

Mediante el monitoreo del entrehierro se evita un gran dano en un nuevo generador hidroelectrico en Igarapava H.E.P.P.

Autores: *Raimundo Jorge Ivo Metzker, CEMIG*
Marc R. Bissonnette, VibroSystM
André Tétreault, VibroSystM
Jackson Lin, VibroSystM

Introducción

La central hidroeléctrica de Igarapava se compone de 5 grupos tipo bulbo de 42MW sobre el Rio Grande, el cual bordea los estados de Minas Gerais y São Paulo en Brasil. Los propietarios del Consorcio Igarapava incluyen a cinco compañías: Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, Companhia Mineira de Metais – CMM, Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG y Mineração Morro Velho. Los generadores fueron suministrados por ABB Brasil y las turbinas por Voest Alpine de Austria.

Estas son las primeras unidades tipo bulbo instaladas en Brasil. Por lo tanto los propietarios insistieron que estos grupos deberían ser equipados con un completo sistema de monitoreo, el cual debería supervisar varios parametros del generador durante las pruebas de puesta en servicio con el objeto de tener una base de datos iniciales para realizar un programa de mantenimiento predictivo según condición de máquina. Los parámetros a monitorear son: entrehierro¹, vibración axial y radial del eje en los cojinetes guía generador y turbina, potencia activa del generador MW, potencia reactiva MVAR, tensión kV, corriente de excitación, temperatura del estator, niveles del agua; aguas arriba y aguas abajo, presión de agua a la entrada y salida de turbina.

La luz del entrehierro entre el rotor y estator es de 11 mm en los grupos de Igarapava, por lo que el monitoreo del entrehierro se convierte crítico, especialmente que el ovalamiento² del estator que conduce a la distorsión del entrehierro es común en muchas unidades bulbo alrededor del mundo. Las unidades de Igarapava son consideradas como grandes máquinas y el monitoreo del entrehierro se juzgó indispensable.

Antecedentes

El 27 de julio de 1999, se produjo un frotamiento entre el rotor y el estator en el grupo #2 de Igarapava, después de 5 meses desde que las pruebas de puesta en servicio se concluyeron. Esto condujo a que la unidad quedara fuera de servicio por un largo periodo para su reparación con un alto costo económico. Al mismo tiempo el sistema de monitoreo para las máquinas el cual ha sido suministrado por VibroSystM de Canadá, no se había instalado aún. Por apremio en el cronograma del proyecto, en las unidades 1 y 2, el sistema de monitoreo no fue comisionado durante la puesta en servicio de estas unidades. Debido a la ocurrencia de daños en el rotor y estator, la puesta en servicio del sistema ZOOM³ fue acelerada en las 5 unidades. Mientras, por otra parte, el contratista principal estuvo investigando las causas del contacto entre el rotor y el estator. Según la perspectiva del contratista la empresa adquirió el sistema de monitoreo específicamente para mostrar cada problema constructivo. Por lo tanto, según esta lógica es hacer que el sistema se encuentre completamente operacional lo más pronto posible para ser usado con este único propósito.

En septiembre de 1999 mientras se completaba la instalación y las pruebas de puesta en servicio del sistema de monitoreo en las unidades 1, 2 y 5, VibroSystM tuvo la oportunidad de evaluar las pruebas de toma de medidas de las 5 unidades. Después revisando las vistas polares y las tendencias almacenadas en la base de datos del sistema, VibroSstM notó una anomalía en la unidad #4 previamente comisionada.

Problemas del entrehierro del generador 4.

Cuatro sensores de entrehierro fueron instalados sobre el núcleo del estator aproximadamente a 25 cm (10 pulg.) del borde del núcleo del estator, los sensores fueron instalados a 45°, 135°, 225° y 315° de ubicación (ver **Figura 1**).

Durante las pruebas del sistema ZOOM sobre la unidad 4, una anomalía fue detectada en el entrehierro en el sensor ubicado a 225°. En base a este dato que fue desplegado con el software del sistema ZOOM, VibroSystM sospecho la presencia de una protuberancia⁴ en el anillo del rotor. Usando el despliegue histórico capacidad que tiene el software del ZOOM, fue posible aislar con el modo “signatura”⁵ (mínimo valor del entrehierro para cada polo en una vuelta) de cada sensor.

Con el fin de facilitar la interpretación de los datos del entrehierro VibroSystM refiere los valores del entrehierro con respecto a los polos del rotor en vez del tiempo. Simplificando esto quiere decir que el cambio de fase sobre tres de los cuatro sensores del entrehierro están alineados las cuatro marcas del entrehierro con respecto a sus polos.

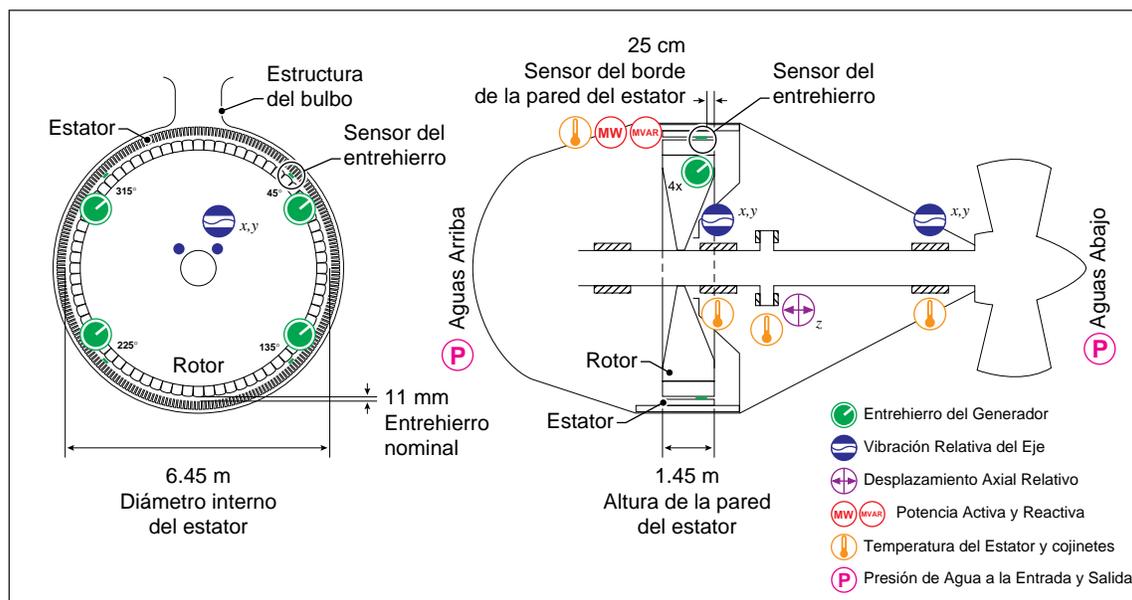


Figura 1: Secciones en corte mostrando la ubicación de los sensores del entrehierro sobre la pared del estator más el monitoreo de otros parámetros.

Tamizando las mediciones tipo signatura de cada uno de los cuatro sensores, fue posible identificar si la protuberancia fue permanente o transitoria (ver **Figuras 2 y 3**). Una deformación se considera permanente si todos los sensores están viendo la misma traza. Una protuberancia transitoria sería el resultado que todos los cuatro sensores del entrehierro estén mostrando diferente traza. Con el auxilio del software del ZOOM, fue posible determinar que la amplitud de la protuberancia varía de acuerdo al ángulo en el que el rotor estuvo rotando. La máxima protuberancia (entrehierro más crítico) ocurrió cuando el polo del rotor paso frente al sensor ubicado en 225°.

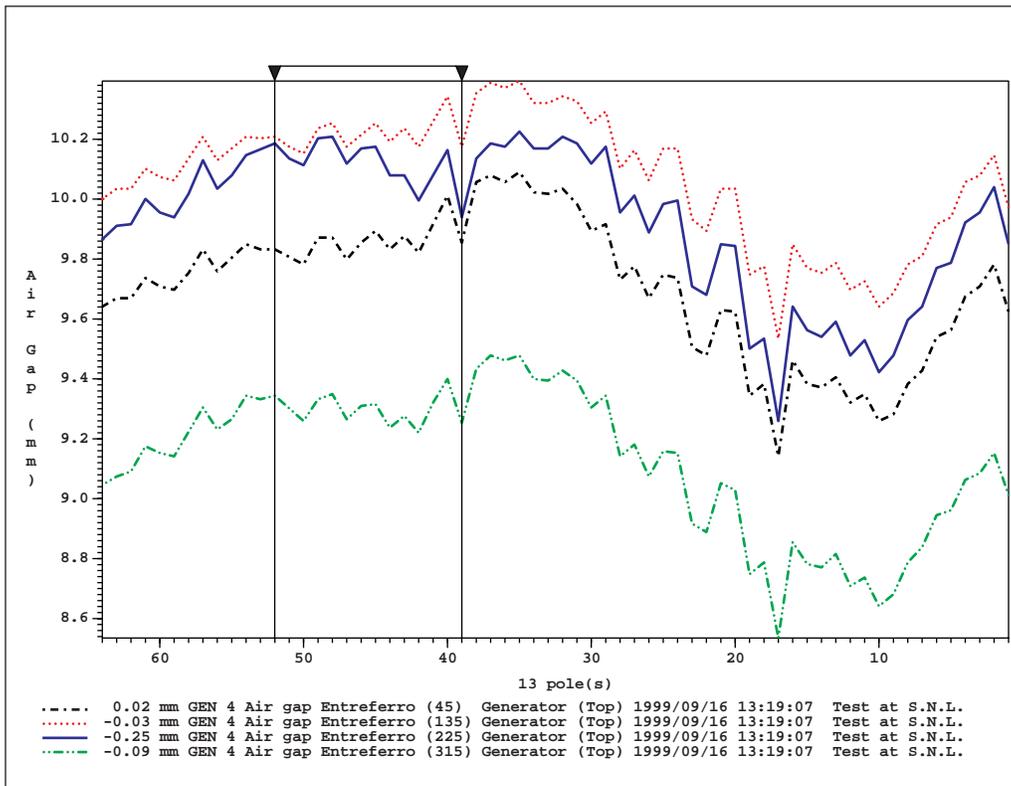


Figura 2: Gráfico tipo signature muestra el perfil del entrehierro de los 4 sensores a velocidad nominal. Las marcas indican el delta de variación entre la ubicación estable del anillo (polo 59) y la peor posición del anillo (polo 39) con valores numéricos para cada curva abajo lado izquierdo.

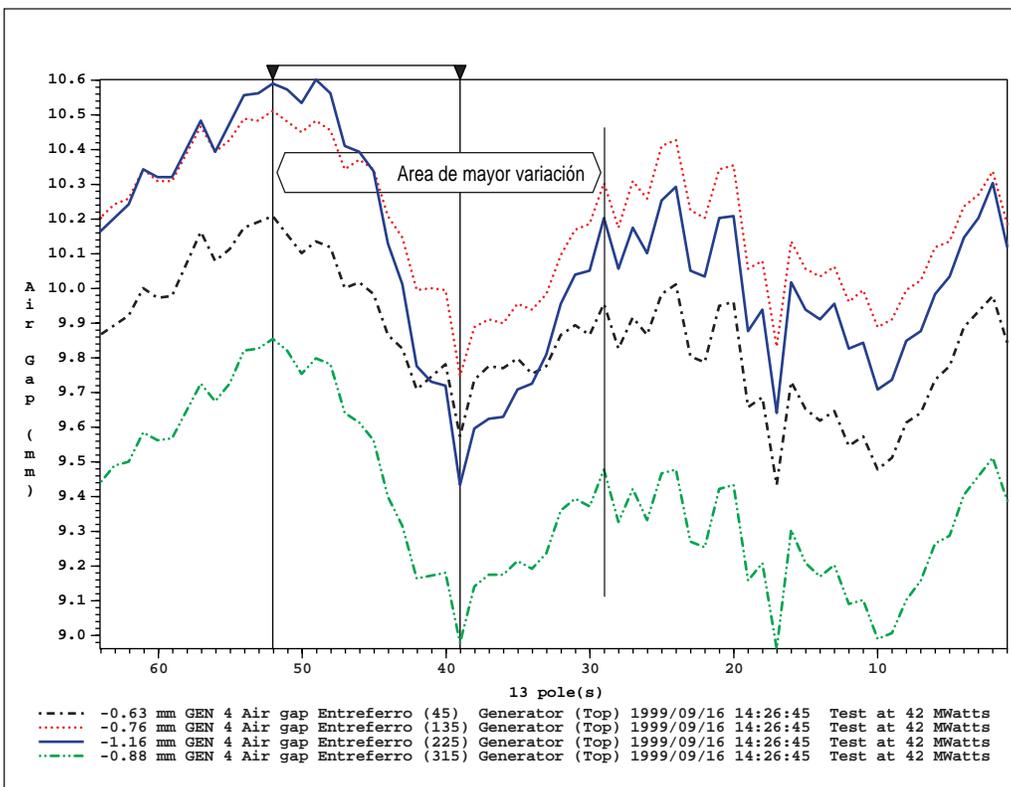


Figura 3: Gráfico tipo signature de los cuatro sensores a plena carga (42 MW). Notar la dramática variación del perfil captado por el sensor 225° entre los polos 52 y 29 comparada con otros sensores y con la figura 2.

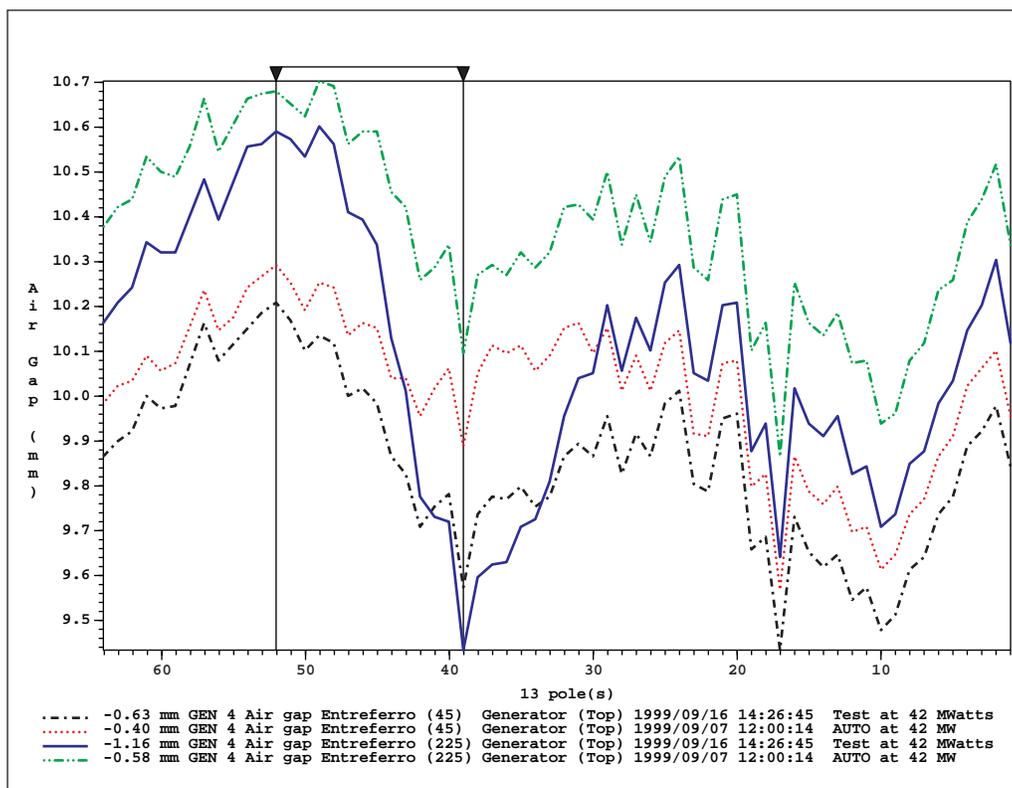


Figura 4: Gráfico tipo signature del entrehierro en los sensores opuestos a 45° y 225° mostrando una rápida deterioración en un periodo de 9 días.

Tabla 1: Diferencia del entrehierro para el polo 39 (localización del mayor movimiento del anillo) durante un periodo de 9 días.

Sensor	Polo 39 / 42 MW (en mm)		
	Sept. 7 1999	Sept. 16 1999	Diferencia
45 deg.	9.89	9.57	- 0.32
135 deg.	10.17	9.74	- 0.43
225 deg.	10.10	9.44	- 0.66
315 deg.	9.37	8.98	- 0.39

VibroSystM ploteo los datos de los sensores ubicados en posición 225° y 45° y comparo estos con los datos de la semana anterior. De la **Figura 4** y de la **Tabla 1**, se desprende claramente que en curso de una semana, hubo una significativa deterioración del entrehierro. La vista polar del generador **Figura 5** compara los perfiles del anillo del rotor bajo dos condiciones de operación (ej. a velocidad nominal sin excitación y a plena carga) y en la **Figura 6** compara los perfiles del rotor a 42 MW tomados con 9 días de diferencia (7 y 16 de septiembre 1999).

Estudiando los datos VibroSystM alertó a CEMIG que el sistema de monitoreo claramente indico que una potencial falla del entrehierro entre el rotor y el estator podría ocurrir en cualquier momento.

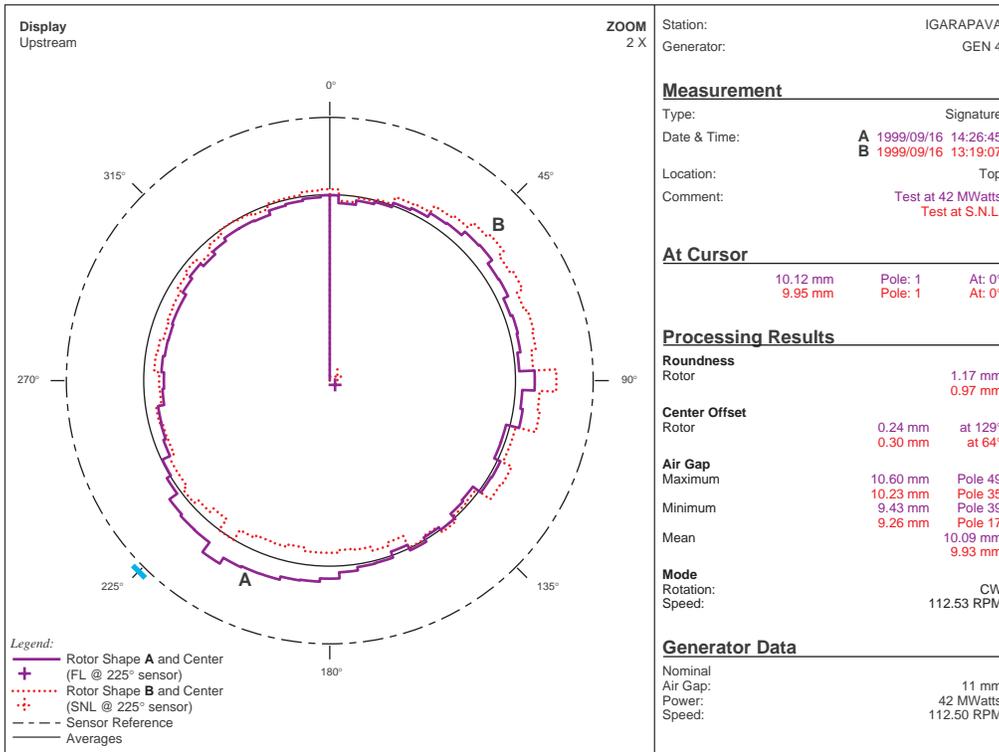


Figura 5: Vista polar del generador comparando los perfiles del rotor a velocidad nominal sin excitación (B) y a plena carga (A) usando el sensor 225°. Lado derecho superior valores numéricos de los cambios en la redondez fuera de punto, ángulo, mejor/peor ubicación.

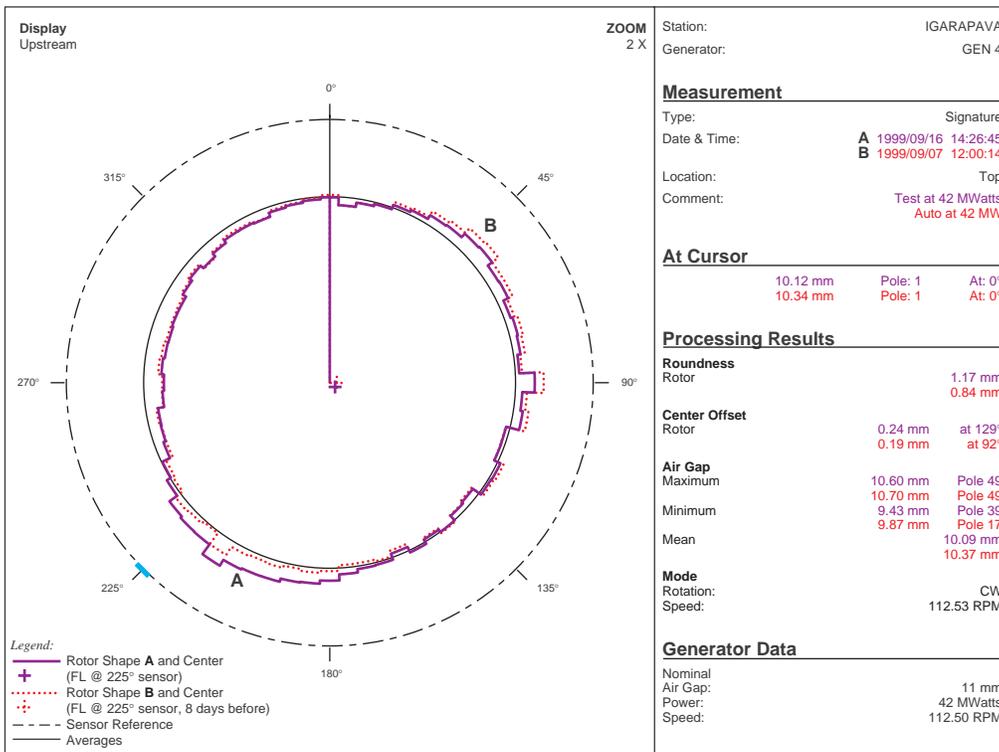


Figura 6: Vista polar del generador comparando la deterioración del perfil del rotor en un periodo de 9 días (a plena carga).

Acciones Tomadas

Verificando la gravedad de la situación y el potencial peligro de un inminente contacto entre el rotor y el estator, el departamento de ingeniería del CEMIG contacto inmediatamente con su oficina principal en Belo Horizonte. Los ingenieros del CEMIG de la oficina principal en Belo Horizonte tuvieron acceso a la información de los datos del ZOOM vía su ZOOM a control remoto y confirmaron el peligro de un inminente y real frotamiento. Los ingenieros del CEMIG imprimieron los reportes ZOOM mostrando los resultados y enviaron un fax a la oficina de proyectos del fabricante del generador. Bajo un amplio y detallado estudio, el CEMIG decidió parar la máquina y solicitó al fabricante del generador inspeccionar el anillo del rotor.

Dos días después que la orden de parada de la máquina fue dada, los fabricantes del generador visitaron la planta para conducir amplias investigaciones. Descubrieron que la unidad 4 estaba en peor condición que la unidad 2, cuando se produjo el contacto entre el rotor y estator. Pruebas de percusión se realizaron sobre los pernos de la araña del anillo del rotor. Muchos pernos se rompieron durante las pruebas. Fue evidente que el anillo del rotor se encontraba flojo sobre la araña y durante la rotación de la máquina, este desequilibrio causó sobretensión de los pernos causando la rotura de estos. El CEMIG y el fabricante del generador efectuaron una revisión detallada del diseño del generador para corregir el problema y prevenir la re ocurrencia.

Conclusión

Esto es un caso claro que con el auxilio del monitoreo del entrehierro característica del sistema ZOOM, fue posible predecir un inminente contacto entre el rotor y estator y una acción preventiva se pudo tomar tiempo. CEMIG estuvo muy complacido al haber invertido en la adquisición del sistema ZOOM que le ha retribuido dividendos. ***“Con solo este evento, la inversión del sistema completo de monitoreo para toda la central ha sido totalmente pagada por si misma antes que en todas las unidades hayan sido comisionadas”***, comentó un ingeniero de CEMIG. Actualmente el CEMIG está monitoreando de cerca el entrehierro y la condición general de la máquina de todos los 5 generadores para garantizar que está completamente protegida la inversión del consorcio Igarapava. El monitoreo en tiempo real (como opuesto a los monitoreos periódicos, medidas con unidades fuera de servicio) es particularmente provechoso, como lo demuestra este caso en que un cambio crítico del entrehierro puede ocurrir sobre un periodo de semanas, con mediciones con la unidad fuera de servicio son insuficientes para identificar y corregir un problema antes de llegar a una costosa salida de fuera de servicio forzada.

¹ Entrehierro: Luz entre el rotor y estator.

² Ovalamiento: Tendencia del perfil del estator a achatarse por acción de la gravedad en generadores de eje horizontal.

³ Sistema ZOOM: Abreviación del sistema de monitoreo en tiempo real cero parada. Es un sistema de monitoreo de la condición de la máquina en tiempo real multi parámetro para generadores hidroeléctricos generadores/turbinas. El ZOOM incorpora en la base del sistema un Sistema de Monitoreo del Entrehierro (AGMS). El ZOOM y el AGMS son fabricados por VibroSysTM de Longueuil Canadá.

⁴ Protuberancia: Área del perfil del rotor que se mueve fuera de un normal círculo. Sinónimo de pérdida de la luz del entrehierro, por lo tanto crítico entrehierro.

⁵ Signatura: Medición del mínimo valor del entrehierro de cada polo del rotor sobre una máquina en rotación mostrando el perfil de la forma del rotor como es visto por cada sensor.