

# Inestabilidad supersíncrona en rotor de bomba de circulación



**Francisco Sánchez**  
Ingeniero de Cálculo y  
Ensayos Dinámicos  
Preditec/IRM

[in](#) Contactar a través de LinkedIn

## Abstract

*Bomba Horizontal dividida axialmente  
Fluido bombeado: Agua de circulación a 80°C  
Accionamiento: Motor Síncrono a 3000 RPMs  
Acoplamiento: Elástico de Láminas. Unión  
mediante Machón 60cm longitud*

Después de trabajos de mantenimiento, la unidad bajo análisis comenzó a presentar valores de vibración en el cojinete del eje Lado Acoplamiento situados en zona de “Riesgo de Daño” por las normativas aplicables, produciéndose en una ocasión la rotura del eje del impulsor en la zona del cojinete. La bomba forma parte del sistema de agua de circulación de una planta de cóquer compuesto por dos unidades. La bomba gemela presentaba un comportamiento estable bajo condiciones de operación similares, y se mantuvo en este estado durante el transcurso de los ensayos.

Las primeras medidas determinaron un alto nivel de vibración del eje del impulsor dominado por el armónico 1.46 de la velocidad de giro. Otros ensayos en condiciones a priori similares permitieron registrar altas amplitudes de vibración en el eje dominadas por el armónico 1.78.

Dicha inestabilidad aparecía de forma súbita y para condiciones de carga siempre entorno al valor nominal.

Posteriores ensayos determinaron la causa como un “Fenómeno de Inestabilidad Supersíncrona del Rótor” debida a un cambio en las tolerancias de los cierres, comúnmente llamados “anillos rozantes”.

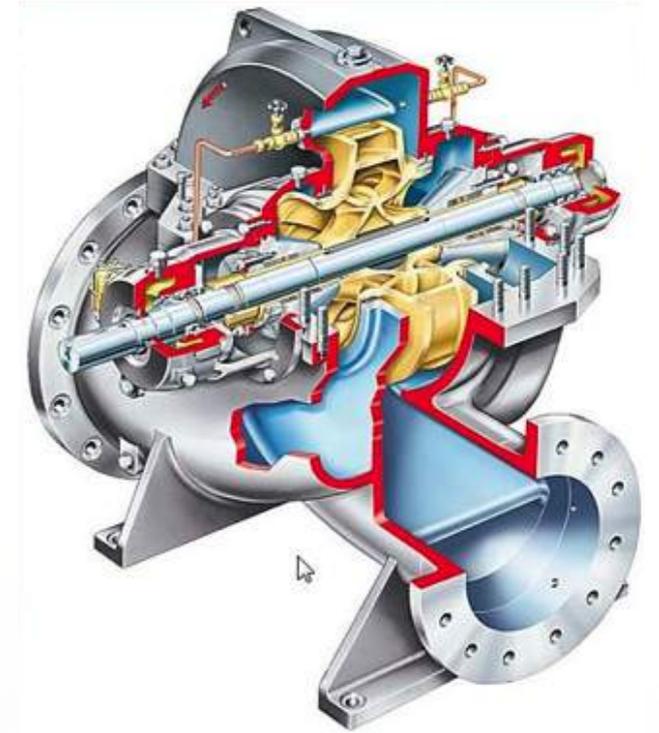


Ilustración 1: Esquema de Bomba tipo.



## ENSAYOS REALIZADOS.

Al objeto de entender las causas de los elevados niveles de respuesta dinámica ó “sensibilidad” a los armónicos mencionados se realizó un ensayo de impacto en el sistema de accionamiento en la propia máquina. Fue medida la respuesta dinámica de puntos del eje acoplado del motor, machón de acoplamiento, eje del impulsor y carcasa de bomba ante impactos en las direcciones principales.

El ensayo fue repetido en la bomba gemela que operaba de forma estable obteniendo las Funciones de Respuesta en Frecuencia (FRFs) expuestas a continuación:

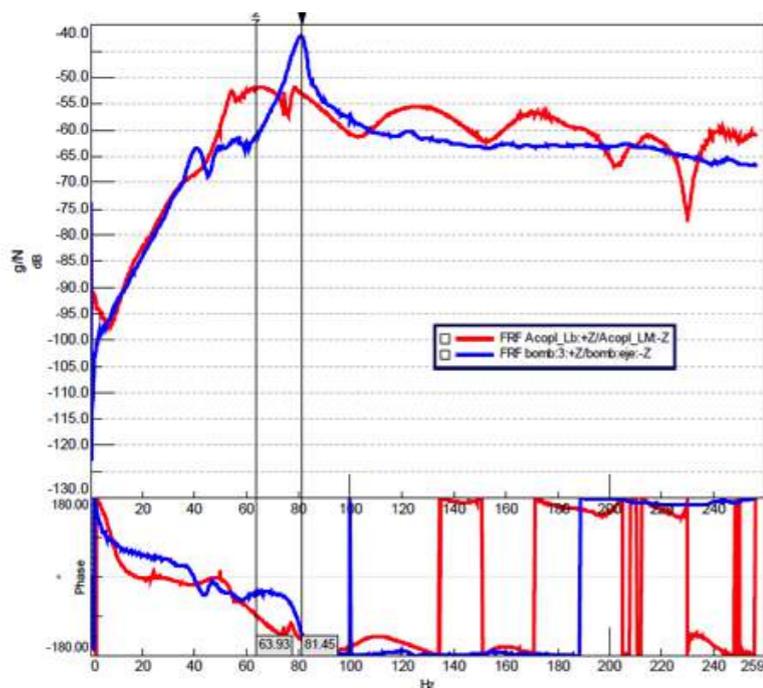


Ilustración 2: FRFs obtenidas en el eje del impulsor cojinete lado acoplamiento bomba de comportamiento estable (curva roja) y bomba de comportamiento inestable (curva azul).

Los resultados del ensayo de impacto en la bomba inestable muestran la existencia de un modo de vibración del conjunto eje más acoplamiento entorno a 81 Hz.

Este valor en frecuencia es cercano a los valores de los armónicos que dominan la amplitud de la vibración existente:

ARMÓNICO (X RPM)	VALOR EN FRECUENCIA (HZ)	PROXIMIDAD A MODO FLEXIÓN A 81 HZ
1.46	73.2	< 10%
1.79	89.0	< 10%

## ENSAYO DE IMPACTO

### MEDIDAS DE VIBRACIÓN EN OPERACIÓN

Se registró el valor de amplitud de vibración en diferentes puntos de la unidad de forma continua y para diferentes condiciones de carga y contrapresión, y operación conjunta con la bomba gemela para descartar problemas de modos “acústicos” en tramos cercanos de tubería. Así mismo, se planteó la posibilidad de que la causa fuera la respuesta del eje ante un fenómeno de presión pulsante debida a la regulación de las válvulas de control de flujo, o de flujo mínimo, no encontrando una relación directa con la aparición del fenómeno.

Así mismo, se trató de modificar las propiedades dinámicas del sistema eje + acoplamiento incrementando drásticamente la masa del mangón, obteniendo como resultado que la inestabilidad apareciera entorno a 62 Hz (1.24 X RPM).

Se presenta a continuación un diagrama de espectros en cascada en operación y durante una parada.

Representando los espectros en operación (escala dBs) de ambas bombas.

El análisis de esta comparativa permitió llegar a la conclusión sobre la causa del fenómeno.

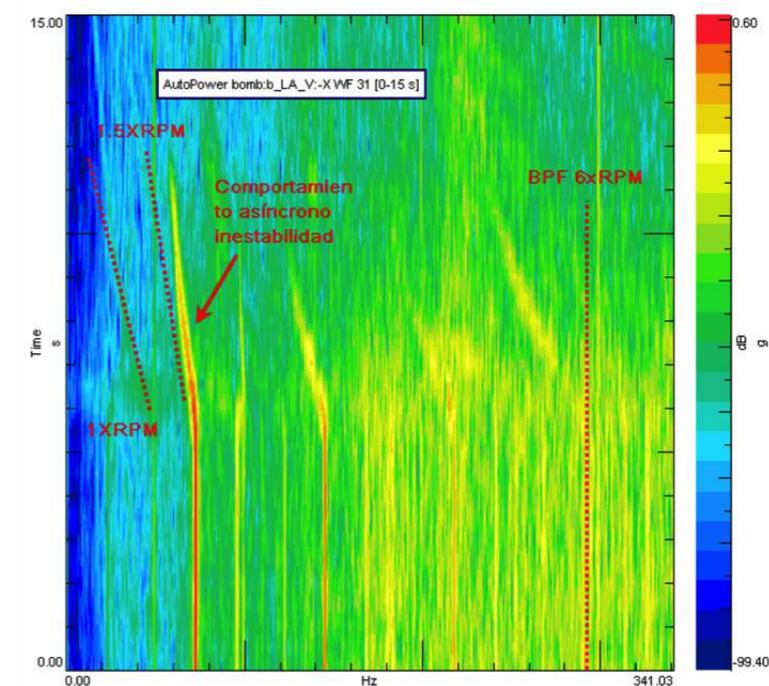


Ilustración 3: Diagrama de espectros en Cascada. Descripción del fenómeno en operación y durante parada.

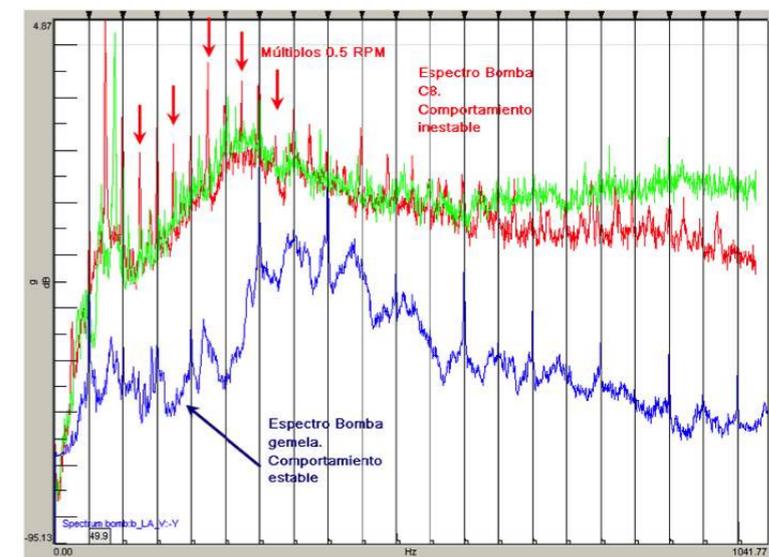


Ilustración 4: Comparación de espectros en operación de la bomba que presenta un comportamiento estable (curva azul) frente a bomba inestable (curvas roja y verde).

Queda patente el elevado contenido energético que presentan los armónicos 0.5 y 0.25 en los espectros hasta valores altos de frecuencia. El análisis clásico de espectros en maquinaria rotativa sería indicativo de roces, pero la uniformidad de la repartición de la energía en toda la banda de frecuencia nos hizo suponer la existencia de excitaciones anormales de origen hidráulico cuando la inestabilidad se produce. Estas fuerzas, cuando existen provocan una acción impulsiva para cada paso de vano conllevando a la aparición de un fenómeno autoexcitado. La combinación de la proximidad en frecuencia del modo de flexión del eje con la frecuencia de aparición de estas acciones impulsivas provoca que acción y respuesta se acoplen, provocando elevados niveles de vibración sólo limitados por el amortiguamiento estructural y el proporcionado por las holguras de los cierres (o anillos rozantes).

Como consecuencia la máquina presenta amplitudes de vibración muy elevadas en la zona de acoplamiento y prácticamente nulas en el cierre, dando lugar a roturas por fatiga del mismo en cuestión de horas.

Es notable la sintonización de las tres inestabilidades detectadas con múltiplos próximos al 1.25, 1.5 y 1.75XRPM.

Siendo un factor determinante en la respuesta dinámica de sistemas el amortiguamiento introducido por los elementos que componen el mismo, se recomendó al cliente actuar sobre los cierres o anillos rozantes tratando de encontrar valores de holguras en los mismos que mitigasen al menos la violencia de aparición del fenómeno.

**REFERENCIAS**

Artículo publicado en "Turbolab.edu"  
 "Centrifugal Pump Vibration Caused by Supersynchronous Shaft Instability. Use of Pumpout Vanes to increase Pump Shaft Instability"  
 Donald R. Smith  
 Stephen M Price  
 Fredrich K Kunz

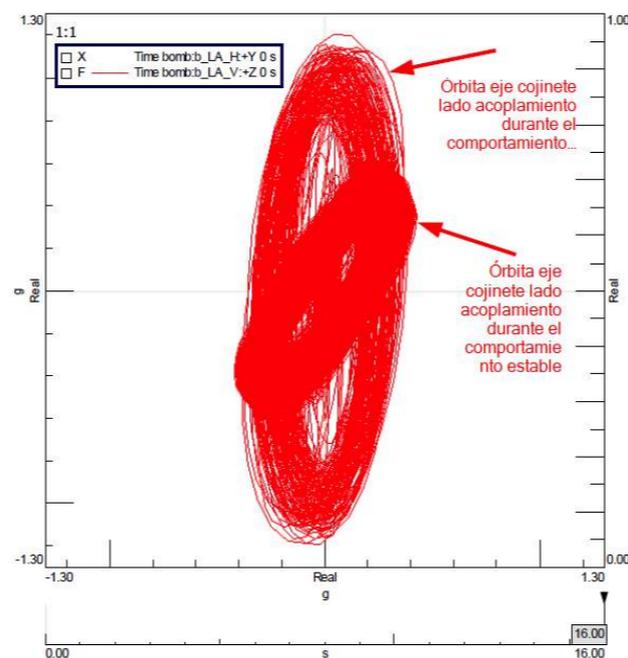


Ilustración 5: Órbita eje cojinete lado acoplamiento durante el comportamiento estable (órbita radio menor 45°) y durante el comportamiento inestable.

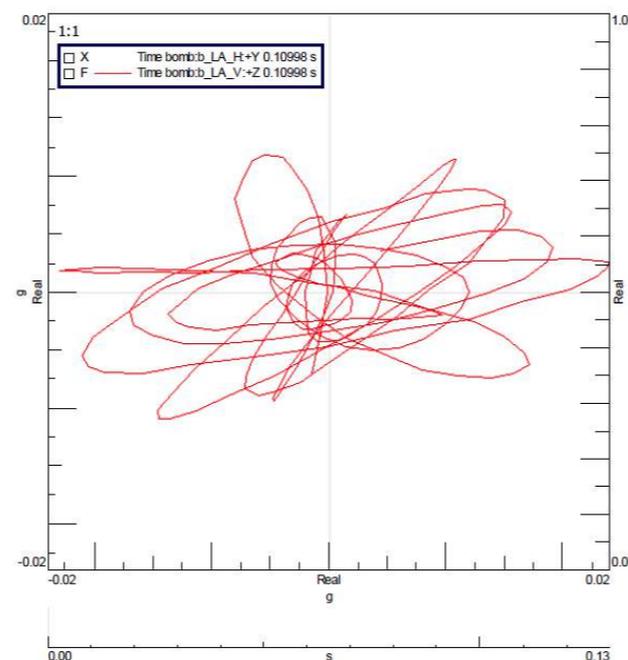


Ilustración 6: Órbita eje lado acoplamiento bomba durante la aparición de la inestabilidad.

Realizar un diagnóstico fiable nunca fue **¡tan fácil!**



**www.preditec.com**  
**info@preditec.com**  
**+34 976 200 969**