

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas



**UTILIZACIÓN DEL SHOTCRETE COMO ELEMENTO DE
SOSTENIMIENTO EN LABORES DE DESARROLLO EN LA
U.E.A. HÉRCULES**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR:

Bach. WILDER LIZARDO GONZALES ZAVALA

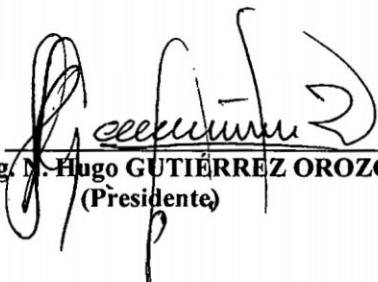
AYACUCHO - PERÚ

2011


“UTILIZACIÓN DEL SHOTCRETE COMO ELEMENTO DE SOSTENIMIENTO EN LABORES DE DESARROLLO EN LA U.E.A. HÉRCULES”

RECOMENDADO : 21 DE DICIEMBRE DEL 2011

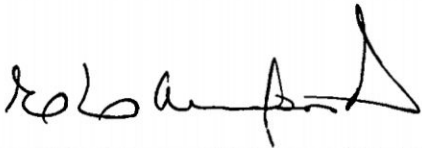
APROBADO : 11 DE MAYO DEL 2012



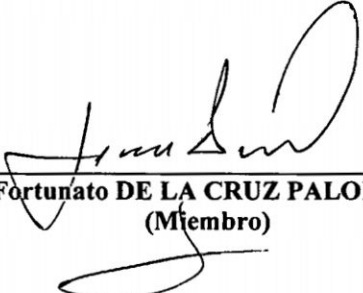
MSc. Ing. D. Hugo GUTIÉRREZ OROZCO
(Presidente)



Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES
(Miembro)



Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO
(Miembro)

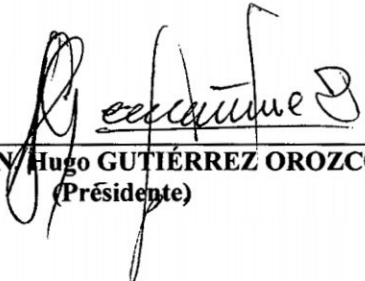


Ing. Fortunato DE LA CRUZ PALOMINO
(Miembro)

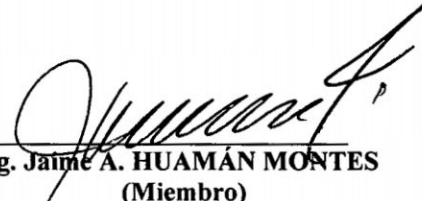


Ing. FLORO N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

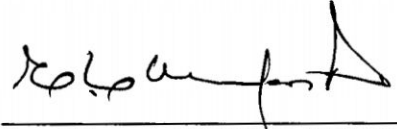
Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 11 de mayo del 2012, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas Sr. **Wilder Lizardo GONZALES ZAVALA**, con la Tesis Titulado “**UTILIZACIÓN DEL SHOTCRETE COMO ELEMENTO DE SOSTENIMIENTO EN LABORES DE DESARROLLO EN LA U.E.A. HÉRCULES**”, fue calificado con la nota de **CATORCE (14)** por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.



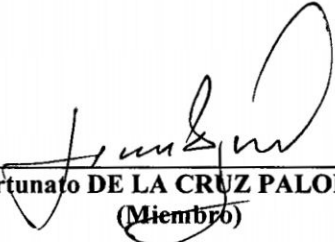
MSc. Ing. N. Hugo GUTIÉRREZ OROZCO
(Presidente)



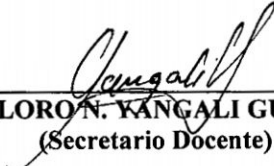
Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES
(Miembro)



Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO
(Miembro)



Ing. Fortunato DE LA CRUZ PALOMINO
(Miembro)



Ing. FLOR N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi padres Esteban Francisco Gonzales y Casilda Zavala, a mi amada esposa Elva, mis hijas Nátali y katia, que fueron mi sostén moral en momentos cruciales de mi vida personal y académica y a mis profesores de la Facultad por sus enseñanzas y consejos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente hago llegar mis sinceros agradecimientos a mis profesores de la Facultad, que me tuvieron paciencia con sus enseñanzas y consejos, para seguir adelante y llevar en alto el glorioso nombre de nuestra Alma Mater, por todas las zonas mineras del país. Aparte agradezco a la Gerencia de la Compañía Minera Huancapetí S.A.C., a SERVITRAL S.A.C. por haberme brindado todas las facilidades y permitido realizar este trabajo, objeto en esta tesis para optar el título de Ing. de Minas.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolla en la U.E.A. Hércules, de la Compañía Minera Huancapetí S.A.C., (antes Compañía Minera Alianza); que es una empresa minera formada por capitales peruanos creada en el año 2006, con sede en Lima, situado en el distrito de Aija, provincia de Aija, departamento de Ancash, a una altitud de 4200 m.s.n.m.

El trabajo consiste en el análisis de costos operativos en el proceso de sostenimiento al reemplazar el uso de madera que a la larga resulta más costosa y de menor vida útil, por el uso del **shotcrete u hormigón lanzado o proyectado**, como sostenimiento temporal pasivo debido a que los trabajos en mina son dinámicos y que el tipo de roca corresponde al tipo III, presentando fracturas identificables a simple vista, por lo que se acondiciona perfectamente al uso del tipo de sostenimiento arriba mencionado. Con la adición de fibras, pernos y mallas se logra un mejor trabajo de sostenimiento.

Actualmente en las galerías de la Unidad Minera Hércules se están usando cuadros de madera como elemento de sostenimiento con resultados poco alentadores ya que de vez en cuando se han registrado accidentes por caída de rocas con pérdidas de vida humana, que obligan a buscar alternativas in situ y de inmediato para resolver dicho problema.

Porque los reiterados reemplazos de los cuadros de madera perjudican el normal desarrollo de las operaciones, generando tardanzas en el cumplimiento de las metas que se trazan en el planeamiento semanal y a su vez generan incremento en los costos de las operaciones.

Es por esta razón que me dediqué a hacer la investigación correspondiente con el apoyo de la UMH, el cual palpo esa experiencia en este trabajo.

INTRODUCCIÓN

El shotcrete u hormigón lanzado o proyectado es una técnica de ingeniería civil introducida a la minería desde 1910, cuando el norteamericano Carl E. Akeley patentó una máquina shotcreteadora que permitía proyectar o lanzar sobre una superficie mortero de cemento y arena con resultados alentadores para su posterior uso en diversas obras de ingeniería, como construcción de túneles (obras civiles), construcción de túneles (operaciones mineras), estabilización de taludes (obras civiles y mineras).

En la minería subterránea moderna se ha generalizando su uso con buenos resultados hasta el momento, pese que en el Perú no existe una norma aprobada para tal, siendo lo contrario en otros países como Chile, USA, Canadá y Europa, los cuales tienen normas propias y diferentes estudios pero coinciden en que su mejor control es lo visual que se consiguen con la práctica y trabajos previos en laboratorio.

El avance de la tecnología minera con la implementación de maquinaria y equipos sofisticados cada día más, están reemplazando la madera por el uso del shotcrete combinado con pernos de anclaje, mallas y aditivos.

Respecto a los costos se puede ver en este trabajo, que realmente resultan económicos si se trata de visualizarlos en un periodo relativo de 8 a 10 años o sea a largo plazo, en comparación a los otros como cimbras, maderas y pernos.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

TÍTULO

DEDICATORIAi

AGRADECIMIENTOSii

RESUMENiii-iv

INTRODUCCIÓN E INDICE GENERAL v-xi

CAPITULO I: GENERALIDADES1

1.1.- UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DE LA MINA. 1-4

1.2.- ANTECEDENTES, HISTORIA 4-6

1.3.- OBJETIVOS 6

1.4.- DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 7-10

1.5.- JUSTIFICACIONES, LÍMITES Y ALCANCES

DEL PROYECTO. 10-11

1.6.- INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA 11-13

1.7.- RECURSOS, ORIGEN DE LOS AGREGADOS 14

CAPITULO II: GEOLOGÍA Y GEOMECÁNICA 15

2.1.- GEOLOGÍA REGIONAL 16

2.2.- GEOLOGÍA LOCAL	16
2.3.- GÉNESIS DEL YACIMIENTO	18
2.4.- LITOLOGÍA Y MINERALOGÍA	18-19
2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	20-23
2.6 GEOMECÁNICA	24
2.6.1 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCA CAJA	24
2.7 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE ELECCIÓN:	24
2.7.1 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ROCA	25
2.8 ALTERABILIDAD Y GRADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ROCAS	25
2.9 GRADO DE FRACTURACIÓN DE LAS ROCAS	25-27
CAPITULO III: SHOTCRETE USOS, APLICACIONES.	28
3.1 HISTORIA DEL SHOTCRETE Y MARCO LEGAL	28-30
3.2 UTILIZACIÓN DE OTROS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO: CIMBRAS, CUADROS DE MADERA Y PERNOS.	30-44
3.3 DISEÑO DE SHOTCRETE	44-45
3.4 TERMINOLOGÍA: GUNITA	45
3.5 CÁLCULOS DE ESFUERZOS Y CONDICIONES	

PARA EL SHOTCRETE	46-50
3.5.1 EXIGENCIAS MECÁNICAS	50
3.5.1.1 FÍSICAS	51
3.5.1.2 HIDRÁULICAS	51
3.5.1.3 QUÍMICAS	51
3.6 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SHOTCRETE	51
3.6.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	52
3.6.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	52
3.6.3 RESISTENCIA AL IMPACTO	53
3.6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	53
3.6.5 CORTANTE Y TORSIÓN	54
3.6.6 MÓDULO DE DEFORMACIÓN	54
3.6.7 PUNZONAMIENTO	55
3.6.8 DURABILIDAD	55
3.7 COMPONENTES Y DOSIFICACIÓN DEL SHOTCRETE	56
3.7.1 CEMENTO	56-57
3.7.2 AGUA	57
3.7.3 ÁRIDOS	58
3.7.4 ADITIVOS	59

3.7.5 ADICIONES	60
3.7.6 FIBRAS	61-63
3.8 SISTEMAS DE PROYECTADO: VÍA SECA, VÍA HÚMEDA Y VÍA INTERMITENTE	63
3.8.1 SISTEMA DE MEZCLA SECA	64
- PROCEDIMIENTOS (PETS)	64-66
- DISEÑO DE SHOTCRETE VÍA SECA Y MATERIALES	67
- USOS PARA SECCIONES MENORES A 3X3 M	67
3.8.2 SISTEMA DE MEZCLA HÚMEDA	68
- PROCEDIMIENTOS (PETS)	69
- DISEÑO DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA Y MATERIALES	69
- USOS PARA SECCIONES MAYORES A 3X3 M	70
3.8.3 SISTEMA DE MEZCLA INTERMITENTE	70
3.9 TECNOLOGÍA DEL SHOTCRETE	71
3.10 FUNCIONES QUE CUMPLE EL SHOTCRETE	71
a- SOPORTE	72
b- SELLO	72
c-	ELE
MENTAL	72

3.11 EFECTO REBOTE	73-75
3.12 EQUIPOS, MAQUINARIAS, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS	75-77
CAPITULO IV: COSTOS Y PRESUPUESTO, SEGURIDAD Y TIEMPO	-78
4.1 COSTO METRO LINEAL DE SHOTCRETE	78
4.1.1 PRESUPUESTO	78
4.1.2 DATOS	79
4.1.3 RESUMEN DE DATOS	80
4.1.4 CÁLCULO DE COSTOS POR TAREA	80
4.1.5 COSTOS TOTALES: MATERIALES, EQUIPO, PERSONAL.	
COSTO METRO LINEAL DE SHOTCRETE	81-82
4.1.6 COMPARACIÓN DE COSTOS	82
4.2 SEGURIDAD	83
4.3 TIEMPO	84
CAPÍTULO: V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 85-86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	88
•	Plan
os del Proyecto	88A-88B-88C- 88D

•		Resu
	ltados de los cálculos	89-92
•		Cu
	adros y Gráficos, Diagramas, Figuras y Fotografías	93-95
•		Hoj
	a de abreviaturas mencionadas en la tesis	96

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 UBICACIÓN DE LA MINA

El área de la Compañía Huancapetí SAC, se localiza en la Cordillera Negra en la margen izquierda del curso del río Santa a 40 km. al Sur de la Ciudad de Huaraz a una altitud de 4,080 m.s.n.m. las Minas Hércules y Coturcán se encuentran ubicadas en la Provincia de Aija a 10 km de esta y a 33 km. del Distrito de Ticapampa a 4,600 m.s.n.m. y está delimitada por las coordenadas U.T.M.:

217.000E - 232.000E

8'908.000N - 8'928.000N.

Geopolíticamente pertenece a la jurisdicción de las provincias de Recuay y Aija del departamento de Ancash.

La vía de acceso a la Mina Hércules y Coturcán, es una carretera afirmada que está en constante mantenimiento, por ella se transporta hasta el momento 1200 toneladas de mineral diarios para su tratamiento a la planta concentradora que se encuentra en la parte alta de Huancapetí a 4900 m.s.n.m., en la jurisdicción de Recuay.

ACCESIBILIDAD

El medio de acceso a la Unidad Huancapetí es por vía terrestre, en parte asfaltada y otra afirmada.

A continuación se hace el cuadro de la distancia:

DE	A	DISTANCIA	TIPO CARRET.	TIEMPO
Lima	Desv. Pativilca	191 km.	Asfaltada	3 hrs
Desv. Pativilca	Recuay	196 km	Asfaltada	3 hrs
Recuay	Huanc.Hércules	30 km	Afirmada	1 hr
Lima	Hércules	417 km.		6 HRS

RECURSOS

En primer lugar en lo que se refiere al recurso humano, la zona de Recuay-Ticapampa son pueblos mineros desde la antigüedad, desde que se comenzó a operar, hace varios decenios la Compañía Minera Anglos French que luego sería Alianza S.A., cuyas minas y planta concentradora están en Aija y Recuay, por lo que hay mano de obra regional y exterior como Huánuco, Pasco, Junín, Cajamarca, La Libertad y lugares distantes como Puno y otros.

Los técnicos calificados como ingenieros, geólogos u otros también son de diferentes zonas, salvo los topógrafos, que son de Recuay, porque tiene una escuela muy competente.

En lo que representa a recursos hidrográficos, una de las mayores necesidades que se tiene al operar una mina es agua para la planta concentradora, en el caso de esta compañía, el agua aunque no es abundante es suficiente, se aprovecha el agua de la laguna represada en la altura de la planta concentradora, además en época de sequía se bombea a dicha laguna agua que sale de la separación del relave por sedimentación.

En la mina existe escasez relativa de agua para el uso doméstico y el utilizado en la refrigeración de las compresoras, para interior mina no existe problemas, la perforación se hace con agua que se recolecta en tanques.

Otros recursos como son la madera y otros, son abastecidos de los poblados circundantes y aledaños. Cabe señalar que dada las

características del yacimiento, de cajas bastantes compactas, duras y otras como en Hércules bastante fracturado y el método de explotación empleado, la necesidad de madera es bastante, siendo necesario usar en algunas operaciones como buzones de chimeneas, reparación y construcción de tolvas de gruesos puntales y en chimeneas y en algunos cuadros de las galerías de la Rp-700 de Hércules, donde están todas las labores de desarrollo y explotación.

1.2 ANTECEDENTES E HISTORIA

El "Distrito Minero de Ticapampa-Aija" en el que se circunscribe el Proyecto Alianza, tiene una larga historia de desarrollo minero de más de 150 años y es conocido por su contenido polimetálico de Zn, Pb, Ag y presencia de Au como subproducto en vetas y mantos.

La Compañía viene operando en Huancapetí a partir del año 1960, que en esa época pertenecía a un pequeño minero artesanal, luego pasaría a manos de la Compañía que comenzó a explotar y desarrollar la veta Tarugo primero, como es de suponer el pequeño minero sólo trabajaba labores superficiales en la mayor parte de las veces a pulso, como cateos, medias barretas, pequeñas entradas de galerías, etc. Actualmente se ven estas labores desde la carretera que pasa a Aija junto a la Mina Coturcán y Hércules.

El proyecto Alianza nace con la firma de un contrato de Joint Ventura entre la Compañía Minera Alianza y BillitonExploration and MiningPeru B.V. en octubre de 1996. El área del proyecto abarcaba una extensión de 19,000 hectáreas, llegando ese entonces a ser el titular de la

propiedad la Compañía Minera Yahuarcocha S.A. Sus derechos mineros comprendían petitorios, denuncios y concesiones, dividiéndose en concesiones de exploración y concesiones de explotación.

De la reseña histórica y la visita in situ a las galerías se desprende que solamente han usado la madera, pernos helicoidales, Split set más no shotcrete, pese que anteriormente cuando era Alianza existía un trabajo similar pero modesto, pues con el cierre de 20 años posiblemente quedó truncado el uso de esta alternativa.

Ahora el estudio de su geología arroja resultados que ameritan el uso inmediato de sostenimiento mucho más durable y de menor costo, ya que durante las épocas de lluvia existen muchas filtraciones en las labores subterráneas y luego de los disparos las fracturas hacen difícil el avance seguro, por lo que he realizado y planteado esta propuesta para frenar los accidentes por caídas de rocas, que como repito están ocasionando pérdidas humanas importantes, durante este año han acaecido 2 fatales que pudieron evitarse si se hubieran tomado las medidas correctivas del caso.

La Rp-700 tiene una longitud de 3 km, con pendiente que va desde 0.5° hasta 15°, lo cual ha atravesado varias calidades de roca con presencia de fallas y zonas muy alteradas

1.3 OBJETIVOS

Este trabajo tiene dos objetivos primordiales:

a.- Hacer un estudio de **costos** para motivar y cambiar la actitud de los responsables de la seguridad minera, con la implementación y utilización del shotcrete.

b.- También realizar estudio **técnico comparativo y económico** con relación a los cuadros de madera, que es el que tiene el mayor uso hasta el momento en Huancapetí.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación utilizado es el Método Descriptivo que pertenece al Tipo de Investigación Aplicada; la secuencia del trabajo fue de la siguiente manera:

Se tuvo que definir el orden siguiente de trabajo,

- Se definió el uso en las labores (rampas, cruceros, accesos, cámaras de perforación, superficie, etc) en las que la roca se encuentre intensamente fracturada y con resistencia menor de 50 MPa, incluyendo rocas muy fracturadas con presencia de superficies lisas, estriadas o con bitumen.
- Se definió el modo aplicar en etapas, primeramente el shotcrete con fibra, y en las segundas una primera capa de shotcrete, luego malla y perno, y por último otra segunda capa de shotcrete, ya que en superficies lisas el shotcrete no tiene mayor adherencia y usando la malla con perno se podrá obtener esta adherencia.
- El pitón de salida del concreto lanzado deberá estar a una distancia de 1.5 mts de la pared o techo a ser sostenidos.

- Se rociará el shotcrete perpendicularmente a la superficie, comenzando desde abajo hacia arriba.
- Después de tener definidas las condiciones de borde y los parámetros dentro de los ensayos a realizar se procedió a la ejecución de los mismos, teniendo cuidado a las normas aplicables a cada prueba.
- Debido a la característica particular del material y los procedimientos empleados para cada prueba "in situ", se esperó resultados que escaparon a la previsión teórica que obedecían sin embargo a las condiciones reales del trabajo en campo y por tanto fueron realizados igualmente. Factores como la acumulación de fibras en una determinada zona, diferencias en la densidad, propiedad de la mezcla del shotcrete, espesor por la irregularidad de las paredes, distribución de los esfuerzos internos, factores del medio ambiente, inexperiencia del personal en el uso de equipos nuevos, etc. Si bien son considerados dentro de todos los procesos experimentales pueden generar resultados imprevistos o contradictorios al marco teórico. Pero se tuvo mucho cuidado en escoger y seleccionar el material a usar, apoyados en las recomendaciones técnicas dadas en las normativas más usuales del ambiente internacional, como AENOR(1994), AFTES (1982)

La mezcla y dosificación fueron realizadas por el método de la vía húmeda de hormigón proyectado:

- Cemento: 300 kg/m^3 a 450 kg/m^3 obteniendo resistencias a compresión de 20-30 MPa

- Dosis de agua: vía húmeda de 0.40 á 0.60.
- Áridos: 16mm-30mm horm.proyect.
- Aditivos: acelerante de fraguado 2-8% en peso,10-15% silicatos.
- Adición : microsílíce o humo de sílice al 15%.(mejora el transporte)
- Fibras: sintéticas al 2-5% en peso.

Luego de shotcretear las zonas en forma de prueba se dejaron secar por 24 horas y se procedieron al curado con rociado de agua por 28 días seguidos.

Lo que finalmente se consiguió fue:

- Buena penetración y sello de grietas y discontinuidades abiertas, mejorando su resistencia y aumentando la adherencia de la capa de shotcrete.
- Permitir deformaciones plásticas de la roca durante su proceso de fraguado.
- Su aplicación neumática permitió un alto grado de compactación con una relación agua/cemento relativamente baja (0.30 - 0.60), con un tamaño máximo de agregado de 30.0 mm. y una cantidad de cemento de 300 a 450 kg/m³, pudiendo usarse acelerantes de fragua no mayor del 4% en peso, correspondiente con la cantidad de cemento a utilizar. Para aumentar su resistencia a la tracción, flexión y corte se agregaron fibras sintéticas.
- Durante los días de prueba se chequeó y monitoreó las labores shotcreteadas, procurando tener en cuenta la resistencia, impermeabilidad, consistencia, ya que no existe un método de dosificación universal; por lo tanto no fue la excepción en Huancapetí.

- Se tuvo cuidado de manejar este proyecto con las reservas del caso y la confidencialidad de la Gerencia hasta obtener resultados satisfactorios y poder exponerlo luego para su aplicación en el futuro, ya que se logró el objetivo de obtener bajos costos en contraste del uso habitual de la madera como sostenimiento. En un horizonte o periodo de 10 años.

1.5 JUSTIFICACIÓN, LÍMITES Y ALCANCES DEL PROYECTO

Justificación del proyecto

Se justifica por los siguientes factores

- Por factores de seguridad minera, ya que constantemente los elementos de cuadros de madera fallan por el exceso de carga y humedad en el techo, que deterioran rápidamente y en consecuencia se producen desprendimientos juntamente con los cuadros, produciéndose incidentes a menudo con resultados lamentables.
- Por el mayor tiempo de vida útil del shotcrete, dependiendo básicamente del diseño de mezcla y sus elementos que los componen, es decir que está en una relación proporcional con su $f'c$ del concreto mismo (Factor de resistencia por unidad de área).
- Por la misma dinámica de las operaciones, ya que toda vez que se producen colapsos en la vía (galería), paralizan el sistema de transporte de minerales, generando pérdidas en las operaciones.

Límites y alcances del proyecto

- El uso del Shotcrete puede ser limitante para empresas que pertenecen a la pequeña minería o que no tengan mucha solvencia económica, ya que está de acuerdo a la producción misma de cada unidad minera.
- El alcance de este trabajo va orientado como material bibliográfico e investigación para estudiantes a fines a la especialidad y objetivos que puedan tener.
- La proyección de Shotcrete y sus elementos de sostenimiento tienen una amplia gama en su utilización tanto en secciones reducidas, como en secciones amplias como pueden ser cámaras de almacenamiento, talleres en interior mina, e incluso estabilizar tajos.

1.6 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA

Instalaciones:

- Oficina
- Bodega
- Comedor
- Caseta para agregados y cemento
- Caseta de compresora e instalaciones eléctricas.

Recursos humanos

- Gerencia General
- Gerencia de Seguridad Minera

- Supervisor de túnel
- Trabajadores
- Departamentos de apoyo

Departamento de Ingeniería

Departamento de Geología y Topografía.

Recursos materiales

Equipos.

- Una máquina shotcretera **Delta-WD290** 8-12m³ de capacidad (rtda).
- Volquete de 26 TM, para apoyo
- Alimentación de cemento y aditivos
- Planta de lavado de arena de 6m³/h
- Área previamente desatada
- Aplicación del shotcrete.

Herramientas

- Mangueras de 2", 1" y ½" de diámetro.
- Válvulas de 2", 1" y ½" de diámetro.
- Tubos de 4" y 2"
- Reducciones
- Cable eléctrico
- Winchas
- Carretillas
- Martillos
- Alicates

- Llaves de boca
- Llave stylson
- Arco de sierra
- Escalera
- Pintura
- Lampa
- Pico
- Barretillas

Materiales de construcción

- Cemento Pórtland estándar tipo I
- Malla metálica de 4"x4"
- Alambre negro N° 12
- Arena fina y gruesa
- Áridos entre 16mm-30mm .
- Aditivos: acelerante de fraguado 2-8% en peso, 10-15% silicatos.
- Adición : microsílíce o humo de sílice al 15%.(mejora el transporte)
- Fibras sintéticas al 2-5% en peso.
- Split set de 8', 10' y 12'

1.7.- RECURSOS, ORIGEN DE LOS AGREGADOS.

La zona del Callejón de Huaylas cuenta con recursos de materiales de construcción que se depositan en la cuenca del valle del Río Santa, habiendo una empresa formalizada en la ciudad de Recuay, donde se extrae

una arena limpia y los respectivos agregados que van de acorde a las necesidades del cliente, en lo que respecta a la granulometría.

El origen de estos recursos son de las canteras aluviales de los afluentes y ríos secos del Santa y del mismo Río Santa, en la ciudad de Recuay, a 40 Km de la zona minera de Huancapetí.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo al Mapa Metal genético del Perú, el yacimiento de la U.E.A.

Hércules pertenece:

Era.....Cenozoica

Sistema.....Terciario o cretáceo volcánico

Formación..... Calipuy

Rocas.....Andesitas volcánicas o intrusivo monzonítico.

Después de la roca andesítica son los diques de hornblenda y el intrusivo constituidos por monzonita que aflora en forma de apófisis a medio kilómetro al sur de Hércules, este intrusivo es el que posiblemente ha originado el yacimiento de Hércules y Coturcán.

La roca andesítica volcánica es una roca ígnea que se ha formado por enfriamiento y cristalización del magma expuesto en la zona. La clasificación de esta andesítica volcánica sería:

Roca efusiva de minerales claros y oscuros con feldespatos y plagioclasas.

Se conoce dos tipos de andesita por su color; unos más claros y otros oscuros por su contenido mayor de minerales ferro magnesianos.

La Cordillera Negra a la cual pertenece Hércules, está conformada en mayor porcentaje por rocas andesíticas, la mineralización predominante es de Ag, Pb, y Zinc, y algunos cuerpos de mineral de Cu y Au

En el área de Hércules, Coturcán y concesiones aledañas, existen fallas similares con rumbo N-S, que tiene que ver mucho con la formación de estos yacimientos, pero los estudios realizados de toda la zona han sido poco estudiadas y difundidas por lo que no se tiene mayor información.

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

La geología local materia del siguiente estudio considera exclusivamente el yacimiento de la zona de Hércules.

El sistema Hércules-Coturcán corresponde a estructuras mineralizadas del tipo vetas, mantos y cuerpos o bolsonadas.

La Veta Hércules tiene una orientación promedio de N30°W y buzamiento 40°NE; La estructura principal tiene una extensión que fluctúa entre 3 Km. y 4Km y una potencia de 2.04 m

La Veta Coturcán tiene una orientación promedio N10°W y Buzamiento 30° a 45°NE, tiene una extensión reconocida de 2 Km y una potencia de 1.09 mt

El limite probable de la mineralización del sistema Hércules en profundidad está por debajo del nivel 6 (4,064 m.s.n.m.), entre 180 y 300 mt es decir entre 3,764 y 3,884 m.s.n.m. Por lo tanto la mineralización tiende a disminuir en profundidad y el sistema de vetas tiende a formar una sola estructura mineralizada angosta o veta con una potencia de 1 a 1.5m

La alteración hidrotermal tanto en los sistemas Hércules y Coturcán está restringida a vetas y a la zona de contacto con las rocas de caja adyacentes, con ocurrencias de sericitización, silicificación, argilitización y pirita diseminada. El área comprendido entre las Vetas Hércules y Coturcán están conformados de lavas, tobas y aglomerados de composición andesítica, normalmente frescos pero aisladamente ocurren venillas de epidota y diseminaciones de pirita, epidota y turmalina, lo que nos sugiere una propilitización hidrotermal débil.

GEOLOGÍA ECONÓMICA

La Minas Hércules y Coturcán son depósitos polimetálicos de Ag-Pb-Zn con probables contenidos de Au como ha sido demostrado en los análisis de los relaves. Las reservas a diciembre de 1,989 eran de 514,035 TMS; con 1.8 m de ancho; con leyes de 5.33 oz/Ag ; 2.91 % Pb, 3.35 % zinc, minables por métodos convencionales de explotación subterránea. Actualmente (2010) se están recuperando los pilares y cámaras después de estar cerrada esta unidad minera, por mucho tiempo, llegando a recuperar

1,600 TM diarias que por los precios internacionales resulta bastante atractivo.

Recursos Minerales

VETA	T.M.H.	POTENCIA	PLATA	PLOMO	ZINC
		METROS	OZ/T.C.	%	%
Hércules + Manto	2 005 080	4.50	4.80	2.89	3.58
Coturcán Sur	46 204	3.33	6.95	3.80	4.11
Coturcán Norte	59 535	1.98	6.51	4.10	3.71
Tarugo	45 275	0.80	3.50	3.00	3.05
Caridad	16 500	0.90	10.40	1.90	2.10

2.3 GENESIS DEL YACIMIENTO

El manto Lincuna (Hércules-Coturcán), tiene una formación mineral de metasomatismo de contacto. El cuerpo o estructuras mineralizadas son de tipo veta, mantos, cuerpos, con altos contenidos de Ag-Pb-Zn y yacimientos de origen hidrotermal, donde el Au y Cu se ha depositado en la roca volcánica de la Formación Calipuy en forma diseminada.

2.4 LITOLÓGÍA Y MINERALOGÍA

Las rocas predominantes en la zona Huancapetí son la andesita en mayor proporción seguida de los diques de hornblenda, el intrusivo formado por la monzonita que llega a aflorar en forma de apófisis cerca a la zona explotada de Tarugo, posiblemente este intrusivo haya originado el yacimiento de Hércules y Tarugo.

Andesita volcánica, es una roca ígnea formado por enfriamiento y cristalización del magma expuesto, se presenta en dos tipos por su color uno

claro(gris) y otros oscuros(verdosa) debido a su mayor contenido de minerales ferro magnesianos. Constituidos por piroxeno, oligoclasas, biotita, cuarzo, crisobelita y clorita que le da el color verdoso.

Intrusivo monzonítico, que es una roca determinada por sus características mineralógicas, composición, textura y color. Por el cual es considerada una roca de profundidad, de minerales claros, familia de las sienitas calco alcalinas, con ortosa y plagioclasa en igual proporción, pero poco cuarzo sólo en forma de pequeños cristales.

Diques de hornblenda, tienen mucha importancia porque son el relleno en todos los sistemas de mineralización existente en Huancapetí,

MINERALOGÍA

El yacimiento de Huancapetí donde se hallan Hércules y Coturcán es un agregado de varios tipos especiales de mineral, existiendo Pb, Zn, Ag y pequeñas cantidades de Au, Cu y Fe.

Genéticamente el depósito mineral se ha formado a partir del magma de las profundidades de la tierra que han sido las portadoras de las soluciones mineralizantes.

Este magma salido de las entrañas de la tierra ha estado a elevadas temperaturas que oscilan entre 500 a 700°C. Los vapores y gases contenidos reaccionan entre sí en este nivel de presión reaccionan formando otros compuestos; es en estas reacciones donde se pueden encontrar el origen de los minerales y yacimientos, mediante la solución residual que es una inclusión líquido-gaseoso que ha originado el depósito mineral.

Por lo tanto la explotabilidad del yacimiento en Hércules está basada quizás en la riqueza del mineral compuesta por:

MENA.- dentro de esto están presentes en forma de galena el Pb de grano fino que es la que contiene la plata, también como diseminaciones que se hallan en las cajas donde se encuentran el Zn en la blenda en forma de hilos separados, el cobre en forma de chalcopirita, aparece ligado en proporciones de 0.20 %.

En los concentrados que salen de la planta concentradora, las leyes del concentrado son:

MINERAL	LEY MINA	LEY CONC.
Ag	4.6	5.2 onz/TM
Pb	4.2	72%
Zn	5.1	54%

GANGA.- Producto de la explotación de los tajeos, está constituido por andesita, hornblenda, pirita en general, calcita, rodocrosita, cuarzo en 0.30% más o menos que afectan seriamente en la planta de tratamiento al momento de la flotación y en los castigos en la comercialización del concentrado.

2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

HUANCAPETI

- El proyecto Huancapetí se encuentra localizado al Sur de Pucamarca y en el sector NE del Proyecto, está delimitada por las coordenadas U.T.M :

223.000E - 224'0008

8'921.000 N - 8'922.000 N

Se emplaza a una altitud media de 4,550 metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión de 600m x 400m.

Geológicamente presenta una litología variada. En la parte baja (sector Norte) aflora un cuerpo de intrusivo sub volcánico de composición riolítica. Estas presentan una textura porfirítica destacándose abundantes fenocristales de cuarzo sub redondeados; dichas rocas tienen alteración hidrotermal de cuarzo-sericita y silicificación de baja a moderada.

Supra yaciendo a los intrusivos sub volcánicos ocurren tobas andesíticas a dacíticas con pequeños fragmentos líticos sub angulosos. Los minerales de alteración presentes en las tobas son pirita y epidota diseminadas y en finas venillas, lo que sugiere una alteración hidrotermal de propilitización.

La orientación de los pseudo estratos es N10°W y buzamiento 15° NE'

En cuanto a las estructuras mineralizadas hay presencia de pequeños tubos de brecha hidrotermal circunscritas a un área de 100m x 200m con clastos de hasta 1m de naturaleza riolítica, de formas angulosas, alterados a cuarzo-sericita en una matriz de turmalina; la brecha es afectada por numerosas venillas de cuarzo, turmalina y pirita. Con una orientación predominante N50°E a E-W.

Por el tipo de alteración cuarzo-sericita-pirita el área queda enmarcada dentro de un probable sistema pórfido.

La formación de las andesitas volcánicas de un medio magmático de alta temperatura ha sufrido posiblemente un enfriamiento casi violento, por eso se ven cristales bien formados, de aspecto vítreo y frágil ; debido al enfriamiento repentino y rápido que deben haber producido fracturamientos, resquebrajamiento y cambios de forma. Con posterioridad a este fenómeno se produjo la intrusión de la monzonita formando falla, fracturas y diques en su ascenso hasta enfriarse en algún momento.

El fenómeno estructural más importante que se encuentra son las fallas, aunque pequeñas pero de tal importancia para el emplazamiento de la mineralización existente.

FALLAS

A consecuencia de la intrusión monzonítica se han producido fallas en todo sentido (radial), pero sin efectos importantes en el yacimiento, y son:

- Fallas de N-W llamada Falla Tarugo, es la más importante de todas, donde se encuentra el relleno mineral que beneficia actualmente a las unidades mineras de Huancapetí

BRECHAS

Uno de los aspectos más interesantes del Proyecto Alianza es la presencia de brechas hidrotermales en los sectores Norte y Noreste del Proyecto donde se han reconocido 20 tubos de brechas que están distribuidos a lo largo de lineamientos estructurales y cruce de fallas. Las dimensiones mínimas expuestas en superficie están en el orden de 10mx25m y las dimensiones máximas están en el orden de 250m x 150m.

Con respecto a las formas predominan las ovaloides, circulares y tabulares. Las brechas se exponen en altitudes que van de los 4.150 m.s.n.m. a 4,650 m.s.n.m.

La distribución de los tubos de brecha y la presencia de minerales de alteración tales como: cuarzo cristalizado y amorfo, turmalina, epidota, sericita, clorita, pirita, sulfuros etc. nos indican que hay relación con un sistema pórfido.

BRECHA HÉRCULES

El afloramiento de brecha ocurre en las inmediaciones de la bocamina que da acceso al nivel 4 de la Mina Hércules a una altitud de 4.150 metros sobre el nivel del mar. La parte central de la brecha se localiza entre las coordenadas U.T.M.: 8'920.290 N y 220.000 E.

Tiene la forma tabular con una dimensión de 10mx25m. La brecha presenta clastos monomíticos de tamaños centimétricos y naturaleza dacítica (lava) alteradas con signos de sericitización. Los clastos son subangulares e imbricados. La brecha es soportada por la matriz de turmalina y sílice.

Presenta disseminaciones de pirita fina y turmalina en los clastos y en la matriz.

Clasificación: brecha hidrotermal

2.6 GEOMECAÁNICA

La geomecánica es la unión de la mecánica de suelos con la mecánica de rocas y es de suma utilidad en las operaciones subterráneas o superficiales

sirve para medir la calidad de roca y determinar el respectivo sostenimiento ayudando a que la SEGURIDAD MINERA se desarrolle eficientemente.

2.6.1 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCA CAJA

La roca predominante en las cajas techo y piso son las volcánicas todas pertenecientes al Grupo Calipuy del Terciario Inferior, que contienen los depósitos polimetálicos de Zn, Pb, Cu, Ag, Au, que se hallan emplazados en rocas intrusivas sub volcánicas y brechas hidrotermales. El comportamiento es totalmente inestable en los techos colgantes y que presentan fracturaciones producidas por la filtración de las aguas de lluvia, deshielo, subterráneas y la reacción química al entrar en contacto con el agua y zona sísmica andina que han alterado y debilitado las cajas, el rumbo y buzamiento promedio de la estratificación es N75°E y 20 a 40°NW. El agua al penetrar entre los planos de falla o juntas toma contacto con los granos de mineral y produce inestabilidad en las cajas, que se nota más al momento que se empieza a explotar los recursos, necesitando sostenimiento en las labores posteriormente.

2.7 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE ELECCIÓN

Se tendrá en cuenta para determinar la elección del tipo de sostenimiento a utilizar, el comportamiento geomecánico de acuerdo a las los siguientes parámetros que den como resultado de hacer el análisis de las propiedades físico mecánicas de la roca, alterabilidad y grado de conservación de las rocas y el grado de fracturas de las rocas, contando con la ayuda de la **TABLA DE RABCEWICZ**, quien relaciona el RQD y la clasificación de Lauffer

que dice: “La roca no se clasifica a partir de datos geológicos o geotécnicos, sino a partir de su comportamiento frente a la construcción de una excavación subterránea. Se requiere pues experiencia previa a datos de la propia excavación”

2.7.1 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ROCA

Todas las rocas del complejo Grupo Calipuy del Terciario Inferior sin excepción presentan notorios defectos mecánicos, que son fracturamientos con espaciamiento variable en distintas direcciones y longitudes, siendo las **juntas** las fracturas más simples y las **fallas** son los fracturamientos mayores ya que es el desplazamiento de dos masas rocosas o tectónicas; en este caso la falla llamada Tarugo que se mete en forma radial en todo el proyecto.

2.8 ALTERABILIDAD Y GRADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ROCAS

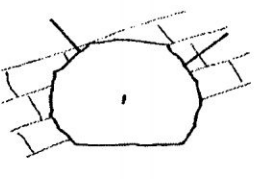
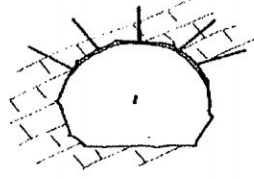
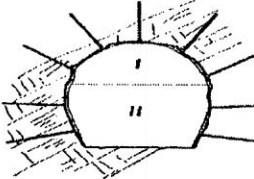
La alterabilidad se presenta por acciones químicas producidas por el agua que está en la superficie exterior en forma de hielo que al derretirse se filtra y ha producido que tobas se fracturen fuertemente, ya que éstos venilleos con altos contenidos de óxidos de fierro y de cuarzo turmalina, se alteren fácilmente con el correr del tiempo. En la zona de contacto con las rocas de caja adyacente la alteración hidrotermal están restringidas a vetas con ocurrencias de sericitización, silicificación, argilización y pirita diseminada.

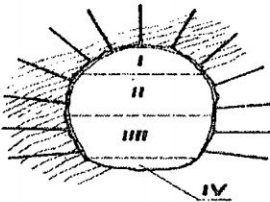
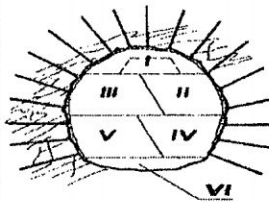
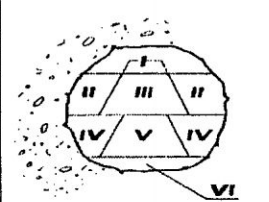
2.9 GRADO DE FRACTURAS DE LA ROCA

Todo esto ha producido que la roca se encuentre alterada en su conservación y se halle totalmente fracturada y su clasificación sea del Grupo III, debido a que las propiedades físicas han dependido de las alteraciones químicas de las propiedades de sus componentes minerales así como el tamaño, disposición y grado de ligazón en que los granos de minerales están unidos entre sí. Así se encuentra en Hércules y se puede ver a simple vista lo que se trata de describir en este trabajo. Se nota cuando encontramos zonas panizadas o con arcillas en los contactos de falla, que muestran minerales molidos uniformemente, esto nos dice que ha habido una actividad químico-físico que ha fracturado la roca y que se puede medir el grado de ello.

Todos estos estudios de geomecánica para determinar las propiedades hizo que se opte por la utilización de un sostenimiento pasivo como es el shotcrete , que se ha adaptado a las necesidades y exigencias de esta U.E.A. , con buenas perspectivas para su uso en adelante, por su costo y beneficio y fácil manejo.

Para ello se usó la clasificación siguiente de rocas: **TABLA DE RABCEWICZ**(fig.1)

TIPO DE MACIZO ROCOSO	TIPO I	TIPO II	TIPO III
CLASE DE TERRENO EXCAVADO	Roca estable poco fracturada.	Roca algo fracturada	Roca friable o muy friable.
FASES DE EJECUCION ESQUEMA			
TIPO DE SOSTENIMIENTO	Pernos aislados don de lo requiera el terreno.	Concreto rociado, pernos mallas, sostenimiento sistemático en bóveda, y cuando lo requiera concreto rociado en las paredes.	Sostenimiento sistemático en bóveda y paredes. Concreto rociado, pernos y mallas.

TIPO DE MACIZO ROCOSO	TIPO IV	TIPO V-a	TIPO V-b
CLASE DE TERRENO EXCAVADO	Roca de empuje inmediato.	Roca de empuje inmediato fuerte.	Roca sin cohesión alguna.
FASES DE EJECUCION ESQUEMA			
TIPO DE SOSTENIMIENTO	Sostenimiento sistemático en toda la sección. Concreto rociado + pernos + mallas.	Sostenimiento sistemático en toda la sección. en dos alternativas : - Concreto rociado + pernos + mallas. - Concreto rociado + cerchas metálicas + invertes metálico o concreto.	

CAPÍTULO III

SHOTCRETE U HORMIGÓN LANZADO O PROYECTADO USOS, Y APLICACIONES

3.1 HISTORIA DEL SHOTCRETE Y MARCO LEGAL

El Dr. Carl E. Akeley (1907) descubre el uso del cemento lanzado, pues era escultor y naturalista del Museo Americano de Historia Natural de Chicago, la necesidad de hacer modelos de animales prehistóricos aplicando arcillas sobre matrices de esqueletos para formar las figuras de dichos animales, llevó a desarrollar un método, que permitió, por medio de aire comprimido transportar desde un depósito la mezcla seca de cemento y arena a través de una manguera que remataba en una boquilla, en cuya salida se aplicaba la cantidad necesaria de agua, y así colocar la mezcla en un armazón de alambre y revestirlo, dándole el acabado deseado.

Evolución cronológica del shotcrete

1895: Se desarrolla la pistola original de lanzamiento del cemento (Chicago-USA)

1907-10: Invento del rociado de concreto a alta velocidad por el Dr, Carl E, Akeley.

1910: Patente en USA; registro del nombre Gunitite por la Cement Gun Co.

1920: Patente en Europa, en Alemania.

1930: Introducción del nombre genérico de **shotcrete** por la American Railway Engineering Association (AREA).

1940: Se da inicio al uso de agregado grueso en el concreto lanzado.

1945: Adopción del término **shotcrete** por el American Concrete Institute (ACI).

1950: Creación permanente del Comité ACI 506. Desarrollo de la pistola tipo rotatoria en Michigan.

1955: Introducción del método de vía húmeda.

1970: Primer uso práctico de concreto lanzado con fibra de acero por el US Army Corps of Engineers.

1975: Primer uso de concreto lanzado con microsilica en Noruega.

1980: Primer uso de microsilica en Norteamérica (Vancouver-Canadá).
Introducción de mezclas preembolsadas.

1985: Primer uso de aire incluido en concreto lanzado vía seca.

1998: Formación de American Shotcrete Association (ASA)

MARCO LEGAL

No está totalmente reglamentado el uso del Shotcrete en el Perú, existen ambigüedades en las normas, salvo en lo referido a sostenimiento en

labores mineras que se encuentran en el DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM). Algunos artículos que vale la pena nombrarlos son: Artículos 209, 221, 222, 223, 226, donde se menciona la mejor utilización de los métodos de sostenimiento, para darle seguridad al personal que labora en mina; en obras civiles está reglamentada por el D.S.010-2009-Vivienda, N.T.E.E.60 Concreto Armado (Norma Técnica de Edificación E.60 Concreto Armado).

Pero existen normas internacionales que sirven para la utilización correcta del shotcrete, como: ACI (American Concrete Institute), AENOR(Asociación Española de Normalización y Certificación), AFTES(Association Française des Tunneles et de L'espace Souterrain). En el Perú el uso del shotcrete se hace cada vez más importante.

3.2 UTILIZACIÓN DE OTROS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO: CIMBRAS, CUADROS DE MADERA Y PERNOS.

Existe una confusión entre lo que es un **soporte** de roca y un **refuerzo** de roca.

Refuerzo de roca generalmente consisten en sistemas de empernado o cables que proveen un refuerzo a la masa rocosa aumentando la resistencia friccional entre bloques que la componen.

Soporte, consistente en cerchas de acero o concreto, shotcrete o cuadros de madera, son diseñados para estabilizar la masa rocosa mediante el control del colapso progresivo o deformación de la misma.

En términos simples se dice que el **refuerzo**(diferentes tipos de pernos de anclaje) en un sistema "**activo**" mientras que el **soporte** es uno "**pasivo**".

Los dos sistemas son más bien complementarios que excluyentes o alternativos, y cada uno tiene una diferente función. Estas funciones se adaptan mejor según el tipo de macizo rocoso o condición de esfuerzos.

El uso óptimo de cada sistema, en términos económicos y de performance, depende de conocer y entender cómo trabaja cada uno de ellos.

A) CIMBRAS METÁLICAS

En operaciones mineras se emplea el sostenimiento con vigas de acero, cuando el macizo rocoso presenta condiciones de intenso fracturamiento o desintegración y su resistencia sea pobre o muy pobre (debajo de los 25 Mpa). Asimismo cuando este sea sometido a fuertes presiones que superen la resistencia de la roca, estas presiones pueden deberse a tensiones existentes por tectonismo, presiones litostáticas o presiones inducidas por redistribución de esfuerzos debido a las cavidades efectuadas en el laboreo minero

En cada uno de los casos se requiere de un sostenimiento con alta resistencia al cierre y que a la vez tenga una capacidad de deformación muy alta y evite la ruptura prematura del soporte, para lograr un control efectivo y seguro de tales condiciones en el terreno, se utiliza el acero debido a su excelente resistencia mecánica y propiedades de deformación y en particular, a su capacidad para admitir la deformación plástica.

El uso del acero en sus diversas formas de sostenimiento es aplicable a un amplio rango de condiciones del terreno, tanto en el campo de la minería como de la obra civil.

Esto es debido a las siguientes razones:

- ◆ Excelentes propiedades mecánicas a los esfuerzos de tracción y compresión a los que se ve sometido.
- ◆ Elevado módulo de elasticidad y ductibilidad
- ◆ Relativa facilidad para su fabricación y modelado

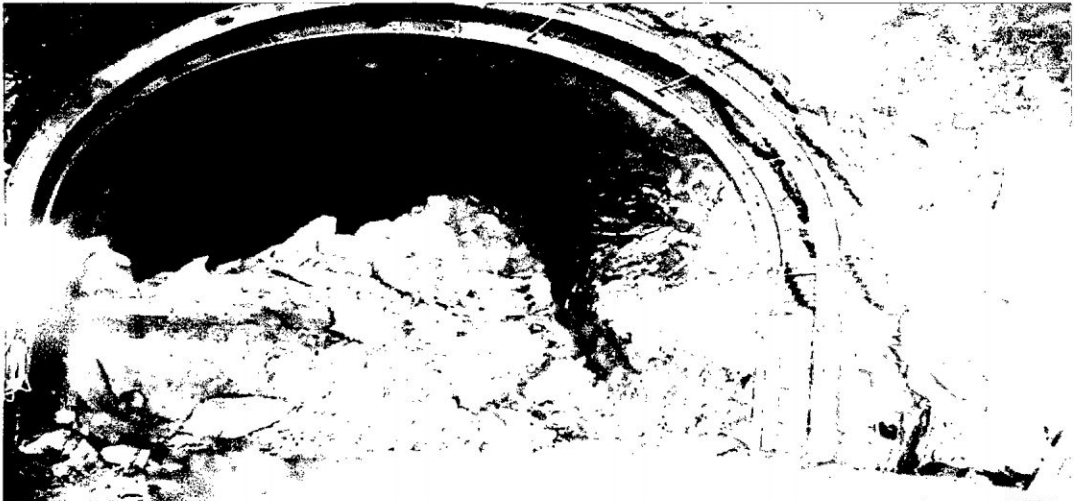


Fig. 2 Topeo de cimbras con bolsacreto

- ◆ Comparado con la madera son de mayor resistencia, además de mantener, las características resistentes en el tiempo, mucho mejor que la madera que se degrada.
- ◆ Es más homogéneo y de fácil control de calidad

- ◆ Si no se ha superado su límite elástico, los perfiles son recuperables y reutilizables después de su reconformado en frío, manteniendo sus propiedades resistentes.

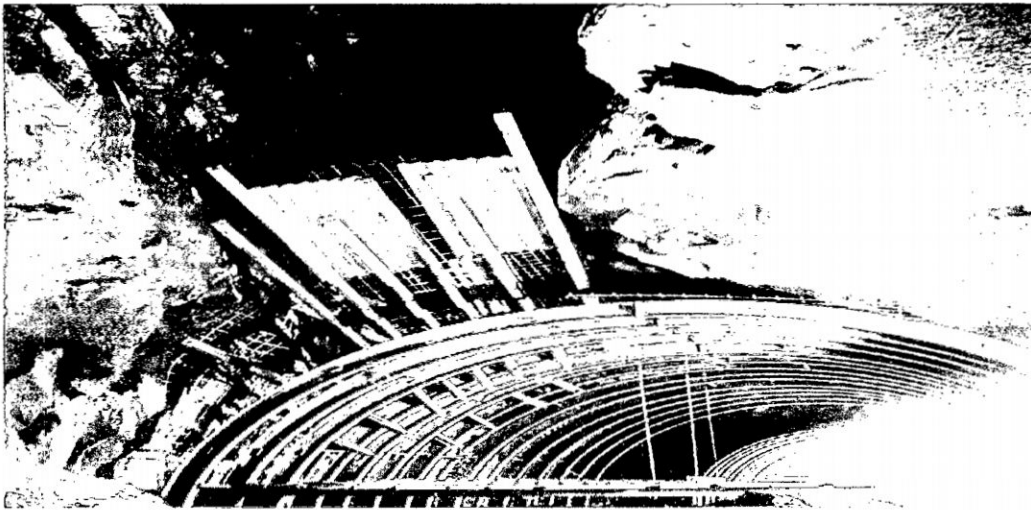


Fig.3 Marchavantis con perfiles metálicos

- ◆ Sus inconvenientes se refieren a su elevado costo comparado, por ejemplo, con el hierro fundido, y su baja resistencia a la corrosión (especialmente en los aceros medios a altos) lo cual implica a menudo, métodos de protección contra la corrosión, como el galvanizado o pintado de los segmentos, lo cual incrementa su costo y tiempo de instalación.

Tipos de Cimbra

Perfiles I: Perfil Normal GI, Perfil Pokal , Perfil de Ala Ancha o H, Perfil de Rail

Perfiles Acanalados : Perfil TH, Perfil Campana, Perfil en V

Perfiles Cerrados : Perfil usspurwies II

Estas cimbras se emplean en tramos con presiones muy significativas, tales como áreas con fallamiento de sobre escurrimiento o plegamiento imbricado, en áreas de origen arcilloso, como pizarras bituminosas, fillitas y esquistos, en zonas con altos recubrimientos litoestáticos o presiones inducidas por cercanía de aberturas.

Aspectos constructivos

Para que el sistema de soporte pueda actuar debidamente, es necesario considerar algunos aspectos que se relacionan con su colocación.

En primer lugar, en lo que concierne a la evolución de las cargas, es preferible que el soporte se coloque lo antes posible, pues cualquier retraso ya en tiempo o en distancia al frente se traduce en aumentos de la presión sobre el techo, si prevalecen las cargas de descompresión o roca suelta.

Para iniciar la colocación de un tramo con cimbras, se debe proceder a asegurar el techo, lo cual se podrá realizar mediante la colocación de shotcrete temporal, o marchavantes (cubre cabezas) otro método de mejorar la calidad del techo es la utilización de pilotes de fierro corrugado cementados o no cementados, colocados como pre soporte, especialmente si el techo está levantado o es muy inestable.

Todas las cimbras deben estar correctamente apoyadas y sujetas al piso mediante dados de concreto debiéndose mantener su verticalidad, para lo cual se requerirá de ser necesario, que se asegure la cimbra anclándola con cáncamos a las paredes

La mejor forma de lograr una distribución de carga uniforme es utilizando un relleno menudo y compacto que puede ser hormigón proyectado, con bolsas de arena/cemento. Normalmente el espesor del relleno no debe superar los 20 a 25 cm., pues no es económico, además de indicar que hay un exceso de sobre excavación o mal diseño de la voladura. En fortificaciones articuladas o poligonales no es conveniente apoyar las articulaciones directamente en la roca, sino sobre un colchón de relleno, a fin de que las eventuales deformaciones de la roca no malogren su capacidad de articulación.



Fig.4 Cimbra totalmente topada con bolsacreto

B) CUADROS DE MADERA

Son básicamente armazones de madera, cuyos elementos están unidos entre sí por destajes (espigas) o por elementos exteriores de unión (topes), formando una sólida estructura, resistente principalmente a esfuerzos de compresión. Sus cuatro elementos básicos son:

1. Dos postes
2. Un sombrero
3. Dos tirantes
4. Una solera

Tipos de Cuadro:

Cuadro Recto: Es el tipo sencillo; consta de un sombrero soportado por dos postes verticales, los cuales también resisten los empujes laterales de las cajas. Su principal ventaja es su simpleza, su fácil preparación e instalación y ofrece un buen sostenimiento en terrenos medios.

Cuadro Cónico: Cuando las presiones del techo son importantes se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes, el cuadro tiene entonces forma trapezoidal, distribución muy conocida en la minería peruana.

Cuadro Cojo: Se reduce a la mitad de un cuadro recto, sirve para sostener un techo con un lateral sólido y la pared de roca incompetente, donde va el poste.



Fig.5 Protección con cuadros de madera en bocamina

Vida útil de los cuadros de madera (eucalipto)

La duración de la madera en la mina es muy variable, pues depende de las condiciones en que trabaje. Por ejemplo:

- ◆ La madera seca dura más que la verde o húmeda
- ◆ La madera descortezada dura más, que aquella que conserva la corteza
- ◆ La madera “curada” dura más que la que no ha sido tratada pero su costo es mayor
- ◆ La madera en una zona bien ventilada dura más que en una zona húmeda y caliente.
- ◆ Puede estimarse que la madera tiene una vida media que fluctúa entre uno a tres años y todavía en buenas condiciones.

Actualmente se usa la madera por:

- ◆ Su adaptabilidad a todo tipo de terreno

- Su versatilidad para soportar todo tipo de esfuerzos
- Su deformación es fundamental para la seguridad, tanto por su patrón de deformación, como por la detección temprana de desplazamientos hacia el interior que ella permite.

C) PERNOS DE ANCLAJE Y MALLAS

Se utilizan para impedir la desintegración de la roca, reduciendo sus desplazamientos. De esta manera la roca adyacente a la excavación se transforma en un elemento activo del sistema de soporte y virtualmente conforma un arco auto soportante, al sumarse los efectos de pernos adyacentes.

En roca homogénea competente el papel principal de los pernos es resistir los desprendimientos de bloques o placas en puntos críticos, los cuales pueden ser vitales para evitar la desintegración del terreno, (control de bloques o cuñas inestables).

En roca estratificada competente los pernos ayudan a resistir el desplazamiento relativo entre estratos, aumentando la rigidez de la viga compuesta y creando ligazón entre bloques, (control de losas inestables).

En roca incompetente el apernado confiere nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación, de modo que modifica su comportamiento y en particular aumenta su cohesión, (control de sección inestable).

Relación entre la dimensión equivalente máxima de una excavación subterránea sin Ademe y el índice Q

El área de Geomecánica definirá el tipo de sostenimiento, el tiempo de auto soporte y del soporte a utilizar en el terreno y elaborará los planos geomecánicos respectivos.

Para poder relacionar el índice de Calidad "Q" con el comportamiento de una excavación subterránea y con la necesidad de ademe de la mina, Barton, Lien y Lunde inventaron un elemento cuantitativo que llamarón "La dimensión equivalente D_e " de la excavación. Esta dimensión se obtiene:

$$D_e = \frac{\text{Ancho de la excavación, diámetro o altura (m)}}{\text{Relación de soporte de la excavación ESR}}$$

Relación de soporte de la excavación ESR

Donde: **ESR = Relación de Soporte de la Excavación**

La relación de soporte de la excavación ESR tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta dónde se le puede permitir cierto grado de inestabilidad.

FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA DIVERSOS TIPOS DE EXCAVACIÓN

TIPOS DE EXCAVACIÓN	ESR
Excavaciones mineras temporales	3 a 5 m
Excavaciones mineras permanentes, túneles pilotos, accesos para grandes excavaciones.	1.6 m
Cavernas de almacenaje, plantas de tratamiento de aguas, túneles carreteros menores, túneles de acceso.	1.3 m
Cavernas de máquinas centrales eléctricas, túneles carreteros o ferroviarios mayores, cavernas de defensa civil, portales, intersecciones.	1.0 m
Estaciones nucleares subterráneas, instalaciones públicas o deportivas.	0.8 m

Pasos para una buena instalación de pernos

El perno debe de colocarse perpendicular a la fractura que se desea sostener (si se trata de pernos ocasionales) o en forma radial (si se trata de pernos sistemáticos)

Tipos de Pernos.

Pernos Swellex o hydrobolts

Son pernos de acero plegado que trabajan a fricción y son inflados con agua a presión, otorgándole a la roca una mayor consolidación y adecuándose a sus movimientos iniciales u originados por voladuras cercanas. Se requiere de una bomba hidráulica, su costo varía entre \$ 10 a \$13 y su capacidad de soporte es de 1.2 Ton / pie de longitud del perno, recomendable para rocas de clase MF / P, IF / R e IF / P.

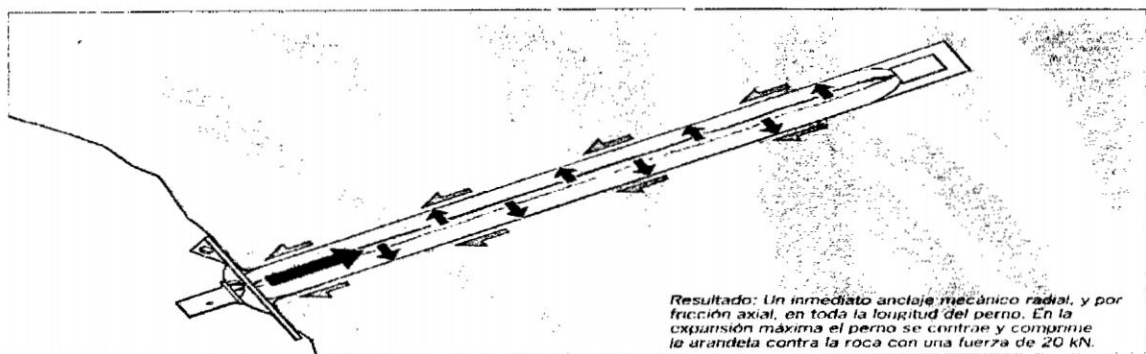


Fig.6 Anclaje de un perno hydrobolt

Pernos Split-set

Son pernos de acero ranurado, que es introducido a presión y trabajan por fricción en las paredes del taladro; se acomodan a las deformaciones

iniciales de la roca, pero son muy sensibles al diámetro del taladro y a sus irregularidades. Su costo varía entre \$ 5 a \$ 8 y su capacidad de soporte es de 1.0 Ton / pie de longitud del perno, recomendable para rocas de clase MF/ B, F / R, MF / R y F / P

Pernos de Cabeza Expansiva.

Son pernos que trabajan a tensión, ajustando capas de roca débil a una capa competente. Estos pernos pueden reforzarse cementándolos posteriormente, lo que “congela” la tensión aflorada y los protege contra la corrosión de largo plazo, recomendables para sostenimiento de bloques en rocas de clase F/B y F/R

Pernos Cementados con Resina o con Inyección de Cemento.

Son pernos consistentes en varillas de fierro corrugado, asegurados a la roca con resina o inyección de cemento; son muy dependientes de la forma del taladro y se requiere que estén completamente llenados para que se comporten adecuadamente, especialmente en rampas cuya vida útil es mayor de 5 años, se considera un soporte permanente y se coloca en cualquier tipo de roca con un RQD > 25 y una resistencia a la compresión ($\sigma_c > 25$ Mpa).

Los pernos deben estar íntegramente en el taladro y las platinas pegadas debidamente a la roca; platinas sueltas significarán la no aprobación del perno.

Se harán pruebas de arranque, en todos los pernos colocados, de acuerdo a las siguientes presiones:

Pernos split-set mínimo (5' = 5Ton. y 7' = 7Ton.)

Pernos swellex mínimo (5' = 6Ton. y 7' = 8.4Ton.)

Pernos cementados (5' = 10Ton y 7' = 14 Ton)

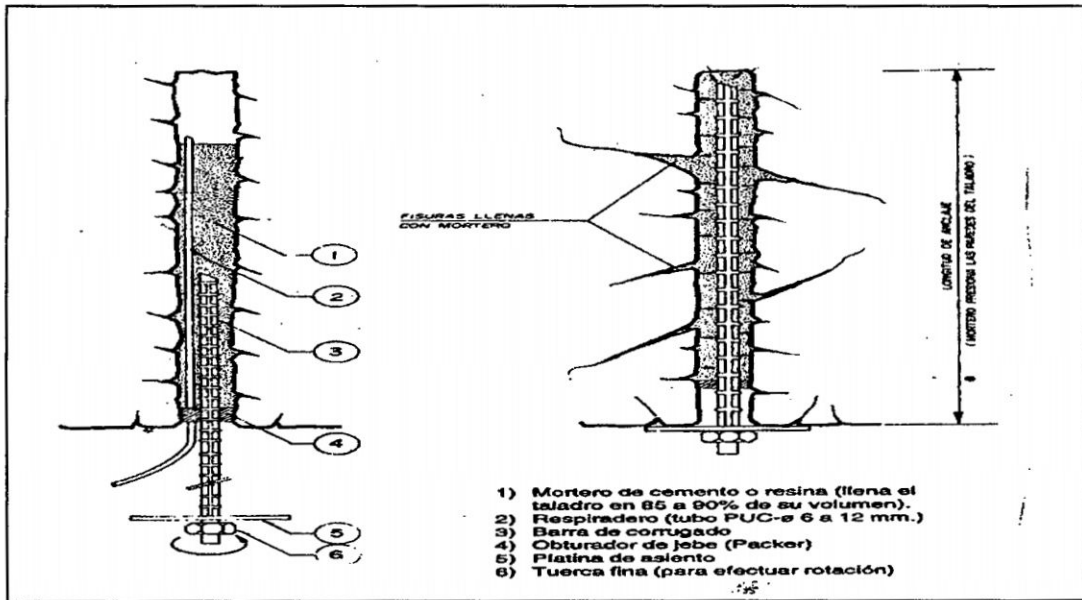


Fig.7 Perno con Lechada de Cemento

En el caso del uso de pernos con resina, se controlará la cantidad de cartuchos colocados, lo cual será dependiente del diámetro del taladro, el diámetro del perno y la longitud. Así mismo, deberá respetarse rigurosamente las especificaciones del fabricante en cuanto a mantener la resina dentro de determinados rangos de temperatura, su uso es recomendable para los casos en que se presenten aguas acidas.

D) MALLA DE REFUERZO

Se utiliza para evitar la caída de fragmentos en el área sin influencia de los pernos; puede ser de acero galvanizado (malla de gallinero) fácilmente moldeable a la forma de la excavación, de fierro electro soldado

que presenta mayor rigidez, o de fierro corrugado de 1/4". La abertura de la malla corresponde al tamaño de los fragmentos que se requiera confinar, pudiendo ser de 5.0 x 5.0 cm. hasta 10.0 x 10.0 cm.

El reticulado de 5.0 x 5.0 cm. se usa en rocas intensamente fracturadas que se presenta en tajeos donde no se requerirá del shotcrete posteriormente, de ser necesario se utilizara gunita. El reticulado de 10 cm x 10cm. se utilizará donde se recomiende la colocación del shotcrete de acuerdo a la tabla de sostenimiento.

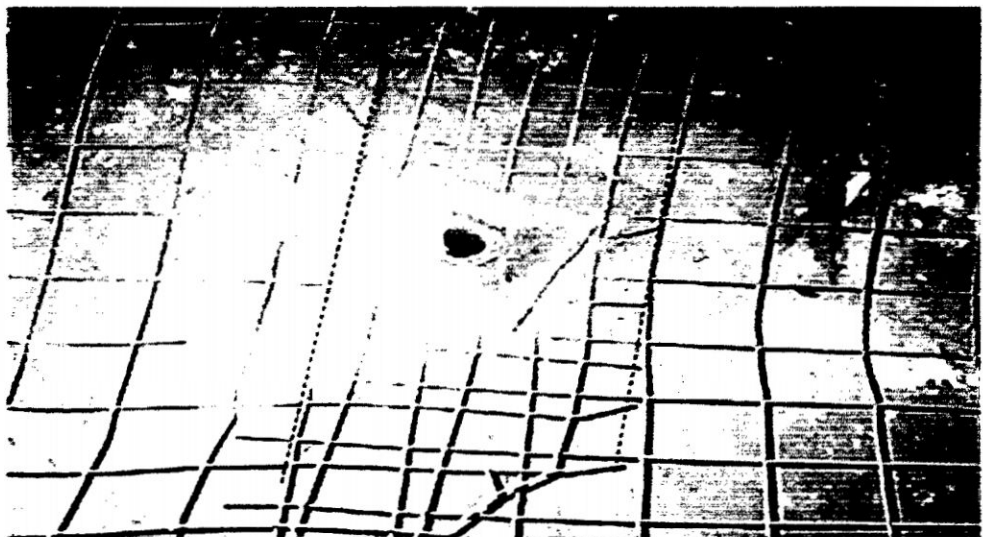


Fig.8 La malla debe de estar pegada a la roca en su totalidad

CUADRO COMPARATIVO		
CIMBRAS	MADERA	PERNO-MALLA
<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso recomendado en obras civiles y mineras, cuando el macizo rocoso presenta intenso fracturamiento o desintegración y resistencia pobre (-25MPa) - Fácil fabricación, modelado e instalación -Recuperable al 100%. -Mayor resistencia y vida útil que la madera. <p>DESVENTAJA:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Con el tiempo termina soportando una mayor carga, debido a la desintegración de la masa rocosa. -Uso limitado por las dimensiones de la excavación. -Son dañados por el disparo si se colocan cerca del frente. <p>COSTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Elevado costo por: - El material de acero de primera a usarse. -Trabajos de moldeado -Mano de obra calificada -Transporte e Instalación - Uso de pintura anticorrosiva, soldadura, pernos, remaches, etc. 	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Para uso temporal. -Vida útil de 1 a 2 años en zonas bien ventiladas. -Se adapta a todo terreno. -Versatilidad para soportar todo tipo de esfuerzos. <p>DESVENTAJA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elevado uso de mano de obra y requiere mucho tiempo en su instalación. -Limitada duración. -Dificultad en su transporte y preparación. -Riesgo de incendio y gases en minas con problemas de humedad y poca ventilación. -Dificultad en minas con equipos mecanizados. -Deforestación y problemas con el cuidado del medio ambiente. <p>COSTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Elevado costo por: -Gran cantidad de madera -Excesivo tiempo de instalación y avance limitado. -Transporte y tratamiento de la madera. -Personal y mano de obra calificada 	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aumentan y elevan la resistencia a la tracción y corte, reparten las cargas concentradas. -Sirven para hacer un buen armado con el concreto lanzado <p>DESVENTAJA:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se usa sólo en áreas bien definidas y determinadas rocas fracturadas. -Necesita: mallas, perforación, cemento, resina, pernos, platinas, soldadura, tuercas. <p>COSTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elevado costo de instalación si es sistemático, por: -Materiales a usar -Perforación -Personal calificado. -Accesorios, platinas, cementos, resinas y aditivos.

3.3 DISEÑO DE SHOTCRETE

Definición de shotcrete o concreto lanzado.- Es el hormigón o mortero proyectado neumáticamente sobre una superficie a alta velocidad (80 m/seg), usado en la minería y obras civiles.

Para el diseño del shotcrete y darle un mejor uso a esta tecnología, se debe tener en cuenta las formas y tipos de lanzamiento de concreto existente, cuidando de los materiales que lo componen y las dosificaciones

respectivas, controlando su incidencia en los costos de desgastes de equipo y energía, menos rebote, control de polvos, adecuado uso de fibras, control de relación agua cemento, necesidad de aditivos y acelerantes, para lograr un excelente acabado final del cemento lanzado o shotcrete.

CUADRO DEL DISEÑO ACTUAL DE SHOTCRETE

Descripción	Unidad	Cantidad	Porcent. en Costo %
Cemento Pórtland estándar tipo I	kg	415.00	
Arena	kg	1506.00	
Agua	l	168.10	
Sub total (cemento + agregados)			11%
Filler Calizo (microsílice, mejora resistencia y reduce permeab.)	kg	40.50	
Rheobuild 1000 (reductor de agua y de alta plasticidad)	l	4.50	
Meyco SA 160 (acelerador de fraguado)	l	23.20	
Delvo (retardador de fraguado)	l	1.90	
Fibra S-152 HPP (polímero de alto rendimiento)	kg	7.00	
Sub total (aditivos)			35%
Dosificación y transporte del Shotcrete	m ³		
Lanzado del Shotcrete	m ³		
Sub total (servicio de aplicación)			54%
Total (Shotcrete por vía húmeda)			100%

3.4 TERMINOLOGÍA: GUNITA

Es el nombre antiguo que se le dio en honor a la empresa que lo inventó y patentó "Cement Gun Co", con el que se comercializó al principio; que consistía en una máquina que proyectaba morteros de cemento-arena sobre una superficie y áreas con filtraciones de agua. Con una cantidad de cemento que fluctúa entre 400 a 450 Kg/m³ de mezcla. También se usó para aislar o tratar zonas especiales con rocas anhídridas, yeso y esquistos.

3.5 CÁLCULOS DE ESFUERZOS Y CONDICIONES PARA EL SHOTCRETE

Son las pruebas al que se somete el concreto lanzado para determinar:

- **La capacidad portante de la cáscara**

Que consiste en el balance de fuerzas establecidas para determinar el espesor y la carga de ruptura por corte de la cáscara de concreto. En las superficies no planas de la roca rociadas con concreto actúan tensiones de flexión y tracción debido a la carga en forma de arcos parabólicos de la roca a las que se suman otras tensiones por efectos terciarios que provocan deformaciones, rajaduras y desprendimiento de rocas, lo que se hace necesario calcular el espesor del concreto a poner.

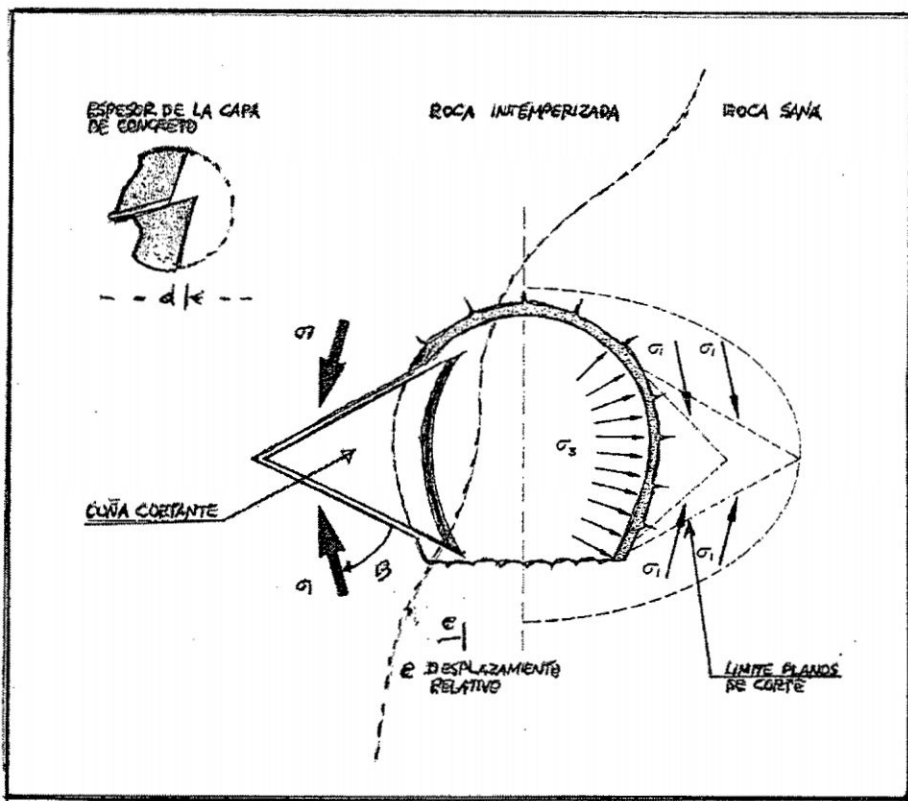


Fig.9 Fallamiento de pared de túnel sostenido por shotcrete

Fuerza Actuante = Fuerza Resistente

$$\frac{\sigma_r^t \times b}{2} = \left(\frac{d}{\text{sen}\alpha} \right) \times \tau_c$$

$$d = \frac{\sigma_r^t \times b \times \text{sen}\alpha}{2 \times \tau_c}$$

Donde:

σ_r^t : presión radial sobre la cáscara de shotcrete, que para efecto de carga sobre el techo del túnel, considerando:

$$(\gamma_u \times H_u \times \text{sen}\alpha) \text{ en (Tn/m}^2\text{)}$$

α : Es sensiblemente $\leq 23^\circ 6'$, debido a que $(d/\text{sen}\alpha)$ resulta mayor que $2.5 \times d$

d : espesor de la capa de shotcrete o concreto rociado en (m)

τ_c : esfuerzo resistente al corte de la capa de shotcrete igual a $(0.2 f'_c)$

Si consideramos un factor de seguridad igual a 2.5

Tenemos :

$$b = 2 \times r \times \cos\alpha = B \times \cos\alpha$$

Luego:

$$d = 0.09 \times \frac{B \times \gamma_u \times H_u}{f'_c}$$

- **Cálculo de espesor del shotcrete y adherencia con la cáscara**

Significa la determinación del espesor de la cáscara de concreto rociado para soportar una excavación combinando los soportes rígidos con los flexibles.

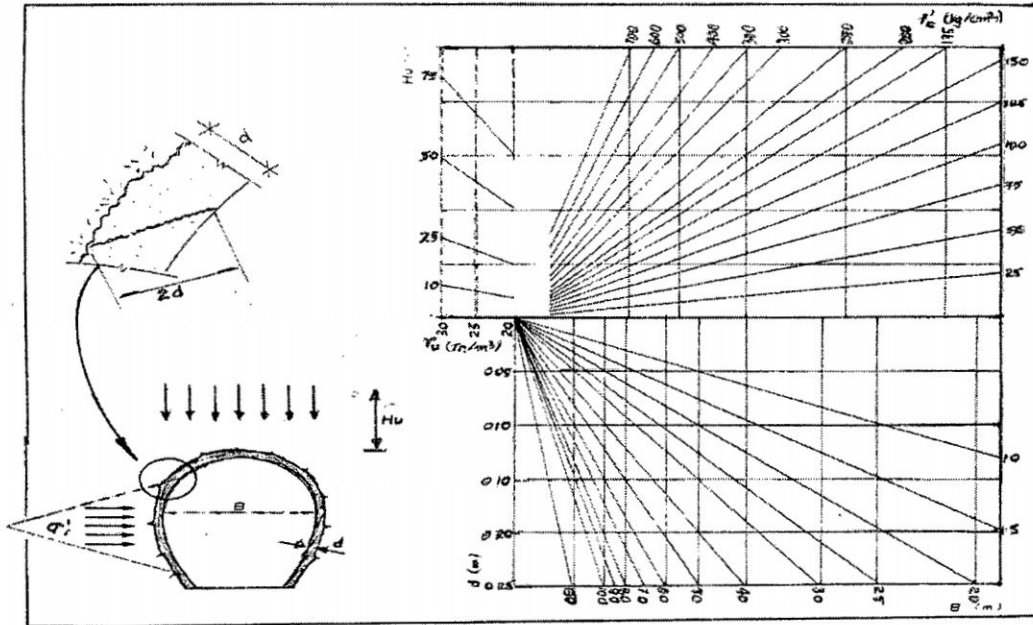


Fig.10 Monograma de cálculo de espesor del Shotcrete

- **Comportamiento del shotcrete sobre superficies irregulares:**

En este caso una delgada capa de shotcrete rociado sobre superficies irregulares, trabaja significativamente diferente que un arco de espesor continuo, donde los esfuerzos tangenciales trabajan a la compresión, mientras que en las superficies irregulares revestidas, ocurren tensiones de estiramiento secundario, que tienen acción en otras partes que podrían ser, los vecindarios de áreas de influencia de los pernos de roca y en rocas en punta y sobresalientes.

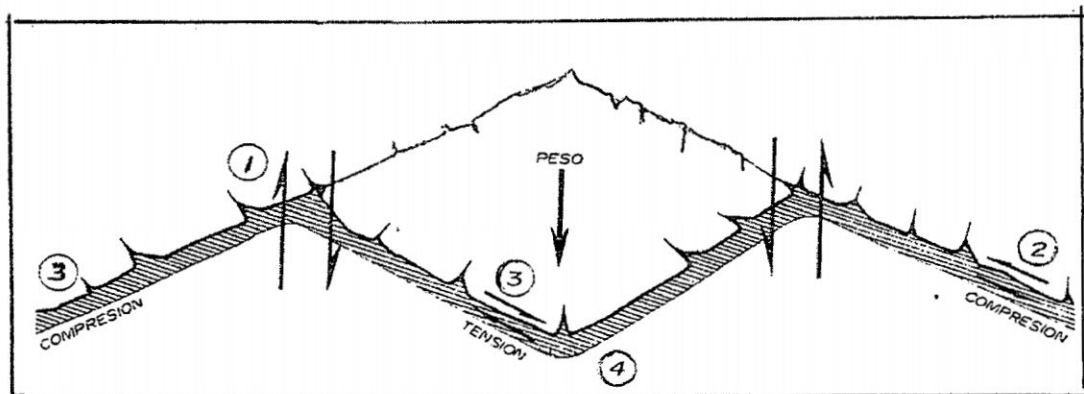


Fig.11 Comportamiento del shotcrete en bloques de roca

- 1) Esfuerzo cortante del concreto
- 2) Esfuerzo cortante a lo largo del contacto de Roca-Concreto
- 3) Esfuerzos tangenciales en el concreto
- 4) Rotura de tensión en el concreto debido a un alto estiramiento tensionante en el vértice, por un bajo esfuerzo cortante en el contacto Roca-Concreto.

- **Configuración de equilibrio estático:**

Significa que una capa delgada de shotcrete tiene capacidad de absorber los esfuerzos locales, producidos por rocas dislocadas, contribuyendo a la estabilización del terreno. Se tiene: para: $d=3\text{cm}$, $L=1.5\text{m}$, $H_u=L/2=0.75\text{m}$, $\gamma_u=2.4\text{Tn/m}^3$

Fuerza actuante (F_a)

$$F_a = 1/3 \times A \times h \times \gamma$$

F_a : : Peso de la cuña rocosa

A : Área

N : Altura

γ : Peso volumétrico

$$F_a = 1/3 \times 1 \times 2,400$$

$$F_a = 800 \text{ kg}$$

Fuerza resistente (F_r)

$$F_r = A_c \times f_c \times 0.2$$

A_c : Área de corte

f_c : Capacidad de carga del shotcrete

$$F_r = 4 \times 100 \times 3 \times 15 \times 0.2$$

$$F_r = 3600 \text{ kg}$$

Factor de seguridad (F_s)

$$F_s = F_r / F_a$$

$$F_s = 4.5$$

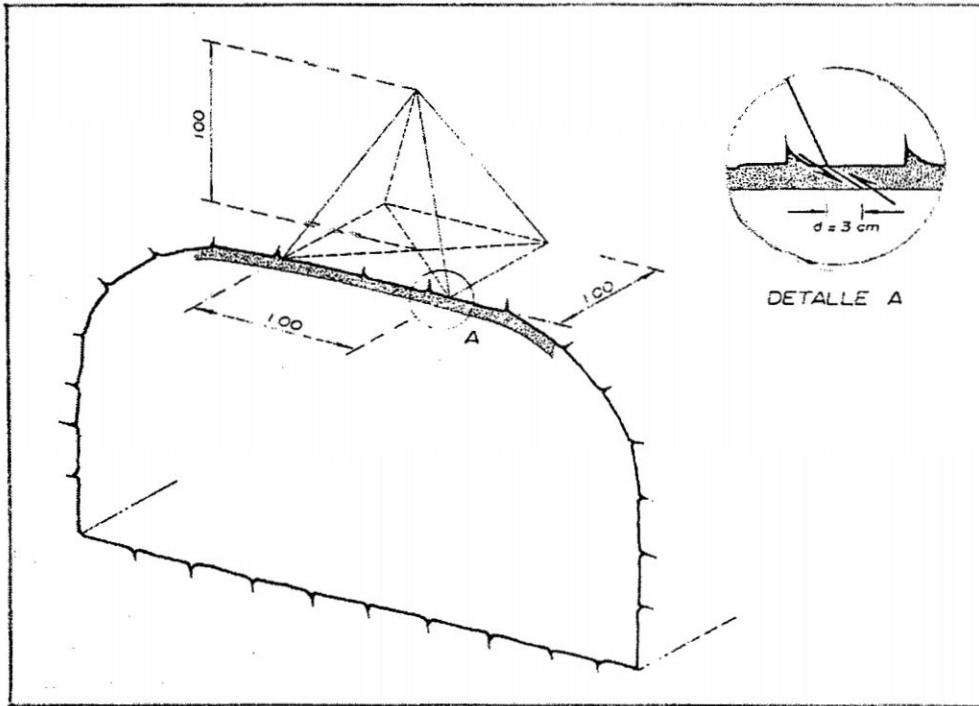


Fig.12 Sostenimiento de bloques o cuñas mediante capa mínima de shotcrete

3.5.1 EXIGENCIAS MECÁNICAS

Esta es una de las primeras condiciones que se requiere para tener la visión de lo que se busca y quiere:

- Inmediatamente después de la voladura o sea en el último tramo, se necesita poseer una resistencia temprana para contrarrestar las tensiones.
- Existen fuerzas que empujan la roca por lo tanto se necesita resistencias suficientes para equilibrar y soportar los esfuerzos de corte o cizallamiento y flexo tracción.

3.5.1.1 EXIGENCIAS FÍSICAS

- Se necesita proteger la erosión y deterioro de la superficie del macizo rocoso.
- Las costuras abiertas de las rocas deben ser selladas para impedir el ingreso del aire
- También proteger la variación de la temperatura en la roca circundante a la excavación y evitar su deterioramiento posterior.

3.5.1.2 EXIGENCIAS HIDRÁULICAS

- Se busca impedir que las aguas se infiltren al túnel logrando el estancamiento de éstas en pozas que se bombearán posteriormente al exterior.
- En el caso de que la excavación tenga el fin conducir agua, con esta acción se disminuye la rugosidad en las paredes del túnel, para mantener el régimen de carga.

3.5.1.3 EXIGENCIAS QUÍMICAS

- Proteger a las rocas de la acción corrosiva de aguas ácidas, humos, gases, etc.
- También se busca impedir que la humedad desestabilice a la roca circundante a la excavación.

3.6 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SHOTCRETE

Las principales características mecánicas a tomarse en cuenta son los siguientes:

3.6.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

En la relación tensión-deformación, las fibras rigidizan sensiblemente la respuesta de pre-fisura respecto de la de un hormigón tradicional, y aportan una capacidad de resistencia residual post-fisura debida al efecto de cosido entre los dos labios de la fisura o sea amarran los labios.

Según Naaman, la resistencia a tracción del shotcrete se puede estimar:

$$\sigma = \nabla \cdot T \cdot V_f \cdot (E_f/d)$$

Donde:

σ : tensión máxima después de fisurar el hormigón

∇ : coeficiente (longitud esperada de arrancamiento, factor de orientación, factor de reducción de grupo asociado con un número de fibras traccionadas por unidad de área).

T : tensión de adherencia fibras-matriz.

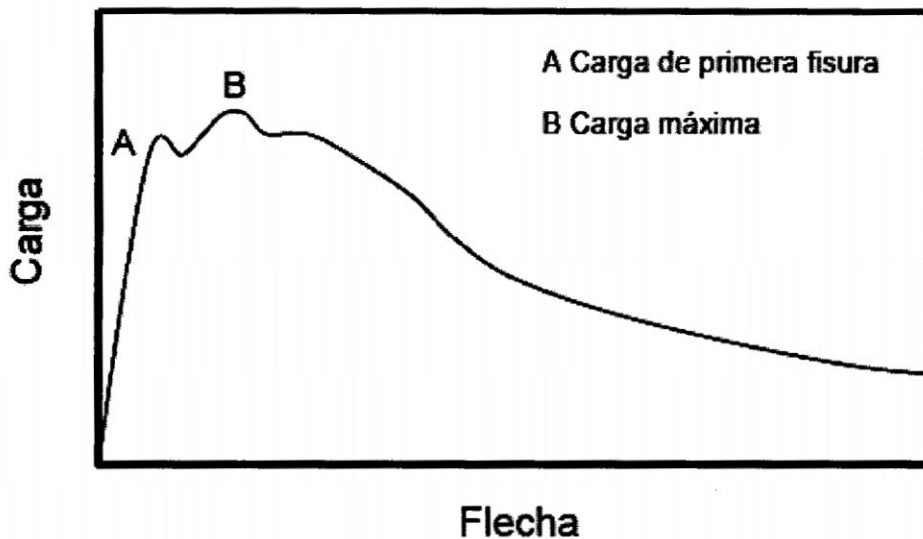
V_f : volumen de fibras.

(E_f/d) : esbeltez de las fibras.

3.6.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El incremento de la resistencia a la flexotracción, al adicionar fibras de acero al hormigón es considerablemente mayor que el de la resistencia a la compresión y tracción; esto se debe al comportamiento dúctil del shotcrete en la zona fisurada por tracción, desarrollando resistencias residuales.

La resistencia a la rotura depende principalmente del volumen de fibras y de la esbeltez de éstas, logrando incrementos de hasta el 100% respecto de la resistencia de la matriz, si se utilizan fibras de extremos conformados.



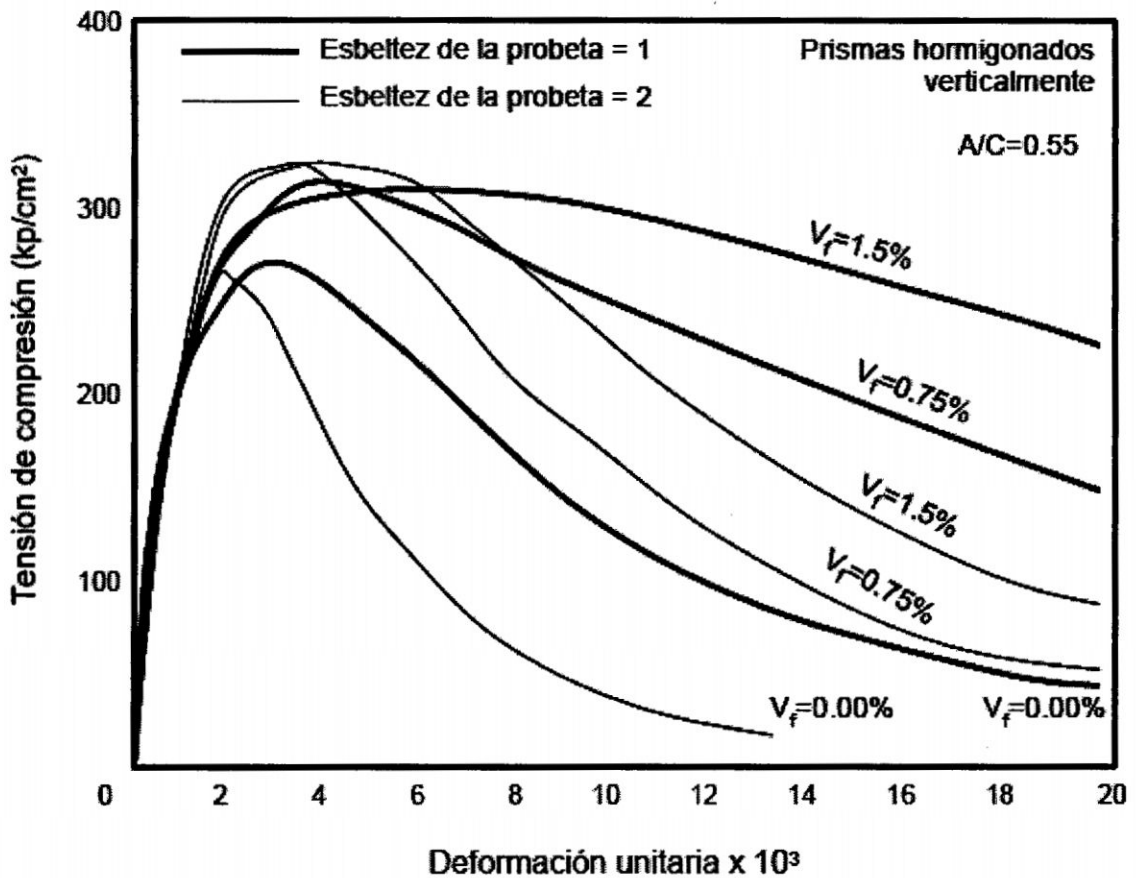
3.6.3 RESISTENCIA AL IMPACTO

Una de las principales características del shotcrete es su resistencia a los impactos de absorción de energía, siendo en este caso su resistencia de 3 a 10 veces la resistencia del hormigón común en masa. Además, el shotcrete presenta una menor tendencia a la desfragmentación y el desprendimiento.

3.6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Es de común aceptación que la adición de fibras al hormigón no conlleva un incremento significativo de la resistencia del hormigón a compresión. Suelen producirse ligeros incrementos o decrementos de la misma.

En shotcrete con fibras de esbeltez de 45, 65 y 80, y volúmenes de fibras de 0.5%, 1.0% y 1.5% se logran incrementos de la resistencia a compresión entre 4-19% respecto de hormigones idénticos sin fibras.



3.6.5 CORTANTE Y TORSIÓN

Las fibras en el hormigón generalmente aumentan la resistencia a cortante y a torsión, por consiguiente conducen a incrementar la ductilidad aunque con aumentos resistentes a cortante poco significativos (del 0% al 15% para hormigones ordinarios y de alta resistencia).

3.6.6 MÓDULO DE DEFORMACIÓN

El módulo de deformación para los hormigones con contenidos habituales de fibras ($V_f < 1\%$ en volumen) no presenta modificaciones

significativas respecto al de los hormigones tradicionales. Generalmente se adopta un módulo de deformación igual al de la matriz o se efectúa una estimación de su valor mediante el uso de formularios que relacionan la resistencia a compresión con el módulo de deformación:

$$E_{cf} = (1 - n_1 n_0 V_f) E_c + n_1 n_0 V_f E_f$$

Donde :

E_{cf} : módulo de deformación del shotcrete.

E_c : módulo de deformación del hormigón sin fibras.

E_f : módulo de deformación de las fibras.

V_f : volumen de fibras.

n_1 : factor de eficiencia de las fibras en función de su longitud.

n_0 : factor de orientación de las fibras.

3.6.7 PUNZONAMIENTO

Al emplear volúmenes de fibras superiores al 0.5% se pueden originar roturas por punzonamiento más graduales y dúctiles, con un incremento considerable de la fisuración previa al agotamiento y de la resistencia después de la fisuración, en función del contenido de fibras, la esbeltez y la capacidad adherente de éstas. Las fibras permiten aumentar la resistencia a la rotura por punzonamiento, habiéndose obtenido incrementos de hasta un 42%.

3.6.8 DURABILIDAD

La adición de fibras en el hormigón genera comportamientos mecánicos caracterizados por presentar un mayor número de fisuras con menores

valores de abertura de fisura, factor importante en los requerimientos de durabilidad.

Uno de los aspectos más preocupantes es la corrosión. En hormigones sin fisuras se ha constatado que la corrosión de las fibras de vidrio o sintéticas se limita a la superficie del hormigón. Una vez que la superficie está corroída, el efecto de la corrosión no se propaga más de 2mm a partir de la superficie. Las fibras muestran una buena resistencia a la corrosión en elementos no fisurados, aun cuando se hallen expuestos al agua de mar.

3.7 COMPONENTES Y DOSIFICACIÓN DEL SHOTCRETE

Están constituidos esencialmente por los mismos componentes que un hormigón tradicional, como un conglomerante hidráulico que es el cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras de acero, de vidrio, polímeros (polipropileno, polietileno de alta densidad, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster), asbesto, acelerantes de fraguado, mejoradores de homogeneidad de mezcla, para su fácil transporte, como los humos de sílice; etc.

3.7.1 CEMENTO

El cemento es el componente más importante y el que se adecua a las especificaciones aplicables es el tipo I - Portland corriente o normal, porque es usado en pavimentaciones, construcción de muros edificios, puentes, reservorios, tuberías, etc., Existen varios tipos de cemento:

- Tipo II, se usa en estructuras de tamaño considerable y alta concentración de sulfatos, pero no severas.
- Tipo III, cemento de alta resistencia en periodos tempranos de tiempo.
- Tipo IV, cemento de bajo calor usado en grandes represas.
- Tipo V, cemento resistente al sulfato.

Con respecto a la dosificación, se hace en función del material de proyección o en función de la resistencia a compresión.

La dosificación de cemento recomendable oscila entre los 300Kg/m³ y los 450Kg/m³ obteniéndose resistencias a compresión del orden de 20-30 MPa, superiores a las que se consiguen en un hormigón convencional con igual cantidad de cemento.

Resistencia a compresión a 28 días	Cantidad de cemento
21 MPa	300-380 kg/m ³
28 MPa	325-425 kg/m ³
35 Mpa	380-500 kg/m ³

Tabla. Resistencia a compresión Vs contenido de cemento (ACI 1990-AENOR 1994)

Las normativas AENOR y ACI, valoran el mayor porcentaje de cemento, debido al mayor rebote de las partículas más gruesas.

3.7.2 AGUA

El agua es uno de los componentes en el que se debe tener cuidado, pues si es demasiado alto en sulfuros, la acidez, la alcalinidad es alta, o si contiene aceite o sustancias orgánicas no son recomendables. El agua debe ser limpia y balanceada en su acidez.

La cantidad de agua debe ser la necesaria para una correcta puesta en obra, si se emplea mucha cantidad se produce el descuelgue de la mezcla y en caso contrario, no existirá una buena adherencia y aumentará el rebote.

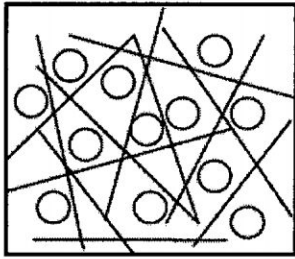
La dosificación para la relación agua/cemento recomendada por las normativas es entre 0.30 y 0.50 para hormigón proyectado por vía seca y hasta 0.60 para hormigón proyectado por vía húmeda. O sea por cada 100kg de cemento de 30 a 50 litros de agua.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO		
0.30 a 0.50	Horm. proyect. vía seca	30 a 50 lt/agua x c/100kg cemento
0.50 a 0.60	Horm. proyect. vía húmeda	60 lt/agua x 100 kg cemento

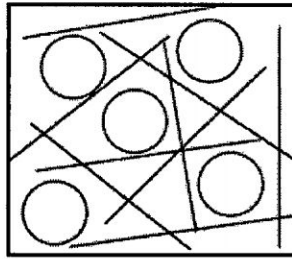
3.7.3 ÁRIDOS

Las normativas AENOR, AFTES, generalmente proponen valores máximos al tamaño de los áridos a fin de reducir el rebote, entre 8mm y 10mm para mortero proyectado(arena gruesa y cemento) y entre 16mm y 20mm para hormigón proyectado(gravas y piedras).

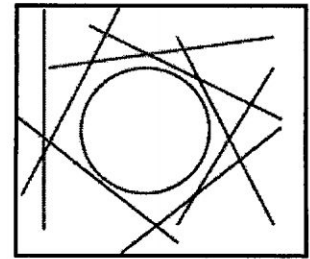
Se pueden utilizar áridos rodados o chancados; respecto al contenido de finos, cuando se adicionan fibras es aconsejable incorporar mayor cantidad de finos para reducir el riesgo de segregación, aumentar la cohesión y favorecer la movilidad de fibras.



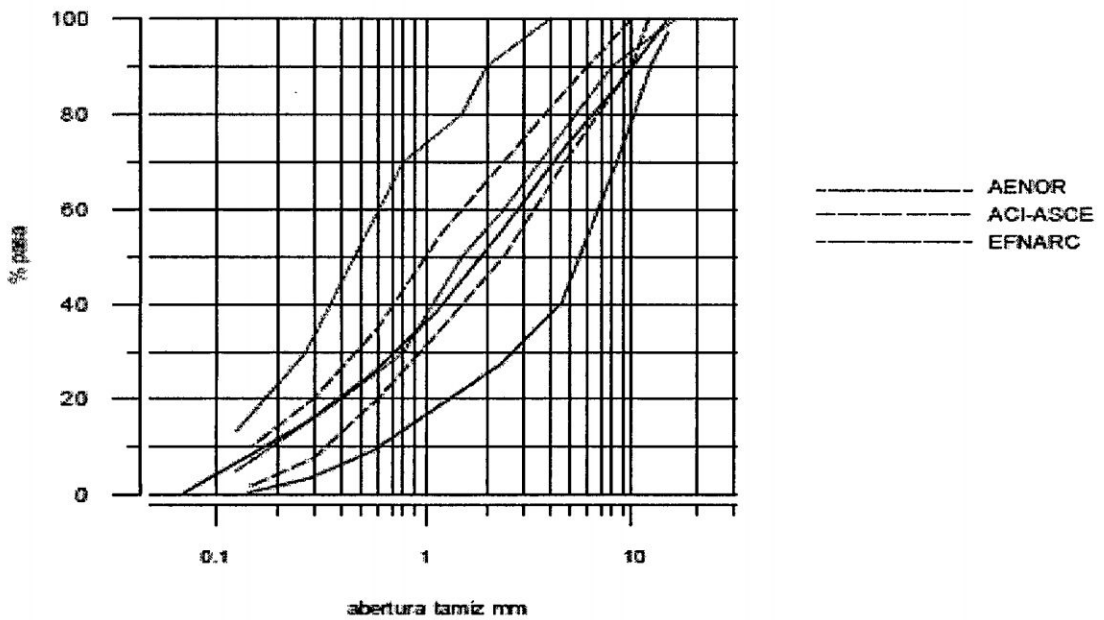
Árido de 5mm



Árido de 10mm



Árido de 20mm



La dosificación o relación árido grueso/árido fino (Gr/Ar) suele reducirse respecto de lo especificado para un hormigón tradicional, ya que un mayor volumen de mortero facilita la movilidad de las fibras. Por lo tanto se busca una relación **Gr/Ar** óptima que proporcione la docilidad y resistencia deseada. Esto se da en el campo práctico.

3.7.4 ADITIVOS

Los aditivos usados en el shotcrete son muy diversos, pero el más usado son los acelerantes de fraguado, como el V-lox, que tiene

por función reducir el tiempo de fraguado y dándole mayor resistencia inicial, incrementando la productividad. El uso de acelerantes basados en aluminatos y silicatos, lleva a disminuir la resistencia a largo plazo; por lo tanto para conseguir una mezcla óptima y de gran calidad es importante determinar la dosis mínima de acelerante.

La dosificación recomendada por AENOR y ACI para los acelerantes tradicionales compuestos por aluminatos es de 2 – 8% en peso de cemento, para acelerantes con silicatos es de 10-15%. Las normativas mencionadas limitan el contenido máximo de cloruro cálcico en un 2% en peso de cemento. Con respecto al uso de acelerantes libres de álcali, las normativas actuales no dan pautas específicas para la determinación de su dosificación.

3.7.5 ADICIONES

Las adiciones usualmente empleadas en shotcrete son materiales puzolánicos tales como puzolanas naturales, cenizas volantes y humo de sílice, la adición de estos materiales se hace con el fin de reducir la permeabilidad del hormigón, aumentar la durabilidad, mejorar la cohesión del material y en consecuencia la adherencia fibra-matriz, controlar la retracción, disminuir el riesgo de segregación y disminuir el factor rebote.

La dosificación a tener en cuenta es con el humo de sílice (HS), que está entre 7-10% como sustitución del cemento, especialmente en el método de proyección del mortero por vía seca,

donde por el componente puzolánico y sus propiedades reducen el rebote y la pérdida de fibras hasta el 20%.

3.7.6 FIBRAS

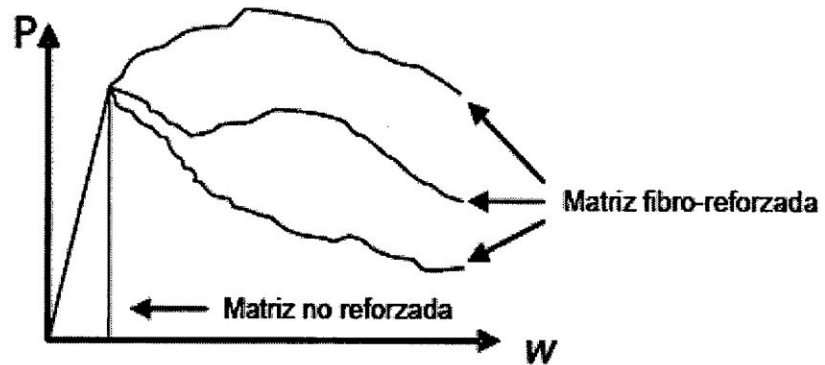
A lo largo de la historia las diferentes culturas han utilizado en los morteros y construcciones como refuerzo, pelos de caballo, paja en los adobes y ladrillos, fibras de lino, algodón, etc. En los tiempos modernos se emplean diversas fibras que van desde las metálicas hasta sintéticas, pasando por asbesto, vidrio, grafito, nylon, polipropileno, rayón, yute, etc.

Las fibras por lo tanto se definen como elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas como controlar la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales con el fin de buscar beneficios adicionales, en cuanto a reducción de mano de obra, incremento de durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional.

El hormigón soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez se ha producido micro-fisura, controlan y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad.

Curva típica carga-abertura de fisura



Cuadro de las diversas variedades de materiales que se utilizan para fabricar fibras, algunas medidas y resistencias.

Tipo de Fibra	Diámetro Equivalente (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a Tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alargamiento de Rotura (%)
Acrílico	0.02-0.35	1100	200-400	2	1.1
Asbesto	0.0015-0.02	3200	600-1000	83-138	1-2
Algodón	0.2-0.6	1500	400-700	4.8	3-10
Vidrio	0.005-0.15	2500	1000-2600	70-80	1.5-3.5
Grafito	0.008-0.009	1900	1000-2600	230-415	0.5-1
Aramida	0.01	1450	3500-3600	65-133	2.1-4
Nylon	0.02-0.4	1100	760-820	4.1	16-20
Poliéster	0.02-0.4	1400	720-860	8.3	11-13
Polipropileno	0.02-1	900-950	200-760	3.5-15	5-25
Polivinil alcohol	0.027-0.660	1300	900-1600	23-40	7-8
Carbón	-	1400	4000	230-240	1.4-1.8
Rayón	0.02-0.38	1500	400-600	6.9	10-25
Basalto	0.0106	2593	990	7.6	2.56
Polietileno	0.025-1	960	200-300	5.0	3
Sisal	0.08-0.3	760-1100	228-800	11-27	2.1-4.2
Coco	0.11-0.53	680-1020	108-250	2.5-4.5	14-41
Yute	0.1-0.2	1030	250-350	26-32	1.5-1.9
Acero	0.15-1	7840	345-3000	200	4-10

La **dosificación** recomendada por las normas internacionales AENOR, ACI, son del 2% en peso hasta 5%, por razones de bombeabilidad, exigiendo una resistencia a compresión mínima del hormigón de 20 MPa. Además de valorar la dosificación óptima de fibra metálica entre 0.5% y 2% en volumen de hormigón, estima la incorporación de fibra de polipropileno entre 0.6 a 1.2 kg/m³ con el objetivo de reducir la fisuración.



Fig. 13 Distintas fibras existentes en el mercado

3.8 SISTEMAS DE PROYECTADO: VÍA SECA, VÍA HÚMEDA Y VÍA INTERMITENTE.

Existen dos métodos más usados y conocidos ampliamente que son el método de proyectado por Vía Seca y el método de proyectado por Vía Húmeda y una tercera no muy utilizada llamada sistema de mezcla intermitente.

Son diversos los estudios realizados en este campo del hormigón o concreto proyectado, también llamado shotcrete, en los que se trata el diseño de la composición de la mezcla. La mayoría de los autores reconocen que las bases del diseño de mezclas, no están muy claras, especialmente para las proyecciones por vía seca, siendo éstas puramente empíricas; pero en todas las normativas existentes, se ofrecen una serie de recomendaciones y consideraciones a tener en cuenta en la composición del hormigón inicial.

3.8.1 SISTEMA DE MEZCLA SECA

Este sistema es el método clásico recomendado para secciones menores a 3x3 mt. No requiere de una mecanización especializada, puesto que todos los materiales, incluyendo los aditivos, son mezclados previamente al recorrido del material por la manguera, hasta la tobera, el agua requerida para la hidratación de la mezcla, es introducida en la boquilla para ser manualmente regulada, dependiendo ya de la habilidad del operador. El tiempo de exposición de la mezcla es de 2 horas como máximo con un factor de humedad de de agregados del 5%, pasado este tiempo se debe desechar.

El tiempo de fraguado es de 4 horas después de culminar el lanzamiento.

- PROCEDIMIENTOS

Todo personal inmerso en labores de sostenimiento con shotcrete deberá proseguir los siguientes procedimientos:

- Normar los trabajos de sostenimiento en labores de terrenos con RMR <35% $GSI = (MF/P, MF/MP)$, rocas tipo III, IV, V fracturado y diaclasados.
- El jefe de guardia o el maestro shotcretero será el responsable, el jefe de geomecánica debe hacer cumplir el PETS.
- Garantizar la estabilidad de las labores para seguridad del personal y equipos.
- Labor ventilada, desatada y con iluminación adecuada.

- Distancia de lanzamiento deberá ser de 0.8 a 1.2 mt.
- Presión de aire de 5 a 7 bares
- Zonas con filtraciones de agua se preparará lloronas a fin de drenar el agua.
- Riesgos a considerar:
 - Descargas eléctricas
 - caída o desprendimiento de rocas.
 - Intoxicación por gases.
 - Irritación a la piel por exposición.
 - Enfermedades ocupacionales como la fibrosis
 - Atascamiento en el motor por desgaste de discos y chaqueta.
 - Atascamiento en manguera de lanzado.

PETS (Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro)

PASOS CRITICOS	RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
-Revisar el área de trabajo donde se realizará el concreto lanzado.	-No identificar bien las estructuras del macizo rocoso. -Caída de rocas - Presencia de gases - No elegir bien el espesor a instalar.	-Revisar el plano geomecánico y geológico. -Con las barretillas adecuadas probar el techo de la labor, aun ya haya sido sostenido con shotcrete. -Respetar el estándar de desatado de rocas. -Si el terreno necesita sostenimiento con cimbras el personal no deberá ingresar al lugar inseguro
-Trasladar el equipo de concreto lanzado a la zona de trabajo	-Choques.	-Trasladar utilizando al scoop, previa orden de trabajo por parte del supervisor. -Si es remolcado, se debe colocar una señal roja que se note mínimo a 40 m.
-Traslado de materiales como arena, cemento, aditivos.	-Caída de materiales -Polvo de aditivo ingrese a la vista. -Derrame.	-Usar lentes de seguridad. -Asegurar bien la carga. -El material deberá ser apilado en un lugar seguro. -El operador deberá conocer el lugar donde dejar los materiales, o de lo contrario, se designará un personal que lo indique)
Ubicar la pantalla de energía eléctrica	Caída de rocas Daños a la pantalla Mala ubicación Poca iluminación	-No exponerse a las zonas inestables y que pueda causar lesiones o daño.
-Retirar o protegerla a las tuberías, cables, letreros etc	-Deterioro -En esos puntos mala aplicación del shotcrete.	-Limpiar el shotcrete que está impregnado.
-Lavar bien la zona a lanzar el concreto y revisar bien el techo.	-Caída de rocas. -Derrumbes	-Usar correctamente la barretilla adecuada. -Cumplir con el estándar y PETS de desate de rocas. -Si existiera mallas, split set, que dificulten al lanzado se deberá proceder a cortarlas tomando todas las precauciones de Seguridad
-Instalar y ubicar la máquina de concreto lanzado con sus accesorios.	-Fuga de aire. -Desempalme de las tuberías	-Ubicar el equipo de Shotcrete entre 15 y 20m. del punto de lanzado. Zona segura
-Preparación de los aditivos y materiales (Shotcrete)	-Caída de aditivo a la vista. -Intoxicación por aditivos.	-Usar los anteojos de seguridad. -Usar aditivos libre de Alcalisis.
-Arrancar la máquina de concreto lanzado.	-Inducción eléctrica	-Verificar la máquina, realizar su check list antes de arrancar. -Ubicar en un lugar seguro la caja control, usar energía de 440 voltios. -No dejar ingresar al lugar de trabajo personal no autorizado.
-Proceder al lanzamiento de shotcrete en forma perpendicular al sostenimiento.	-Caída de partículas al rostro y la vista. -Caída de personal del andamio. -Caída de la labor. -Atoro de las máquinas y atascamiento de discos y rotor. -Inducción eléctrica	-Utilizar andamios o plataformas si el techo es muy alto. -No existe el shotcrete preventivo. -El lanzado debe realizarse en avanzada de afuera hacia adentro y de abajo hacia arriba. -El operador y ayudante deberán usar su máscara y anteojos, específica para shotcrete. Realizar orden y limpieza

- DISEÑO DE SHOTCRETE VÍA SECA Y MATERIALES

INSUMO	PESO SECO(kg)	VOLUMENES ABSOLUTOS
Cemento (kg/m ³)	400 a 450	0.1270
Arena (kg/m ³)	1690	0.6760
Fibra vidrio (kg/m ³)	20	0.0063
V-lox(Lts/m ³) (acelerante de fragua líquido)	11.55	0.0077
Agua (Lts/m ³)	190	0.1900
Aire (%)	1.0	0.0300

- Resistencia 210 kg/cm²
- Humedad (arena) 7.0%
- Absorción 3.0%
- Arena/m³ seco 1690.0 kg.
- Aire 1%

Corrección por humedad a 5%

- Humedad 5.0%
- Absorción 3.0%
- Arena 1690 kg.

USOS PARA SECCIONES MENORES A 3X3 M

Su uso es recomendable en labores menores de 3x3 metros, aunque ambos métodos tienen ventajas específicas, los avances en la tecnología de los materiales y el equipo hacen a ambos procesos intercambiables. En la mayoría este método en seco está determinado por los factores: economía, disponibilidad de material y equipo, acceso a la obra, así como por la experiencia y preferencia del contratista.

Su aplicación se realiza con equipos mecanizados como Alivas, Icoma modelos 260 y 240 marca Milano, con potencia de 14.5 HP, con capacidad de lanzado de 3m³/hora, con planta de 20m³/hora como mínimo para que sea rentable, tiempo de fraguado de 4 horas, el acelerante se le añade en la boquilla si es líquida o premezclándola si es seco y en polvo, antes del bombeo.

3.8.2 SISTEMA DE MEZCLA HÚMEDA

Es el método que genera mayor aceptación, pues están diseñados para proyectar mayor volumen de mezcla en operaciones continuas, la compactación de la mezcla en pared resulta relativamente menor, porque el aire comprimido necesita mayor energía, por lo tanto existe menor rebote durante el lanzado.

Se puede controlar la relación agua-cemento, por cuanto esto no depende del operador, también se puede controlar la velocidad de impacto de las partículas mediante la regulación del aire durante el lanzado.

En este método todos los ingredientes incluyendo el agua, son premezclados y depositados en una bomba de concreto, donde el concreto o mortero se bombea a través de tuberías y/o mangueras hasta una boquilla. La proyección es mediante la aplicación de aire comprimido en la boquilla, por lo tanto este método tiene ciertas ventajas en el control de calidad superior, menor costo de colocación y un ambiente de trabajo relativamente libre de polvo y menor pérdida por rebote.

Existen algunas exigencias o condiciones que hay tener en cuenta:

- Exigencias Mecánicas,
- Exigencias Físicas,
- Exigencias Hidráulicas, y
- Exigencias Químicas.

- PROCEDIMIENTOS

El mismo procedimiento que se utiliza en el método por Vía Seca

PETS (Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro)

Es el mismo usado en el método por Vía Seca.

- DISEÑO DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA Y MATERIALES

INSUMO	PESO SECO(kg)	VOLÚMENES ABSOLUTOS
Cemento (kg/m ³)	400 a 450	0.1270
Arena (kg/m ³)	1690	0.6760
Fibra vidrio (kg/m ³)	20	0.0063
Sikament 360(Lts/m ³)	4.2	0.0036
V-lox(Lts/m ³) (acelerante de fragua líquido)	11.55	0.0077
Agua (Lts/m ³)	190	0.1900
Aire (%)	1.0	0.0300

- Resistencia 270 kg/cm³
- Humedad de arena 7.0%
- Absorción 3.0%
- Arena /m³ seco 1690 kg
- Aire 1%

Corrección por humedad a 5%:

- Humedad 5%
- Absorción 3.0%
- Arena 1690 kg.

- USOS PARA SECCIONES MAYORES A 3X3 M

Su utilización está recomendada para secciones mayores a 3x3 metros, o labores de alto riesgo, su aplicación es con equipos robotizados, el rendimiento de estos equipos es de 8m³/hora, la dosificación de la mezcla se realiza en la planta concretera, se transporta con los mixers de capacidades variables desde 3m³ a más, dependiendo de la necesidad y capacidad, los costos se incrementan relativamente en un 20% más que el otro método, debido a ingredientes que sirven para el fraguado rápido, transporte de la mezcla homogénea para no endurecerse. Pero se compensa con el poco rebote que se consigue y el avance es mucho más.

3.8.3 SISTEMA DE MEZCLA INTERMITENTE

Es un método híbrido que depende de cómo se transporta el material ya sea en forma continua y regular, vienen en bolsas de material húmedo compacto impulsadas por aire comprimido, la mayor desventaja de este método es que el flujo del material por la manguera es irregular. En líneas de manguera mayores de 15metros las bolsas de material se juntan, produciéndose entorpecimientos que generan atoros, también es imposible adicionar en forma regular el dosaje de acelerantes.

Cuando existen formas o encofrados se pueden aplicar este método, porque la regularidad en el flujo no es de importancia; comparado con los métodos anteriores, la flexibilidad en la operación es mayor, por cuanto se consigue una menor dispersión del material al salir de la boquilla. Pero se puede controlar mejor la relación agua-cemento.

3.9 TECNOLOGÍA DEL SHOTCRETE

Cuando se realiza una excavación de un túnel, ya sea en la ingeniería minera, civil o hidráulica, la roca pierde su resistencia y equilibrio natural, produciéndose derrumbes hasta redistribuir los esfuerzos de las tensiones; entonces se puede utilizar inmediatamente después de la excavación este método de sostenimiento en combinación con otros, como arcos metálicos, pernos, mallas o solo. La misión del shotcrete es evitar dejar vacíos y rajaduras en las paredes y techos de las labores.

3.10 FUNCIONES QUE CUMPLE EL SHOTCRETE

El shotcrete tiene como función principal el sostenimiento y protección de una excavación subterránea, luego de la voladura la estructura queda debilitada con fisuras, filtraciones, con riesgo de caídas de rocas y su consecuente daño a las personas y bienes materiales, entonces el shotcrete hace de “forro” o “piel” permanente, logrando que se estabilice la roca y las cargas se redistribuyan en la sección del arco hasta las paredes, haciendo que la tensión baje poco a poco. También sirve como sellador en las paredes donde hay filtración de aguas y zonas arcillosas, también cumple la

función de sellador en las rocas frágiles que sufren el efecto de la humedad y la atmósfera que están aptas a ensancharse rápidamente y desintegrarse una vez expuestas al medio ambiente.

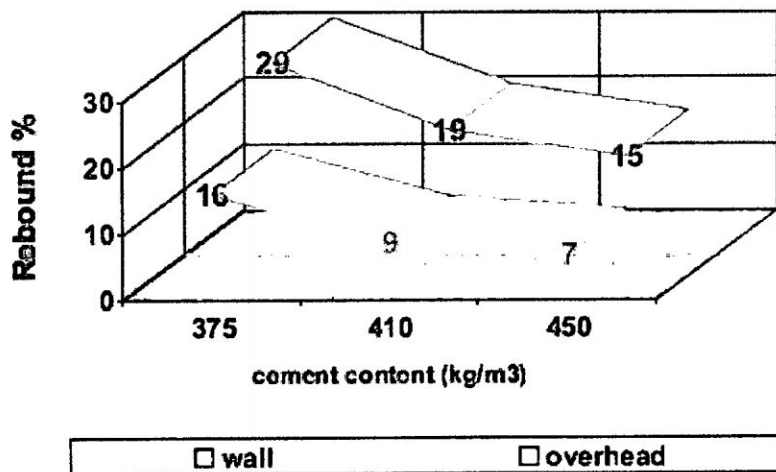
El shotcrete cumple tres funciones fundamentales:

- a- SOPORTE.-** Que puede ser temporal, o sea cuando se utiliza solamente arena y cemento (gunite) que sirve de amortiguador para el shotcreteado final; y cuando el soporte es final llevará los agregados gruesos (piedras chancadas o de la granulometría necesaria) que le darán mayor resistencia a la zona beneficiada con este sostenimiento.
- b- SELLO.-** Es aplicable a rocas debilitadas por la filtración de aguas subterráneas que generan arcillas y que luego adquieren propiedades de éstas, como la dilatación y debilitamiento por el agente acuoso y su contagio a la zona circundante. Entonces el shotcrete sirve como sellador y aislador en estos casos.
- c- ELEMENTAL.-** En ingeniería civil se utiliza como método de decoración de paredes, reparación de construcciones afectadas por sismos, reforzamiento de malecones o costeras marinas, creación de rocas artificiales con fines decorativos en zoológicos y museos, también cumple una importante función en tunelería de proyectos de irrigación y afines por ser un material cohesivo, más fuerte que cualquier material convencional de mezcla de concreto, ya que es a prueba de agua y se caracteriza por la gran fuerza que se desarrolla

inmediatamente, debido al alto grado de compactación que se debe a la velocidad de lanzamiento e ingredientes utilizados.

3.11 EFECTO REBOTE

Es el material resultante de la proyección neumática del concreto y que se acumula en el piso. En este contexto, el contenido del cemento influye enormemente.



Existen algunos aspectos que es necesario mencionarlos:

1. El rebote genera una determinada cantidad de material debido a:
 - a.- Relación agua/cemento.
 - b.- Contenido de los agregados de fino a grueso.
 - c.- Gradación.
 - d.- Eficiencia de hidratación.
 - e.- Habilidad de aplicación del operador.

2. Durante la fijación de la capa inicial del shotcrete se echa una delgada capa de cemento sobre la superficie debido a que las partículas gruesas no se cementan juntas, por lo tanto todo el agregado se pierde por rebote. Sólo las partículas extremadamente finas de arena y cemento se adhieren a la superficie, para formarse una matriz uniformemente distribuida.

El rebote disminuye rápidamente después que una capa arena/cemento se ha formado, para permitir que las partículas gruesas encuentren una superficie para adherirse. Como el espesor de la masa depositada crece, cada llegada de partícula se comporta en la mezcla fresca del shotcrete como un compactador en miniatura. Las burbujas de aire atrapadas no pueden desarrollarse ante tal condición.

3. Durante la deposición inicial se puede tener un rebote de hasta 95%, luego el rebote se va reduciendo llegando a representar de 5 a 30% de rebote, de la mezcla original. Para finalmente llegar a obtener un promedio óptimo de 10%/m³ de rebote constante en las paredes y hasta 25% en los techos. Con la práctica se obtienen resultados interesantes (ver cuadro). Por vía seca el rebote es mayor que en la vía húmeda.

La cantidad de rebote óptimo se logra teniendo en cuenta:

- Una mezcla adecuada.
- Mantener una distancia de descarga entre el pitón y la superficie de aplicación de 45 cm. a 150 cm (18" a 60").

- ♦ El ángulo de aplicación se debe mantener cerradamente en 90° a la superficie (techo o pared).
- ♦ Los rebotes contienen muy poco cemento, porque es el material que se adhiere más, en cambio contienen agregados gruesos del shotcrete que se han depositado en el suelo. No es recomendable el reciclado del material de rebote en las subsiguientes aplicaciones de shotcrete. Pero se puede usar en otras necesidades que se presenten dentro de las labores.

3.12 EQUIPOS, MAQUINARIAS, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.

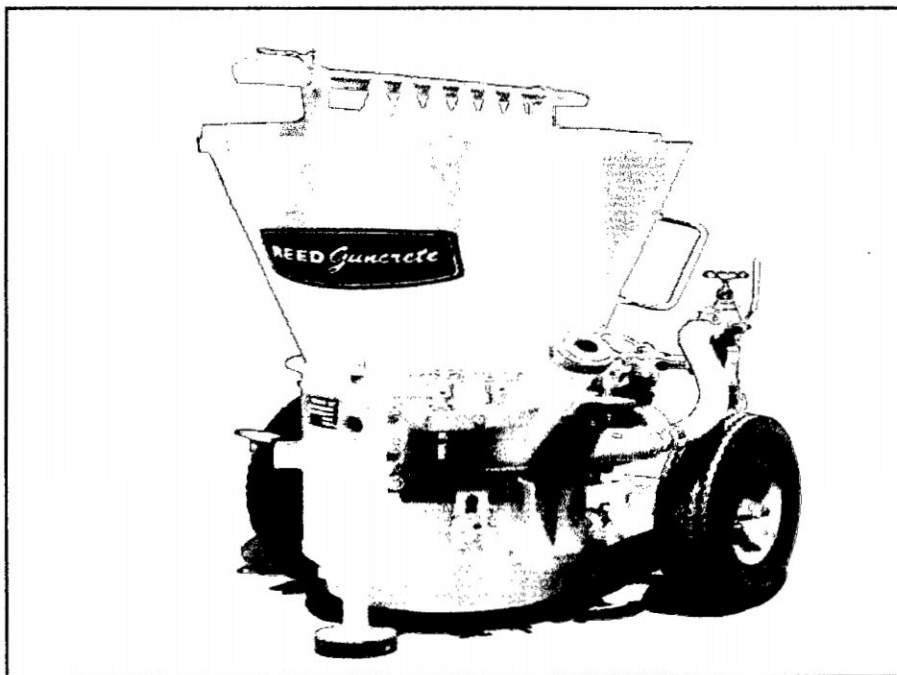


Fig.14 Delta-WD290

MAQUINARIA

El equipo usado fue una **Delta-WD290** que es una máquina shotcretera manual y robotizada en seco y húmedo, que se adapta fácilmente a las exigencias del lugar donde se necesita trabajar, porque se puede trasladar fácilmente por sus sistemas de rodamiento, su plataforma de remolque que posee y necesita sólo un vehículo o una simple camioneta 4x4, para moverlo de un lugar a otro, sus especificaciones técnicas son:

TIPO Y CARACTERÍSTICAS

Capacidad	8 - 12 m ³ / hora
Consumo de aire	14 – 20 m ³ /minuto (presión 10 bares)
Motor eléctrico	11 Kw
Voltaje	V3 X 380 V 50 Hz
Dimensiones	7000x1800x3100 mm
Peso	4500 kg
Cilindros de transporte	150mm
Cilindros hidráulicos	45/80mm
Alcance de proyección	1.5 – 4 m
Alcance de brazo	1.5 – 6 m
Longitud de lanzamiento	1500mm
Ángulo de rotación de brazo	270°
Rotación de boquilla	360°
Focos halógenos	70w
Cable de control	15m

La mezcla puede hacerse manualmente o con apoyo de un mixera

- Se emplearon herramientas.
- Materiales de construcción.
- Apoyo de la Empresa con instalaciones y toda la logística.

- Forma de poner en servicio la máquina:

Se debe poner siempre en marcha con aire comprimido, para evitar se dañe las placas de sellado, alimentar de material la tolva, conectar y abrir el grifo de aire y soplar antes la manguera de transporte, controlar el grifo de aire para que la mayor parte del aire comprimido entre al tambor dosificador. La velocidad del rotor se debe mantener en 10 rpm, para distancias menores de 60m. Para desconectar se pulsa la opción STOP en el tablero de control, que hace se detenga, pero antes sopla toda la manguera de transporte automáticamente, luego se cierra el grifo.

VENTAJAS DEL Delta-WD290

- Zaranda vibratoria que permite alimentar continuamente la tolva.
- Alimentador giratorio para dividir y simplificar el servicio, camisas de manguera en las cámaras de rotor para prevenir el atascamiento al paso del material.
- Un rotor para gunita y pulverizador de concreto.
- El cambio del rotor para transportar el concreto es sencillo.
- Alta presión de salida para mejorar el transporte a largas distancias-
- Mortero y pulverizado de concreto de alta calidad.
- Control remoto y brazo hidráulico para alturas considerables.

CAPITULO IV

4. COSTOS Y PRESUPUESTOS, SEGURIDAD Y TIEMPO

Es bien importante tener en cuenta los aspectos de costos y presupuestos, seguridad y tiempo para realizar un buen trabajo y acabado, que es la parte que nos toca a los ingenieros, para al final hacer un balance si se trabajó en base a lo planeado y su continuación quede asegurada en el plan de trabajo de la empresa, ya sea a corto, mediano o largo plazo.

4.1 COSTO METRO LINEAL DE SHOTCRETE

Existen dos métodos de shotcreteo, la vía seca y la vía húmeda; por lo tanto los costos varían de método a método, se tiene la idea que es más costosa el de la vía húmeda, pero en el campo práctico este

método es más barato y rendidor, por lo tanto haré mención de los costos obtenidos por esta vía en la unidad minera donde pusimos en práctica.

4.1.1 PRESUPUESTO

El siguiente cálculo de presupuesto en base a costos se desarrollará en función del consumo de material, personal y equipo efectuados en la Mina Hércules para una cementada, en el Frontón120 Nv-6 que es una labor que fue abandonada en la década de los 80, y se está habilitando para ingresar mediante una Rampa negativa al nivel 7, que se halla inundada en estos momentos y se está bombeando las aguas de mina al exterior. La sección de la labor es de 3x3m, con un avance de 14ml y un espesor de 08 cm. Se cuenta con el suficiente presupuesto para realizar este proyecto que será beneficioso para el normal avance de lo proyectado en planeamiento.

4.1.2 DATOS

Primera cementada de prueba:

Días trabajados	1 – dos turnos
Personal /día	1 capataz, 3 obreros
Arena gruesa m ³	2
Piedra chancada m ³	2
Cemento/kg	20 bolsas
Mallas/ m ²	24
Pernos de anclaje/ pzas	32
Aditivo acelerante /kg	14

4.1.3 RESUMEN DE DATOS

Tareas de obreros	2 tareas por día
Tareas de supervisores	2
Arena /m ³	2
Piedra chancada/m ³	2
Cemento/kg	20 bolsas ó 850 kg
Aditivo acelerante en polvo /kg	14
Perno de anclaje de 5'	32 piezas
Malla de 4"/m ²	12

4.1.4 CÁLCULO DE COSTOS POR TAREA

Los costos mensuales de los tareajes fueron proporcionados por la Gerencia de Seguridad y Administración de la empresa Servitral S.A.C., encargada del proyecto en estudio:

Costo tarea obrero/día (jornal)	\$/9.45
Costo empleado /día (sueldo)	\$/12.73

4.1.5 COSTOS TOTALES

Los costos totales gastados en el sostenimiento de 14 ml del frontón de sección 3x3m, son como sigue:

a. Costo de materiales:

Costo materiales	Cantidad utilizada	Costo unitario	Total
Arena	2 m ³	\$/ 18.50	\$/ 37.00
Piedra chancada	2 m ³	\$/ 27.70	\$/ 55.40
Cemento	20 bolsas	\$/ 7.90	\$/158.00
Aditivo	14 kg	\$/ 1.80	\$/ 25.20
Perno anclaje	32	\$/ 12.00	\$/ 384.00
Malla de alambre	12 m ²	\$/ 2.35	\$/ 28.20
Total costo de materiales			\$/ 664.80

b. Costo de equipo:

Costo equipo	Cantidad utilizada	Costo unitario	total
Máquina Shotcretera	24 horas	\$/ 7.25	\$/174.00
Perforadora Jackleg	150 pies	\$/ 0.12	\$/ 18.00
Barreno integral	150 pies	\$/ 0.09	\$/ 13.50
Total costo de equipo			\$/ 205.50

c. Costo de personal por día :

Costo personal	Cantidad utilizada	Costo unitario	Total
3 Obreros	2 tareas/día	\$/ 9.45	\$/ 56.70
1 Empleado	2 tareas/día	\$/12.73	\$/ 25.46
Total costo de personal			\$/ 82.16

d. Costo total por metro lineal de shotcrete:

a) Costo de materiales	\$/ 664.80
b) Costo de equipo utilizado	\$/ 205.50
c) costo de personal por día	\$/ 82.16
Costo total de 14 metros lineales de shotcrete	\$/ 952.46

Por lo tanto considerando que la longitud de la cementada es de 14 metros lineales y se tiene un promedio de 8 metros de arco en la zona cementada, tendremos entonces:

COSTO POR METRO LINEAL	\$/ 952.46 / 14 ml = \$/ 68.03/ml
-------------------------------	--

4.1.6 COMPARACIÓN COSTOS

En la Unidad Minera Hércules, siempre se utilizó muros de concreto armado de 1 mt de alto, reforzado con cerchas y madera rajada para cerrar el techo y muros laterales. Igualmente se siguen utilizando cuadros de madera redonda de eucalipto de varias dimensiones, que en la práctica no soportan la máxima carga axial que se localiza en la corona del arco, por lo tanto se rompen los sombreros generando que los costos se eleven; para el cual a continuación se muestra los costos con la implementación del Shotcrete:

COSTO DE MATERIALES PARA UN M³ DE CONCRETO CON CERCHAS Y RAJADOS	COSTO EN DÓLARES (ML)
Cemento, arena, piedra chancada, aditivo, mallas, pernos.	\$ 47.48
Cerchas de acero	\$ 135.69
Costo de Equipo	\$ 14.67
Costo de Personal por día(dos tareas)	\$ 82.16
COSTO TOTAL POR METRO LINEAL	\$ 180.00/ML

COSTO DE UN METRO LINEAL DE CUADROS DE MADERA	COSTO EN DÓLARES
Eucalipto de 12"D, P ³ puesto en mina	\$ 0.679/ P ³ *100p ³ = \$ 67.90
Costo de 3 personales por día	\$ 37.10
Costo total de madera ML	\$105.00

Muros de concreto con cerchas y rajados	\$/ 280/ml
Cuadros de madera redonda de 12" D con 50 rajados	\$/105/ml
Shotcrete con pernos y mallas	\$/68.03/ml

4.2 SEGURIDAD

Es sumamente importante considerar la salud y seguridad en todas las operaciones mineras y construcción de túneles, el proceso del shotcrete tiene muchos peligros para el operador y los que están involucrados en la zona de trabajo. Se tiene que proveer a los operadores las condiciones óptimas así como de ropa y respirador adecuado y sellado.

Algunas recomendaciones de seguridad:

- Existen riesgos al que se exponen los trabajadores ya sea por el polvo generado o materiales en suspensión, o que ocurra un accidente porque son ellos los que trabajan directamente en el lugar de riesgo.
- En los dos métodos utilizados, el uso de los aditivos o acelerantes son los que generan los problemas que se presentan como irritación, ya sea en la piel o en las vías respiratorias; que pueden devenir en cáncer si se expone demasiado tiempo.
- Es necesario recibir una capacitación para poder desarrollar correctamente las recomendaciones que vienen en las hojas MSDS (Material Safety Data Sheet).
- Cuando se utiliza fibras metálicas o plásticas contaminan el ambiente, porque demoran mucho tiempo en degradarse.

4.3 TIEMPO

La mayor ventaja de utilizar el shotcrete como sostenimiento es el factor tiempo debido a que actúa inmediatamente como soporte y sellador contra las influencias climáticas, humedad, etc.

Por sus propiedades físicas y mecánicas actúa eficazmente como un medio para redistribuir las presiones existentes, prolongando la vida útil de las labores permanentes.

El avance de ésta máquina es de 8 a 12 m³ / hora, dependiendo de las facilidades y el entorno que se presenten, pues es un equipo de alta producción.

El shotcrete es un sostenimiento como pocos, debido a los materiales componentes comunes de la construcción, que han demostrado en la práctica su alta durabilidad cuando se cumple con todas las especificaciones técnicas del caso, de lo contrario debido a una mala manipulación en su aplicación puede alterarse esta propiedad. Entonces se pone cuidado en tecnificar a los operadores y tomar las previsiones del caso para llegar a un resultado factible y sostenible; por lo tanto es importante tomar en cuenta el factor tiempo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El shotcrete pertenece al sistema de sostenimiento pasivo, donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y dependen del movimiento interno de la roca que está en contacto con el perímetro excavado.
- Esta técnica de empleo del shotcrete, viene difundándose continuamente desde hace varias décadas en la minería del Perú por su bajo costo y durabilidad. En Hércules se empezará con gran fuerza este año 2012.
- Ocupa menor espacio en la abertura de secciones. Empareja las desigualdades de la pared, rellenando las grietas existentes.

- Le da alta resistencia flexotractora a la zona shotcreteada. Que permite realizar trabajos inmediatamente después de colocado el shotcrete.
- Es bastante apropiada en la minería sin rieles por la alta velocidad con que se desarrollan los frentes de secciones amplias (desde 3x3m a más).
- El costo es mucho más económico por metro lineal, comparando a los otros métodos de sostenimiento, especialmente en un horizonte de 8 a 10 años.
- No se necesita de los desquinches adicionales con perforaciones y voladuras secundarias; como sí se necesita en los cuadros de madera.
- Se consigue alta impermeabilidad, resistencia y fraguado en menor tiempo mediante el agregado de acelerantes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Este sistema es recomendable para sostener y estabilizar cualquier tipo de terreno deleznable; tanto en apertura de nuevas labores subterráneas o para pasar derrumbes en zonas críticas de la mina.
- En labores con presencia de filtraciones y aguas de diferente acidez, se debe tener en cuenta en usar un cemento adecuado, con agregados de alto porcentaje de sílice para contrarrestar su deterioro posterior.
- Se debe aplicar una capa previa de shotcrete para obtener un amplio éxito estructural, luego de ensamblar el refuerzo metálico se deberá aplicar el rociado respectivo de cemento hasta cubrir totalmente el referido refuerzo, con el fin de proteger de la corrosión ambiental y posibles rozamientos con equipos rodantes o motorizados.

BIBLIOGRAFÍA

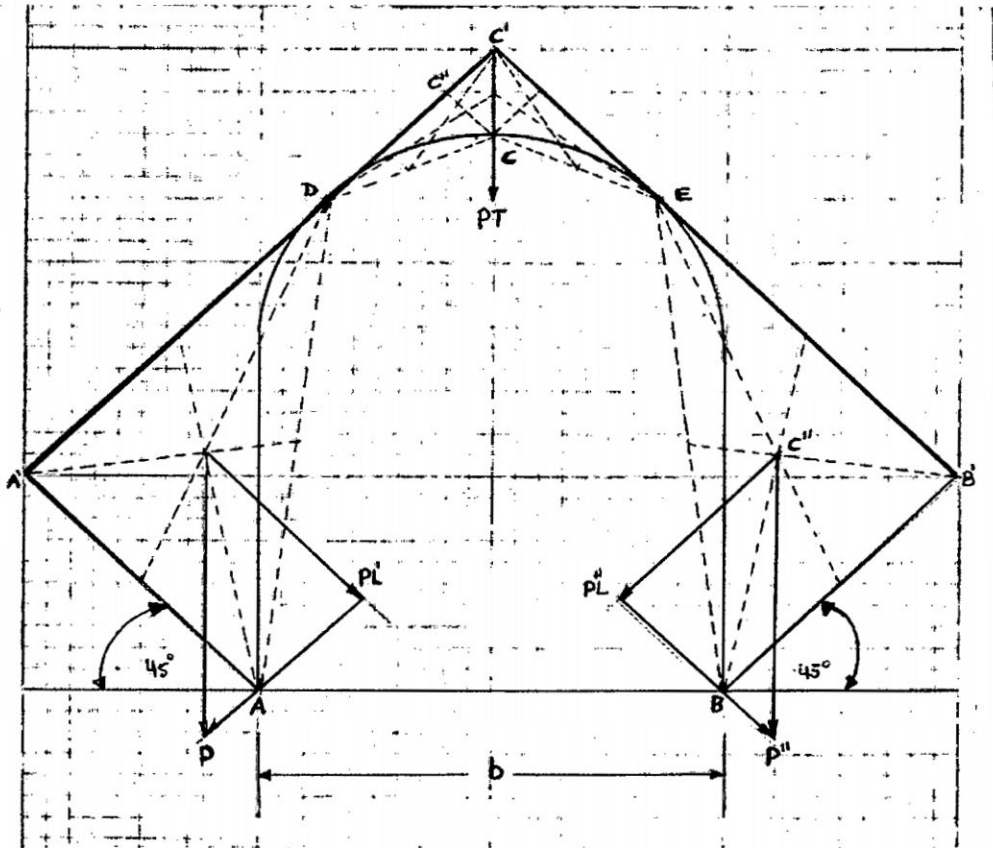
1. AGULLO, GARCÍA, AGUADO Universidad Politécnica de Cataluña
"Dosificación metodológica del Barcelona- España 1998.
Mortero lanzado"
2. CHIRINOS BUENO, Fausto Doe Run Perú S.R.L.
GÓMEZ SALINAS, Jesús Huancavelica- Perú, 2003.
"Shotcrete, Características y
Consideraciones de su Uso
en la Mina Cobriza"
3. BAST CONSTRUCTION Antofagasta-Chile-2007.
CHEMICALS CHILE
"Hormigón proyectado en Tunelería
Minera"
4. PASQUEL CARBAJAL, Enrique Colegio de ingenieros del Perú
"Tópicos de Tecnología de Consejo nacional-Segunda Edición
Concreto en el Perú" Lima-Perú, 1998.
5. AMERICAN SOCIETY FOR ASTM-USA
TESTING AND MATERIALS 1999.
6. ACI 506R-90 USA, 2001
"Guide to shotcrete"
7. ROBLES ESPINOZA, Nerio CONCYTEC
"Excavación y Sostenimiento Lima-Perú, 1994.
de Túneles en Roca-cap.IX"
8. RABCEWICZ ZUBKOWSKY, Ludwik NATH(New Austrian
Tabla de Clasificación de Rocas Tunneling Method)
Austria-2009

ANEXOS:

- **PLANOS DEL PROYECTO.(88A-88B-88C-88D)**
- **RESULTADO DE LOS CÁLCULOS.**
- **CUADROS Y GRÁFICOS, FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS.**
- **HOJA DE ABREVIATURAS MENCIONADAS EN LA TESIS.**

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

DETERMINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO



TRIÁNGULOS DE EQUILIBRIO

$$b = 2.5 \text{ m}$$

$$P_T = 1.28 \text{ Ton}$$

$$h = 3.2 \text{ m}$$

$$P'_T = P''_L = 4.57 \text{ Ton}$$

$$\text{Escala geométrica} \quad 4\text{cm} = 1\text{m}$$

$$\text{Escala de fuerzas} \quad 1 \text{ m} = 1 \text{ Ton}$$

Hipótesis de los “Triángulos de equilibrio”:

- La sección está cargada de 3 prismas triangulares, las que se hallan en equilibrio, pero al romperse éste, va a actuar inmediatamente con su peso, sobre la estructura de soporte. Los triángulos tienen un ángulo de 90°.
- Trazamos las rectas AA' y BB', con inclinación de 45° respecto a la horizontal, lo que representa el talud de reposo en esta sección ideal del túnel.
- Perpendiculares a éstas rectas y tangentes a la curvatura de la sección transversal, se trazan las rectas A'C' Y B'C'; formando ángulos rectos de contacto, representando el clivaje de la roca.
- Uniendo las tangente en D y E con los puntos A,B,C, y C' tendremos los cuatro triángulos:

$$AA'D=BB'E \quad \text{y} \quad DCC'=ECC'$$

Determinación de las áreas:

$$a' = \frac{1}{2} (AA') (A'D) = 0.5 (1.75) (2.25) = 1.968 \text{ m}^2$$

$$a'' = \frac{1}{2} (DC') (CC') = 0.5 (1.25) (0.366) = 0.228 \text{ m}^2$$

Volumen de los prismas, por unidad de longitud de galería:

$$v' = 1.968 \text{ m}^2 \times \text{mt} = 1.968 \text{ m}^3$$

$$v'' = 0.228 \text{ m}^2 \times \text{mt} = 0.228 \text{ m}^3$$

Peso de los prismas, por unidad de longitud de galería:

$$\text{Peso específico del block rocoso} = 3.2 \text{ Ton/m}^3$$

$$PL' = 1.968 \times 3.2 = 6.297 \text{ Ton}$$

$$PL'' = 0.228 \times 3.2 = 0.730 \text{ Ton}$$

$$Pv' = 0.228 \times 3.2 = 0.729 \text{ Ton}$$

$$Pv'' = \underline{0.729 \text{ Ton}}$$

$$PT = 1.46 \text{ ton}$$

Peso de los prismas por refuerzo metálico:

- El reglamento de concreto ACI (American concrete Institute) recomienda poner refuerzos a distancias no mayores de 45 cm.
- Entonces tendremos para los prismas laterales:

$$PL = 6.297 \times 0.45 = 2.83 \text{ Ton}$$

Para los prismas del techo:

$$PT = 1.460 \times 0.45 = 0.66 \text{ Ton}$$

Determinación de las cargas de diseño:

- En concordancia con el reglamento ACI , se asume la carga de trabajo como repartida uniformemente en el estrado del arco:

$$W' = \frac{2.83 \text{ Ton} + 0.66 \text{ Ton} + 2.83 \text{ Ton}}{7.825 \text{ mt}} = 0.807 \text{ Ton/m}$$

Peso propio de la estructura :

- Para calcular la carga por peso propio, se multiplica el espaciamiento entre refuerzos (s) , por el espesor mínimo del shotcrete (e) que debe ser:

$$e = \frac{\text{claro}}{35} = \frac{1}{35} = \frac{250}{35} = 7.14 \text{ cm}$$

Entonces : si $Wc = \text{Peso específico} = 2.4 \text{ Ton/m}$

$$W'' = s \times e \times Wc = 0.45 \times 0.0714 \times 2.4 = 0.07 \text{ Ton/m}$$

Carga muerta:

- Es la suma de las cargas de empuje y el peso propio:

$$Wm = W' + W'' = 0.807 + 0.077 = 0.884 \text{ Ton/m}$$

Carga por disparo:

- Es el incremento de 50% de la carga muerta, originado por la vibración de las voladuras, entonces :

$$W_d = 0.50 \times W_m = 0.50 \times 0.884 = 0.442 \text{ Ton/m}$$

Carga de diseño:

- Es la sumatoria de la carga muerta y la carga por disparo:

$$W = W_m + W_d = 0.884 + 0.442 = 1.326 \text{ Ton/m}$$

Cargas redistribuidas en los puntos de aplicación:

- **Carga repartida en la trabe:**

$$\text{Peso del prisma} : W' = 0.66/2.5 = 0.264 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Peso propio} : W'' = \underline{0.077 \text{ Ton/m}}$$

$$\text{Carga muerta } W_m = 0.341 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Carga por disparo } W_d = \underline{0.171 \text{ Ton/m}}$$

$$\text{Carga de diseño } W = \mathbf{0.512 \text{ Ton/m}}$$

- **Carga concentrada al centro de la trabe:**

$$P_t = 0.512 \times 2.5 = 1.28 \text{ Ton}$$

- **Carga repartida en los postes:**

$$\text{Peso del prisma} : W' = 2.83/ 2.83 = 1.0 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Peso propio} : W'' = \underline{0.077 \text{ Ton/m}}$$

$$\text{Carga muerta } W_m = W = 1.077 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Carga por disparo } W_d = 0.538 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Carga de diseño } W = \mathbf{1.615 \text{ Ton/m}}$$

- **Carga concentrada en los postes:**

$$P_L = 1.615 \times 2.83 = 4.57 \text{ Ton}$$

CUADROS Y GRÁFICOS, DIAGRAMAS, FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS

COMPARACION DE COSTOS DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO

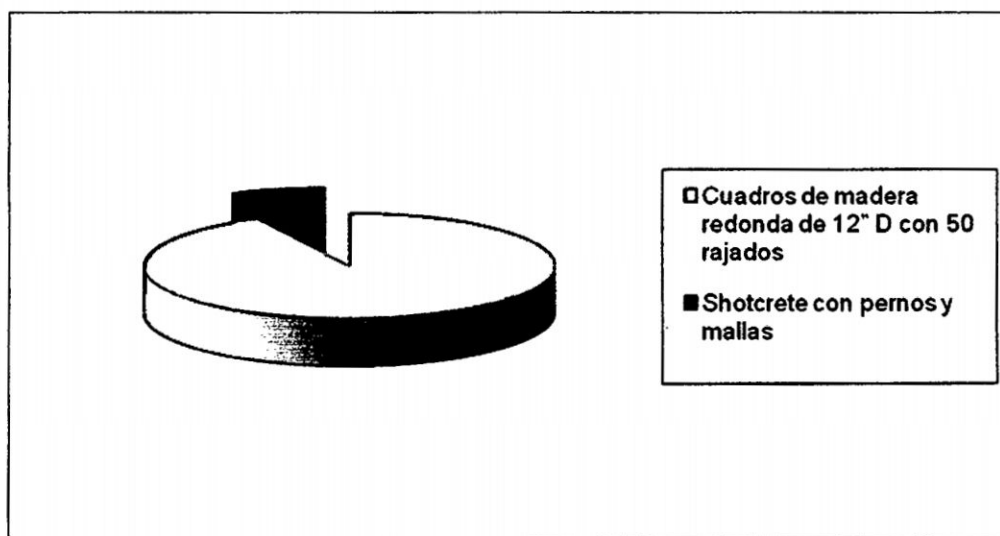
HORIZONTE DE OCHO AÑOS

Item	Tipos de Sostenimiento	Costo Unit./Año (En US\$)	Unidad de Medida	Horizonte Temporal Proyect.	Costo Proyect.
1	Cuadros de madera redonda	105.00	Metro lineal	8 Años	840.00
2	Shotcrete con pernos y mallas	8.50	Metro lineal	8 Años	68.03

COMPARACION DE COSTOS DE LOS TIPOS DE SOSTENIMIENTO

HORIZONTE DE OCHO AÑOS

Item	Tipos de Sostenimiento	Costo Proyectado
1	Cuadros de madera redonda de 12" D con 50 rajados	840.00
2	Shotcrete con pernos y mallas	68.03

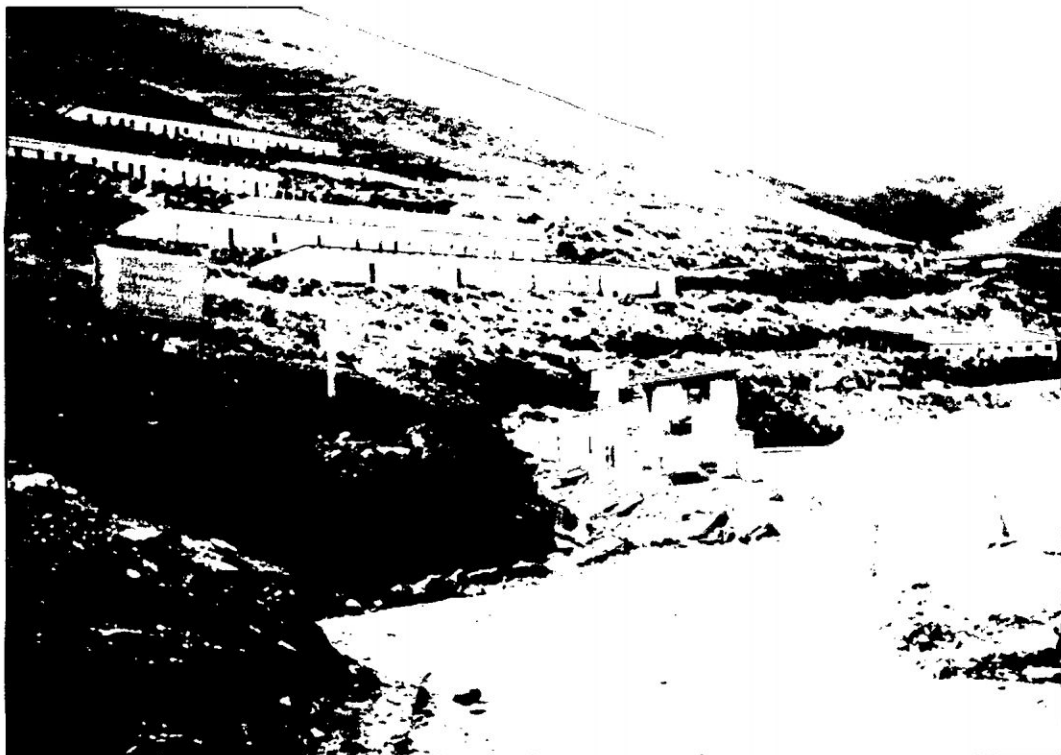


FOTOS DE HUANCAPETI: 1-ENTRADA HÉRCULES NV-06

2- PERSONAL DE SERVITRAL SAC



3- CAMPAMENTO HUANCAPETI



4- LABORES EN HÉRCULES

RELACIÓN ABREVIATURAS MENCIONADAS EN LA TESIS

- ACI: American Concrete Institute.(Instituto Americano del Concreto).
- ADEME: Tubo de acero que va dentro del taladro para evitar se desgaje la perforación y se taponée nuevamente.
- AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- AFTES: Association Française des Tunneles et de L'espace Souterrain.(Asociación Francesa de Túneles y del Espacio Subterráneo).
- AREA: American Railway Engineering Association.(Asociación Americana de Ingeniería de Ferrocarriles).
- ASA: American Concrete Institute.(Instituto americano de Concreto).
- FRC: Fiber Reinforced Concrete.(Concreto reforzado con fibras).
- GSI de HOEK: Geological Strength Index.(Indice de Resistencia Geológica).
- NATM: New Austrian Tunneling Method.(Nuevo Método de Tunelería Austriaca).
- NTEE.60: Norma Técnica de Edificación E.60
- Mpa: Mega Pascal.
- TMS: Tonelada Métrica Seca.
- TMH: Tonelada Métrica Húmeda.
- UTM: Universal Transverse Mercator System.(Sistema Universal de Marcador Transversal).