	23.43	35.15	46.86	34.14	47.87	68.01	71.93
	mesa (10)	6212	833.10	13.88	27.77	41.65	55.54	84.65	109.74	105.82	109.40
	mesa (11)	6212	416.55	6.94	13.88	20.83	27.77	42.33	54.87	52.91	54.70

Ilustración 28. Extracto; frecuencia de 113 Hz a 716 rpm

La frecuencia de 454.5 Hz del espectro, tal y como se ha indicado en el anterior gráfico, corresponde al cuarto armónico de la frecuencia por defecto radial de un rodamiento ubicado en la mesa número 7. Se trata de un rodamiento de bolas 6010 cuya frecuencia de giro es de 12 Hz y que presenta un defecto radial en su pista exterior. Lo que no podemos afirmar es a cuál de las cuatro mesas corresponde.

Las frecuencias y sus armónicos van acompañados de bandas laterales del valor de  $\pm$  la frecuencia de giro del eje. Esto podría indicar que hay cierta holgura. De momento es nuestro primer espectro y por lo tanto el patrón dónde reflejarse en las sucesivas mediciones.

Las frecuencias más elevadas son debidas a las frecuencias naturales de los rodamientos y que, al igual que antes, habrá que seguir observando en las siguientes mediciones.

A priori y hasta que no se tengan lecturas con las que comparar, podemos afirmar que la AT-44 no tiene ningún problema.

## 2. Segunda lectura. Mayo de 2017.

La segunda lectura se realiza el 17 de mayo de 2017. Las condiciones de operación en máquina son las mismas y en esta ocasión se toman cuatro lecturas a diferente régimen de vueltas cada una. Esto se hace para comprobar en qué régimen de velocidad las amplitudes son más significativas. Las velocidades en pliegos/hora, a partir de ahora [p/h], son las correspondientes a 10.000, 20.000, 30.000 y 50.000. Esto se explica porque el arranque se hace a una velocidad de 10.000 p/h; a esta velocidad se inicia el ajuste del producto referido a lomos, corte, etc. A la velocidad de 20.000 p/h ya se empieza a entonar y a controlar el equilibrio agua-tinta. El siguiente escalón ya es el de 50.000 p/h o más. Pero, para publicaciones semi-comercial, la velocidad de producción suele ser de 30.000 p/h y por esto también hemos añadido esta lectura.

### 1. Régimen de giro de 10.000 p/h

En la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 10.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 204 rpm.

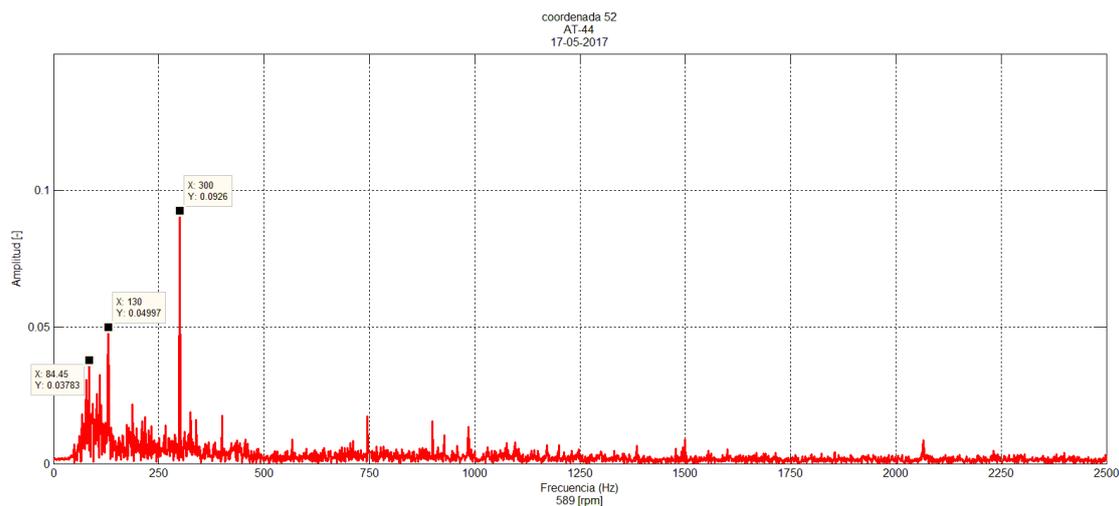


Ilustración 29. Espectro en frecuencia a 204 [rpm]. 17-05-2017

Para su análisis en detalle nos valemos de la siguiente figura en la que se muestra el mismo espectro pero acotado entre 0-500Hz.

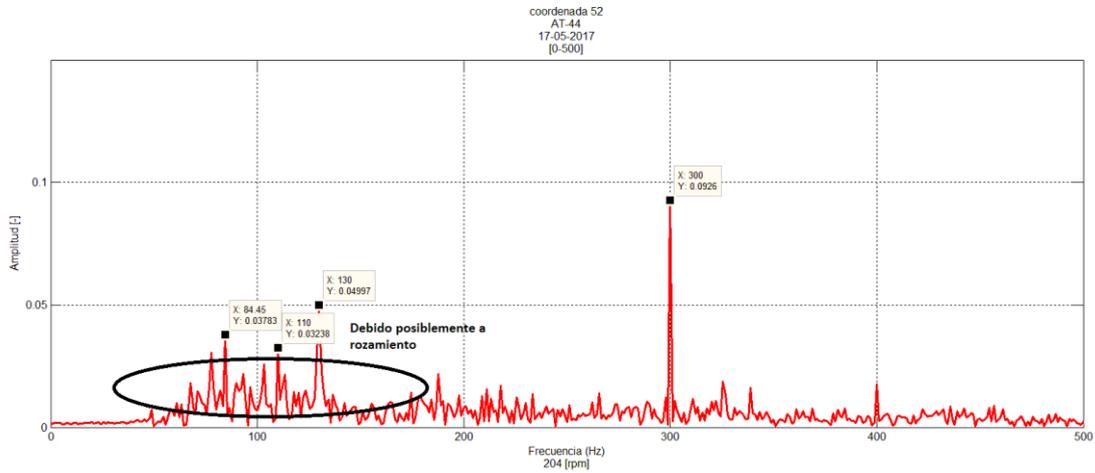


Ilustración 30. Espectro [0-500] a 204 rpm AT-44. 17-05-2017

Existe una zona en la que se concentra ruido de fondo y esto es característico del rozamiento entre elementos. También podría ser que haya coincidido la toma de lectura con una un ajuste de impresión; en este caso existe desplazamiento relativo entre el engrane y el eje del cilindro porta planchas.

También tenemos una frecuencia de 300 Hz que coincide con el tercer armónico de la frecuencia de giro de la rueda dentada del sistema de frenado. Habrá que seguir su evolución a diferentes regímenes.

Parada	freno	corona	6	32	188,49	100,53	201,06	301,59	402,12	0,00
		corona	13	34						0,00
		Rodamiento	6	6212	188,49	3,14	6,28	9,42	12,57	
		Rodamiento	6	6215	188,49	3,14	6,28	9,42	12,57	
		corona	3							0,00

Ilustración 31. Extracto; frecuencia de 300 Hz a 204 rpm

También coincide la frecuencia de giro de la polea dentada del sistema Debitor; en este caso sí que se aprecian el segundo y tercer armónicos en el espectro. En la figura siguiente se muestran los tres primeros armónicos de giro de la polea dentada (h),

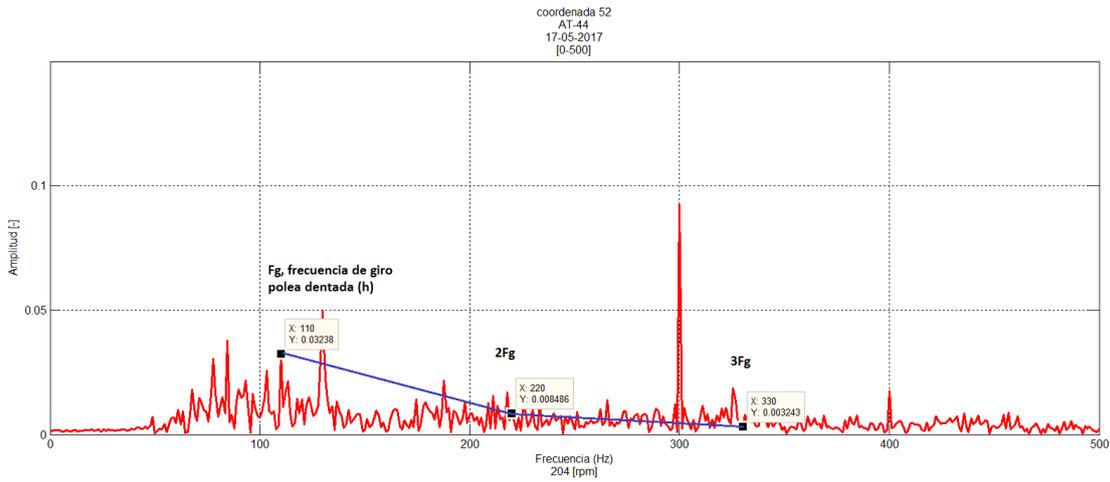


Ilustración 32. Espectro [0-500](bis) a 204 rpm AT-44. 17-05-2017

En la figura siguiente se muestra un extracto de las frecuencias características del sistema Debitor en las que se aprecia, además de la frecuencia 110 Hz, otras susceptibles de asociar a esta frecuencia de 110 Hz.

Debitor	<b>Rodamiento (a)</b>	<b>2</b>	<b>6211</b>	194,21	3,24	6,47	9,71	12,95
	<b>corona (b)</b>	<b>2</b>	<b>30</b>		97,10	194,21	291,31	388,41
	<b>polea(c)</b>	<b>2</b>	<b>33</b>		106,81	213,63	320,44	427,25
	<b>polea(d)</b>	<b>2</b>	<b>37</b>		119,76	239,52	359,28	479,04
	<b>Rodamiento</b>		<b>6207</b>	194,21	3,24	6,47	9,71	12,95
	<b>Polea (e)</b>		<b>30</b>					0,00
	<b>Polea (f)</b>	<b>14</b>	<b>43</b>		106,81	213,63	320,44	427,25
	<b>rodamiento (g)</b>	<b>14</b>	<b>6310</b>	149,04	2,48	4,97	7,45	9,94
	<b>polea (h)</b>	<b>14</b>	<b>44</b>		109,30	218,60	327,89	437,19
	<b>polea (i)</b>	<b>14</b>	<b>33</b>		81,97	163,95	245,92	327,89
	<b>rodamiento (j)</b>		<b>6204</b>					0,00
	<b>rodamiento (k)</b>	eje 19 [l on]	<b>6309</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00
		eje 19 [l off]	<b>6309</b>	135,60	2,26	4,52	6,78	9,04
		eje 18 [l on]	<b>6309</b>	143,51	2,39	4,78	7,18	9,57
		eje 18 [l off]	<b>6309</b>	144,07	2,40	4,80	7,20	9,60
	<b>rodamiento (m)</b>	eje 19 [l on]	<b>6207</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00
		eje 19 [l off]		135,60	2,26	4,52	6,78	9,04
		eje 18 [l on]		143,51	2,39	4,78	7,18	9,57
		eje 18 [l off]		144,07	2,40	4,80	7,20	9,60
	<b>rodamiento (ñ)</b>	eje 19 [l on]	<b>6313</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00
		eje 19 [l off]		135,60	2,26	4,52	6,78	9,04
		eje 18 [l on]		143,51	2,39	4,78	7,18	9,57
		eje 18 [l off]		144,07	2,40	4,80	7,20	9,60
	<b>rodamiento (o)</b>	eje 19 [l on]	<b>6015</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00
		eje 19 [l off]		135,60	2,26	4,52	6,78	9,04
		eje 18 [l on]		143,51	2,39	4,78	7,18	9,57
		eje 18 [l off]		144,07	2,40	4,80	7,20	9,60
	<b>rodamiento (p)</b>	eje 19 [l on]	<b>6310</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00
eje 19 [l off]		135,60		2,26	4,52	6,78	9,04	
eje 18 [l on]		143,51		2,39	4,78	7,18	9,57	
eje 18 [l off]		144,07		2,40	4,80	7,20	9,60	
<b>rodamiento (r)</b>	eje 19 [l on]	<b>6207</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00	
	eje 19 [l off]		135,60	2,26	4,52	6,78	9,04	
	eje 18 [l on]		143,51	2,39	4,78	7,18	9,57	
	eje 18 [l off]		144,07	2,40	4,80	7,20	9,60	
<b>rodamiento (t)</b>	eje 19 [l on]	<b>6310</b>	135,07	2,25	4,50	6,75	9,00	
	eje 19 [l off]		135,60	2,26	4,52	6,78	9,04	
	eje 18 [l on]		143,51	2,39	4,78	7,18	9,57	
	eje 18 [l off]		144,07	2,40	4,80	7,20	9,60	

Ilustración 33. Extracto; frecuencia de 110 Hz a 204 rpm

## 2. Régimen de giro de 20.000 p/h

En este caso, en la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 20.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 351 rpm.

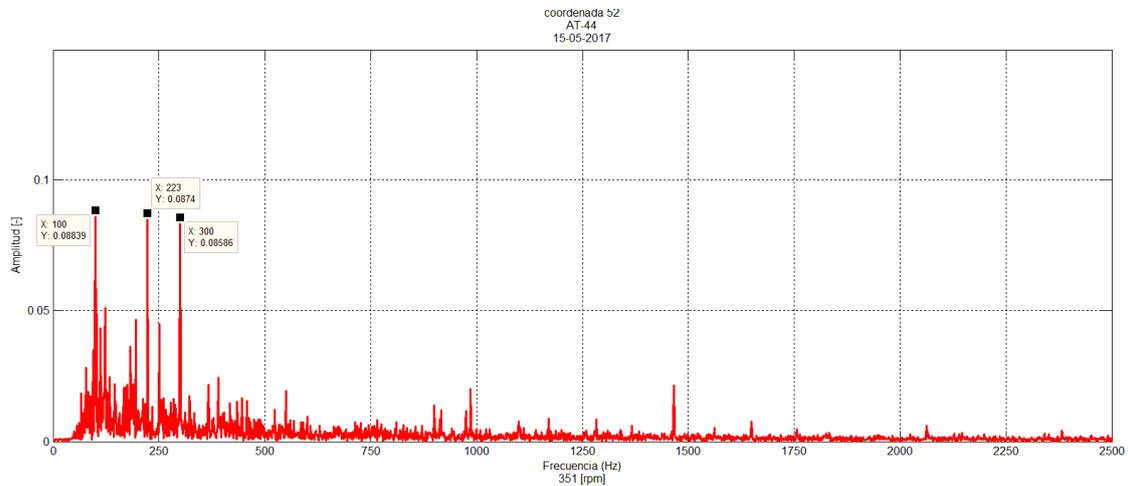


Ilustración 34. Espectro en frecuencia a 351 [rpm]. 17-05-2017

En la figura anterior se aprecian tres amplitudes más significativas y que corresponden a las frecuencias de 300 Hz, 223 Hz y 100 Hz. En este caso la velocidad de operación es de 351 rpm, aproximadamente unos 20.000 p/h.

A simple vista se aprecia que hay una frecuencia característica de 300 Hz y que ya se manifestaba en la primera lectura realizada en marzo de 2017. Se debe tratar de una frecuencia natural del sistema.

Como en los casos anteriores, nos valemos del espectro acotado para facilitar un análisis más detallado. En la siguiente figura se muestra el espectro acotado en frecuencia para un régimen de 351 rpm, correspondiente a unos 20.000 p/h.

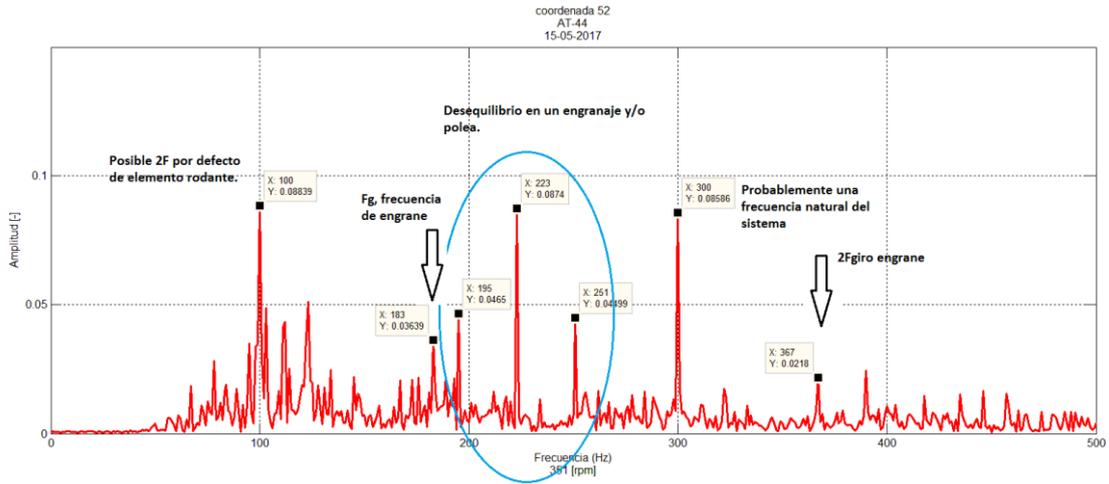


Ilustración 35. Espectro [0-500] a 351 rpm AT-44. 17-05-2017

De la figura anterior se deduce lo siguiente;

1. Posible defecto de elemento rodante; a 100 Hz se excitan los rodamientos cónicos de la caja re- envío del sistema motriz.

Motricidad	motor	Rodamiento (a1,a2)	3	6316	351,00	5,85	11,70	17,55	23,40	37,21	56,39
					351,00	5,85	11,70	17,55	23,40	37,21	56,39
	Ventilación	Rodamiento (b1,b2)	3	6004					0,00		
		álabes		42	2026,5				0,00		
		Tapa vert.	3	30312	351,00	5,85	11,70	17,55	23,40	85,96	101,24
	Re- envío	Tapa Hor.	3	30311	351,00	5,85	11,70	17,55	23,40	85,96	101,24
		corona	3	45	351,00	263,25	526,50	789,75	1053,00		

Ilustración 36. Extracto; frecuencia de 100 Hz a 351 rpm

2. En el centro de la imagen se aprecia claramente un desequilibrio en el engranaje (f) del embrague de tinta a la frecuencia de 223 Hz. Estos defectos no se ven tan claramente si la correa está muy tensada es capaz de minimizar el problema.

Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	6011	361,76	6,03	12,06	18,09	24,12
	Rdamiento (b)	2	6311	361,76	6,03	12,06	18,09	24,12
	Rdamiento (c)	2	6211	361,76	6,03	12,06	18,09	24,12
	corona (d)	2	30		180,88	361,76	542,64	723,51
	corona (f)	2	37		223,08	446,17	669,25	892,33
	corona (g)	2	33		198,97	397,93	596,90	795,87

Ilustración 37. Extracto; frecuencia de 223 Hz a 351 rpm

3. Posible frecuencia natural del sistema a 300 Hz.
4. Primer y segundo armónicos de la frecuencia de engrane de las ruedas dentadas de los cilindros plancha-caucho, 183 Hz y 367 Hz.

Cilindros plancha-caucho	Corona (a,c)	5	70		183,78	367,56	551,35	735,13
	Rodamiento (d)	5	64450	157,53	2,63	5,25	7,88	10,50
	Corona (b)	5			0,00	0,00	0,00	0,00

Ilustración 38. Extracto; frecuencia de 183 Hz a 351 rpm

### 3. Régimen de giro de 30.000 p/h

En la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 30.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 351 rpm.

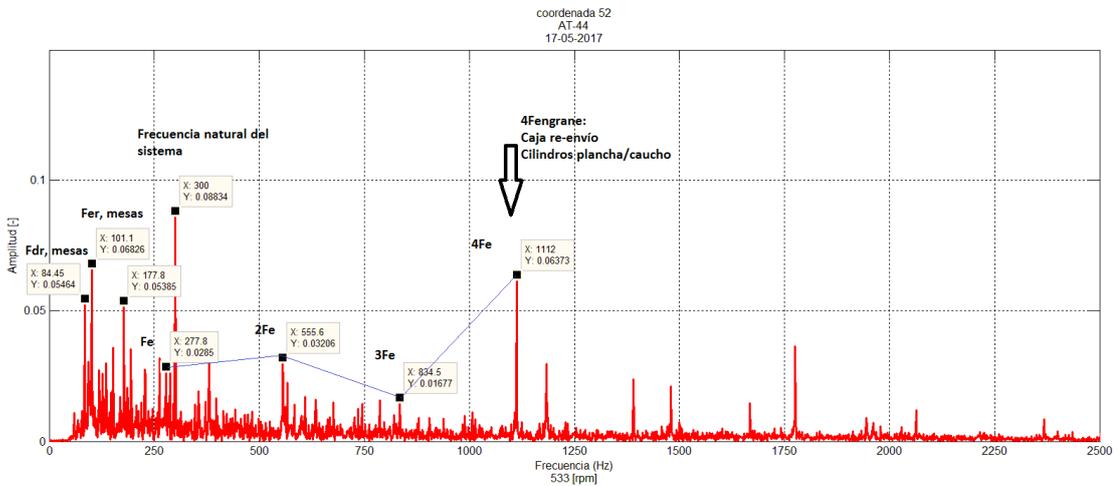


Ilustración 39. Espectro a 351 rpm AT-44. 17-05-2017

A la velocidad de 30.000 p/h se manifiesta una amplitud significativa a alta frecuencia, 1112 Hz. Esto puede ser la frecuencia natural de un rodamiento o un armónico superior de la frecuencia de engrane de una rueda dentada.

Tras observar detenidamente el espectro obtenido, y tal como se indica en éste, se concluye que corresponde al cuarto armónico de la frecuencia de engrane del sistema de re- envío y/o del sistema de cilindros plancha-caucho. En ambos casos el colapso de un engrane o varios de estos sistemas haría mucho daño. Siendo así, se decide organizar una intervención de carácter preventivo para inspeccionar visualmente el estado de los engranes de sendos sistemas.

Para el análisis del resto de frecuencias significativas nos apoyamos en el espectro acotado entre 0 y 600 Hz, tal y como se muestra en la siguiente figura,

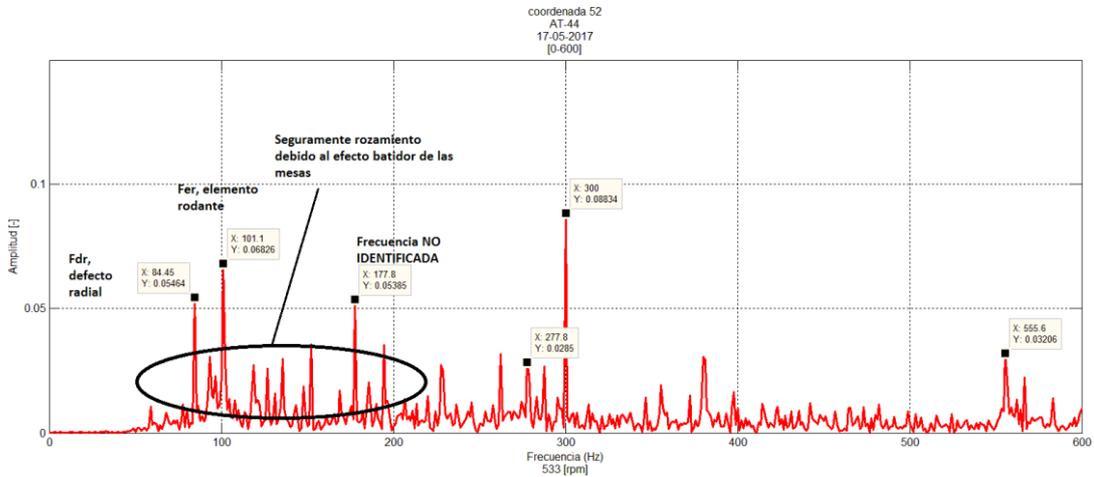


Ilustración 40. Espectro [0-600] a 351 rpm AT-44. 17-05-2017

De la figura anterior se deduce lo siguiente;

1. Posible defecto radial en el sistema de mesas/batidores; a la frecuencia de 84 Hz se excita el rodamiento 6010 de la mesa (7). Esto ya sucedía en los registros obtenidos con un régimen de operación de 716 rpm, en la primera lectura tomada en marzo de 2017. Pero, al igual que no pudimos concretar cuál de las cuatro mesas (7) es la causante, ahora tampoco podemos identificar qué mesa es. Esta información lo que sí nos permite es acotar una zona y ponerla en observación. En este caso, al tratarse de mesas batidoras, el colapso de una de ellas no llegaría a interrumpir la edición de esa noche, se podría terminar la tirada y, dependiendo del daño, simplemente anulando el giro de la mesa.

mesas/batidores	mesa (7)	6010	538,12	8,97	17,94	26,91	35,87	56,02	69,54	84,25
	mesa (8)	6212	556,06	9,27	18,54	27,80	37,07	56,50	73,24	73,02
	mesa (9)	16107	521,31	8,69	17,38	26,07	34,75	25,32	35,50	53,34
	mesa (10)	6212	617,84	10,30	20,59	30,89	41,19	62,78	81,38	81,13
	mesa (11)	6212	308,92	5,15	10,30	15,45	20,59	31,39	40,69	40,57

Ilustración 41. Extracto; frecuencia de 84 Hz a 533 rpm.

2. Posible defecto por elemento rodante también en el sistema de mesas/batidores y en el sistema Debitor; a la frecuencia de 100 Hz se excitan;



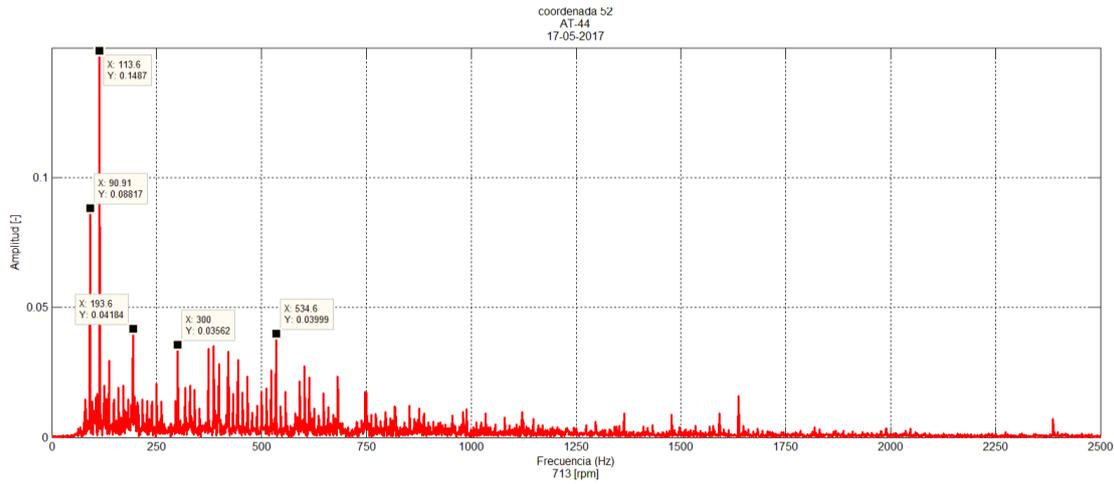


Ilustración 44. Espectro a 713 rpm AT-44. 17-05-2017

A la velocidad de 50.000 p/h se manifiestan claramente dos frecuencias con amplitud significativa a baja frecuencia. La de mayor amplitud corresponde, como ya venimos observando, con una de las mesas (7) del sistema de masas/batidores. La otra frecuencia corresponde al sistema de embrague de tinta.

Para el análisis del resto de frecuencias significativas nos apoyamos en el espectro acotado entre 0 y 600 Hz, tal y como se muestra en la siguiente figura,

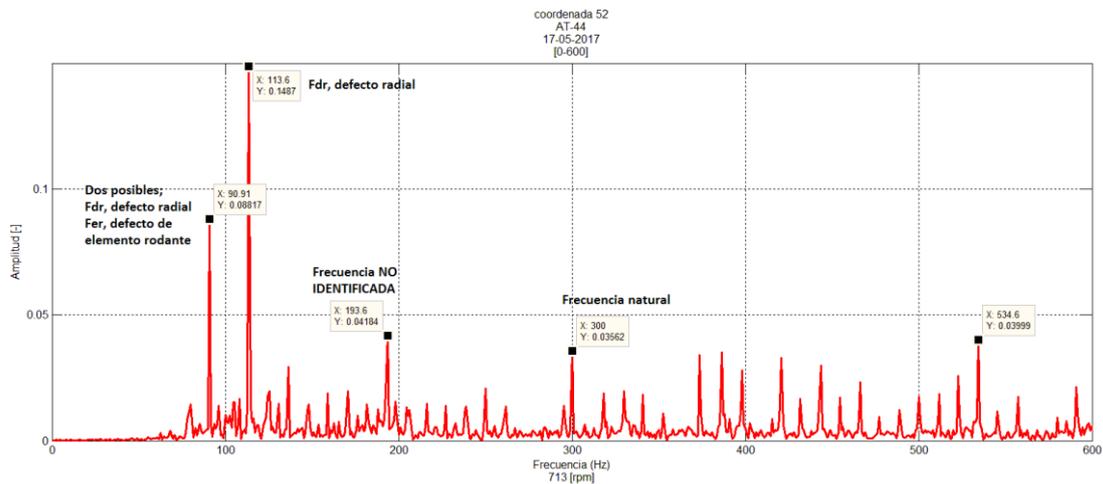


Ilustración 45. Espectro a 713 rpm AT-44. 17-05-2017

De la figura anterior se deduce lo siguiente;

1. Se manifiesta de forma evidente un problema de defecto radial en una de las mesas (7) a la frecuencia de 113.6 Hz.

mesas/batidores	mesa (7)	6010	725,60	12,09	24,19	36,28	48,37	75,54	93,77	110,99	113,60
	mesa (8)	6212	749,79	12,50	24,99	37,49	49,99	76,19	98,76	95,24	98,46
	mesa (9)	16107	702,93	11,72	23,43	35,15	46,86	34,14	47,87	68,01	71,93
	mesa (10)	6212	833,10	13,88	27,77	41,65	55,54	84,65	109,74	105,82	109,40
	mesa (11)	6212	416,55	6,94	13,88	20,83	27,77	42,33	54,87	52,91	54,70

Ilustración 46. Extracto; frecuencia de 113 Hz a 713 rpm.

Este problema se manifiesta a diferentes regímenes de velocidad y es a la velocidad de 50.000 p/h donde alcanza mayor significancia. Esto implica que a la velocidad de referencia de producción es cuando una de las cuatro mesas o, puede que más de una, se excitan con mayor amplitud.

2. A la frecuencia de 90 Hz el rodamiento (a) del sistema de embrague de tinta alcanza una amplitud significativa;

Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	6011	681,63	11,36	22,72	34,08	45,44	69,65	89,39	90,10
	Rdamiento (b)	2	6311	681,63	11,36	22,72	34,08	45,44	35,00	55,88	46,84
	Rdamiento (c)	2	6211	681,63	11,36	22,72	34,08	45,44	47,27	66,33	65,82
	corona (d)	2	30		340,81	681,63	1022,44	1363,25			
	corona (f)	2	37		420,34	840,67	1261,01	1681,35			
	corona (g)	2	33		374,89	749,79	1124,68	1499,58			

Ilustración 47. Extracto; frecuencia de 90 Hz a 713 rpm

3. Y que a la frecuencia de 534 Hz aparece una amplitud que coincide con la frecuencia de giro de una de las rueda dentadas de la caja re-envío del sistema motriz;

Motricidad	motor	Rodamiento (a1,a2)	3	6316	713,00	11,88	23,77	35,65	47,53
					713,00	11,88	23,77	35,65	47,53
	Ventilación	Rodamiento (b1,b2)	3	6004					0,00
		álabes			42	2026,5			0,00
		Tapa vert.	3	30312	713,00	11,88	23,77	35,65	47,53
	Re-envío	Tapa Hor.	3	30311	713,00	11,88	23,77	35,65	47,53
		corona	3	45	713,00	534,75	1069,50	1604,25	2139,00

Ilustración 48. Extracto; frecuencia de 534 Hz a 713 rpm

### 3. Tercera lectura. Septiembre de 2017.

La tercera lectura se realiza el 15 de septiembre de 2017. Las condiciones de operación en máquina son las mismas y en esta ocasión, al igual que en la segunda lectura, se toman cuatro lecturas a diferente régimen de vueltas cada una. Las velocidades en [p/h] son las correspondientes a 10.000, 20.000, 30.000 y 50.000.

#### 1. Régimen de giro 10.000 p/h.

En la siguiente gráfica se muestra el espectro en frecuencia obtenido,

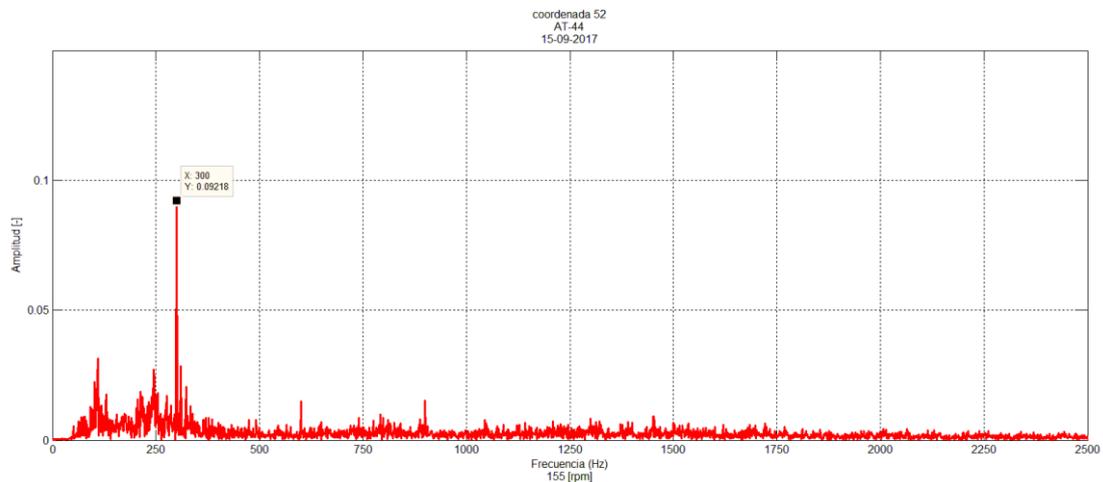


Ilustración 49. Espectro a 155 rpm AT-44. 15-09-2017

Como se puede apreciar nos vuelve a salir la frecuencia de 300 Hz como la más significativa en amplitud. Sin duda, se debe de tratar de una frecuencia natural de la torre.

Aunque no hay más amplitudes significativas, a continuación se muestra el espectro acotado para identificar frecuencias.

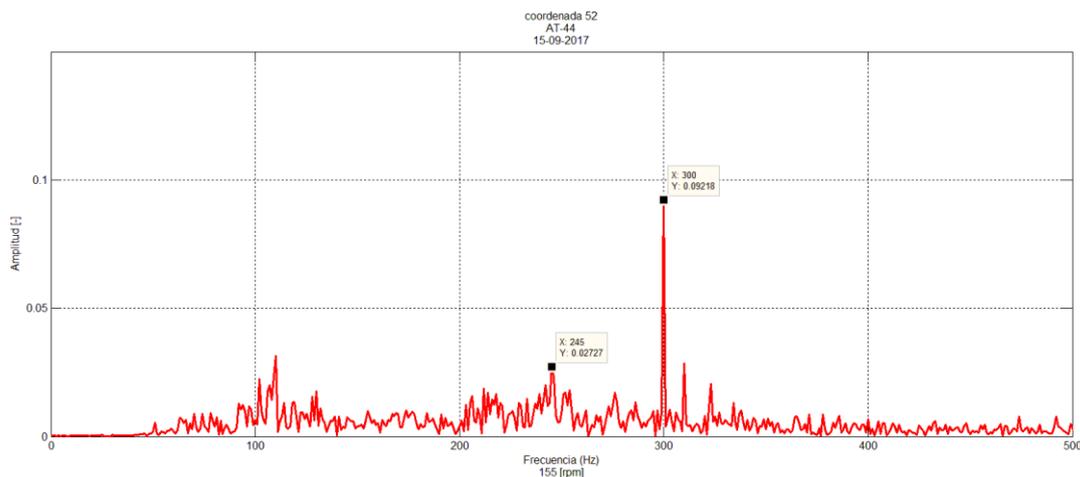


Ilustración 50. Espectro [0-500] a 155 rpm AT-44. 15-09-2017

A nivel de conocimientos podemos afirmar que la frecuencia de 245 Hz coincide con la frecuencia del tercer armónico de engrane de la mayoría de los engranajes de la torre.

Caja de distribución	Polea (a,l)	3	35		81,68	163,36	245,04	326,72
					81,68	163,36	245,04	326,72
	Rodamiento (b,i,k)	3	6313	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
				156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
				156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
	Rodamiento (d)	5	64450	70,01	1,17	2,33	3,50	4,67
	Rodamiento (e)	3	6316	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
	Rodamiento (j)	4	6212	125,66	2,09	4,19	6,28	8,38
corona	4	39		81,68	163,36	245,04	326,72	
corona	3	35		81,68	163,36	245,04	326,72	
corona				81,68	163,36	245,04	326,72	
Caja re- envío	Rodamientos (a,b,b',c)	3	30311	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
				156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
				156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
								0,00
	corona (c,c'')	3	27		63,01	126,02	189,03	252,04
								0,00
	Rodamiento (d)	3	6220	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
	Rodamiento (e)	3	6316	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40
Rodamiento (f)	3	6014	156,00	2,60	5,20	7,80	10,40	
Corona (h)	3	35		81,68	163,36	245,04	326,72	
Cilindros plancha-caucho	Corona (a,c)	5	70		81,68	163,36	245,04	326,72
	Rodamiento (d)	5	64450	70,01	1,17	2,33	3,50	4,67
	Corona (b)	5			0,00	0,00	0,00	0,00
Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	6011	148,51	2,48	4,95	7,43	9,90
	Rdamiento (b)	2	6311	148,51	2,48	4,95	7,43	9,90
	Rdamiento (c)	2	6211	148,51	2,48	4,95	7,43	9,90
	corona (d)	2	30		74,26	148,51	222,77	297,02
	corona (f)	2	37		91,58	183,16	274,75	366,33
	corona (g)	2	33		81,68	163,36	245,04	326,72

Ilustración 51. Extracto; frecuencia de 245 a 155 rpm

## 2. Régimen de giro 20.000 p/h.

En la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 20.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 347 rpm.

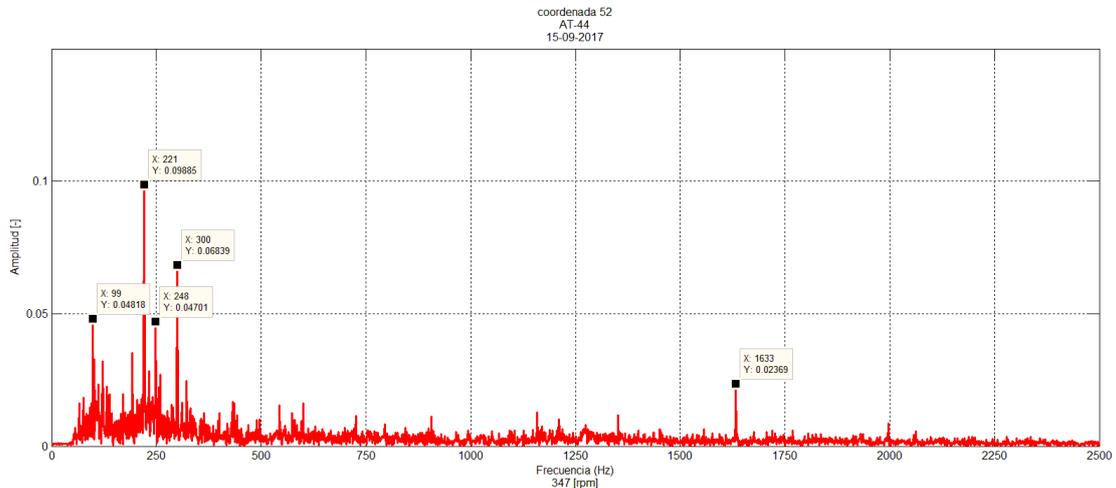


Ilustración 52. Espectro a 347 rpm AT-44. 15-09-2017

Además de la frecuencia de 300 Hz, como ya se ha mencionado en más de una ocasión en este trabajo que debe corresponder a una frecuencia natural del sistema, aparece un pico en la frecuencia de 221 Hz. En la siguiente figura se aprecia que dicha frecuencia va acompañada de bandas laterales lo que indica un desequilibrio en el elemento que se excita a esta frecuencia.

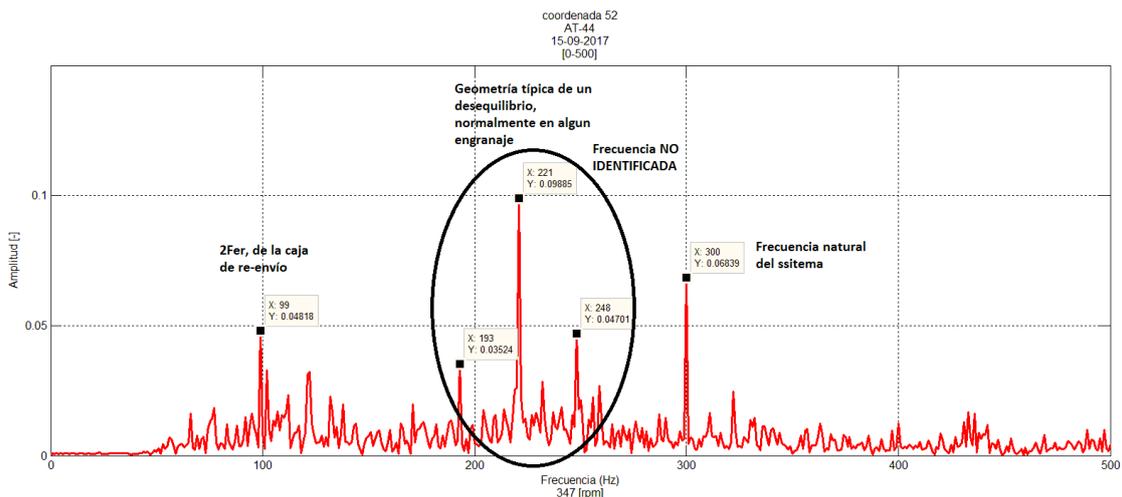


Ilustración 53. Espectro [0-500] a 347 rpm AT-44. 15-09-2017

De la figura anterior se deduce que;

1. La frecuencia de 221 Hz (NO IDENTIFICADA) debe corresponder a algún otro elemento de la torre AT-44 y que no es imputable a ninguno de los elementos principales de la torre. Es por esto que, aunque es significativo el valor de su amplitud, el elemento en cuestión debe ser de poca entidad dentro de la torre.
2. La frecuencia de 99 Hz coincide con el segundo armónico por defecto radial del rodamiento 30311 montado en las tapas de la caja re-envío.

Caja re-envío	Rodamientos (a,b,b',c)	3	30311	347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	42,81	49,72	99,44
				347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	42,81	49,72	99,44
				347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	42,81	49,72	99,44
							0,00				
	corona (c,c")	3	27		140,16	280,32	420,48	560,64			
							0,00				
	Rodamiento (d)	3	6220	347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	24,37	33,46	66,92
	Rodamiento (e)	3	6316	347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	18,39	27,87	55,75
	Rodamiento (f)	3	6014	347,00	5,78	11,57	17,35	23,13	35,99	44,98	89,96
	Corona (h)	3	35		181,69	363,38	545,06	726,75			

Ilustración 54. Extracto; frecuencia de 99 Hz a 347 rpm

### 3. Régimen de giro a 30.000 p/h

En la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 30.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 519 rpm.

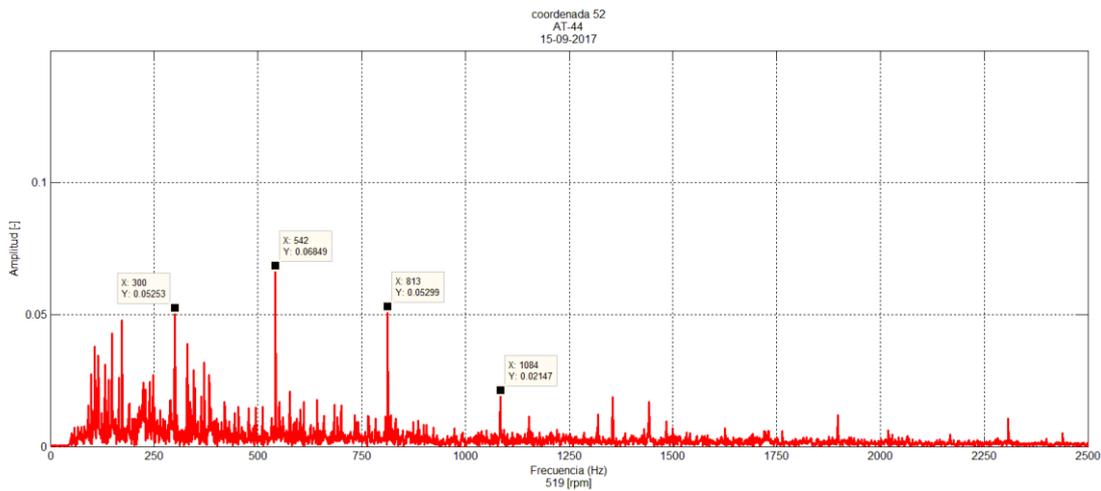


Ilustración 55. Espectro a 519 rpm AT-44. 15-09-2017

Se aprecian dos amplitudes significativas que además pertenecen a armónicos de frecuencia de un mismo elemento. La frecuencia primera corresponde a 271 Hz, dicha frecuencia no se refleja en la figura de arriba por motivos de visibilidad.

En la siguiente figura se muestra el espectro acotado en el rango de frecuencia que va desde 0 a 800 Hz,

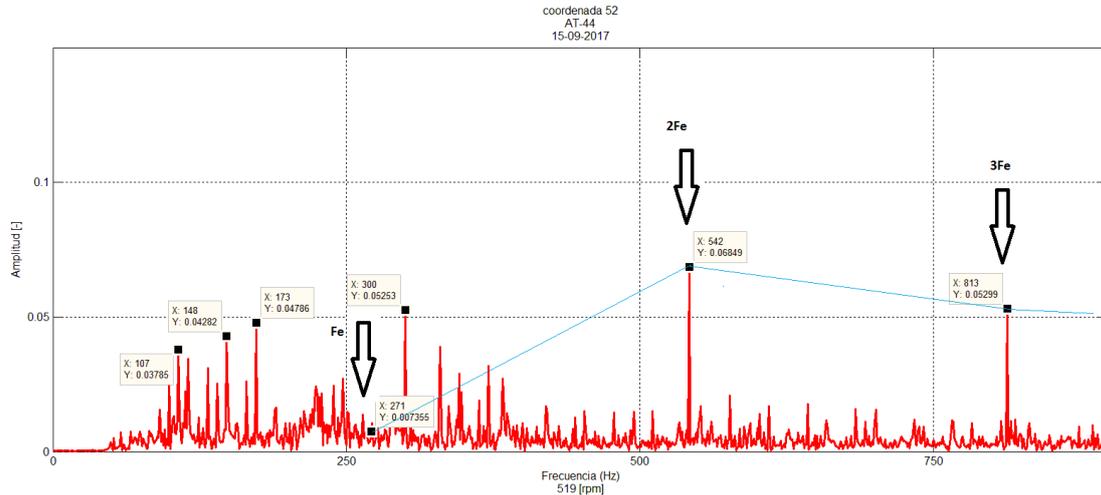


Ilustración 56. Espectro [0-800] a 519 rpm AT-44. 15-09-2017

Se aprecia claramente como el segundo armónico de la frecuencia de engrane aumenta significativamente para ir menguando en el tercer y cuarto armónico. Esta geometría es característica del juego por causa del desgaste entre dientes, y en ocasiones como consecuencia de rebotes dan lugar a armónicos de esta frecuencia de engrane.

A continuación se muestra qué elementos de nuestra torre son susceptibles de comportarse bajo este patrón,

Caja de distribución	Polea( a,l)	3	35		271,22	542,45	813,67	1084,89
	Rodamiento (b,i,k)	3	6313	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
				518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
				518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
	Rodamiento (d)	5	64450	232,48	3,87	7,75	11,62	15,50
	Rodamiento (e)	3	6316	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
	Rodamiento (j)	4	6212	417,27	6,95	13,91	20,86	27,82
	corona	4	39		271,22	542,45	813,67	1084,89
	corona	3	35		271,22	542,45	813,67	1084,89
corona				271,22	542,45	813,67	1084,89	
Caja re-envío	Rodamientos (a,b,b',c)	3	30311	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
				518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
				518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
								0,00
	corona (c,c")	3	27		209,23	418,46	627,69	836,92
								0,00
	Rodamiento (d)	3	6220	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
	Rodamiento (e)	3	6316	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53
Rodamiento (f)	3	6014	518,00	8,63	17,27	25,90	34,53	
Corona (h)	3	35		271,22	542,45	813,67	1084,89	
Cilindros plancha-caucho	Corona (a,c)	5	70		271,22	542,45	813,67	1084,89
	Rodamiento (d)	5	64450	232,48	3,87	7,75	11,62	15,50
	Corona (b)	5			0,00	0,00	0,00	0,00
Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	6011	493,13	8,22	16,44	24,66	32,88
	Rdamiento (b)	2	6311	493,13	8,22	16,44	24,66	32,88
	Rdamiento (c)	2	6211	493,13	8,22	16,44	24,66	32,88
	corona (d)	2	30		246,57	493,13	739,70	986,26
	corona (f)	2	37		304,10	608,20	912,29	1216,39
	corona (g)	2	33		271,22	542,45	813,67	1084,89

Ilustración 57. Extracto; frecuencia de 542 Hz a 519 rpm

De todos los referidos en la tabla de arriba, los que más daño nos pueden hacer es el correspondiente a la rueda dentada (a y c) del sistema de cilindro plancha-caucho. Un colapso en uno de ellos nos deja fuera de servicio durante mucho tiempo. Es difícil que suceda pero (...)

Los siguientes en importancia serían los engranes de la caja de distribución, sobre todo, por el difícil acceso a ellos; la intervención sería muy invasiva.

Por último, el embrague de tinta sería un problema menor.

Dicho esto, en la figura siguiente se desgrana algo más el espectro obtenido, acotándolo entre 0 y 500 Hz,

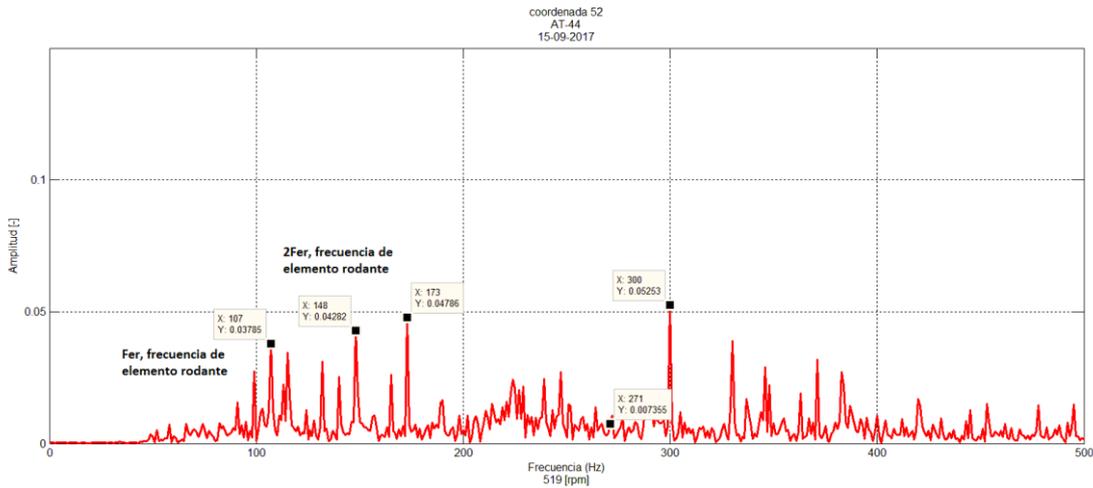


Ilustración 58. Espectro [0-500] a 519 rpm AT-44. 15-09-2017

De la figura de arriba se deduce que,

1. Hay un segundo armónico por defecto de paso de elemento rodante a la frecuencia de 148 Hz, reflejado en amarillo en la tabla de abajo.
2. Y un armónico fundamental también por defecto de paso de elemento rodante a la frecuencia de 107 Hz, reflejado en rojo en la tabla de abajo.

Caja re-envío	Rodamientos (a,b,b',c)	3	30311	8.63	17.27	25.90	34.53	63.91	74.22	127.83	148.44
				8.63	17.27	25.90	34.53	63.91	74.22	127.83	148.44
				8.63	17.27	25.90	34.53	63.91	74.22	127.83	148.44
	corona (c,c')	3	27	209,23	418,46	627,69	836,92				
							0,00				
	Rodamiento (d)	3	6220	8.63	17.27	25.90	34.53	36.38	49.95	72.77	99.90
	Rodamiento (e)	3	6316	8.63	17.27	25.90	34.53	27.46	41.61	54.92	83.22
	Rodamiento (f)	3	6014	8.63	17.27	25.90	34.53	53.72	67.15	107.44	134.30
	Corona (h)	3	35	271,22	542,45	813,67	1084,89				

Ilustración 59. Extracto; frecuencia de 148 Hz y 107 Hz a 347 rpm

#### 4. Régimen de giro a 50.000 p/h.

En la siguiente figura se muestra el espectro en frecuencia de la lectura tomada a unos 50.000 [p/h]. A esta velocidad se obtiene un régimen de giro en la polea de referencia de 724 rpm.

En la figura de abajo se aprecian cuatro frecuencias con amplitudes significativas. Tres de ellas a baja frecuencia y una a 756 Hz que como luego veremos se corresponde con un armónico de frecuencia de engrane.

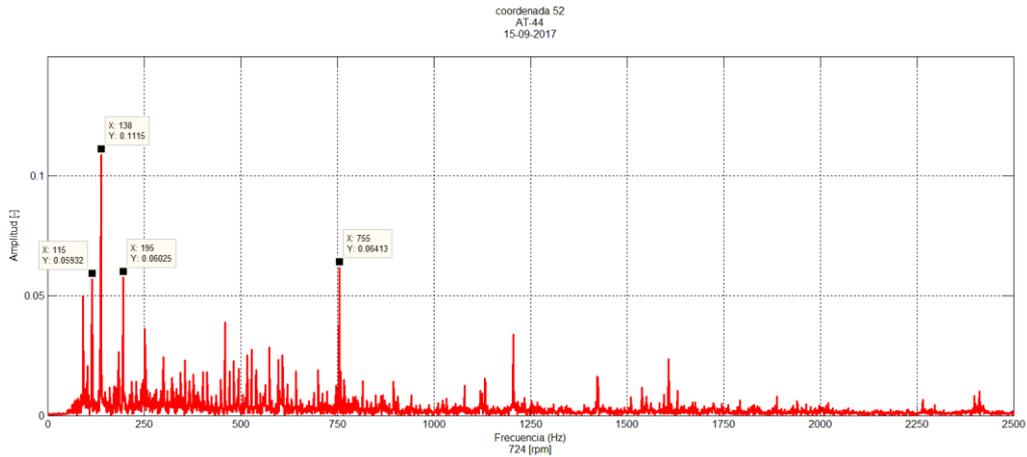


Ilustración 60. Espectro a 724 rpm AT-44. 15-09-2017

Para el análisis más detallado del espectro nos ayudamos en la figura siguiente,

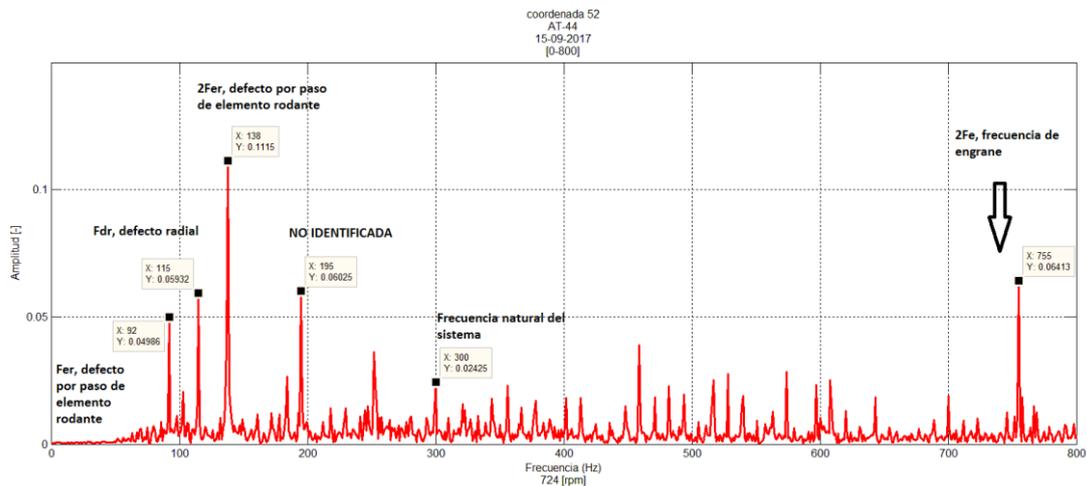


Ilustración 61. Espectro [0-800] a 724 rpm AT-44. 15-09-2017

De la figura de arriba se deduce que;

1. La amplitud de mayor rango coincide con la frecuencia de un segundo armónico, 138 Hz, por defecto de paso de elemento rodante, como ya nos pasaba en la lectura a régimen de 30.000 p/h.
2. A 756 Hz se excitan los elementos cuyas frecuencias están referidas en amarillo de la tabla siguiente,

Caja de distribución	Polea( a,l)	3		377,51	755,03	1132,54	1510,05
				377,51	755,03	1132,54	1510,05
	Rodamiento (b,i,k)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
			721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
			721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
	Rodamiento (d)	5	323,58	5,39	10,79	16,18	21,57
	Rodamiento (e)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
	Rodamiento (j)	4	580,79	9,68	19,36	29,04	38,72
	corona	4		377,51	755,03	1132,54	1510,05
	corona	3		377,51	755,03	1132,54	1510,05
corona			377,51	755,03	1132,54	1510,05	
Caja re-envío	Rodamientos (a,b,b',c)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
			721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
			721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
							0,00
	corona (c,c")	3		291,22	582,45	873,67	1164,90
							0,00
	Rodamiento (d)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
	Rodamiento (e)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
	Rodamiento (f)	3	721,00	12,02	24,03	36,05	48,07
Corona (h)	3		377,51	755,03	1132,54	1510,05	
Cilindros plancha-caucho	Corona (a,c)	5		377,51	755,03	1132,54	1510,05
	Rodamiento (d)	5	323,58	5,39	10,79	16,18	21,57
	Corona (b)	5		0,00	0,00	0,00	0,00
Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	686,39	11,44	22,88	34,32	45,76
	Rdamiento (b)	2	686,39	11,44	22,88	34,32	45,76
	Rdamiento (c)	2	686,39	11,44	22,88	34,32	45,76
	corona (d)	2		343,19	686,39	1029,58	1372,77
	corona (f)	2		423,27	846,54	1269,82	1693,09
	corona (g)	2		377,51	755,03	1132,54	1510,05

Ilustración 62. Extracto; frecuencia de 755 Hz a 724 rpm

Es evidente que, después de 18 años de dando vueltas, los engranes de la torre presentan juego por desgaste. Si en sucesivas lectura vemos que aumenta la amplitud, se podría estudiar la posibilidad de aumentar el grado de viscosidad del aceite para paliar el efecto del desgaste. En la tabla siguiente se muestran los elementos que se excitan en estas frecuencias.

3. Existe un pico en amplitud en la frecuencia de 92 Hz y que coincide con la frecuencia por defecto radial en el rodamiento (a) del sistema de embrague de tinta. Esta situación ya se daba cuando analizamos el espectro obtenido en mayo de 2017. En mayo el régimen era de 713 rpm y el pico se daba en la frecuencia de 90 Hz y en esta ocasión se trata de un régimen de 724 rpm y pico en la frecuencia de 92 Hz. Es evidente de que hay que revisar el embrague de tinta.

Embrague tinta	Rdamiento (a)	2	11,58	23,17	34,75	46,33	71,01	91,14	91,87
	Rdamiento (b)	2	11,58	23,17	34,75	46,33	35,69	56,97	47,75
	Rdamiento (c)	2	11,58	23,17	34,75	46,33	48,20	67,63	67,11
	corona (d)	2	347,48	694,95	1042,43	1389,91			
	corona (f)	2	428,56	857,11	1285,67	1714,22			
	corona (g)	2	382,22	764,45	1146,67	1528,90			

Ilustración 63. Extracto; frecuencia de 92 a 724 rpm

4. También, en la frecuencia de 115 Hz tenemos un pico por defecto de paso de elemento rodante. Algo similar, aunque en otro régimen de giro de máquina, nos pasaba con el espectro obtenido en la segunda lectura. Concretamente se trataba de en un régimen de 533 rpm y a una frecuencia de 100 Hz aparecía un pico por el mismo defecto y en el mismo elemento, el rodamiento (k) del sistema Debitor, aunque en este caso no coincidían los on/off de los embragues. También habría que revisar el estado de los embragues cuyas poleas van montadas sobre el rodamiento (k).

Debitor	Rodamiento (a)	2	11,58	23,17	34,75	46,33	48,20	96,40	
	corona (b)	2	347,48	694,95	1042,43	1389,91			
	polea(c)	2	382,22	764,45	1146,67	1528,90			
	polea(d)	2	428,56	857,11	1285,67	1714,22			
	Rodamiento		11,58	23,17	34,75	46,33	43,35	86,71	
	Polea (e)						0,00		
	Polea (f)	14	382,22	764,45	1146,67	1528,90			
	rodamiento (g)	14	8,89	17,78	26,67	35,56	26,22	52,44	
	polea (h)	14	391,11	782,23	1173,34	1564,46			
	polea (i)	14	293,34	586,67	880,01	1173,34			
	rodamiento (j)						0,00		
	rodamiento (k)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	65,00	130,00
		eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	65,26	130,51
		eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	69,06	138,13
		eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	69,33	138,67
	rodamiento (m)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	30,15	60,30
		eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	30,27	60,54
		eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	32,04	64,07
		eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	32,16	64,32
	rodamiento (ñ)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	25,62	51,24
		eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	25,72	51,44
		eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	27,22	54,44
		eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	27,33	54,66
	rodamiento (o)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	52,15	104,30
		eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	52,35	104,71
		eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	55,41	110,82
		eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	55,63	111,25
	rodamiento (p)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	23,76	47,53
		eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	23,86	47,71
		eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	25,25	50,50
		eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	25,35	50,70
	rodamiento (r)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	30,15	60,30
eje 19 [I off]			8,09	16,17	24,26	32,35	30,27	60,54	
eje 18 [I on]			8,56	17,12	25,68	34,24	32,04	64,07	
eje 18 [I off]			8,59	17,19	25,78	34,37	32,16	64,32	
rodamiento (t)	eje 19 [I on]		8,06	16,11	24,17	32,22	23,76	47,53	
	eje 19 [I off]		8,09	16,17	24,26	32,35	23,86	47,71	
	eje 18 [I on]		8,56	17,12	25,68	34,24	25,25	50,50	
	eje 18 [I off]		8,59	17,19	25,78	34,37	25,35	50,70	

Ilustración 64. Extracto; frecuencia de 138 a 724 rpm

5. Y por último, se aprecia un pico que coincide con la frecuencia por defecto radial de la mesa (7); esto ya lo detectamos, y a diferentes regímenes de giro, en mayo. También habría que revisar el estado de las cuatro mesas (7).

mesas/batidores	mesa (7)	734,72	12,25	24,49	36,74	48,98	76,49	94,95	112,39	115,03
	mesa (8)	759,21	12,65	25,31	37,96	50,61	77,15	100,00	96,43	99,70
	mesa (9)	711,76	11,86	23,73	35,59	47,45	34,57	48,47	68,86	72,83
	mesa (10)	843,57	14,06	28,12	42,18	56,24	85,72	111,12	107,15	110,78
	mesa (11)	421,79	7,03	14,06	21,09	28,12	42,86	55,56	53,57	55,39

Ilustración 65. Extracto; frecuencia de 115 a 724 rpm

## 9. Conclusiones.

Una vez analizado con detalle los espectros obtenidos para lectura y una vez comparado en el tiempo la evolución de determinadas frecuencias de puede concluir que;

- a) Se identifica una frecuencia natural de la AT-44 a 300 Hz y ésta se manifiesta con mayor amplitud a regímenes de velocidad bajos, hasta los 20.000 p/h.
- b) Existe un desgaste, por el uso continuado durante 18 años, en los engranes de la AT-44, más acusado, si cabe, en los engranes de los cilindros de plancha y caucho.
- c) Los rodamientos cónicos de la caja de re-envío tienen que ser inspeccionados; para ello bastaría quitar la tapa de registro dispuesta en la caja y comprobar que;
  - a. El aceite esté limpio.
  - b. No haya presencia de metales en el interior de la base de la caja.
  - c. Identificar irregularidades en los rodillos y/o jaula del rodamiento.
  - d. Identificar irregularidades en el dentado de los engranes cónicos de la caja.
- d) Existe una o varias mesas (7) con su rodamiento 6010 con posible defecto radial; en este caso no es tan sencillo el acceso. De cualquier manera, hay que asegurarse y por lo menos identificar qué mesa o mesas son, y para ello se pueden hacer rodar por separado y volver a tomar lectura y analizar el espectro obtenido tras el tratamiento de la señal.
- e) Al igual que antes, existe un defecto radial en uno de los dos embragues de tinta y localizado en el rodamiento (a), 6011. Esto no tiene mayor dificultad para su sustitución. La propuesta sería sustituirlo en los dos embragues.
- f) Es aconsejable, o por lo menos interesante, estudiar la posibilidad de cambiar las propiedades del aceite con la finalidad de paliar los efectos del desgaste por el uso. En la actualidad se está utilizando un VG 68

de base mineral. Se podría ir a uno de base sintética y con aditivos al uso.

- g) Para finalizar y como conclusión final, reconocer que el presente trabajo ha resultado ser una herramienta eficaz y eficiente en el diagnóstico de la torre de color mediante el análisis del ruido que ésta produce en su operación. Se trata pues, de una herramienta susceptible de ser utilizada por el departamento de Mantenimiento de las plantas de VIGO y OVIEDO pertenecientes ambas al grupo Editorial Prensa Ibérica. De momento, ya se está trabajando para el diagnóstico de otras dos rotativas de Artes Gráficas del Mediterráneo, S.L.

## 10. Bibliografía.

1. Antonio José Besa González y Javier Carballeira Morado, **Diagnóstico y corrección de fallos de componentes mecánicos**. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2015.
2. Manuel Recuero López, **Ingeniería acústica**. Paraninfo, Madrid, 1999.
3. Singiresu s. RAO, **Vibraciones Mecánicas**. PEARSON, Mexico, 2012.
4. R.E.D. Bishop, **Vibration** (2ª. Ed), Candbridge University Press, Candbrige, 1979