

7 Conclusiones

El desarrollo de este trabajo escrito y la experiencia ganada a través del proceso de búsqueda de información, aplicación de metodologías e interpretación de resultados trajo consigo el surgimiento de muchas reflexiones y recomendaciones acerca de la implementación de sistemas de monitoreo estructural en la actualidad, específicamente en nuestro país. En primera instancia, se debe impulsar la aplicación de sistemas de monitoreo estructural tanto en el sector público como en el sector privado, ya que frecuentemente se presta poca atención a observar la evolución de las obras civiles en su vida útil. La mayor parte de los recursos humanos y económicos se centran en la parte joven de un proyecto (planeación y construcción), olvidándose de la vida de servicio, hasta que la fatiga de los materiales y envejecimiento paulatino suponen un peligro inminente para la población así como para las actividades económicas y sociales que dependen de esa infraestructura.

A pesar de que en un principio puede ser poco atractivo la implementación de sistemas de monitoreo, es un hecho que en fechas recientes el monitoreo de la salud estructural se abre paso con gran auge debido a los beneficios que reporta. El principal sin duda, son los niveles de seguridad. En segundo lugar el beneficio económico que se obtiene. Una anticipada estrategia y acciones correctivas ante cambios estructurales detectados en temprana edad reducen de manera importante los costos de reparación.

Ahora bien, en cuanto al manejo de la información, se debe continuar en la búsqueda y perfeccionamiento de metodologías que maximicen los beneficios del monitoreo estructural. Esta búsqueda debe estar enfocada al manejo fluido y eficaz de grandes volúmenes de información, así como a la automatización de las actividades que conlleva. Aprovechar las tecnologías presentes, especialmente el potencial de sistemas de cómputo, puede representar un ahorro significativo de esfuerzos y tiempo al analista. Además de ayudar a la comparación e intercambio de información de distintos proyectos de forma rápida y sencilla, inclusive a distancias lejanas.

Profundizar en conocimientos relacionados con sistemas estructurales, los procesos físicos subyacentes a los cambios que se presentan en el sistema y las relaciones existentes entre ellos, juega un papel importante en el desarrollo o perfeccionamiento de los métodos de análisis. También es de gran utilidad la investigación profunda en este campo de la ingeniería civil, para adoptar medidas estratégicas de monitoreo hechas a la medida de las necesidades propias de cada obra y organismo ejecutor (ya sea público o privado). Estas últimas elaboradas a partir de las posibilidades económicas y los estándares de seguridad que deban cumplirse en cada obra.

La formación de técnicas de análisis innovadoras y revolucionarias debe ser un revulsivo en la aplicación de sistemas de monitoreo. La base de los beneficios futuros se encuentra precisamente en la optimización de los procesos de análisis y en la capacidad de observar a través de los datos, patrones que indiquen cambios significativos. Sería ideal no solo aplicar los avances probados en países donde se ha logrado una mayor penetración en la materia, si no también generar propuestas propias derivadas de la gran experiencia de los analistas adquirida en el paso del tiempo.

No obstante, se advierte no dejar de lado los métodos actuales de análisis y mucho menos la inspección visual en la obra civil. Estas labores no deben por ningún motivo sustituirse.

En cuanto a la aplicación de la metodología clásica y ARIMA a información del Puente San Cristóbal, debo mencionar la razón por la cual en este trabajo de tesis se estudió 1 solo punto de los 102 totales medidos con las cuerdas vibrantes. Aunque podría parecer poco para un trabajo de final de carrera, se debían establecer las bases y consideraciones de ambas metodologías (clásico y ARIMA), las cuales no existían previamente, particularmente en su aplicación en el monitoreo estructural. Por tanto, la dificultad en la delimitación de los alcances del tema supuso un reto importante, ya que se buscó plasmar de forma clara y entendible la teoría elemental de las metodologías expuestas. Además la forma de operar sobre los demás puntos es el mismo que para el punto D4-I4 desarrollado en capítulos 5 y 6. Analizar más puntos de la estructura sin concluir en una o varias aplicaciones que reflejen un análisis global de la estructura (en este caso el puente San Cristóbal), resultaría redundante en el desarrollo de la tesis.

También es importante mencionar que la propuesta presentada, sienta apenas las primeras bases del amplio potencial del enfoque de series de tiempo aplicado en el monitoreo estructural.

Acercas de los resultados obtenidos, se concluye que los modelos ARIMA proveen un excepcional ajuste a cualquier serie de tiempo. Puntualmente los 3 ajustes a la serie en estudio (incremento de esfuerzos en la Dovela 4 punto Inferior 4) son muy buenos. El grado de ajuste de los modelos no se hubiera alcanzado con un análisis clásico, en el cual la única componente detectable y modelada fue la tendencia.

Pese a ello, aun existen mejoras que pueden hacerse en la metodología, especialmente en lo que refiere a la identificación de la estacionalidad en la serie. En la aplicación de la metodología Box-Jenkins, se tuvo la dificultad de definir un periodo estacional, al final inexistente, pero que generó incertidumbre en el correcto análisis de la información. Es necesario hallar una herramienta más eficaz para la adecuada identificación de esta componente y la obtención del periodo correspondiente. Se debe tener

precaución en la identificación de esta componente, a fin de evitar crear una estacionalidad artificial que resulta por demás inapropiada.

En lo que se refiere a los pronósticos obtenidos, las estimaciones de valores futuros parecen no ser tan atractivos debido a que, a largo plazo, convergen a un valor constante. Un modelo puramente de media móvil (MA) desde un principio produce valores constantes. Un modelo puramente autorregresivo (AR) y un modelo combinado (ARMA y/o ARIMA), producen pronósticos no constantes en un principio. No obstante, los valores pronosticados por ambos modelos convergen en una línea recta a largo plazo. Con ello se confirma que los modelos ARIMA son adecuados para pronósticos a corto plazo. Los modelos ARIMA muestran efectividad en 20 o 30 periodos de tiempo posteriores a la última observación. Este periodo es bueno si se consideran datos mensuales, puesto que se tendría de entre 20 o 30 meses de buenas estimaciones futuras. No sucede de la misma forma si se usa información diaria, en donde se tendría 20 o 30 días de valores predichos. No obstante si se desea trabajar con datos mensuales se necesita una extensa base de datos para describir adecuadamente el proceso. Por su cuenta, los intervalos de confianza muestran proveer un rango confiable de posibles valores futuros. Se puede tener la certeza que los valores futuros se encontrarán en este rango.

Finalmente las herramientas para la detección de cambios significativos en los parámetros estructurales, presentadas en el capítulo 6, mostraron efectividad y consistencia en los resultados arrojados. El control estadístico de procesos a través del cuadro de control es una opción viable y sencilla para el monitoreo rápido de las condiciones de una estructura. Una vez construido el cuadro, nueva información puede ser analizada en un corto periodo de tiempo. Por su parte el algoritmo clasificador complementa al proceso de control estadístico, al separar por clases las diferentes condiciones de una estructura.

Las energías futuras deben enfocarse en la automatización de ambas herramientas y en la definición de límites razonables en los cambios que indudablemente ocurrirán en el Puente San Cristóbal. A partir de los límites se podrán establecer medidas preventivas que asegurarán las condiciones de seguridad necesarias en este tipo de infraestructura.

Esta última tarea puede representar un reto importante ya que el monitoreo permanente instalado en el Puente San Cristóbal fue parcialmente robado y por esta razón no existen registros posteriores a marzo de 2009. Este último, sin duda, es un aspecto que también debe ser tomado en cuenta en la instalación de futuros sistemas de monitoreo en otras obras de infraestructura o el Puente San Cristóbal.