



## CUADERNO DE INSTRUCTOR

**MÓDULO:** INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN DE EQUIPO DE FORTIFICACIÓN

**PROGRAMA:** OPERADOR DE FORTIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA AVANZADO MINA SUBTERRÁNEA

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH  
FUNDACIÓN CHILE

## Contenido:

<b>MÓDULO: INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN DE EQUIPO DE FORTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Planificación de Actividades.....</b>	<b>3</b>
1.1 Cómo delimitar área de trabajo. ....	4
1.2 Definir parámetros operacionales de actividad.....	4
1.3 Características que debe se debe cumplir en el sector .....	5
1.4 Mencionar peligros de actividad. ....	5
1.5 Describir medidas de control vigentes.....	6
<b>2. Equipo Shotcrete .....</b>	<b>11</b>
2.1 Componentes.....	12
2.2 Funciones.....	12
2.3 Accesorios .....	12
2.4 Describir peligros de equipo y sus medidas de control. ....	16
<b>3. Operación shotcrete.....</b>	<b>21</b>
3.1 Componentes y cantidad shotcrete .....	21
3.2 Preparación de shotcrete.....	21
3.3 Pruebas de calidad de shotcrete. ....	22
3.4 Traslado de shotcrete. ....	23
3.5 Características de shotcrete. ....	25
3.6 Manejo de Shotcrete. ....	26
3.7 Proyección shotcrete. ....	28
Secuencia de proyección.....	28
Tipos de grosor utilizados. ....	30
3.8 Características de proyección.....	31
<b>4. Administración de la información.....</b>	<b>40</b>
4.1 Registros de información formatos. ....	41
4.2 Qué parámetros operacionales se debe informar. ....	41

## MÓDULO: INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN DE EQUIPO DE FORTIFICACIÓN

### 1. Planificación de Actividades

**Aprendizaje esperado:** Reconocer cuáles son las condiciones adecuadas de un sector para realizar fortificación con shotcrete.



#### Introducción:

Son los rediseños o innovaciones que se realizan en los activos que modifican sus condiciones de diseño, o agregados que se pueden hacer a los equipos, si ello constituye una ventaja técnica y/o económica y si permiten reducir, simplificar o eliminar operaciones de mantenimiento. Rediseño, consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación.

El objetivo de estas innovaciones efectuadas en el equipo es mantener o mejorar su confiabilidad y/o rendimiento, incluyendo las reparaciones mayores, los rediseños y las modificaciones. Generalmente las mejoras requieren grandes inversiones y tiempos de detención del equipo.

Shotcrete son mezclas de cementos especialmente dosificadas para emplearse en los sostenimientos de túneles mediante equipos automáticos, donde el operador dirige sus maniobras a través de una consola conectada al Roboshot. El Shotcrete vía húmeda, se caracteriza por que la mezcla, incluida el agua, se fabrica en forma conjunta en una planta de shotcrete que posteriormente son transportados a las posturas de proyección mediante Mixer.

Los equipos Roboshot o Mixer solo deberán ser operados y conducidos por operadores capacitados en su función, con su licencia municipal e interna vigente.

Se prohíbe la permanencia de personas no autorizadas en lugares que se encuentren cerca de la unidad mientras ésta se encuentra operando, o durante el desarrollo de cualquier labor de mantención, limpieza, reparación o puesta en marcha.

### 1.1 Cómo delimitar área de trabajo.

Los sectores programados para proyectar Shotcrete deben ser limitados y medidos por los Jefes de turno mina, registrando en el vale de control de fortificación con su nombre y su firma.

Previo a la proyección de shotcrete se debe lavar el sector de trabajo para desprender el polvo impregnado en la roca y facilitar la adherencia del shotcrete, si se detectará falta de acuñadura el Jefe turno mina deberá coordinar con personal de operaciones mina para solucionar esta condición, el personal de sostenimiento mina deberá dejar en el sector loro metálico o vivo.

En el área de proyección se permite solamente personal autorizado, lo cual se indicará mediante loro restrictivo, portado por equipo Mixer (parte delantera Mixer), y la instalación de cenefa con leyenda: "Área Restringida Solicitará Autorización Para Ingreso", a unos 10 m del Mixer.

Cada operador de Roboshot antes de cada proyección deberá colocar en el fichero de cada postura una tarjeta de peligro la cual debe tener anotada el inicio y término de proyección, con el objeto de prevenir que personal ajeno a la operación INGRESE ANTES DE 120 minutos.

Para ingreso al sector en proyección por parte de personal ajeno a la operación, deberá ser autorizado por Jefe de turno mina o en su defecto el operador de Roboshot a cargo de la proyección.

El equipo sólo debe ser operado por operadores autorizados por la superintendencia de Mina, o si están en periodo de entrenamiento, deberán estar bajo la supervisión directa siempre de un operador con experiencia o con el Instructor del área sostenimiento mina. Se prohíbe la permanencia de personas no autorizadas en lugares que se encuentren cerca del Roboshot mientras ésta se encuentra operando, o durante el desarrollo de cualquier labor de mantención, limpieza, reparación o puesta en marcha.

### 1.2 Definir parámetros operacionales de actividad.

**Adherencia (adhesión / bond)** - característica que posee el hormigón proyectado de pegarse al sustrato después de ser proyectado neumáticamente a través de una boquilla.

**Capa (layer / build-up)** - aumento de espesor con sucesivas pasadas o capas de hormigón proyectado. De ésta y durante su proyección sobre el sustrato. La proyección se realiza mediante aire comprimido a alta velocidad.

**Cohesión (cohesión)** – capacidad de los componentes del hormigón o mortero para mantenerse totalmente mezclados de manera homogénea cuando son transportados, manipulados, descargados, bombeados o proyectados a través de la boquilla.

**Rebote (rebound)** - parte del hormigón proyectado que es rechazada del elemento proyectado y cae lejos de ésta superficie durante el proceso de proyección, depositándose en el suelo o en superficies cercanas.

**Sobre proyección (overspray)** – exceso de shotcrete colocado no intencionalmente en zonas que rodean el sustrato a proyectar.

**Sobre espesor (over-thickness)** - exceso de hormigón proyectado depositado sobre el sustrato o superficie de trabajo.

**Tenacidad (toughness)** – comportamiento post agrietamiento del hormigón. Se mide a través de la energía acumulada bajo la curva carga – deflexión, resistencia residual u otro parámetro derivado a partir la curva carga - *deflexión, en una muestra sometida a ensayo de flexión o tracción.*

### 1.3 Características que debe se debe cumplir en el sector

Jefe turno mina debe entregar frente para proyectar shotcrete con los estándares acuñadura, ventilación, limpieza de pisos, servicios de aire y agua, (servicio máximo a 30 metros del sector a proyectar y la presión mínima de aire deberá ser de 3,5 bares), lo cual debe quedar registrado en el registro de control de fortificación con nombre y firma de Jefes de turno mina.

Jefe turno mina determina con exactitud el volumen a proyectar y solicita la preparación, dela mezcla a operador planta Shotcrete en superficie vía radial o en forma personal.

El requerimiento de shotcrete debe ser solicitado con relación a los estándares de fortificación, memos de Geomecánica y notas de fortificación, cualquier modificación de aumento o disminución de fortificación deberán ser informadas a Geomecánica mina para su evaluación.

Previo a la proyección de shotcrete se debe lavar el sector de trabajo para desprender el polvo impregnado en la roca y facilitar la adherencia del shotcrete, si se detectará falta de acuñadura el Jefe turno mina deberá coordinar con personal de operaciones mina para solucionar esta condición, el personal de sostenimiento mina deberá dejar en el sector loro metálico o vivo.

### 1.4 Mencionar peligros de actividad.

- No verificar abrazaderas y cadenas de seguridad en las cañerías metálicas de la línea de shotcrete.
- Amarrar con alambre mangueras a uniones chicanos.
- Inhalación de gases tóxicos al ingresar a frentes de trabajos
- Proyección de partículas de shotcrete por rebote a la cara y cuerpo del operador.

- Exponerse bajo shotcrete recién proyectado al no respetar secuencias de fortificación y esperar tiempo de fragüe
- Operador de Roboshot se ubica bajo techo sin acuanar.
- Personal ajeno a la tarea se ubica al costado de equipos durante la proyección de shotcrete.
- Dejar shotcrete mal adherido al techo y cajas producto de la baja presión de aire.
- Realizar proyección de shotcrete en forma descuidada proyectando shotcrete o rebotes del shotcrete hacia el cuerpo del operador que realiza la proyección.

#### **1.5 Describir medidas de control vigentes.**

- Verificar las abrazaderas metálicas y cadenas de seguridad antes de usar el equipo.
- Utilizar abrazaderas metálicas o huincha bandit.
- Se debe medir concentración de gases tóxicos antes de ingresar a la frente de trabajo.
- Se debe usar EEPP adecuado a las tareas, sobre todo uso obligado de máscara facial Full Face.
- Nunca exponerse bajo shotcrete sin fragüe, respetar nota de fortificación y secuencias de fortificación.
- Operador de Roboshot debe ubicarse en sector acuanado o fortificado para realizar la proyección de shotcrete.
- En la proyección de shotcrete, no se debe permitir personas ajenas a la operación dentro del área a proyectar, limitadas por la cenefa.
- La presión de aire mínima de trabajo para realizar la proyección de shotcrete debe ser 3.5 bares medidos con llave abierta.
- Instruir y capacitar en forma efectiva a operadores sobre la forma correcta de proyectar Shotcrete.

## Repaso de Conceptos Claves

### CHEQUEAR

Revisar o comprobar el estado de una labor, cosa, etc.

### SHOTCRETE

Es un proceso por el cual se proyecta hormigón a alta velocidad sobre una superficie, usando una manguera donde se impulsa mediante aire comprimido, para conformar elementos estructurales o no estructurales en edificaciones..

### PLANIFICAR

Es un proceso de toma de decisiones para alcanzar un futuro deseado, teniendo en cuenta la situación actual y los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los objetivos.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE



**Actividad 1: Identificación de condiciones que debe presentar un sector para proyección de shotcrete en una mina subterránea.**

### Estrategia Metodológica

Las estrategias son los procedimientos y recursos utilizados para promover el aprendizaje esperado a través de las actividades.

### Estrategia de Implementación de Actividades de Aprendizajes:

Estrategia de implementación:	Aplica
Recursos Plataforma Web	
Explicación Demostrativa en Aula	
Recurso Audiovisual	
Propuesta de Situación Problemática	
Formulación de Preguntas	
Trabajo en Sala de Clases	
Otros (especificar)	

### Objetivo

Identificar las variables que se deben conocer antes de proyectar shotcrete en un determinado sector de una mina subterránea.

### Materiales y recursos

Cuaderno del participante

PC y proyector

Acceso a Internet





## Descripción de la Actividad



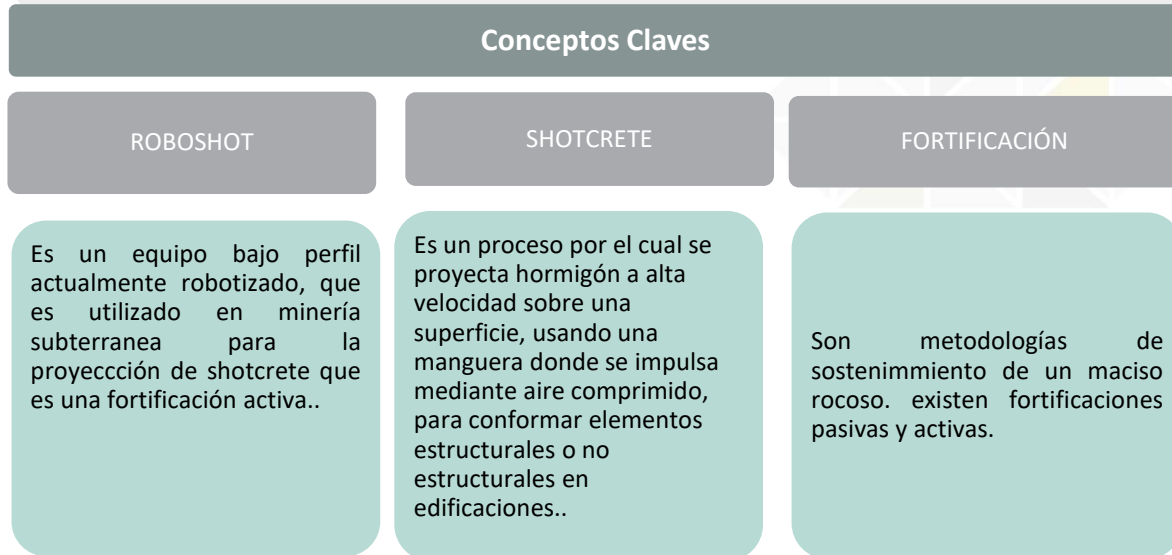
Etapa	Especificaciones
Inicio	<p>Se realizan grupos de mínimo 2 personas, los cuales deben planificar un turno con todas las operaciones unitarias que se desarrollan en un turno normal de operaciones, en minería subterránea. Una vez definida la secuencia de proyección de shotcrete se deben evaluar sectores y parámetros estipulados para proyección de shotcrete, con el fin de evitar interferencias en la continuidad de las operaciones en la mina.</p> <p>La siguiente actividad consiste en que los participantes, guiados por el instructor, realicen:</p> <p>Planificación de un turno considerando todas las operaciones unitarias que se realizan en un turno de mina subterránea.</p> <p>Identificar los sectores donde se requiere fortificar con shotcrete.</p> <p>Establecer la secuencia de proyección de shotcrete para evitar y/o minimizar las posibles interferencias.</p>
Desarrollo de la actividad	<p>El instructor debe seguir las siguientes indicaciones para el desarrollo de la actividad:</p> <p>Generar una carta Gantt donde se establezca una secuencia clara de las operaciones unitarias priorizando la producción y considerando las interferencias por fortificaciones con shotcrete.</p> <p>Identificar la ruta crítica de producción.</p> <p>Entregar indicaciones de seguridad y velar por la adecuada aplicación de los controles críticos. El instructor es responsable de la correcta identificación, evaluación y controles de riesgos en relación a la actividad.</p> <p>Analizar la carta Gantt.</p>
Duración de la actividad	30 minutos.

### **Cierre de la Actividad**

El instructor refuerza los conceptos y habilidades aprendidas, y comenta lo resultados de las actividades desarrolladas.

## 2. Equipo Shotcrete

**Aprendizaje esperado:** Comprender el funcionamiento técnico - operativo de equipo de proyección shotcrete de acuerdo con lo establecido en manual de equipo



### Introducción:

La aplicación del hormigón proyectado se puede dividir en dos métodos principales, shotcrete manual y shotcrete con equipos robotizados. El shotcrete manual se utiliza generalmente para aplicaciones en la construcción civil y reparación de hormigones. El shotcrete mecanizado se utiliza en aplicaciones de minería y construcción de túneles subterráneos y es ideal para aplicaciones sobre cabeza y en secciones de gran tamaño para taludes y túneles. El shotcrete robotizado, en los casos en los que el acceso y la altura estén dentro del alcance del equipo, puede también ser usado para la estabilización de taludes en minas a cielo abierto. En la construcción de carreteras y ferrocarriles es más común que se adopte el shotcrete manual por las restricciones de espacio y la aplicación en taludes, para esos casos el uso de plataformas elevadoras permite al pitonero llegar a las zonas más altas y distantes.

## 2.1 Componentes

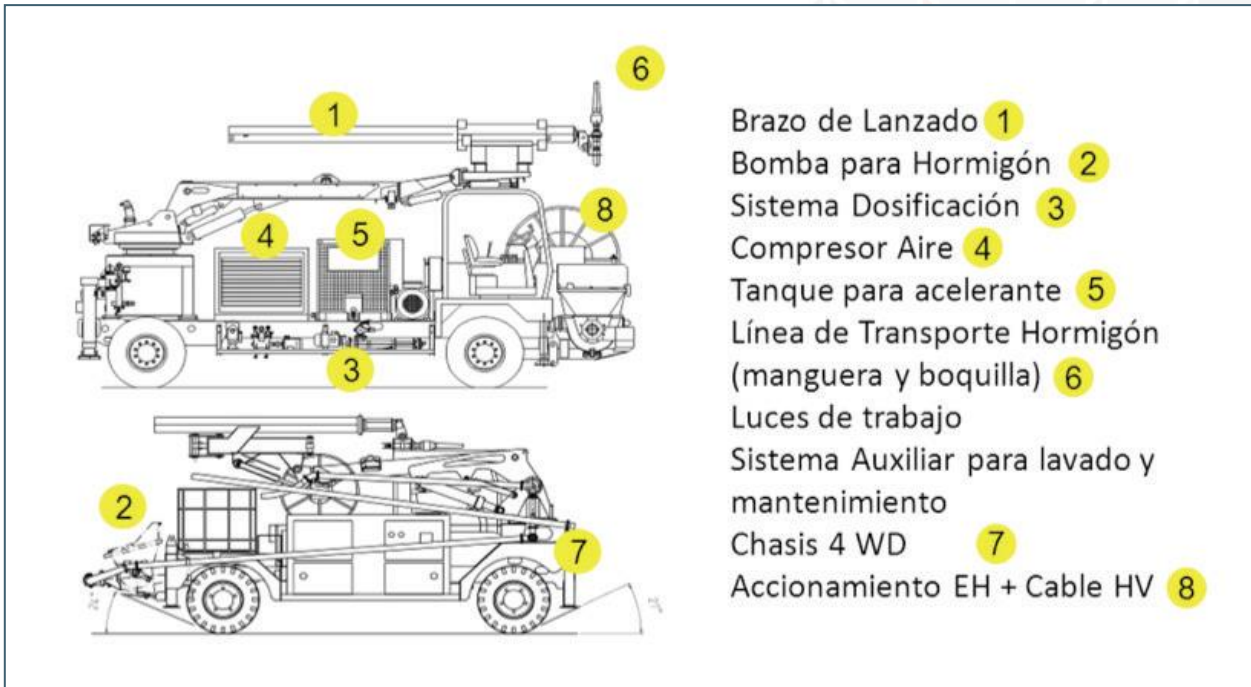


figura 1

## 2.2 Funciones.

- Control remoto proporcional para un fácil manejo de los movimientos del brazo, dual radio/cable).
- Bomba de aditivos líquidos sincronizada con el caudal de hormigón.
- Sistema de engrase automático para el correcto mantenimiento del equipo.
- Tolva con agitador y vibrador eléctrico regulable en la parrilla. Bombeo de fibras de acero o de polímero. Fácil apertura para mantenimiento y limpieza.
- Sistema de control con display multilingüe a color, indica el caudal de hormigón, la dosificación de aditivos, fallos, diagnósticos y alarmas.

## 2.3 Accesorios

### Equipos de control remoto

Los equipos de proyección de hormigón con mando a distancia se utilizan para mejorar la seguridad y la productividad de los operadores, debido a que:

- Mantienen al operador alejado de suelo sin soporte.
- Reducen al mínimo la exposición al rebote y el polvo.
- Permiten el acceso a zonas difíciles.
- Son menos exigentes físicamente que la proyección manual.
- Aumentan la productividad mediante un mayor rendimiento volumétrico. 1.- 2.- 3.- 4.- 5.

El equipo generalmente consiste en un brazo giratorio telescópico con la boquilla montada en este y la bomba de hormigón montada en un vehículo móvil, mientras que el operador controla los movimientos de la bomba y del brazo con un control remoto.



figura 2

### **Bombas y sistemas de dosificación de acelerantes**

Se pueden utilizar varios tipos de bombas cuando se dosifica el acelerante. El tipo de bomba es importante debido a la necesidad de tener un volumen de alimentación regular y preciso. Típicamente los dos tipos de bombas utilizadas para lograr esto son bombas “del tipo mono” o bombas peristálticas. La capacidad de la bomba de dosificación también es importante, ya que puede ser necesaria una tasa de hasta el 10% del contenido de cemento por metro cúbico de hormigón proyectado. La dosificación exacta es importante y algunas placas de control del equipo de hormigón proyectado han integrado sistemas computarizados que controlan y supervisan las dosis de acelerante. Estas unidades (en equipos más modernos) se incorporan en los sistemas de control del hardware de los equipos de hormigón proyectado. La Figura describe los modelos y ubicación típica de estas bombas de aditivo.



figura 3

### Boquillas

El diseño de la boquilla es importante ya que afecta la compactación del hormigón proyectado, el rebote durante la proyección y la consistencia de la mezcla cuando la proyección es en seco. En la mayoría de los casos la mezcla del acelerador se produce en la boquilla de hormigón proyectado y hace más relevante sus características y su mantenimiento o reemplazo en caso de desgaste. En el proceso seco, el anillo de agua y el montaje dentro de la boquilla es fundamental para asegurar la humectación completa de la mezcla.





figura 4

### **Línea de bombeo para traslado de material (culebrones)**

Las líneas de entrega de material están disponibles en varios materiales y diámetros y deben adecuarse al proceso de hormigón proyectado. Se debe tener en consideración las propiedades de los materiales constituyentes, longitud de la línea de suministro, las presiones de trabajo y la cantidad de hormigón requerido. El diámetro interno debe ser un mínimo de 4 veces el tamaño del agregado más grande en la mezcla. Cuando la proyección de hormigón es con fibras de acero en la mezcla, la longitud de la fibra debe ser preferentemente no más de 70% del diámetro interno.

Para las fibras sintéticas este requisito puede relajarse. No obstante, deben realizarse pruebas para asegurar que no se produzcan bloqueos ni de bolas de fibra.

La última sección de la línea de bombeo antes de la boquilla debe ser flexible, tener un tubo resistente a la abrasión, no ser plegable y también ser resistente a dobleces. La especificación de presión en la manguera siempre se debe revisar y debe estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la bomba. Todas las conexiones y acoplamientos o abrazaderas deben estar unidos correctamente y deben contar con medidas de seguridad adecuadas para la protección frente a reventones.

### **Tabla auxiliar de dosificación de aditivos**

Esta tabla se puede desarrollar en una planilla de cálculo sin mayor dificultad. Requiere establecer en primera instancia como datos de entrada:

- Dimensiones del cilindro o pistón de empuje del hormigón.
- Factor de rendimiento efectivo (asociado al nivel de llenado de cada “pistonada”).
- Dosificación del cemento, es decir cuantos kilos de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón.
- Densidad del acelerante.
- Porcentaje (%) de acelerante respecto al peso del cemento.

Con estos antecedentes se puede configurar, de acuerdo al número de emboladas de la bomba de hormigón, la cantidad de litros que debe entregar la bomba de aditivos. Generalmente se establece un mínimo y un máximo.

Esta tabla se puede omitir, si se realiza de manera correcta la “calibración” de la bomba de aditivos. Equipos computacionales insertos en los equipos de proyección realizan de manera integral la calibración de la bomba de aditivos, pero es necesario verificar esto en forma periódica.

#### **2.4 Describir peligros de equipo y sus medidas de control.**

El pitonero u operador, el encargado del camión Mixer o de entrega de hormigón, el operador asistente o cuadrilla deben ser instruidos y advertidos del uso del EPP apropiado. Este equipo incluirá botas de seguridad, overol, guantes, casco de seguridad, protector auditivo, protección para la cara (máscara del tipo “full-face” incluye trompas de respiración), lámpara, auto rescatador. Este equipo debe ser reemplazado cuando está dañado o desgastado.

El área de trabajo en torno a la proyección debe quedar protegida del rebote, del polvo de cemento y de producto químico en suspensión, por todo ello se requiere el uso permanente de máscaras aprobadas contra el polvo, respiradores y protección para ojos y oídos. Debido a la naturaleza irritante del cemento húmedo y diversos productos químicos utilizados en el hormigón proyectado, es necesaria la protección de la piel

Antes de acercarse a cualquier área en la que se va a aplicar hormigón proyectado, el equipo debe estacionarse en una posición segura y se debe realizar a pie una inspección del área de trabajo. Dado que el hormigón proyectado se aplica a menudo en zonas donde no hay suficiente apoyo en tierra firme se debe evaluar el riesgo de caída de rocas y se debe seleccionar una posición segura para instalar la plataforma. En un ambiente subterráneo, se debe evaluar si la ventilación es adecuada para eliminar desde el punto de trabajo el polvo y los humos que se generarán durante la proyección. Se debe restringir a través del uso de la señalización y barricadas el acceso a la zona de trabajo de personal y equipos no relacionados con el proceso de hormigón.

La superficie a proyectar el hormigón debe ser examinada por si existieran explosivos sin detonar (en caso de haberse realizado previamente una tronadura), suelo y roca suelta, filtraciones de agua y cualquier signo de desplazamiento del terreno, además de esperar la autorización después de la evacuación de gases producto de la tronadura. El operador también debe aprovechar esta oportunidad para identificar las áreas en las que será difícil aplicar shotcrete (zonas de sombra). En un ambiente subterráneo, la iluminación adecuada es crítica para asegurar que estos riesgos puedan ser identificados por el operador, y se recomienda usar para las inspecciones una linterna de mano de alta potencia. Después de una minuciosa inspección y evaluación de riesgos se puede llevar al lugar indicado el equipo de hormigón proyectado.



## Repaso de Conceptos Claves

### ROBOSHOT

Es un equipo bajo perfil actualmente robotizado, que es utilizado en minería subterránea para la proyección de shotcrete que es una fortificación activa..

### SHOTCRETE

Es un proceso por el cual se proyecta hormigón a alta velocidad sobre una superficie, usando una manguera donde se impulsa mediante aire comprimido, para conformar elementos estructurales o no estructurales en edificaciones..

### FORTIFICACIÓN

Son metodologías de sostenimiento de un macizo rocoso. existen fortificaciones pasivas y activas.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE



Actividad 2: Reconocimiento de las condiciones que debe presentar el equipo de proyección shotcrete para una correcta proyección de shotcrete en una mina subterránea.

### Estrategia Metodológica

Las estrategias son los procedimientos y recursos utilizados para promover el aprendizaje esperado a través de las actividades.

### Estrategia de Implementación de Actividades de Aprendizajes:

Estrategia de implementación:	Aplica
Recursos Plataforma Web	
Explicación Demostrativa en Aula	
Recurso Audiovisual	
Propuesta de Situación Problemática	
Formulación de Preguntas	
Trabajo en Sala de Clases	
Otros (especificar)	

### Objetivo

Identificar las variables que se deben conocer antes de proyectar shotcrete en un determinado sector de una mina subterránea.

### Materiales y recursos

Cuaderno del participante

PC y proyector

Acceso a Internet

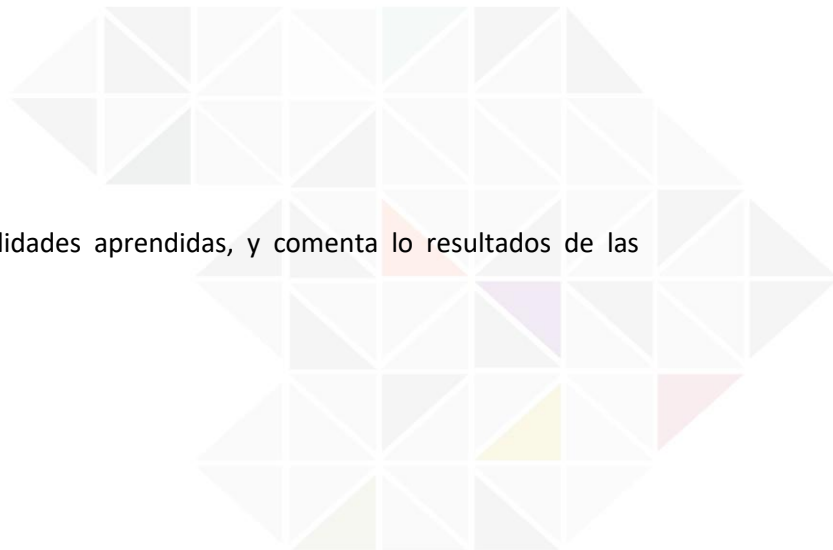


## Descripción de la Actividad

Etapa	Especificaciones
Inicio	<p>Se realizan grupos de mínimo 2 personas, los cuales deben planificar un turno con todas las operaciones unitarias que se desarrollan en un turno normal de operaciones, en minería subterránea. Para cuando se defina la secuencia de proyección de shotcrete se debe tener el estado mecánicas del equipo para proyección de shotcrete, con el fin de evitar interferencias en la continuidad de las operaciones en la mina.</p> <p>La siguiente actividad consiste en que los participantes, guiados por el instructor, realicen:</p> <p>Listado de los componentes mecánicos prioritarios de un Roboshot para realizar la proyección de shotcrete.</p> <p>Listado con los principales peligros presentes en equipo De proyección shotcrete y las medidas de control que se aplican para minimizar el riesgo.</p>
Desarrollo de la actividad	<p>El instructor debe seguir las siguientes indicaciones para el desarrollo de la actividad:</p> <p>Realizar un croquis con los principales componentes mecánicos de Roboshot.</p> <p>En una planilla establecer todos los peligros que tiene el equipo de proyección de shotcrete y asociar las medidas de control a cada peligro y en una tercera columna mencionar cuanta baja la evaluación de riesgo.</p> <p>Identificar la ruta crítica mecánicamente para realizar una correcta proyección de shotcrete.</p> <p>El instructor es responsable de la correcta identificación, evaluación y controles de riesgos en relación a la actividad.</p> <p>Analizar la planilla y croquis entregado por los participantes.</p>
Duración de la actividad	30 minutos.

### **Cierre de la Actividad**

El instructor refuerza los conceptos y habilidades aprendidas, y comenta lo resultados de las actividades desarrolladas.



### 3. Operación shotcrete.

**Aprendizaje esperado:** Identificar diferentes tipos de mezcla de shotcrete para fortificar según las condiciones operacionales del sector, como lo establece el procedimiento



#### 3.1 Componentes y cantidad shotcrete

El proceso de dosificación consiste en pesar o medir los materiales en masa o volumen de acuerdo a lo especificado. El mezclado es el proceso de combinar los materiales componentes para que se distribuyan de manera uniforme. La agitación es mantener la mezcla en una condición utilizable hasta que se la necesite. El hormigón y el mortero proyectado deben ser dosificados y mezclados como un hormigón tradicional, en Chile no existe normativa especial para el shotcrete, sin embargo, para esta etapa de dosificación y mezclado las recomendaciones de la NCh170 son en general aplicables. La capacidad de la planta para mezclar uniformemente debe ser establecida a través de ensayos preliminares en laboratorio y luego corroborados en pruebas a escala real, todo esto en la etapa de pre-construcción. El mezclado puede realizarse por varios métodos, mezclado en planta, con un mezclado por etapas o un mezclado en equipo móvil. Cada uno de estos métodos puede resultar ventajoso dependiendo de las circunstancias y necesidades específicas de la obra y proyecto

#### 3.2 Preparación de shotcrete

Usualmente se clasifica en dos tipos según el proceso de proyección:

##### Shotcrete por vía húmeda

Técnica en que el cemento, áridos, agua y otros componentes se procesan por lotes y se mezclan juntos en una planta o equipo móvil de mezclado, para luego transportarlos y descargarlos a una bomba, dónde la mezcla se transporta a través de un sistema de tuberías y mangueras a una boquilla

desde la cual se proyecta neumáticamente sobre el sustrato. El aire comprimido se introduce en el flujo en la boquilla con el fin de proyectar el material hacia el sustrato. En este hormigón proyectado se incorpora el aditivo acelerante antes de ingresar a la boquilla.



figura 5

### Shotcrete por vía seca

Técnica en la que el cemento y agregados se procesan por lotes y se mezclan mecánicamente sin hidratar el cemento. El material es transportado neumáticamente a través de mangueras o tuberías a la boquilla, donde se introduce el agua de hidratación antes de proyectar. Este hormigón proyectado también puede incluir aditivos o fibras o combinación de ambos.

### 3.3 Pruebas de calidad de shotcrete.

La preparación del sector es crítica para el desempeño del hormigón proyectado. En aplicaciones de minería y en la mayoría de las obras civiles el sustrato es comúnmente roca o suelo. El hormigón proyectado también se usa frecuentemente en minería en el desarrollo de túneles a través de bancos de relleno. El relleno se puede considerar como un suelo consolidado desde el punto de vista material. Para asegurar una adherencia adecuada del hormigón proyectado al sustrato, todo material como polvo y la roca suelta se debe quitar antes de la aplicación de shotcrete. La remoción de roca suelta se logra a través de un proceso conocido como “scaling”. La superficie o sustrato debe estar húmeda (pero sin agua libre) para evitar que el área de proyección absorba el agua del hormigón. La superficie debe limpiarse inmediatamente antes de la proyección para evitar que el polvo en la superficie impida la adherencia del hormigón a la pared.

### 3.4 Traslado de shotcrete.

En un entorno de minería u obra subterránea en general, es usual que se produzcan retrasos en la proyección de hormigón. En faenas mineras de mucha complejidad donde hay actividades de expansión y producción en ciclos, es un caso de estudio la optimización y disminución de tiempos de espera, especialmente cuando entran en conflicto las prioridades de las actividades de expansión y de producción. En el caso de retrasos, se debe tener cuidado para evitar la hidratación del hormigón. Se debe aplicar a la carga un estabilizador en las dosis recomendadas y evitar mezclar de manera continua. Cualquier incorporación de aditivo o agua debería anotarse en los registros de suministro de hormigón. La adición de agua se debe evitar debido a los efectos perjudiciales sobre la resistencia. Cuando la carga es capaz de ser proyectada de nuevo, el “huevo” del camión se debe girar por un período de tiempo suficiente antes de la descarga para garantizar que la carga se ha vuelto a mezclar adecuadamente. La mantención de la trabajabilidad de una mezcla de shotcrete depende fuertemente de cantidad de agua libre. Los ensayos muestran que ésta puede cambiar drásticamente con pequeñas variaciones en la dosis de agua inicial. Sin embargo, mayores cantidades de agua demandan mayores cantidades de cemento (para igual razón a/c) y retardan el fraguado de la mezcla (aumento en la dosis de acelerante. Soluciones recomendadas: Conocer con anticipación la trabajabilidad requerida y duración del ciclo de hormigonado. Proteger la mezcla de la alta temperatura, viento, radiación y evaporación. Evaluar el uso de controladores de fraguado.

Los equipos de proyección de shotcrete se abastecen normalmente con hormigón mediante el uso de un camión Mixer o agitador. Estos camiones se pueden utilizar tanto para mezclar y transportar el hormigón o simplemente para transportarlo. Normalmente, se descarga la mezcla de hormigón en una tolva situada en la parte trasera del equipo. El camión mezclador de hormigón retrocede hasta la tolva guiado por un asistente que siempre debe estar observando la descarga de la mezcla. Este ayudante debe estar visible para el operador del camión en todo momento. Todo el personal involucrado en este proceso debe estar consciente del riesgo de aplastamiento entre la tolva y la parte trasera del camión agitador, es decir, la comunicación es de vital importancia, especialmente en un entorno subterráneo que puede ser oscuro y ruidoso. Cuando se trabaja en pendiente las ruedas del camión Mixer deben quedar calzadas de modo que no se produzca un movimiento incontrolado de la maquinaria. La máquina de hormigón proyectado se estabiliza mediante el uso de “patas” tipo gato hidráulico. El camión Mixer convencional de uso en ciudad no es totalmente recomendable para el uso en la minería, ya que no tienen frenos de suficiente capacidad.



figura 6

El transporte del hormigón en camión-hormigonera presenta algunos aspectos que deben ser considerados para evitar que el hormigón fresco contenido en su interior, experimente efectos que puedan afectar su calidad.

Estos consisten principalmente en variaciones de la docilidad derivadas de Evaporación del Agua de Amasado del Hormigón.

La pérdida de docilidad por esta causa es mayor, cuanto mayor sea el tiempo de transporte y la temperatura y más baja la humedad ambiente y mayor la docilidad inicial.

Puede ser compensada sin riesgo de variación de las características del hormigón si se reintegra el agua perdida hasta recuperar el asentamiento de cono original del hormigón.

Sin embargo, debido a que este factor de variación va acompañado de otros que se desarrollan paralelamente, la corrección señalada es sólo teóricamente realizable en forma práctica.

Inicio del Fraguado de los Granos más Finos del Cemento.

Al igual que la pérdida de docilidad por evaporación aumenta también con el tiempo de transporte y con la temperatura ambiente.

Sin embargo, no es totalmente simultánea con ella, sino que normalmente se inicia con posterioridad, por lo cual su incidencia se hace visible en el período cercano a la descarga del camión y también durante ésta.

La corrección o atenuación de este efecto no debe hacerse por adición de agua, sino que influyendo sobre el proceso de fraguado de la pasta de cemento mediante el uso de aditivos retardadores.

De la descripción de estos procesos se deduce que para evitar o, el menos atenuar su producción, debe disminuirse lo más posible el tiempo que el hormigón permanece en el camión.

Las plantas garantizan normalmente tiempos de transporte de hasta 2 horas sin afectar la calidad del hormigón, contados desde la hora de salida de planta y hasta la hora del fin de la descarga (conforme a lo establecido en NCH 1934). Todo esto, salvo que las partes pacten otros tiempos y se adopten las medidas técnicas para asegurar las propiedades del hormigón. Sin embargo, el tiempo que dura el transporte es difícil de acortar, pues influyen factores que no pueden ser evitados, especialmente las demoras por el tránsito de las calles por donde debe pasar el camión, de manera que es en la obra donde deben evitarse las pérdidas de tiempo.

**Nota:** El plazo de transporte de 30 min. Establecido en NCh 170 se refiere al que media entre la descarga del camión Mixer y el lugar de colocación definitiva del hormigón. Es de responsabilidad del cliente la utilización del hormigón que ha sobrepasado el tiempo indicado, como también la adición de agua u otros productos con fines de recuperar o modificar la docilidad.



Cualquier situación no especificada debe quedar registrada en la respectiva guía de despacho (más adelante se adjunta una muestra de guía de despacho).

### 3.5 Características de shotcrete.

Dentro de los sistemas de proyección por vía húmeda, el más utilizado en la actualidad es el de flujo denso. Dichas máquinas se limitan a un bombeo a alta velocidad a través de mangueras especiales hasta una boquilla provista de un chorro de aire comprimido (boquilla de proyección), obteniéndose así un mortero u hormigón con una compactación suficiente. Las características específicas de la vía húmeda y la razón de ser su implantación 37 El sistema de proyección por vía húmeda requieren de una serie de equipos especializados, y consta de las siguientes fases:

**Amasado en planta y transporte.** - El cemento, los áridos, el agua y los aditivos se mezclan en la planta de hormigón adecuadamente hasta conseguir una perfecta homogeneidad de la mezcla resultante. Los cementos más usuales a utilizar son el Portland tipo I 42.5 R/ I 52.5 R aunque en ocasiones se utilizan cementos especiales de otro tipo, junto con diferentes clases de áridos (artificiales o naturales, de río o machaqueo). La clase R indica que son cementos de rápido endurecimiento, aspecto deseado al proyectar donde se buscan resistencias iniciales altas para que no haya tanto rebote y los trabajos de sostenimiento y revestimiento se realicen a un ritmo óptimo. Con el fin de facilitar el flujo diluido a través de las mangueras y reducir el rebote entre otras ventajas, se puede adicionar humo de sílice en una proporción de 15 kg/m<sup>3</sup>. Además, también es conveniente estudiar el cono de salida del hormigón, así como el tiempo de transporte para que en el momento en que el hormigón alimenta la máquina se alcance una plasticidad que se mantenga durante toda la operación. Según lo que se requiera, se suelen adicionar superplastificantes o estabilizadores.

**Vertido a tolva.** - La mezcla húmeda de cemento/áridos/agua se introduce en la tolva de alimentación de la máquina de proyección.

**Proyección.** - La mezcla entra en la manguera de transporte mediante una rueda o distribuidor (rotor) (flujo diluido), o en los pistones de la bomba (flujo denso). Los aditivos acelerantes de fraguado se adicionan en la boquilla de proyección, con el fin de conseguir resistencias iniciales altas y favorecer la disminución del rebote de proyección. La mezcla se transporta mediante aire comprimido (flujo diluido) o por bombeo (flujo denso) hasta una boquilla o pistola especial. Esta boquilla va equipada con un distribuidor de aire, para ayudar a la proyección. Se proyecta desde la boquilla sobre la superficie de aplicación.

El uso del hormigón proyectado para aplicaciones de soporte de rocas ha aumentado de forma exponencial en los últimos 15 a 20 años, lo cual ha impulsado un intenso desarrollo del mismo y variaciones en su composición como la adición cada vez más frecuente de humo de sílice y fibra metálica al hormigón proyectado por vía húmeda.

Las razones por las que se está produciendo este cambio a la vía húmeda son:

**Economía:** La capacidad de proyección ha aumentado considerablemente desde los tiempos de las máquinas de mezclado en seco, hasta los robots de vía húmeda modernos. En un turno de 8 horas, la capacidad promedio de proyección del método por vía húmeda es del orden de unas 4 a 5 veces mayor que la del método por vía seca.

**Ambiente de trabajo:** Al proyectar en vía seca, los operarios debían convivir y acostumbrarse a trabajar en medio de una gran cantidad de polvo. No sólo se emitía polvo desde la boquilla, sino también desde la máquina de proyección.

**Calidad:** La mala fama que tenía y para algunas personas todavía tiene la proyección por vía húmeda se debe a los deficientes equipos utilizados y al poco conocimiento del método, factores que han acarreado la producción de un hormigón de muy baja calidad. Lo cierto es que si se utilizan aditivos reductores de agua (cosa que implica una disminución de la relación a/c) y micro sílice, se pueden obtener resistencias a la compresión de hasta 100 MPa aplicando hormigón proyectado por vía húmeda. MBT (2000).

**Aplicación:** Con la proyección por vía húmeda se utiliza un hormigón ya mezclado en planta o bien un mortero pre envasado. Su preparación es idéntica a la de cualquier hormigón normal. En cualquier momento del proceso se puede controlar la relación a/c (y por tanto la calidad del hormigón). La consistencia se puede ajustar por medio de aditivos.

Es por tanto más sencillo producir una calidad constante a lo largo del proceso de proyección. Una vez lista la mezcla, se descarga en una bomba (si hablamos de flujo denso) y se transporta a presión a través de la manguera. Al principio se utilizaban bombas helicoidales; lo que más se utiliza hoy en día son las bombas de pistón. En la boquilla del extremo de la manguera, se añade aire al hormigón a razón de 7-15 m<sup>3</sup> /min y una presión de 7 bares según si la aplicación es manual o con robot. El objetivo de aplicar aire es aumentar la velocidad de proyección y de esta forma mejorar la compactación y la adherencia a la superficie. Un fallo que se suele cometer es el añadir una cantidad insuficiente de aire (generalmente de 4-8 m<sup>3</sup> /min) con lo que se alcanzan resistencias a la compresión, así como también adherencias deficientes y un aumento del rebote. Por ejemplo, para la proyección robotizada se requieren 15 m<sup>3</sup> /min de aire.

Además de aire, también se añaden acelerantes de fraguado en la boquilla, que no sólo permiten alcanzar unas resistencias iniciales considerables, sino que también mejoran la adherencia puesto que evitan el escurrimiento del hormigón sobre el terreno al adherirse este inmediatamente a la superficie. Al ser el hormigón resultante más compacto y homogéneo, también se logra una mejor resistencia a la congelación.

### 3.6 Manejo de Shotcrete.

Antes de cualquier proyección de hormigón, el equipo debe ser cuidadosamente recubierto con una capa de desmoldante (o similar) para ayudar con la limpieza de la máquina después de la faena de shotcrete. La boquilla de hormigón proyectado debe ser revisada constantemente después de cada faena, para verificar su limpieza y desgaste. Tanto la boquilla como el cuerpo difusor del acelerante y aire, son factores que pueden afectar la velocidad del hormigón proyectado a través de la boquilla

y por lo tanto la compactación que se logra. La mayoría de las boquillas tienen algún tipo de marcador de desgaste inherente a su diseño que indicará cuando deben ser cambiadas.

Las líneas del acelerante también deben ser revisadas antes de que comience la proyección. Se realiza cerrando la válvula de aire de la boquilla, apuntando hacia el suelo (para detener el acelerante que pueda devolverse por la línea de hormigón) y de a poco encender el suministro de aire para verificar que no haya fugas y la presión esté correcto antes de activar el paso del acelerante. El flujo del acelerador se puede comprobar observando el medidor en la bomba de aditivos, o se evalúa tomando el tiempo de llenado de un recipiente calibrado. Así mismo, debe asegurarse que la dosis coincide con las recomendaciones del fabricante para el contenido de cemento de la mezcla a proyectar.

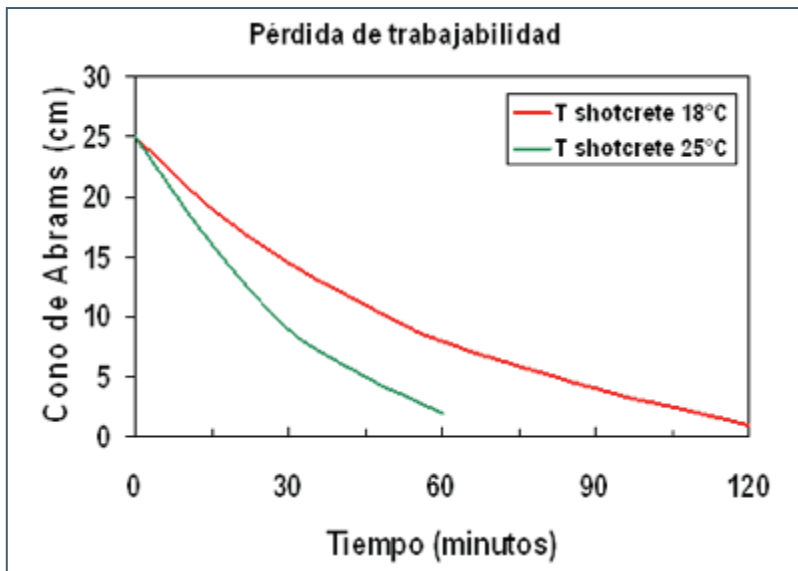


figura 7

#### Qué parámetros se evalúan de shotcrete antes de comenzar proyección.

El proceso concluye presentando la siguiente información complementaria al proceso de las mediciones:

- Caudal de la bomba de hormigón.
- Presión de aire.
- Caudal del acelerante.
- Ángulo y distancia del sustrato.
- Espesor del shotcrete.
- Temperatura de la mezcla.
- Tiempo de proyección.
- Descarga de agua y presión en la boquilla.

- Relación agua / cemento.
- Caudal efectivo proyectado desde la boquilla.
- Ubicación del sustrato.
- Características de las instalaciones o en el laboratorio de medición.

### 3.7 Proyección shotcrete.

Para minimizar el rebote y maximizar la compactación, la boquilla se debe mantener siempre a una distancia de 1 a 2 metros de la superficie que se está proyectando. También es importante el correcto ángulo de la boquilla el que debería ser, en lo posible, perpendicular a la superficie. El operador debe proyectar primero en todas las fisuras y fallas para asegurarse de que están llenas de hormigón proyectado. Todos los ángulos “escondidos” (sombras) y posibles zonas de acumulación de rebote se deben proyectar en segundo lugar. Después de ello, se puede proyectar sobre el sustrato la primera capa de shotcrete. El operador debe comenzar en el punto más bajo y trabajar hacia delante en un patrón oscilatorio horizontal para rociar una capa uniforme de hormigón proyectado sobre la superficie. Otros alcances sobre la técnica que permiten la disminución del rebote fueron analizados en el punto de shotcrete por vía manual. El hormigón proyectado se aplica generalmente en capas de aproximadamente 25 mm para evitar el desprendimiento de material, especialmente en aplicaciones sobre cabeza. El operador debe esperar al menos unos diez minutos entre capas para asegurar que el hormigón fragüe y permita una adherencia que pueda sostener la segunda capa. La mayoría de las aplicaciones de minería requieren un espesor de hormigón proyectado de entre 50 mm y 100 mm y las aplicaciones civiles requieren normalmente un espesor superior a 100 mm.

#### Secuencia de proyección.

Lavar la frente con agua y aire comprimido de ser necesario. Para lo cual debe utilizar un mínimo de agua, especialmente en las vetas donde el exceso de humedad puede causar condiciones de inestabilidad en la labor.

Previo a descarga del camión Mixer, accionar vibrador del Roboshot, que hace vibrar la tolva de éste y así el material no queda en la parrilla de la tolva.

El Operador de Roboshot se debe ubicar bajo techo seguro esto es: Acuñado o previamente fortificado, previniendo la caída de rocas.

Gire el switch a la posición "ON".

El operador de Roboshot al detectar cualquier condición sub estándar, deberá detener en forma inmediata la operación e informar a supervisor del sector.

Operador de Roboshot. Al momento de proyectar shotcrete, se debe ubicar al costado de equipo frente de la cabina: Si la proyección de shotcrete es en caja, gálibo techo del lado derecho, operador se ubica al costado del equipo frente a cabina lado izquierdo, si la proyección de shotcrete es en

caja, galibo techo lado izquierdo operador de ubica en costado de equipo frente de cabina lado derecha.

Atención: Nunca direcciona el flujo de shotcrete hacia su cuerpo, realice la proyección evitando que partículas provenientes del rebote caigan sobre su cuerpo.

Para la proyección de shotcrete en la cual la distancia lineal de la labor a fortificar sea menor a 4mt, es decir para 1 disparo de avance, la proyección se podrá realizar en avance o en retroceso indistintamente. Esto debido a que se cuenta con equipos Roboshot con un largo de pluma de 6 metros y 4.5 metros para, las cuales exceden el largo a fortificar.

Para la proyección de shotcrete en la cual la distancia sea menor a 7,0 metros, es decir avance de dos disparos, la proyección se podrá realizar en retroceso solamente si el sector a ser fortificado está debidamente acuñado. Se debe comenzar a shotcretar desde el fondo para luego ir retrocediendo la pluma en conjunto con la proyección del shotcrete, de tal manera de no exponer a operador de Roboshot y Mixer bajo shotcrete recién proyectado y/o techo inseguro.

En el caso de proyección de shotcrete al techo y galibo que exceda los 7,0 metros, se deberá proyectar por tramos esperando el fraguado para iniciar la proyección del tramo siguiente.

Para el caso de proyección de shotcrete en las cajas, este se podrá proyectar en tramos mayores a siete metros con los equipos en retroceso, sujetos a una buena acuñadura y como primera prioridad a lo estipulado en la nota de fortificación.

La proyección debe realizarse desde abajo hacia arriba, esto es de piso a techo, por cada costado del túnel.

La distancia adecuada de proyección está relacionada con la presión de aire disponible; esta distancia se ubica en el rango entre 1,0 y 2,0 m desde la superficie a proyectar.

La proyección se hará siempre en forma perpendicular, ángulo de 90 grados, respecto de la geometría del túnel. El operador debe proyectar haciendo girar el pitón en pequeños círculos para aumentar la compresión de la mezcla proyectada y disminuir el rechazo.

El operador de Roboshot deberá adicionar acelerante de acuerdo al tipo de roca y/o condición de humedad de la frente.

Posteriormente, se debe repasar desde donde se inició proyección hasta lograr el espesor final. El operador aplicará la primera capa de piso a techo por uno de los costados de la labor y luego repetirá esta acción por el otro costado, a continuación, repetirá la misma secuencia si faltara mezcla para el espesor determinado. Se establece que el tiempo de fraguado para la primera capa de espesor 1 pulgada, deberá ser de 10 a 15 minutos, además, el operador de Mixer antes de terminar de vaciar toda la mezcla transportada, deberá avisar a operador de Roboshot y dejará el buzón del Roboshot lleno de mezcla, para repasar un posible desprendimiento al término de la proyección.

La bomba de hormigón es capaz de desarrollar una presión aproximada de 60 bares en la mezcla, al salir de la bomba. Sin embargo, el promedio de la presión de bombeo será normalmente algo menos que el máximo.

Las líneas de bombeos deben ser capaz de soportar la presión máxima de bombeo de 60 bares (resistencia línea de bombeo).

La presión es más alta en la salida de la bomba de hormigón y se reduce uniformemente a cero al final de la línea de descarga, en condiciones normales de bombeo.

**PRECAUCIÓN:** Si se bombeó la presión de 60 bares se produce en toda la línea, desde la bomba hasta el punto donde se encuentra el tapón. El operador debe colocar en posición reversa la proyección respecto del sentido de bombeo. Trabaje con extrema precaución bajo estas condiciones.

Los accesorios tales como culebrones para la inyección de aire comprimido o expulsión del shotcrete, deben tener cadenas de seguridad y abrazaderas metálicas en las uniones para evitar chicoteo (para soportarlas) en una eventual desconexión. (Collarines de acuerdo al diámetro).

Cuando la parrilla de la tolva del Roboshot se obstruya con mezcla, el operador de Mixer con una paleta debe proceder a limpiarla sin retirar la parrilla. De ser necesario levantarlo, el Operador de Roboshot debe detener el equipo e informar al operador Mixer para que adopte las precauciones correspondientes.

El Operador de Roboshot debe verificar el buen estado de los culebrones, y la ausencia de sectores fisurados o desgastados, y según esto, avisar a Jefe Turno Mina para coordinar su reemplazo.

### **Tipos de grosor utilizados.**

Es importante controlar el espesor para asegurar que se está logrando no sólo el espesor adecuado sino también que la aplicación es de espesor uniforme y que el hormigón proyectado no se desperdicia debido a un espesor excesivo. Los métodos de control de espesor durante la proyección incluyen el uso de sondas de metal, de una longitud establecida, montadas en el extremo de la pluma para comprobar la profundidad del hormigón proyectado húmedo y también se puede usar “puntas” como indicadores de profundidad antes de que comience el rociado. Ambos métodos tienen algunas desventajas: Las “puntas (usadas para ser instaladas en el revestimiento del túnel)” montadas sobre el brazo pueden causar daños en el sistema hidráulico, dicho sistema es delicado y sensible a los golpes o contrafuerzas además no detectan sobre espesores ni dejan un registro permanente del espesor. Los usos de indicadores de profundidad aplicados de manera previa toman un tiempo de instalación y podrían desprenderse por la fuerza de la proyección o quedar “oscurecidos” por el shotcrete. Ambos métodos sólo proporcionan datos puntuales, y cuando se aplica a superficies rugosas de hormigón proyectado esto puede estar muy lejos de ser representativo del espesor real. El espesor de hormigón proyectado también puede medirse después de la proyección por otros métodos. El método más común en uso es la perforación y medición de agujeros con una sonda o varilla de acero liso, aunque el pequeño número de

perforaciones realizadas combinado con el hecho que sólo proporciona datos puntuales de un área en particular sugieren que este método es de un valor cuestionable. También hay una amplia evidencia de que los agujeros perforados para las mediciones se transforman en puntos de inicio para la fisuración del hormigón proyectado. Se pueden obtener datos más representativos mediante el escaneo tridimensional con equipos láser del área que está siendo proyectada, y más recientemente, a través de la fotometría. Se realiza un escaneo justo después del hidrolavado y otro después de la proyección y ambas mediciones se comparan con lo que se obtiene un “mapa del espesor”. Si se requiere el acceso a la zona para continuar con el avance del túnel, es normal que la proyección de shotcrete sea comprobada a través de un panel de ensayo (panel de reingreso) para habilitar el reingreso. Este panel se debe marcar con la fecha y la hora de proyección, y con un penetrómetro se puede comprobar el desarrollo de resistencia del hormigón proyectado sin tener que entrar en la zona con hormigón fresco. En todas las zonas recién proyectadas se debe indicar que existe riesgo por “hormigón proyectado húmedo”.

### 3.8 Características de proyección.

**El Shotcrete por vía húmeda** Es un concreto premezclado que es bombeado y proyectado a presión de aire sobre la superficie que se desee sostener, pudiendo **variar el espesor** del mismo teniendo en cuenta el tipo de roca que se va a trabajar. Está constituido a diferencia del shotcrete por vía seca de más aditivos como:

**Inhibidor de hidratación y/o estabilizadores**, permiten regular el fraguado o pudiendo mantener la mezcla las horas que sean necesarias para poder utilizarlo (12 a 72 hrs.).

**Superplastificantes**, ayudan a mantener la trabajabilidad del mortero y evitan la sobrecarga de agua en el concreto, recordar que si excedemos el agua de diseño el shotcrete pierde resistencia (como cualquier concreto).

**Acelerantes ultrarrápidos**, permiten que se puedan continuar con los trabajos de explotación pocas horas después de ser colocado y mejoran el desempeño del concreto en zonas húmedas.

**Humo de sílice o Micro sílice**, es utilizado como complemento del cemento incrementa la plasticidad y la resistencia a la compresión, su propiedad hace que la mezcla sea pegajosa y más densa. Ahora estamos utilizando el **Filler Calizo**, no es tan fino como la micro sílice, pero aporta las mismas características.

**Fibras de acero y polipropileno**, este aditivo permite incrementar la resistencia a la compresión y flexión del shotcrete, pero no se debe usar como reemplazo de un refuerzo de acero.

Consideraciones:

**Aire:** Se necesita un suministro constante de aire comprimido limpio y seco con la presión y el volumen adecuado. El suministro depende de la especificación de un equipo en particular,



el estado de los equipos, las condiciones de operación en el lugar, la longitud y diámetro de manguera.

Se puede tomar como requisitos típicos del aire:

Para proyección de hormigón húmedo el consumo de aire es de aproximadamente 12 m<sup>3</sup>/minuto (425 pies cúbicos por minuto - cfm) a una presión de aproximadamente de 6 a 7 bar (88 - 102 psi).

Para proyección de hormigón vía seca el consumo de aire es de aproximadamente 15 m<sup>3</sup>/minuto (530 pies cúbicos por minuto - cfm) a una presión de entre 3 a 6 bar (44 - 88 psi aprox.).

**Agua:** La calidad del agua y su temperatura afectan el comportamiento del hormigón proyectado. El agua debe ser potable y con una temperatura por lo general de 18 a 25°C. También es importante contar con un suministro de presión de agua adecuado y la disponibilidad suficiente para aplicaciones particulares como el curado, la limpieza o la preparación del sustrato.

Otras consideraciones:

**Agua de amasado:** idénticas precauciones que en hormigones tradicionales (NCh1498).

En caso de sospechas respecto a la calidad del agua, realizar un análisis físico químico y realizar pruebas comparativas con agua potable.

Cuidado con la presencia de aguas sulfatadas o con cloruros.

Es esencial el uso de operadores experimentados y competentes que hayan recibido una formación adecuada en la aplicación de hormigón proyectado para garantizar la calidad de cualquier aplicación de shotcrete. Es fundamental considerar cuidadosamente el tipo de equipo, condiciones y requisitos de funcionamiento antes del inicio de la proyección de hormigón. Es esencial contar con personal bien entrenado de preferencia certificado y, más importante aún, con un supervisor técnico o profesional competente y experimentado en terreno.

**Acelerante:** El método por vía húmeda requiere que se añadan estos aditivos en la boquilla, con los cuales se consigue una reducción del asentamiento, la mezcla pasa de consistencia líquida a pastosa mientras está todavía en el aire y se consigue que se adhiera a la superficie cuando aumenta el espesor de la capa.

Una posibilidad que permiten es poder proyectar sobre una superficie vertical o sobre la clave sin que haya un rebote importante. Además, permite que se pueda utilizar como soporte inicial.

Los acelerantes son añadidos en forma líquida mediante una bomba dosificadora especial (bomba de pistón o de gusano). La dosificación del acelerante dependerá de la capacidad del operario, de la superficie y de la relación agua/cemento. Una relación agua/cemento elevada requerirá una mayor cantidad de aditivo para poder reducir la consistencia.



Por otro lado, el hecho de que aumente la resistencia inicial de la mezcla, trae la contrapartida de que la resistencia a los 28 días disminuya en relación a una mezcla que no disponga de acelerantes de fraguado. Por tanto, es importante no abusar de estos aditivos y disponerlos en un porcentaje mínimo (menor consumo en las paredes que en la clave).

Tradicionalmente, los acelerantes que se han venido utilizando estaban basados en aluminatos o silicatos, según cuál era la legislación del país, pero como consecuencia de que los requisitos en cuanto a seguridad y salud en el trabajo cada vez son más exigentes, se han desarrollado una nueva gama de acelerantes de fraguado libres de álcalis.

La diferencia básica entre los acelerantes de aluminato y los de silicatos, es que los de aluminato participan en el proceso de hidratación y contribuyen a aumentar las resistencias iniciales en las primeras 0,5-2 horas (1-2 MPa).

Los acelerantes de aluminato se utilizan preferentemente en aplicaciones de rocas blandas con alta deformación, y en aquellas donde se requieren soportes de alta resistencia inicial y espesores grandes (> 15 cm) en tiempos cortos después de la excavación. Son igualmente apropiados para situaciones que se caracterizan por problemas de agua. Las características específicas de la vía húmeda y la razón de ser su implantación 50

Estos acelerantes comienzan a desarrollar resistencia después de 5-10 min, y después de 20-30 min la resistencia ha alcanzado un valor suficientemente alto (>0,4 MPa) como para que el hormigón proyectado pueda aguantar su propio peso. De esta forma, como ya se ha comentado, permiten realizar la proyección con capas más gruesas que por ejemplo los acelerantes basados en silicatos; oscilan entre 20-50 cm.

Los acelerantes basados en aluminatos tienen un PH muy básico. Como ya se ha explicado con anterioridad, el acelerante se añade en la boquilla junto con aire a presión, produciendo la dispersión de numerosas partículas que entran en contacto con los ojos, piel, vías respiratorias, provocando serios problemas de salud a los trabajadores. Además, estos productos deben tratarse con sumo cuidado puesto que pueden provocar afecciones cutáneas.

Resumiendo, las desventajas de los acelerantes de fraguado basados en aluminatos son las siguientes:

- Mayor disminución de la resistencia final que la obtenida con los silicatos (>30-50%).

- Al no reaccionar igual con cualquier tipo de cemento, es necesario comprobar su reactividad antes de proyectar.

- Al tener un PH altamente básico (>13) pueden causar daños en la piel, los ojos, también respiratorios.

Por eso una de las ventajas de los acelerantes libres de álcalis es que reducen considerablemente el riesgo de afección, sobretodo cutáneo. Los problemas respiratorios deben solucionarse con el uso

de protecciones diseñadas para ello. Las características específicas de la vía húmeda y la razón de ser su implantación 51

Por lo que respecta a los acelerantes basados en silicatos, se caracterizan por un efecto momentáneo, inferior a los 10 seg., de pérdida del asentamiento de la mezcla de hormigón proyectado, y no participan, a diferencia de los acelerantes de aluminato, en el proceso de hidratación (siempre que las dosificaciones no excedan el 20% del peso del cemento).

Los silicatos sódicos modificados fijan el agua en la mezcla; por este motivo la dosificación depende de la relación agua/cemento: cuanto mayor sea esta relación mayor cantidad de acelerante se requerirá para fijar el agua a la mezcla.

No producen unas resistencias elevadas las primeras 2-4 horas. Según el tipo de cemento y de la temperatura, se alcanza el fraguado final en tiempos superiores a los 30 minutos.

Se suelen utilizar para soportes permanentes, soportes temporales en donde no se requieran resistencias iniciales (roca dura), trabajos de reparación, lugares con un espesor máximo limitado (10-15 cm) de aplicaciones en clave.

Las ventajas que proporcionan estos acelerantes de silicato son:

- Funcionan en toda clase de cemento.

- Como ya se ha dicho antes, la disminución de las resistencias finales es inferior que en el caso de los acelerantes de aluminato (4-6%).

- Gran efecto como aglomerante.

- No son tan dañinos para la piel ni para el medio ambiente como los otros. De todas maneras, es necesario mantener las condiciones de seguridad (guantes, lentes de contacto).

- Tienen un menor porcentaje de álcalis que los acelerantes basados en aluminatos (< 8,5% de Na<sub>2</sub>O).

Por el contrario, no pueden utilizarse a temperaturas inferiores a los 5°C y el espesor de aplicación está limitado a unos 8-15 cm. Un problema generalizado, y asociado a todo tipo de acelerante es la dispersión que se produce en cuanto a los valores alcanzados por las resistencias a lo largo del paramento proyectado. Esto se debe a que a pesar de que la dosificación del acelerante es homogénea a lo largo de toda la mezcla, al transportar el hormigón por flujo en pistón, se provoca que la concentración de acelerante sea muy irregular con la consecuente dispersión de resultados. Gracias a la utilización y al avance que están teniendo los robots automáticos y los sistemas de dosificación de aditivos, este problema se está solucionando paulatinamente.

Hoy en día, por el énfasis que se hace en la seguridad de los trabajadores y en las condiciones medioambientales, los acelerantes libres de álcalis son los productos que están en pleno auge. Además, han aumentado los requisitos de fiabilidad y durabilidad. Las características específicas de

la vía húmeda y la razón de ser su implantación 52 de las estructuras de hormigón. Ciertos problemas como son las pérdidas de resistencia o efectos de filtrado son causados por el uso de acelerantes alcalinos fuertes, y eso ha llevado a la industria a buscar productos que ofrezcan un mejor rendimiento.

Una diferencia entre los acelerantes de aluminato tradicionales y los libres de álcalis, es que el efecto de los primeros sobre la resistencia a compresión, tanto del hormigón proyectado como del hormigón convencional, es una reducción entorno del 20-30%, mientras que con los otros estas pérdidas se limitan a un 5-10%. Esta reducción irá en función del aditivo en concreto y del porcentaje de dosificación. Además, ambos tipos de acelerantes son sensibles también al tipo de cemento.

Por el contrario, para obtener el mismo crecimiento de resistencia a edades tempranas, la dosificación del acelerante libre de álcalis se debe incrementar en un 3-4% respecto a los acelerantes convencionales.

Volviendo a la seguridad, los operarios que se dedican a proyectar el hormigón ya no aceptan como antaño el exceso de polvo, las quemaduras que se les producían en la piel, el riesgo a la pérdida de visión e incluso lesiones personales provocadas por caídas de rocas. Es este el motivo del gran desarrollo de los productos libres de álcalis que permiten y ofrecen un hormigón proyectado de calidad, en condiciones eficientes y económicas. Ya no se justifica la utilización de acelerantes de aluminatos ni de silicatos.

Como consecuencia de su compleja composición química, los acelerantes libres de álcalis son más costosos que los tradicionales. Sin embargo, no es el precio de los acelerantes algo que tenga una influencia decisiva en el momento de hacer la elección y su contribución al coste del hormigón proyectado es despreciable. Mucho más trascendentes son los ahorros de tiempo y de rebote que se obtienen, así como también la mejora de la calidad y del ambiente de trabajo.

Las ventajas que se obtienen con su uso son:

- Se reduce el riesgo de la reacción álcali-árido como consecuencia de la eliminación del contenido de álcalis que proviene de los acelerantes de aluminato cáusticos comunes.

- Se mejoran las condiciones de seguridad de los trabajadores por ser materiales menos dañinos como ya se ha comentado antes.

- Al reducirse la cantidad de componentes peligrosos que van a parar a las aguas subterráneas provenientes de la proyección del hormigón y del rebote que se produce, pues se produce una gran mejora ambiental.

Y como también se ha comentado antes, hay una menor pérdida de la resistencia final del hormigón que la que se producía con los acelerantes convencionales. Según cuál sea la aplicación para la que se quiere el hormigón proyectado (recubrimiento en diseños temporales o bien en estructuras permanentes) pues la importancia de una ventaja o de otra será mayor o menor.

## Repaso de Conceptos Claves

### DOSIFICACIÓN

Esta implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos.

### PROYECCIÓN SHOTCRETE

Es un proceso por el cual se proyecta hormigón a alta velocidad sobre una superficie, usando una manguera donde se impulsa mediante aire comprimido, para conformar elementos estructurales o no estructurales en edificaciones.

### ACELERANTE

Sustancia que se añade al cemento o a una mezcla de mortero, que modifica sus propiedades así como la rapidez del fraguado.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE



Actividad 3: Identificación de variables y/o parámetros que se deben cumplir para una correcta operación en la proyección de shotcrete en una mina subterránea.

### Estrategia Metodológica

Las estrategias son los procedimientos y recursos utilizados para promover el aprendizaje esperado a través de las actividades.

### Estrategia de Implementación de Actividades de Aprendizajes:

Estrategia de implementación:	Aplica
Recursos Plataforma Web	
Explicación Demostrativa en Aula	
Recurso Audiovisual	
Propuesta de Situación Problemática	
Formulación de Preguntas	
Trabajo en Sala de Clases	
Otros (especificar)	

### Objetivo

Identificar las variables que se deben conocer antes de proyectar shotcrete en un determinado sector de una mina subterránea.

### Materiales y recursos

Cuaderno del participante.

PC y proyector.

Acceso a Internet.



## Descripción de la Actividad



Etapa	Especificaciones
Inicio	<p>Se realizan grupos de mínimo 2 personas, los cuales deben planificar un turno con todas las operaciones unitarias que se desarrollan en un turno normal de operaciones, en minería subterránea. Además, definir la secuencia de proyección de shotcrete y coordinar que se cumplan las condiciones óptimas que debe presentar el sector donde se proyectará shotcrete y verificar que estén especificados los parámetros de construcción de shotcrete, con el fin de evitar interferencias en la continuidad de las operaciones en la mina.</p> <p>La siguiente actividad consiste en que los participantes, guiados por el instructor, realicen:</p> <p>Planificación de un turno considerando todas las operaciones unitarias que se realizan en un turno de mina subterránea.</p> <p>Listado de los parámetros operacionales que debe cumplir el shotcrete.</p> <p>Listar las características que se deben monitorear del shotcrete desde que se genera hasta que llega a postura.</p>
Desarrollo de la actividad	<p>El instructor debe seguir las siguientes indicaciones para el desarrollo de la actividad:</p> <p>Generar un check List de Shotcrete con todas las variables que se deben controlar para mantener en condiciones requeridas para su proyección.</p> <p>Definir cuáles son los parámetros operacionales que se deben cumplir para una buena proyección de shotcrete.</p> <p>Establecer medidas de control y/o pruebas para corroborar las características de shotcrete una vez instalado.</p> <p>Entregar indicaciones de seguridad y velar por la adecuada aplicación de los controles críticos. El instructor es responsable de la correcta identificación, evaluación y controles de riesgos en relación a la actividad.</p>

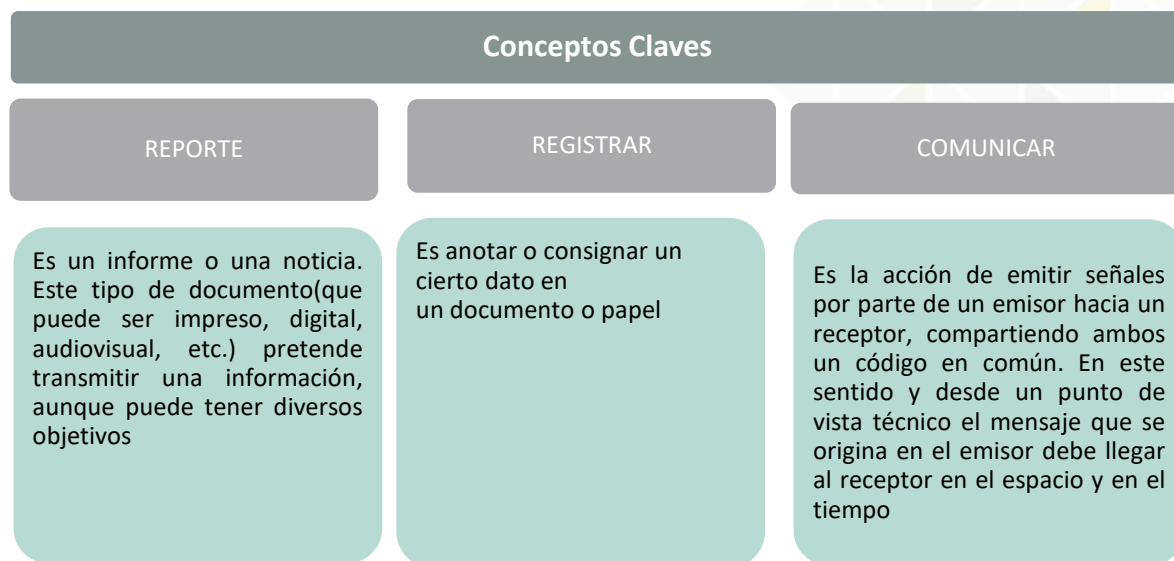
	Analizar la Check List de Shotcrete y planilla de control de parámetros operacionales (aire, acelerante, bomba, etc.)
Duración de la actividad	30 minutos.

### **Cierre de la Actividad**

El instructor refuerza los conceptos y habilidades aprendidas, y comenta los resultados de las actividades desarrolladas.

#### 4. Administración de la información

**Aprendizaje esperado:** Describir que información es relevante registrar y comunicar del equipo y Operación de Mixer.



Toda vez que se realiza la operación de trasladar material desde una planta hacia una postura en cualquier mina subterránea, se debe registrar y/ o comunicar información, referida a las variables que se requieren, por ejemplo:

Fecha

Postura

Cantidad de Material

Estado de Equipo

Ubicación

Horas de efectivas de Trabajo

Pérdidas Operacionales

Etc.



Para optimizar los tiempos de ciclos de operación de Mixer, es muy necesario recopilar información clara y precisa para mejorar los tiempos y con ello evitar las interferencias, lo que conlleva mejorar las productividades de la mina.

#### 4.1 Registros de información formatos.

Una vez terminada la operación de proyección de shotcrete en una determinada postura que fue coordinada por supervisión, debe quedar registrada toda la información referente a la operación de proyección de shotcrete, estado de labor, estado de equipos, comentarios referidos a trabajo, etc. Por ende, se requiere de un formato autocopiativo que contenga toda la información detallada referente a la operación, para que las futuras tomas de decisiones sean asertivas.

#### 4.2 Qué parámetros operacionales se debe informar.

Hora de proyección Shotcrete.

Cantidad de shotcrete proyectado.

Hora de proyección Shotcrete.



## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE



### Actividad 4: Creación de un formato de reporte de trabajo para Proyección Shotcrete

#### Estrategia Metodológica

Las estrategias son los procedimientos y recursos utilizados para promover el aprendizaje esperado a través de las actividades.

#### Estrategia de Implementación de Actividades de Aprendizajes:

Estrategia de implementación:	Aplica
Recursos Plataforma Web	
Explicación Demostrativa en Aula	
Recurso Audiovisual	
Propuesta de Situación Problemática	
Formulación de Preguntas	
Trabajo en Sala de Clases	
Otros (especificar)	

#### Objetivo

Identificar y comprender que información se debe registrar y comunicar en un reporte de trabajo de Proyección de Shotcrete.

#### Materiales y recursos

Cuaderno del participante

PC y proyector

Acceso a Internet



## Descripción de la Actividad



Etapa	Especificaciones
Inicio	<p>Se realizan grupos de mínimo 2 personas, los cuales deben identificar que variables de la operación de Mixer deben quedar registradas y /o comunicadas.</p> <p>La siguiente actividad consiste en que los participantes, guiados por el instructor, realicen:</p> <p>Establecer que variables de la operación de proyección de shotcrete deben ser informadas.</p> <p>Generar un formato de reporte de trabajo para registrar información de operación de proyección de shotcrete.</p>
Desarrollo de la actividad	<p>El instructor debe seguir las siguientes indicaciones para el desarrollo de la actividad:</p> <p>Cada grupo debe entregar el formato creado para registrar información de operación de Shotcrete.</p> <p>Se revisan y analizan los formatos por instructor.</p> <p>Se llenan los formatos con las variables que serán informadas de operación de Shotcrete.</p> <p>Se discuten las variables que reporta cada grupo.</p> <p>Revisar y analizar la información entregada en los respectivos formatos.</p>
Duración de la actividad	30 minutos.

## Cierre de la Actividad

El instructor refuerza los conceptos y habilidades aprendidas, y comenta lo resultados de las actividades desarrolladas.

## Fuentes Referenciales

[http://shotcrete.cl/wp-content/uploads/2014/09/guia\\_shotcrete\\_cap7.pdf](http://shotcrete.cl/wp-content/uploads/2014/09/guia_shotcrete_cap7.pdf)

[https://www.google.cl/search?biw=1366&bih=662&q=dosificacion+para+preparar+1m3+de+shotcrete&oq=dosificacion+para+preparar+1m3+de+shotcrete&gs\\_l=psy-](https://www.google.cl/search?biw=1366&bih=662&q=dosificacion+para+preparar+1m3+de+shotcrete&oq=dosificacion+para+preparar+1m3+de+shotcrete&gs_l=psy-)

<https://www.google.cl/search?q=caracteristicas+del+shotcrete&oq=caracteristicas+del+shotcrete&aqs=chrome..69i57.8533j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6250/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

<https://es.scribd.com/doc/27976109/Shotcrete-Caracteristicas-y-Consideraciones-de-Su-Uso>

[https://www.google.cl/search?q=funciones+de+los+equipos+de+shotcrete&oq=funciones+de+los+equipos+de+shotcrete&gs\\_l=psy-](https://www.google.cl/search?q=funciones+de+los+equipos+de+shotcrete&oq=funciones+de+los+equipos+de+shotcrete&gs_l=psy-)

<http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodo-por-via-seca-o-via-humeda/>

[http://shotcrete.cl/wp-content/uploads/2014/09/guia\\_shotcrete\\_cap6.pdf](http://shotcrete.cl/wp-content/uploads/2014/09/guia_shotcrete_cap6.pdf)

<https://www.google.cl/search?q=accesorios+del+shotcrete&oq=accesorios+del+shotcrete&aqs=chrome..69i57.6154j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

<http://bestsupportunderground.com/que-es-el-shotcrete/>

<https://www.google.cl/search?q=dosificacion+shotcrete&oq=dosificacion+shotcrete&aqs=chrome>

<https://www.google.cl/search?q=roboshot+mineria&sa=X&ved=0ahUKEwjalkNs5MnWAhVIhZAKHdBBC3MQ1QIlgwEoAA&biw=1366&bih=662>

## SOCIOS CCM



Una iniciativa de:

Con la asesoría experta de:

