



SOLUCIONES SIKA ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria de la minera en el mundo está viviendo cambios radicales con el ánimo de colaborar con detener el cambio climático por lo que esta incorporando profundas modificaciones en sus operaciones para empujar la descarbonización, electromovilidad, automatización y transformación digital, todo lo anterior sobre una plataforma integrada de sustentabilidad.

la eficiencia operacional, Sika está trabajando en conjunto con nuestros clientes en el desarrollo e implementación de soluciones avanzadas que nos permitirán la contribución de valor en las operaciones mineras.

Por otro lado la minería será un factor determinante en la transformación en la manera en como se produce y consume energía convencional hoy, donde varios elementos minerales serán necesarios y fundamentales en la urgente conversión a energías limpias y renovables no tradicionales (fotovoltaica solar, parques eólicos terrestres y marinos), amparados en la innovación tecnológica, economía circular, integración ambiental, productividad, costos y entorno social.

En la actualidad estamos desarrollando e implementando soluciones Sika para la consolidación del macizo rocoso en minas a través de tecnologías de inyecciones de resina tipo **SikaFix®**, buscando otorgar mayor estabilidad y sostenimiento en sectores con regular calidad de roca y así evitar posibles colapsos, desplazamientos o caídas de roca que pueden poner en riesgo la operación minera. Un colapso en alguna operación minera cielo abierto impedirá mantener la productividad, seguridad, continuidad operacional y se transformará en un cuello de botella de altísimo costo para la mina, sin dejar de lado posibles pérdidas de equipos pesados de alto valor comercial y fatalidades de personas.

Dentro de la innovación tecnológica necesaria para resguardar la seguridad y producción sustentable en la minas, además de

CONTENIDO

04	INTRODUCCIÓN
05	IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONSOLIDACIÓN DE BANCOS A TRAVÉS DE PRE-INYECCIÓN DE RESINA TIPO SIKAFIX®
09	IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONSOLIDACIÓN DE TALUDES A TRAVÉS DE PROYECCION DE RESINA SIKAFIX®602CL.
13	BENEFICIOS DE USAR RESINAS SIKAFIX® EN CONSOLIDACIÓN DE MACIZOS DE MALA CALIDAD DE ROCA EN MINERÍA CIELO ABIERTO.
14	CASO DE ESTUDIO



Fotografías 1. Colapsos minas cielo abierto debido a sistemas de fallamientos presentes y/o caída de roca inestable



ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

1. IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONSOLIDACIÓN DE BANCOS A TRAVÉS DE PRE-INYECCIÓN DE RESINA TIPO SIKAFIX®

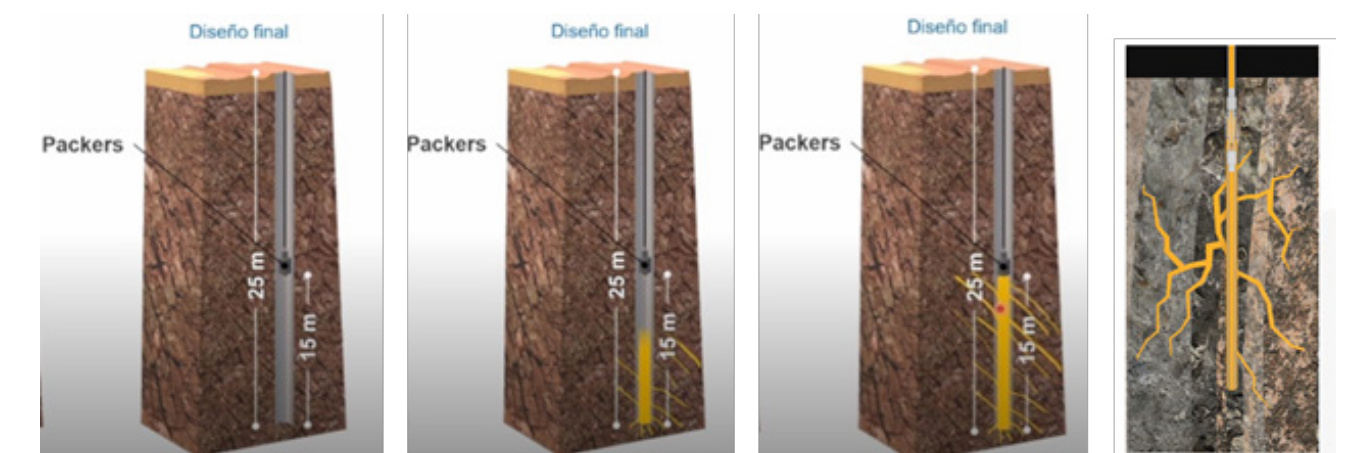
La implementación de la tecnología de resinas inyectables **SikaFix®** para consolidación en sectores de mala o regular calidad geológica, tanto en minería cielo abierto como en minas subterráneas. La inyección de soluciones de resinas líquidas en el entorno rocoso es a través de equipos motorizados con dispositivos de levante y bombas de inyección que permitirán la inyección de resina en forma industrial al interior del suelo, consolidando los sectores litológicos de mala calidad de roca y con presencia de fracturas o discontinuidades que permitirá así entregar mayor estabilidad al estrato rocoso inestable.



Fotografía 2. Equipos móviles de bombeo de resinas para una aplicación de inyecciones en forma industrial en bancos de minería cielo abierto.

El proceso de inyección de resina logrará incrementar la cohesión del macizo rocoso en sectores cercanos a las paredes finales en minas cielo abierto, permitiendo evitar colapsos y entregando una condición más favorable para mantener en el tiempo la estabilidad de los taludes, asegurando la continuidad operacional del plan de producción en el corto plazo.

El proceso de inyección insitu en el macizo rocoso es a través de perforaciones de 25 metros de profundidad, diseño de perforación de 12m x 12m o diseño e perforación 10mx10m, donde en cada perforación se introduce un packer u obturador expansible a través de una lanza de inyección desde la boca de la perforación en profundidad hasta llegar aproximadamente a 10 metros y se procede a inyectar a alta presión de aire para asegurar que la resina se introduzca eficientemente por las fracturas y/o discontinuidades que presenta el macizo rocoso, donde la resina circulará a través de las grietas en un radio de influencia definido y la inyección de la resina a través de la bomba de inyección se detendrá al momento en que la presión de bombeo supere el umbral de presión establecido en la ficha técnica del equipo.



Fotografía 3. Proceso de inyección de resina tipo SIKAFIX® en alta presión a través de las fracturas existentes en el sector consolidado.

ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

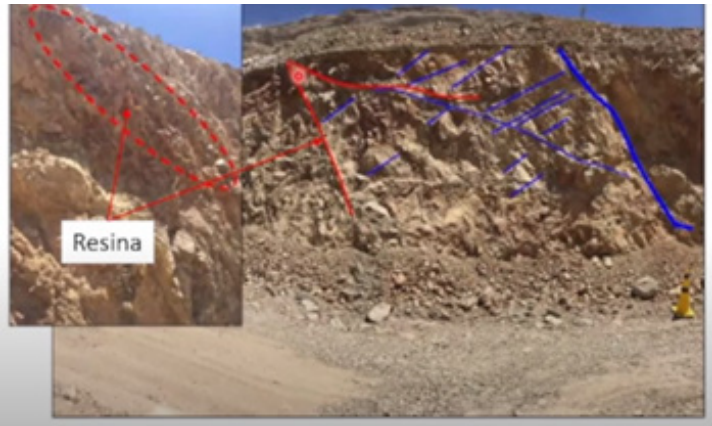


Fotografía 4. Instalación de Packer u obturador inflexible dentro de la perforación e inyección de la resina tipo SIKAFIX® en el interior del barreno para su escurrimiento a través de las fracturas existentes y lograr cohesión en el sector tratado.

A través de recursos del cliente y para garantizar que la resina tipo SikaFix® pueda escurrir a través de las fracturas existentes en el macizo rocoso y logre cohesionar el área inyectada, se proceden a realizar los siguientes estudios, levantamientos y evaluaciones en terreno con el fin de validar tecnología.

- Una vez inyectado un banco de producción de la mina con resina tipo SikaFix®, se procede a través de un equipo pesado tipo cargador frontal a excavar un rebaje en cierta parte del sector tratado con resina, para determinar si hay presencia del tipo SikaFix® dentro de las fracturas. Al revisar el sector

excavado donde se había llevado a cabo una intervención con resinas inyectadas se determina que hay presencia de resinas dentro del macizo rocoso y la resina penetró en un radio de influencia suficiente desde su punto de inyección, para cubrir una consolidación confiable.



Fotografía 5. Resina tipo SIKAFIX® expuesta y rellenando con adherencia las fracturas presentes en el terreno testeado.

- Adicionalmente, se procede a rescatar testigos con equipos de perforación tipo diamantina para asegurar la presencia de roca consolidada a través de resina tipo SikaFix®. Los testigos para ensayos de laboratorio extraídos del macizo rocoso tratado con resina presentan evidencia clara de consolidación

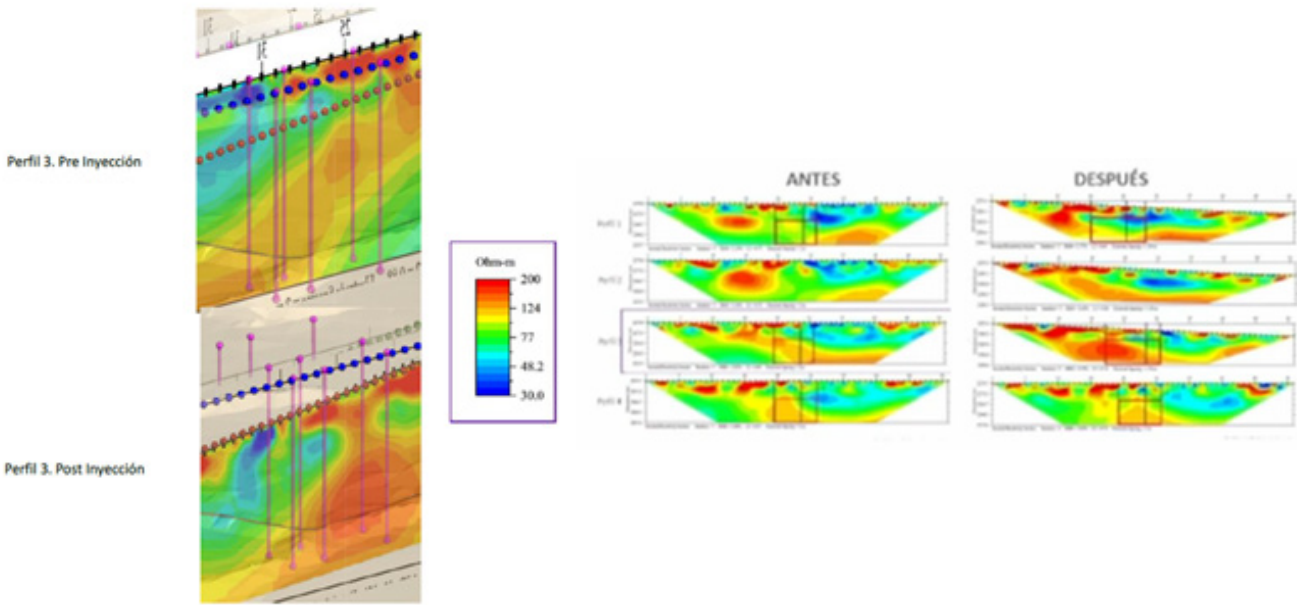
y adherencia atribuida al producto tipo SikaFix®. Adicionalmente, los ensayos de resistencia a la Compresión (>40 Mpa), Flexión (>16 Mpa) y Flexo Adherencia (>5Mpa) llevados a cabo a los testigos en laboratorio, arrojan resultados satisfactorios para el cliente.



Fotografía 6. Resina tipo SIKAFIX® esparcida a través de las grietas y rellenando con adherencia las fracturas de testigos.

- Se llevan a cabo estudios de perfiles geofísicos a través de tomografías geoelectricas para asegurar que se ha logrado de forma satisfactoria la inyección de resina dentro de los pozos y que la resina tipo SIKAFIX® haya logrado penetrar al interior del macizo rocoso. Mediante el uso de métodos geofísicos geoelectricos se realizaron perfiles de resistividad para obtener los mapeos de la distribución litológica del

sector de interés, con el fin de determinar las condiciones del macizo rocoso antes y después de la inyección de resina y así se determinó que las condiciones litológicas cambian sus propiedades geomecánicas en forma favorable después de haber inyectado resina de consolidación en el sector intervenido.



Fotografía 7. Zoom de perfil en sector de los pozos de inyección previo y posterior a la inyección de resina tipo SIKAFIX®.

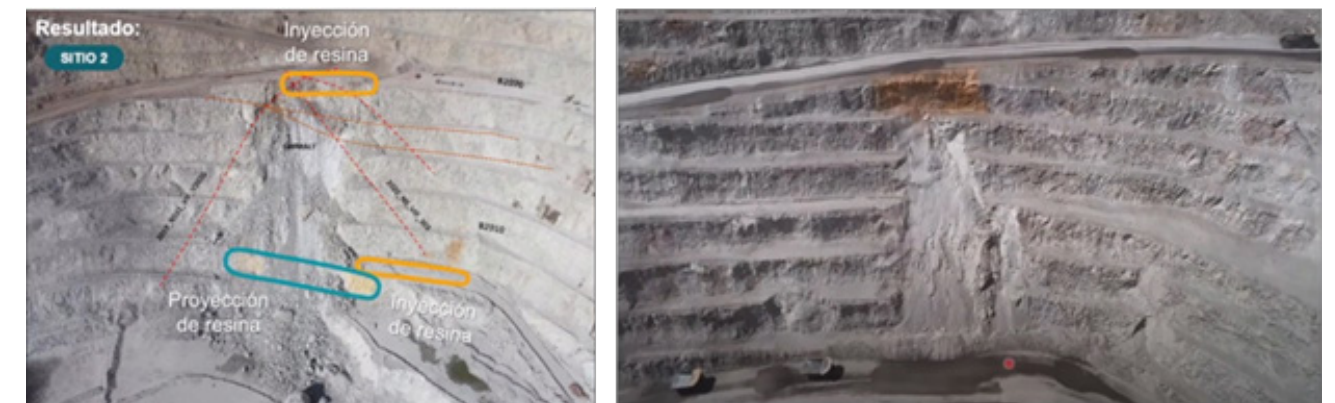


ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

2. IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONSOLIDACIÓN DE TALUDES A TRAVÉS DE PROYECCIÓN DE RESINA SIKAFIX®602CL.

Como complemento del uso de pre-inyecciones de resina para consolidar macizos rocoso, la mina también comenzó una campaña de pruebas de proyección de resina **SikaFix®602CL** en las superficies de los taludes en diferentes zonas de la mina buscando incrementar la resistencia del sostenimiento exterior de la pared de los bancos.

El objetivo de comenzar a proyectar resina **SikaFix®602CL** en las superficies de los taludes de los bancos fue complementar ambos sistemas (inyección interior y proyección exterior) para lograr mejor consolidación integral del sector tratado y con ello evitar posibles desplazamientos de sectores de roca que pueden generar posteriormente mayores derrumbes o colapsos.



Fotografía 8. Areas de la mina con inyección y proyección de resinas tipo SIKAFIX® para mitigar posibles colapsos.

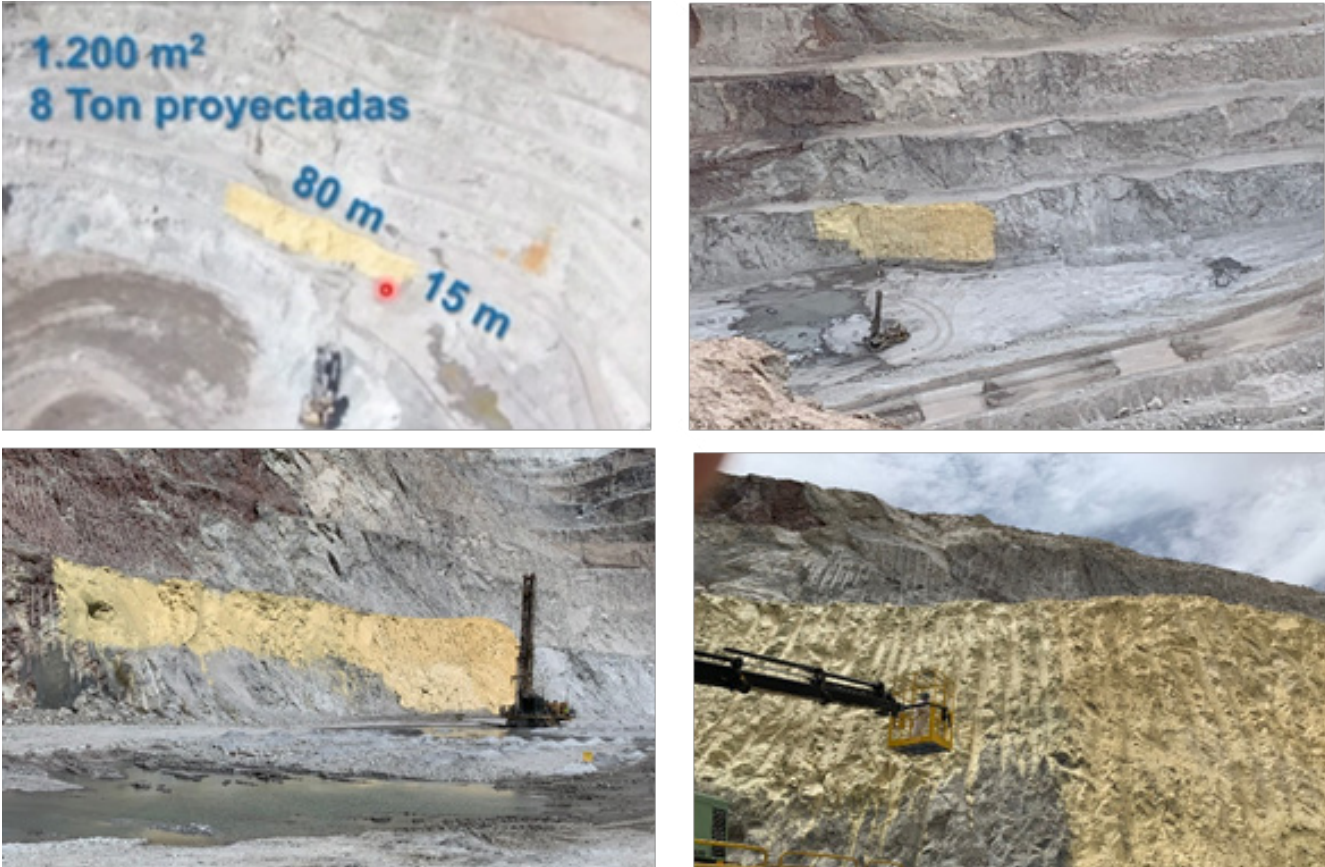
Preliminarmente se procede a proyectar resina tipo SIKAFIX® en un sector pequeño a través de una lanza en forma manual revisando la factibilidad operativa del sistema respecto a la diaria interferencia operacional de la producción de la mina, posteriormente se procede a desarrollar un equipo con sistema de proyección de resina más industrializado que pudiera permitir operar y coexistir eficazmente con la dinámica operacional de las distintas etapas de producción de la mina.



Fotografía 9. Proyección de resina SIKAFIX®602CL en forma manual y mecanizada para sostenimiento exterior de los taludes

ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

Actualmente la proyección de resina en las paredes de los bancos se está llevando a cabo a través de un equipo de bombeo industrial con pluma de proyección que alcanza una altura de proyección para la resina hasta 15 metros y logra proyectar zonas productivas de la mina en forma eficiente alcanzando áreas de 1200 m² (15m altura x 80 metros de largo) con un consumo estimado de resina de 8 Toneladas para esta área consolidada. El siguiente objetivo de la mina es poder optimizar la aplicación industrial y poder ampliar el área de aplicación a alturas mayores de 15 metros.

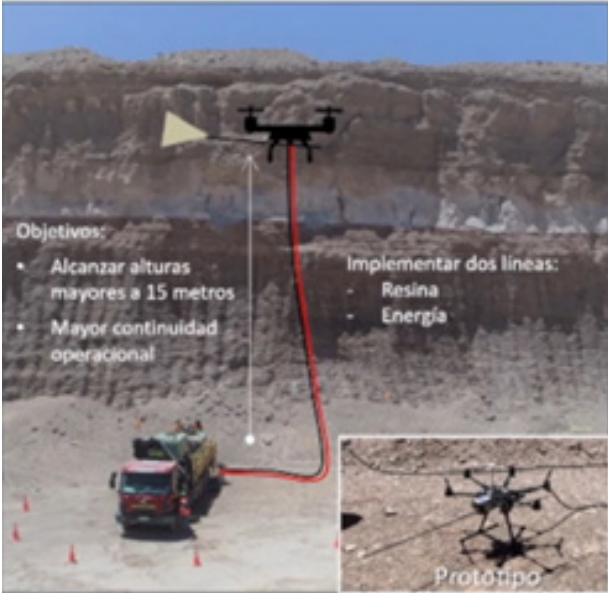


Fotografía 10. Proyección de resina SIKAFIX®602CL en forma mecanizada para sostenimiento exterior de los taludes complementando consolidación.

El concepto de proyectar resina en la cara del banco o superficie del talud es lograr alta resistencia temprana a la tracción y excelentes cualidades de adhesión. La película de resina proyectada en la superficie de la pared servirá para estabilizar permanentemente la integridad de las estructuras rocosas mientras se acomodan las tensiones asociadas con el movimiento de los estratos y se proporciona una barrera exterior contra la degradación o desmoronamiento del banco incluso en presencia de humedad.

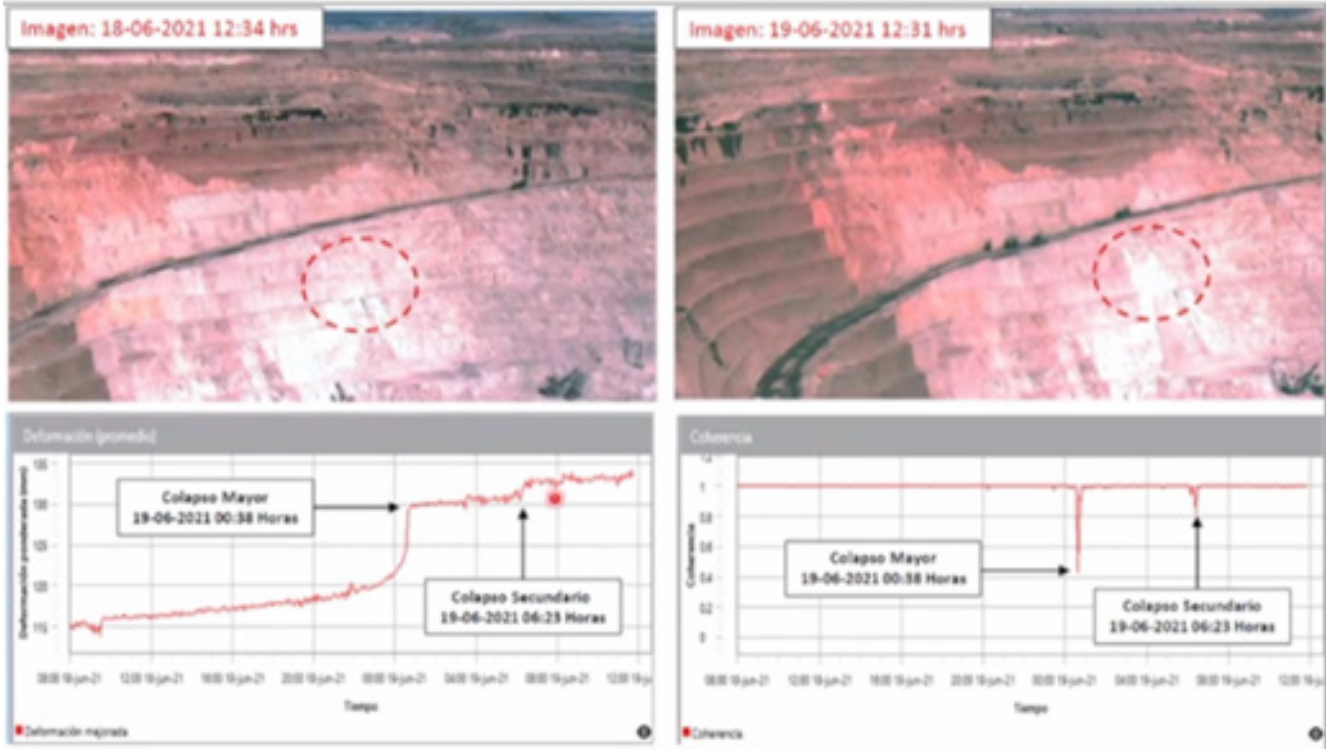
Cabe señalar que la operación minera además de uso de resina **SikaFix®602CL** inyectadas y proyectadas, también ha incorporado refuerzos de barras y rieles de acero que son embutidos en perforaciones para ayudar a detener posibles desplazamientos en áreas de fallas, empujando con esto a concepto de soluciones integrales para evitar colapsos estructurales en sectores geológicamente complejos en la mina.

La necesidad de optimizar e industrializar aún más la proyección de resina tipo **SikaFix®** en diferentes áreas de la mina que presentan una mayor complejidad de intervención operativa y productiva, es que actualmente se están llevando a cabo pruebas preliminares con prototipos de Drones que permitan alcanzar alturas de proyección de resina mayores a los actuales 15 metros y con ello, poder optimizar la eficiencia de la tecnología de proyección de resina y mejorar su rendimiento de aplicación de **SikaFix®602CL** en los taludes de la mina.



Fotografía 11. Pruebas p'eliminates de proyección de resina SIKAFIX®602CL en prototipos tipo Drones para alcanzar mejor performance operacional.

Una forma de evaluar actualmente el rendimiento y la eficacia de implementación de tecnología de resinas (inyecciones y proyección) en la mina, principalmente en los bancos que presentan actividad de desplazamiento, es a través de radares que permiten medir la velocidades de las deformaciones.



Fotografía 12 Medición de velocidades de deformación de la roca en el sector monitoreado a través de radares. Impacto positivo de aplicación integral de resina SIKAFIX®602CL, considerando mediciones de deformación antes y después de aplicar resinas inyectadas.



ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

3. BENEFICIOS DE USAR RESINAS SIKAFIX® EN CONSOLIDACIÓN DE MACIZOS DE MALA CALIDAD DE ROCA EN MINERÍA CIELO ABIERTO.

- Incremento de la estabilidad del talud para evitar colapsos y daños a la normal productividad de la mina, permitiendo la sostenibilidad del ángulo de talud final durante la vida útil de la mina. Un colapso hace que el VAN del proyecto minero se vuelva riesgoso y ponga en duda seguir operando la mina.
- Reducción de riesgo en seguridad. Un colapso puede incluir daños en las instalaciones, equipos, vehículos, fatalidades del personal que está circulando por las vías de la mina en producción, además del gran impacto en la operación para mantener la producción.
- Al tener mayor consolidación del banco de producción a través de inyección y proyección de resina, se puede aspirar a incrementar el ángulo de talud final del banco, permitiendo reducir excavaciones de material estéril debido a que los diseños de mina cielo abierto consideran razones de excavación de estéril y mineral de aproximadamente 3:1, situación que hace muy rentable tener diseños de minas menos inclinados que permitan menor movimiento de material estéril, reduciendo la razón de movimiento de estéril versus mineral, reducción de ciclos, disminución de costos de transporte, disminución de mano de obra, incremento del VAN del proyecto y mejor racionalización/ automatización de los recursos disponibles en la mina (uso de camiones, palas, vehículos de apoyo, etc).

ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ROCA EN MINAS CIELO ABIERTO

CASO ESTUDIO RESINAS INYECTADAS SIKAFIX® 602 CL

RESINA BICOMPONENTE A BASE DE SILICATOS PARA CONSOLIDACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE ROCA EN MINERÍA.

DESCRIPCIÓN DEL CLIENTE

División Ministro Hales (DMH) está ubicada a 2.600 metros de altura, a casi 10 kilómetros al norte de Calama por el camino que une a esta ciudad con Chuquibambilla. En operación desde 2010, es una mina a rajo abierto. Produce calicina de cobre, concentrado de cobre y plata.

El sello de Ministro Hales está determinado por el uso de la tecnología e innovación en sus procesos, con un funcionamiento verde que respeta la normativa medioambiental y que está en permanente contacto con las comunidades.



LA NECESIDAD DEL CLIENTE

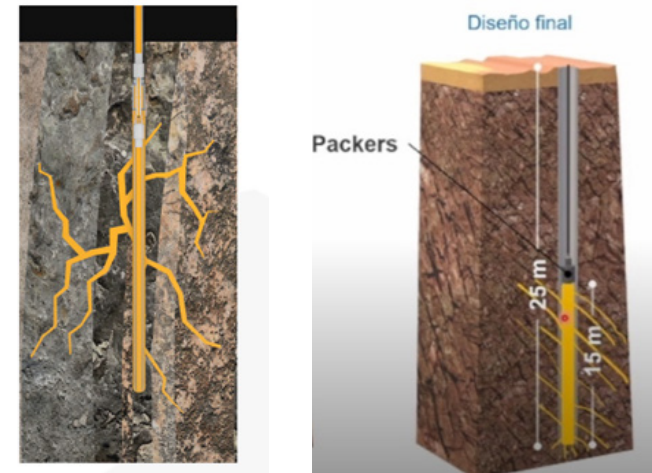
La mina DMH requiere incrementar la cohesión del macizo rocoso en ciertos sectores donde presenta fallamientos y complejidades geológicas con constante actividad de deformación que pueden activar desplazamientos en paredes finales de bancos de producción, generando situaciones de activación de eventos múltiples que podrían terminar en un gran colapso, poniendo en riesgo la continuidad operacional del plan de producción de la mina en el corto plazo.

LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA SIKAFIX

La implementación de la tecnología de resinas inyectables SikaFix® para consolidación en sectores de mala o regular calidad geológica en la minera, permitirá entregar una consolidación integral, tanto en interior de la roca a través de inyecciones dentro del macizo rocoso, como en exterior del talud a través de proyección de resina en la superficie de la pared del banco, contribuyendo a asegurar la estabilidad y sostenibilidad del banco en producción.



Ambas aplicaciones con resina SikaFix® en forma conjunta permitirán mantener en el tiempo la estabilidad de los taludes, asegurando la continuidad operacional del plan de producción en el corto plazo. El proceso de inyección de resina logrará incrementar la cohesión interior del macizo rocoso a través de escurrimiento y fraguado de resina a través de las fracturas presentes en el macizo rocoso, mejorando así la resistencia consolidación del estrato.



El concepto de proyectar resina en la cara del banco o superficie del talud es lograr alta resistencia temprana a la tracción y excelentes cualidades de adhesión. La película de resina proyectada en la superficie de la pared servirá para estabilizar permanentemente la integridad de las estructuras rocosas mientras se acomodan las tensiones asociadas con el movimiento de los estratos y se proporciona una barrera exterior contra la degradación o desmoronamiento del banco incluso en presencia de humedad.

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

SikaFix® 602CL es una resina de inyección muy flexible basada en solución de silicato de 2 componentes para la consolidación y estabilización de la roca y suelo con tiempo de reacción cortos. El ratio de mezcla por volumen es de 1:1 (Componente A + Componente B). La densidad promedio resina mezclada es 1,33 Kg/L.

ATRIBUTOS DEL PRODUCTO

- Alta resistencia mecánica temprana
- No absorbe agua, no se mezcla con agua
- Endurece aún en contacto con el agua sin la formación de espuma
- Curado muy rápido
- No inflamable
- Muy buena adhesión incluso en superficies húmedas
- Alta capacidad de penetración
- Viscosidad inicial baja (promedio 190 mPa * s)
- Libre de halógenos y CFC No contiene solventes

PROPIEDADES MECÁNICA DEL PRODUCTO

- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 23°C
 - 1 hora 65 N/mm²
 - 3 días 75 N/mm²
- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN 23°C
 - 3 días 12 N/mm²
- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A 23°C:
 - 6 horas 20 N/mm²
 - 3 días 25 N/mm²

BENEFICIOS PARA EL CLIENTE

- Incremento de la estabilidad y sostenibilidad del talud para evitar colapsos y posibles impactos a la normal productividad de la mina.
- Reducción de riesgo en seguridad. Un colapso puede incluir daños en las instalaciones, equipos, vehículos, fatalidades del personal que está circulando por las vías de la mina en producción, además del gran impacto en la operación para mantener la producción.
- Al tener mayor consolidación del banco de producción a través de inyección y proyección de resina, se puede aspirar a incre-

mentar del ángulo de talud final del banco, permitiendo reducir excavaciones de material estéril debido a que los diseños de mina cielo abierto consideran razones de excavación de estéril y mineral de aproximadamente 3:1, situación que hace muy rentable tener diseños de minas menos inclinados que permitan menor movimiento de material estéril, reduciendo la razón de movimiento de estéril versus mineral, reducción de ciclos, disminución de costos de transporte, disminución de mano de obra, incremento del VAN del proyecto y mejor racionalización/ automatización de los recursos disponibles en la mina (uso de camiones, palas, vehículos de apoyo, etc.).

- Incorporación de tecnologías de punta en sistemas de aplicaciones industriales y compatibles con actuales necesidades e interferencias operacionales propias de la mina.
- Tecnología limpia ya que la resina no tiene elementos contaminantes y su atributo de tiempo de curado corto permite llevar un control acotado de aplicación en un sector limitado sin que se produzcan pérdidas de material o escurrimientos a otros sectores no deseados como es el caso de la lechada.
- Disminuir considerablemente los tiempos de ciclo en procesos de fortificación en caso de usar elementos alternativos (shotcrete, mallas, pernos, etc.).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inclusión de resinas líquidas inyectables y proyectadas en mina Ministro Hales ha derrumbado varios paradigmas en tecnologías de consolidación conocidas hasta ahora, no obstante, las cambiantes necesidades de continuidad operacional, mejores rendimientos en tiempos de ciclo, reducción de costos, productividad, seguridad, sustentabilidad han forzado a la mina a innovar e introducir soluciones diferentes a las conocidas y tradicionales.

La misión de Sika para colaborar estrechamente con sus socios estratégicos mineros será seguir impulsando la entrada de tecnologías de consolidación en sitios mineros donde históricamente no se conocían estas soluciones de consolidación y actualmente presentan altas complejidades litológicas en sus macizos rocosos. Hasta ahora en la operación DMH se ha logrado mitigar la posible generación de colapsos, permitiendo alcanzar cifras muy positivas en cada una de las diferentes aplicaciones implementadas.

La solución de resina SikaFix® 602CL con sus implementaciones de inyección y proyección en sitios mineros, permitirá a Sika seguir rompiendo paradigmas y entregando soluciones innovadoras que garanticen entrega de valor a las operaciones de nuestros clientes de minería cielo abierto.

SOMOS SIKA

Sika es una empresa química especializada con una posición de liderazgo en el desarrollo y la producción de sistemas y productos para pegar, sellar, amortiguar, reforzar y proteger en el sector de la construcción y en la industria del automóvil. Las líneas de productos de Sika incluyen aditivos para hormigón, morteros, selladores y adhesivos, así como sistemas de refuerzo estructural, así como sistemas de impermeabilización y techado.



AISLAMIENTO AMBIENTAL



BALCONES



IMPERMEABILIZACIÓN SUBTERRÁNEA



FUNDICIÓN IN-SITU Y PREFABRICADOS DE CONCRETO



REPARACIÓN DE CONCRETO



INSTALACIÓN DE PISOS



PISOS Y MUROS



PLAZOLETAS/TERRAZAS



REPARACIÓN Y PROTECCIÓN



CUBIERTAS



SELLADORES Y ADHESIVOS



LOSAS DE CONCRETO

SIKA AMÉRICAS

ARGENTINA

Sika Argentina SAIC

Teléfono: +54 11 47343 00
Buenos Aires

COLOMBIA

Sika Colombia S.A.S

Teléfono: +57 1 8786333
Tocancipá

GUATEMALA

Sika Guatemala S.A.

Teléfono: +502 23133300
Ciudad de Guatemala

PARAGUAY

Sika Paraguay S.A.

Teléfono: +595 21 2896000
Asunción

BOLIVIA

Sika Bolivia S.A.

Teléfono: +591 3 3464504
Santa Cruz de la Sierra

COSTA RICA

Sika productos para la construcción S.A.

Teléfono: +506 21031176
Heredia

HONDURAS

Sika Honduras S.A. de C.V.

Teléfono: +504 25121240
San Pedro Sula

PERÚ

Sika Perú S.A.

Teléfono: +51 16186060
Lima

BRASIL

Sika Brasil S.A.

Teléfono: +55 11 36874600
São Paulo

ECUADOR

Sika Ecuatoriana S.A.

Teléfono: +593 42812700
Guayaquil

MÉXICO

Sika Mexicana S.A. de C.V.

Tel. +55 2626- 5430
Ciudad de México

REPÚBLICA DOMINICANA

Sika Dominicana S.A.

Teléfono: +1 809 5307171
Santo Domingo

CHILE

Sika S.A. Chile

Teléfono: +56 2 25106500
Santiago de Chile

EL SALVADOR

Sika El Salvador S.A de C.V

Teléfono: +503 25597100
El Salvador

NICARAGUA

Sika Nicaragua S.A.

Teléfono: +505 58595199
Managua

URUGUAY

Sika Uruguay S.A.

Teléfono: +598 22202227
Montevideo

CANADÁ

Sika Canadá Inc.

Teléfono: 514 697 2829
Quebec

ESTADOS UNIDOS

Sika Corporation

Teléfono: +1-201-508-6604
Lyndhurst NJ

PANAMÁ

Sika Panamá S.A.

Teléfono: +507 2714727
Panamá

VENEZUELA

Sika Venezuela S.A.

Teléfono: +58 241 3001000
Valencia

La información y, en particular, las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, y se basan en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de la obra son tan particulares, que ninguna garantía respecto a la comercialización o a la adaptación para un uso particular, o a alguna obligación que surja de relaciones legales, puede ser inferida de la información contenida en este documento o de otra recomendación escrita o verbal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho publicadas en la página web: www.sika.com.co.

Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de las Hojas Técnicas, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

CONSTRUYENDO CONFIANZA

