

Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

OBJETIVOS

- Comprender los fundamentos del shotcrete, sus aplicaciones en minería y el contexto operacional de BHP Spence dentro del marco HSEC corporativo.
- Identificar y aplicar normativas chilenas (NCh170, DS 132) e internacionales (ACI 506, EFNARC) aplicables a la proyección de shotcrete en operaciones mineras.
- Diferenciar y ejecutar procedimientos técnicos de proyección vía húmeda y vía seca, incluyendo dosificación, preparación de superficie y técnicas de aplicación correctas.
- Identificar factores que afectan el rebote y aplicar técnicas de minimización para optimizar la calidad y eficiencia de la proyección.
- Gestionar riesgos críticos (exposición a sílice, ruido, proyecciones, químicos) mediante la jerarquía de controles BHP y el uso apropiado de EPP y procedimientos de trabajo seguro.
- Comprender tipos de fortificación minera, comparar shotcrete con fibras vs malla, e integrar adecuadamente con sistemas de pernos de anclaje.
- Realizar inspecciones visuales, comprender ensayos de resistencia y control de calidad, y aplicar criterios de aceptación/rechazo según estándares.
- Conocer los requisitos de certificación EFNARC C2, capacitaciones obligatorias BHP, y mejores prácticas actuales de la industria.

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

PROGRAMA

MÓDULO 1: Introducción y Fundamentos

- 1.1. Definición, concepto y evolución del shotcrete en la industria minera.
- 1.2. Aplicaciones en minería: túneles, piques, caserones. Soporte primario vs secundario.
- 1.3. Contexto BHP Spence: ubicación, operaciones y proyectos.
- 1.4. Marco HSEC corporativo BHP: Charter de Valores, Política HSEC y Programa FEL.
- 1.5. Beneficios del shotcrete: versatilidad, rapidez, adherencia y economía.

MÓDULO 2: Estándares y Normativas

- 2.1. Marco regulatorio chileno: NCh170:2016 (requisitos hormigón) y DS 132 (Reglamento Seguridad Minera).
- 2.2. Rol de SERNAGEOMIN: fiscalización, aprobación de proyectos y sanciones.
- 2.3. Estándares internacionales ACI: 506R-16 (Guía) y 506.2-13(18) (Especificación).
- 2.4. Especificación EFNARC: clases de resistencia (C24/30 a C48/60), adherencia mínima y clases de control.
- 2.5. Estándares HSEC BHP: Global Safety Health Standards y jerarquía de controles.
- 2.6. Anexo 3 BHP Chile: Sistema de Gestión Integrado, permisos de trabajo y matriz de riesgos.

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

MÓDULO 3: Procedimientos Técnicos de Proyección

- 3.1. Método vía seca: proceso, equipos, ventajas (control agua, movilidad) y desventajas (rebote 20-50%, polvo).
- 3.2. Método vía húmeda: proceso, equipos principales (Putzmeister, MEYCO, Normet), ventajas (rebote 5-15%, calidad) y desventajas.
- 3.3. Dosificación y mezclas: cemento (400-500 kg/m³), relación w/c (0.35-0.48), agregados (0-8mm), finos (450-500 kg/m³).
- 3.4. Aditivos: acelerantes libres de álcali (4-8%, pH ~3), acelerantes alcalinos, superplastificantes, humo de sílice.
- 3.5. Fibras de refuerzo: metálicas (20-50 kg/m³) y sintéticas (2-8 kg/m³).
- 3.6. Preparación de superficie: scaling, limpieza, humedecimiento SSD y rugosidad.
- 3.7. Técnicas de aplicación: ángulo 90°, distancia óptima (0.6-1.5m), movimiento circular continuo.
- 3.8. Capas de aplicación: primera capa (40-60mm), subsecuentes (máx 100mm techo, 150mm paredes), dirección ascendente.
- 3.9. Limpieza continua de rebote y tiempos de curado.

MÓDULO 4: Control de Rebote y Calidad

- 4.1. Definición y porcentajes típicos de rebote: vía húmeda (5-15%) vs vía seca (20-50%).
- 4.2. Factores que afectan el rebote: materiales, aplicación, sustrato y configuración.
- 4.3. Técnicas de minimización: ángulo perpendicular 90°, distancia óptima constante, movimiento circular uniforme.

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

Proyección de Shotcrete con Estándares HSEC BHP Spence



Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

- 4.4. Optimización de mezcla: agregado $\leq 8\text{mm}$, $w/c \leq 0.46$, acelerante 5-7%.
- 4.5. Prohibición absoluta de reutilización de material de rebote.
- 4.6. Impacto económico y ambiental del rebote excesivo.

MÓDULO 5: Aspectos HSEC y Gestión de Riesgos

- 5.1. Riesgos críticos: sílice cristalina (RCS, efectos y límites de exposición), ruido (85-105 dB), proyecciones, químicos y ergonómicos.
- 5.2. Jerarquía de controles BHP aplicada: eliminación (robotización), sustitución (acelerantes AF, vía húmeda), aislamiento (cabinas, acordonamiento).
- 5.3. Controles de ingeniería: ventilación forzada ($\geq 15 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$), supresión de polvo, iluminación (50-100 lux).
- 5.4. Controles administrativos: rotación, certificación EFNARC C2, SWP, ATS, permisos de trabajo, monitoreo y vigilancia médica.
- 5.5. EPP obligatorio: respiratorio (P100, fit testing anual), cabeza (casco Clase E), ocular/facial, auditivo, corporal, manos, pies.
- 5.6. EPP adicional para altura: arnés de cuerpo completo (si $> 1.8\text{m}$).
- 5.7. Procedimientos Pre-Trabajo: inspección de área y equipos, permisos (Trabajo en área, Altura, Espacio Confinado), ATS completado.
- 5.8. Procedimientos durante aplicación: operador certificado, comunicación constante, parámetros correctos, ventilación operando, área acordonada.
- 5.9. Procedimientos post-aplicación: limpieza, remoción de rebote, curado, inspección y documentación.

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno



Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

- 5.10. Manejo de residuos: rebote como peligroso, agua de lavado (pH >12, tratamiento según DS 90).
- 5.11. Procedimientos de emergencia: exposición química, atrapamiento y falla de ventilación.

MÓDULO 6: Fortificación y Aplicaciones en Minería

- 6.1. Tipos de soporte: primario (1.0-2.0 MPa a 2-6h, 50-100mm) y secundario (25-35 MPa a 28 días, 100-400mm).
- 6.2. Shotcrete con fibras metálicas: dosificación (20-50 kg/m³), características, ventajas y desventajas.
- 6.3. Shotcrete con fibras sintéticas (TENDENCIA): dosificación (2-8 kg/m³), ventajas (99.8% capacidad anticorrosión, 50% más rápido, 70% menos emisiones).
- 6.4. Proyectos en Chile: Chuquicamata Subterránea, El Teniente, Sierra Gorda, Collahuasi.
- 6.5. Shotcrete con malla metálica: secuencia de instalación y desventajas.
- 6.6. Integración con pernos de anclaje: Split Set, helicoidales, cables. Soporte bidireccional (activo-pasivo).
- 6.7. Aplicaciones específicas: túneles (ligero, normal, pesado), piques (vertical, robotizado) y caserones (condiciones extremas).

MÓDULO 7: Control de Calidad y Ensayos

- 7.1. Inspección visual: procedimiento (uniformidad, sounding, mapeo fisuras, filtraciones) y defectos comunes (delaminación, fisuras, vacíos, rebote, descubrimiento armadura).

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

Proyección de Shotcrete con Estándares HSEC BHP Spence



Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

- 7.2. Paneles de prueba: dimensiones (600x600mm EFNARC), condiciones de curado (5-35°C, >80% HR), mismo equipo/operador/mezcla.
- 7.3. Extracción y preparación de testigos: diámetro (50-75mm), ubicación, preparación, ensayo ASTM C39. CRÍTICO: NO factor 0.85.
- 7.4. Resistencias típicas y propósito: 1 día (≥ 1 MPa re-entry), 7 días (15-20 MPa control), 28 días (≥ 25 MPa diseño).
- 7.5. Frecuencia de ensayos: QC (1 set/50-75 m³), QA (10% QC), cambios de mezcla/acelerador.
- 7.6. Esclerómetro: LIMITACIONES (NO aceptación/rechazo, ± 15 -20%).
Uso válido: screening y comparación uniformidad.
- 7.7. Control de espesor: tradicional (limitado) vs RECOMENDADO escaneo láser (100% cobertura, ± 1 -2mm).
- 7.8. Adherencia (Pull-Off): método NIOSH, valores típicos (1.0-2.5 MPa), criterios (≥ 0.7 -1.0 MPa).
- 7.9. Resistencia temprana (penetración agujas): objetivo re-entry (≥ 1.0 MPa), métodos, frecuencia.
- 7.10. Criterios de aceptación: resistencia ($\geq 100\%$ f'c promedio, ninguno 85%), espesor ($\geq$ diseño), visual (uniforme, fisuras 0.3mm), adherencia (≥ 0.7 MPa).
- 7.11. Criterios de rechazo: durante (ángulo 45°, distancia incorrecta, rebote excesivo, operador no certificado) y post (testigo 85%, delaminación >5%, vacíos >10%, fisuras >0.5mm).
- 7.12. Acciones correctivas: defectos menores (capa adicional), delaminaciones (delimitar, hidrodemolición, re-aplicar), resistencia insuficiente (investigar, remover si necesario).

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno



Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

MÓDULO 8: Certificación y Mejores Prácticas

- 8.1. Certificación EFNARC C2: requisitos (5 días: teórica 8h + examen + VR 24h + práctica 8h, 40 días experiencia), validez (5 años), disponibilidad Chile (ICH).
- 8.2. Capacitación obligatoria BHP: Inducción HSEC General (Charter, Política, FEL, Anti-corrupción).
- 8.3. Capacitación específica: sitio (estándares BHP Spence, permisos, emergencias), trabajo (SWP shotcrete, ATS, EPP, riesgos críticos).
- 8.4. Vigilancia médica: pre-ocupacional (Rx tórax, espirometría, audiometría), periódicos anuales.
- 8.5. Programa alcohol y drogas: pre-ocupacional, aleatorios (4% mensual), causa razonable, post-incidente.
- 8.6. Plataformas BHP: LMS (contractor.bhp.com), SIGMEL, bhp.lifeon.cl. Refrescamiento anual obligatorio.
- 8.7. Mejores prácticas tecnológicas: automatización, escaneo láser, simuladores VR.
- 8.8. Tendencias materiales: fibras sintéticas (70% menos emisiones), acelerantes libres de álcali.
- 8.9. Tendencias normativas: durabilidad, especificación por desempeño, actualización DS 132 (2024-2025).
- 8.10. Mejores prácticas operacionales: vía húmeda, ventilación mejorada, monitoreo continuo sílice, mockup panels.
- 8.11. Innovaciones sustentabilidad y lecciones aprendidas de la industria.

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

Proyección de Shotcrete con Estándares HSEC BHP Spence



Shotcrete, Hormigón Proyectado, BHP Spence, HSEC, Vía Húmeda, Vía Seca, Fortificación Minera, Control de Rebote, NCh170, DS 132, ACI 506, EFNARC, Certificación C2, Sílice Cristalina, EPP, Control de Calidad, Testigos, Esclerómetro, Fibras Sintéticas, Acelerantes, Pernos de Anclaje, Túneles, Ventilación, SERNAGEOMIN

E-LEARNING / AUTOINSTRUCCIÓN

8 H

EVALUACIÓN

- La escala de evaluación es del 0% al 100%, por concepto de evaluación teórica la nota mínima de aprobación será de un 80%.

DIRIGIDO A:

Operadores de shotcrete, Supervisores de fortificación, Personal técnico de minería, Encargados HSEC, Ingenieros de fortificación, Personal de control de calidad, y Personal involucrado en operaciones de shotcrete en minería subterránea.



ENTREGABLE AL ALUMNO:

- Manual del alumno

