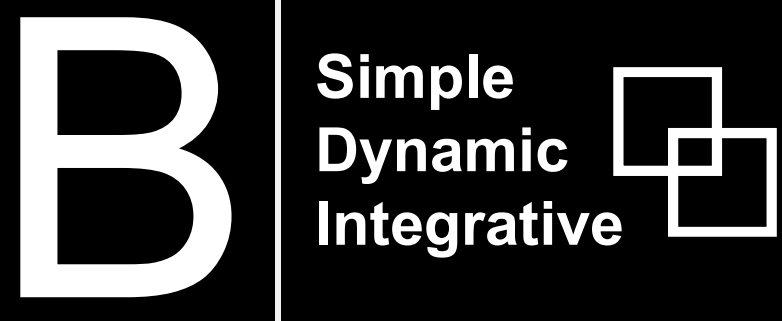




www.benmac-mining.com



Prospectiva tecnológica Benmac Mining
Implementación de Robots Humanoides en Minería



www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

Potencial de automatización en minería

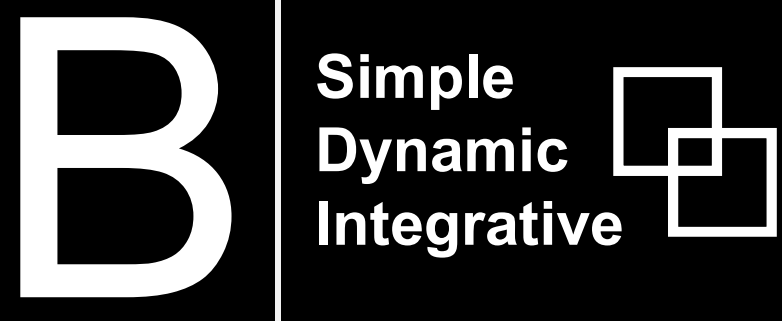
Los robots humanoides como Optimus, Atlas, Figure 02, Apollo, Digit, Phoenix, NEO X1 y 4NE-1 representan un paso hacia la automatización de tareas complejas y repetitivas que hoy requieren intervención humana directa. En minería, esto incluye inspección de túneles, manejo de materiales peligrosos, monitoreo de maquinaria y apoyo logístico en rajo abierto o subterráneo. Su ventaja principal radica en la capacidad de operar en entornos complejos y adaptativos, donde los vehículos autónomos o drones tienen limitaciones físicas o de navegación.



Qué es AMECA?

Ameca es el robot humanoide más avanzado del mundo, que representa la vanguardia de la tecnología en robótica humana. Diseñado como una plataforma para el desarrollo de futuras tecnologías robóticas, Ameca es la plataforma humanoide perfecta para la interacción entre humanos y robots.

La inteligencia artificial similar a la humana necesita un cuerpo artificial similar al humano (IA × CA).



www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

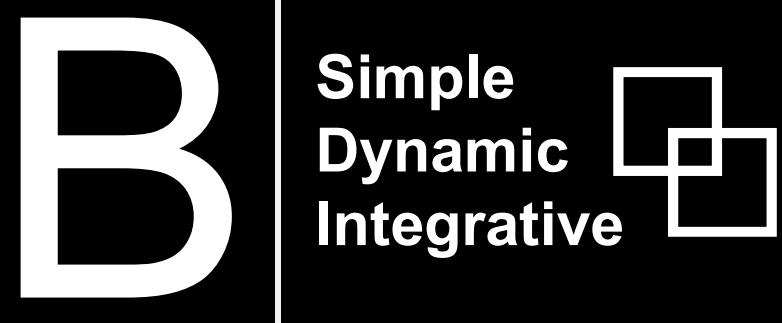
Qué es Optimus?

Ventajas sobre maquinaria tradicional:

A diferencia de la maquinaria pesada autónoma, estos robots podrían realizar tareas que requieren destreza, manipulación fina y adaptación a cambios del entorno, por ejemplo ajustar válvulas, operar equipos de mantenimiento o realizar inspecciones visuales y sensoriales detalladas. Su uso también permitiría reducir riesgos de accidentes en operaciones peligrosas, disminuir la exposición a condiciones extremas de temperatura, polvo y gases, y aumentar la continuidad operativa al poder trabajar en turnos extendidos sin fatiga humana.



Optimus (también conocido como Tesla Bot) es el robot humanoide desarrollado por Tesla. Fue presentado por primera vez por Elon Musk en agosto de 2021 y su desarrollo sigue en curso. Su propuesta es la de un robot bípedo, de apariencia humanoide, diseñado para realizar tareas físicas repetitivas, peligrosas o aburridas para los humanos, [aprovechando la experiencia de Tesla en inteligencia artificial, visión por computadora y sistemas de energía.](#)



www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

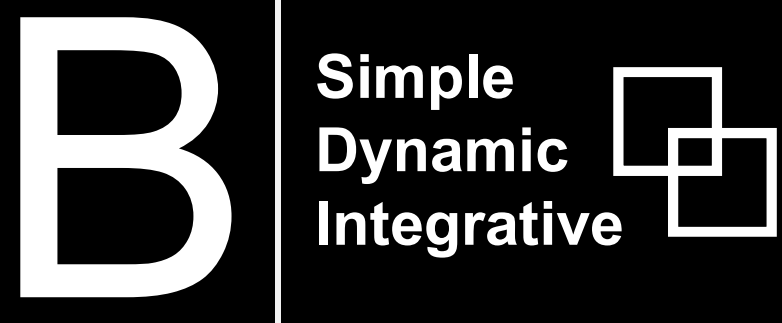
Qué es Atlas?

Etapas de implementación

La adopción masiva de robots humanoides en minería probablemente se dará de manera gradual y segmentada, comenzando en tareas de apoyo en plantas concentradoras, almacenes y zonas de carga/descarga, donde el entorno es más controlado. La segunda etapa incluiría pruebas en entornos subterráneos o de rajo abierto, inicialmente en operaciones piloto para evaluar desempeño, resistencia, autonomía y seguridad. La última etapa, a largo plazo, sería su integración completa en operaciones de extracción y mantenimiento de infraestructura crítica.

Atlas es el robot humanoide avanzado desarrollado por Boston Dynamics, **uno de los robots bípedos más conocidos del mundo por su movilidad y agilidad**. Fue presentado por primera vez en 2013 y ha pasado por varias generaciones de mejoras hasta la actualidad. Atlas fue diseñado principalmente como plataforma de investigación en robótica, enfocándose en movimiento dinámico, equilibrio y manipulación.





www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

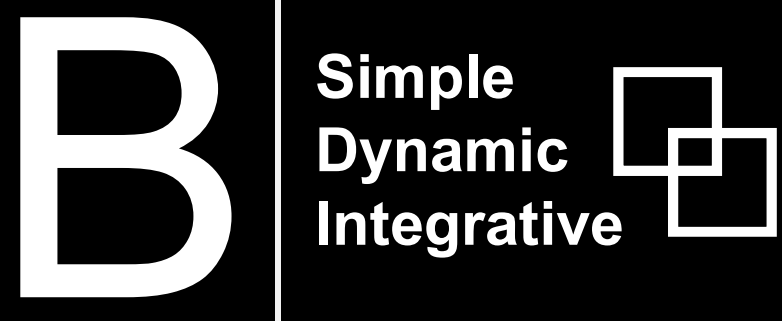
Costos asociados

Los robots humanoides avanzados presentan costos iniciales elevados, tanto en adquisición (rango estimado de 50.000 a 250.000 USD por unidad según complejidad y capacidades) como en mantenimiento, software, sensores y entrenamiento de personal. Sin embargo, los beneficios en términos de reducción de accidentes, aumento de productividad, menor dependencia de mano de obra escasa y optimización de procesos podrían justificar la inversión en operaciones medianas y grandes. En minería, donde los costos de incidentes y paralizaciones son altos, incluso un despliegue parcial puede ser rentable.



Qué es Figure 02?

Figure 02 es un robot humanoide de segunda generación desarrollado por la empresa estadounidense Figure AI, con sede en California. Presentado en agosto de 2024, este robot está diseñado para realizar tareas físicas en entornos industriales, como fábricas y almacenes, con el objetivo de asistir a los trabajadores humanos en labores repetitivas y exigentes. **Figure 02 ha sido probado en la planta de BMW en Spartanburg, Carolina del Sur, donde ha realizado tareas como la colocación de piezas en la línea de ensamblaje**



www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

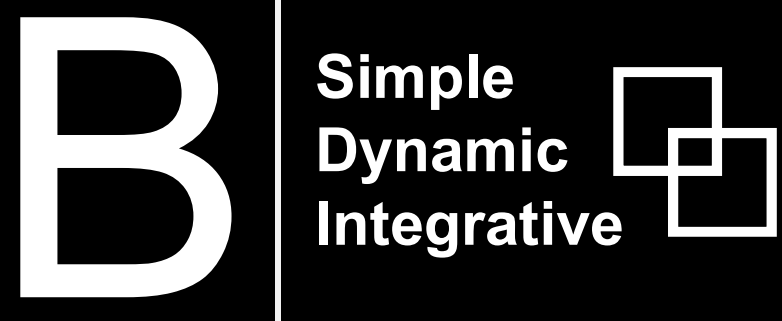
Beneficios estratégicos

Más allá de la eficiencia operativa, implementar robots humanoides en minería tiene un valor estratégico significativo: posiciona a la empresa como líder en innovación tecnológica, mejora la sostenibilidad al reducir riesgos de accidentes y exposición humana, y permite recopilar datos precisos en tiempo real para análisis predictivo. Además, estos robots podrían colaborar con sistemas autónomos ya existentes (camiones, perforadoras, drones), creando un ecosistema de minería más inteligente, resiliente y seguro.



Qué es Apollo?

El robot Apollo es un robot humanoide desarrollado por la empresa estadounidense Apptronik. Diseñado para tareas industriales y comerciales, Apollo se destaca por su modularidad, seguridad y capacidad de carga, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en fábricas, almacenes, logística y más. **Apollo se considera el primer robot humanoide comercial** diseñado para interacción amigable, alta capacidad de carga y seguridad. Su diseño modular permite adaptarlo a diversas plataformas y tareas, facilitando su integración en entornos industriales.



www.benmac-mining.com

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

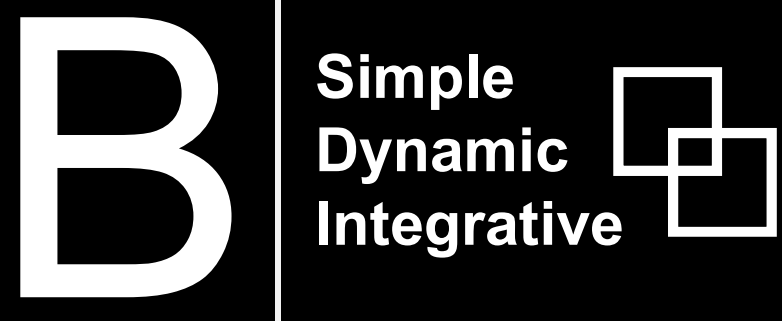
Desafíos y barreras

La principal barrera sigue siendo la robustez y autonomía de estos robots en entornos extremadamente hostiles, donde polvo, humedad, golpes y vibraciones son constantes. La adaptación a rutinas de minería requiere integración con software de control industrial, protocolos de seguridad y sistemas de energía robustos. Por esto, el despliegue completo podría tardar 5-10 años en minas activas a gran escala, aunque pilotos y pruebas en áreas específicas podrían implementarse en 3-5 años dependiendo del avance tecnológico y la inversión..



Qué es Digit?

Digit es un robot humanoide desarrollado por la empresa estadounidense Agility Robotics. Desde su lanzamiento en 2019, Digit ha evolucionado para convertirse en una herramienta clave en la automatización de tareas físicas en entornos industriales, como almacenes y centros de distribución. Digit ha sido implementado en diversas instalaciones para automatizar tareas repetitivas y mejorar la eficiencia operativa. En 2023, Amazon comenzó a probar Digit en su centro de investigación y desarrollo en Seattle, con el objetivo de automatizar tareas de manipulación de materiales.



www.benmac-mining.com

Cuál Implementar en entornos mineros?

Para implementación inmediata en minería, Digit y Apollo son los más avanzados en términos de manipulación de materiales, modularidad y seguridad. Atlas sería el mejor para inspecciones y supervisión en terrenos complejos. Robots como Figure 02, Phoenix y 4NE-1 tienen aplicaciones valiosas en plantas y logística, mientras que Optimus y NEO X1 aún requieren varios años de desarrollo antes de ser confiables en entornos mineros.

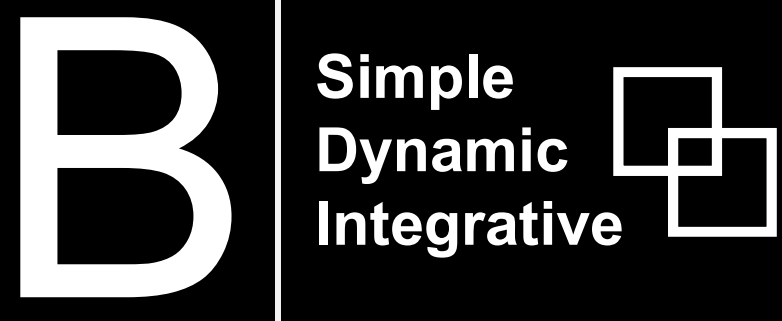


Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

Qué es Phoenix?

El robot Phoenix es una línea de robots humanoides desarrollada por la empresa canadiense Sanctuary AI. Diseñados para tareas generales en entornos laborales, Phoenix destaca por su capacidad para realizar tareas complejas con destreza humana, integrando inteligencia artificial avanzada y un sistema de control hidráulico. Sanctuary AI aspira a que Phoenix sea tan común como los automóviles, desempeñando roles en áreas donde la escasez de mano de obra humana es un desafío.



www.benmac-mining.com

En la frontera de la automatización

Hoy en día, la minería utiliza robots y sistemas autónomos en transporte, perforación, inspección y mantenimiento, pero aún no se han desplegado robots humanoides avanzados como Digit o Atlas en operaciones mineras reales. La integración de humanoides sería la próxima frontera, principalmente para tareas que requieren destreza, adaptabilidad y manipulación compleja que las máquinas actuales no pueden realizar.

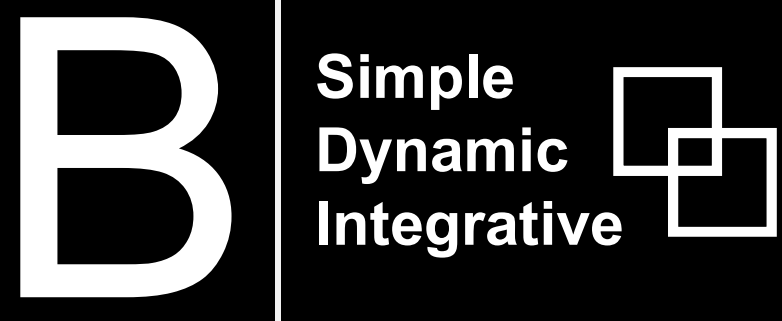


Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

Qué es Neo?

El Nao X1 es un robot humanoide desarrollado por la empresa noruega-estadounidense 1X Technologies. Este robot está diseñado para realizar tareas domésticas, como limpiar, ordenar, y asistir en actividades cotidianas dentro del hogar. Actualmente, el Nao X1 **se encuentra en fases de prueba y desarrollo**. 1X Technologies ha mostrado avances en la integración de inteligencia artificial y robótica para mejorar las capacidades del robot



www.benmac-mining.com

Un programa de implementación a gran escala de robots humanoides en minería representa un salto estratégico hacia la automatización inteligente, combinando seguridad, eficiencia y adaptabilidad. Comenzaría con pilotos en áreas controladas, evaluando el desempeño de robots como Digit, Apollo y Atlas, para luego expandirse gradualmente a plantas, bodegas y finalmente frentes de mina subterráneos o rajo abierto. La clave está en integrar estos robots con sistemas de control existentes y entrenar al personal humano para maximizar la colaboración. Aunque los costos iniciales son altos, los beneficios en reducción de accidentes, optimización de procesos y recopilación de datos precisos justifican la inversión. Este enfoque permite que la minería evolucione hacia operaciones más seguras, resilientes y productivas, construyendo una base tecnológica sólida para la industria del futuro.



Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

Qué es 4NE-1?

El 4NE-1 es un robot humanoide avanzado desarrollado por Neura Robotics, una empresa alemana especializada en robótica cognitiva. Diseñado para tareas tanto domésticas como industriales, el 4NE-1 destaca por su combinación de fuerza, sensibilidad y adaptabilidad. Neura Robotics continúa desarrollando y perfeccionando el 4NE-1, con planes de expandir su uso en diversas industrias y entornos. La integración de inteligencia artificial avanzada y sensores de última generación posiciona al 4NE-1 como una herramienta clave en la automatización y asistencia en el futuro cercano.

Prospectiva tecnológica Benmac Mining

Implementación de Robots Humanoides en Minería

Conoce más acerca de nuestra prospectiva, ponte en contacto y conversemos...



B

**Simple
Dynamic
Integrative**



www.benmac-mining.com

Hacia una estrategia minera basada en Robots Humanoides

Una estrategia minera basada en la implementación de robots humanoides se centraría en maximizar la eficiencia operativa y la seguridad mediante la automatización progresiva de tareas críticas. Inicialmente, se priorizarían áreas de alto riesgo y tareas repetitivas, como inspecciones de túneles, transporte interno de materiales y manejo de herramientas, utilizando robots como Digit y Apollo para logística y Atlas para inspección en terrenos complejos. Paralelamente, se integraría la inteligencia artificial de los robots con los sistemas de monitoreo y control de la mina, creando un ecosistema colaborativo entre humanos y máquinas. A mediano plazo, la estrategia contemplaría la expansión a frentes de mina y procesos de mantenimiento, con entrenamiento especializado del personal y protocolos de seguridad robustos. El objetivo final es construir una operación minera semi-autónoma, resiliente y segura, donde los robots complementen la mano de obra humana, reduzcan accidentes, optimicen costos y generen datos operativos estratégicos para la toma de decisiones.