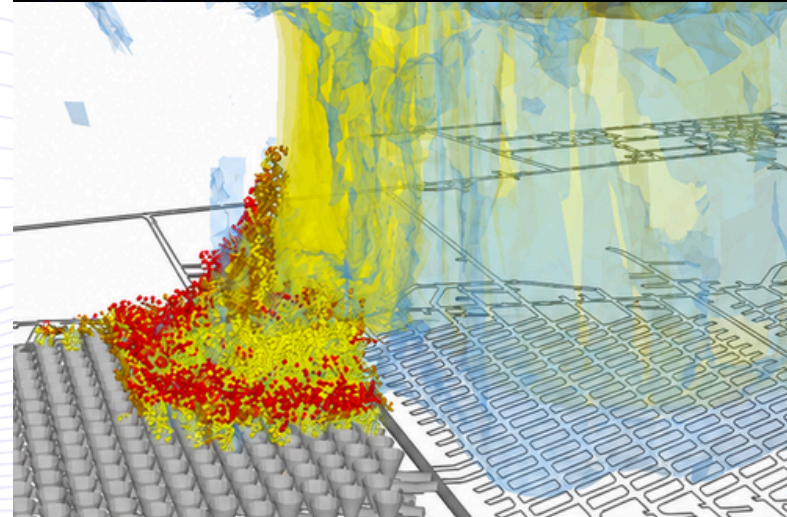
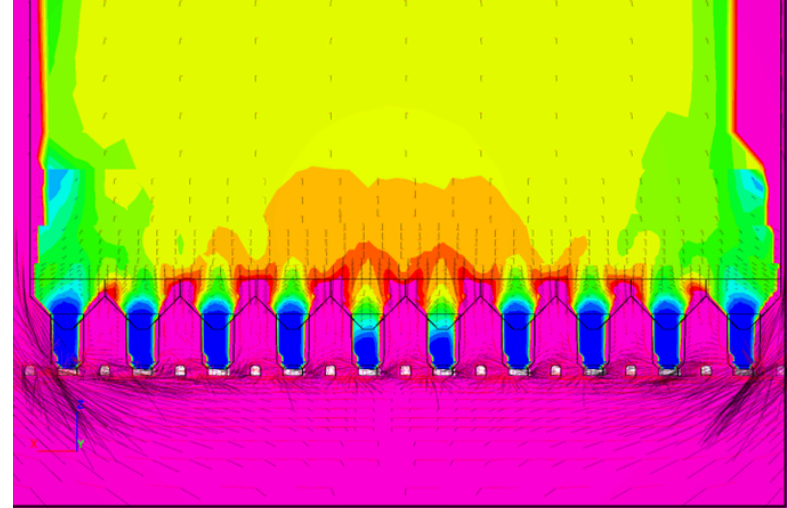




ITASCA

Servicios en Geomecánica Aplicada a Minería por Hundimiento

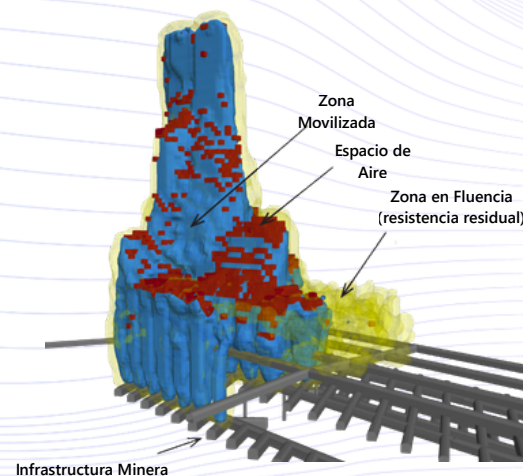
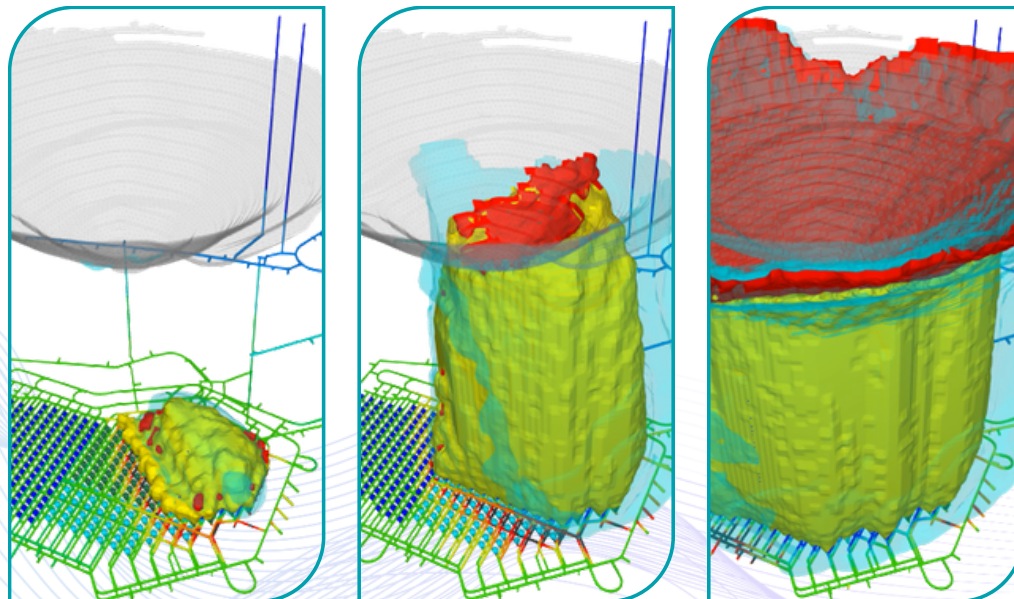
oneitasca.com





Contexto

- El hundimiento (o *caving*) es un **método de minería masiva**, adecuado para yacimientos diseminados, que se está considerando para proyectos mineros cada vez **más profundos, de mayor escala, en roca más resistente y heterogénea** en todo el mundo.
- Estos desafíos aumentan el **riesgo de reservas inmovilizadas** en colgadas, detención del hundimiento y *air-blasts*, rehabilitación o pérdida de infraestructura, y subsidencia inducida a gran escala.
- Por muchos años, ITASCA ha estado a la **vanguardia** de la minería por *caving*, habiendo sido **pionera** en el desarrollo de herramientas de punta, aplicadas en numerosas **operaciones y proyectos** de *block caving*, *panel caving* y *sub-level caving* **en todo el mundo**. Nuestras herramientas y trabajos han sido **validados** mediante comparación directa con comportamientos **observados**.

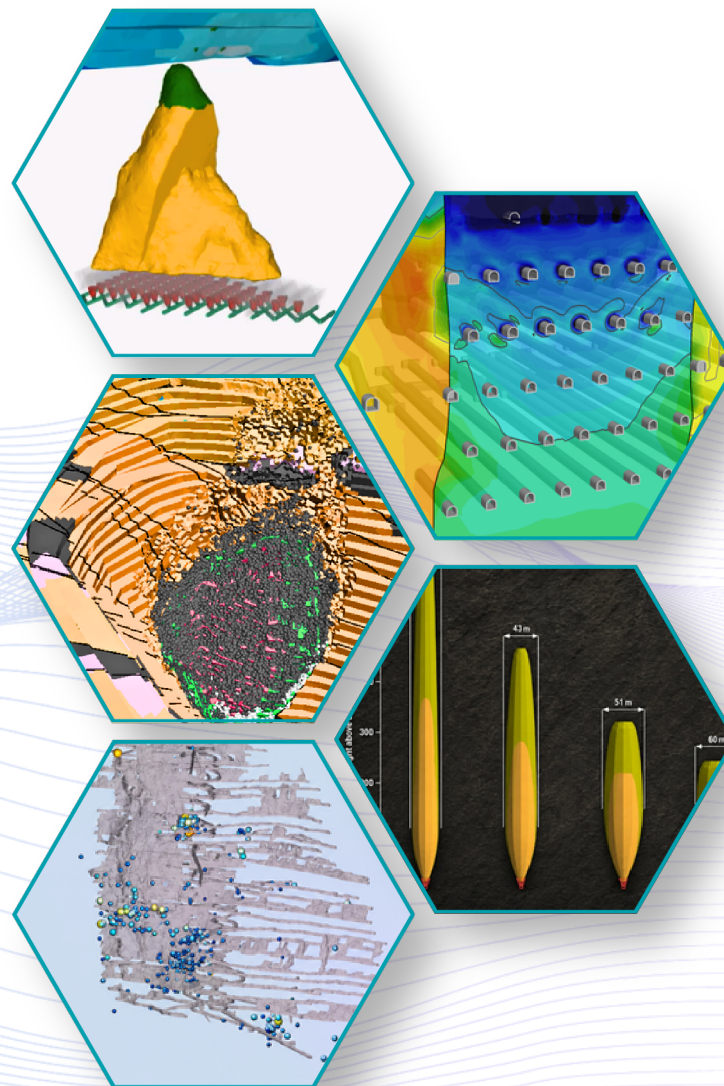




Nuestros Servicios

Los análisis **geomecánicos** que ofrece ITASCA son críticos para **comprender** y predecir aspectos tales como:

- **Hundibilidad** y geomecánica a escala de mina;
- Estabilidad y funcionalidad de la **infraestructura**;
- **Propagación** del hundimiento, **subsistencia** e interacción mina-superficie;
- **Fragmentación** del mineral, flujo y **control de la extracción**;
- Gestión del **riesgo sísmico, hidrogeológico y operacional**.



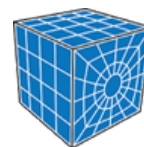


Nuestras Herramientas Marcan la Diferencia

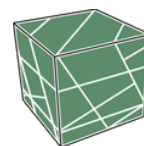
La amplia experiencia de ITASCA como desarrollador de software nos ha permitido **implementar todos los aspectos del análisis de minería por hundimiento** en una variedad de **herramientas propietarias**, tales como:

- **FLAC3D o 3DEC** para análisis esfuerzo-deformación en 3D, incluyendo el modelo constitutivo IMASS (*Itasca Model for Advanced Strain Softening*).
- **Griddle** for para mallado 3D y construcción de modelos.
- **IMAT** para interpretación microsísmica.
- **MassFlow** para análisis de flujo gravitacional.
- **MINEDW** para análisis numérico hidrogeológico.
- **XSite** para análisis de fracturamiento hidráulico y preconditionamiento del macizo rocoso.

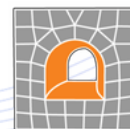
También empleamos códigos de terceros, como **CAVESIM**, basado en una formulación de autómatas celulares.



FLAC3D



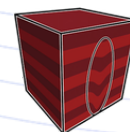
3DEC



Griddle



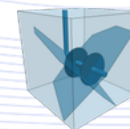
IMAT



MassFlow



MINEDW



XSite





Contenidos

Hundibilidad y Geomecánica a Escala de Mina	Página 6
Estabilidad y Funcionalidad de la Infraestructura	Página 7
Propagación del Hundimiento y Subsistencia	Página 8
Flujo de Mineral, Fragmentación y Control de Extracción	Página 9
Gestión del Riesgo Sísmico, Hidrogeológico y Operacional	Página 10
Personal Clave en Geomecánica Aplicada al Caving	Página 11

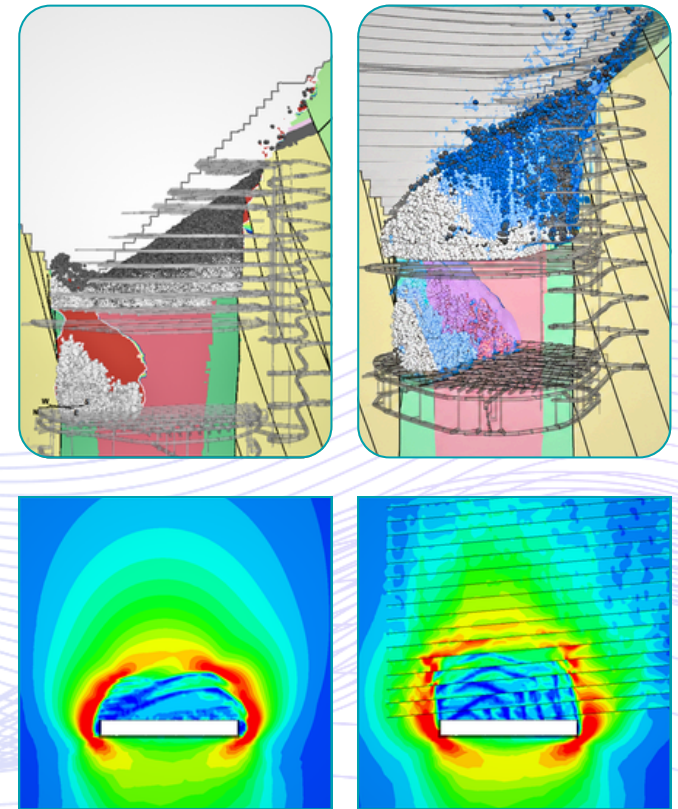


Hundibilidad y Geomecánica a Escala de Mina

Las **preguntas fundamentales** en minería por hundimiento son si el cuerpo mineralizado **hundirá** y, de ser así, **cómo**. **Predecir la propagación del hundimiento** mediante la evolución del tamaño y forma de las zonas sismogénicas, plastificada y movilizada asociadas al plan minero **es crítico para el diseño minero**. Esto establece un **radio hidráulico crítico** y entrega claridad sobre el **potencial de colgaduras** y formación de espacios de aire.

Algunas de las tareas asociadas a este tema incluyen:

- Evaluaciones de hundibilidad para la iniciación y propagación del hundimiento, incluyendo estructuras geológicas, trayectorias de esfuerzos y la degradación de resistencia mediante el modelo constitutivo **IMASS**.
- Desarrollo de modelos numéricos **3D** para evaluar **esfuerzos** in-situ e inducidos.
- Análisis del **preacondicionamiento (PA) del macizo rocoso** mediante fracturamiento hidráulico para asegurar la propagación. Uso de códigos como **XSite** para definir estrategia de PA.
- Predicción de **detención** del hundimiento y/o hundimiento **intermitente**, con el riesgo secundario no deseado de **air-blast**.
- Identificación de **zonas de alto riesgo** que afectan niveles de producción, infraestructura y el **layout** minero.





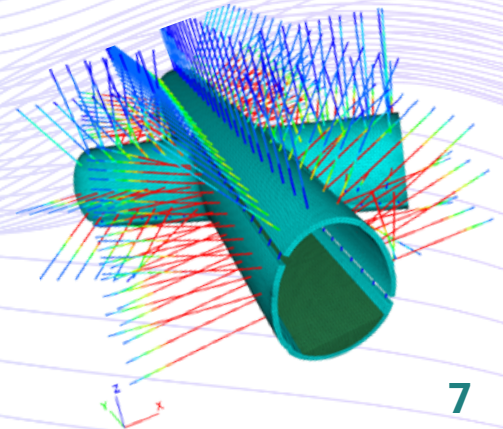
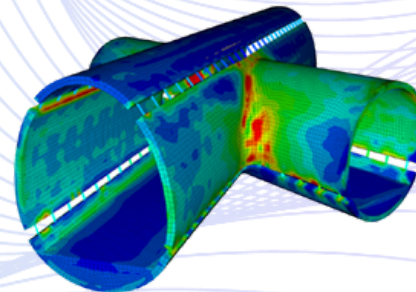
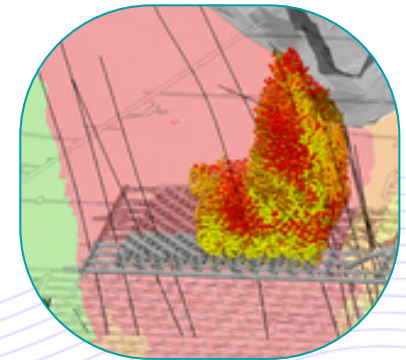
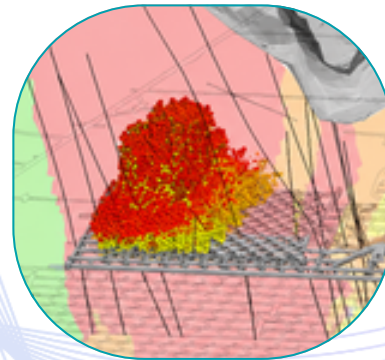
Estabilidad y Funcionalidad de la Infraestructura

El principal objetivo al diseñar la **infraestructura** para un proyecto de hundimiento es asegurar que esta **permanezca estable** y funcional durante toda **su vida útil**.

En este sentido, los **factores críticos** que se consideran en los análisis de ITASCA incluyen: parámetros que definen el **comportamiento del macizo rocoso**, componentes de **geología estructural**, forma del **footprint**, **programa** de extracción y caracterización del **campo de esfuerzos**.

Mediante el **uso adecuado de modelos numéricos**, ITASCA aborda los aspectos relevantes que controlan el **comportamiento** de la infraestructura, tales como:

- **Optimización** de los diseños de socavación, puntos de extracción y niveles de extracción, incluyendo el diseño y espaciamiento de pilares.
- Evaluación de opciones de **secuenciamiento** (avance de la socavación, estrategia de extracción) sobre la estabilidad, convergencia y funcionalidad de galerías y excavaciones relacionadas.
- Diseño de **sostenimiento** y verificación numérica para niveles de socavación y extracción, piques y excavaciones críticas.



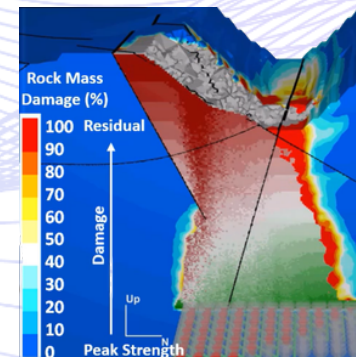
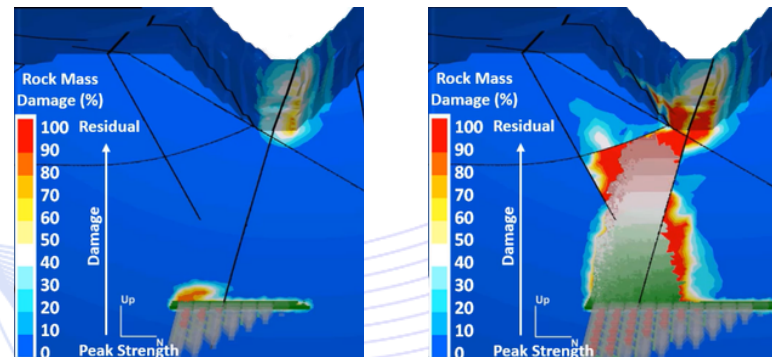
Propagación del Hundimiento y Subsistencia

Junto con el análisis de la ocurrencia del hundimiento, también es importante estimar sus **tasas de propagación** y definir los **límites** del mismo. La subsidencia inducida por la minería es un efecto inevitable de la extracción subterránea de mineral, al punto de que una **planificación adecuada** de un proyecto de minería por hundimiento debe evaluar el **impacto en movimientos de la superficie** y determinar las **distancias de resguardo** necesarias para la ubicación de piques mineros y otra infraestructura.

En el caso de la **transición desde minería superficial a subterránea**, la subsidencia puede tener un **efecto desestabilizador** sobre los taludes existentes, lo cual debe considerarse para planificar la **migración** del método minero o su **coexistencia segura**.

Algunas de las actividades habituales involucradas en este tema son:

- Modelamiento de la **evolución del techo** de la cavidad, la **propagación** del hundimiento y la **ruptura** hacia niveles superiores o la superficie.
- Predicción de **subsidencia** y evaluación de impacto sobre **infraestructura** y aspectos **ambientales**.
- Estudios de **interacción** entre **cavidades** y **excavaciones subterráneas** mayores (piques, rampas de acceso, pilares principales).



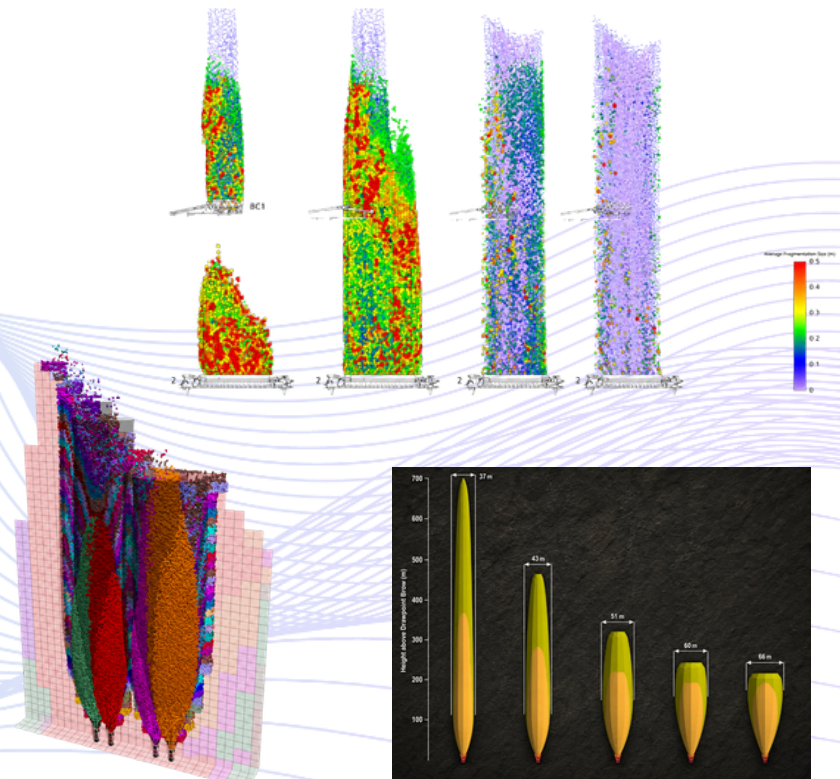
Flujo de Mineral, Fragmentación y Control de Extracción

Una mejor **comprensión del flujo** implica un **mejor control del hundimiento**, lo que conduce a una producción más **segura**, más **eficiente** y más **predecible** en operaciones de block caving y panel caving.

Mediante una evaluación confiable del flujo, ITASCA puede anticipar **tasas de propagación**, interacción entre **puntos de extracción**, ingreso de **dilución**, **colgaduras**, espacios de aire y movimiento irregular del material. Esto respalda el correcto **posicionamiento**, **espaciamiento** y **secuenciamiento** de los puntos de extracción, así como el diseño de niveles de extracción, diseños de socavación y sistemas de manejo de materiales.

Nuestros servicios en esta area incluyen:

- Evaluación del **espaciamiento de puntos de extracción** y **estrategias** de extracción para equilibrar recuperación, dilución y restricciones geomecánicas.
- Apoyo a **sistemas de control de extracción** mediante predicciones cuantitativas de **patrones de flujo**, **mezcla** y distribución de **leyes**.
- Evaluaciones de **fragmentación primaria** y **secundaria** y **modelamiento de flujo** de roca hundida (por ejemplo, MassFlow, CAVESIM) para comprender el comportamiento de extracción y el potencial de colgaduras.





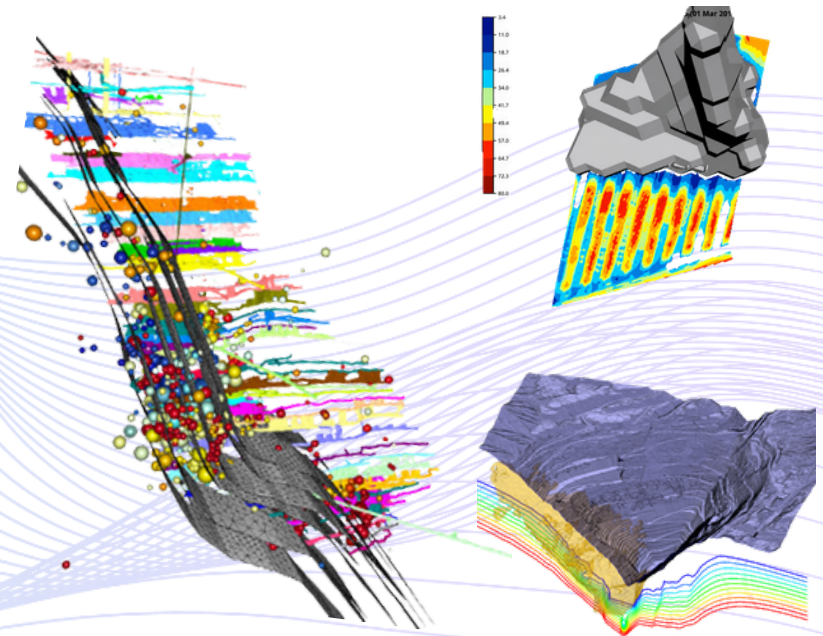
Gestión del Riesgo Sísmico, Hidrogeológico y Operacional

Integrar datos sísmicos, hidrogeológicos y de monitoreo con modelos numéricos es **esencial para gestionar el riesgo** en minería por hundimiento. A medida que el hundimiento progresa, estos datos ayudan a **rastrear cambios** de esfuerzos, presión de poros, deformación, crecimiento de la cavidad, subsidencia y **respuesta** de la infraestructura.

Al **vincular** observaciones en tiempo real con modelos calibrados, los ingenieros de ITASCA pueden **validar** supuestos, **detectar** señales tempranas de advertencia, **actualizar** pronósticos y **aplicar controles** antes de que los riesgos escalen. Esto mejora la **seguridad**, el **desempeño** del hundimiento, la **confiabilidad** de la producción y la **protección** de infraestructura minera crítica.

Algunas actividades en este campo incluyen:

- **Procesamiento de datos microsísmicos** mediante herramientas como IMAT (Itasca Mining Analysis Toolbox).
- Análisis **hidrogeológicos** y **acoplados hidro-geomecánicos** 3D de aguas subterráneas para evaluar afluencias, estrategias de despresurización y su impacto en la estabilidad y capacidad de hundimiento.
- **Integración de monitoreo y retroanálisis** (convergencia, microsismicidad, producción, afluencias).
- **Revisión independiente** por pares de grandes proyectos de minería por hundimiento.





Personal Clave en Geomecánica Aplicada al Caving



Catalina Álvarez

La Dra. Álvarez cuenta con amplia experiencia en modelamiento numérico aplicado a mecánica de rocas, en minería por hundimiento —BC, SLC, etc.— y rajo abierto, usando modelos constitutivos avanzados, como creep y strain softening. También ha calibrado campos de esfuerzos regionales para operaciones en Chile, Perú y EE. UU., y liderado análisis estáticos y dinámicos de estabilidad en relaves, embalses y botaderos.



Miguel Fuenzalida

Miguel es Ingeniero Principal en Geomecánica y Minería, con más de 14 años de experiencia en minería subterránea. Posee sólida experiencia técnica en hundimiento por subniveles, bloques y paneles, apoyando proyectos globales desde etapa conceptual hasta factibilidad. Ha participado en iniciativas internacionales clave de investigación incluidos los consorcios Mass Mining Technology (MMT) y Caving 2040.



Loren Lorig

El Dr. Lorig cuenta con más de 45 años de experiencia en proyectos de ingeniería que requieren consultoría geomecánica especializada. Su especialidad es aplicar modelos numéricos para resolver problemas de estabilidad, soporte y dinámica en ingeniería civil y minera. Actualmente, el Dr. Lorig trabaja en estudios de transición desde rajo abierto a minería subterránea por hundimiento en operaciones de todo el mundo.



Glenn Sharrock

El Dr. Sharrock tiene más de 20 años de experiencia en la industria minera, ocupando varios cargos en mecánica de rocas, incluidos Ingeniero Geotécnico Principal (Newcrest Mining, Holanda), Ingeniero en Mecánica de Rocas (Mt. Isa Mines), Consultor Geotécnico Senior, Profesor Titular de Ingeniería Geotécnica (UNSW) y Profesor Asociado de Geomecánica de Subsistencia (UQ).



"Impulsamos la evolución de la ingeniería geológica y las geociencias para mejorar el mundo, desarrollando colaborativamente soluciones innovadoras para problemas complejos."

oneitasca.com

itascasoftware.com