



Impulsando la *Inteligencia Operativa* del Futuro

>>>> Desarrolladores de tecnología IIoT, modelos matemáticos y análisis en tiempo real para optimizar el desempeño de plantas concentradoras, espesamiento y filtrado.

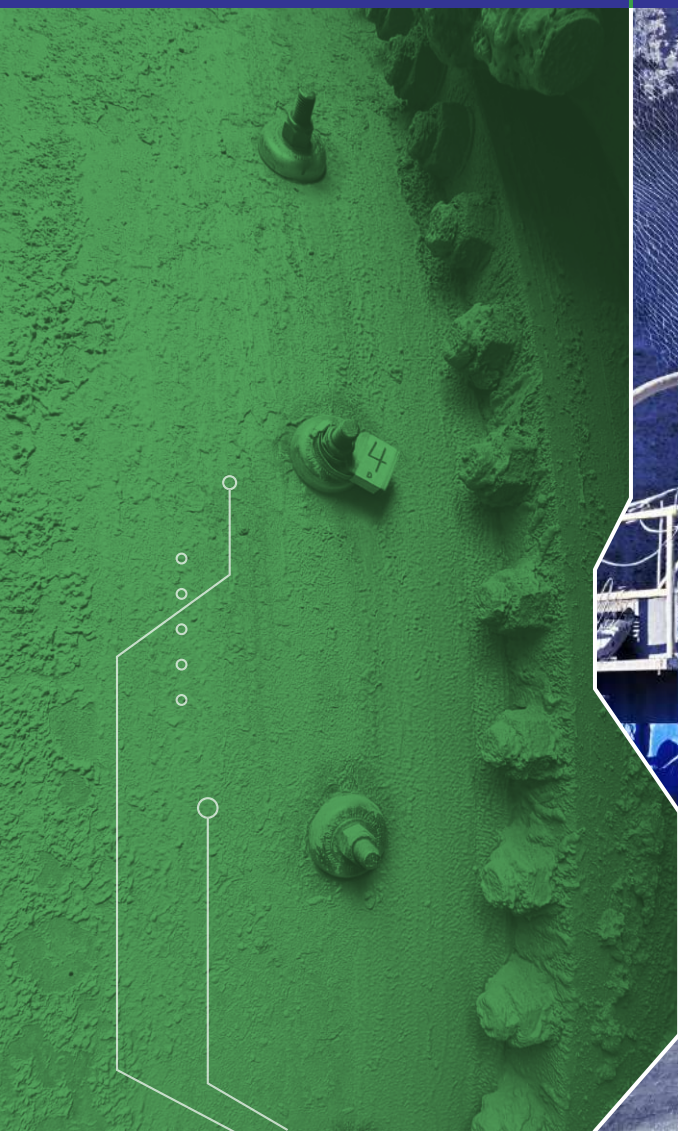


ÍNDICE

○		3
○		6
	Sistema IIoT de SmartMining	7
	2.1. Sensores	8
	2.2. Comunicación e Integración Sistema DCS	10
	2.3. Nube e Integración al PI System	13
	2.4. Modelamiento Matemático, Análisis prescriptivo e Inteligencia Artificial	15
	2.5. Plataforma Akiles	18
○		21
	3.1. SERVICIO SMART CRUSH Proceso de Chancado	22
	3.2. SERVICIO SMART MINING SYSTEM Proceso de Molienda	23
	3.3. SERVICIO SMART HYDRO Proceso de Clasificación	25
	3.4. SERVICIO SMART DENSE Proceso de Espesamiento	26
	3.5. SERVICIO SMART FILTER Proceso de Filtrado	27

1

Smart Mining ¿Quiénes somos?



¿Quiénes somos?

- Smart Mining desarrolla soluciones tecnológicas orientadas a **optimizar el control de procesos críticos en la industria minera, como chancado, molienda, clasificación y filtración.**
- Su misión es **aumentar la productividad y eficiencia de los procesos**, promoviendo prácticas seguras y sostenibles mediante el uso de tecnologías científicas avanzadas.

IIoT



Esto lo logramos mediante la implementación de **SENSORES IIoT** (Internet de las Cosas Industrial) que permiten la captura en tiempo real de variables críticas de operación, el desarrollo de algoritmos matemáticos avanzados y modelos analíticos validados por la industria que **identifican patrones, predicen comportamientos y optimizan procesos**. La combinación de datos en tiempo real provenientes de nuestros sensores con información operacional histórica de las faenas mineras, generan una visión integral y detallada del proceso.



A través de nuestra plataforma AKILES, una solución SaaS con capacidad de interoperar con los sistemas de control y visualización de planta, entregamos recomendaciones precisas y en tiempo real.

SMART
MINING®



➤ Las soluciones de Smart Mining impactan directamente en :

1/ La eficiencia energética

2/ El mantenimiento predictivo

3/ La seguridad operacional

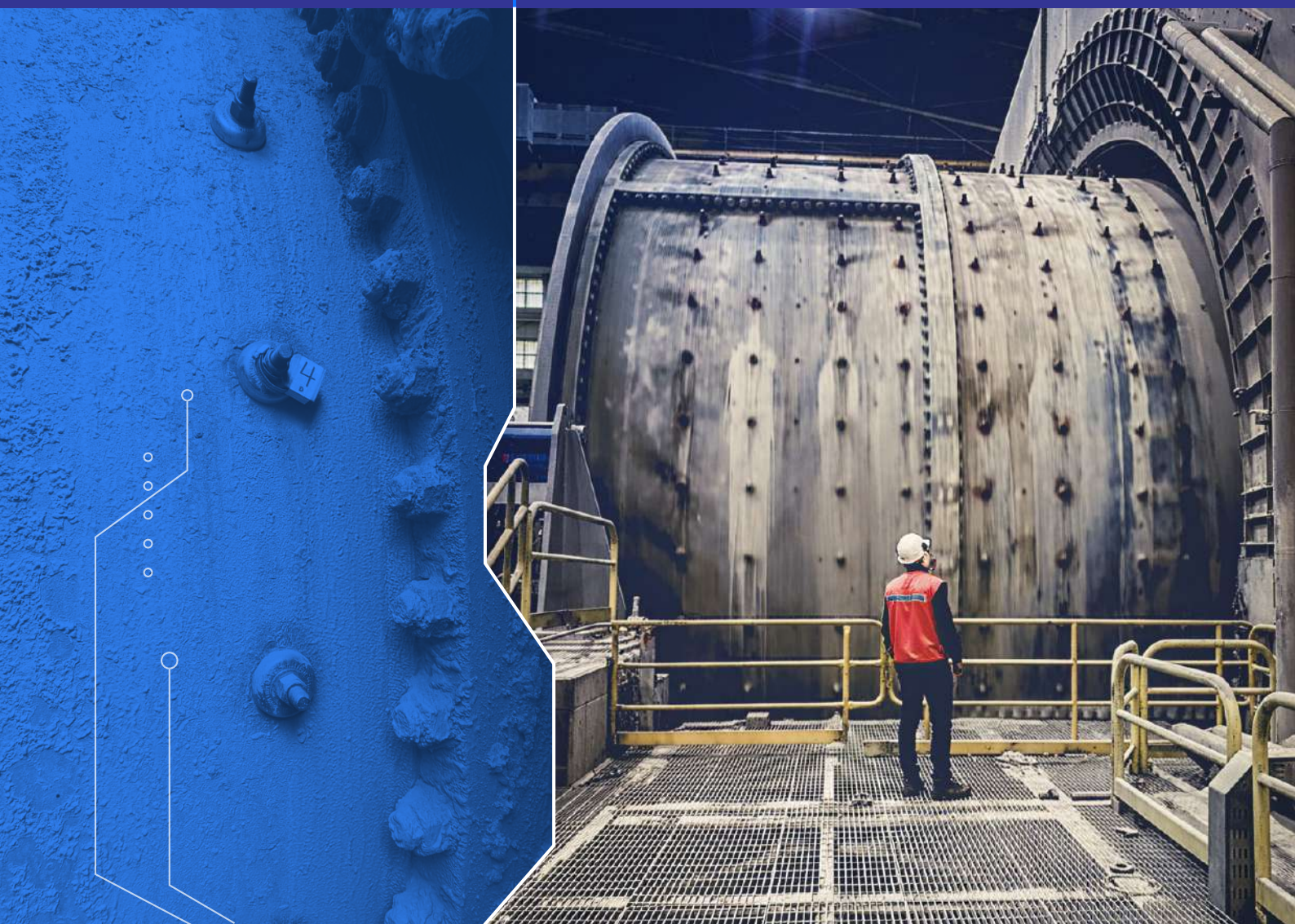
4/ La reducción de costos operativos

Más allá de la tecnología, la empresa transforma datos en decisiones estratégicas que impulsan una minería más inteligente, eficiente e innovadora.



2.5

Propuesta Tecnológica



Sistema IIoT de SmartMining

2

- **El Sistema IIoT** de SmartMining ha sido diseñado de manera integral e interoperable, con el propósito de adaptarse a las condiciones específicas de cada proceso minero, facilitando su implementación en una amplia variedad de activos críticos.



- Su arquitectura permite la integración de forma eficiente con infraestructuras existentes, optimizando el monitoreo, la gestión de datos y el control operacional en entornos desafiantes. A continuación se presentan los componentes claves del Sistema:



2.1. Sensores

>>>>>

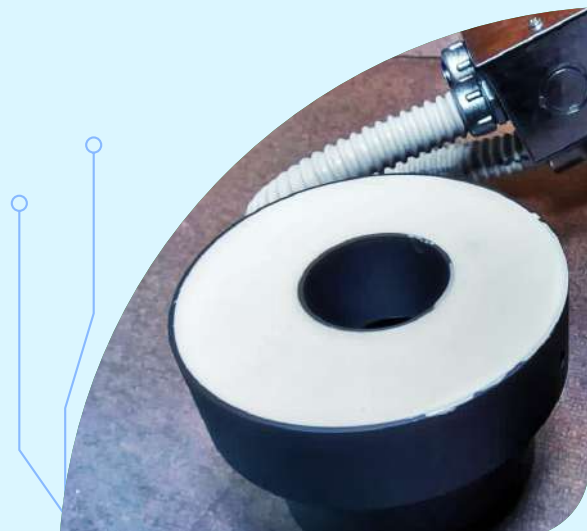


○ Nuestros sensores son el punto de partida de las soluciones tecnológicas que ofrece Smart Mining.

Están diseñados para operar con un bajo consumo energético gracias a la tecnología BLE, lo que les permite funcionar de manera eficiente en entornos extremos como los que se encuentran en la industria minera. Incorporan tecnología MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), que combina componentes eléctricos y mecánicos a escala microscópica, **lo que les otorga la capacidad de medir con alta precisión variables críticas como aceleración, impacto, giro, temperatura, sonido y el desgaste de los componentes en los que se instalan.**

La alta capacidad de respuesta

de estos sensores les permite capturar datos directamente de equipos críticos con una frecuencia de muestreo inicial de 0.25 milisegundos, transmitiendo la información recopilada cada segundo. Esto posibilita obtener una visión detallada y en tiempo real del estado operativo de los equipos y del proceso productivo en general. Los datos recolectados no solo permiten un monitoreo continuo, sino que también sirven de base para la creación de modelos de alerta temprana, mejorando significativamente la capacidad de anticipación y respuesta ante eventos críticos.





- Con una tasa de error de fábrica de apenas un 0.1%, estos sensores garantizan un rendimiento altamente confiable sin necesidad de calibración posterior a su instalación.

Su autonomía varía entre los 8 y 24 meses, dependiendo de la configuración realizada y de los objetivos específicos del análisis.



Nuestros sensores no requieren calibración después de la instalación y presentan un bajo nivel de mantenimiento.



2.2. Comunicación e Integración Sistema DCS

>>>>>



- **El sistema de comunicación de Smart Mining** está diseñado para garantizar la transmisión eficiente y segura de datos críticos, integrando una variedad de periféricos que cumplen funciones esenciales como la recepción, amplificación, repetición, transmisión, almacenamiento e integración de señales e información operativa.
- **El flujo de datos comienza con la transmisión de la información capturada por los sensores hacia antenas receptoras, que han sido estratégicamente ubicadas cerca de los activos a monitorear para asegurar una cobertura óptima.**



Una vez recolectada, la información es transportada hacia gateways instalados en gabinetes o en sistemas de amplificación de señal, ambos fabricados bajo el estándar NEMA 4X, lo que les otorga una alta resistencia para operar en entornos industriales hostiles y con condiciones extremas.



En este punto, la programación de nuestro gateway industrial desempeña un papel crucial al convertir los datos en lenguaje máquina a un formato estándar JSON, facilitando su procesamiento y compatibilidad con otros sistemas.

La transmisión de esta información hacia la nube privada en Microsoft Azure se realiza a través de redes 4G, Wi-Fi, Red Wi-Fi de la Minera o conexiones satelitales como StarLink,

- utilizando el protocolo de comunicación MQTT. Este proceso se lleva a cabo de forma encriptada, **lo que garantiza tanto la integridad como la seguridad de los datos** durante su tránsito, protegiéndolos frente a posibles amenazas cibernéticas.



Para lograr una integración efectiva con el sistema de control, se utiliza un periférico debidamente certificado que gestiona la comunicación bidireccional mediante cables UTP de baja pérdida o conexiones de fibra óptica. A través de este canal, se reciben datos operacionales en tiempo real y se envían datos críticos que son fundamentales para la operación continua de los procesos mineros. Esta comunicación se basa en el protocolo estándar OPC-UA, reconocido por su robustez, eficiencia y capacidad de adaptarse a entornos industriales complejos.

El propósito final del diseño de nuestro sistema de comunicación

es habilitar la toma de decisiones automatizadas frente a distintos comportamientos operativos, facilitando la implementación de lazos de control integrados en el DCS.

De esta manera, se optimiza la eficiencia de los procesos, se mejora la seguridad operativa, se contribuye a la continuidad y confiabilidad de las operaciones mineras en entornos dinámicos y desafiantes.



2.3. Nube e Integración al PI System

>>>>



- Nuestra plataforma se encuentra desplegada en una nube privada de Microsoft Azure, diseñada para ofrecer entornos independientes para cada faena, **lo que permite almacenar, procesar y analizar datos de forma segura y en tiempo real. Esta arquitectura asegura que cada operación minera cuente con un espacio exclusivo que garantiza la integridad y confidencialidad de la información crítica.**

Una de las principales fortalezas de nuestra plataforma es su capacidad de monitoreo en tiempo real, lo que permite visualizar de manera continua el estado de las operaciones y el rendimiento de los equipos. Además, la seguridad y la alta disponibilidad están garantizadas mediante la infraestructura de Azure, que cuenta con centros de datos de respaldo distribuidos en distintas regiones, asegurando la continuidad operativa incluso en situaciones de contingencia. Para proteger la integridad de los datos, se han implementado sistemas de

seguridad avanzados que mitigan riesgos asociados a fallos técnicos y ciberataques. **La plataforma también destaca por su escalabilidad, lo que le permite adaptarse de manera orgánica a operaciones de diferentes tamaños, desde pequeños proyectos hasta complejas infraestructuras mineras,** sin la necesidad de adquirir hardware adicional o modificar la arquitectura existente.



➤ En cuanto al flujo de datos operacionales, la información se transmite desde nuestros gateways instalados en las faenas hacia la nube privada

de Azure, utilizando el protocolo MQTT con conexiones seguras de tipo punto a punto, respaldadas por la autenticación mediante tokens únicos. Una vez que los datos llegan a la nube, son gestionados por el componente IoT Hub, que se encarga de encolarlos y distribuirlos de manera eficiente hacia los diferentes componentes arquitectónicos de nuestra plataforma. Esto permite su posterior visualización,

almacenamiento, modelado y distribución, todo alineado con las reglas de negocio definidas para cada operación.

La integración con PI System se realiza a través de API o el componente *Aveva Connect* que facilita una comunicación fluida entre sistemas.

De este modo, se enriquecen los procesos de modelado descriptivo, prescriptivo y predictivo, aportando una visión integral que mejora la toma de decisiones estratégicas en las operaciones mineras.

2.4. Modelamiento Matemático, Análisis Prescriptivo e Inteligencia Artificial

>>>>



- En la nube privada de Azure, **aplicamos modelamiento matemático combinado con técnicas avanzadas de *Machine Learning*** para analizar, predecir y optimizar las dinámicas operativas en los distintos procesos productivos que monitoreamos. Este enfoque resulta fundamental para incrementar la eficiencia operativa, reducir costos y maximizar la utilización de recursos, permitiendo la toma de decisiones basada en datos precisos y en tiempo real.
- En el caso de molienda, nuestro enfoque combina modelos fisicomatemáticos con algoritmos de aprendizaje automático, integrando además los tres principales modelos de potencia para molienda — Morrell, Austin y Hogg & Fuerstenau —. Esta integración nos permite lograr una comprensión profunda del comportamiento de los procesos mineros. Como resultado, facilitamos la automatización y la optimización dinámica, adaptándonos continuamente a las condiciones operativas cambiantes de cada faena, lo que garantiza un control más eficaz y eficiente de los recursos.

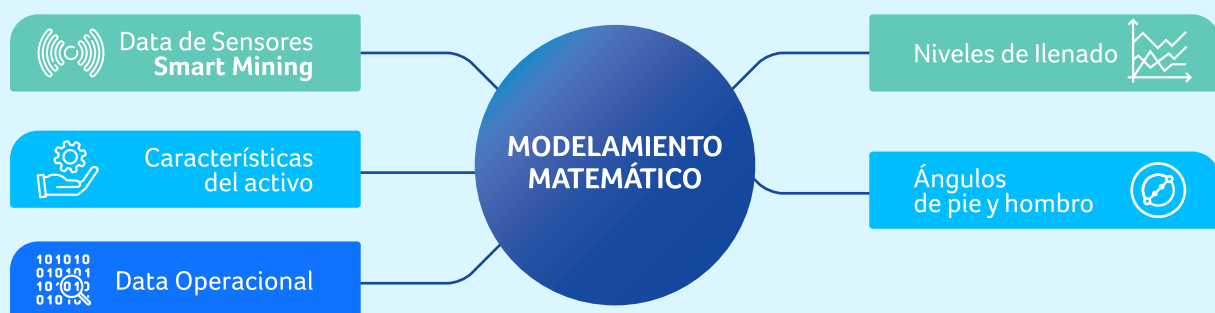


Diagrama 1
Modelamiento matemático
para proceso de molienda

○ **El proceso comienza con la adquisición y preprocesamiento de datos**, donde mediante nuestros sensores capturamos información en tiempo real sobre variables operativas críticas, como vibración, velocidad de giro, temperatura, desgaste de componentes entre otros. Esta fase es crucial para asegurar la calidad de los datos, permitiendo una base sólida para los siguientes análisis.

➤ **A continuación, realizamos la depuración y estandarización de los datos** mediante técnicas de limpieza, imputación y filtrado, con el objetivo de eliminar sesgos, reducir el ruido y asegurar la confiabilidad de la información. Aplicamos métodos de normalización que permiten garantizar la homogeneidad de los datos y su compatibilidad con modelos analíticos avanzados. En esta etapa, también integramos datos históricos con

información en tiempo real, generando un conjunto de datos robusto y representativo que alimenta nuestros modelos de optimización con una visión precisa y actualizada de la realidad operativa.

➤ **En la fase de modelamiento matemático y Machine Learning:**

1. Desarrollamos modelos fisicomatemáticos combinados con algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado, lo que nos permite representar de manera dinámica el comportamiento de los procesos mineros.

2. Utilizamos modelos descriptivos para identificar patrones y correlaciones relevantes, modelos prescriptivos que permiten generar recomendaciones

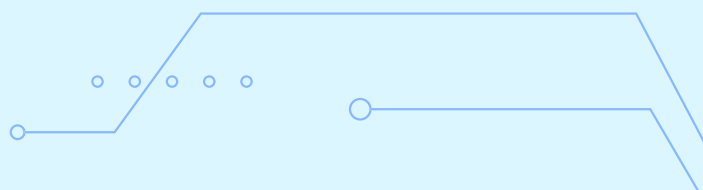
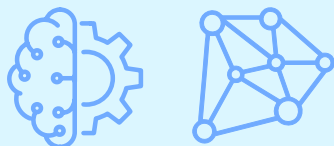


operativas basadas en simulaciones y análisis de sensibilidad, y modelos predictivos diseñados para anticipar fallos, identificar el desgaste de equipos y predecir variaciones en el rendimiento de los procesos.

➤ **La última fase está orientada a la optimización y el control inteligente,** donde, a partir de los modelos entrenados:

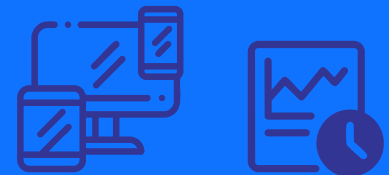
1. Generamos parámetros clave que permiten un control dinámico y adaptativo en función de diferentes configuraciones operativas.
2. Utilizamos técnicas de vanguardia como redes neuronales, árboles de decisión y modelos de series temporales, que nos permiten realizar recomendaciones en tiempo real con alta precisión y adaptabilidad.
3. Esta optimización se adapta de manera continua a las condiciones cambiantes del entorno operativo, maximizando la eficiencia del proceso, reduciendo los tiempos de inactividad no planificados y mejorando la toma de decisiones estratégicas.

A través de este enfoque integral, garantizamos que las operaciones mineras no solo sean más eficientes y rentables, sino también más resilientes frente a los desafíos de un entorno en constante cambio.



2.5. Plataforma Akiles

>>>>>



- **AKILES es una plataforma web de última generación desarrollada para el monitoreo inteligente de activos en la industria minera**, orientada a visualizar, administrar y optimizar el rendimiento de equipos críticos mediante recomendaciones en tiempo real. Su arquitectura está diseñada para permitir un acceso ágil y seguro desde cualquier lugar del mundo, a través de una URL personalizada para cada operación minera, lo que asegura altos niveles de flexibilidad y eficiencia en la gestión remota de los activos.

- **La plataforma cuenta con una arquitectura integral diseñada para ofrecer una experiencia de usuario optimizada.** Su compatibilidad con computadoras, tablets y dispositivos móviles permite un monitoreo eficiente tanto en terreno como desde ubicaciones remotas. Además, su interfaz intuitiva facilita una navegación fluida, lo que favorece una toma de decisiones ágil y precisa basada en datos en tiempo real.

En el núcleo de AKILES se encuentra un sistema de configuración avanzada que permite a los administradores crear perfiles personalizados con distintos niveles de acceso, según los roles

operativos, técnicos o administrativos. Esta flexibilidad en la gestión de usuarios garantiza un control seguro y eficiente tanto de la información como de los activos, y posibilita la personalización de parámetros específicos para cada equipo según sus características y requerimientos operacionales.

La posibilidad de administrar pantallas personalizables para cada usuario o área de operación, junto con un sólido sistema de alertas automáticas, permite configurar notificaciones tipo “push” que se distribuyen de manera eficiente a través de canales como WhatsApp, correo electrónico o SMS, garantizando así la entrega oportuna de información crítica.

La seguridad de los datos se garantiza mediante el uso de accesos cifrados y sistemas de auditoría que protegen la integridad y confidencialidad de la información en todo momento.

La visualización en AKILES está orientada a usuarios finales, ofreciendo una visión clara y eficiente del rendimiento de los activos. Permite monitorear en tiempo real los principales indicadores clave de desempeño (KPI) desde una única pantalla, lo que facilita el análisis continuo de la operación. Además, incorpora herramientas para el análisis

de datos históricos, con funciones para consultar registros por rangos de fechas específicos y filtrar eventos críticos o periodos relevantes, lo que permite identificar patrones y tendencias operativas. La opción de exportar la información en diversos formatos, como Excel, CSV y PDF, simplifica la generación de informes personalizados, útiles tanto para la toma de decisiones estratégicas como para la elaboración de reportes de gestión.

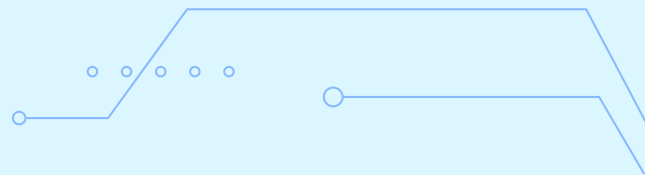


Figura 2.5:
Interfase de Plataforma Akiles

- -
 -
 -
 - +
- AKILES** no solo permite el monitoreo en tiempo real de activos críticos, sino que también convierte grandes volúmenes de datos en decisiones operativas inteligentes, lo que contribuye al cuidado de los equipos, mejora la productividad y refuerza la seguridad en las operaciones mineras.

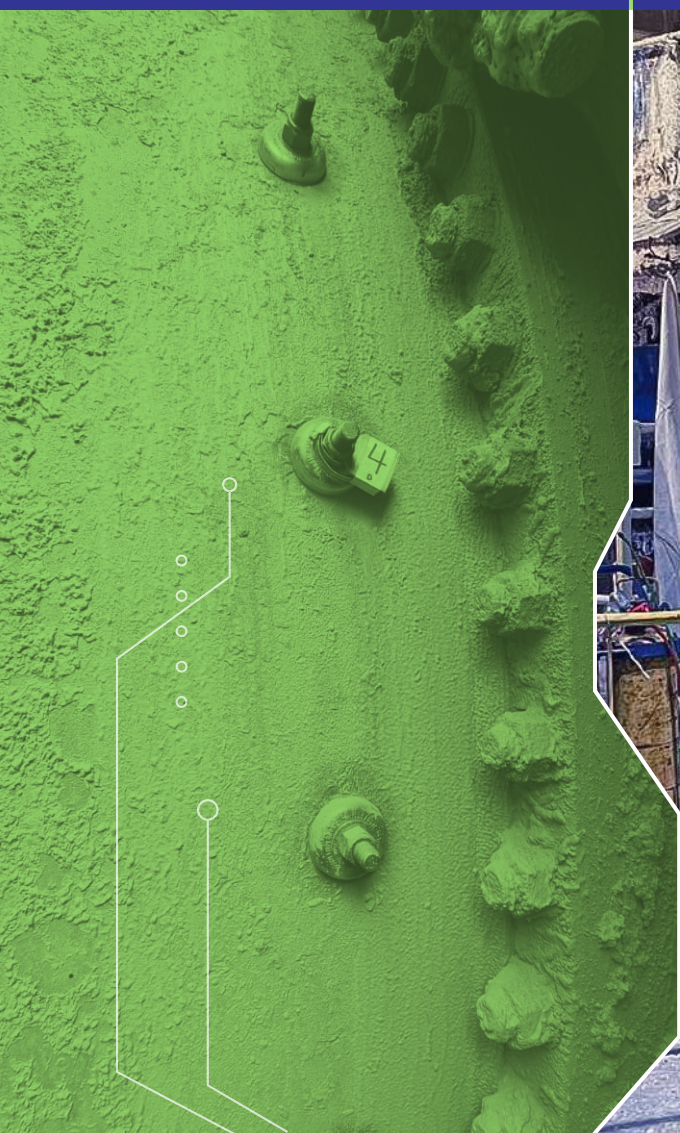
Gracias a su capacidad de análisis y respuesta, AKILES se posiciona como una herramienta esencial para la gestión eficiente de procesos en entornos mineros complejos, siendo un motor clave en la transformación digital de la industria.



3

Smart Mining

Líneas de Servicio



3.1. Servicio Smart Crush : Proceso de Chancado



○ Principio de servicio

Sensores instalados en los revestimientos del manto y cóncavas de chancadoras cónicas determinan el desgaste de revestimientos y el valor del CSS en tiempo real.

→ Propuesta de valor



1 Mediciones de la tasa de desgaste de los revestimientos de mantos y cóncavas en tiempo real.



2 Determinación de CSS de chancadoras de manera remota y en tiempo real.



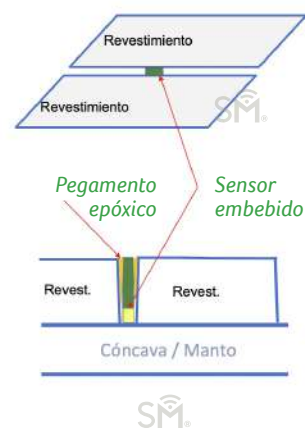
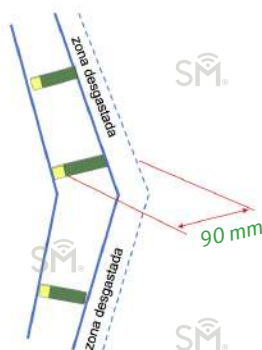
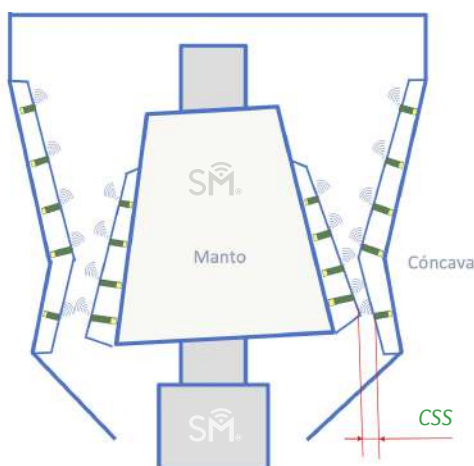
3 Reducción de exposición de personas para realizar mediciones del CSS.

Hasta 32 sensores en mantos y concavas

Monitoreo de CSS en tiempo real

90 mm de capacidad de medición de desgaste

Instalación no invasiva y segura



· Ubicación de sensores son referenciales, sujetas a configuración de la planta.

Esquema 1
Sistema Smart Crush

3.2. Servicio Smart Mining System : Proceso de Molienda



○ Principio de servicio

Sensores instalados en tuercas externas de las carcasas de molinos de bolas y SAG mediante registro de impactos que experimenta la carcasa permite determinar parámetros de molienda en tiempo real.

Sensores instalados dentro de un grupo de medios de molienda son introducidos al molino en operación para determinar el desgaste en tiempo real que presentan las bolas en el proceso de molienda.

→ Propuesta de valor



1 Monitoreo operacional
de niveles de llenado de carga, llenado de bolas, ángulo de pie, ángulo de hombro e identificación de impactos críticos de forma remota y en tiempo real.



2 Identificación de zonas de mayor desgaste
de revestimientos del molino en base al movimiento interno de carga (por los impactos).



3 Medición de desgaste
de medios de molienda en tiempo real.



4 Minimizar la exposición de personal
al reducir actividades de medición dentro de los molinos.

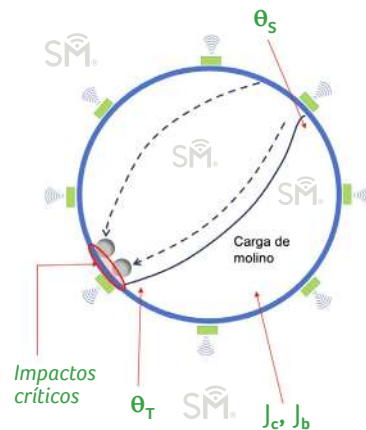
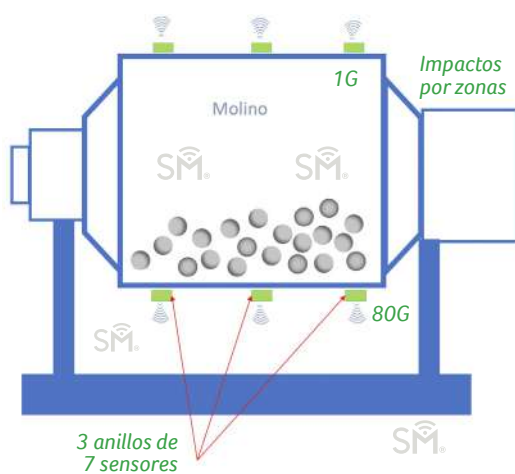
Servicio Smart Mining System : Proceso de Molienda

18 - 30 sensores
en carcasa

Identifica zonas del molino
con más **impactos críticos**

Monitoreo de J_c , J_b , θ_T , θ_s
impactos en tiempo real

Instalación
no invasiva



· Ubicación de sensores son referenciales, sujetas a configuración de la planta.

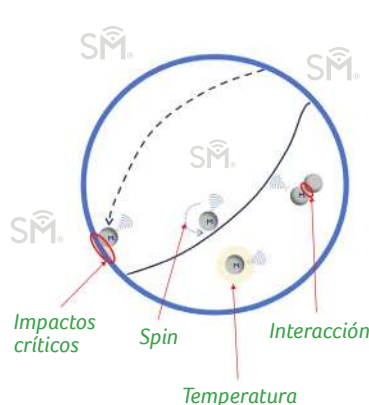
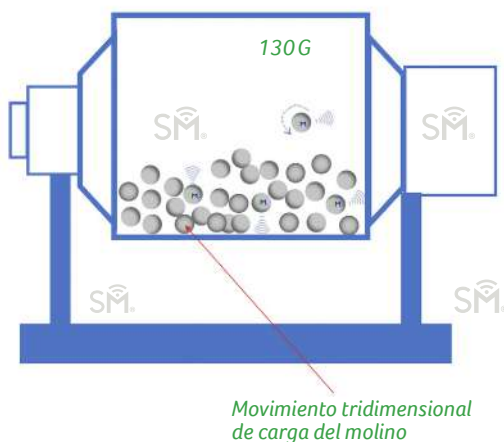
Esquema 2
Sistema Smart Mining System

50 bolas
sensorizadas

Hasta 130G de
medición de impacto

Monitoreo de desgaste de bola, spin,
temperatura e impactos en tiempo real

Instalación
segura



Esquema 3
Sistema Smart Mining System Advance

3.3. Servicio Smart Hydro : Proceso de Clasificación



○ Principio de servicio

Sensores instalados en los ápex de los hidrociclones registran vibraciones para determinar el régimen de descarga de cada hidrociclón en tiempo real.

→ Propuesta de valor



1 Monitoreo del régimen de descarga de los hidrociclones (*roping, semiroping y spray*) de forma remota y en tiempo real.

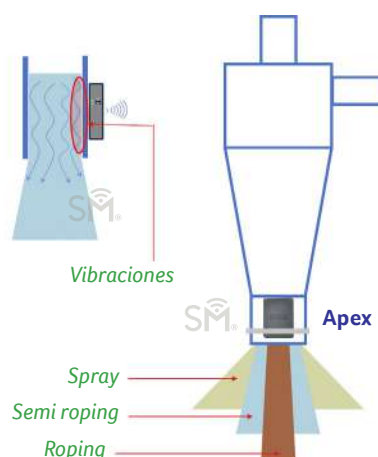


2 Detección temprana de acordonamientos de los hidrociclones y alerta de anomalías en hidrociclones.

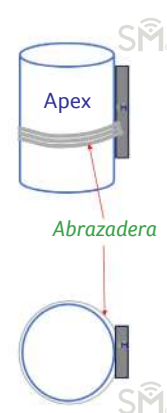
Detecta acordonamiento y **alertas** sobre anomalías de los hidrociclones



Monitoreo de **régimen de descarga** de cada hidrociclón en **tiempo real**



Instalación **no invasiva**



Esquema 4
Sistema Smart Hydro

3.4. Servicio Smart Dense : Proceso de Espesamiento



○ Principio de servicio

Sensores instalados en bombas de la alimentación, bombas de descarga y el **eje de rastra de espesadores**, a través de registro de vibración, giro y temperatura aseguran disponibilidad, confiabilidad y máxima utilización.



1 Monitoreo del movimiento del eje de la rastra, temperatura y vibración de las bombas en la unidad hidráulica y underflow en tiempo real.



2 Alertas tempranas sobre anomalías y probabilidad de fallas de bombas y rastra del espesador.



3 Promueve el ajuste operacional del espesador para mantener el balance de filtrado.

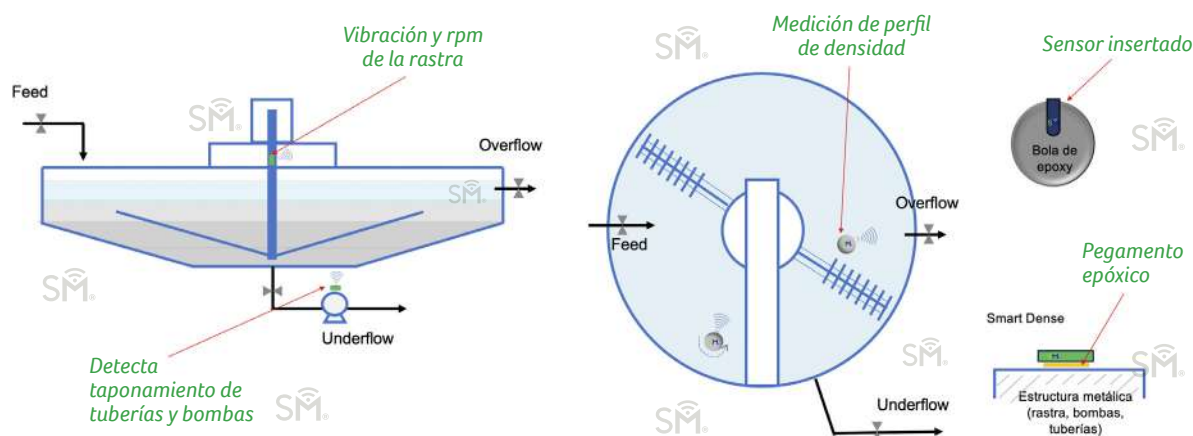
→ Propuesta de valor

10 - 15 sensores en *underflow* y rastras

Sensibilidad de 0.1G en medición de impacto

Monitoreo de parámetros críticos y anomalías en tiempo real

Instalación no invasiva



· Ubicación de sensores son referenciales, sujetas a configuración de la planta.

Esquema 5
Sistema Smart Dense

3.5. Servicio Smart Filter : Proceso de Filtrado



○ Principio de servicio

Sensores instalados en elementos claves de equipos de filtración permiten el monitoreo en tiempo real de vibración, temperatura y deformación mecánica, asegurando la disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos críticos.

Se incluyen **sensores de vibración** en los polines y la unidad hidráulica, sensores de temperatura en la unidad hidráulica, y **sensores de deformación** en las celdas de carga, con el objetivo de **detectar esfuerzos anómalos, desgaste estructural y eventos de alta carga mecánica**.

→ Propuesta de valor



1 Monitoreo en tiempo real de vibraciones y temperatura en la unidad hidráulica y polines, y **deformaciones mecánicas** en celdas de carga, identificando condiciones críticas en la operación del sistema de filtrado.



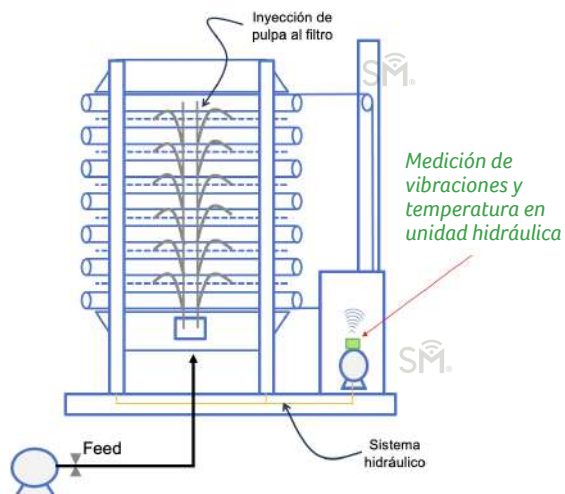
2 Detección automática de anomalías estructurales o mecánicas, como aumento de vibración, sobrecalentamiento o deformación, que podrían anticipar fallas mayores en la operación de la planta de filtros.



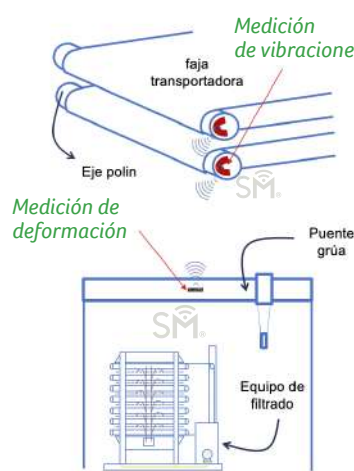
3 Seguimiento de la evolución del desgaste en elementos sometidos a carga, como vigas o zonas críticas del filtro prensa, mejorando la planificación del mantenimiento.

Servicio Smart Filter : Proceso de Filtrado

Sensores en unidad hidráulica y estructuras críticas soporte del equipo de filtrado



10 sensores en polines y sensores en zona central de **punto grúa**



Instalación segura



· Ubicación de sensores son referenciales, sujetas a configuración de la planta.

Esquema 6
Sistema Smart Filter

CONTACT



CHILE

Santiago

Av. Andres Bello 2777

Oficina 1201 · Las Condes

Antofagasta

Pasaje Limache 277

smartmining.biz
sm@smartmining.biz



CREDITOS

Diseño Gráfico y Edición Fotográfica
Diana Alcántara Loli

Fotografía · Recursos Gráficos

Smart Mining / Adobe Stock / IA Adobe
freepik.com / flaticon.es