



**Título del Proyecto:**

**Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas.**


PROYECTO FINANCIADO PARCIALMENTE POR COLCIENCIAS  
(MODALIDAD DE CRÉDITO)

**Empresa que desarrolló el proyecto:** A-MAQ S.A.

**Sector Productivo:** Industria y Energía

**PROGRAMA DE ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES E  
INFORMÁTICA**

ABRIL 2010

	RESUMEN DE PROYECTO	Página 2
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

## ASPECTOS GENERALES SOBRE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO


Se realizó un módulo de software que calcula y presenta en Tiempo Real, las tendencias de los Modos de Deflexión de Rotores en Turbomáquinas, con base en la medición realizada con sensores de proximidad de alta precisión y con sensores de referencia angular. Este análisis se realiza dibujando modos de deflexión tridimensional del rotor en tiempo real sobre un diagrama tridimensional de la máquina (por lo general, grupos de generación compuestos por generador y turbina). También se implementó la visualización de la tendencia de los modos de deflexión segundo a segundo. Complementariamente, se visualiza la tendencia transiente y estacionaria de las órbitas bidimensionales de deflexión en cada plano de medición.

El proyecto se basa en la medición de vibraciones en turbomáquinas de generación hidráulica y térmica y en la dinámica de rotores rígidos y flexibles.

## CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

**Visualización del modo de deflexión tridimensional del rotor en tiempo real sobre un diagrama tridimensional de la máquina:** Presenta el modo de deflexión del rotor en cuestión entendido como su modo de posicionamiento espacial debido a las fuerzas dinámicas interactuantes (posicionamiento X, Y, Z).

**Visualización de la tendencia de los modos de deflexión:** Presenta la tendencia en cuestión entendida como la cinemática resultante del giro del rotor y sus distorsiones cinemáticas resultantes de las fuerzas dinámicas que interactúan (órbita 3d del rotor).

	RESUMEN DE PROYECTO	Página 3
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

**Visualización de la tendencia transiente y estacionaria de las órbitas bidimensionales de deflexión en cada plano de medición:** Presenta la tendencia transiente entendida como la proyección 3d de las órbitas 2d y su cambio en el tiempo (graficado de los cambios en tiempo real).

**Análisis con base en mediciones reales provenientes de sensores de proximidad de alta precisión y sensores de referencia angular previamente instalados en la máquina:** El sistema se realizó para ser compatible con el sistema AVOGC, el cual toma mediciones reales provenientes de sensores de proximidad de alta precisión y sensores de referencia angular previamente instalados en la máquina.

**Compatibilidad con el sistema AVOGC (Análisis de Vibraciones orientado a gestión de Confiabilidad) de A-MAQ S.A., incluyendo software y hardware de adquisición de señales dinámicas:** El sistema se realizó para ser compatible con el sistema AVOGC desarrollado por A-MAQ S.A..

**Validación en condiciones reales:** El sistema se instaló en el grupo de generación hidráulico de la minicentral Manantiales de EPM. Se encuentra operando desde diciembre de 2009 como un valor agregado al sistema de monitoreo de vibraciones A-SDAQ / A-SPECTROGRAM (cuyo núcleo de adquisición es el sistema AVOGC). Actualmente también se encuentra instalado en ISAGEN.

## IMPACTOS SOCIALES DEL PROYECTO

### Generación de Empleo

Se crearon nuevos puestos de trabajo temporales para la ejecución del proyecto los cuales se convirtieron en permanentes en más del 50%.

### Disminución del impacto al medio ambiente

	RESUMEN DE PROYECTO	Página 4
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

Para los clientes, al evitar paros imprevistos con el módulo desarrollado, aumentan la disponibilidad de sus máquinas y facilitan la conservación de caudales ecológicos en el caso de las hidráulicas, u optimizan sus consumos de combustible y vapor en el caso de las térmicas. Todo lo anterior tiene como consecuencia un impacto positivo en el medio ambiente.

#### **Mejoramiento de las condiciones de trabajo de los empleados**

Los trabajadores ven con mayor positivismo el futuro de la empresa con los nuevos desarrollos.

#### **Mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general**

El personal de planta encargado de los diagnósticos de turbomaquinaria rotativa con base en los datos del monitoreo de vibraciones, realizarán sus diagnósticos más rápidamente y podrán programar mejor sus actividades personales al programar mejor sus actividades laborales relacionadas con la intervención de las máquinas.

#### **IMPACTO EN LA DIVULGACIÓN DE LOS DESARROLLOS REALIZADOS**

La solución ha tenido gran acogida en los espacios privados en los que se ha presentado y en Ferias. Jefes de mantenimiento de empresas como EPM, ISAGEN, EMGESA y FABRICATO han reconocido su gran potencial de análisis y la importancia de que se integre al sistema AVOGC como valor agregado del mismo para fortalecer la diferenciación de nuestras soluciones. En prototipo presentado en FISE 2009 generó gran expectativa entre los potenciales usuarios.

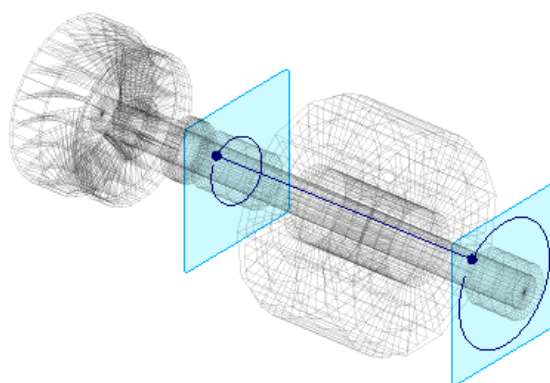
	RESUMEN DE PROYECTO	Página 5
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

## RESULTADOS TÉCNICO

Se realizó un módulo de software que calcula y presenta en Tiempo Real, las tendencias de los Modos de Deflexión de Rotores en Turbomáquinas, con base en la medición realizada con sensores de proximidad de alta precisión y con sensores de referencia angular. Este análisis se realiza dibujando modos de deflexión tridimensional del rotor en tiempo real sobre un diagrama tridimensional de la máquina (por lo general, grupos de generación compuestos por generador y turbina). También se implementó la visualización de la tendencia de los modos de deflexión segundo a segundo. Complementariamente, se visualiza la tendencia transiente y estacionaria de las órbitas bidimensionales de deflexión en cada plano de medición.

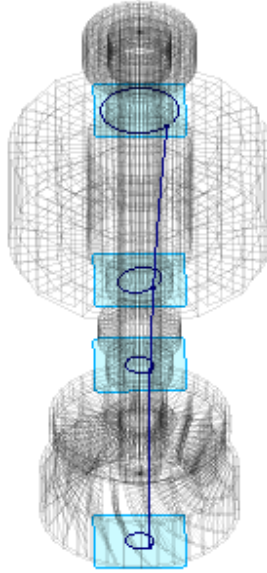
El proyecto se basa en la medición de vibraciones en turbomáquinas de generación hidráulica y térmica y en la dinámica de rotores rígidos y flexibles.

A continuación se presentan algunos ejemplos del resultado obtenido (tendencias de modos de deflexión):

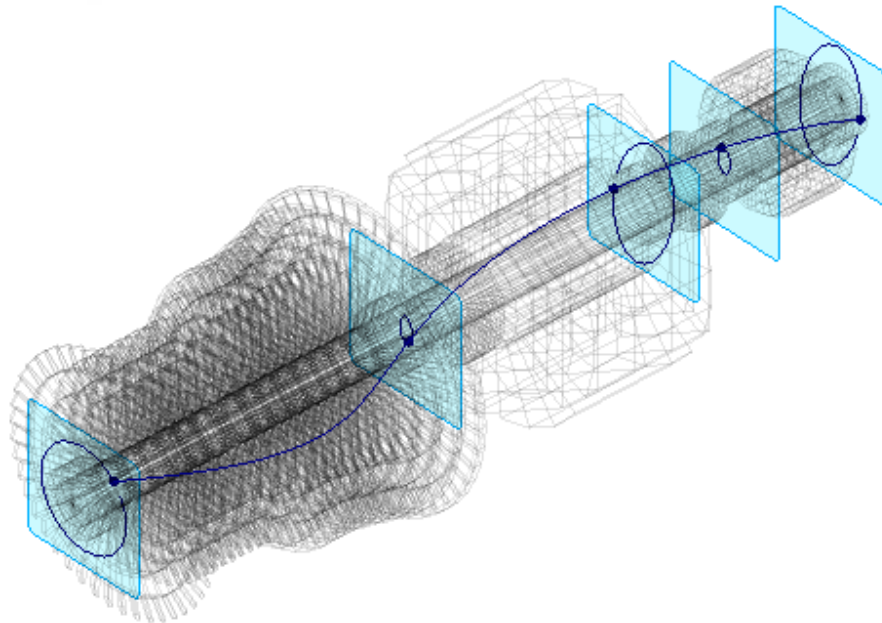


Turbina Francis Horizontal 5MW Minicentral Manantiales EPM


	RESUMEN DE PROYECTO	Página 6
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

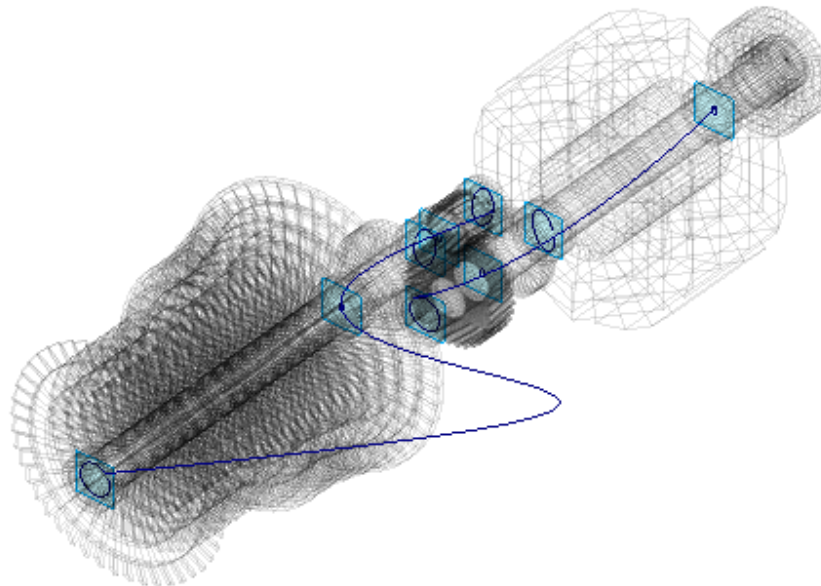


Turbina Francis Vertical 19 MW Charquito Emgesa



Turbina Vapor 5 MW Fabricato

	RESUMEN DE PROYECTO	Página 7
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010



Turbina con caja reductora de 5400 RPM a 3600 RPM 180 MW Termoyopal Casanare

Todo el código de software para la realización de este proyecto está implementado en código propietario de A-MAQ S.A. Si bien el sistema puede importar archivos de sólidos de piezas elaborados en software CAD, estos son interpretados al código propietario para luego ser desplegados. Para la visualización en tiempo real no se utiliza ninguna plataforma de CAD intermedia: todo el manejo gráfico es realizado en la ejecución del código desarrollado por A-MAQ S.A. En acorde con los objetivos planteados, el sistema desarrollado sólo opera durante la ejecución del sistema AVOGC de A-MAQ S.A.

La órbita es medida en tiempo real, derivada de los datos recibidos de sensores de proximidad cuyas ondas se filtraron previamente con un pasabanda estrecho a 1X. La amplitud de las órbitas típicas es del orden de centenas de micras. Para una adecuada visualización por parte del usuario del software, se muestran ampliadas a un tamaño comparable al de la máquina:

	RESUMEN DE PROYECTO	Página 8
	<i>Módulo de Software para Visualización de Tendencias de Modos de Deflexión en Tiempo Real de Rotores de Turbomáquinas</i>	
	Ver 1.0	Abril de 2010

## CONCLUSIONES

Se realizó el módulo de software que calcula y presenta en Tiempo Real, las tendencias de los Modos de Deflexión de Rotores en Turbomáquinas, con base en la medición realizada con sensores de proximidad de alta precisión y con sensores de referencia angular.

Todos los objetivos planteados fueron alcanzados. El tiempo de ejecución del proyecto fue el previsto. Se percibió una buena aceptación por parte de los clientes potenciales y usuarios actuales de la solución. Nuevos retos se plantearon como la realización de una exploración post-proyecto para la implementación de algoritmos generales de iluminación de superficies con el método de Phong y relajación Gauss Seidel combinados para graficar la máquina con una presentación muy parecida a como lo hacen los CAD 3d.

Se planteó la participación en una feria internacional para la comercialización del sistema AVOGC con este nuevo módulo. Actualmente A-MAQ se encuentra realizando gestiones para la consecución de estos recursos.

## BIBLIOGRAFÍA

GRAPHIC GEMS, Academic Press, 1a ed, 222 páginas, 1995

VIRTUAL REALITY APPLICATIONS AND EXPLORATIONS, Academic Press, 1a ed, 132 páginas, 1993

OPENGL SUPERBIBLE!, Richard J. Simon, 1a ed, 252 páginas, 1996

3D GAME ENGINE ARCHITECTURE, David H Eberly, 1a ed, 282 páginas, 2005

ROTOR DYNAMICS, Agnieszka (Agnes) Muszynska, 1a ed, 1054 páginas, 2005

VIBRATION ANALYSIS HANDBOOK, James Taylor, 1a ed, 353 páginas, 2005