

## **Seminarios del Doctorado en Ciencias Exactas e Ingeniería 2024**

**Título de Tesis:** Monitoreo, modelado basado en BIM y evaluación de la degradación de estructuras industriales

**Tesista:** Paula Barboza

**Director:** Guillermo Etse y Enzo Martinelli

### **Resumen**

En el proyecto de tesis se está llevando a cabo una evaluación exhaustiva de la seguridad estructural de torres de precalentamiento de hormigón armado y acero dentro de una planta cementera, con especial énfasis en la evaluación de la integridad estructural de sus plataformas degradadas. A diferencia de investigaciones anteriores, esta investigación contribuye mediante el uso de modelos de interfaz para el análisis de elementos finitos para describir los procesos de iniciación, propagación y fractura definitiva de grietas en los elementos estructurales más críticos. El estudio integra dos componentes principales: en primer lugar, implica el desarrollo de modelos matemáticos mediante el método de los elementos finitos (MEF), incorporando elementos finitos de interfaz mixta para discretizar las trayectorias de las grietas. En segundo lugar, se ejecutan ensayos dinámicos no destructivos in situ en cada plataforma para medir sus frecuencias naturales. Los datos derivados de estas pruebas se utilizan posteriormente para calibrar los modelos de elementos finitos, lo que lleva a la creación de un modelo de daño elástico para toda la torre. Además, el estudio desarrolla un modelos predictivos para evaluar la respuesta de las torres comprometidas ante eventos sísmicos recurrentes, que pueden afectar a los sistemas mecánicos soportados por la estructura. Estos análisis demuestran datos concluyentes sobre el estado de seguridad y el nivel de degradación de las torres de precalentamiento, y ofrecen recomendaciones prácticas sobre estrategias para garantizar su durabilidad y seguridad a largo plazo.

Por otro lado, se están estudiando avances tecnológicos notables en la ejecución y el desarrollo de diversos flujos de trabajo, abarcando tanto el campo del modelado como el del análisis estructural de torres de precalentamiento. Dado que ambas disciplinas se integran dentro de un proyecto común, se intenta destacar la importancia de la interoperabilidad entre ellas para garantizar la ejecución eficiente del proyecto. Esta interoperabilidad facilita la integración de las cualidades y ventajas únicas que aporta cada disciplina, estableciendo así un flujo de trabajo que minimiza tiempos y procesos.

En este proyecto se estudia cómo el modelado arquitectónico y el análisis estructural en ingeniería civil pueden considerarse disciplinas compatibles, permitiendo flujos de trabajo bidireccionales y análisis en tiempo real de diversos parámetros estructurales, tanto en estructuras existentes como futuras. El objetivo principal es aprovechar los gemelos digitales (DT) para capturar datos en tiempo real a través de sensores, vincularlos al modelado de información de construcción (BIM), y posteriormente integrarlos en los métodos de elementos finitos (FEM). Este enfoque pretende mejorar los procesos de monitoreo de estructuras existentes y detectar situaciones críticas dentro del ciclo de vida de una estructura.

Los sensores son parte esencial de la entrada a nuestro flujo de trabajo, ya que permiten adquirir información en tiempo real durante la fase de adquisición de datos, poniendo de manifiesto el estado actual al que está sometido nuestro caso de estudio. Todos estos datos obtenidos pueden observarse en tiempo real a través de un DT, que no solo cumple esta función, sino que también actúa como puente para transferir posteriormente estos datos a nuestro modelo BIM, que proporciona una respuesta de alarma ante situaciones críticas en la estructura.

En esta propuesta de flujo de trabajo (Fig. 1), la información obtenida de los sensores se enviará desde Node-RED a dos destinos: Tandem y Dynamo Revit, a través de los protocolos correspondientes de Internet de las cosas (IoT), con dos modelos de comunicación: HTTP y MQTT. Por otro lado, para realizar el análisis estructural, se utilizó un plug-in, CSi-XRevit, en la plataforma de Revit, con el objetivo de enviar los datos a SAP2000, donde se realizan las verificaciones y, si es necesario, se efectúan los refuerzos estructurales. Gracias a la interoperabilidad entre el modelo BIM y SAP2000, los planos se modificarán en tiempo real. Adicionalmente, será posible enviar un mensaje a los sensores para transmitir la existencia de tensiones y deformaciones críticas en la estructura.

