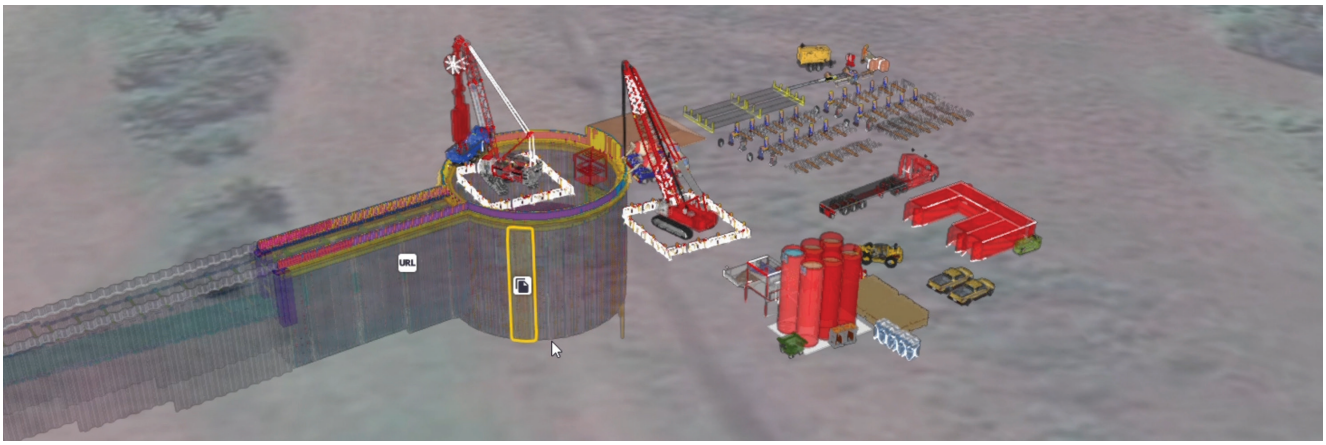
ARTÍCULO TÉCNICO



Digitalización y BIM en obras geotécnicas

Más que un lujo, una necesidad en los proyectos actuales

Guillermo CLAVELLINA
CIMESA
Soletanche Bachy México

Rogelio MONROY
CIMESA
Soletanche Bachy México

Claudia GUTIÉRREZ
CIMESA
Soletanche Bachy México

Karen BARRERA
GEOFUNDACIONES
Soletanche Bachy Colombia

Resumen

Las metodologías BIM (*Building Information Modeling*) en los proyectos de infraestructura se han convertido en una práctica estándar. En consecuencia, las obras y trabajos de construcción geotécnica han debido alinearse con las nuevas directrices que esto implica. Lo anterior no solo considera la modelación tridimensional de los elementos del proyecto y la representación del proceso constructivo, sino que también facilita la comunicación y el trabajo en equipo; el dimensionar las maniobras del equipo en obra y así generar una mayor eficiencia en los tiempos y costos del proyecto; y finalmente la centralización de la información como datos de campo y avances en tiempo real, facilitando el acceso, la gestión y la actualización para los constructores y otras partes interesadas. La digitalización de registros de construcción debe realizarse de forma simultánea a la ejecución de los trabajos en el modelo digital, reduciendo progresivamente el uso de papel y facilitando el acceso a la información desde bases de datos en la nube, así como el aprovechamiento de la metadata generada. Las ventajas del enfoque BIM no solo reducen el impacto ambiental al prescindir del papel, sino que también permiten cuantificaciones y programaciones precisas de insumos y avances, reducir errores detectando interferencias en el modelo BIM con otras disciplinas y el seguimiento en tiempo real de rendimientos por equipo o maquinaria. Este documento presenta los avances obtenidos en proyectos recientes en México, así como las tendencias tecnológicas que marcarán el rumbo de la construcción geotécnica-digital en los próximos años.

1. Metodología BIM

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa aplicada a la concepción, desarrollo y gestión de proyectos de edificación, industriales e infraestructura. Su mayor fortaleza es la centralización de toda la información del proyecto en un modelo digital integrado, construido de manera colaborativa por todos los actores involucrados.

Las distintas etapas del diseño, ejecución y gestión de un proyecto bajo esta metodología conforman el ciclo de vida BIM, que abarca desde la concepción inicial hasta su abandono o demolición. Dicho ciclo se estructura en distintas dimensiones BIM, cada una enfocada en una fase específica del proyecto:

- 1D – Idea: representa el origen del proyecto, a partir de una idea conceptual y estimaciones preliminares.

- 2D – Boceto: desarrollo de los primeros planos o esquemas básicos.
- 3D – Coordinación: modelado del diseño conceptual tridimensional que permite detectar interferencias entre disciplinas, anticipando posibles conflictos en obra.
- 4D – Planificación: análisis e integración del tiempo en el modelo para simular y planificar la ejecución de las actividades del proyecto.
- 5D – Costos y presupuesto: asociación del modelo con datos de costos para controlar presupuestos en cada fase: construcción, operación o mantenimiento.
- 6D – Eficiencia energética: evaluación del comportamiento energético mediante simulaciones y análisis en el modelo digital.
- 7D – Gestión de activos: incorporación de datos físicos y funcionales de los elementos del proyecto, incluyendo manuales de operación, mantenimiento programado y análisis financiero de modificaciones futuras, de tal manera que lo podamos visualizar y gestionar desde el modelo IFC.

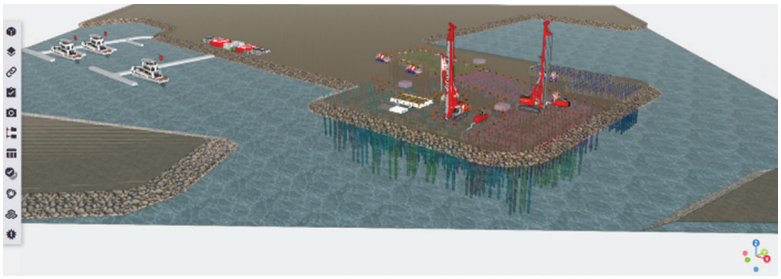
La metodología BIM permite la creación y gestión de datos durante todas las etapas del ciclo de vida del proyecto. Integra información multidisciplinaria en una plataforma digital abierta y alojada en la nube, lo que facilita la colaboración en tiempo real. Su implementación mejora la visibilidad global del proyecto, optimiza la toma de decisiones, favorece soluciones sostenibles y permite una gestión más eficiente de los recursos y costos.

2. Plan de ejecución BIM (BEP)

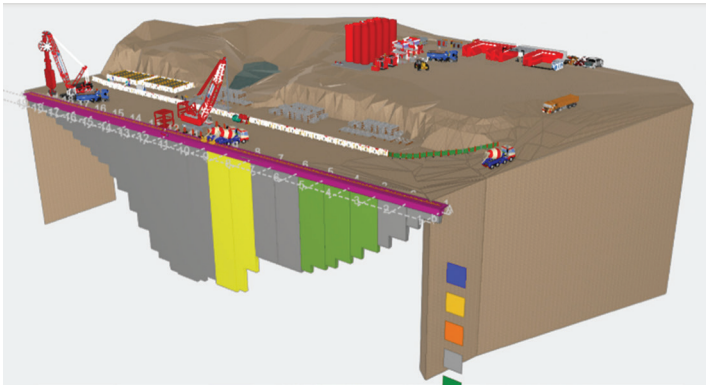
Un documento clave para la correcta implementación de la metodología es el BEP (*BIM Execution Plan* o Plan de Ejecución BIM). Este documento define los objetivos BIM del proyecto, roles y responsabilidades de los participantes, flujos de información, estándares a aplicar y protocolos de coordinación. El BEP funciona como una hoja de ruta que asegura que todos los agentes involucrados trabajen bajo lineamientos comunes, reduciendo riesgos y mejorando la coordinación multidisciplinaria. Además, facilita la trazabilidad de la información, garantiza la calidad de los entregables y promueve la eficiencia en cada etapa del ciclo de vida del proyecto.

3. Modelado 3D

Para quienes no están familiarizados con la metodología BIM, es común confundir un modelo tridimensional (por ejemplo, un modelo en AutoCAD 3D) con un modelo BIM. Por ello, resulta fundamental aclarar sus diferencias. Aunque ambos representan visualmente edificios o infraestructuras, BIM va más allá de la geometría



▲ Figura 1. Vista desde CDE – Proyecto: cimentación Casa Blake.



▲ Figura 2. Vista desde CDE – Proyecto: pantalla de presa Santa María.

al incorporar relaciones entre elementos, metadatos (datos que describen información que facilita la búsqueda, interpretación y gestión de la información) y comportamientos propios de los componentes reales de construcción, aspectos que no contempla el modelado 3D tradicional.

Mientras que un modelo 3D es solo una representación gráfica que ayuda a visualizar qué y cómo se construirá, BIM es un proceso integral que gestiona información y coordina disciplinas durante todo el ciclo de vida del proyecto. La metodología BIM integra datos de distintas disciplinas en un entorno común, permitiendo consultar la información en múltiples formatos (2D, 3D, tablas, entre otros), con mayor conectividad y accesibilidad respecto a los métodos tradicionales basados en documentos aislados.

Existen múltiples herramientas de modelado 3D desarrolladas específicamente para soportar BIM, como Revit, ArchiCAD, Allplan, SketchUp, Infraworks, Tekla, Civil 3D, entre otras. Estas herramientas de modelado permiten crear modelos inteligentes que almacenan no solo información geométrica (forma y dimensiones), sino también datos paramétricos sobre materiales, costos, cronogramas y mantenimiento. La elección de la herramienta depende del tipo de proyecto, su complejidad y el nivel de desarrollo BIM que se desea alcanzar teniendo en cuenta el "nivel de detalle" (LOD) requerido en cada etapa del proyecto.

En este contexto, es importante considerar el concepto de "*Level of Development*" (LOD), o nivel de desarrollo del modelo. El LOD establece el grado de detalle, precisión y confiabilidad de la información contenida en el modelo en cada etapa del proyecto. Va desde representaciones conceptuales iniciales (LOD 100), pasando por fases de diseño y coordinación (LOD 200–300), hasta modelos con información suficiente para construcción, operación y mantenimiento (LOD 400–500). Esta clasificación se define en el BEP de cada obra, y permite definir expectativas claras entre los distintos actores, estandarizar la calidad de los entregables y garantizar que el modelo proporcione la información adecuada según la fase del ciclo de vida en la que se encuentre el proyecto.

En resumen, mientras que el modelado 3D es una representación visual, BIM es una metodología integral que permite crear, administrar y analizar

▲ Figura 3. Instrumentación de anclajes con celdas de carga.

▲ Figura 4. Concepto de "gemelo digital".

▲ Figura 5. Captura digital de registros en sitio.

información a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, con una base de datos centralizada y estructurada para la toma de decisiones informadas.

4. BIM en construcción geotécnica

La implementación de metodologías BIM está transformando la forma en que se diseñan, gestionan y ejecutan las obras de construcción geotécnica y de cimentaciones profundas. Permite integrar modelos 3D con información técnica y de campo, centralizando datos geotécnicos, topográficos y constructivos en un entorno digital colaborativo.

Durante la fase de diseño, BIM facilita la visualización precisa del subsuelo y su interacción con elementos estructurales como pilotes, pantallas, anclajes, entre otros elementos. Esto permite detectar interferencias, optimizar soluciones y reducir errores en el proyecto ejecutivo. La simulación del comportamiento del terreno, mediante modelos analíticos o numéricos enlazados al modelo BIM, por otra parte, permite evaluar alternativas técnicas antes de construir.

En la etapa de ejecución, el uso de BIM combinado con sensores IoT ("*Internet of Things*" o "Internet de las cosas") como son: inclinómetros, piezómetros y celdas de carga (Figura 3), dan lugar a gemelos digitales que reflejan en tiempo real el desempeño de la obra (Figura 4). Esto permite ajustar en tiempo real los procedimientos de excavación, hincado o perforación, basándose en datos medidos y no únicamente en supuestos teóricos. La programación de actividades, seguimiento de avances, control de calidad y trazabilidad documental también se ven altamente beneficiados.

Además, BIM mejora la coordinación entre las diferentes disciplinas (estructura, instalaciones, geotecnia) y reduce significativamente el uso de papel, favoreciendo prácticas sostenibles mediante la interoperabilidad entre las distintas herramientas a través de un modelo estándar IFC, que no solo permite el flujo de información dentro de un entorno común de datos (CDE), sino que también facilita el intercambio de datos de forma organizada.

La interoperabilidad en entornos BIM se sustenta principalmente en el uso del formato IFC (*Industry Foundation Classes*), un estándar abierto que permite el intercambio de información entre diferentes plataformas y software. Este formato asegura que los modelos puedan compartirse y actualizarse sin depender de un único proveedor tecnológico, manteniendo la coherencia y trazabilidad de los datos. En el caso de las obras geotécnicas, el uso de modelos IFC facilita la integración de información estructural, topográfica y de instrumentación en un mismo entorno común de datos (CDE), garantizando que todos los actores trabajen sobre un modelo unificado y confiable.

En resumen, BIM no solo optimiza el diseño geotécnico, sino que fortalece el control y la eficiencia durante la construcción de obras subterráneas y de cimentación.

5. Digitalización de registros de construcción

BIM utiliza modelos 3D "inteligentes" para representar el proyecto, integrando tanto información geométrica como no geométrica relevante. Dicha información se puede obtener a partir de la captura digital de registros de construcción en sitio por personal técnico (Figura 5 y Figura 6). La información se centraliza en un "entorno común de datos" (CDE, por sus siglas en inglés) para facilitar su acceso, gestión y actualización. De esta forma, es posible consultar en tiempo real las características constructivas de cada componente, mejorando trazabilidad, control de calidad y la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto, proporcionando además los datos necesarios para la generación del modelo "*as-built*" con mayor precisión.

La facilidad del intercambio de datos dentro de un entorno BIM permite optimizar significativamente el tiempo de recuperación, procesamiento y análisis de información obtenida de los modelos IFC para su uso en otras herramientas.

Por ejemplo, en proyectos de cimentaciones profundas con pilotes y muros pantalla, el uso de modelos en formato IFC permite integrar en un

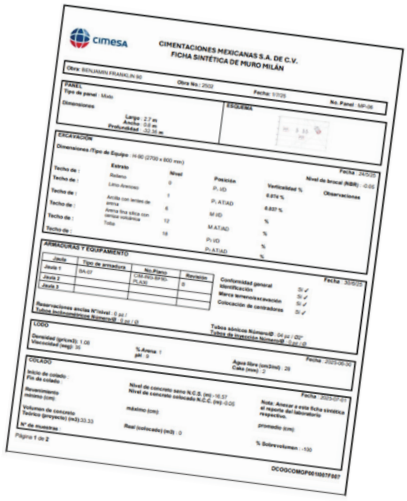
mismo entorno digital la geometría de los elementos estructurales, la información geotécnica del subsuelo y los datos de instrumentación obtenidos en campo (como inclinómetros o celdas de carga). Esto facilita la coordinación con las disciplinas de estructura y arquitectura, permite detectar interferencias de manera anticipada y asegura que los registros de obra queden vinculados directamente al modelo digital, mejorando la trazabilidad y el control de calidad durante toda la ejecución.

6. Beneficios

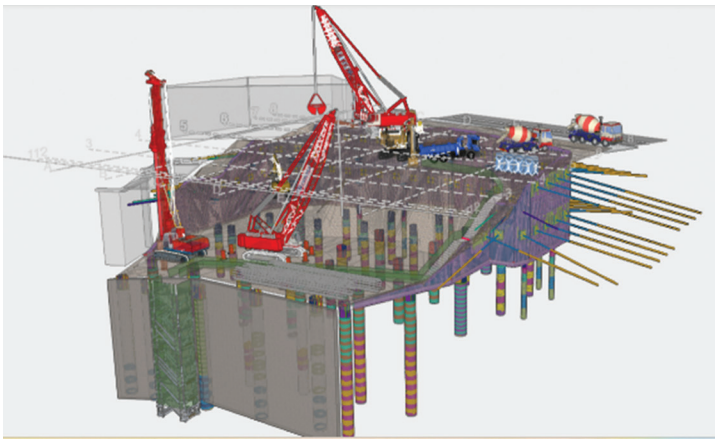
La adopción de un BEP (*BIM Execution Plan*) en cada proyecto permite estandarizar procesos, optimizar la comunicación entre equipos y asegurar que la información generada sea consistente, confiable y trazable durante todo el ciclo de vida de la obra.

Las ventajas de trabajar bajo metodologías BIM van más allá del beneficio medioambiental asociado a la reducción del uso de papel. Su adopción ofrece múltiples beneficios con alto potencial de impacto en todo el ciclo de vida del proyecto, entre los que destacan:

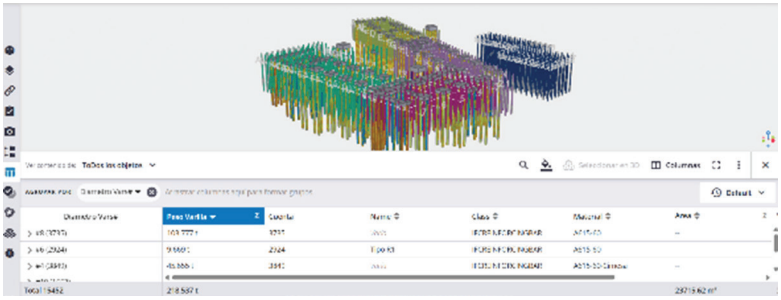
- Mayor eficiencia: la documentación digital facilita la gestión de la información, reduce errores y agiliza los procesos de diseño, construcción y operación.
- Reducción de costos: la detección temprana de interferencias y la optimización de recursos mediante BIM contribuyen a disminuir significativamente los costos de ejecución.
- Mejora en la colaboración: BIM promueve la coordinación y comunicación efectiva entre los distintos actores del proyecto, minimizando errores y retrabajos.
- Alta precisión: los modelos BIM permiten obtener datos confiables sobre cantidades, costos y tiempos, favoreciendo una mejor planificación y control del proyecto.
- Extracción automatizada de cantidades y presupuestos: BIM permite generar listas de materiales, mediciones y presupuestos de forma automática y precisa.
- Planificación de la construcción: facilita la definición de secuencias constructivas, identificación de conflictos y optimización del flujo de trabajo (Figura 7).
- Gestión eficiente de cambios: permite registrar y administrar modificaciones del proyecto de forma estructurada y trazable, reduciendo retrasos y omisiones.
- Operación y mantenimiento: el modelo BIM puede emplearse para la gestión de instalaciones, programación de mantenimiento preventivo y administración de activos del edificio.



▲ Figura 6. Ejemplo de registros digitales.



▲ Figura 7. Logística de obra sobre modelo IFC (Vista CDE).



▲ Figura 8. CDE - Tabla de datos.

7. Avances próximos

Es de esperar que BIM continúe evolucionando mediante la incorporación de nuevas tecnologías y tendencias como la inteligencia artificial, la colaboración en la nube, los gemelos digitales para el monitoreo de activos, así como la integración con herramientas de realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR), entre otras.

Las herramientas BIM también avanzan continuamente mejorando la eficiencia, interoperabilidad y colaboración entre equipos. La centralización de la información en la nube se consolida como práctica habitual,

permitiendo la colaboración en tiempo real entre equipos distribuidos geográficamente.

La creación de gemelos digitales, es decir, réplicas virtuales de edificios y activos físicos, se ha vuelto cada vez más común para el monitoreo en tiempo real, la evaluación del desempeño y la optimización operativa. Por su parte, las tecnologías de realidad aumentada y virtual mejoran la visualización inmersiva, facilitan la comprensión del diseño y permiten detectar conflictos en entornos simulados antes de la ejecución.

La integración de sensores IoT (*Internet of Things*) o "Internet de las cosas" con modelos BIM posibilita el monitoreo en tiempo real de sistemas, equipos e instalaciones, mejorando tanto la eficiencia operativa como el mantenimiento. Este enfoque también puede aplicarse a la instrumentación de obras subterráneas.

El desarrollo de soluciones basadas en diseño generativo (*Generative Design*) permite realizar análisis iterativos automatizados a partir de datos del modelo BIM, generando alternativas optimizadas en cuanto a materiales, costos y recursos, con retroalimentación directa al modelo.

El uso de la inteligencia artificial (IA) comienza a desempeñar un papel clave en la predicción de riesgos, la gestión de datos y la optimización de decisiones durante las fases de diseño y construcción.

Finalmente, BIM se posiciona como una herramienta estratégica para diseñar y construir edificaciones más eficientes desde el punto de vista energético y ambiental, al tiempo que facilita el cumplimiento normativo y la adopción de estándares de construcción sostenibles.

8. Conclusiones

El uso de metodologías BIM (*Building Information Modeling*) en los proyectos de infraestructura es una práctica ampliamente adoptada en el sector.

El proceso BIM permite crear, gestionar y actualizar información a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, integrando documentos de diseño y construcción de múltiples disciplinas dentro de un entorno común de datos (CDE). A diferencia de los métodos tradicionales basados en fuentes de información dispersas, BIM ofrece una base de datos centralizada, accesible y conectada, lo que mejora significativamente la toma de decisiones.

La inclusión de registros de construcción en el modelo facilita el acceso, en tiempo real, a las características constructivas de cada elemento. Por ello, la digitalización y estructuración de estos registros dentro del entorno BIM resulta fundamental para garantizar trazabilidad, control de calidad y eficiencia operativa.

Entre las principales ventajas de implementar metodologías BIM se encuentran: mayor eficiencia, reducción de costos, mejora en la colaboración multidisciplinaria, mayor precisión en cantidades y presupuestos, planificación detallada de la construcción, y gestión eficiente de cambios, entre otros beneficios. Además del impacto ambiental positivo por la disminución del uso de papel.

BIM continúa su evolución con la incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la colaboración en la nube, los gemelos digitales para el monitoreo de activos, y la integración con soluciones de realidad aumentada y realidad virtual. En este escenario de transformación e innovación digital, mantenerse actualizado frente a las tendencias tecnológicas no es solo una ventaja competitiva, sino una condición necesaria para concebir, construir y operar proyectos de infraestructura más eficientes y sostenibles.

SANDVIK

Sistemas de sostenimiento subterráneo para túneles

Sistema de anclaje autoperforante
- Sistema de una sola etapa donde se perfora e instala a la vez
- Se puede extender la longitud del anclaje mediante coples
- Su barra hueca permite la inyección de lechada o resina

Sistema de anclaje autoperforante

Perno Omega Bolt®
- Rapidez en la instalación obteniendo ciclos de fortificación más cortos y condiciones de trabajo más seguras
- Se ajusta a perforaciones irregulares

Perno Omega Bolt®

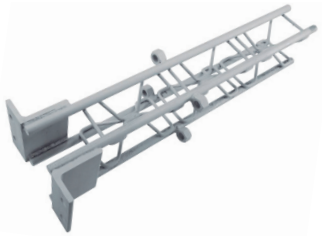
Sistemas de tubos paraguas
- Avances en terreno blando o fracturado
- Instalación mecanizada y segura
- Tecnología eficiente de instalación autoperforante

Sistemas de tubos paraguas

Resinas inyectables
- Inyección de Anclajes
- Sellado de Flujos de Agua y Gases
- Consolidación de Terrenos
- Relleno de Cavidades

Resinas Inyectables

Marcos metálicos
- Marcos Viga (HEB, HN y TH)
- Marcos Reticulares
- Marcos tipo Pantex



Marcos metálicos

InformacionDSIMexico@sandvik.com / rocktechnology.sandvik/groundsupport