

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis de la dosificación en el diseño de Shotcrete para la
reducción de costos en procesos de minería subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas


Elaborado por

Carlos Quispe Condor

 0009-0006-3855-5791

Asesor

Mg. Elvis William Valencia Chávez

 0000-0003-4981-995X

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Quispe Condor [1]
Referencia/Reference	[1] C. Quispe Condor, “ <i>Análisis de la dosificación en el diseño de Shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Quispe, 2023)
Referencia/Reference	Quispe, C. (2023). <i>Análisis de la dosificación en el diseño de Shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis padres: Santos Constanza y Pedro Quispe, por
su apoyo constante y enseñanza del valor del trabajo
y disciplina.*

*A mi esposa América Barros y a mi hija Sofía, quienes
son mi motivación constante para mi superación
personal y profesional.*

Agradecimiento

Agradezco a Dios por poner en mi camino personas y profesionales de excelencia.

A los catedráticos de la UNI que no solo compartieron su conocimiento sino también inculcaron en mí el orgullo de pertenecer a esta gran familia.

En especial a:

MG. Ing. Elvis William Valencia Chávez

Universidad Nacional de Ingeniería – FIGMM – UNI

Asesor de Trabajo de Suficiencia

MBA. Ing. Henry M. Zambrana Flores

Universidad Nacional de Ingeniería – FIGMM – UNI

Especialista de Trabajo de Suficiencia

A todos ellos mi reconocimiento y gratitud

Resumen

En el presente trabajo de investigación se realiza un análisis en cuanto a la dosificación de los insumos que intervienen en la preparación de shotcrete, debido a que se verifica mediante los ensayos realizados a las probetas de shotcrete muestreadas, unas resistencias a la compresión simple que superan en un rango del 77% a 89% sobre el requerimiento de diseño $F'c=300$ kg/cm² establecido por Catalina Huanca para sus operaciones; lo que nos lleva a reflexionar si la cantidad de cemento es la adecuada o por el contrario se está usando en demasía y con ello elevando los costos de sostenimiento.

Se realiza primero un análisis de los insumos de shotcrete, siendo el agregado uno de los componentes de mayor variabilidad en cuanto a sus características, por lo cual se realizan ensayos normados para su control y así obtener un agregado adecuado para la preparación de un shotcrete de calidad.

Posteriormente se realiza la elaboración de una nueva dosificación a partir de la disminución de 20 kg de cemento respecto a la dosificación actual para un diseño $F'c=300$ kg/cm². Con esta variación de cemento también varían las cantidades de los demás insumos los cuales debemos de calcular de acuerdo a las proporciones especificadas dentro de la investigación.

Se realizan ensayos a esta nueva dosificación de shotcrete los cuales deben cumplir con las normas ASTM, normas ACI, normas NTP, procedimientos y estándares. Los resultados de estos ensayos cumplen con los requerimientos y estándares solicitados por Catalina Huanca, obteniendo una resistencia temprana mayor a 2 Mpa después de las tres horas de realizado el lanzamiento del shotcrete; una resistencia final a los 28 días que supera los 300 kg/cm² y un slump que en el tiempo se mantiene por encima de 6" antes de las 2 horas.

Finalmente se realiza un análisis de los costos con el cambio en la dosificación del shotcrete, obteniendo en el primer trimestre una reducción en costos de \$ 22, 688.40. Realizando una proyección para 1 año se obtendrá una reducción de \$ 90, 753.60 en los costos de sostenimiento.

Palabras claves — shotcrete, dosificación, diseño, costos, sostenimiento, resistencia, ensayos.

Abstract

In this research work, an analysis is made regarding the dosage of the inputs involved in the preparation of shotcrete, because it is verified by the tests carried out on the sampled shotcrete specimens, some resistances to simple compression that exceed in a range of 77% to 89% over the design requirement $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$ established by Catalina Huanca for its operations; This leads us to reflect on whether the amount of cement is adequate or whether it is being used in excess, thus increasing the costs of support.

First, an analysis of the shotcrete inputs is carried out, being the aggregate one of the components with the greatest variability in terms of its characteristics, for which reason standardized tests are carried out to control it and thus obtain a suitable aggregate for the preparation of a quality shotcrete.

Subsequently, a new dosage is elaborated based on the reduction of 20 kg of cement with respect to the current dosage for a design $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$. With this variation of cement, the quantities of the other inputs also vary, which must be calculated according to the proportions specified in the research.

Tests are performed on this new shotcrete dosage, which must comply with ASTM norms, ACI norms, NTP norms, procedures and standards. The results of these tests comply with the requirements and standards requested by Catalina Huanca, obtaining an early resistance greater than 2 Mpa three hours after the shotcrete was cast; a final resistance at 28 days that exceeds 300 kg/cm^2 and a slump that in time remains above 6" before 2 hours.

Finally, an analysis of the costs with the change in the dosage of shotcrete is made, obtaining a reduction in costs of \$ 22,688.40 in the first quarter. Making a projection for 1 year, a reduction of \$ 90,753.60 in maintenance costs will be obtained.

Keywords — shotcrete, dosing, design, costs, support, strength, testing.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vii
Introducción	x
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.2.1 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivo	2
1.4 Hipótesis y operacionalización de variables	3
1.4.1 Hipótesis.....	3
1.4.2 Operacionalización de variables	3
1.5 Antecedentes Investigativos	3
1.5.1 Antecedentes internacionales	3
1.5.2 Antecedentes nacionales	4
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	7
2.1 Bases Teóricas	7
2.1.1 Lanzado de concreto (shotcrete).....	7
2.1.2 Diseño de shotcrete	10
2.1.3 Características físicas y químicas de los insumos de shotcrete	12
2.1.4 Tipo y diseño de la Investigación	26
2.1.5 Unidad de Análisis	27
2.2 Marco Conceptual.....	52
Capitulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....	54
3.1 Diseño actual F'c 300 kg/cm ² (400 kg de cemento)	54
3.1.1 Resistencias tempranas.....	54
3.1.2 Resistencia a la compresión uniaxial	55

3.1.3	Costo de insumos para shotcrete.....	58
3.1.4	Consumo de shotcrete abril-junio 2021	59
3.2	Nueva dosificación en el diseño de shotcrete	61
3.2.1	Ensayos realizados al agregado	61
3.2.2	Diseño propuesto F'c 300 kg/cm ² (380 kg de cemento)	64
3.2.3	Ensayos realizados al concreto fresco	67
3.2.4	Ensayo de resistencia edades tempranas.....	72
3.2.5	Ensayo de resistencias finales	76
3.2.6	Costo unitario de insumos para shotcrete (380 kg cemento).....	79
3.2.7	Consumo de shotcrete julio-setiembre 2021:	80
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		82
4.1	Análisis comparativo de las resistencias finales para las dosificaciones	82
4.2	Análisis de la resistencia temprana para la nueva dosificación	82
4.3	Análisis de costos con la nueva dosificación.....	83
4.4	Análisis del consumo de shotcrete	84
4.5	Análisis en la reducción de costos	85
Conclusiones		87
Recomendaciones		88
Referencias bibliográficas.....		89
Anexos		1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Costo de shotcrete diseño $F'c= 300 \text{ kg/cm}^2$	2
Tabla 2: Tipos de gradación del agregado	16
Tabla 3: Características obligatorias del agregado	18
Tabla 4: Características complementarias del agregado.....	19
Tabla 5: Características epistemológicas de la investigación cualitativa y cuantitativa....	27
Tabla 6: Diseño shotcrete $F'c 300 \text{ kg/cm}^2$	54
Tabla 7: Costo de shotcrete diseño $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$ (400 kg de cemento/ m^3)	59
Tabla 8: Consumo de shotcrete abril 2021.....	60
Tabla 9: Consumo de shotcrete mayo 2021.....	60
Tabla 10: Consumo de shotcrete junio 2021.....	60
Tabla 11: Ensayo de granulometría del agregado.....	61
Tabla 12: Módulo de fineza.....	62
Tabla 13: Porcentaje de humedad del agregado.....	63
Tabla 14: Porcentaje material que pasa la malla N°200.....	64
Tabla 15: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.....	65
Tabla 16: Relación agua/cemento según $F'c$	65
Tabla 17: Peso unitario del concreto fresco	68
Tabla 18: Pérdida de asentamiento del concreto – slump.....	69
Tabla 19: Rendimiento del concreto fresco	72
Tabla 20: Desarrollo de resistencias tempranas – Penetrometro digital.....	73
Tabla 21: Desarrollo de resistencias tempranas – Pistola hilti.....	74
Tabla 22: Desarrollo de resistencias tempranas	75
Tabla 23: Costo de shotcrete diseño $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$ (380 kg de cemento/ m^3)	80
Tabla 24: Consumo de shotcrete julio 2021	80
Tabla 25: Consumo de shotcrete agosto 2021.....	81

Tabla 26: Consumo de shotcrete setiembre 2021	81
Tabla 27: Reducción de costo mensual en shotcrete con nueva dosificación	85

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Diagrama lanzado de concreto por vía seca	8
Figura 2: Diagrama lanzado de concreto por vía Húmeda	9
Figura 3: Características Químicas – Físicas del cemento utilizado.....	14
Figura 4: Especificación para ensayos de agregados fino (Gradación N°2).....	16
Figura 5: Ubicación General de la Mina Catalina Huanca	28
Figura 6: Estratigrafía	29
Figura 7: Modelo estructural	32
Figura 8: Modelo geológico de los depósitos epitermales	33
Figura 9: El valle en "V" aguas arriba del río Mishca.....	34
Figura 10: Resistencia a la compresión uniaxial	36
Figura 11: Propiedades físicas.....	36
Figura 12: Tracción indirecta.....	37
Figura 13: Resistencia a la compresión triaxial	37
Figura 14: Constantes elásticas.....	37
Figura 15: Corte Directo.....	38
Figura 16: Carga puntual	38
Figura 17: Caracterización geotécnica cualitativo del macizo rocoso según el grado de fracturamiento, condición de fracturas y resistencia (GSI modificado)	41
Figura 18: Caracterización geotécnica cuantitativo del macizo rocoso según el grado de fracturamiento, condición de fracturas y resistencia (GSI modificado)	42
Figura 19: Sostenimiento de labores mineras subterráneas.....	43
Figura 20: Tiempo de autosoporte	43
Figura 21: Tabla Geomecánica Catalina Huanca según GSI	45
Figura 22: Análisis estereográfico de fallas conjugadas mostrando las orientaciones del vector esfuerzo	46
Figura 23: Split set.....	47

Figura 24: Perno helicoidal	48
Figura 25: Perno swellex	48
Figura 26: Cimbra tipo H.....	49
Figura 27: Esquema de lanzado de shotcrete.....	50
Figura 28: Equipo pull test	50
Figura 29: Martillo de Schmidt	51
Figura 30: Cinta extensiométrica	51
Figura 31: Cono de Abrams.....	52
Figura 32: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) abril	55
Figura 33: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) mayo.....	56
Figura 34: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) junio.....	56
Figura 35: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – abril	57
Figura 36: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – mayo	57
Figura 37: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – junio	58
Figura 38: Costos unitarios de insumos para shotcrete.....	59
Figura 39: Curvas de los ensayos de granulometría del agregado.....	62
Figura 40: Curvas módulo de fineza del agregado.....	62
Figura 41: Curva % pasante malla N°200	64
Figura 42: Nueva dosificación de diseño de shotcrete $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$	67
Figura 43: Ensayo para determinar el peso unitario del concreto fresco	68
Figura 44: Pérdida de asentamiento en el tiempo	69
Figura 45: Ensayo para la determinación del % de aire contenido en el concreto.....	70
Figura 46: Temperatura en el ambiente en superficie (izquierda), temperatura del concreto en superficie (derecha)	71
Figura 47: Temperatura del concreto en interior mina (izquierda), temperatura del ambiente en interior mina (derecha).....	71

Figura 48: Ensayo resistencia a edad temprana con uso del penetrometro digital	73
Figura 49: Ensayo resistencia a edad temprana con uso de la pistola hilti y extractor	74
Figura 50: Clases de resistencia temprana de shotcrete.....	75
Figura 51: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Julio	76
Figura 52: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Agosto	77
Figura 53: Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Setiembre	¡Error! Marcador no definido.
Figura 54: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – julio	78
Figura 55: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – agosto ..	78
Figura 56: Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – setiembre .	79
Figura 57: Resistencias promedio por mes según dosificación de cemento.....	82
Figura 58: Resistencia temprana requerida para el shotcrete Catalina Huanca	83
Figura 59: Diferencia de costos de insumos para shotcrete según dosificación	84
Figura 60: Consumo de shotcrete por mes	85

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo elaborar una nueva dosificación en el diseño del shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea, teniendo en cuenta las normas internacionales vigentes y las características requeridas por la unidad minera.

El desarrollo de la presente investigación está estructurado en cuatro capítulos, descritos a continuación:

En el primer capítulo, se describe la problemática de la investigación para la formulación del problema, a partir de ello establecemos nuestro objetivo, formulamos nuestra hipótesis, operacionalizamos nuestras variables y describimos los antecedentes investigativos.

En el segundo capítulo se comprende del marco teórico y marco conceptual, en el primero se describe los temas más importantes para el desarrollo de la investigación como el diseño y lanzamiento de shotcrete, las características de los insumos, también se describe la unidad de análisis en donde se desarrollará la presente investigación; en lo que refiere a marco conceptual se conceptualizan los términos que puedan tener más de una acepción.

En el tercer capítulo comprende el desarrollo del trabajo de investigación, en donde se realiza la recolección de datos de las características del shotcrete con la dosificación anterior y la nueva dosificación, para luego realizar el procesamiento de estos datos y elaborar tablas y gráficos que nos permitan realizar el análisis de la investigación.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis y discusión de los resultados, en donde a través del análisis comparativo de las características del shotcrete con la dosificación anterior y la nueva dosificación, se muestran mejoras en el control de calidad y una reducción de costos.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La industria minería al no tener el control de venta de sus productos, está obligada a optimizar los procesos y reducir los costos en forma constante para continuar siendo competitiva, siendo el costo de sostenimiento uno de los factores más relevantes.

Mediante los resultados de resistencia a la compresión uniaxial del shotcrete, observamos que esta resistencia superaba entre un 70% a 80% la resistencia requerida lo que sugiere una dosificación del cemento en demasía, por lo cual se presenta una situación en la que mediante un adecuado análisis de los insumos y la dosificación en el diseño del shotcrete, se podrá reducir los costos de sostenimiento.

Se debe tomar en cuenta que toda variación de la dosificación en el diseño del shotcrete vendrá acompañada de una serie de ensayos de control de calidad tanto en su estado fresco como endurecido.

1.2 Descripción del problema de investigación

La utilización en cuanto a la tecnología del shotcrete como tipo de soporte se ve con más frecuencia en el ámbito de la minería subterránea, ya que debido a la mayor presencia de tipos de roca de mala calidad (tipo III B – IVA – IVB – V) es necesario la aplicación del shotcrete a fin de estabilizar el macizo rocoso. Esto ha dado como resultado un incremento en el costo de sostenimiento en las labores que se vienen ejecutando.

El consumo de shotcrete mensual promedio en las operaciones de Catalina huanca es de 1800 m³. El shotcrete es destinado para labores de preparación en un 45% y labores de explotación en un 32% la cual representa el 77% del consumo a estas labores, las cuales son consideradas temporales, por lo cual el tiempo de uso para las operaciones es menor en relación a la vida útil del shotcrete.

Actualmente en las operaciones Catalina Huanca, se emplea el shotcrete diseño 300 kg/cm², el cual presenta 400 kg de cemento por m³ de shotcrete en su dosificación. Se realizan ensayos de compresión simple a probetas de shotcrete en las cuales se

observa que la resistencia final a los 28 días alcanza en promedio los 500 kg/cm², siendo la resistencia requerida de 300 kg/cm² a los 28 días según el estándar en Catalina Huanca. Esto infiere que se está utilizando cemento en demasía, teniendo como resultado un incremento en el costo del shotcrete empleado.

Con el diseño actual de shotcrete, su preparación por 1 m³ tiene un costo en insumos de \$ 146.57, siendo el cemento tipo I uno de los insumos de mayor costo en su preparación, como se puede visualizarse en la tabla 1.

Tabla 1

Costo de shotcrete diseño F'c= 300 kg/cm²

DISEÑO - SHOTCRETE 2"			DISEÑO 400	
INSUMO	UNIDAD	USD/UNIDAD	DISEÑO	COSTO (USD/m ³)
CEMENTO (PRESNT) GRANEL - BOMBONA;(TIP) I	Tn	169.800	0.4	67.92
AGREGADO CON HUMEDAD < 6%; MALLA -3/8"	m ³	28.020	0.98	27.41
FIBRA SINTÉTICA L=50mm	Kg	4.800	5	24.00
ADITIVO ACELERANTE	kg	0.705	28.5	20.09
ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE	kg	1.787	4	7.15
AGUA	Kg	0.000	189	0.00
TOTAL				146.57

Fuente: Compañía minera Catalina Huanca

Por lo tanto, el problema central es el excesivo uso de cemento en la preparación del shotcrete a partir de una dosificación inadecuada para su diseño el cual incrementa su costo en su preparación, por ello se propone una nueva dosificación la cual debe cumplir con las normativas internacionales vigentes para el shotcrete y los estándares solicitados por Catalina Huanca.

1.2.1 Formulación del problema

¿En qué medida una inadecuada dosificación en el diseño de shotcrete afectará negativamente en los costos en procesos de minería subterránea?

1.3 Objetivo

Elaborar una nueva dosificación en el diseño de shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea.

1.4 Hipótesis y operacionalización de variables

1.4.1 Hipótesis

Un adecuado análisis de la dosificación en el diseño de shotcrete influirá en reducir los costos en procesos de minería subterránea.

1.4.2 Operacionalización de variables

Variable independiente (X): dosificación en el diseño de shotcrete.

Variable dependiente(Y): Costos en procesos de minería subterránea.

1.5 Antecedentes Investigativos

1.5.1 Antecedentes internacionales

Bracamonte, JR (2014), "Concreto lanzado en la industria minera, construcción y tecnología en el concreto." destaca la importancia crucial de un diseño apropiado del hormigón proyectado, un aspecto que con frecuencia no recibe la atención necesaria. Esto se debe a que el diseño del hormigón proyectado encierra las características fundamentales del concreto, tales como su capacidad de ser trabajado, su durabilidad, su resistencia, el espesor máximo de la capa y su rebote, todos los cuales influyen directamente en los costos asociados a su utilización.

Es esencial comprender que el diseño de la dosificación de concreto no es simplemente una combinación aleatoria de materiales. En cambio, debe llevarse a cabo con la asistencia de un laboratorio especializado, el cual analice minuciosamente la materia prima utilizable, que incluye cemento, agregados, agua, aditivos, y determine las proporciones apropiadas de cada uno de estos componentes para lograr un propósito específico. Si no se presta la debida atención a este proceso de diseño, existe el riesgo de obtener un concreto que no cumpla con las expectativas de rendimiento y que, además, genere costos excesivos. Posteriormente, una vez que se haya aplicado el concreto en la obra, podría carecer de la resistencia y la durabilidad requeridas para satisfacer las necesidades de la mina o el proyecto en cuestión.

En el ámbito de la minera y la aplicación del concreto lanzado, Bracamonte destaca la presencia de cuatro aspectos esenciales que no deben ser pasados por alto:

Obtención de resistencia in situ: La resistencia del concreto debe lograrse en la superficie de la roca donde se coloca, y no solamente en un entorno de laboratorio. Este enfoque garantiza que el diseño y la aplicación del hormigón proyectado estén ajustados a las condiciones reales en el lugar de trabajo, asegurando que el hormigón cumpla con la resistencia requerida en las condiciones específicas de la mina o del proyecto.

Consideración del tiempo de trabajabilidad: Es crucial diseñar la mezcla de concreto teniendo en cuenta el tiempo de trabajabilidad necesario para colocar un volumen determinado de concreto. Esto asegura que el shotcrete se aplique de manera efectiva y dentro de los plazos programados, evitando retrasos en la obra.

Bombeabilidad de la mezcla: el concreto mezclado debe ser diseñada de modo que sea adecuada para ser bombeada, lo que facilite su transporte y aplicación en áreas de difícil acceso. Esto se vuelve especialmente relevante en entornos mineros donde la movilidad puede ser limitada.

Evaluación del costo de la mezcla: Por último, Bracamonte enfatiza la importancia de evaluar el costo de la mezcla de concreto. Un diseño adecuado no solo debe cumplir con los requisitos de rendimiento, sino que también debe ser económicamente viable, calculando los costos y beneficios de los proyectos mineros y de construcción utilizando los recursos disponibles.

En resumen, Bracamonte subraya la relevancia de un diseño apropiado del shotcrete para minera y la construcción, enfatizando que este proceso de diseño no debe ser subestimado, ya que tiene un efecto directo en las propiedades y el rendimiento del hormigón utilizado en diversos proyectos.

1.5.2 Antecedentes nacionales

Ortega, A.E. (2020), "Influencia del aditivo superplastificante y fibra sintética en el diseño de Shotcrete, aplicado como elemento de sostenimiento del macizo rocoso en la Mina Uchucchacua", se llegó a la conclusión de que al seguir los parámetros recomendados por el ACI en el diseño de shotcrete, se generan volúmenes específicos de materiales, con una proporción elevada de cemento que aumenta el volumen de pasta, lo

que a su vez incrementa el costo por metro cúbico. Sin embargo, al incorporar un aditivo superplastificante en el diseño de shotcrete, se pueden modificar las proporciones de los volúmenes de materiales, lo que resulta beneficioso al permitir la reducción de uno de los parámetros de diseño, la relación agua-cemento. Aprovechando esta característica, se logra disminuir la cantidad de cemento necesaria.

Adicionalmente, al introducir fibras sintéticas en diferentes cantidades en el diseño de shotcrete, se alteran los parámetros de consistencia originalmente propuestos. Por lo tanto, se utiliza la fibra sintética junto con el aditivo plastificante para mantener dicha consistencia deseada. Al mismo tiempo, se observa que la incorporación de fibra sintética tiene un impacto positivo en la disminución de las fisuras debidas a la contracción plástica y conlleva a un incremento sustancial en la resistencia a la tenacidad del shotcrete.

En resumen, Ortega en su estudio resalta cómo la adición de un superplastificante y fibras sintéticas en el diseño para shotcrete puede tener un impacto significativo en las propiedades y costos del material. Esto puede resultar en una disminución de la proporción de cemento necesaria, lo que, a su vez, puede influir en la eficiencia y la resistencia del shotcrete utilizado. Además, la incorporación de fibras sintéticas también puede mejorar la durabilidad y la capacidad de resistir fisuras en el concreto proyectado.

Guillen, R.B. (2019), "Mejoramiento del diseño de shotcrete vía húmeda en unidad minera Animon", realizó investigaciones en la minera Animon con el objetivo de mejorar el diseño del shotcrete vía húmeda. Estos esfuerzos se centraron en evaluar los componentes del shotcrete que desempeñan un papel crucial en el proceso, considerando los criterios fundamentales para producir un concreto duradero de alta calidad, cumpliendo con las normas ASTM, normas ACI y normas NTP aplicables. Durante esta investigación, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas en los insumos clave, como aditivos, cemento y arena, con el objetivo de identificar oportunidades de modificación y mejora, siempre con la premisa de minimizar costos sin sacrificar el rendimiento ni la calidad del producto final.

Uno de los cambios significativos en el diseño de mezcla se centró en la incorporación de un aditivo superplastificante de alto rango. Esta adición tenía como

finalidad conservar la viscosidad y la homogeneidad de la pasta de shotcrete a lo largo del tiempo, asegurando que la mezcla mantuviera su trabajabilidad y capacidad de ser manejada sin dificultad. Este ajuste en la composición tuvo un impacto directo en el tiempo de fraguado del shotcrete, que previamente se situaba en 3 horas y se redujo de manera exitosa a 2 horas. Este cambio se basó en una variedad de ensayos primeramente en laboratorio y después en campo, que confirmaron la capacidad del nuevo diseño para alcanzar resistencias a la compresión uniaxial (UCS) satisfactorias en un período de fraguado de 2 horas, con valores en el rango de 2.5 a 3.0 MPa.

Este enfoque innovador en la modificación del diseño de mezcla ha demostrado ser especialmente beneficioso en áreas de la mina que presentan inestabilidad geológica significativa y una alta filtración de agua. La capacidad de fraguar más rápido y mantener sus propiedades ha mejorado la eficacia y seguridad de las operaciones de shotcrete en estas condiciones desafiantes, contribuyendo en última instancia a un rendimiento más sólido y a la mitigación de riesgos en la mina Animon.

En resumen, el estudio de Guillen se enfocó en optimizar el diseño del shotcrete vía húmeda en la mina Animon a través de cambios en la composición de la mezcla y la incorporación de un aditivo superplastificante de alto rango. Estos ajustes permitieron reducir el tiempo de fragua a dos horas y aumentar la resistencia a la compresión uniaxial, lo que ha tenido un impacto positivo en la estabilidad y seguridad de las operaciones mineras en condiciones desafiantes.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Lanzado de concreto (*shotcrete*)

Melbye, T. (2002), en su libro “Shotcrete para soporte de rocas”, escribe que el primer uso documentado del concreto proyectado (también conocido como mortero o "gunita") se remonta a hace casi nueve décadas.

El concreto proyectado fue utilizado inicialmente en la construcción en Estados Unidos en 1907 por la Cement-Gun Company de Allentown, Pensilvania. El mortero proyectado, o "gunita" como lo comercializa Cement-Gun, es un mortero hecho de áridos finos y una alta proporción de cemento.

El concreto proyectado puede aplicarse en seco o en húmedo, dependiendo de la situación.

Luego de la 2da Guerra Mundial, se comenzó a utilizar el método húmedo. Las mezclas se hidratan del mismo modo que el concreto normal y se bombean con mangueras y maquinaria especializada. El aire comprimido se envía a través de la boquilla para rociar la sustancia.

El concreto proyectado no es más que otro método de concretar, a pesar de lo que puedan hacer creer sus defensores. El concreto proyectado, al igual que las técnicas de colocación más convencionales, tiene ciertos requisitos técnicos para el propio concreto, como la proporción adecuada de agua y cemento, la consistencia y el tratamiento posterior. Olvidar que el concreto proyectado es simplemente otro medio de poner concreto y que es necesario cumplir todos los criterios técnicos del concreto; conduce a una epidemia mundial de obras de concreto proyectado de baja calidad.

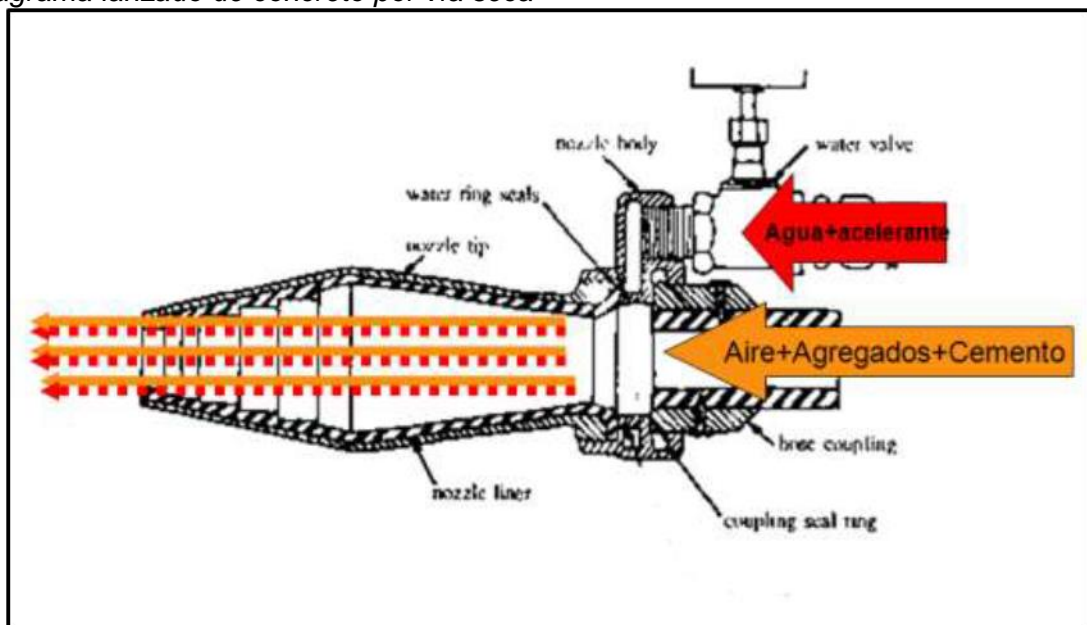
Torres, L.R. (2016), en su tesis “diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal – Minera Bateas”, presenta una definición detallada del concepto de shotcrete. Este término se refiere al nombre genérico de un tipo de concreto que se compone de varios elementos esenciales, incluyendo

agregados, cemento, aditivos, elementos de refuerzo y agua. Lo que distingue al shotcrete es su aplicación específica, que se lleva a cabo mediante un proceso neumático y una compactación dinámica de alta velocidad en una superficie determinada.

Dentro de la práctica del shotcrete, existen dos metodologías principales: el método húmedo y el método seco. En el método seco, se agrega el agua en la boquilla de proyección, tal como se ilustra en la figura 1. Por otro lado, el método húmedo implica que las mezclas que se transportan ya incluyen la cantidad adecuada de agua para la hidratación, como se aprecia en la figura 2.

Figura 1

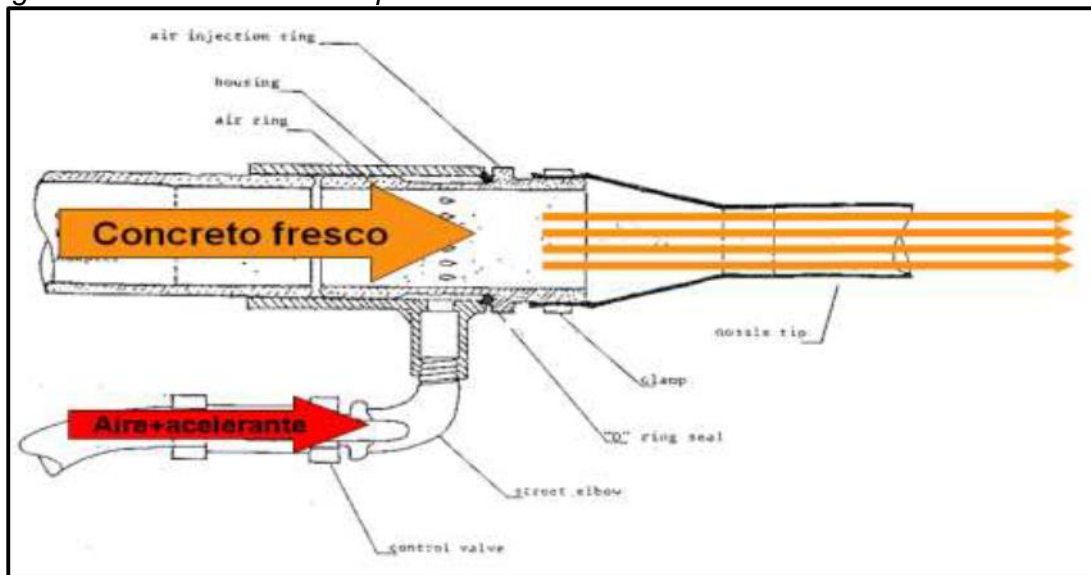
Diagrama lanzado de concreto por vía seca



Fuente: Torres, L.R., (2016), "Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal – Minera Bateas".

Figura 2

Diagrama lanzado de concreto por vía Húmeda



Fuente: Torres, L.R., (2016), "Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal – Minera Bateas".

Ambos enfoques tienen ventajas e inconvenientes, y la selección de cualquiera de los dos depende de factores tales como la experiencia del equipo que trabaje en él y la naturaleza del proyecto. Ambos métodos son habituales en la construcción.

Hasta hace poco, la pulverización en seco era el procedimiento estándar. Sin embargo, un gran cambio ha ocurrido en tiempos recientes, sobre todo en lo que respecta al uso de hormigón proyectado para el anclaje de rocas. En un futuro no muy lejano, la proyección húmeda se convertirá probablemente en la norma. El método húmedo se utiliza cada vez más por sus muchas ventajas, como un lugar de trabajo más seguro, una aplicación más uniforme y un mayor rendimiento por hora de trabajo.

Las mejoras en la tecnología del hormigón proyectado están intrínsecamente ligadas al método de proyección húmeda. Las nuevas generaciones de aditivos, los agentes de curado interno del hormigón, la microsílíce y las fibras metálicas son sólo algunas de las innovaciones que se han aplicado en los últimos años. Estos avances están contribuyendo al aumento de la calidad y eficiencia del hormigón proyectado en diversos entornos, incluido el sector minero.

2.1.2 Diseño de shotcrete

Clará, P.A.; Montes, R.A; Morales, J.A. (2006), en su tesis “Concreto lanzado: Diseño de mezcla y propuesta de metodología para el control de calidad”, abordan el proceso de diseño del shotcrete, enfatizando que este proceso implica la cuidadosa combinación de varios insumos del concreto, incluyendo agregados, agua, cemento, aditivos y fibras, en proporciones predefinidas con un objetivo específico. Subrayan que no se trata de una mezcla aleatoria de materiales, sino de un proceso altamente controlado.

En el contexto del concreto lanzado, el diseño de shotcrete se enfoca fundamentalmente en la resistencia a la compresión. Las variaciones en la resistencia, explican, dependen en gran medida de tres factores principales: el proceso de revestimiento, el tipo de equipo empleado y la calidad de la mano de obra. Estos elementos influyen en la calidad del resultado final.

No obstante, señalan que, en determinadas aplicaciones, especialmente las que requieren capas delgadas de shotcrete, no se puede dejar de lado la importancia de otras cualidades distintas de la resistencia a la compresión para el éxito global del proyecto. Por ejemplo, la permeabilidad y la durabilidad son cualidades clave que deben ser consideradas, lo que puede requerir ajustes en las proporciones de la mezcla para alcanzar los objetivos trazados.

En lo que concierne a la elección del equipo de aplicación del concreto lanzado, los autores destacan que existe una amplia variedad de equipos disponibles, y no existe un enfoque único para determinar las proporciones de la mezcla para ser aplicada a todos los casos. Para la preparación de la mezcla se debe enfatizar la importancia de considerar varios aspectos, como las características específicas requeridas para el trabajo con concreto lanzado, las especificaciones seleccionadas para el proyecto, y la elección del tipo de equipo adecuado, bien por vía seca o húmeda, con o sin árido grueso.

En cuanto a la dosificación de la mezcla, los autores mencionan dos enfoques distintos. Uno se basa en especificar la calidad requerida y permite al constructor decidir cómo cumplirla, generalmente definiendo la calidad de los insumos y la resistencia a la

compresión. El segundo enfoque, la dosificación por prescripción, en este caso se limita a indicar la calidad de los insumos y su relación en masa, como ejemplo, la relación cemento-áridos de 1:4. Para mezclas por vía húmeda, se agregan requisitos adicionales, como el slump y el contenido de aire de ser necesario. Estos enfoques proporcionan directrices clave para la preparación de la mezcla de shotcrete de manera eficaz y precisa.

Melbye, T. (2002), en su libro "Shotcrete para soporte de rocas", especifica que los siguientes componentes deben estar presentes para que la técnica húmeda genere un hormigón proyectado eficaz:

- Áridos
- Cemento
- Aceleradores de fraguado líquidos sin álcalis
- Fibras
- Aditivos
- Microsílice
- El tratamiento posterior
- El equipo de proyección adecuado
- La adopción de una técnica adecuada

A continuación, mencionaremos factores específicos que pueden influir en la calidad de un concreto. Como ya se ha señalado, el concreto proyectado debe cumplir las mismas especificaciones del concreto empleado en la construcción, concretamente:

- Disminuir de la proporción A/C
- Menor cemento
- Menor agua
- Mejorar la trabajabilidad

En el caso del concreto proyectado, los contrastes en las características del concreto fresco y endurecido son especialmente evidentes. Esto reduce nuestra calidad de concreto proyectado producido por vía húmeda, sin embargo, puede minimizarse utilizando aditivos, fibras y microsílice que absorban menos agua.

2.1.3 Características físicas y químicas de los insumos de shotcrete

2.1.3.1 Cemento. El cemento es un aglutinante que adopta la forma de un polvo fino que, al combinarse con el agua, se endurece para producir una combinación homogénea y sólida con una excelente resistencia al agua y adherencia a otros materiales.

Tipos de cemento

Hoy en día se producen diversas variedades de cemento portland, cada una con sus propias aplicaciones. Se fabrican en concordancia a las normas implantadas por el gobierno nacional correspondiente. La Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (Cementos Portland. Requisitos), que se basa en la American Society for Testing and Materials (ASTM) C 150, contempla las siguientes cinco variedades de cemento:

- **Cemento Tipo I: Uso general**

Se emplea cuando las cualidades especializadas de otros cementos no son esenciales. Se utiliza para una amplia variedad de aplicaciones de hormigón, como carreteras, suelos, tanques, puentes, tuberías, depósitos, prefabricados de hormigón y unidades de mampostería.

- **Cemento Tipo II y Tipo II (MH):**

Es adecuado para su uso en construcciones típicas y en elementos expuestos a aguas subterráneas o suelos con una concentración de sulfato o calor de hidratación superior a la habitual, pero no grave.

Debido al menor contenido de aluminato tricálcico (8%), este cemento sólo tiene una resistencia moderada a los sulfatos. La agresión del hormigón puede mitigarse utilizando un cemento de tipo II que tenga una baja permeabilidad y menor relación agua/material cementante.

- **Cemento Tipo III:**

Proporciona una resistencia temprana, usualmente en una semana o antes. Cuando hay que retirar el encofrado lo antes posible o cuando el edificio se va a poner en servicio rápidamente, se utiliza esta variante de grano más fino que del cemento Tipo I.

- **Cemento Tipo IV:**

Se utiliza en situaciones en las que es prioritario ralentizar o reducir el calor producido por la hidratación. Como resultado, este cemento tarda más en endurecerse que otros. Se puede utilizar en construcciones de hormigón en masa cuando reducir las altas temperaturas causadas por el proceso de endurecimiento es una prioridad.

- **Cemento Tipo V:**

Este tipo de hormigón se emplea siempre que hay concentraciones importantes de sulfatos en las aguas subterráneas o en los suelos. La excepcional resistencia de este cemento a los sulfatos se debe a que contiene muy poco aluminato tricálcico, menos del 5% en peso.

Cualquier construcción que esté expuesta a sulfatos debe construirse con una baja proporción de materiales cementosos y una baja permeabilidad si se quiere que funcione bien. Cuando se expone a altos niveles de sulfato, ni siquiera el cemento tipo V del hormigón puede resistir.

Cemento utilizado en Catalina huanca

- **Tipo I, cemento Portland (sol) de uso general.**

Beneficios: Aumento acelerado de la resistencia inicial, gran trabajabilidad, desencofrado rápido, excelente crecimiento de la resistencia del shotcrete y excelente permanencia del asentamiento.

Características: Cumple con la norma técnica peruana NTP-334.009 y la norma técnica americana ASTM C-150.

Aplicaciones: Obras generales y de gran envergadura en las que no se requieran cualidades particulares o no se tiene mencionado algún otro tipo de cemento.

Figura 3

Características Químicas – Físicas del cemento utilizado

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm ³	3.13	No específica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	449	Mínimo 285 (*)
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C2S	%	12	No específica
C3S	%	55	No específica
C3A	%	10	No específica
C4AF	%	10	No específica

Fuente: Ficha técnica cemento tipo I portland (cementos sol)

2.1.3.2 Agregado. Los agregados se pueden definir como los componentes inactivos en el concreto que se unen mediante la pasta de cemento para formar una estructura resistente. Normalmente representan entre el 70 % y el 75 % del volumen total en la mezcla de concreto. Inicialmente, se consideraba que los agregados eran materiales químicamente inertes y económicos, sin embargo, se ha descubierto que no son completamente inertes químicamente ya que, en ciertos casos, sus propiedades físicas y químicas pueden influir en el rendimiento del concreto, especialmente en términos de durabilidad.

Desde una perspectiva económica, sería más rentable tener una mezcla con una mayor proporción de agregado y menos cemento, pero es fundamental encontrar un equilibrio entre la calidad del concreto y el costo, sin comprometer las propiedades requeridas para la construcción en la que se utiliza la mezcla de cemento.

Recuerde que la roca madre desempeña un papel importante en la determinación de las propiedades únicas de cada tipo de árido. La dureza, el peso específico, la petrografía y la porosidad son cualidades heredadas de la roca madre. Los distintos áridos

tienen cualidades diferentes en estado fresco y endurecido debido a diferencias en características como el tamaño y la forma de las partículas.

El Comité ACI 506R-90 establece que los áridos gruesos y finos utilizados en el hormigón proyectado deben cumplir las normas establecidas en ASTM C33. Además, en la norma ACI 506R-90 se cita la norma ASTM C330 que proporciona información sobre las propiedades físicas que deben cumplir los áridos ligeros utilizados en el hormigón proyectado.

De acuerdo con la nomenclatura ASTM C125, los áridos se definen como cualquier material granular utilizado en combinación con un agente cementante para producir hormigón o mortero hidráulico. Ejemplos de estos materiales son la arena fina, la grava y la roca triturada. Como se ha indicado anteriormente, los áridos suelen ser el resultado de la desintegración, ya sea de forma natural o por métodos artificiales. Cuando se utilizan para producir hormigón, las rocas de densidad normal tienen una gravedad específica de alrededor de 2,4 a 2,8, lo que resulta en un peso unitario de hormigón de 2200 kg/m³ a 2550 kg/m³.

Granulometría

Tanto en el hormigón fresco como en el endurecido, la calidad de los áridos es un factor clave cuando se trata de hormigones especiales. La distribución del tamaño de las partículas y otras propiedades debe ser lo más uniforme posible. La cantidad y las características del material fino son dos elementos especialmente cruciales. Los siguientes factores deben tenerse en cuenta en la preparación de mezclas húmedas:

- El diámetro máximo debe ser de 8 mm a 10 mm, esto se debe a limitaciones en el equipo de bombeo y para evitar pérdidas significativas por rebote.
- La curva de granulometría del agregado también reviste una gran importancia, especialmente en su parte inferior. El contenido de material fino en el tamiz N° 100 no debe caer por debajo del 4 % al 5 % ni superar el 8 % al 9 %.
- La presencia excesiva de materiales finos de tamaño muy pequeño puede dar lugar a segregación, problemas de lubricación y riesgo de bloqueo.

Requisitos del agregado usado en Catalina huanca

Según la descripción del ASTM C125, se entiende por agregado fino aquel material derivado de la desintegración de rocas, ya sea de forma natural o artificial, que pasa a través del tamiz de 9.5 mm (3/8") y cumple con las especificaciones establecidas en la norma NTP 400.037 y/o ASTM C33. En una mezcla de concreto estándar, el agregado fino puede representar hasta el 75 % de su volumen total. Por lo tanto, es fundamental destacar la importancia del control de calidad de este componente.

Es esencial lograr una distribución de tamaño homogénea que cumpla con las especificaciones necesarias; nuestro agregado debe estar dentro de los rangos de granulometría definidos en la gradación N° 2.

Tabla 2

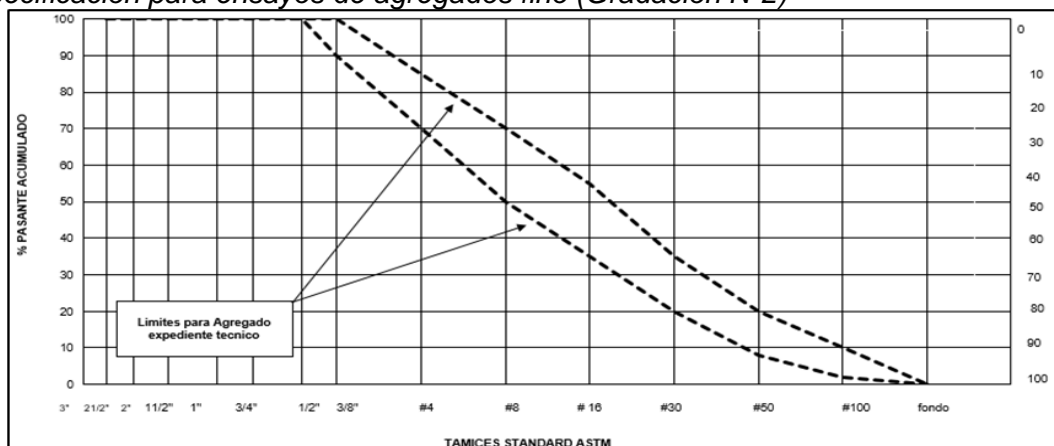
Tipos de gradación del agregado

TAMIZ	% RETENIDO PASANTE EN PESO		
	GRADACIÓN 1	GRADACIÓN 2	GRADACIÓN 3
3/4"			100
1/2"		100	80 - 95
3/8"	100	90 - 100	70 - 90
#4	95 - 100	70 - 85	50 - 70
#8	80 - 100	50 - 70	35 - 55
#16	50 - 85	35 - 55	20 - 40
#30	25 - 60	20 - 35	10 - 30
#50	10 - 30	8 - 20	5 - 17
#100	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: Área de geomecánica Catalina Huanca.

Figura 4

Especificación para ensayos de agregados fino (Gradación N°2)



Fuente: Área de geomecánica Catalina Huanca basado en ACI 506R

El agregado fino no debe superar el 45 % de partículas que atraviesen cualquier tamiz y queden retenidas en el tamiz siguiente más pequeño.

Módulo de fineza

Según Duff Abrams, podemos describir la finura media del agregado utilizando la siguiente fórmula (1):

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}(3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100} \quad (1)$$

El intervalo medio de la gradación 2 se considera aceptable en un rango de 3.5 a 3.9, y un valor más elevado indica una granulometría más gruesa.

Material que pasa la Malla N° 200

Este ensayo sigue las pautas establecidas por las normativas NTP 400.018 y ASTM C117, que se utilizan para medir el porcentaje de finos que atraviesa la malla # 200. Este cálculo se realiza restando el peso inicial de la muestra de agregado en seco del peso final de la muestra después de ser lavada y secada, y luego dividiendo este valor entre el peso inicial de la muestra. Conforme a la norma ASTM C33, el límite máximo admitido de material pasante a través de la malla N° 200 es del 5%.

Contenido de humedad

Se refiere al exceso de agua en un estado donde el material está saturado, pero con una superficie aparentemente seca. Cuando el agregado tiene una humedad por debajo a su capacidad de absorción, absorberá parte del agua utilizada en la mezcla. Por otro lado, si la humedad supera la capacidad de absorción, los agregados aportarán agua a la mezcla, lo que requiere una consideración cuidadosa de la humedad de los agregados al preparar el concreto. Un alto contenido de humedad incrementará la relación A/C, reduciendo así la resistencia, mientras que una humedad muy baja impedirá lograr la trabajabilidad deseada. Ambos escenarios afectan la resistencia y las propiedades del concreto, lo que subraya la importancia del control para obtener los resultados deseados.

Porcentaje de absorción

Se describe como el volumen de agua que retiene el árido tras ser sumergido en agua durante 24 horas. El valor se da como un porcentaje del peso del material en estado seco que es capaz de absorber, de tal manera que el material queda superficialmente seco pero saturado internamente.

Peso Unitario

Se refiere al peso del agregado, medido en kilogramos, que ocupa un volumen de 1 metro cúbico en el concreto, teniendo en cuenta los espacios vacíos entre las partículas. Se recomienda que esta medición se realice idealmente con el agregado en un estado de sequedad.

Peso Unitario suelto

El material que se va a someter a pruebas con el fin de diseñar una mezcla no debe tener cohesión y debe estar en un estado seco o aparentemente seco. Se obtiene una muestra representativa que tenga al menos un 125 % a un 200 % del volumen del recipiente que se utilizará. Luego, se llena el molde con este material dejándolo caer libremente desde una altura de 2 pulgadas por encima del borde superior del molde. Una vez que el molde esté lleno en exceso, se nivela y se procede a pesarlo.

Tabla 3

Características obligatorias del agregado

CARACTERÍSTICAS	REQUISITO	UNIDAD	ENSAYO
1. Granulometría	Según tabla de gradación N°2	%	PLA-ES-17
2. Módulo de fineza	Recomendado entre 2.3 y 4.0		PLA-ES-17
3. Pasante de Malla 200	5.0 % máximo	%	PLA-ES-17
4. Sales solubles totales en aguas de agregado	Máximo 1300 ppm	ppm	PLA-ES-17
5. Cloruros solubles en agua de agregados	Máximo 600 ppm	ppm	PLA-ES-17
6. Sulfatos solubles en agua de agregado	Máximo 1 000		PLA-ES-17
7. Impurezas Orgánicas	No hay: 1,2 ó 3		PLA-ES-17
8. Equivalente de arena	Mínimo 65	%	PLA-ES-17
9. Azul de metileno	Máximo 2.0	%	PLA-ES-17

Fuente: Área de geomecánica Catalina Huanca

Tabla 4*Características complementarias del agregado*

CARACTERÍSTICAS	REQUISITO	UNIDAD	ENSAYO
10. Humedad		%	PLA-ES-21
11. Peso específico y absorción			PLA-ES-21
12. Peso unitario		kg/cm ³	PLA-ES-21
13. Partículas friables	3 máx	ppm	PLA-ES-21

Fuente: Área de geomecánica Catalina Huanca

2.1.3.3 Agua. En la mayoría de los casos, se utiliza agua para hidratar el cemento. El estudio elaborado por el comité ACI 506R sobre hormigón proyectado establece que debe utilizarse agua potable y que el agua debe estar desprovista de cualquier elemento que pueda dañar el acero o el hormigón.

A diferencia de la normativa sobre calidad del agua potable, la calidad del agua necesaria para preparar las mezclas de hormigón proyectado se centra en sus cualidades fisicoquímicas y en cómo afectan a las propiedades del hormigón.

Existen tres categorías de impactos desfavorables que el agua puede tener sobre las estructuras de hormigón: a corto, medio y largo plazo. Los efectos a largo plazo se refieren a problemas como el ataque por sulfatos, la corrosión del acero de refuerzo y la reacción álcali-agregado. Los efectos a corto plazo afectan al tiempo de fraguado y a la resistencia inicial. Los efectos a medio plazo se refieren a la resistencia después de 28 días o más.

2.1.3.4 Aditivos. Los aditivos se refieren a productos que, al incorporarse en la mezcla de concreto, tienen la capacidad de modificar ciertas propiedades de manera controlada. Estos aditivos son solubles en agua y se administran como un porcentaje en relación al peso del cemento. Pueden clasificarse como orgánicos o inorgánicos.

Es importante destacar que las puzolanas y las fibras de acero no se consideran aditivos según la definición.

Estos aditivos tienen la capacidad de alterar diversas propiedades tanto en el estado endurecido como fresco del concreto. Algunas de las propiedades que pueden ser modificadas por los aditivos son las siguientes:

En el concreto fresco:

Aumentar el asentamiento dará como resultado un hormigón más fluido, lo que facilitará su trabajo. Para realizar la medición se utiliza el Cono de Abrams, y la norma NTP 339.035 es la que rige en Perú.

La exudación es un tipo de segregación del hormigón en el que el agua sube a la parte superior, dejando tras de sí un hormigón poroso y poco duradero. La NTP 339.077 especifica las reglas para los ensayos de exudación.

El tiempo necesario para el fraguado es el tiempo que transcurre desde que se hace la mezcla de agua y cemento hasta que alcanza la resistencia deseada. La resistencia inicial de fraguado del hormigón se especifica en 500 lb/pulg² (o 35 kg/cm²), mientras que la resistencia final de fraguado se define en 4000 lb/pulg² (o 250 kg/cm²). La NTP 339.082 regula este atributo en Perú, mientras que la ASTM C403 lo hace a nivel mundial.

En el concreto en estado endurecido:

Resistencia a la compresión uniaxial (UCS): Se suele aceptar que a los 28 días el hormigón ha alcanzado todo su potencial de resistencia. Además, el cálculo de la resistencia final a los 28 días es posible si se conoce el valor a los 7 días. Algunos aditivos pueden acelerar el tiempo que tarda el hormigón en alcanzar su resistencia inicial.

El uso de un aditivo aumenta el precio por metro cúbico de hormigón, pero ayudan a mejorar una amplia gama de cualidades. Sin embargo, el uso de aditivos conlleva ventajas como la disminución en el empleo de mano de obra y la mejora de la calidad del producto.

Tanto la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) como la Norma Técnica Nacional del Perú (N.T.P.) clasifican los aditivos en función del impacto que tienen sobre el concreto. Para disminuir la cantidad de agua utilizada, se pueden utilizar aditivos como estos. Cuando se trata de pastas, morteros, hormigón y hormigón proyectado, la Comunidad Europea de Normalización (CEN) divide los aditivos en varias categorías en función de su uso previsto.

Los aditivos para hormigón proyectado son objeto de la norma ASTM C1141, que clasifica estos aditivos en categorías y establece los requisitos ASTM que deben seguir para su uso en hormigón proyectado.

En la actualidad, los aditivos son una parte esencial en la composición del concreto. Aunque su uso implica un aumento en los costos de materiales e insumos, permiten lograr un rendimiento superior del concreto. Esto nos posibilita cumplir con los requisitos de calidad y los plazos establecidos por nuestros clientes.

El acelerador de fraguado es un aditivo utilizado en el proceso de proyección. Su finalidad principal es aumentar la resistencia inicial del hormigón, facilitando que la mezcla proyectada se adhiera a la superficie que hay debajo.

Los superplastificantes pueden utilizarse para mejorar la calidad del hormigón aplicado por vía húmeda. Esto se consigue mejorando la bombeabilidad del hormigón proyectado mientras se conserva baja la relación agua/cemento.

La dosis de aditivo del hormigón proyectado suele indicarse como una fracción de kilogramo de aditivo por cada m³ de hormigón. El intervalo normal de fluctuación oscila entre el 0,5% y el 6%, lo que se traduce en unos 2 a 30 kg. de aditivo por m³ de concreto.

Los aceleradores de fraguado, que regulan el tiempo de endurecimiento del hormigón proyectado tras su aplicación en la boquilla de proyección, se encuentran entre los aditivos más utilizados. Para aplicar el aditivo se utilizan dispositivos de dosificación que garantizan una dosis mínima que fluctúa con el flujo de hormigón y está sincronizada, ya que su precisión es crucial. La trabajabilidad de la mezcla también puede mejorarse añadiendo superplastificantes o reductores de agua. Repasaremos cada uno de estos aditivos sucesivamente.

Aditivos acelerantes

La nueva generación de aditivos acelerantes del hormigón proyectado es más costosa que los acelerantes de la generación anterior debido a la complejidad química de estos aditivos.

Debido a los peligros que suponen tanto para los trabajadores como para el medio ambiente, el uso de aditivos tradicionales basados en aluminatos y silicatos está prohibido por ley en muchos países.

El término "sin álcalis" se refiere al hecho de que los aditivos en cuestión incluyen cationes alcalinos como el sodio, el potasio y el litio (Na^+ , K^+ , Li^+) en su composición, manteniendo un pH entre 3 y 4. Los productos químicos son seguros para el consumo humano dentro de este rango.

En cuanto a la resistencia final, esta se ve ligeramente afectada, pero de una manera casi insignificante, con reducciones de hasta el 5% en la resistencia.

La composición química precisa de los productos actuales se mantiene en secreto por parte de cada fabricante, ya que forma parte del conocimiento exclusivo del producto. Por lo tanto, solo se puede conocer la composición básica de los acelerantes de fraguado convencionales. De igual manera, ocurre lo mismo con las reacciones químicas que involucran a estos componentes básicos.

Aditivos superplastificantes

La dispersión de "finos" se ve muy favorecida por el uso de superplastificantes/plastificantes, lo que los convierte en un componente ideal y necesario del hormigón proyectado. Los superplastificantes convencionales dependen del tiempo y la temperatura para conseguir un mayor asentamiento. Sin embargo, tras la mezcla, la bombeabilidad del material sólo puede mantenerse durante un corto periodo de tiempo (entre 20 y 90 minutos), y una sobredosis de aditivos puede hacer que la mezcla se separe y pierda totalmente su cohesividad. Dependiendo de las normas de calidad, la relación agua/cemento, la consistencia deseada y el tipo de árido y cemento, la dosis típica varía de 4 a 10 kg/m³.

La trabajabilidad del hormigón nuevo puede ampliarse mediante un procedimiento en dos fases facilitado por un superplastificante. Éste incorpora una segunda molécula que experimenta una reacción secundaria como parte de sus procesos de reacción química. La segunda molécula se activa cuando la alcalinidad del hormigón aumenta durante la

mezcla y el vertido. Esta acción retrasa el tiempo de fraguado final sin causar los típicos efectos secundarios negativos de resistencias tempranas y tiempos de fraguado final retrasados, ampliando así la duración de la trabajabilidad.

Su uso presenta una serie de ventajas:

- Reducción de agua (más del 40 por ciento)
- Excelente cohesión y bombeabilidad
- Porosidad capilar mínima
- Máxima trabajabilidad con una relación agua-cemento mínima
- Crecimiento de resistencia más rápido

2.1.3.5 Adiciones para Shotcrete. Como es ampliamente sabido, el concreto se compone principalmente de cemento, agua y agregados. No obstante, actualmente la mayor parte de las mezclas incorporan aditivos y adiciones como elementos adicionales. La inclusión de estas adiciones tiene como objetivo mejorar las propiedades del concreto o lograr características específicas. El empleo de estas adiciones se remonta a muchos años atrás, incluso en la antigua Roma, donde los romanos las utilizaban en la construcción de sus estructuras fundamentales.

Microsílice

Una puzolana altamente reactiva con una gran capacidad para ligar iones extraños, especialmente álcalis, es el humo de sílice (o "microsílice").

Se cree que la microsílice aumenta la permeabilidad del hormigón, la resistencia a los sulfatos y la resistencia a los ciclos de congelación y descongelación al llenar el espacio disponible y distribuir los productos de hidratación de forma más uniforme.

Es crucial recordar que la microsílice puede utilizarse de dos formas diferentes a la hora de evaluar las características del hormigón con microsílice:

- como sustituto del cemento, para disminuir la dosificación de cemento (normalmente para reducir costos).
- como aditivo para aumentar la calidad del concreto endurecido y fresco.

Para mejorar las cualidades tanto del hormigón como del hormigón proyectado, la microsilíce debe utilizarse como aditivo y no como sustituto del cemento.

Fibra de acero

El hormigón, como es sabido, tiene una relación resistencia a la tracción/resistencia a la compresión relativamente baja. Además, el hormigón no puede soportar ningún castigo antes de agrietarse.

Para superar estas limitaciones, se ha introducido la utilización de fibras metálicas en el concreto, que contribuyen a absorber energía antes de que ocurra la fractura y proporcionan una notable resistencia a la flexión, complementando así las propiedades del concreto.

Las fibras de acero son las fibras metálicas más utilizadas en el hormigón, y su uso se remonta a la década de 1960. Estas fibras se utilizan para crear un concreto reforzado con elementos discontinuos distribuidos aleatoriamente.

Desde la década de 1970, se realizaron investigaciones pioneras sobre el uso de fibras en el concreto. Desde entonces, estas fibras se han convertido en parte importante en la formulación de mezclas para el concreto proyectado.

Varios factores hacen que las fibras metálicas sean más deseables que la malla. Para empezar, las fibras metálicas pueden empaquetar más fibras en una superficie dada, ya que su diámetro es menor que el de la malla. Además, a diferencia de las mallas, que funcionan principalmente en una superficie plana, las fibras metálicas se distribuyen en tres dimensiones. El rendimiento del hormigón proyectado se beneficia enormemente de su dispersión tridimensional.

Las especificaciones para las fibras de acero están definidas en la norma ASTM A820, que incluye su clasificación y requisitos de tracción. En cuanto a las pruebas de flexión para el shotcrete, la norma ASTM C1018 solía regularlas, pero fue retirada en 2006, siendo reemplazada por la norma ASTM C1550, vigente desde 2010, que establece pruebas de flexión en paneles circulares.

La norma ASTM C1550 presenta comparaciones con los resultados obtenidos mediante la prueba de paneles cuadrados, normada por la EFNARC (European Specification for Sprayed Concrete - Especificación Europea para Concreto Proyectado), que existía antes de la norma ASTM C1550.

Para determinar la cantidad de fibras de acero que se debe utilizar en la mezcla de shotcrete, se consideran las presiones que el macizo rocoso ejercerá sobre él.

Las fibras de acero no solo aumentan la resistencia a la flexión, también deben mantenerla incluso después de que el concreto haya fallado.

La elección de la cantidad y el tipo de fibras de acero depende del tipo de roca que se va a estabilizar, que puede clasificarse desde A (muy buena) hasta G (excepcionalmente mala), o mediante otros parámetros como el RMR (Rock Mass Rating).

Las fibras de acero pueden soldarse formando una sola hebra o venderse por separado. El pegamento utilizado para unir las fibras en los tejidos unidos está diseñado para disolverse en agua. Las fibras unidas son más pequeñas y más finas que las fibras sueltas, ya que no se mantienen unidas sin tensión. En comparación con las fibras sueltas, esto permite una mayor densidad de fibras por unidad de volumen, lo que a su vez se traduce en una mayor resistencia a la tracción.

Sin embargo, debido al adhesivo presente en las fibras pegadas, no se recomienda su uso en la proyección de shotcrete en seco, ya que el agua solo se agrega en la boquilla antes de la proyección, lo que dificulta la separación de las fibras. Por lo tanto, las fibras pegadas se utilizan principalmente en el método de proyección en húmedo, donde la mezcla contiene agua y se mezcla antes de la proyección.

Por otro lado, las fibras sueltas pueden usarse tanto en la proyección en seco como en la proyección en húmedo, y aunque en esta última no absorben la misma cantidad de energía, no presentan ningún problema en su utilización.

Fibra sintética

En años recientes, los adelantos tecnológicos han posibilitado la creación de materiales sintéticos con propiedades altamente específicas. Las fibras sintéticas

presentan una resistencia a la flexión que oscila entre 550 MPa y 650 MPa, lo que las convierte en un

recurso muy eficaz para reforzar el shotcrete en comparación con la resistencia de una malla convencional, que es de 550 MPa.

En el mercado, es posible encontrarse varios tipos de fibras sintéticas, siendo las más conocidas las de polipropileno. Otros ejemplos incluyen fibras de nylon, aramida, poliéster, acrílico, entre otras.

Una de las características más destacadas del uso de fibras sintéticas es su resistencia a la oxidación, lo que significa que son más estables frente a reacciones químicas. Además, estas fibras sintéticas son más livianas en comparación con sus contrapartes metálicas.

Las fibras sintéticas presentan una mejor capacidad de adherencia al hormigón y causan un menor desgaste en los componentes de los equipos de proyección de concreto.

La elección de utilizar fibras sintéticas dependerá de los requisitos y las particularidades del macizo rocoso que se va a sostener, así como de consideraciones económicas.

2.1.4 Tipo y diseño de la Investigación

La actual investigación se lleva a cabo utilizando una metodología cuantitativa dado el carácter objetivo de la realidad, y se contrasta con el enunciado de la hipótesis, con el propósito de una verificación de una nueva dosificación en el diseño de shotcrete nos dará como resultado una reducción en los costos. En cuanto a la nueva dosificación esta presenta similitudes con la anterior dosificación y en base a la interacción de sus componentes y la recopilación de datos nos proporcionara un shotcrete adecuado y de menor costo, el cual cumple con los estándares solicitados. El análisis de los rasgos epistemológicos que se muestran en la tabla 5, se concluye que el abordaje es cuantitativo.

Tabla 5*Características epistemológicas de la investigación cualitativa y cuantitativa*

Características	Investigación cualitativa	Investigación Cuantitativa
Percepción de la realidad	Subjetiva. Incluyente	Objetiva. Excluyente
Razonamiento	Inductivo	Deductivo
	Genera hipótesis	Contrasta hipótesis
Finalidad	Exploración	Comprobación
Orientada	Al proceso	Al resultado
Principio de verdad	holística	Particulariza
	Dinámica (provisoria)	Establece (Permanente)
	Se construye	Predetermina
	Centrada en diferencias	Centrada en similitudes
Perspectiva del investigador	Desde dentro (próximo a los datos)	Desde fuera (al margen de los datos)
Causalidad	Interacción de factores	Antecedentes específicos

Fuente: Icart Teresa, Fuenteisaz Carmen, Pulpón Anna (2000) "Elaboración y presentación de un Proyecto de Investigación y una tesina"

El diseño del presente trabajo de investigación es experimental puesto que se realiza diseños a escala en un laboratorio y pruebas en campo para verificar su desempeño y calidad.

2.1.5 Unidad de Análisis

2.1.5.1 Ubicación

La presente investigación se realiza en la compañía Catalina Huanca S.M. S.A.C., el cual es un yacimiento que presenta minerales de sulfuros polimetálicos de Pb, Zn, Cu con Ag, se ubica en:

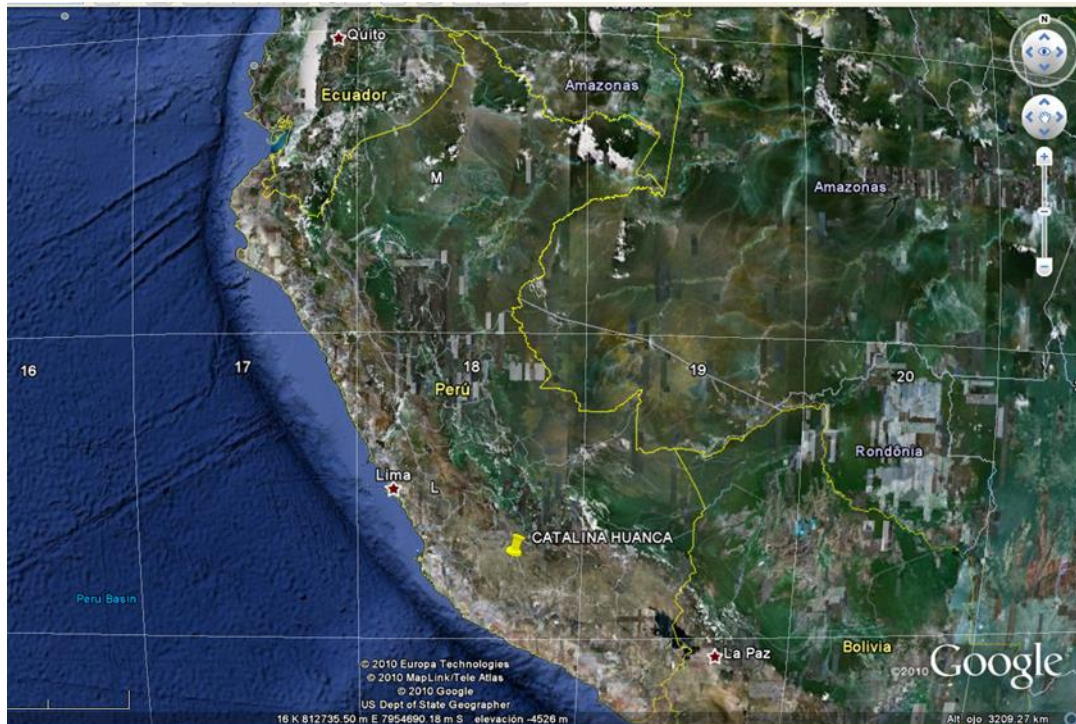
- Región Ayacucho
- Departamento de Ayacucho
- Provincia de Víctor Fajardo
- Distrito Canaria.
- Caserio de Uyuccasa

El yacimiento mineral se halla a una altitud de 3200 metros sobre el nivel del mar, en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental Sur, que forma parte de la cuenca atlántica.

Está situado a 8' 538,000 de latitud norte y 616,000 de longitud este, según las coordenadas UTM WGS 84.

Figura 5

Ubicación General de la Mina Catalina Huanca



Fuente: Google Maps.

2.1.5.2 Acceso

Para llegar a la unidad minera Catalina Huanca desde Lima mediante las vías terrestres se tienen dos trayectos:

- Lima - Nazca - Desvío - Pampa Galera - Uyuccasa, con un recorrido de 690 km y 12 hr de travesía.
- Lima - Ayacucho - Canaria - Taca - Uyuccasa, con un recorrido de 700 Km y 13.5 hr de travesía.

El titular dispone de coordenadas UTM WGS 84 para 11 concesiones mineras y una concesión de beneficio, y en conjunto estas concesiones suman 7.148,59 Has.

2.1.5.3 Geología

Rocas sedimentarias del Pérmico Superior (Paleozoico), Triásico y Jurásico Inferior del Mesozoico, representadas por los Grupos Mitu (Ps-m) y Pucará (Tr-Jr), y del

Cuaternario conforman la sucesión litológica aflorante en la zona. Estas secciones rocosas suelen formar una estrecha banda de noroeste a sureste. La cuenca del río Cangallo-Pampas tiene ríos que desembocan en el río Apurímac, y el paisaje circundante se caracteriza por laderas empinadas y valles interandinos. En la figura 6 se detalla las principales unidades litológicas expuestas en la región de investigación.

La Formación Socosani del Grupo Chunumayo está en oposición tanto con el Grupo Pucará como con la Formación Labra, mientras que la Labra está en armonía con la Formación Gramadal.

La Diorita de Ccascabamba (Nm-ca/di) y la monzonita de cuarzo (Tms-qm) son rocas intrusivas de tipo diorítico, y se pueden observar afloramientos de facies granítica (PS-q/gr) al este de la región del sitio minero.

Figura 6

Estratigrafía

Era	Sistema	Serie	Unidad Lito-estratigráfica		Símbolo	Descripción
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Depósito Coluvial		Q-cv	Gravas y limo arcillosas
			Depósito Coluvial deslizamiento		Q-cvd	Gravas arcillosas con bloques
		Pleistoceno	Depósito Fluvio-glacial		Q-fg	Gravas arena limosas, arenas limosas, etc.
	Neógeno	NE	Fm. Sacilani 2		Np-sa2	Conglomerado, areniscas y lodolitas rojas.
			Fm. Sacilani 1		Np-sa1	Conglomerado y areniscas violáceas duros.
			Fm. de Conglomerados		Np-cgl	Conglomerado y areniscas violáceas duros.
MESOZOICO	Jurásico	Superior	Gpo. Yura	Fm. Gramadal	Js-gr	Intercalación de calizas gris oscuras de grano fino.
		Medio	Gpo. Yura	Fm. Labra	Js-la	Areniscas cuarzosas gris, blanquecinas, intercaladas con areniscas calcáreas
			Gpo. Chunumayo	Fm. Socosani	Jm-so	Intercalaciones de calizas con limonitas calcáreas y calcarenitas.
		Inferior	Gpo. Pucará		Tr-Ji-pu	Calizas gris azulinas en bancos medianamente gruesos con nódulos de chert.
PALEOZOICO	Triásico	Superior				
	Permiano	Superior	Gpo. Mita		Pr-mi	Areniscas rojas intercaladas con conglomerados de matriz areniscosa rojiza.

NE, No especificado

Fuente: Plan de minado Catalina Huanca (2021)

Geología local

Las formaciones Paire y Huacaña del Grupo Yura y el Grupo Chunumayo son las principales unidades litoestratigráficas que afloran en la región de la mina; estas unidades están en gran parte enterradas por depósitos coluviales y aluviales.

- **Formación Chunumayo (Jm – ch)**

En la Unidad Minera se ha producido un amplio desarrollo de esta unidad. Finas intercalaciones de margas y calizas arcillosas se encuentran dispersas por las calizas criptocristalinas de 0,40-1,00 m de espesor. Las capas de caliza a menudo se separan en losas. Las capas de esta unidad forman a menudo los lados NO-SE de una estructura anticlinal.

- **Formación Huacaña (Jm – hu)**

Aflora en la sección superior del arroyo Rajaure y se compone de una serie de lutitas calcáreas, margas y areniscas calcáreas en la base y una secuencia de lutitas con algunas intercalaciones finas de areniscas cuarzosas y calcáreas más arriba. Las capas superiores están dominadas por areniscas cuarzosas, con muy poca presencia de esquistos y areniscas calcáreas.

- **Formación Paire (Jms – pa)**

La línea de cumbres del cerro de Talavera proporciona un afloramiento de esta unidad litoestratigráfica, que forma una porción de la divisoria de aguas del desfiladero de Rajaure. Desde una perspectiva litológica, esta formación se particulariza por una secuencia calcárea constituida por calizas arcillosas y algunos horizontes de margas en la porción superior y calizas más arenosas en la sección inferior.

- **Depósitos Cuaternarios**

Los depósitos morrénicos, coluviales y aluviales son tipos de depósitos clásticos que se formaron en la región de estudio durante eventos ocurridos entre el Pleistoceno y el Holoceno.

- **Depósitos Morrénicos**

Estos recursos se encuentran a unos 4.000 m.s.n.m., en la cuenca alta del arroyo Rajaure. Las arcillas y arenas aglomeran clastos heterométricos para formar este.

- **Depósitos Coluviales**

Terminan en las escarpadas orillas del arroyo en Rajaure. Una matriz arenosa, limosa o limo-arcillosa encierra partículas de arena, grava, guijarros y cantos rodados angulosos a subangulosos.

- **Depósitos Aluviales**

Son los sedimentos que el río Rajaure y sus afluentes han aportado al fondo del valle, también conocido como lecho. Arenisca, limolita y mezclas de arena y grava, así como guijarros y bloques subredondeados a redondeados, componen su composición litológica.

Geología estructural

Las estructuras anticlinales, con una dirección típica NO-SE, son las cualidades estructurales más importantes en la zona del proyecto; estas estructuras influyen principalmente en rocas de la Formación Chunumayo (Jm - ch).

Un anticlinal se forma, con su eje corriendo NW-SE, a lo largo del lado izquierdo de la quebrada Rajaure.

Hubo una compresión general oeste-este, durante el proceso de mineralización en Catalina Huanca, y esto ayudó a extender fallas transcurrentes preexistentes o en formación activa con ángulos altos a casi verticales (cizalla), con tendencias de orientación que van desde NE-SW (como la veta principal) a E-NE o W-SW (como las vetas Piedad, Amanda³ Techo y Vilma), y finalmente a EW (como la veta Lucero). Se cree ampliamente que los fluidos mineralizantes han ascendido a través de estas fallas transcurrentes de alto ángulo a verticales en la región minera, mineralizando las capas Mitu y Pucará (ver figura 7).

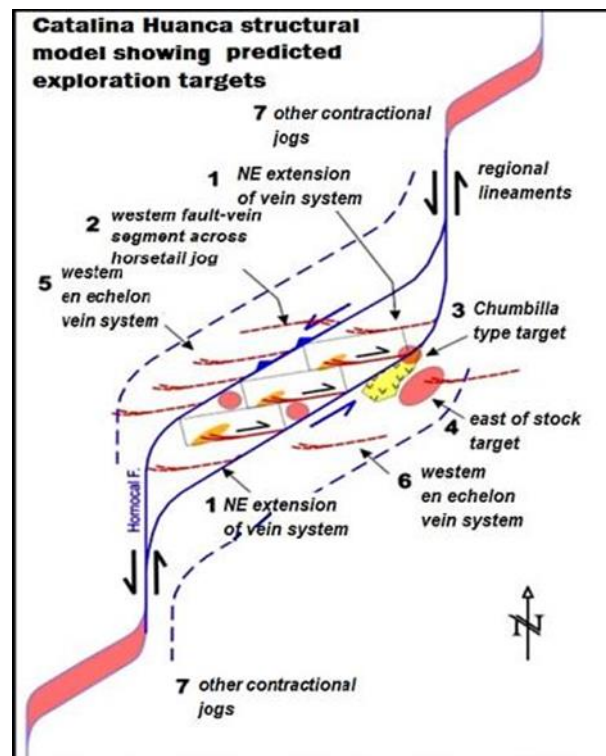
Los movimientos de las fallas de ángulo altos a verticales, así como de las fallas de ángulos bajos, como resultado de su respuesta al esfuerzo que las formó permitieron la inyección de rocas subvolcánicas ácidas en forma de diques y sill.

Adicionalmente, la reactivación de las estructuras a través de las cuales se inyectaron estas rocas subvolcánicas, mediante el corte de las mismas rocas

subvolcánicas o sus márgenes, facilitó el flujo de fluidos mineralizantes dentro de las rocas subvolcánicas a lo largo de sus contactos entre los sedimentos de Mitu o Pucará.

Figura 7

Modelo estructural



Fuente: Plan de minado catalina huanca (2021)

Tipo de depósito

Los rasgos geológicos de Catalina Huanca, como las fallas rellenas, las vetas, los cuerpos, los mantos de sustitución y el stockwork, son característicos de un yacimiento hidrotermal epitermal.

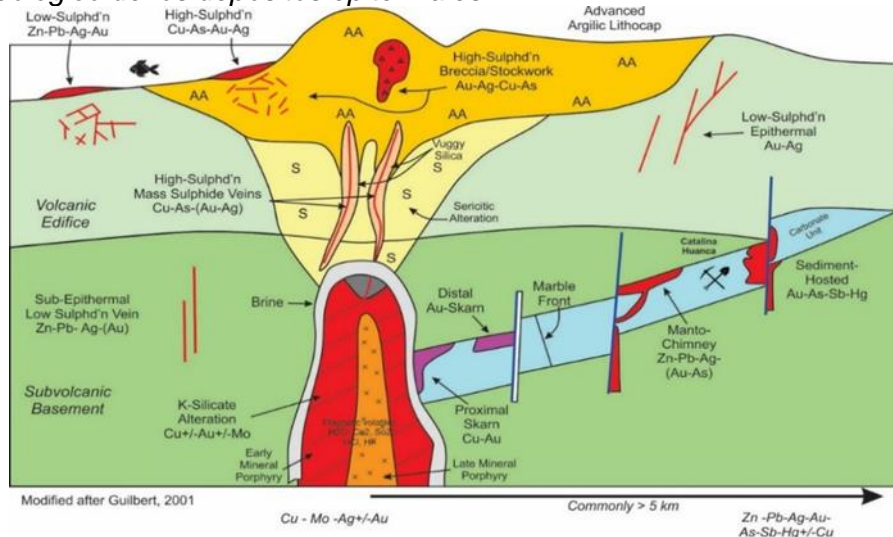
En el fondo de la mina se encuentran ilvaita, diópsido y piroxmangita (piroxeno de manganeso), así como cristales de granate. Estos minerales se forman en un entorno de metamorfismo de contacto o skarn, donde son frecuentes las altas temperaturas ($T > 400$ °C) y la sustitución por carbonatos.

Todas las vetas se expanden en sigmoides y fallas de cabalgamiento hasta la zona del contacto con las calizas de Pucará, y el sistema de vetas está controlado por la falla principal, que tiene una longitud $N 55^\circ E$ y un buzamiento de $83^\circ SE$. El corredor estructural está formado por un contacto erosivo y angular que se inclina 30 grados hacia el noroeste

y está orientado a 10 grados norte. La mineralización de stockwork con desarrollo intensivo de vetas se produce a lo largo de fallas de mediana magnitud en el contacto entre el intrusivo riolítico y las calizas de Pucará.

Figura 8

Modelo geológico de los depósitos epitermales



Fuente: Catalina Huanca (2021)

Mineralización

El proceso de mineralización se relaciona estrictamente con el ciclo orogénico andino que produce mineralización polimetálica (Zn, Pb, Ag, Cu).

Los minerales en el conjunto mineralógico incluyen calcopirita, galena, esfalerita, enargita, cobre gris y en ocasiones marmatita. El cuarzo, hematites, baritina, pirita, rodocrosita, calcita y fluorita forman el conjunto de ganga de minerales.

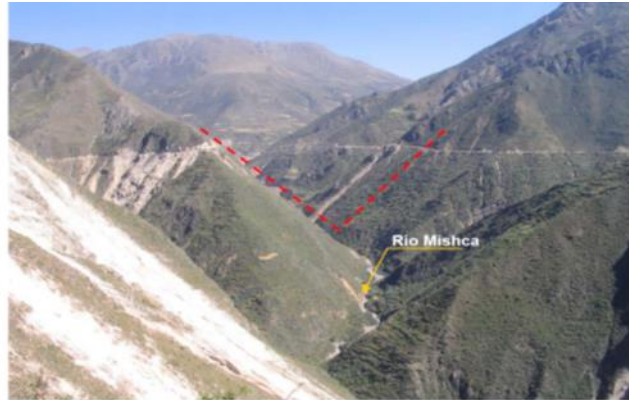
En Catalina Huanca se distinguen cuatro tipos de mineralización, Vetas, Mantos, cuerpos y stockwork.

Geomorfología

Situada en la unidad geomorfológica conocida como Valle Angosto, la región investigada se caracteriza por fuertes pendientes con ángulos medios que oscilan entre 35 y 60 grados y ángulos máximos de 85 grados, lo que proporciona un perfil transversal en forma de "V" (véase la figura 9).

Figura 9

El valle en "V" aguas arriba del río Mishca



Fuente: Plan de minado catalina huanca (2021)

2.1.5.4 Geomecánica. En Catalina Huanca se presentan rocas sedimentarias y subvolcánicas. Los conglomerados rojos son las rocas más antiguas y se componen de pizarras, calizas, areniscas, cuarcitas y clastos volcánicos en una matriz calcárea de color rojo violáceo.

- Las calizas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico), que forman un ángulo oblicuo con el Grupo Mitu. Estas calizas varían en tamaño de grano de fino a medio, y su color de gris a negro. En los niveles inferiores se encuentran calizas bituminosas y horizontes calizos arenosos, mientras que en los niveles superiores se encuentran dolomías porfíricas. En estas calizas se encuentran mantos del tipo Amanda.
- La Formación Huacaa (Jurásico-Medio), constituida por lutitas y limonitas, se superpone a la serie calcárea mencionada y muestra discordancia erosional con ella.
- Las rocas subvolcánicas de edad neógena (Terciario) incluyen pórfido riolítico y dacitas porfíricas.

Conglomerados, calizas, areniscas y rocas subvolcánicas ácidas (pórfido riolítico) albergan la mineralización polimetálica de Pb, Cu, Ag, Zn, que se encuentra en mantos, cuerpos, vetas y vetillas (irregulares).

Los cambios más destacados son la argilitización en las rocas subvolcánicas riolíticas y subvolcánicas dacíticas (verdosas), y la silicificación en mantos y vetas de intensidad variable.

Geoestructuras

El yacimiento se encuentra en el lado este de un anticlinal, y la veta principal, que puede tener hasta 600 metros de longitud, es la estructura más significativa de este sistema. La existencia de estratos con un rumbo NE y un buzamiento de 40°-50°NW es también una característica estructural significativa.

Por último, el sistema primario de diaclasas tiene un rumbo noroeste y un buzamiento pronunciado de noreste a casi vertical.

Agua Subterránea

Las areniscas, a menudo relacionadas con la mineralización de los cuerpos, son las rocas más permeables. Pueden verse pequeñas corrientes de agua, como gotas, filtrándose por las grietas. Las condiciones de estabilidad de las explotaciones mineras de Mariela 1 se complican por la presencia de agua en las distintas formaciones rocosas.

En general, la roca es más competente en este escenario, por lo que las consecuencias de la presencia de agua son menores. Esto es especialmente cierto en el caso de las vetas, donde la presencia de agua es modesta, variando de condiciones algo húmedas.

Roca intacta

Propiedades de Resistencia de la roca intacta:

Varios tipos litológicos fueron sometidos a ciertos de ensayos de laboratorio de mecánica de rocas en Geomecánica Latina para determinar sus características físicas, elásticas y de resistencia.

A continuación, se presentan los resultados:

Figura 10*Resistencia a la compresión uniaxial*

ID MUESTRA	LITOLÓGÍA	DIÁMETRO "d" (mm)	ALTURA "h" (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL – UCS(d) (MPa)
UDH-1709-2018	CONG-PA	36.2	73.0	80.14	77.87
UDH-1714-2018	CONG-S	36.2	72.8	120.29	116.88
UDH-1685-2018	CONG.SA	36.1	72.4	63.49	62.03
UDH-1344-2016 (M1)	MIN en ARENS	47.6	93.8	170.52	95.82
UDH-1344-2016 (M2)	ARENS	47.6	94.9	87.96	49.43

Fuente: Geomecánica Latina

Figura 11*Propiedades físicas*

ID MUESTRA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (kN/m ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	POROSIDAD APARENTE (%)
UDH-1709-2018	3.62	1.76	2.79	2.80	27.45	0.20	0.59
		1.77	2.81	2.82	27.62	0.39	1.13
		1.76	2.79	2.80	27.45	0.39	1.14
Promedio			2.80	2.81	27.50	0.33	0.95
UDH-1714-2018	3.62	1.78	2.66	2.69	26.34	1.02	2.76
		1.78	2.64	2.66	26.12	0.82	2.22
		1.84	2.71	2.74	26.82	0.77	2.15
Promedio			2.67	2.70	26.43	0.87	2.37
UDH1656-2018 (M1)	6.27	2.96	2.64	2.64	25.90	0.17	0.47
		2.97	2.59	2.60	25.51	0.59	1.56
		2.97	2.65	2.66	26.05	0.16	0.47
Promedio			2.62	2.63	25.82	0.31	0.83
UDH-1656-2018 (M2)	6.27	2.96	2.66	2.68	26.32	1.02	2.77
		2.97	2.66	2.68	26.28	0.65	1.78
		2.96	2.67	2.69	26.35	0.81	2.22
Promedio			2.66	2.68	26.32	0.83	2.26
UDH-1344-2016 (M1)	4.76	2.43	2.59	2.63	25.74	1.41	3.73
		2.43	2.39	2.46	24.11	2.73	6.74
		2.37	2.39	2.46	24.14	2.70	6.67
Promedio			2.46	2.52	24.66	2.28	5.71
UDH-1344-2016 (M2)	4.77	2.32	2.65	2.68	26.26	1.08	2.93
		2.35	2.60	2.63	25.83	1.27	3.37
		2.36	2.64	2.67	26.18	0.98	2.64
Promedio			2.63	2.66	26.09	1.11	2.98

Fuente: Geomecánica Latina

Figura 12

Tracción indirecta

ID MUESTRA	LITOLOGÍA	DIÁMETRO "d" (mm)	ALTURA "h" (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (MPa)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (MPa)
UDH-1656-2018 (M1)	CONG-SA cg	62.4	32.3	28.60	9.03	8.09
		62.4	32.2	21.80	6.91	
		62.4	32.0	26.10	8.32	
UDH-1656-2018 (M2)	CONG-SA gm	62.8	31.7	24.90	7.96	8.72
		62.8	32.0	33.60	10.64	
		62.8	32.8	24.40	7.54	
UDH-1344-2016 (M1)	MIN en ARENS	47.6	23.8	19.04	10.70	13.17
		47.6	23.9	21.12	11.82	
		47.6	24.0	30.47	16.98	
UDH-1344-2016 (M2)	ARENS	47.6	25.0	9.50	5.08	6.31
		47.6	24.0	7.09	3.95	
		47.6	24.3	17.96	9.88	

Fuente: Geomecánica Latina

Figura 13

Resistencia a la compresión triaxial

ID, MUESTRA	LITOLOGÍA	DIÁ. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CONF. σ_3 (MPa)	ESFUERZO COMP. (MPa)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL – UCS(t) (MPa)	COHESIÓN (MPa) (*)	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO (°) (*)	CONSTANTE "m"
UDH-1656-2018 (M1)	CONG-SA cg	62.5	126.8	1.5	103.59	82.51	14.82	54.40	28.66
			128.3	3.0	120.02				
			127.9	4.5	142.79				
			127.3	6.0	151.58				
			126.8	7.5	164.36				
UDH-1656-2018 (M2)	CONG-SA-gm	62.7	124.0	1.5	86.93	75.53	15.01	49.56	19.61
			128.0	3.0	105.49				
			128.0	4.5	120.69				
			126.2	6.0	127.10				
			127.0	7.5	136.25				
UDH-1344-2016 (M1)	MIN en ARENS	41.8	84.9	2.0	119.19	100.48	18.71	50.03	16.66
			84.7	4.0	130.81				
			85.2	6.0	149.44				
UDH-1344-2016 (M2)	ARENS	41.8	84.8	2.0	89.91	69.38	13.71	49.37	18.81
			85.2	4.0	101.20				
			85.0	6.0	118.23				
			85.3	8.0	132.87				
			85.5	10.0	79.21				
			85.1	12.0	0.00				

Fuente: Geomecánica Latina

Figura 14

Constantes elásticas

ID MUESTRA	DIÁMETRO "d" (mm)	ALTURA "h" (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL – UCS(d) (MPa)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (*) (Transductores)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (**) (Strain Gauges)	RELACIÓN DE POISSON "v" (Strain Gauges)
UDH-1714-2018	36.2	72.8	25.07	24.36	9.73	9.44	0.25
UDH-1656-2018 (M1)	62.3	126.2	246.28	80.79	14.95	17.52	0.19
UDH-1656-2018 (M2)	62.7	126.3	316.98	103.98	17.07	19.19	0.24
UDH1344-2016 (M1)	47.6	93.8	162.10	91.09	13.95	18.12	0.25
UDH1344-2016 (M2)	47.6	93.7	104.68	58.82	12.08	12.86	0.29

Fuente: Geomecánica Latina

Propiedades de resistencia de las discontinuidades

En Geomecánica Latina se llevaron a cabo ciertos ensayos de cizallamiento en una superficie simulada en los distintos tipos litológicos para obtener los parámetros de resistencia de la interfaz de discontinuidad.

Estos resultados pueden extrapolarse para su uso en el análisis de fallas en una brecha más amplia, como una discontinuidad o una formación en cuña.

A continuación, se resume los resultados hallados:

Figura 15

Corte Directo

ID MUESTRA	LITOLOGÍA	DÍA. "d" (mm)	TIPO DE DISCONTINUIDAD	FUERZA NORMAL (kN)	FUERZA DE CORTE (kN)	COHESIÓN (MPa)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)
UDH-1656-2018 (M1)	CONG-SA cg	62.30	Simulada	2.00	2.57	0.271	39.81
				4.20	4.22		
				6.10	5.98		
UDH-1344 (M1)	MIN en ARENS	47.70	Simulada	2.00	2.37	0.635	33.45
				4.20	4.08		
				6.30	5.22		
UDH-1344 (M2)	ARENS	47.70	Simulada	2.00	1.97	0.328	34.39
				4.01	3.30		
				6.03	4.71		

Fuente: Geomecánica Latina

Figura 16

Carga puntual

ID MUESTRA	LITOLOGÍA	DIÁMETRO "d" (MM)	ALTURA "h" (MM)	CARGA (kN)	$I_{s(50)}$	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UCS ₍₅₀₎ (MPa)	PROMEDIO - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UCS _{m(50)} (MPa)
UDH-1709-2018	CONG-PA	36.2	17.8	9.98	9.47	208.27	193.35
		36.2	18.0	9.00	8.46	186.20	
		36.2	18.0	8.97	8.44	185.58	
UDH-1714-2018	CONG-S	36.2	18.7	6.10	5.57	122.53	119.98
		36.2	18.4	5.04	4.66	102.51	
		36.2	18.5	6.66	6.13	134.89	
UDH-1685-2018	CONG-SA	36.2	18.6	6.64	6.09	133.93	144.13
		36.2	18.0	7.46	7.02	154.34	
		36.2	17.3	9.52	9.23	203.11	
UDH-1656-2018 (M1)	CONG-SA-cg	62.5	31.6	11.04	4.40	96.71	78.55
		62.5	31.7	8.14	3.23	71.13	
		62.5	31.8	7.78	3.08	67.82	
UDH-1656-2018 (M2)	CONG-SA-gm	62.7	29.6	13.73	5.74	126.21	116.51
		62.7	29.8	11.48	4.77	104.98	
		62.7	29.8	12.94	5.38	118.33	
UDH-1344-2016 (M1)	MIN en ARENS	47.7	24.3	13.93	8.38	184.43	177.37
		47.7	23.2	12.41	7.74	170.31	
		47.7	24.4	7.03	4.22	92.78	

Fuente: Geomecánica Latina

Clasificación del macizo rocoso

Catalina Huanca utiliza el GSI (Hoek et al., 1994-2002) y el RMR (Bieniawski, 1989) para categorizar la masa rocosa. Los parámetros de calidad del macizo rocoso para los cuatro tipos primarios de roca son los siguientes, según los criterios de Bieniawski:

- Los conglomerados silíceos son de calidad Regular A (IIIA RMR 51-60), mientras que los conglomerados calcáreos son de calidad Regular B (IIIB RMR 41-50). A menudo se observa mineralización de vetas asociada a estas rocas.
- Cuando las calizas no están cloritizadas o contienen niveles bituminosos, son de calidad B Regular (IIIB RMR 41-50), pero cuando lo están, son de calidad A Pobre (IVA RMR 31-40) y a veces de calidad B Pobre (IVB RMR 21-30). La mineralización en los mantos está vinculada a los dos últimos grados del macizo rocoso.
- La roca subvolcánica riolítica de calidad Regular A (IIIA RMR 51-60) es normal, mientras que la roca subvolcánica dacítica de calidad Regular B (IIIB RMR 41-50) es la norma. La primera está vinculada a la mineralización en vetas.
- La roca Arenisca típicamente tiene calidad Regular A (IIIA RMR 51- 60) y Regular B (IIIB RMR 41-50). La roca presente presenta bloques debido a sistemas de fracturamiento asociados a tres y cuatro familias de discontinuidades en la masa rocosa.

En todas estas litologías pueden producirse localmente variaciones en la calidad de la roca debido a la presencia de rasgos geológicos como fallas, zonas alteradas, zonas brechificadas y agua.

Tabla geomecánica Catalina Huanca

Se tuvo en cuenta la categorización geomecánica GSI de Hoek (1994, 1995). Este método se utiliza para determinar las características geomecánicas del macizo rocoso a partir de los datos recogidos en el área de geología. Además, se tuvieron en cuenta:

- Condiciones estructurales (número de fracturas/metro lineal, RQD o espaciado), el empaquetamiento de las fracturas y la forma para proporcionar una categorización cualitativa.

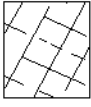
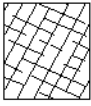



- El método consiste en seleccionar un metro lineal en la superficie recién excavada y limpiada y utilizar un flexómetro para contar el número de fracturas por metro lineal; para ello es necesario que las discontinuidades persistan durante al menos un metro.
- Condiciones de la superficie (estado de la discontinuidad y resistencia de la roca intacta al impacto del martillo o la piqueta del geólogo).
- En primer lugar, se examina la forma y el estado de las paredes y del relleno que rodea las discontinuidades; si las discontinuidades están rellenas, se mide su resistencia en función de la facilidad con que se pueden romper o abollar con un pico.

Se tomó la Tabla GSI –Hoek et al 2002 (figura 17) como modelo para la aplicación del diseño de la tabla geomecánica de Catalina Huanca Sociedad Minera SAC.

Se consideró para el tipo de roca presente en el yacimiento, 04 estructuras (figura 17 -Cuadro Rojo) - Levemente fracturada (LF), Moderadamente fracturada (F), Muy fracturada (MF) e Intensamente fracturada (IF) y 04 condiciones superficiales (figura 17 - Cuadro Azul) según el tipo de roca Buena (B), Regular (R), Pobre (P) y Muy Pobre (MP).

Figura 17

Caracterización geotécnica cualitativo del macizo rocoso según el grado de fracturamiento, condición de fracturas y resistencia (GSI modificado)

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO (*)		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidos in situ con un flexómetro. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con la picota, se toma en cuenta la abertura, rugosidad, alteración de paredes y relleno de discontinuidades.		MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS, (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA)	BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LCV, ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIBRE, ABIERTA, (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)	REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS, (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)	POBRE (MODERADAMENTE RESIST. MODERADAM. ALTER.) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES; MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA, (Rc 25 A 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)	MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS, (Rc < 25 MPa) (SE DISORCA O INDENTA PROFUNDAMENTE)
ESTRUCTURA						
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA (FRACTURADA EN BLOQUES) MUY BIEN TRABADA, TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (ROD 75 - 90) (1 A 5 FRACT. POR M²) 20cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<100cm.</p>	15cm 50cm 40cm	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. (MUY FRACTURADA) BIEN TRABADA, POCO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (ROD 50 - 75) (5 A 10 FRACT. POR M²) 10cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<20cm.</p>	20cm 15cm 10cm	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP
 <p>MUY FRACTURADA. (FRACTURADA/PERTURBADA) MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (ROD 25 - 50) (10 A 20 FRACT. POR M²) 5cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<10cm.</p>	10cm 9cm 8cm 7cm 6cm	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. (DESINTEGRADA) PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCERIAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (ROD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR M²) 2cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<5cm.</p>	5cm 4cm 3cm	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP
 <p>TRITURADA O BRECHADA. (EOLIADA/LAMINADA) LIBERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISCREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN ROD). ESPEC. ENTRE DIACLASAS<2cm.</p>	2cm 1cm	T/MB	T/B	T/R	TP	T/MP

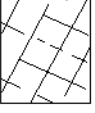
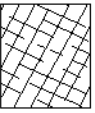



Fuente: C. Vallejo (2007)

Los parámetros relevantes para las condiciones estructurales, incluido el ábaco y sus valores derivados del GSI original, se muestran en la figura 18 con una descripción del GSI actualizado.

A continuación, se describe su conexión con el marco RMR89: El ajuste de orientación se ignora en la fórmula $GSI = RMR - 5$.

Figura 18

Caracterización geotécnica cuantitativo del macizo rocoso según el grado de fracturamiento, condición de fracturas y resistencia (GSI modificado)

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO (*)		CONDICION SUPERFICIAL				
<p>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidos in situ con un flexómetro. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con la picota, se toma en cuenta la abertura, rugosidad, alteración de paredes y relleno de discontinuidades.</p> <p>La relación del GSI con RMI, en condiciones secas y sin corrección por orientación es la siguiente: $GSI = RMR(sec) - 5$</p>		MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA)	BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LUCER, ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)	REGULAR (RESISTENTE LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS; MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)	POBRE (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTER.) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIASIONES. MUY ALTERADA. RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)	MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa) (SE DISCREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)
ESTRUCTURA		90	80	70	60	50
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. (FRACTURADA EN BLOQUES) MUY BIEN TRABADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (ROD 75 - 90) (1 A 5 FRACT. POR M²) 20cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<100cm.</p>	100cm 50cm 40cm	85 80	75	70		
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. (MUY FRACTURADA) BIEN TRABADA. POCO DISTURBADA. BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (ROD 50 - 75) (5 A 10 FRACT. POR M²) 10cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<20cm</p>	20cm 15cm 10cm		65 60	55		
 <p>MUY FRACTURADA. (FRACTURADA/PERTURBADA) MODERADAMENTE TRABADA. PARCIALMENTE DISTURBADA. BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (ROD 25 - 50) (10 A 20 FRACT. POR M²) 5cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<10cm.</p>	9cm 8cm 7cm 6cm			50 45 40	35	
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. (DESINTEGRADA) PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (ROD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT POR M²) 2cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<5cm.</p>	5cm 4cm 3cm				30 25 20	
 <p>TRITURADA O BRECHADA. (FOLIADA/LAMINADA) LIGERAMENTE TRABADA. MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN ROD). ESPAC. ENTRE DIACLASAS<2cm.</p>	2cm 1cm				15 10 5	

Fuente: C. Vallejo (2007)

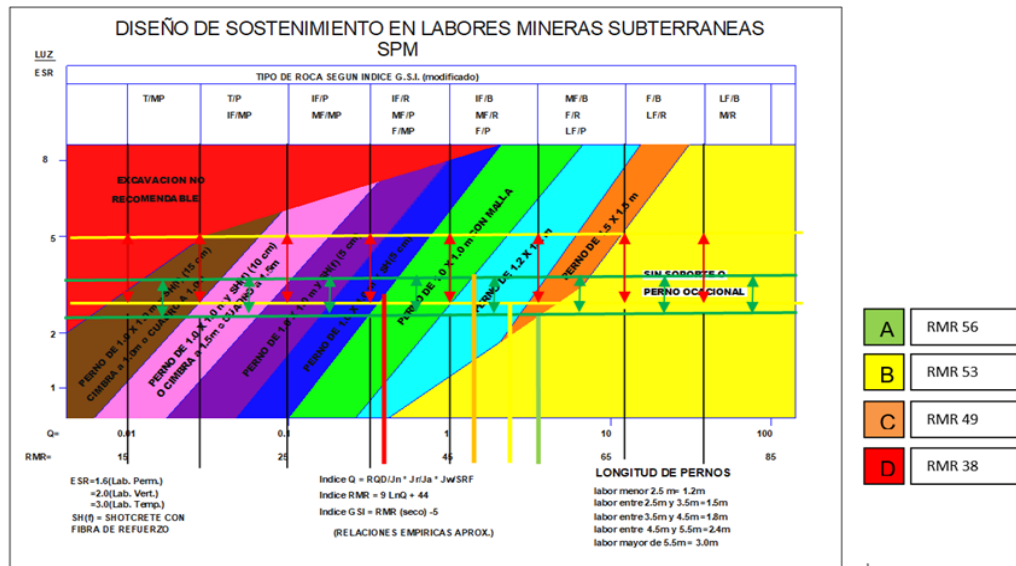
Sostenimiento minero

Se utilizó la tabla de Apoyo Práctico a la Minería SPM para contabilizar la categorización cualitativa del GSI y la relación entre la anchura o altura de la excavación y el aprovechamiento del trabajo (ESR).

En labores horizontales el ESR es de 3, en las verticales se estimó en 2-2,5 y en las permanentes en 1,6.

Figura 19

Sostenimiento de labores mineras subterráneas



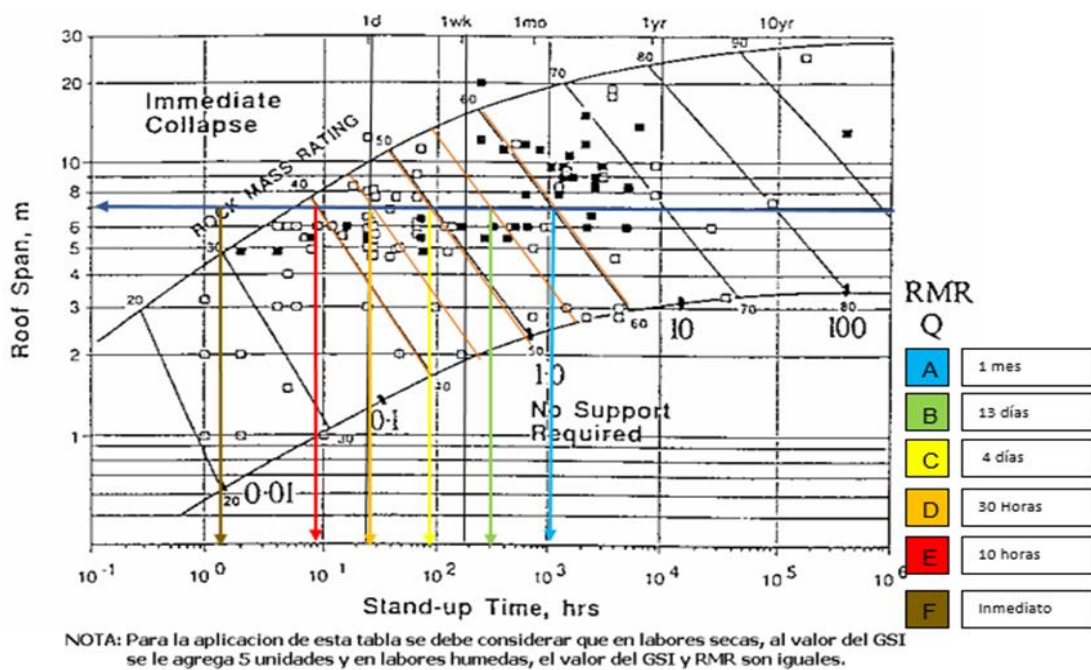
Fuente: Plan de minado Catalina huanca (2021)

Tiempo de autoaporte – Bieniawski-89

Según la tabla de autoaporte de RMR 89 de Bieniawski, este número se calcula relacionando el GSI con el RMR, como se muestra en la tabla, y aplicando después el resultado a la anchura o altura de la abertura.

Figura 20

Tiempo de autoaporte



Fuente: Plan de minado Catalina huanca (2021)

Factores influyentes en el comportamiento del macizo rocoso excavado

El agua, los esfuerzos, la dirección de las discontinuidades y las condiciones de excavación son ejemplos de estos elementos. Cuando sólo hay un componente modificable presente, sólo se modifica la cantidad de tiempo empleado en el autosoporte; cuando hay dos o más, se modifican tanto la cantidad de tiempo empleado como el tipo de autosoporte.

Influencia del Agua

- El agua tiene poco o ningún efecto en las rocas masivas y ligeramente fracturadas/muy buenas a buenas (M-LF/MB-B).
- El efecto de presión y lubricación desempeña un papel en las rocas moderada a altamente fragmentadas/regularmente fracturadas (F-MF/R).
- Dado que funciona como lubricante y lava el material de relleno fino en las fracturas, el aflojamiento se acelera en rocas moderada a severamente fracturadas/pobres a muy pobres (F-MF/P-MP).
- El impacto mencionado se produce en rocas muy fragmentadas y de calidad regular pobre o extremadamente pobre (IF/R-P-P-MP).

Influencia de la Orientación de las Discontinuidades

- Las discontinuidades paralelas o subparalelas a los muros de excavación o cajones no son deseables, y las verticales o subverticales mucho menos.
- Las discontinuidades en el plano horizontal o subhorizontal no son deseables.
- La magnitud de este impacto crece en presencia de agua, factores de estrés y llenado de aberturas discontinuas.

Factores de excavación

- La dimensión de la excavación y cómo se utilizará.
- Diseño de las voladuras y perforaciones.
- Después de que el macizo rocoso se haya sostenido por sí mismo durante cierto tiempo, deben instalarse los soportes adecuados.
- Voladuras en las minas vecinas.

- El desprendimiento gradual de labores ocultos y no controlados.
- Métodos de minado.

Tabla geomecánica usada en catalina huanca

Figura 21

Tabla Geomecánica Catalina Huanca según GSI

CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA SAC		TABLA GEOMECAÁNICA DE SOSTENIMIENTO SEGUN G.S.I	
A. LABORES MINERAS TEMPORALES SECCION HASTA 8.0 m.			
A	EN SOPORTE - PERNO OCASIONAL - PERNO Y MALLA OCASIONAL. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 3 MESES	CONDICIONES SUPERFICIALES SUPERFICIE DE LAS PAREDES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (R= 100 A 200 mm) (SE ROMPE CON TRES O MAS GOLPES DE BARRETLLA)	CONDICIONES ESTRUCTURALES REGULAR (LEVEMENTE ALTERADA) LEGERAMENTE ABIERTA (R= 200 A 300 mm) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE BARRETLLA)
B	MALLA ELECTRODOLADADA + PERNO SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.2 x 1.2 m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 1 MES		
C	MALLA ELECTRODOLADADA + P. SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.2 x 1.2 m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 7 DÍAS		
D	SHOT (#2") + MALLA + P. SIST. DE COMPRESIÓN DE 7' E: 1.2 x 1.2 m. + SHOT (#4") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 15 HORAS		
E	SHOT (#2") + MALLA + P. SISTEMÁTICO DE COMPRESIÓN DE 7' E: 1.2 x 1.2 m. + SHOT (#4") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO		
F	SHOT (#2") PERNO + P. COMPRESIÓN DE 7' + CIERRAS METÁLICAS (E: 1.0 x 1.5m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO		
B. LABORES MINERAS PERMANENTES SECCION HASTA 8.0 m.			
A	EN SOPORTE - PERNO OCASIONAL - PERNO Y MALLA OCASIONAL. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 3 MESES	CONDICIONES SUPERFICIALES SUPERFICIE DE LAS PAREDES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (R= 100 A 200 mm) (SE ROMPE CON TRES O MAS GOLPES DE BARRETLLA)	CONDICIONES ESTRUCTURALES REGULAR (LEVEMENTE ALTERADA) LEGERAMENTE ABIERTA (R= 200 A 300 mm) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE BARRETLLA)
B	MALLA ELECTRODOLADADA + PERNO SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.2 x 1.2 m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 1 MES		
C	SHOT (#2") + MALLA ELECTRODOLADADA + P. SIST. DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.2 x 1.2 m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 7 DÍAS		
D	SHOT (#2") + MALLA + P. SIST. DE COMPRESIÓN DE 7' E: 1.2 x 1.2 m. + SHOT (#4") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: 15 HORAS		
E	SHOT (#2") + MALLA + P. SISTEMÁTICO DE COMPRESIÓN DE 7' E: 1.2 x 1.2 m. + SHOT (#4") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOPORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO		
F	SHOT (#2") PERNO + P. COMPRESIÓN DE 7' + CIERRAS METÁLICAS (E: 1.0 x 1.5m) TIEMPO DE AUTOSOPORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO		
CONDICIONES ESTRUCTURALES			
	LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO) (RQD = 115 - 3.3 J.R.)	(A)	(A)
	MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD = 50 - 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)	(A)	(B)
	MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SIST. DE DISCONTINUIDADES. (RQD = 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)	(A)	(C)
	INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD = 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)	(A)	(D)
		(B)	(E)
		(C)	(F)
		(D)	(F)
		(E)	(F)
		(F)	(F)

METODOLOGIA DE APLICACION SOSTENIMIENTO EN LABORES CON SECCION 3.0 a 8.0 mts			
INDICE G.S.I	CLASIFICACION RMIT	TIPO DE ROCA	VALUACION INDICE Q
FRACTURADA/BIENA (F/B)	31-30	I BIENA	10-10
FRACTURADA/REGULAR (F/R)	31-30	II REGULAR A	5-30
FRACTURADA/PORNO (F/P)	41-30	III REGULAR B	1-5
MUY FRACTURADA/BIENA (MF/B)	41-30	III REGULAR B	1-5
MUY FRACTURADA/REGULAR (MF/R)	41-30	III REGULAR B	1-5
MUY FRACTURADA/PORNO (MF/P)	31-40	IV MALLA A	0.1-1
MUY FRACTURADA/MUY PORNO (MF/MP)	21-30	IV MALLA B	0.01-0.1
INTENSAMENTE FRACTURADA/REGULAR (IF/R)	31-40	IV MALLA A	0.1-1
INTENSAMENTE FRACTURADA/PORNO (IF/P)	21-30	IV MALLA B	0.01-0.1
INTENSAMENTE FRACTURADA/MUY PORNO (IF/MP)	<20	V MUY MALLA	0.001-0.01

Aplicación SIN FACTORES INFLUYENTES
 PARA LA APLICACION DE ESTA TABLA SE DETERMINA IN SITU UNA VEZ LAVADAS LAS PAREDES Y EL TECHO DE LA LABOR A MAREAR, LA CANTIDAD DE FRACTURAS POR METRO LINEAL, UTILIZANDO UN FLEXOMETRO (PARÁMETROS DE ESTRUCTURAS) Y LA RESISTENCIA DE LA ROCA DEFINIDA POR LA CANTIDAD DE GOLPES DE PICOTA Y/O BARRETLLA, CON LAS QUE SE ROMPE O SE INDENTA EN LA ROCA, ADEMÁS DE OBSERVAR LA CONDICIÓN DE LAS FRACTURAS (ABERTURA, RELLENO Y ALTERACIÓN - PARÁMETRO DE CONDICIONES) CADA RECUADRO NOS MUESTRA SUBDIVISIONES CON EL SOSTENIMIENTO DESIGNADO QUE DEBE APLICARSE, ESTO SOLO CUANDO NO PRESENTAN FACTORES INFLUYENTES; LAS CORRECCIONES PARA ESTOS SE DETALLAN EN EL PARRAFO SIGUIENTE.

Corrección POR FACTORES INFLUYENTES
 LA PRESENCIA DE AGUA, ORIENTACIONES DESFAVORABLES DE LAS DISCONTINUIDADES, OCURRENCIA DE ESFUERZOS (LAXAMIENTO EN PAREDES, LABORES CERCANAS Y CERCANÍA DE FALLAS) Y DEMORAS EN LA COLOCACION DE SOPORTE QUE AFECTEN A UN DETERMINADO TIPO DE ROCA EN UNA LABOR, ORIGINARIA QUE EL SOPORTE ASIGNADO POR SU CONDICIÓN AL MOMENTO DE LA EXCAVACION REQUIERA SER REFORZADO, PARA LO CUAL SE DEBERÁ COLOCAR EL SOPORTE SIGUIENTE CON MAYOR GRADO, TANTO EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO COMO EN TIEMPOS DE COLOCACION, OBSERVANDO CONSIDERARSE UNA SOLA CORRECCION.
 EJEMPLO: UNA GALERIA TEMPORAL DE 4.0 X 4.0M MF/R, EL SOPORTE SIN FACTORES INFLUYENTE CORRESPONDERIA A PERNOS SISTEMÁTICOS A 1.50 M, MAS MALLA ELECTRODOLADADA (SOPORTE TIPO B) Y TIEMPO DE AUTOSOPORTE DE 1 MES; ANTE LA PRESENCIA DE AGUA, ORIENTACION DESFAVORABLE DE DISCONTINUIDADES, ABERTURAS CERCANAS, O INFLUENCIAS DE ESFUERZOS SE DEBERÁ COLOCAR UN SOPORTE TIPO C (Y). SU TIEMPO DE COLOCACION SERÁ DE 7 DIAS.

Medidas Preventivas y de Control
 EJECUCION DE MAPEO GEOMECAÁNICO DE INMEDIATO Y COLOCACION DE SOPORTE DE ACUERDO AL TIPO Y TIEMPO RECOMENDADO EN LA TABLA.
 REVISAR Y CUMPLIR EN FORMA ESTRICTA CON EL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE COLOCACION DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE SOPORTE QUE SE APLIQUEN.
 EFECTUAR PERIODICAMENTE ENSAYOS DE ARRAQUE DE LOS PERNOS COLOCADOS, LIMPIEZA Y REPARACION DE MALLAS RELLENADAS CON FRAGMENTOS, REEMPLAZAR LOS PERNOS MAL COLOCADOS O SUELTOS Y LOS TRAMOS CON SHOTCRETE DETERIORADO.
 CAPACITACION PERMANENTE DEL PERSONAL DE OPERACIONES (JEFS DE GUARDIA, CAPATACES, PERFORISTAS Y AYUDANTES) EN LA APLICACION DE LA TABLA Y COLOCACION DEL SOSTENIMIENTO.
 COMPROMISO DE LA GERENCIA Y JEFATURAS CON LA APLICACION CORRECTA Y OPORTUNA DE ESTA ACTIVIDAD.
 APLICAR EL PRINCIPIO "LABOR AVANZADA, LABOR SOSTENIDA" D.S 024-2016 Y SU MODIFICATORIA (D.S N° 023-217) ANL.213.

Leyenda
 PERNOS DE FRICCIÓN : SPLIT SET, SPLIT BOLT O VARILLAS
 PERNOS DE COMPRESION: SWELEX, HYDRABOLT, PHYTON, BULTECK

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Esfuerzos in-situ

Al examinar las fallas conjugadas, pudimos determinar la orientación de los esfuerzos in situ que actúan sobre el macizo rocoso de Catalina Huanca, y en ausencia de ensayos in situ, pudimos determinar sus magnitudes y relaciones correlacionándolas con valores absolutos obtenidos de ensayos in situ realizados para estudios similares en otros lugares del país.

Partiendo de la hipótesis del informe geomecánico de que las fallas son conjugadas, las direcciones de las tensiones primarias pueden calcularse mediante

proyecciones estereográficas. Las orientaciones de los vectores de tensión (buzamiento/dirección) son las siguientes:

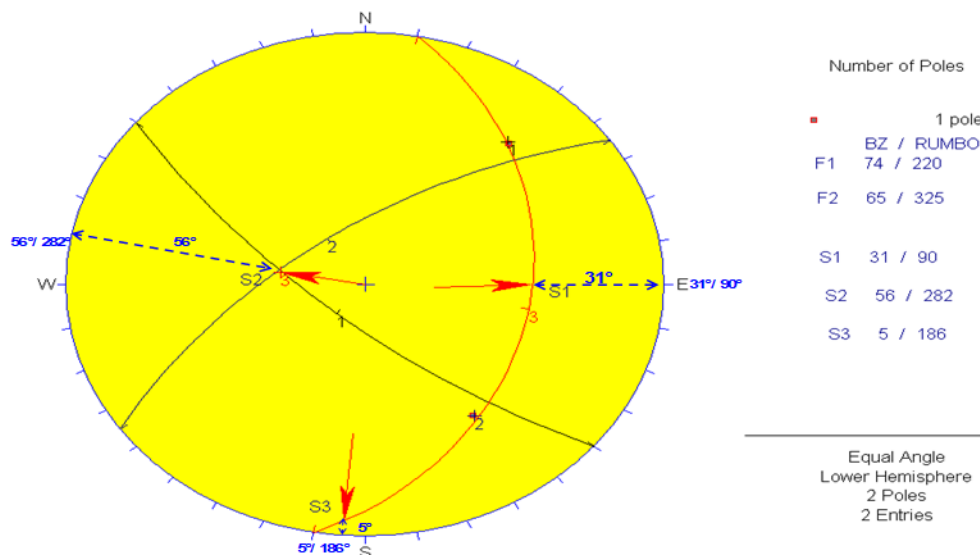
$$\sigma_1 = 31^\circ / 90^\circ$$

$$\sigma_2 = 56^\circ / 282^\circ$$

$$\sigma_3 = 5^\circ / 186^\circ$$

Figura 22

Análisis estereográfico de fallas conjugadas mostrando las orientaciones del vector esfuerzo



Fuente: Informe esfuerzos in-situ catalina huanca- Laos

De la Figura 22 se desprende que:

El esfuerzo principal mayor σ_1 , es sub horizontal, está inclinado 31° con respecto al plano horizontal y tiene una orientación EO. σ_1 es el mayor esfuerzo horizontal (sub horizontal).

El esfuerzo principal menor σ_3 , es sub horizontal, está inclinado 5° con respecto al plano horizontal y tiene un rumbo de 186° . σ_3 es el menor esfuerzo horizontal (sub horizontal).

El esfuerzo principal intermedio σ_2 , es sub vertical, está inclinado 56° y tiene un rumbo de 282° . σ_2 es el mayor esfuerzo vertical (sub vertical).

Con las direcciones de los esfuerzos obtenidos en el análisis de fallas conjugadas, se establece la clasificación dinámica de las fallas consideradas en el presente análisis, la misma que se indica a continuación:

Si σ_2 es vertical (sub vertical), los esfuerzos estarían asociados a fallas de rumbo.

Entonces: σ_1 y σ_3 son horizontales (sub horizontales).

Elementos de sostenimiento

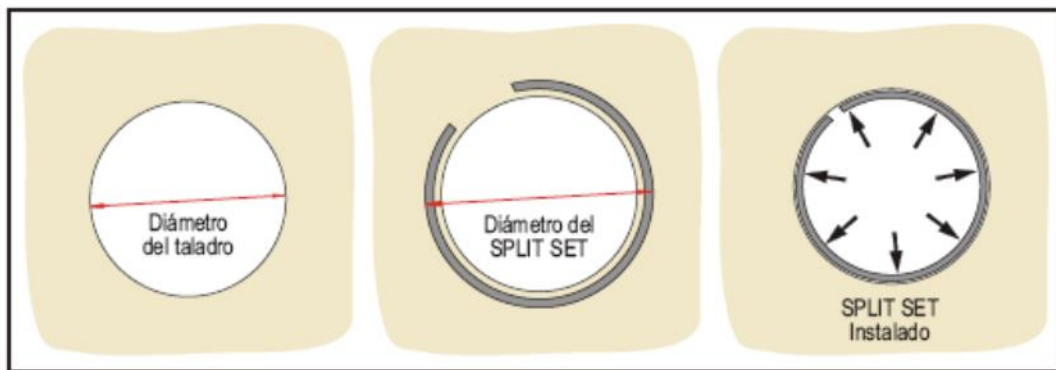
▪ Pernos de fricción

Este elemento de soporte se emplea en los Cuerpos y Vetas, las dimensiones son 7' (pies), con diámetros de 39.5mm, y una capacidad de soporte de 1.0 Tm/Pie.

La instalación de los Split set son de manera puntual y sistemático, esto dependiendo de la evaluación geomecánica del macizo rocoso y está acompañado de malla electrosoldada en terrenos muy fracturados, adicional en terrenos pobres se refuerza con shotcrete.

Figura 23

Split set



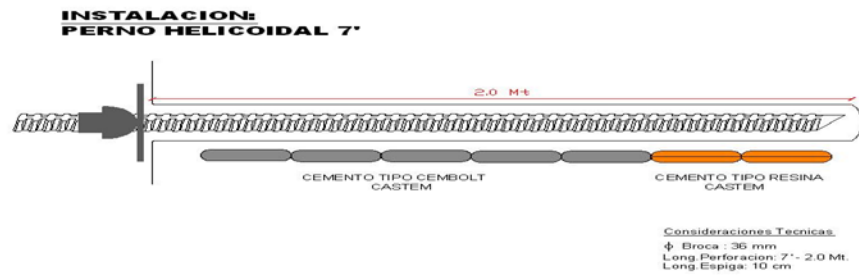
Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

▪ Perno de anclaje

Este elemento de soporte se emplea en labores Permanentes (Cortadas, cruceros, Rampas, etc.), las dimensiones son de ,7' y 10' (pies), con diámetros de 22 mm, con una capacidad de soporte de 2.5 Tn/Pie en rocas competentes. Los cuales son instalados con cartuchos de cemento y resina.

Figura 24

Perno helicoidal



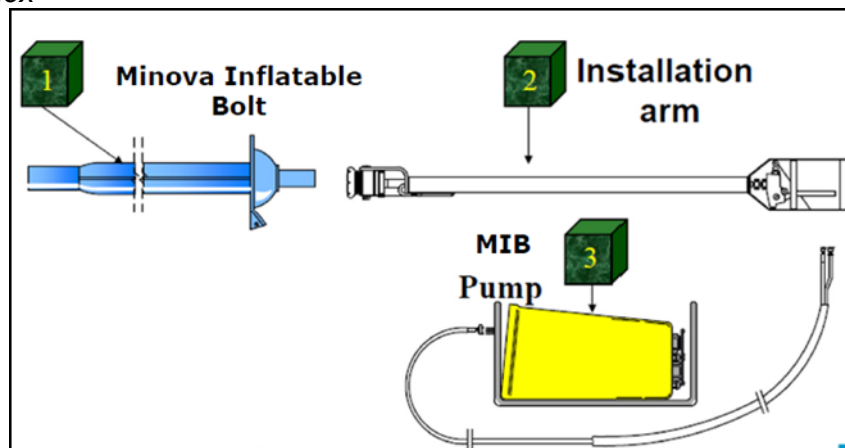
Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

▪ **Perno de compresión**

Este elemento de soporte se emplea en labores Permanentes (Cortadas, cruceros, Rampas, etc.), las dimensiones son de ,7' y 10' (pies), con diámetros de 29 mm plegado y de 41 mm expandido, con una capacidad de soporte de 2.0 Tn/Pie en rocas Tipo III y IVA.

Figura 25

Perno swellex



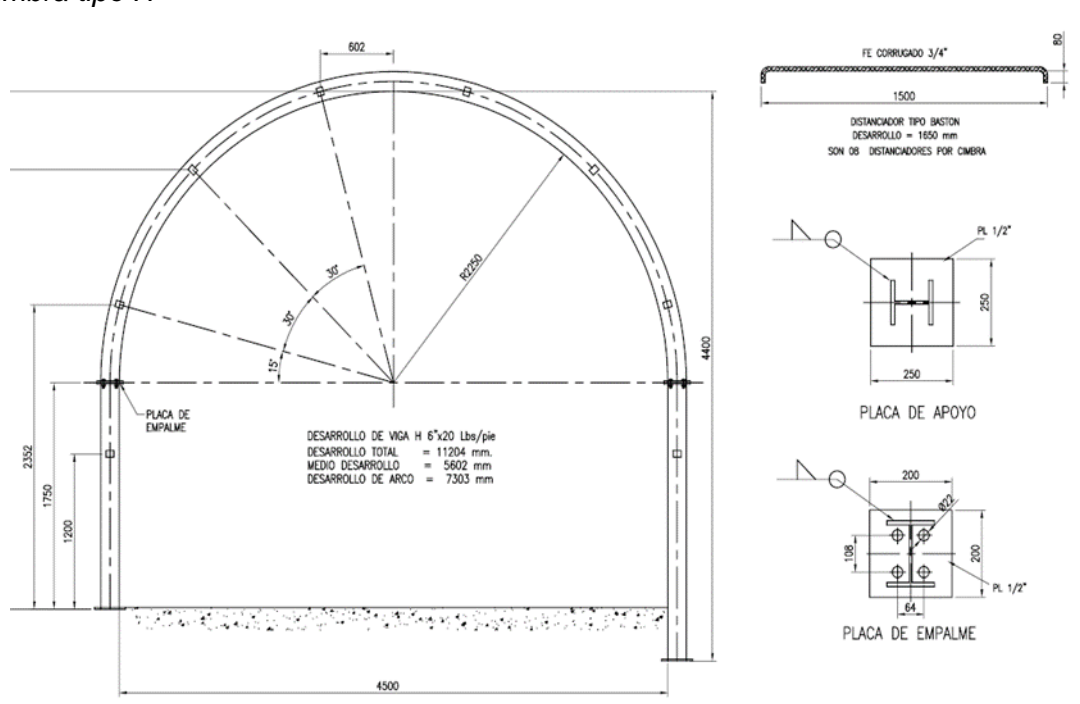
Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

▪ **Cimbras**

Cimbras tipo H-4/H-6 (arcos de acero), este elemento de soporte pasivo, es empleado con poca frecuencia, se cuenta con dimensiones de 4.50x4.50mt. Son empleados en terrenos con clasificación GSI: MF/MP, IF/MP y/o RMR (V/IV-B).

Figura 26

Cimbra tipo H



Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

▪ Shotcrete

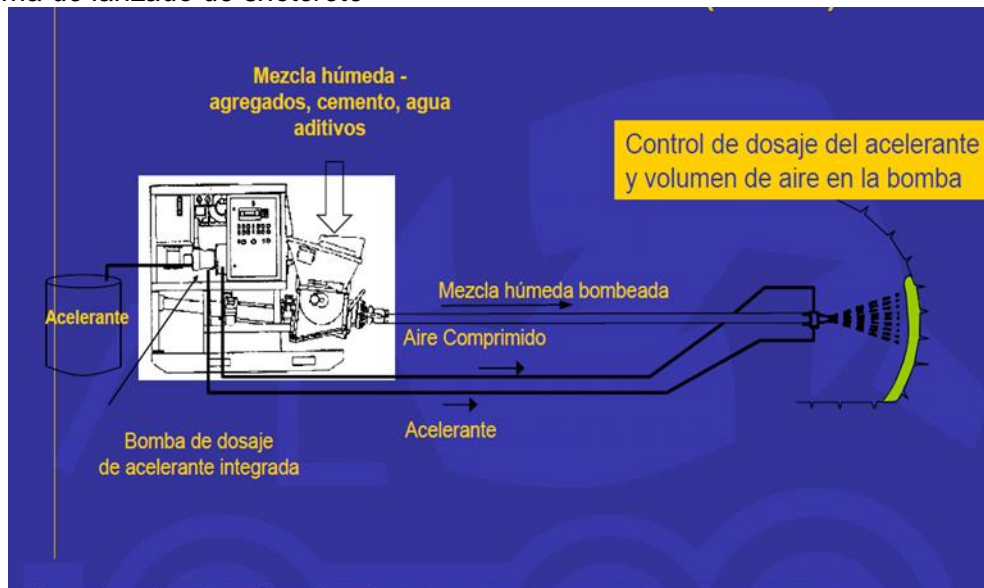
Este tipo de sostenimiento es empleado en rocas con clasificación GSI: F/P, MF/P, MF/R, IF/P en trocas tipo RMR(IVA-IVB), la dosificación está compuesta por Agua, agregado, cemento, fibras sintéticas y acelerante de fragua, diseñado para una capacidad mínima de soporte de 300 Kg/cm².

Además de los avances que se han realizado en materiales, equipos y conocimientos de aplicación, las ventajas que ofrece el hormigón proyectado en términos de estabilidad de la roca, como evitar la deformación y desintegración del macizo rocoso, han contribuido al desarrollo de esta tecnología hasta convertirla en un instrumento muy esencial y necesario para las labores subterráneas de las minas en particular.

El método actual de lanzado de concreto en la unidad es por vía húmeda, el cual se obtienen mejores rendimientos para los avances, menor rebote de lanzado y mayor seguridad para los trabajadores de la operación.

Figura 27

Esquema de lanzado de shotcrete



Fuente: Plan de minado Catalina Huanca (2021)

Control del macizo rocoso y de sostenimiento

- **Pull Test**

La prueba de tracción es un equipo de ensayo preliminar esencial para establecer el anclaje de los pernos de roca (Split Set y barras helicoidales) en el interior de un macizo determinado. La longitud del perno, el diámetro de la perforación, el tiempo de instalación y la calidad de la roca determinan el potencial de anclaje de un perno. Se posibilita la inspección de la calidad durante y después de la instalación del perno de roca.

Figura 28

Equipo pull test



Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

- **Martillo Schmidt**

Una forma no destructiva de determinar la dureza y/o resistencia de un material puede lograrse con el uso de un Martillo para Clasificación de Rocas. El equipo supervisa el rebote en la superficie de la estructura y, a continuación, se utilizan algunos cálculos matemáticos para calcular las resistencias o durezas de los distintos puntos de prueba.

Figura 29

Martillo de Schmidt



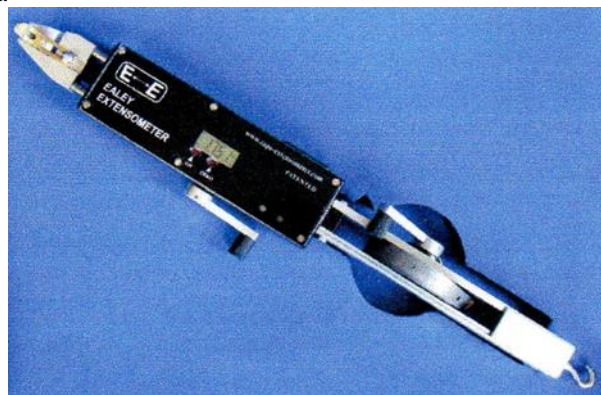
Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

- **Cinta extensiométrica**

La cinta extensométrica se compone de un mecanismo tensor, un reloj indicador con una precisión de una décima de milímetro y una cinta métrica metálica. Si desea obtener una medición precisa, debe asegurarse de que la cinta métrica esté lo más tensa posible a lo largo de la línea recta.

Figura 30

Cinta extensiométrica



Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

- **Cono de Abrams**

La consistencia (o "fluidez") de un nuevo lote de hormigón se evalúa mediante el ensayo del cono de Abrams. La masa de hormigón se introduce en un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, se apisona en su posición con 25 golpes de un apisonador de varilla y, a continuación, se mide el asentamiento. Además de esta medición, se observa la forma de la caída del cono de hormigón por golpes laterales con la varilla - apisonador.

Figura 31

Cono de Abrams



Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

- **Equipo carga puntual**

El ensayo a la carga puntual está concebido para poder determinar un Índice de Resistencia para la clasificación de materiales rocosos, y también puede usarse para estimar otras propiedades resistentes con las cuales este Índice se correlaciona, por ejemplo, la resistencia a la tracción indirecta.

Para este ensayo se puede utilizar muestras regulares, muestras con forma de cubos o bloques, o bien, muestras con una geometría mucho más irregular, sin que ellas requieran una preparación mecánica previa.

2.2 Marco Conceptual

Slump: medida de consistencia o fluidez del concreto fresco, para evaluar la caída se utilizan conos de metal de 30 cm de altura y 10 cm de diámetro. Se vierte hormigón fresco en el cono y se utiliza la varilla para presionar la mezcla hacia fuera. Tras retirar con

cuidado el cono, se mide la altura desde la superficie del pilote de hormigón recién vertido en relación con la altura del cono metálico.

Penetrómetro: es un equipo que mide la resistencia a la penetración por medio de una punta cónica con un área de base y un ángulo de punta predeterminados.

Acelerante: acelerador de fraguado que se utiliza en la boquilla de pulverización, que regula el periodo de endurecimiento del hormigón.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Diseño actual F'c 300 kg/cm² (400 kg de cemento)

En Catalina Huanca S.M S.A.C., se viene empleando el shotcrete vía húmeda, en el cual se obtienen mejores rendimientos para los avances, menor rebote de lanzado y mayor seguridad para los trabajadores en la operación.

El shotcrete muestra ventajas en el soporte de rocas, impidiendo la deformación y desintegración del macizo rocoso. Se emplea en rocas con GSI: MF/P, F/P, IF/R, MF/R, IF/MP, IF/P, el shotcrete está compuesto por agua, agregado, cemento, fibra sintética, hiperplastificante y acelerante de fragua, la dosificación actual de cada uno de los insumos para este diseño se observa en la tabla 6; diseñado para una capacidad mínima de resistencia de 300 kg/cm².

Tabla 6

Diseño shotcrete F'c 300 kg/cm²

Insumo	kg/m ³
Cemento (Tipo I)	400
Agua	189
Agregado	1575
Fibra Sintética	5
Aditivo Hiperplastificante	4
Aditivo Acelerante	28.5

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

El presente diseño posee una relación A/C de 0.47, y se realiza el lanzado del shotcrete con un espesor de 2”.

3.1.1 Resistencias tempranas

Para controlar las resistencias tempranas, el área de geomecánica realiza ensayos con ayuda del penetrometro digital y pistola hilti, con los cuales se determina la resistencia del concreto durante las primeras horas, esto debido a que se necesita un shotcrete que tenga la calificación J2. Según el estándar de Catalina Huanca el shotcrete debe alcanzar una resistencia mínima de 2 Mpa en 3 horas después del lanzado, para reanudar los trabajos en el frente de trabajo.

Con el diseño actual $F'c$ 300 kg/cm² (400 kg cemento/m³) se obtienen resistencias mayores a 2.5 Mpa a las 3 horas de lanzado el shotcrete; con lo cual se cumple el estándar establecido.

3.1.2 Resistencia a la compresión uniaxial

El área de Geomecánica realiza el control de calidad del shotcrete en cuanto a sus resistencias finales, para ello se elaboran probetas de concreto las cuales serán ensayadas a fin de hallar su resistencia a la compresión uniaxial, estas probetas son obtenidas de los tornados que salen de planta de shotcrete. Las probetas son ensayadas a los 3,7,14 y 28 días; según el estándar de Catalina Huanca se requiere una resistencia de 300 kg/cm² a los 28 días.

En la base de datos se buscan los resultados a la resistencia a la compresión uniaxial o simple ensayados a 28 días, realizados en los meses de abril, mayo y junio del 2021 los cuales se muestran a continuación.

Figura 32

Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) abril

CATALINA HUANCA S.M.S.A.C												Código: PLAN-R-011	
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN												Versión: 01	
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO. RESPONSABILIDAD DE TODOS"												Fecha: 12/06/2018	
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE												Página: 1/1	
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f'c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de correccion	Resistencia a la compresion (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	1/04/2021	22:01	29/04/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	50,280	1.00	60.80	207%
2	Probeta Laboratorio	300	1/04/2021	23:01	29/04/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	50,700	1.00	61.31	208%
3	Probeta Laboratorio	300	3/04/2021	00:01	1/05/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	36,420	1.00	44.04	150%
4	Probeta Laboratorio	300	3/04/2021	01:00	1/05/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	38,100	1.00	46.07	157%
5	Probeta Laboratorio	300	5/04/2021	02:00	3/05/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	35,060	1.00	42.40	144%
6	Probeta Laboratorio	300	5/04/2021	03:00	3/05/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	36,420	1.00	44.04	150%
7	Probeta Laboratorio	300	7/04/2021	04:00	5/05/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	40,860	1.00	49.41	168%
8	Probeta Laboratorio	300	7/04/2021	05:00	5/05/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	42,680	1.00	51.61	175%
9	Probeta Laboratorio	300	9/04/2021	06:00	7/05/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	44,700	1.00	54.05	184%
10	Probeta Laboratorio	300	9/04/2021	07:00	7/05/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	47,090	1.00	56.94	194%
11	Probeta Laboratorio	300	12/04/2021	08:00	10/05/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	51,440	1.00	62.20	211%
12	Probeta Laboratorio	300	12/04/2021	09:00	10/05/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	49,480	1.00	59.83	203%
13	Probeta Laboratorio	300	14/04/2021	10:00	12/05/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	50,650	1.00	61.25	208%
14	Probeta Laboratorio	300	14/04/2021	11:00	12/05/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	52,480	1.00	63.46	216%
15	Probeta Laboratorio	300	16/04/2021	12:00	14/05/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	47,200	1.00	57.08	194%
16	Probeta Laboratorio	300	16/04/2021	13:00	14/05/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	48,370	1.00	58.49	199%
17	Probeta Laboratorio	300	18/04/2021	14:00	16/05/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	46,120	1.00	55.77	190%
18	Probeta Laboratorio	300	18/04/2021	15:00	16/05/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	45,210	1.00	54.67	186%
19	Probeta Laboratorio	300	20/04/2021	16:00	18/05/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	40,210	1.00	48.63	165%
20	Probeta Laboratorio	300	20/04/2021	17:00	18/05/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	40,830	1.00	49.38	168%
21	Probeta Laboratorio	300	24/04/2021	18:00	22/05/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	38,100	1.00	46.07	157%
22	Probeta Laboratorio	300	24/04/2021	19:00	22/05/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	37,730	1.00	45.63	155%
23	Probeta Laboratorio	300	27/04/2021	20:00	25/05/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	46,780	1.00	56.57	192%
24	Probeta Laboratorio	300	27/04/2021	21:00	25/05/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	46,640	1.00	56.40	192%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 33

Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – mayo

CATALINA HUANCA S.M.S.A.C												Código: PLAN-R-011	
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN												Versión: 01	
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO. RESPONSABILIDAD DE TODOS"												Fecha: 12/06/2018	
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE												Página: 1/1	
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f' c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	1/05/2021	22:01	29/05/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	46,460	1.00	56.18	191%
2	Probeta Laboratorio	300	1/05/2021	23:01	29/05/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	47,180	1.00	57.05	194%
3	Probeta Laboratorio	300	3/05/2021	00:01	31/05/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	35,540	1.00	42.98	146%
4	Probeta Laboratorio	300	3/05/2021	01:00	31/05/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	36,620	1.00	44.28	151%
5	Probeta Laboratorio	300	5/05/2021	02:00	2/06/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	42,820	1.00	51.78	176%
6	Probeta Laboratorio	300	5/05/2021	03:00	2/06/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	44,300	1.00	53.57	182%
7	Probeta Laboratorio	300	8/05/2021	04:00	5/06/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	36,710	1.00	44.39	151%
8	Probeta Laboratorio	300	8/05/2021	05:00	5/06/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	37,030	1.00	44.78	152%
9	Probeta Laboratorio	300	10/05/2021	06:00	7/06/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	36,990	1.00	44.73	152%
10	Probeta Laboratorio	300	10/05/2021	07:00	7/06/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	37,910	1.00	45.84	156%
11	Probeta Laboratorio	300	14/05/2021	08:00	11/06/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	49,370	1.00	59.70	203%
12	Probeta Laboratorio	300	14/05/2021	09:00	11/06/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	50,860	1.00	61.50	209%
13	Probeta Laboratorio	300	16/05/2021	10:00	13/06/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	46,150	1.00	55.81	190%
14	Probeta Laboratorio	300	16/05/2021	11:00	13/06/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	45,270	1.00	54.74	186%
15	Probeta Laboratorio	300	18/05/2021	12:00	15/06/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	50,490	1.00	61.06	208%
16	Probeta Laboratorio	300	18/05/2021	13:00	15/06/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	49,570	1.00	59.94	204%
17	Probeta Laboratorio	300	20/05/2021	14:00	17/06/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	40,780	1.00	49.32	168%
18	Probeta Laboratorio	300	20/05/2021	15:00	17/06/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	39,540	1.00	47.82	163%
19	Probeta Laboratorio	300	22/05/2021	16:00	19/06/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	41,740	1.00	50.48	172%
20	Probeta Laboratorio	300	22/05/2021	17:00	19/06/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	43,700	1.00	52.85	180%
21	Probeta Laboratorio	300	24/05/2021	18:00	21/06/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	47,440	1.00	57.37	195%
22	Probeta Laboratorio	300	24/05/2021	19:00	21/06/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	48,110	1.00	58.18	198%
23	Probeta Laboratorio	300	26/05/2021	20:00	23/06/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	43,000	1.00	52.12	177%
24	Probeta Laboratorio	300	26/05/2021	21:00	23/06/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	45,380	1.00	54.88	187%
25	Probeta Laboratorio	300	29/05/2021	22:00	26/06/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	38,590	1.00	46.67	159%
26	Probeta Laboratorio	300	29/05/2021	23:00	26/06/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	39,980	1.00	48.35	164%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 34

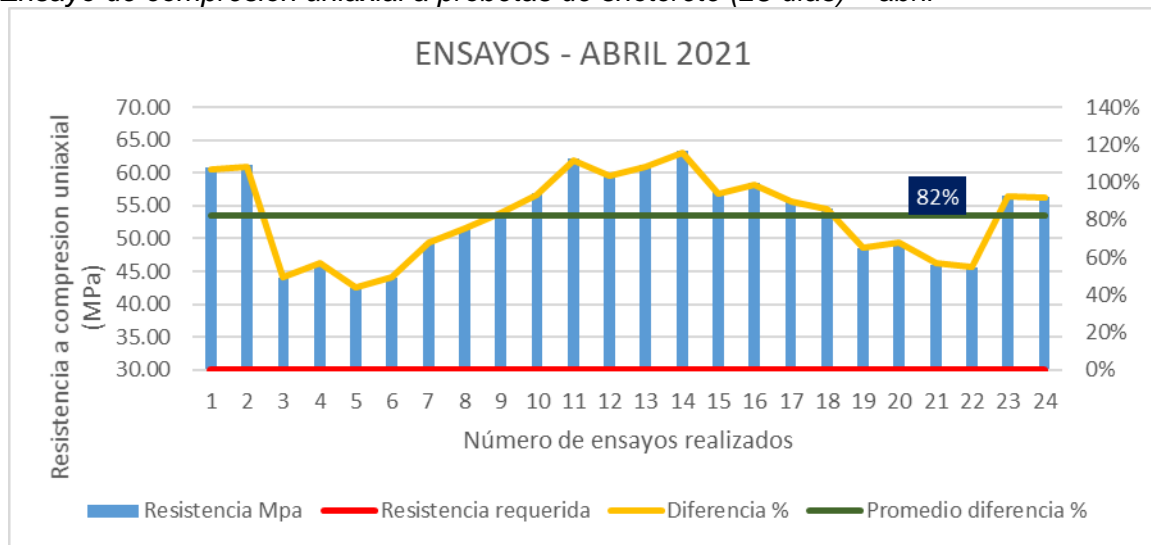
Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – junio

CATALINA HUANCA S.M.S.A.C												Código: PLAN-R-011	
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN												Versión: 01	
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO. RESPONSABILIDAD DE TODOS"												Fecha: 12/06/2018	
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE												Página: 1/1	
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f' c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	1/06/2021	22:01	29/06/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	36,960	1.00	44.69	152%
2	Probeta Laboratorio	300	1/06/2021	23:01	29/06/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	35,600	1.00	43.05	146%
3	Probeta Laboratorio	300	4/06/2021	00:01	2/07/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	35,490	1.00	42.92	146%
4	Probeta Laboratorio	300	4/06/2021	01:00	2/07/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	37,680	1.00	45.57	155%
5	Probeta Laboratorio	300	6/06/2021	02:00	4/07/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	43,900	1.00	53.09	180%
6	Probeta Laboratorio	300	6/06/2021	03:00	4/07/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	41,970	1.00	50.75	173%
7	Probeta Laboratorio	300	8/06/2021	04:00	6/07/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	43,790	1.00	52.95	180%
8	Probeta Laboratorio	300	8/06/2021	05:00	6/07/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	44,450	1.00	53.75	183%
9	Probeta Laboratorio	300	10/06/2021	06:00	8/07/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	37,160	1.00	44.94	153%
10	Probeta Laboratorio	300	10/06/2021	07:00	8/07/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	40,210	1.00	48.62	165%
11	Probeta Laboratorio	300	12/06/2021	08:00	10/07/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	50,330	1.00	60.86	207%
12	Probeta Laboratorio	300	12/06/2021	09:00	10/07/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	48,880	1.00	59.11	201%
13	Probeta Laboratorio	300	14/06/2021	10:00	12/07/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	49,250	1.00	59.56	202%
14	Probeta Laboratorio	300	14/06/2021	11:00	12/07/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	51,470	1.00	62.24	212%
15	Probeta Laboratorio	300	16/06/2021	12:00	14/07/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	51,580	1.00	62.37	212%
16	Probeta Laboratorio	300	16/06/2021	13:00	14/07/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	52,130	1.00	63.04	214%
17	Probeta Laboratorio	300	18/06/2021	14:00	16/07/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	41,520	1.00	50.21	171%
18	Probeta Laboratorio	300	18/06/2021	15:00	16/07/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	40,300	1.00	48.74	166%
19	Probeta Laboratorio	300	20/06/2021	16:00	18/07/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	54,880	1.00	66.37	226%
20	Probeta Laboratorio	300	20/06/2021	17:00	18/07/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	55,420	1.00	67.02	228%
21	Probeta Laboratorio	300	22/06/2021	18:00	20/07/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	40,750	1.00	49.28	168%
22	Probeta Laboratorio	300	22/06/2021	19:00	20/07/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	42,710	1.00	51.65	176%
23	Probeta Laboratorio	300	24/06/2021	20:00	22/07/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	54,300	1.00	66.06	225%
24	Probeta Laboratorio	300	24/06/2021	21:00	22/07/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	54,460	1.00	65.86	224%
23	Probeta Laboratorio	300	26/06/2021	22:00	24/07/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	50,970	1.00	61.64	210%
24	Probeta Laboratorio	300	26/06/2021	23:00	24/07/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	52,660	1.00	63.68	217%
25	Probeta Laboratorio	300	28/06/2021	00:00	26/07/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	50,360	1.00	60.90	207%
26	Probeta Laboratorio	300	28/06/2021	01:00	26/07/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	48,370	1.00	58.49	199%
27	Probeta Laboratorio	300	30/06/2021	02:00	28/07/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	45,100	1.00	54.54	185%
28	Probeta Laboratorio	300	30/06/2021	03:00	28/07/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	46,290	1.00	55.98	190%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 35

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – abril

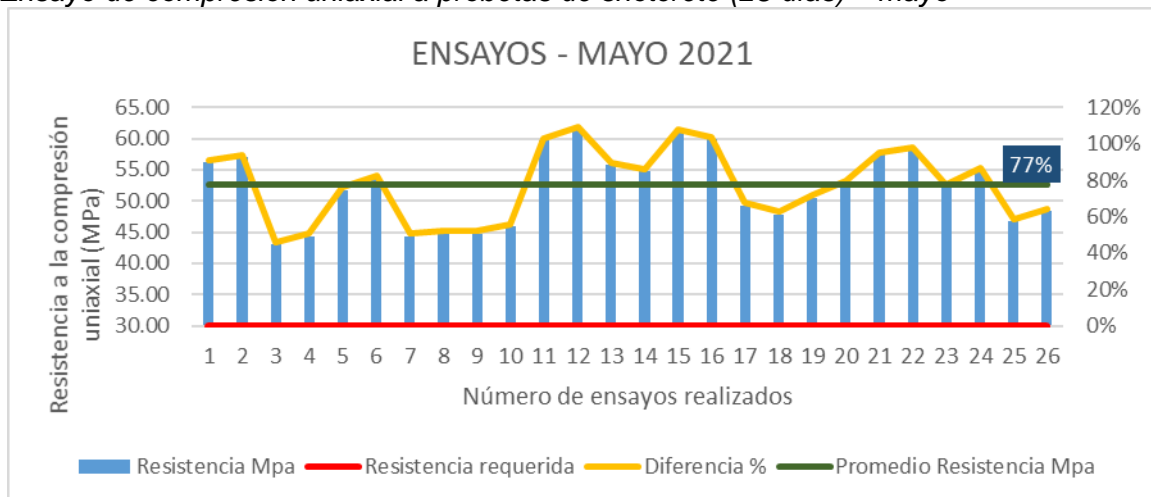


Fuente: Elaboración propia

En el mes de abril del 2021 se realizaron 24 ensayos de compresión uniaxial a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete. Se observan los resultados obtenidos mediante ensayos de resistencia a la compresión uniaxial en la figura 35, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 82% respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

Figura 36

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – mayo



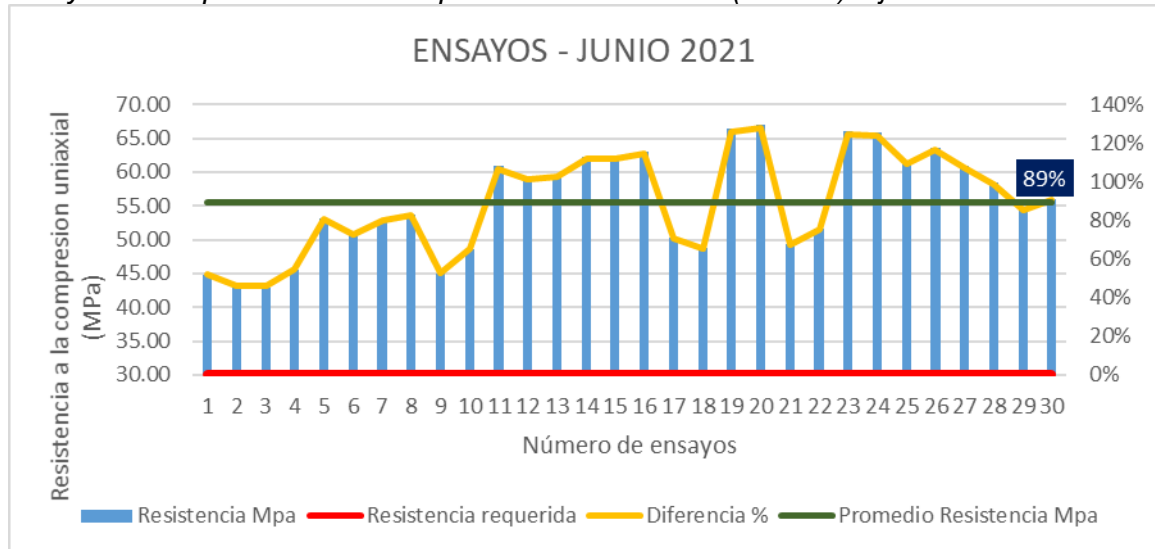
Fuente: Elaboración propia

En el mes de mayo del 2021 se realizaron 26 ensayos de compresión uniaxial a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete.

Se observan los resultados obtenidos mediante ensayos de resistencia a la compresión uniaxial en la figura 36, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 77% respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

Figura 37

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – junio



Fuente: Elaboración propia

En el mes de junio del 2021 se realizaron 30 ensayos de compresión uniaxial a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete. Se observan los resultados obtenidos mediante ensayos de resistencia a la compresión uniaxial en la figura 37, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 89% respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

3.1.3 Costo de insumos para shotcrete

Se detalla el costo unitario (USD/Unidad) de cada insumo para la elaboración de 1 m³ de shotcrete (tabla 7), en el cual se emplea 400 kg de cemento por metro cubico y su diseño es F'c = 300 Kg/cm². Por lo cual 1 m³ de shotcrete producido en insumos tiene un costo de 146.57 US\$.

Tabla 7

Costo de shotcrete diseño F'c=300 kg/cm2 (400 kg de cemento/m3)

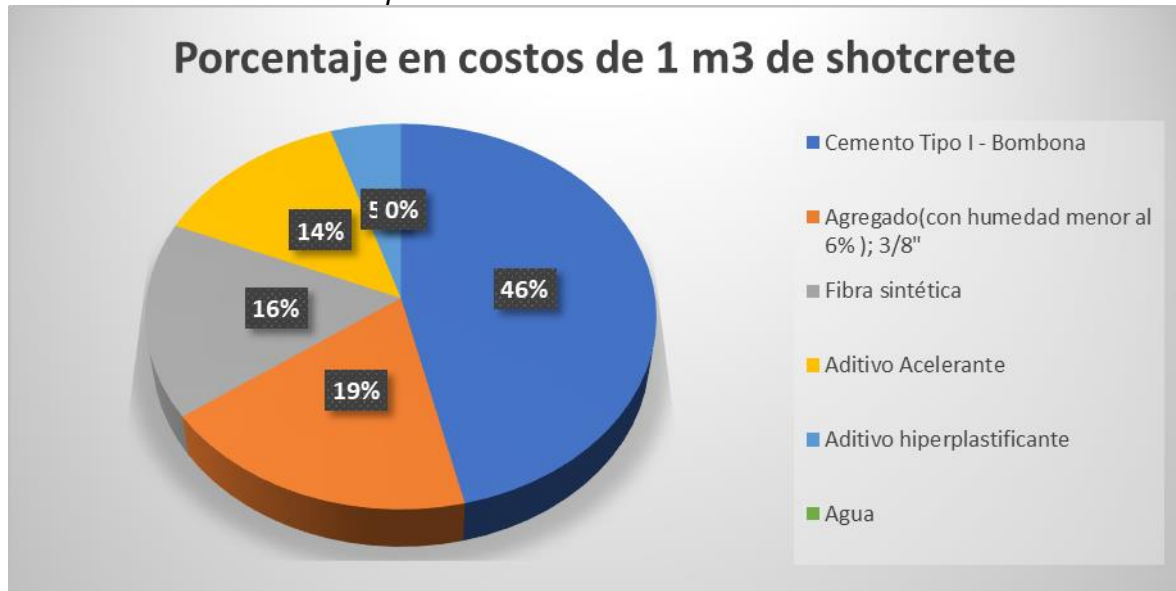
Dosificación 400 kg de cemento por m3				
Diseño de shotcrete 2"			Diseño F'c = 300 kg/cm2	
Insumo	Unidad	USD/Unidad	Diseño	Costo (USD/m3)
Cemento Tipo I - Bombona	Tn	169.800	0.40	67.92
Agregado(con humedad menor al 6%); 3/8"	m3	28.020	0.98	27.41
Fibra sintética	kg	4.800	5.00	24.00
Aditivo Acelerante	kg	0.705	28.50	20.09
Aditivo hiperplastificante	kg	1.787	4.00	7.15
Agua	kg	0.000	189.00	0.00
TOTAL (USD/m3)				146.57

Fuente: Compañía minera Catalina Huanca

En la figura 38 se contempla el grado de porcentaje en costo de cada insumo en la elaboración de 1 m3 de shotcrete; en donde el cemento representa el 46% del costo total, por lo cual la cantidad de este insumo debe ser el óptimo, puesto que impacta directamente en los costos de sostenimiento.

Figura 38

Costos unitarios de insumos para shotcrete



Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Consumo de shotcrete abril-junio 2021

El consumo de shotcrete se destina a las labores que requieran este elemento de sostenimiento de acuerdo a la tabla geomecánica. Se lleva un control de los metros cúbicos lanzados a las labores de acuerdo a su fase: avances, mantenimiento, rehabilitación y

rotura. A continuación, se presentan las siguientes tablas con los metros cúbicos lanzados en los meses de abril a junio del 2021.

Tabla 8

Consumo de shotcrete abril 2021

MES	ABRIL
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1044
Desarrollo	257
Exploración	172
Preparación	615
MANTENIMIENTO	149
REHABILITACIÓN	219
ROTURA	254
TOTAL	1666

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Tabla 9

Consumo de shotcrete mayo 2021

MES	MAYO
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1064
Desarrollo	157
Exploración	27
Preparación	880
MANTENIMIENTO	189
REHABILITACIÓN	110
ROTURA	354
TOTAL	1717

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Tabla 10

Consumo de shotcrete junio 2021

MES	JUNIO
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1189
Desarrollo	303
Exploración	12
Preparación	874
MANTENIMIENTO	313
REHABILITACIÓN	75
ROTURA	221
TOTAL	1798

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Como se observan la cantidad m3 lanzados de shotcrete en catalina huanca tiene en promedio 1700 m3 por mes y 56 m3 por día, esto puede variar en función a la calidad del macizo rocoso de las labores ejecutadas cada mes. También se observa que entre un 52 % y 71% del shotcrete consumido se destina a labores de preparación y explotación (rotura).

3.2 Nueva dosificación en el diseño de shotcrete

3.2.1 Ensayos realizados al agregado

Granulometría

Para determinar la granulometría de nuestro agregado se realizan los ensayos según la Norma ASTM C-136 (Standart Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates) y la Norma NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global).

Se realiza el control de granulometría diariamente en el laboratorio de shotcrete, a continuación, se mostrarán algunos resultados de los ensayos realizados entre los meses de Julio a Setiembre del 2021.

Tabla 11

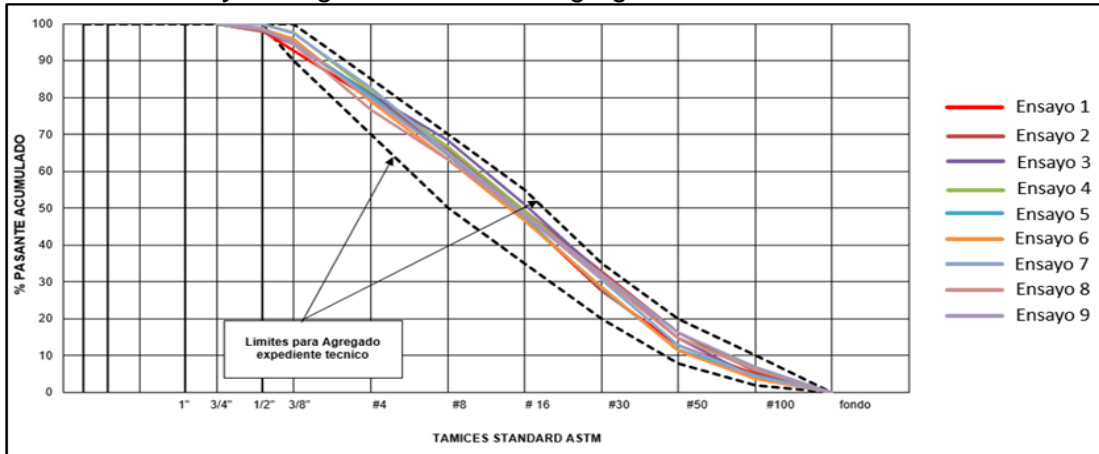
Ensayo de granulometría del agregado

Malla	% PASANTE ACUMULADO								
	10/07/21	20/07/21	30/07/21	10/08/21	20/08/21	30/08/21	10/09/21	20/09/21	30/09/21
3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	98.3	97.9	98.8	100.0	98.4	98.6	100.0	98.9	98.5
3/8"	92.7	94.5	94.6	97.7	95.3	96.1	97.4	94.4	94.9
#4	79.6	81.0	80.9	81.5	80.4	78.8	82.7	76.8	79.7
#8	65.3	65.6	68.3	66.5	64.3	63.1	65.1	63.1	64.6
#16	47.0	49.3	51.1	49.4	47.4	46.6	48.2	48.0	48.4
#30	27.7	32.9	32.0	31.0	28.1	28.6	30.5	31.2	32.0
#50	12.8	16.3	14.8	14.7	11.5	11.4	12.9	14.9	16.3
#100	4.9	5.6	3.9	6.3	4.6	3.8	4.5	6.3	7.0
FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Curvas de los ensayos de granulometría del agregado



Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la figura 39 que el agregado se halla dentro de los límites de la gradación N°2, lo cual hace que nuestra granulometría sea uniforme. Algunos días se puede observar que se tiene material retenido en la malla 1/2” menores al 2% debiendo ser esto 0%; por ello se realiza visitas a las canteras para un control de la calidad en su proceso a fin de que este valor sea nulo o en lo posible mínimo.

Módulo de Fineza

Tabla 12

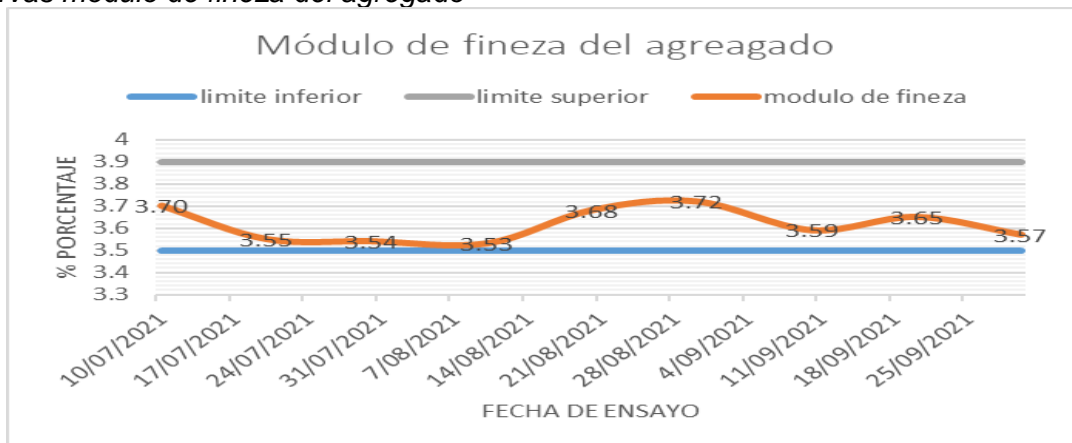
Módulo de fineza

	10/07/21	20/07/21	30/07/21	10/08/21	20/08/21	30/08/21	10/09/21	20/09/21	30/09/21
Módulo de Fineza	3.70	3.55	3.54	3.53	3.68	3.72	3.59	3.65	3.57

Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Curvas módulo de fineza del agregado



Fuente: Elaboración propia

Contenido de humedad

Cuando el agregado tiene una humedad menor que su capacidad de absorción, absorberá el agua utilizada en el diseño. En contraste, si la humedad sobrepasa la capacidad de absorción, los agregados aportarán agua al diseño, lo que hace esencial tener en cuenta la humedad de los agregados al elaborar el concreto. Cuando se tenga una elevada humedad, incrementará la proporción de A/C y, por lo tanto, reducirá la resistencia, mientras que, si es muy baja, no se obtendrá la trabajabilidad esperada. Ambos escenarios afectan la resistencia y las cualidades del concreto, lo que subraya la importancia del control para lograr los resultados deseados.

Tabla 13

Porcentaje de humedad del agregado

	% HUMEDAD
10/07/2021	4.04
20/07/2021	6.70
30/07/2021	5.66
10/08/2021	6.73
20/08/2021	6.80
30/08/2021	6.46
10/09/2021	7.38
20/09/2021	4.67
30/09/2021	3.08

Fuente: Elaboración propia

Material pasante en la malla N° 200

Este ensayo sigue las pautas establecidas por las normas ASTM C117 NTP 400.018, que se encargan de medir el porcentaje de partículas finas que atraviesan la malla N° 200. Este cálculo se realiza como la diferencia entre el peso inicial de la muestra de agregado en estado seco y el peso final del agregado después de lavarla y secarla, dividido entre el peso inicial del agregado muestreado. Según la normativa ASTM C33, el máximo porcentaje permitido de partículas que pasen a través de la malla N° 200 es del 5%.

Tabla 14

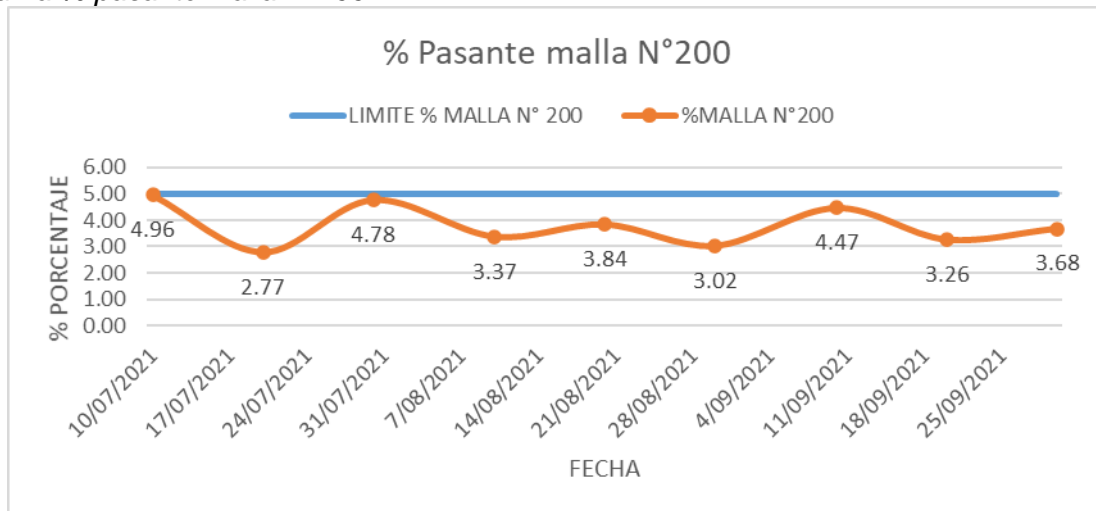
Porcentaje material que pasa la malla N°200

%MALLA N°200	
10/07/2021	4.96
20/07/2021	2.77
30/07/2021	4.78
10/08/2021	3.37
20/08/2021	3.84
30/08/2021	3.02
10/09/2021	4.47
20/09/2021	3.26
30/09/2021	3.68

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Curva % pasante malla N°200



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Diseño propuesto F'c 300 kg/cm2 (380 kg de cemento)

Como primerizas el diseño propuesto debe tener una resistencia de 300 kg/cm2 a 28 días, de acuerdo a los estándares requeridos por Catalina Huanca por para sus operaciones.

Debido a que se observan los resultados de resistencia a la compresión uniaxial a 28 días del diseño con la dosificación de 400 kg de cemento por m3, alcanzan valores elevados, nos lleva a inferir que se está utilizando cemento en demasía por lo cual proponemos reducir la cantidad de cemento a 380 kg. Para elaborar nuestra nueva dosificación en el diseño del shotcrete tendremos en consideración la norma RNE E.060

para calcular nuestra resistencia promedio a la compresión requerida; y luego para determinar la relación agua/cemento respecto a la resistencia a la compresión usaremos la tabla basada en el comité 211.1-91 ACI.

Resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr})

Se determinará la resistencia promedio a compresión requerida (f'_{cr}) respecto a nuestra resistencia específica de compresión (f'_c) de 300kg/cm². Puesto no contamos con ninguna referencia estadística de ensayos de este nuevo diseño nos basaremos en la tabla 15 de acuerdo a la norma RNE E.060.

Tabla 15

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO	
f'_c (kg/cm ²)	f'_{cr} (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_c + 84$
$f'_c > 350$	$f'_c + 98$

Fuente: RNE E.060

Por lo cual para una $F'_c = 300$ kg /cm² se tendrá:

$$F'_{cr} = f'_c + 84$$

$$F'_{cr} = 300 + 84$$

$$F'_{cr} = 384 \text{ kg/cm}^2$$

Relación (A/C) respecto a F'_c requerido

Tabla 16

Relación agua/cemento según F'_c

F _{cr} (28 días)	Relación agua - cemento del diseño	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Comité 211.1-91 del ACI

Para una $F'_{cr} = 384$, se tendrá que realizar una interpolación con la fórmula (2):

$$\frac{400-350}{0.43-0.48} = \frac{384-350}{x-0.48} \dots\dots\dots (2)$$

$$x = 0.45$$

Por lo cual la relación (A/C) requerida será de 0.45.

Agua requerida en el diseño

Con el dato anterior ya tenemos la relación $a/c = 0.45$, y la porción de cemento propuesta de 380 kg, obtendremos la porción de agua requerida en nuestro diseño que será de 171 kg.

Hiperplastificante requerido en el diseño

La cantidad de hiperplastificante estaba basada el porcentaje respecto al peso de cemento utilizado, según la especificación del proveedor la dosificación debe estar entre 0.2% - 2% P/C. Por lo cual se mantendrá con el porcentaje del 1% en relación al peso del cemento.

Acelerante requerido en el diseño

La cantidad de acelerante estaba basada el porcentaje respecto al peso de cemento utilizado, según la especificación del proveedor la dosificación debe estar en 5% - 10% P/C. Por lo cual se mantendrá con el porcentaje del 7% en relación al peso del cemento.

Fibra requerida en el diseño

Con el objetivo de mantener en lo posible las resistencias a la tenacidad y absorción de energía obtenidas con el diseño anterior, también mantendremos la misma cantidad de fibra sintética de 5kg por 1 m³ de concreto.

Agregado requerido en el diseño

El diseño propuesto es para la elaboración de 1 m³ de shotcrete, por lo cual trabajaremos con los pesos específicos (kg/m³) de cada elemento.

Figura 42

Nueva dosificación de diseño de shotcrete $F'c=300 \text{ kg/cm}^2$

A/C=	0.45		M.F	%ABS.	%HUM.	%MALLA 200
Fibra	1.32%	Agregado	3.68	2.8	5	2.95
Plastificante	1.00%					

Materiales	P.E (Kg/m3)	Volumen (m3)	Diseño seco para 1m3		Diseño S.S.S para 1m3		Correc. Por humed.	Diseño corregido para 1 m3	
Cemento	3150	0.1206	380	kg	380	kg		380	kg
Agua	1000	0.1710	216	L	171	L		136	L
Agregado (S.S.S)	2560	0.6395	1592	kg	1637	kg	35	1672	kg
Hiperplastificante	1120	0.0034	3.8	kg	3.80	kg		3.8	kg
Fibra	910	0.0055	5.0	kg	5.0	kg		5.0	kg
Aire		0.0600	6	%	6	%		6.0	%
Total		1.0000	2197		2197			2197	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del agregado (S.S.S) se realizará la diferencia con respecto a los volúmenes de los demás elementos para 1 m3. Con respecto al aire se asumirá un 6% que es porcentaje de aire contenido en la mezcla del diseño con 400 kg de cemento (figura 42).

3.2.3 Ensayos realizados al concreto fresco

Determinación del peso Unitario del concreto

La cantidad de masa contenida en un volumen determinado de concreto se denomina "peso unitario". Al calcular este peso, se consideran tanto las partículas individuales como los espacios entre ellas. Este aspecto es muy importante para medir el rendimiento de la mezcla, averiguar la concentración de cemento y detectar si hay o no aire en la mezcla.

El peso unitario del concreto fresco proporciona una indicación inmediata de la calidad de la distribución de partículas y la compactación en la mezcla, lo que resulta esencial para el control y la supervisión de la composición de la mezcla.

Figura 43

Ensayo para determinar el peso unitario del concreto fresco



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Peso unitario del concreto fresco

DATOS PARA P.U		
TARA	3.188	Kg
VOLUMEN	0.0028317	m ³
TARA + CONCRETO	9.435	Kg
P.U	2206	Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Medición del Asentamiento del Concreto

Este valor se obtiene mediante el ensayo nombrado como "Cono de Abrams" o "Slump", cuyo propósito es evaluar la consistencia de la mezcla de concreto. Para llevar a cabo este ensayo, se utiliza un molde metálico con forma de tronco cónica que cumple con dimensiones estandarizadas. Siguiendo procedimientos específicos, se mide la diferencia de altura entre el molde metálico y la superficie de la mezcla de concreto fresco. Este ensayo se aplica tanto en entornos de laboratorio como en el campo. La consistencia del concreto se puede clasificar en tres categorías principales según los resultados del ensayo:

- Concretos consistentes o secos (0 a 3 pulgadas)
- Concretos plásticos (3 a 6 pulgadas)
- Concretos fluidos (6 pulgadas o más)

Tabla 18

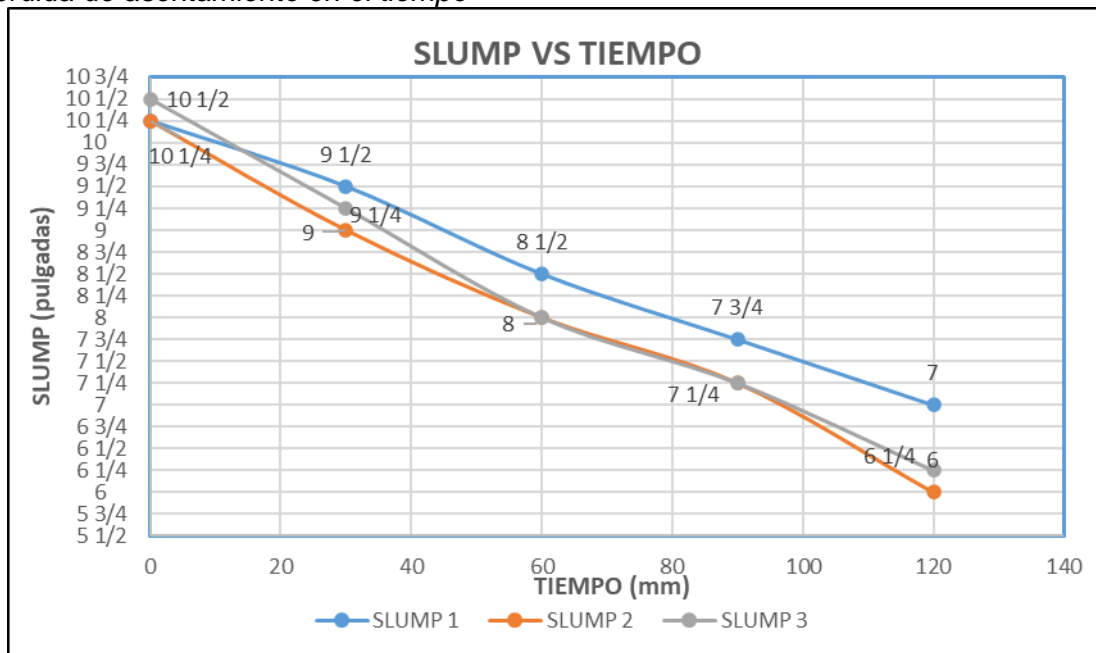
Pérdida de asentamiento del concreto – slump

CONTROL DE CONCRETO SHOTCRETE EN PLANTA Y EN LABORES						
Hora	T acum.	slump 1	Hora	slump 2	Hora	slump 3
08:10	0	10 1/4	08:10	10 1/4	09:35	10 1/2
08:40	30	9 1/2	08:40	9	10:05	9 1/4
09:10	60	8 1/2	09:10	8	10:35	8
09:40	90	7 3/4	09:40	7 1/4	11:05	7 1/4
10:10	120	7	10:10	6	11:35	6 1/4

Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Pérdida de asentamiento en el tiempo



Fuente: Elaboración propia

Determinación de aire contenido en el concreto

Este método implica encontrar el contenido de aire atrapado, para una mezcla de concreto recién preparada. La supervisión del contenido de aire en el concreto en estado fresco es fundamental para garantizar la calidad esperada del material. El aire atrapado en los huecos de la mezcla de concreto puede originarse por varias razones, que incluyen:

- Aire inicialmente presente en los espacios vacíos del cemento y el agregado, que luego se incorporan a la mezcla antes de que esta endurezca.
- Aire que originalmente se encuentra en los poros internos del cemento y el agregado.

- Aire que estaba presente inicialmente en el agua utilizada en la mezcla.
- Aire que se introduce en el concreto durante las etapas de mezclado y vertido.

Figura 45

Ensayo para la determinación del % de aire contenido en el concreto



Fuente: Elaboración propia

Determinación de la temperatura del concreto

El propósito de este ensayo es determinar la temperatura del concreto cuando está en su estado fresco. La temperatura del concreto se relaciona directamente con su resistencia. Es importante asegurarse de que la temperatura de la mezcla de concreto no sea inferior a 10 °C ni superior a 32 °C, y que la temperatura ambiente en el momento de verter el concreto se mantenga en un rango de 5 °C a 28 °C. Si la temperatura del concreto o del entorno se encuentra fuera de estos límites, se deben tomar medidas adecuadas para evitar posibles complicaciones.

Figura 46

Temperatura en el ambiente en superficie (izquierda), temperatura del concreto en superficie (derecha)



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

Temperatura del concreto en interior mina (izquierda), temperatura del ambiente en interior mina (derecha)



Fuente: Elaboración propia

Determinación del rendimiento del concreto

El rendimiento del concreto fresco se define como la cantidad de concreto fresco que se obtiene a partir de los materiales empleados en su preparación. Para calcularlo, se divide el peso total de los elementos de la mezcla, entre el peso unitario del concreto fresco según la norma ASTM C138.

La fórmula (3), para calcular el rendimiento del concreto es:

$$V_h = (P_c + P_{af} + P_a + P_{fb} + P_p) / P_u \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

V_h: representa el rendimiento del concreto en metros cúbicos (m³).

P_c: es el peso total de cemento utilizado en kilogramos (kg).

P_{af}: es el peso total del agregado en las condiciones en las que se emplea, en kg.

P_a: es el peso total del agua incorporada a la mezcla en kg.

P_{fb}: es el peso total de la fibra incorporada a la mezcla en kg.

P_p: es el peso total del plastificante incorporada a la mezcla en kg.

P_u: es el peso unitario del concreto fresco en kg/m³.

Tabla 19

Rendimiento del concreto fresco

DATOS PARA RENDIMIENTO		
TARA	3.188	Kg
VOLUMEN	0.0028317	m ³
TARA + CONCRETO	9.435	Kg
P.U	2206	Kg/m ³
P.U DE CARGUIO	2292	Kg/m ⁴
RENDIMIENTO	1.04	

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Ensayo de resistencia edades tempranas

Ensayo con penetrometro digital

Este procedimiento es aplicable para evaluar resistencias en un rango de 0.2 a 1.5 megapascales (MPa). Se basa en la medición de la fuerza necesaria para penetrar una profundidad de 15 mm ± 2 mm en la superficie del concreto proyectado utilizando una aguja con un diámetro de 3 mm y una punta con un ángulo de 60°. Se emplea un penetrómetro, comúnmente digital, para alcanzar la resistencia a la compresión promediando 10 lecturas. Este dispositivo se opera en el modo de fuerza en newtons (N), y se convierte a megapascales (MPa) según la calibración proporcionada por el fabricante de acuerdo con la norma UNE-EN 14488-2 de 2007.

Figura 48

Ensayo resistencia a edad temprana con uso del penetrometro digital



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Desarrollo de resistencias tempranas – Penetrometro digital

PENETROMETRO DIGITAL MECMESIN (0 - 1.5 Mpa)					
Hr. Muestreo	11:33 AM	12:03 PM	12:33 PM	1:03 AM	
Tiemp. Transc.	30 min	60 min	90 min	120 min	
Ensayo	1	332.00	674.00	753.00	904.00
	2	278.00	545.00	747.00	934.00
	3	364.00	637.00	707.00	938.00
	4	250.00	620.00	783.00	821.00
	5	279.00	580.00	763.00	938.00
	6	325.00	631.00	806.00	969.00
	7	231.00	657.00	748.00	907.00
	8	250.00	537.00	674.00	920.00
	9	320.00	648.00	673.00	937.00
	10	364.00	563.00	802.00	892.00
Penetración Prom. (N)	299.30	609.20	745.60	916.00	
Desarrollo Resist. (Mpa)	0.48	0.93	1.13	1.38	

Fuente: Elaboración propia

Ensayo con accionamiento de clavo de impacto (pistola Hilti)

Este método es aplicable para evaluar las resistencias a la compresión que se encuentren en el rango de 2 a 16 megapascales (MPa) y se determina mediante la inserción de clavos roscados en la superficie del concreto proyectado. La profundidad de penetración y la fuerza requerida para extraer estos clavos proporcionan los valores de resistencia a la compresión, los cuales se obtienen mediante una curva de conversión y se

calculan en un gráfico correspondiente. Se requieren al menos 10 mediciones por prueba, siguiendo la norma UNE-EN 14488-2 de 2007.

Para llevar a cabo esta medición, se utiliza la pistola Hilti DX 450 SCT con cartuchos verdes. Primeramente, se emplean clavos de 103 mm hasta que la profundidad de penetración sea menor a 20 mm; luego, se utilizan clavos de 80 mm. Es importante que el nivel de fuerza de la pistola Hilti esté ajustado a 1.

Figura 49

Ensayo resistencia a edad temprana con uso de la pistola hilti y extractor



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Desarrollo de resistencias tempranas – Pistola hilti

METODO DE LA PITOLA HILTI				
Longitud Clavo (mm)	103			
Tiemp.Transc. (Hr:Min)	3 horas			
Hora Medición (Hr:Min)				
Data Pull Out	Exposc. (mm)	Carga (Nw)	Resist. (Mpa)	
Ensayo	1	13	1200	2.08
	2	15	1300	2.27
	3	18	1400	2.49
	4	13	1300	2.23
	5	14	1400	2.40
	6	12	1400	2.35
	7	14	1500	2.54
	8	15	1300	2.27
	9	16	1600	2.74
	10	16	1300	2.29
Resist.Promedio (Mpa)			2.37	

Fuente: Elaboración propia

Clasificación

Tabla 22

Desarrollo de resistencias tempranas

Tiemp. Transc. (Min)	30	60	90	120	180
Resistencia (Mpa)	0.48	0.93	1.13	1.38	2.37

Fuente: Elaboración propia

Figura 50

Clases de resistencia temprana de shotcrete



Fuente: Norma EN 14487-1

- **H/MP I Clase (J1):** Hormigón proyectado sin función estructural temporal, este hormigón proyectado es apropiada para su aplicación en capas delgadas sobre un sustrato seco. No son de esperar requisitos estructurales en este tipo de hormigón proyectado durante las primeras horas después de la aplicación.
- **H/MP II Clase (J2):** Hormigón proyectado con función estructural temporal, este hormigón proyectado se utiliza en aplicaciones de capas más gruesas que tienen que lograrse dentro de poco tiempo. Este tipo de hormigón proyectado se puede aplicar encima de la cabeza (techo de labor) e incluso adecuado en situaciones difíciles como en caso de un ligero flujo de agua y el trabajo posterior inmediato como la perforación y voladura.

- **H/MP III Clase (J3):** Hormigón proyectado con función estructural permanente, se utiliza cuando se presenta una roca altamente frágil o fuerte flujo de agua, ya que presenta un fraguado rápido, por lo tanto, la clase J3 de hormigón proyectado se utiliza solamente en situaciones excepcionales.

3.2.5 Ensayo de resistencias finales

Con la nueva dosificación en el diseño de shotcrete (380 kg de cemento/m³), se realizaron también los ensayos de compresión uniaxial a las probetas, en la cual los resultados son los siguientes:

Figura 51

Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Julio

CATALINA HUANCA S.M.S.A.C												Código: PLAN-R-011	
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN												Versión: 01	
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO, RESPONSABILIDAD DE TODOS"												Fecha: 12/06/2018	
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE												Página: 1/1	
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f' c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de correccion	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	2/07/2021	22:01	30/07/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	34,854	1.00	42.15	143%
2	Probeta Laboratorio	300	2/07/2021	23:01	30/07/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	35,764	1.00	43.25	147%
3	Probeta Laboratorio	300	3/07/2021	11:00	31/07/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	32,398	1.00	39.18	133%
4	Probeta Laboratorio	300	3/07/2021	11:00	31/07/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	34,110	1.00	41.25	140%
5	Probeta Laboratorio	300	4/07/2021	11:00	1/08/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	36,980	1.00	44.72	152%
6	Probeta Laboratorio	300	4/07/2021	11:00	1/08/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	36,726	1.00	44.41	151%
7	Probeta Laboratorio	300	6/07/2021	04:00	3/08/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	38,997	1.00	47.16	160%
8	Probeta Laboratorio	300	6/07/2021	05:00	3/08/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	38,815	1.00	46.94	160%
9	Probeta Laboratorio	300	8/07/2021	06:00	5/08/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	40,618	1.00	49.12	167%
10	Probeta Laboratorio	300	8/07/2021	07:00	5/08/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	40,792	1.00	49.33	168%
11	Probeta Laboratorio	300	10/07/2021	08:00	7/08/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	39,314	1.00	47.54	162%
12	Probeta Laboratorio	300	10/07/2021	09:00	7/08/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	37,898	1.00	45.83	156%
13	Probeta Laboratorio	300	11/07/2021	10:00	8/08/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	35,511	1.00	42.94	146%
14	Probeta Laboratorio	300	11/07/2021	11:00	8/08/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	36,386	1.00	44.00	150%
15	Probeta Laboratorio	300	12/07/2021	12:00	9/08/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	39,535	1.00	47.81	163%
16	Probeta Laboratorio	300	12/07/2021	13:00	9/08/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	38,948	1.00	47.10	160%
17	Probeta Laboratorio	300	14/07/2021	14:00	11/08/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	37,443	1.00	45.28	154%
18	Probeta Laboratorio	300	14/07/2021	15:00	11/08/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	36,889	1.00	44.61	152%
19	Probeta Laboratorio	300	16/07/2021	16:00	13/08/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	33,970	1.00	41.08	140%
20	Probeta Laboratorio	300	16/07/2021	17:00	13/08/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	35,003	1.00	42.33	144%
21	Probeta Laboratorio	300	18/07/2021	18:00	15/08/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	32,597	1.00	39.42	134%
22	Probeta Laboratorio	300	18/07/2021	19:00	15/08/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	33,490	1.00	40.50	138%
23	Probeta Laboratorio	300	20/07/2021	20:00	17/08/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	39,832	1.00	48.17	164%
24	Probeta Laboratorio	300	20/07/2021	21:00	17/08/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	39,030	1.00	47.20	160%
25	Probeta Laboratorio	300	22/07/2021	22:00	19/08/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	37,658	1.00	45.54	155%
26	Probeta Laboratorio	300	22/07/2021	23:00	19/08/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	38,440	1.00	46.49	158%
27	Probeta Laboratorio	300	26/07/2021	00:00	23/08/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	34,871	1.00	42.17	143%
28	Probeta Laboratorio	300	26/07/2021	01:00	23/08/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	36,235	1.00	43.82	149%
29	Probeta Laboratorio	300	29/07/2021	02:00	26/08/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	39,465	1.00	47.73	162%
30	Probeta Laboratorio	300	29/07/2021	03:00	26/08/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	38,777	1.00	46.89	159%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 52

Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Agosto

CATALINA HUANCA S. M S.A.C											Código: PLAN-R-011		
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN											Versión: 01		
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO. RESPONSABILIDAD DE TODOS"											Fecha: 12/06/2018		
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE											Página: 1/1		
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f' c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	1/08/2021	22:01	29/08/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	37.874	1.00	45.80	153%
2	Probeta Laboratorio	300	1/08/2021	23:01	29/08/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	38.612	1.00	46.69	156%
3	Probeta Laboratorio	300	4/08/2021	11:00	1/09/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	39.816	1.00	48.15	161%
4	Probeta Laboratorio	300	4/08/2021	11:00	1/09/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	39.072	1.00	47.25	158%
5	Probeta Laboratorio	300	6/08/2021	11:00	3/09/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	38.354	1.00	46.38	155%
6	Probeta Laboratorio	300	6/08/2021	11:00	3/09/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	38.354	1.00	46.38	155%
7	Probeta Laboratorio	300	8/08/2021	04:00	5/09/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	34.488	1.00	41.68	139%
8	Probeta Laboratorio	300	8/08/2021	05:00	5/09/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	35.420	1.00	42.83	143%
9	Probeta Laboratorio	300	10/08/2021	06:00	7/09/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	36.615	1.00	44.28	148%
10	Probeta Laboratorio	300	10/08/2021	07:00	7/09/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	36.602	1.00	44.26	148%
11	Probeta Laboratorio	300	12/08/2021	08:00	9/09/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	32.816	1.00	39.68	132%
12	Probeta Laboratorio	300	12/08/2021	09:00	9/09/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	33.869	1.00	40.96	137%
13	Probeta Laboratorio	300	14/08/2021	10:00	11/09/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	37.456	1.00	45.29	151%
14	Probeta Laboratorio	300	14/08/2021	11:00	11/09/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	36.814	1.00	44.52	148%
15	Probeta Laboratorio	300	16/08/2021	12:00	13/09/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	33.129	1.00	40.06	134%
16	Probeta Laboratorio	300	16/08/2021	13:00	13/09/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	32.486	1.00	38.92	130%
17	Probeta Laboratorio	300	19/08/2021	14:00	16/09/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	34.466	1.00	41.68	139%
18	Probeta Laboratorio	300	19/08/2021	15:00	16/09/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	33.688	1.00	40.74	136%
19	Probeta Laboratorio	300	21/08/2021	16:00	18/09/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	32.620	1.00	39.45	131%
20	Probeta Laboratorio	300	21/08/2021	17:00	18/09/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	33.176	1.00	40.12	134%
21	Probeta Laboratorio	300	23/08/2021	18:00	20/09/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	34.879	1.00	42.18	141%
22	Probeta Laboratorio	300	23/08/2021	19:00	20/09/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	35.293	1.00	42.68	142%
23	Probeta Laboratorio	300	25/08/2021	20:00	22/09/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	35.987	1.00	43.52	145%
24	Probeta Laboratorio	300	25/08/2021	21:00	22/09/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	35.553	1.00	42.98	143%
25	Probeta Laboratorio	300	27/08/2021	22:00	24/09/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	37.360	1.00	45.19	151%
26	Probeta Laboratorio	300	27/08/2021	23:00	24/09/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	38.212	1.00	46.21	154%
27	Probeta Laboratorio	300	29/08/2021	00:00	26/09/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	36.144	1.00	43.71	146%
28	Probeta Laboratorio	300	29/08/2021	01:00	26/09/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	37.145	1.00	44.92	150%
29	Probeta Laboratorio	300	31/08/2021	02:00	28/09/2021	02:00	10.16	20.32	81.07	36.020	1.00	43.56	145%
30	Probeta Laboratorio	300	31/08/2021	03:00	28/09/2021	03:00	10.16	20.32	81.07	36.963	1.00	44.70	149%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 53

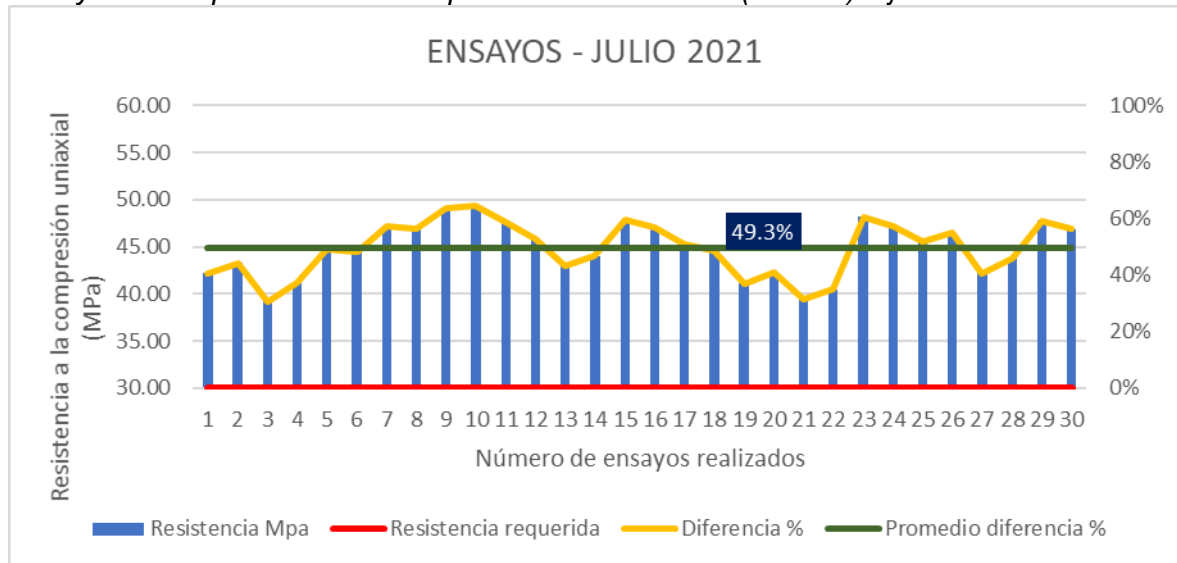
Registro de ensayo de compresión simple a probetas de shotcrete (28 días) – Setiembre

CATALINA HUANCA S. M S.A.C											Código: PLAN-R-011		
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN											Versión: 01		
"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO. RESPONSABILIDAD DE TODOS"											Fecha: 12/06/2018		
REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE											Página: 1/1		
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f' c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio
1	Probeta Laboratorio	300	2/09/2021	22:01	30/09/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	40.456	1.00	48.92	163%
2	Probeta Laboratorio	300	2/09/2021	23:01	30/09/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	39.693	1.00	48.00	160%
3	Probeta Laboratorio	300	4/09/2021	11:00	2/10/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	39.419	1.00	47.67	159%
4	Probeta Laboratorio	300	4/09/2021	11:00	2/10/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	39.667	1.00	47.97	160%
5	Probeta Laboratorio	300	6/09/2021	11:00	4/10/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	37.046	1.00	44.80	149%
6	Probeta Laboratorio	300	6/09/2021	11:00	4/10/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	38.097	1.00	46.07	154%
7	Probeta Laboratorio	300	8/09/2021	04:00	6/10/2021	04:00	10.16	20.32	81.07	38.040	1.00	46.00	153%
8	Probeta Laboratorio	300	8/09/2021	05:00	6/10/2021	05:00	10.16	20.32	81.07	39.644	1.00	47.94	160%
9	Probeta Laboratorio	300	10/09/2021	06:00	8/10/2021	06:00	10.16	20.32	81.07	38.550	1.00	46.62	155%
10	Probeta Laboratorio	300	10/09/2021	07:00	8/10/2021	07:00	10.16	20.32	81.07	39.636	1.00	47.93	160%
11	Probeta Laboratorio	300	12/09/2021	08:00	10/10/2021	08:00	10.16	20.32	81.07	37.063	1.00	44.82	149%
12	Probeta Laboratorio	300	12/09/2021	09:00	10/10/2021	09:00	10.16	20.32	81.07	38.132	1.00	46.11	154%
13	Probeta Laboratorio	300	14/09/2021	10:00	12/10/2021	10:00	10.16	20.32	81.07	40.644	1.00	49.15	164%
14	Probeta Laboratorio	300	14/09/2021	11:00	12/10/2021	11:00	10.16	20.32	81.07	40.289	1.00	48.72	162%
15	Probeta Laboratorio	300	16/09/2021	12:00	14/10/2021	12:00	10.16	20.32	81.07	35.435	1.00	42.85	143%
16	Probeta Laboratorio	300	16/09/2021	13:00	14/10/2021	13:00	10.16	20.32	81.07	35.790	1.00	43.28	144%
17	Probeta Laboratorio	300	18/09/2021	14:00	16/10/2021	14:00	10.16	20.32	81.07	32.969	1.00	39.87	133%
18	Probeta Laboratorio	300	18/09/2021	15:00	16/10/2021	15:00	10.16	20.32	81.07	33.283	1.00	40.25	134%
19	Probeta Laboratorio	300	21/09/2021	16:00	19/10/2021	16:00	10.16	20.32	81.07	38.361	1.00	46.39	155%
20	Probeta Laboratorio	300	21/09/2021	17:00	19/10/2021	17:00	10.16	20.32	81.07	37.294	1.00	45.10	150%
21	Probeta Laboratorio	300	23/09/2021	18:00	21/10/2021	18:00	10.16	20.32	81.07	35.462	1.00	42.89	143%
22	Probeta Laboratorio	300	23/09/2021	19:00	21/10/2021	19:00	10.16	20.32	81.07	35.201	1.00	42.57	142%
23	Probeta Laboratorio	300	25/09/2021	20:00	23/10/2021	20:00	10.16	20.32	81.07	36.958	1.00	44.69	149%
24	Probeta Laboratorio	300	25/09/2021	21:00	23/10/2021	21:00	10.16	20.32	81.07	35.813	1.00	43.31	144%
25	Probeta Laboratorio	300	27/09/2021	22:00	25/10/2021	22:00	10.16	20.32	81.07	34.069	1.00	41.20	137%
26	Probeta Laboratorio	300	27/09/2021	23:00	25/10/2021	23:00	10.16	20.32	81.07	35.102	1.00	42.45	142%
27	Probeta Laboratorio	300	29/09/2021	00:00	27/10/2021	00:00	10.16	20.32	81.07	38.245	1.00	46.25	154%
28	Probeta Laboratorio	300	29/09/2021	01:00	27/10/2021	01:00	10.16	20.32	81.07	39.050	1.00	47.22	157%

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Figura 54

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – julio

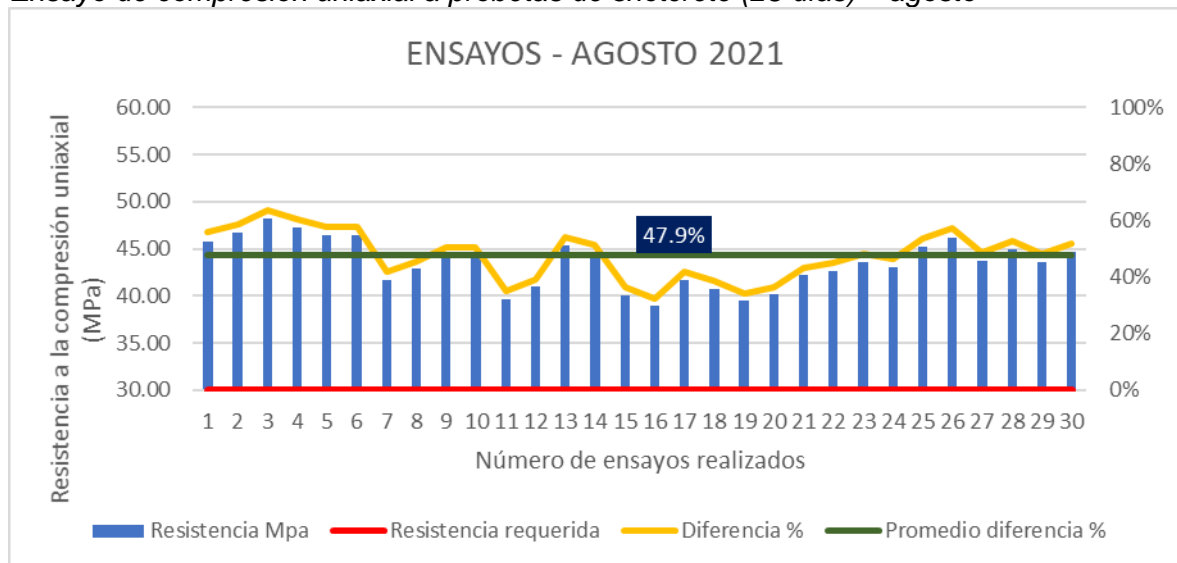


Fuente: Elaboración propia

En el mes de julio del 2021 se realizaron 30 ensayos de compresión uniaxial a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete. En la figura 54 se contemplan los resultados conseguidos mediante ensayos de resistencia a la compresión uniaxial o simple, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 49.3 % y llegando a 44.8 Mpa respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

Figura 55

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – agosto

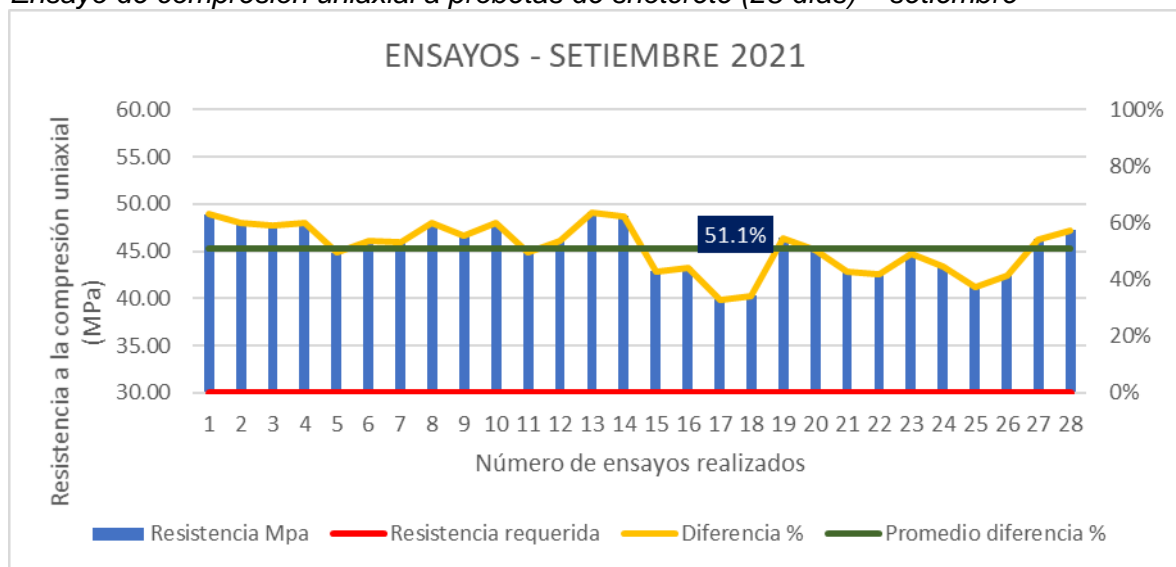


Fuente: Elaboración propia

En el mes de agosto del 2021 se realizaron 30 ensayos de compresión simple a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete. En la figura 55 se contemplan los resultados de resistencia a la compresión uniaxial o simple, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 47.9% y llegando a 43.49 Mpa respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

Figura 56

Ensayo de compresión uniaxial a probetas de shotcrete (28 días) – setiembre



Fuente: Elaboración propia

En el mes de setiembre del 2021 se realizaron 28 ensayos de compresión uniaxial a las probetas de shotcrete muestreadas de los tornados despachados en la planta de shotcrete. En la figura 56 se observan los resultados de resistencia a la compresión uniaxial o simple, en la cual estos resultados sobrepasan en promedio un 51.1% llegando a 45.32 Mpa respecto a la resistencia mínima requerida de 30 Mpa.

3.2.6 Costo unitario de insumos para shotcrete (380 kg cemento)

Tabla 23*Costo de shotcrete diseño F'c=300 kg/cm2 (380 kg de cemento/m3)*

Dosificación 380 kg de cemento por m3				
Diseño de shotcrete 2"			Diseño F'c = 300 kg/cm2	
Insumo	Unidad	USD/Unidad	Diseño	Costo (USD/m3)
Cemento Tipo I - Bombona	Tn	169.800	0.38	64.52
Agregado(con humedad menor al 6%); 3/8"	m3	28.020	1.01	28.30
Fibra sintética	kg	4.800	5.00	24.00
Aditivo Acelerante	kg	0.705	26.60	18.75
Aditivo hiperplastificante	kg	1.787	3.80	6.79
Agua	kg	0.000	171.00	0.00
TOTAL (USD/m3)				142.37

Fuente: Compañía minera Catalina Huanca S.M. S.A.C.

3.2.7 Consumo de shotcrete julio-setiembre 2021:

La nueva dosificación en el diseño de shotcrete F'c =300 kg/cm2 fue empleado desde julio del 2021 hacia adelante. Se observa a continuación el consumo del shotcrete con esta nueva dosificación para los meses de julio, agosto y setiembre del 2021.

Tabla 24*Consumo de shotcrete julio 2021*

MES	JULIO
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1176
Desarrollo	384
Exploración	12
Preparación	780
MANTENIMIENTO	184
REHABILITACIÓN	33
ROTURA	398
TOTAL	1791

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Tabla 25*Consumo de shotcrete agosto 2021*

MES	AGOSTO
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1205
Desarrollo	381
Exploración	4
Preparación	820
MANTENIMIENTO	120
REHABILITACIÓN	27
ROTURA	461
TOTAL	1813

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Tabla 26*Consumo de shotcrete setiembre 2021*

MES	SETIEMBRE
FASE	Concreto Lanzado (m3)
AVANCE	1151
Desarrollo	244
Exploración	36
Preparación	871
MANTENIMIENTO	334
REHABILITACIÓN	147
ROTURA	166
TOTAL	1798

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

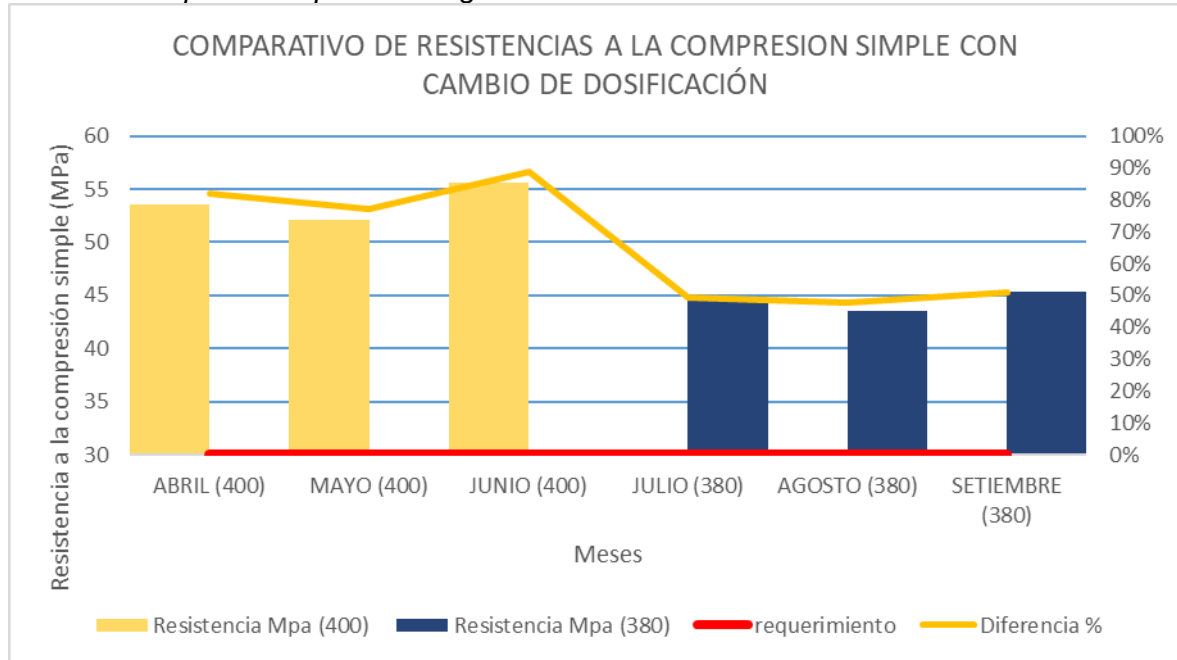
Como se observan la cantidad m3 lanzados de shotcrete en catalina huanca para el periodo julio - setiembre del 2021 tiene en promedio 1800 m3 por mes y 60 m3 por día, se muestra un incremento de 100 m3 comparado con el trimestre anterior, debido a la calidad de macizo rocoso el cual según clasificación geomecánica requiere el uso de shotcrete. También se observa que entre un 57 % y 70% del shotcrete consumido se destina a labores de preparación y explotación (rotura).

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis comparativo de las resistencias finales para las dosificaciones

Figura 57

Resistencias promedio por mes según dosificación de cemento



Fuente: Elaboración propia

En la figura 57 se puede visualizar que las resistencias a la compresión uniaxial obtenidas para los meses de abril, mayo y junio; en donde la dosificación del cemento era de 400 kg por m³, alcanzaban una resistencia promedio de 52 a 55 Mpa sobrepasando la resistencia requerida en un 83%; mientras que las resistencias obtenidas en los meses de julio, agosto y setiembre; en donde la dosificación del cemento es de 380 kg por m³, alcanzan una resistencia promedio de 43 a 45 Mpa sobrepasando la resistencia requerida en un 49%.

Por lo cual, el usar la dosificación de 380 kg de cemento por m³ en el diseño del shotcrete, cumple con el estándar requerido por el área de geomecánica la cual establece 300 kg/cm² (29.4 Mpa) como resistencia final.

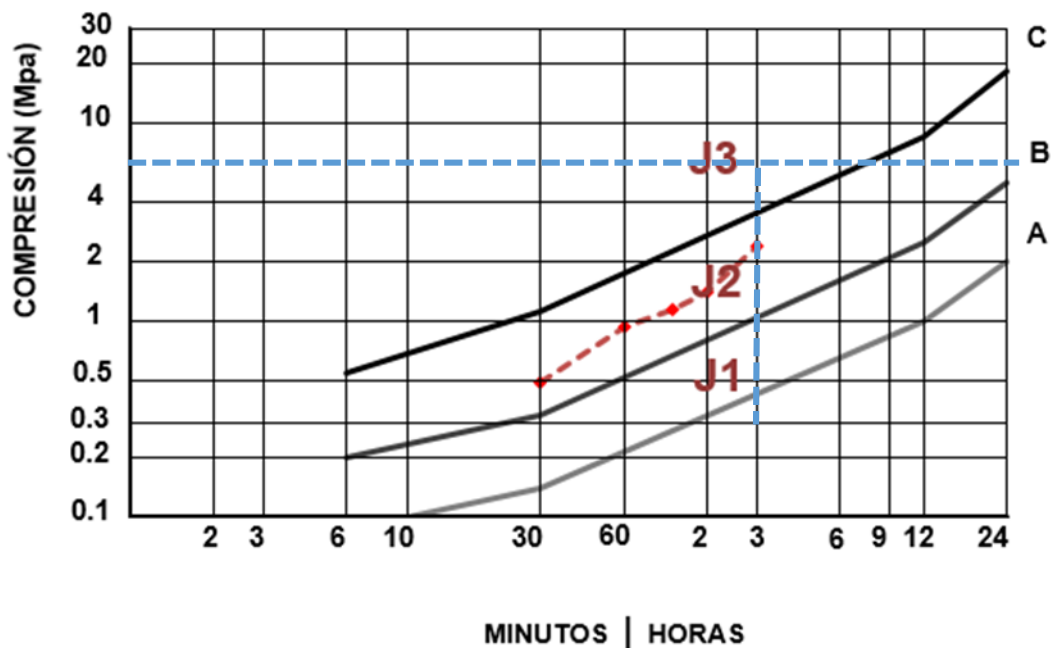
4.2 Análisis de la resistencia temprana para la nueva dosificación

El shotcrete cumple y sobrepasa la resistencia final requerida según diseño $F'c=300$ kg/cm²; además de ello el concreto debe cumplir con tener una clasificación J2,

la cual corresponde a un concreto con función estructural temporal, este concreto proyectado se usa en capas más gruesas que tienen que lograrse dentro de un corto tiempo. Este tipo de hormigón proyectado se puede aplicar encima de la cabeza (techo de labor) e incluso adecuado en situaciones difíciles como en caso de un ligero flujo de agua y el trabajo posterior inmediato como la perforación y voladura.

Figura 58

Resistencia temprana requerida para el shotcrete Catalina Huanca



Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en la figura 58 el concreto con la dosificación de 380 kg de cemento por m³, se encuentra dentro de la clasificación J2; además cumple con el estándar de Catalina Huanca el cual requiere de una resistencia mínima de 2 Mpa en 3 horas para reanudar los trabajos; ya que el concreto proyectado a una resistencia de 2Mpa ya posee una cohesión considerable la cual no permite desprendimientos del techo de la labor.

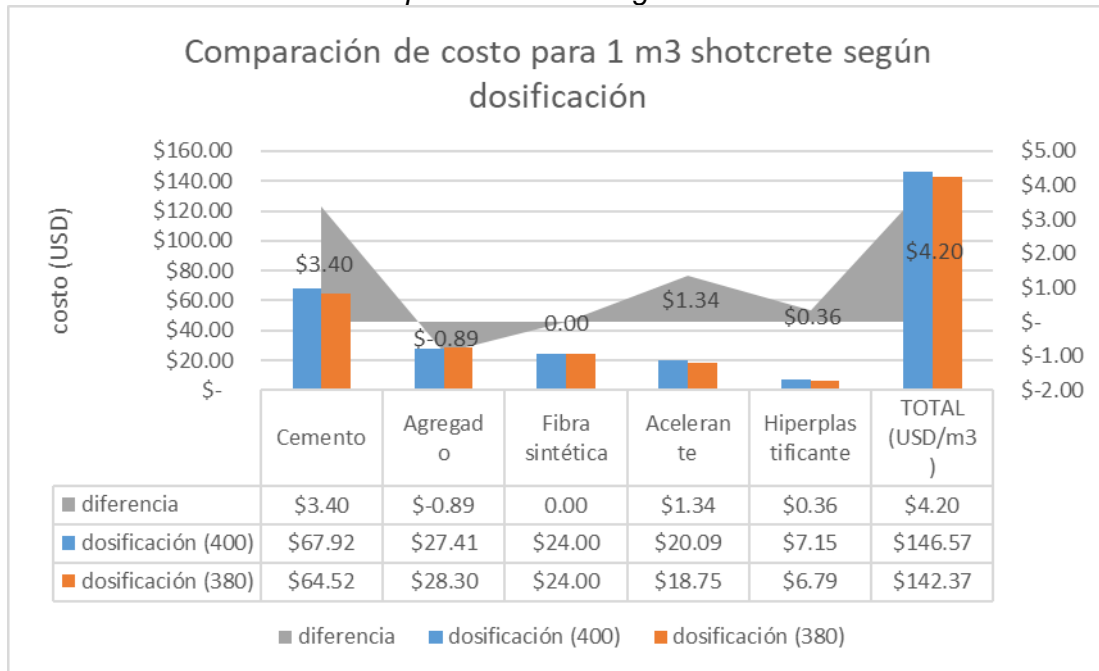
4.3 Análisis de costos con la nueva dosificación

La dosificación de shotcrete para el diseño $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ que se venía empleando en Catalina Huanca contenía 400 kg de cemento por m³ shotcrete producido, siendo este insumo el de mayor costo. El costo por m³ producido era de \$ 146.57 dólares.

La nueva dosificación se shotcrete para una F'c = 300 kg/cm² que se emplea desde el mes de Julio del 2021 contiene 380 kg de cemento, reduciendo la cantidad de este insumo en 20kg por m³ respecto a la anterior dosificación. El costo de por m³ producido con esta nueva dosificación es de \$ 142.37, como se observa en la figura 59.

Figura 59

Diferencia de costos de insumos para shotcrete según dosificación



Fuente: Elaboración propia

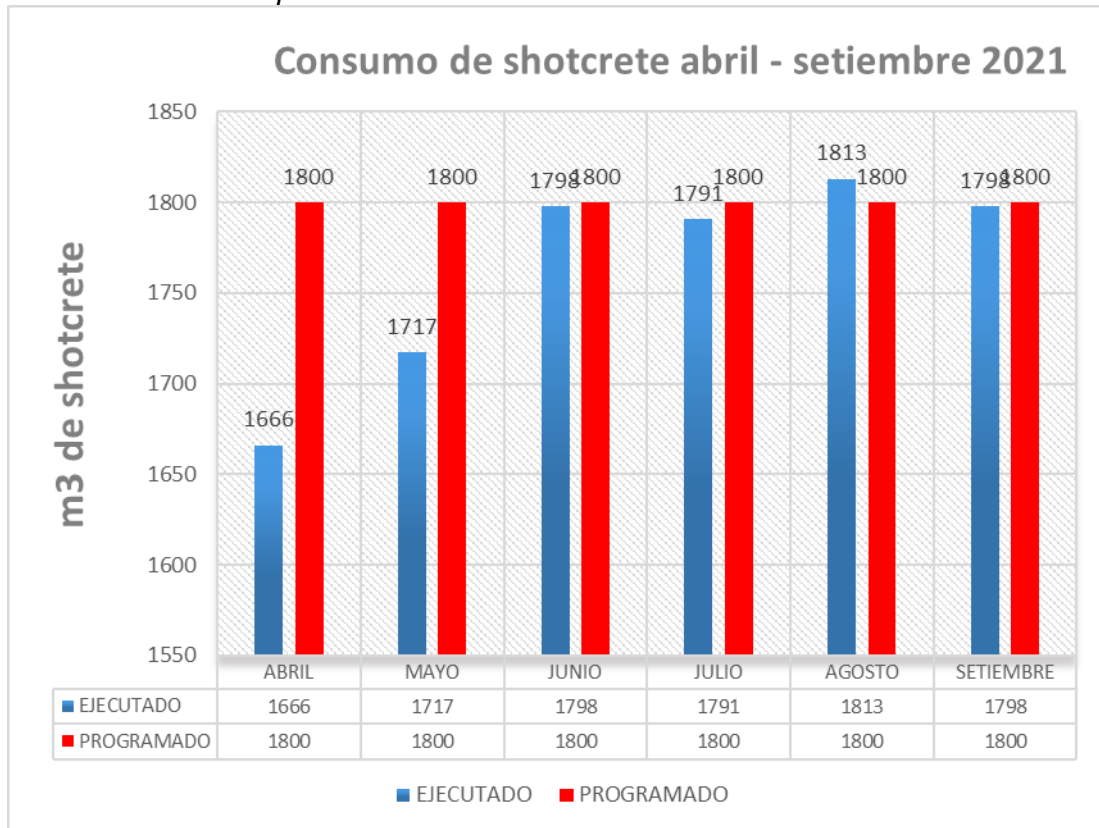
Por lo cual el costo de producción de shotcrete por metro cubico de la nueva dosificación comparada con la anterior es menor en \$4.20, lo que conllevara a una reducción de costos en el sostenimiento a partir del mes de julio 2021.

4.4 Análisis del consumo de shotcrete

El shotcrete en Catalina Huanca tiene programado la producción de 1800 m³, que es la cantidad promedio mensual requerida para las operaciones, cabe mencionar que esta cantidad puede variar a consecuencia de la calidad del macizo rocoso que presentan las labores. A continuación, en la figura 60 observaremos los m³ de shotcrete lanzados en los meses de abril a setiembre del 2021.

Figura 60

Consumo de shotcrete por mes



Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis en la reducción de costos

La nueva dosificación del shotcrete diseño $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, con dosificación de 380 kg de cemento por m³, comenzó su utilización desde el mes de julio hacia adelante, con lo cual podemos observar en el primer trimestre después de su implementación se tiene un consumo de 5 402 m³.

Tabla 27

Reducción de costo mensual en shotcrete con nueva dosificación

Mes	Consumo de shotcrete (m ³)	Diferencia x m ³ (USD)	Reduccion de costo mensual (USD)
Julio	1791	4.2	7,522.20
Agosto	1813	4.2	7,614.60
Setiembre	1798	4.2	7,551.60
TOTAL			22,688.40

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27 se puede visualizar que la reducción mensual promedio en cuanto al costo de sostenimiento con la nueva dosificación es de \$ 7,562.80, y para el primer trimestre después de su implementación la reducción fue de \$ 22,688.40. Esto proyectado para 1 año, la reducción en costos de sostenimiento será de \$ 90,753.60.

Conclusiones

Con un adecuado análisis en la dosificación del diseño de shotcrete se obtuvo una reducción de los costos de sostenimiento en \$ 22, 688.40 en el primer trimestre y se tiene proyectado una reducción anual de \$ 90,753.60. Esto se pudo llevar a cabo con el análisis de cada uno de los insumos del shotcrete y la elaboración de una nueva dosificación, en la que se redujo 20 kg de cemento por m³ respecto a la dosificación anterior, cumpliendo los requerimientos en calidad de Catalina Huanca para el shotcrete.

El agregado es uno de los insumos de mayor variabilidad en cuanto características de humedad, absorción, granulometría, módulo de fineza y contenido de finos; por lo cual su control estricto de estas características es necesario para realizar ajustes a la dosificación; ya que esto influye directamente en sus resistencias tempranas y finales, las cuales deben llegar a 2 Mpa a las 3 horas y 300 kg/cm² a los 28 días respectivamente; según el requerimiento de Catalina Huanca para sus operaciones. Estas características del agregado también influyen en su trabajabilidad del concreto la cual debe estar en un rango de 6" a 8" de slump para un óptimo lanzamiento de shotcrete.

Los controles de calidad del shotcrete en su estado endurecido son de suma importancia ya que con ello se asegura que se trabaje con un shotcrete de calidad la cual se garantice su estabilidad una vez lanzada en la labor; la resistencia temprana y final que se obtuvieron con la nueva dosificación son 2.37 Mpa a las 3 horas y 454 kg/cm² en promedio a los 28 días respectivamente, superando los requerimientos establecidos por la unidad minera.

Recomendaciones

A fin de tener una mejor calidad en cuanto al agregado, se debe realizar visitas periódicas a las canteras de los proveedores; y poder ayudar en cuanto a los controles de calidad en su extracción y gradación del agregado. También verificar el estado de sus mallas y controles de contaminación con materiales mayores a 1/2". En cuanto se trabaje con más de 1 proveedor los agregados tendrán diferentes características por ello se debe implementar una zona de acopio adecuado para no contaminar nuestro agregado con materiales del suelo y un techo para que la humedad no se eleve con las lluvias, después de ello se deben homogenizar los materiales y tener un solo tipo de agregado con el cual trabajar.

Se debe implementar el control de calidad de shotcrete en ambas guardias, ya que el operador de planta debe tener las correcciones por humedad y absorción para realizar una adecuada dosificación de insumos del shotcrete en los despachos a los tornados. También se debe realizar controles en interior mina en cuanto al comportamiento del shotcrete en su estado fresco y endurecido.

Se puede realizar nuevas dosificaciones de shotcrete a fin de reducir a un mayor los costos, pero también se debe tener en cuenta los requerimientos y estándares solicitados; la nueva dosificación dependerá de que se busca como resultado, si en caso un mayor requerimiento de F'c, un menor tiempo de reanudación de las operaciones, una mejor trabajabilidad, un menor % de rebote entro otros y luego de ello realizar un análisis costo - beneficio.

Referencias bibliográficas

Bracamonte, J.R. (2014), “Concreto lanzado en la industria minera, construcción y tecnología en el concreto.”

Camarena Cosme F. (2016). “Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción del lanzado de la Empresa Especializada Robocon S.A.C. En la mina San Cristóbal – CIA Minera Volcan S.A.A.”

Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C. (2020). “Plan de Minado 2020”. Ayacucho.

Clará, P.A.; Montes, R.A; Morales, J.A. (2006), “Concreto lanzado: Diseño de mezcla y propuesta de metodología para el control de calidad”.

Degussa construcción chemical. (2003). “Tecnología Shotcrete”. Boletín técnico

Díaz, L. J. (2014). “Shotcrete vía húmeda su importancia como elemento de sostenimiento en minería”. Instituto de Ingenieros de minas del Perú.

Guillen, R.B. (2019), “Mejoramiento del diseño de shotcrete vía húmeda en unidad minera Animon”.

Mamani, J.E. (2021), “Diseño y optimización de costos y calidad de concreto lanzado en túneles de la central hidroeléctrica puno”.

Melbye, T. (2002), “Shotcrete para soporte de rocas”; segunda edición, editorial MBT International Underground Construction Group, Division of MBT (Switzerland) Ltd.

Ortega, A.E. (2020), “Influencia del aditivo superplastificante y fibra sintética en el diseño de Shotcrete, aplicado como elemento de sostenimiento del macizo rocoso en la Mina Uchucchacua”.

Ramos, E.F. (2017), “Diseño de la mezcla convencional y concreto lanzado (shotcete) para obtener un concreto de buena calidad; en la compañía minera Volcan s.a. unidad Andaychagua”.

Rojas, J.S. (2021), “Diseño y aplicación de shotcrete vía húmeda en la rampa principal 565 zona de cuerpos del nivel 21 de la compañía minera Alpayana s.a.”.

Torres, L.R. (2016), "diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal – Minera Bateas.

Anexos



	Pág.
Anexo 1: Registro de ensayo a la compresión simple a probetas de shotcrete.....	2
Anexo 2: Registro de ensayo de humedad de agregado.....	3
Anexo 3: Registro de ensayo de pérdida de asentamiento de concreto.....	4
Anexo 4: Planta de shotcrete.....	5
Anexo 5: Muestreo de concreto para medir slump.....	5
Anexo 6: Medición de slump.....	6
Anexo 7: Muestreo de paneles de shotcrete.....	6
Anexo 8: Supervisión a canteras de agregados.....	7
Anexo 9: Implementación de geomembrana en zona de acopio.....	7
Anexo 10: Matriz de consistencia del trabajo de investigación.....	8

Anexo 1: Registro de ensayo a la compresión simple a probetas de shotcrete

	CATALINA HUANCA S.M S.A.C.											Código: PLAN-R-011	
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION											Versión: 01	
	"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO; RESPONSABILIDAD DE TODOS"											Fecha: 12/06/2018	
	REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESION A PROBETAS DE SHOTCRETE											Página: 1/1	
ENSAYOS DE PROBETAS DEL AREA DE GEOMECANICA													
N°	Identificación de la muestra	f'c	Fecha de Extracción	Hora de Extracción	Fecha de Ensayo	Hora de Ensayo	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm)	Carga (kg)	Factor de coreccion	Resistencia a la compresion (Mpa)	Resistencia promedio



Fuente: Área de Geomecánica de Catalina Huanca

Anexo 2: Registro de ensayo de humedad de agregado

	CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.C.				Código: PLAN-R-07		
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION				Versión: 01		
	"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO; RESPONSABILIDAD DE TODOS"				Fecha: 12/06/2018		
	REGISTRO: ENSAYOS PORCENTAJES DE HUMEDAD DE AGREGADO				Página: 1/1		
N°	PROCEDENCIA	FECHA	HORA	TURNO	PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	PESO MUESTRA SECA (gr)	

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Anexo 3: Registro de ensayo de perdida de asentamiento de concreto

		CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.C.			Código: PLAN-R-08					
		SISTEMA INTEGRADO DE GESTION			Versión: 01					
		"SEGURIDAD COMPROMISO DE UNO; RESPONSABILIDAD DE TODOS"			Fecha: 12/06/2018					
		REGISTRO: ENSAYOS DE PERDIDA DE ASENTAMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS					Página: 1/1			
FECHA	TURNO	CANTIDAD DE AGUA USADA (Lt/m ³)	CANTIDAD DE CEMENTO USADA (Kg/M ³)	CANTIDAD DE AGREGADO USADA (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³)	SLUMP	T (C)	T (A)	P. U. C.	OBSERVACIONES

Fuente: Área de Geomecánica Catalina Huanca

Anexo 4: Planta de shotcrete



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Muestreo de concreto para medir slump



Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Medición de slump



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Muestreo de paneles de shotcrete



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Supervisión a canteras de agregados



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Implementación de geomembrana en zona de acopio



Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Matriz de consistencia del trabajo de investigación

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿En qué medida una inadecuada dosificación en el diseño de shotcrete afectará negativamente en los costos en procesos de minería subterránea?	Elaborar una nueva dosificación en el diseño de shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea.	Un adecuado análisis de la dosificación en el diseño de shotcrete influirá en reducir los costos en procesos de minería subterránea.	Costos en procesos de minería subterránea.	Dosificación en el diseño de shotcrete.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Resistencia a compresión del shotcrete. ➤ Slump del shotcrete en el tiempo. ➤ Costo de elaboración del shotcrete. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros de ensayos de resistencia a la compresión simple del shotcrete. ➤ Registros de slump del shotcrete. ➤ Revisión de informes de costos de la unidad minera.

Fuente: Elaboración propia