

# Reciclaje del relave en la optimización del concreto lanzado en minera Cuzcatlan, Oaxaca - México

## Tailings recycling in the optimization of shotcrete at minera Cuzcatlan, Oaxaca - Mexico

Sergio Raúl Huaicane Mullisaca<sup>1</sup>

Recibido: 20/12/2022 - Aprobado: 22/02/2023 – Publicado: 30/03/2023

### RESUMEN

Las compañías mineras generan relaves como producto de su tratamiento metalúrgico, cubriendo enormes cantidades de terreno, generando contaminación y peligros al ecosistema, así mismo, la optimización y el incremento de la producción minera avanza rápidamente siendo ello un factor importante y preocupante en este sector, pues, en este caso específico, se busca generar nuevas alternativas para reciclar este relave y aplicarlo en otras actividades, surgiendo una oportunidad en optimizar los costos de sostenimiento sobre todo el cemento que se utiliza para la fabricación del concreto lanzado, ya que por el elevado costo se podría aprovechar este relave como un componente del concreto. Para desarrollar este trabajo de investigación se emplearon las técnicas de recolección de data y la metodología de la observación directa, debido a que se realizaron diferentes tipos de análisis físico-mecánicos y petrominerográficos como un solo componente y en combinación con los demás elementos del concreto; los resultados fueron alentadores, se logró integrar el relave al concreto y se establecieron nuevos diseños de mezcla, así mismo, este trabajo generara líneas de investigación para continuar en la búsqueda de nuevas aplicaciones del relave en otras actividades del sector.

**Palabras claves:** Concreto lanzado, reciclaje del relave, contaminación, tratamiento metalúrgico, sostenimiento.

### ABSTRACT

Mining companies generate tailings as a product of their metallurgical treatment, covering large amounts of land, generating pollution and hazards to the ecosystem, also, the optimization and increase of mining production is advancing rapidly being an important and worrying factor in this sector, because, in this specific case, it seeks to generate new alternatives to recycle this tailings and apply it in other activities, arising an opportunity to optimize the costs of support especially the cement used for the manufacture of shotcrete, since the high cost could take advantage of this tailings as a component of the concrete. To develop this research work, data collection techniques and the methodology of direct observation were used, because different types of physical-mechanical and petrominerographic analysis were performed as a single component and in combination with the other elements of concrete; the results were encouraging, it was possible to integrate tailings into concrete and new mix designs were established, also, this work will generate lines of research to continue in the search for new applications of tailings in other activities of the sector.

**Keywords:** Shotcrete, tailings recycling, contamination, metallurgical treatment, sustenance.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Postgrado, Lima, Perú.  
Maestría en Geología, Mención Geotecnia. E-mail: [shuaicane@gmail.com](mailto:shuaicane@gmail.com) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9827-6563>

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el continuo desarrollo de las operaciones mineras a nivel mundial, se están generando desechos de relaves, muchas veces generando problemas al ecosistema, en la salud de la población y riesgo de contaminación de los terrenos agrícolas que se tienen en los alrededores, entonces independientemente de las leyes y reglamentos de cada país; este trabajo de investigación buscará estudiar y reciclar este material como parte de un componente cementicio en la fabricación del concreto lanzado como sostenimiento y según Coronel et al. (2022), las nuevas tecnologías constructivas y materiales son aplicados actualmente con más frecuencia en la búsqueda de mejoras de calidad del concreto y con los resultados obtenidos se propondrán alternativas para optimizar el costo y consumo de cemento ya que debido al abastecimiento del mercado externo no se pueden controlar los precios, pero es posible optimizar el consumo y hallar una aplicación al relave que es desechado integrándolo como parte del sostenimiento en la mina.

Actualmente diversos trabajos se han realizado con objetivos similares de aprovechar los relaves, sin embargo, depende de la composición química y del tipo de yacimiento al cual pertenece, por ejemplo, los resultados obtenidos incorporando relave minero del distrito de Ananea en Puno con un 3% y 6% respecto al peso total del cemento en un concreto de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> se asemejaron a la resistencia de un concreto normal sin relave, demostrando que el uso de relave como puzolana en las proporciones adecuadas con cemento disminuye el costo de producción, según Caceres y Larico (2017). También un trabajo con similares características en donde se analizó el comportamiento físico-mecánico del hormigón simple fabricado con arenas de relave del cantón de Portovelo en Loja – Ecuador logrando mejorar las resistencias a la compresión simple, y los valores a la flexión utilizando relave en proporciones del 5 y 10 % y es remplazado por el agregado y con el 5 % cuando es sustituido por cemento, según Medina (2017).

En cuanto al uso del concreto para minería subterránea, destaca la tendencia mundial hacia la implementación del concreto lanzado por vía húmeda, ya que en los últimos 15 a 20 años, ha aumentado en gran medida la variedad de trabajos para el soporte de rocas en distintas partes del mundo, de acuerdo con Bracamontes (2014), y ello es de mucha relevancia ya que el concreto lanzado debe cumplir ciertos parámetros técnicos y económicos considerando los tipos de materiales que se van a utilizar en su elaboración (cemento, agregados, agua, aditivos, fibras, acelerantes) y ajustarse a los requerimientos de seguridad, salubridad y control de calidad requerido por el área de geomecánica.

## II. MÉTODOS

Se tomaron muestras representativas a las que se realizaron diversos ensayos físicos y mecánicos, empleando como método de recolección de datos e información, la observación; a fin de poder describir por qué o de qué manera se produce una determinada situación o acontecimiento. Se enviaron a analizar una serie de muestras del relave con la finalidad de determinar sus principales características

petrográficas, físicas y mecánicas como un solo componente y en combinación con el cemento y demás elementos que conforman el concreto lanzado.

Para seleccionar la cantidad de muestra del Relave, se tomó como base los criterios de la Norma Mexicana NMX-C-030-ONNCCE-2004 de la Industria de la Construcción - Agregados – Muestreo, en donde se necesitaran 100 kilogramos de masa mínima de relave para realizar los análisis respectivos, la arena será de río obtenida de la cantera denominada San José del Progreso, el aditivo será el TamShot AFC que es un acelerante líquido libre de álcalis para hormigón proyectado, la fibra de acero será de la marca Dramix 80/60BG y el cemento utilizado es del tipo portland, compuesto de la marca Moctezuma. Con los resultados obtenidos se logrará determinar una nueva dosificación de concreto lanzado basado con la nueva proporción del relave que se requiere añadir al concreto y que cumpla con los parámetros de resistencia y propiedades físicas y mecánicas en conjunto con los agregados pétreos y cemento para ser utilizado en el sostenimiento.

## III. RESULTADOS

### 3.1. Análisis del relave

De acuerdo a las pruebas realizadas con proporciones diferentes entre las cantidades de cemento, relave y agua que se realizaron a las edades de 3, 7, 14 y 28 días y los tipos de ensayos a la compresión axial, relación agua cemento, absorción y porcentaje; se observa que el comportamiento de la resistencias iniciales y finales es sinuoso y los valores pico con valores altos de la absorción tiene que ver con la relación agua cemento y el porcentaje de relave utilizado, no todas las cantidades dieron resultados con valores sistemáticos ascendentes, se tuvieron que realizar varios diseños con diferentes proporciones hasta hallar la máxima resistencia y luego de ello comprobar que los valores disminuyen cuando se agrega más porcentaje de relave con incremento de la relación agua cemento; entonces de acuerdo al resultado de las muestras 2 y 5, estas presentan resultados alentadores con el uso de relave en un rango del 10% y 40%, con estos resultados se tiene datos preliminares satisfactorios que van de acuerdo con la solicitud del departamento de geomecánica para el sostenimiento, ver Tabla 1.

### 3.2. Análisis de agregados

De acuerdo con Andía (2019) existe una variación entre el contenido de agregado y la resistencia, donde las distintas resistencias variarán en función de los contenidos de agregados grueso y finos, siendo esta variación función, principalmente de la relación del agua con cemento y del contenido total de agua, al respecto se han realizado una serie de análisis, reduciendo la relación grava-arena con respecto al peso de los mismos; con la finalidad, de que se produzca la cantidad de cemento requerido de 1m<sup>3</sup>, y verificar la resistencia a la compresión, los resultados se muestran en la Tabla 2.

Con los resultados obtenidos se preparó la primera dosificación de mezcla de concreto consistente en cemento, agua, arena, grava y relave; estos análisis se realizaron posterior a los diseños de concreto con relave, con la finalidad de obtener una mejor fluidez, ver Tabla 3.

**Tabla 1.** Resumen de ensayos obtenidos para el relave

N°	Relación a/c	Absorción (%)	Resistencias (MPa)				Relave (%)
			3 días	7 días	14 días	28 días	
1	0.46	5.4%	77.2	108.4	161.2	266.8	0.0%
<b>2</b>	<b>0.48</b>	<b>7.7%</b>	<b>105.6</b>	<b>133.2</b>	<b>165.2</b>	<b>285.6</b>	<b>10.0%</b>
3	0.51	4.3%	69.6	121.2	137.6	232.4	20.0%
4	0.54	5.9%	60.8	128.4	148.0	252.8	30.0%
<b>5</b>	<b>0.58</b>	<b>7.3%</b>	<b>108.0</b>	<b>147.2</b>	<b>175.2</b>	<b>305.6</b>	<b>40.0%</b>
6	0.71	3.2%	56.8	92.4	120.4	164.8	50.0%
7	0.86	5.1%	55.2	76.8	93.2	104.8	60.0%
8	1.03	2.0%	31.2	69.2	74.8	82.4	70.0%
9	1.7	0.9%	12.0	21.2	26.8	39.2	80.0%
10	3.2	0.6%	6.8	8.8	96.0	20.4	90.0%

Diferentes porcentajes de relave utilizado para hallar las resistencias a la compresión.

**Tabla 2.** Resistencia a la compresión.

Mezcla N°	Grava (gr)	Arena (gr)	Relación G/A	Cantidad G-A	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	144.20	1297.80	0.11	7%-61%	261.0
2	288.40	1153.60	0.25	14%-55%	307.0
3	432.60	1009.40	0.43	20%-48%	418
4	576.80	865.20	0.67	27%-41%	390
5	721.00	721.00	1.00	34%-34%	441
6	865.20	576.80	1.50	41%-27%	398
7	1009.40	432.60	2.33	48%-20%	358.0
8	1153.60	288.40	4.00	55%-14%	324.0
9	1297.80	144.20	9.00	61%-7%	288.0

Resistencias de las mezclas analizadas con diferentes porcentajes de arena y grava.

**Tabla 3.** Proporción de diseño de mezcla

Materiales	Cantidad	
	Peso	Proporción
Cemento (gr)	285.00	14%
Agua (ml)	230.00	11%
Arena (gr)	1297.80	61%
Grava (gr)	144.20	7%
Relave (gr)	154	7%
Total	2111.00	100%

Diseños de mezclas de concreto considerando porcentajes de relave.

Para obtener los resultados del comportamiento del agregado, se realizaron análisis de granulometría a la grava y arena, de acuerdo a la norma ASTM C128-12 y NMX-C111-ONNCC-2004; en donde se concluye, que el agregado utilizado está ligeramente por debajo de la línea inferior estándar según NMX-C111-2004, por lo que se tuvo que realizar un ajuste para el diseño del concreto, en la Figura 1 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino y en la Figura 2 se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso.

Después de realizar los ensayos a los agregados, se procedió a diseñar mezclas consistentes en grava, arena, relave, cemento y agua, en proporciones adecuadas; y los resultados obtenidos fueron interesantes, específicamente se trabajó en el comportamiento de dichos resultados ya que se ensayaron con diferentes proporciones de grava – arena de 20% a 48%, para obtener una resistencia de 418 kg/cm<sup>2</sup>. Siendo este resultado, el más adecuado para su aplicación por vía húmeda; debido a la proporción de los agregados, ya que no se taponaba la boquilla del robot lanzador, ver Tabla 4.

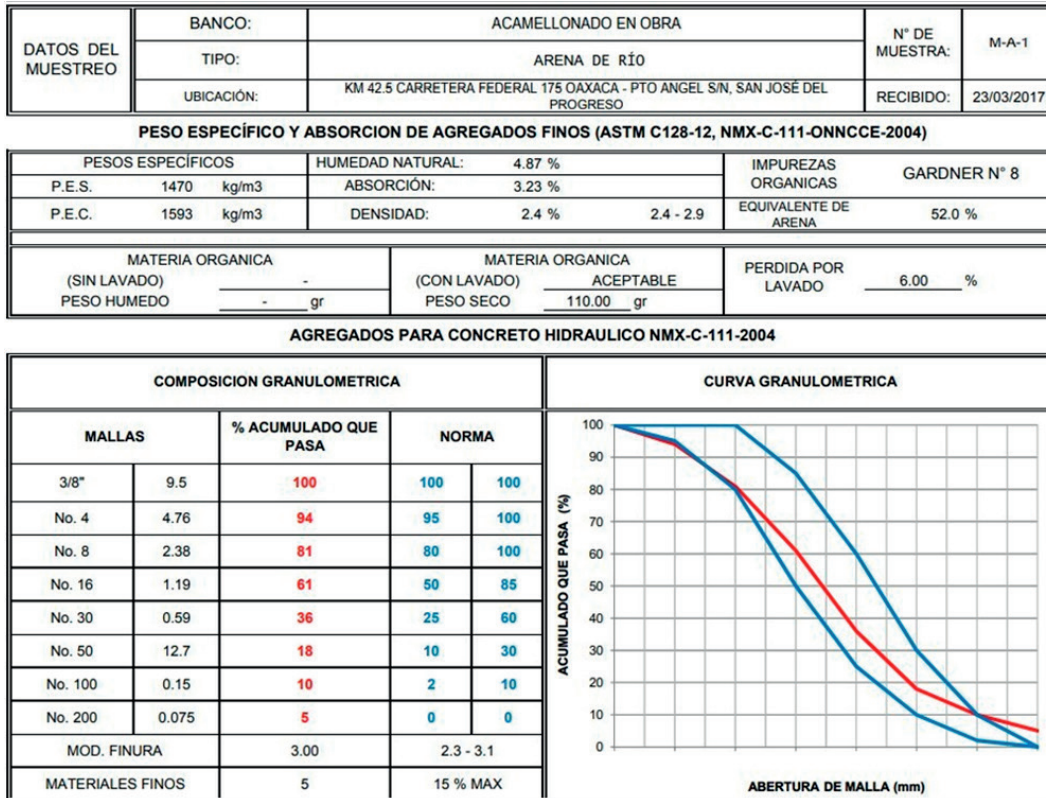


Figura 1. Análisis del agregado fino.

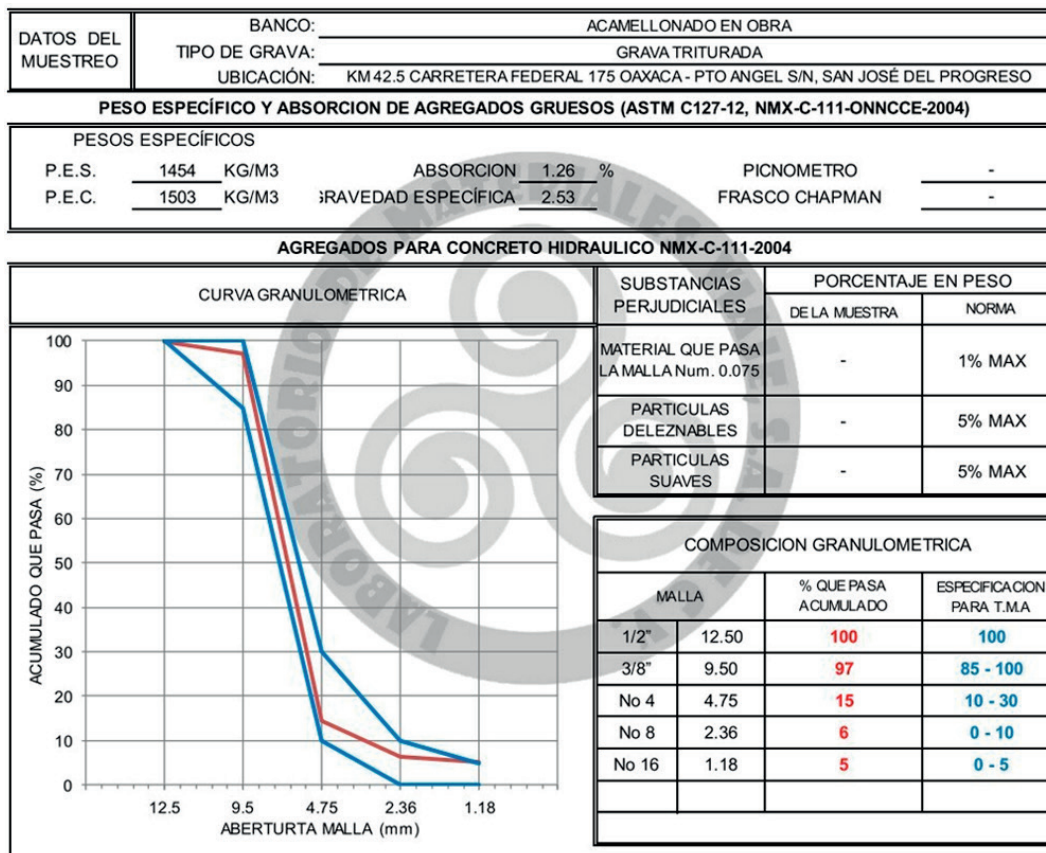


Figura 2. Análisis del agregado grueso.

### 3.3. Análisis de aditivo acelerante.

La función principal del aditivo consiste en complementar o mejorar las características del concreto, y obtener un producto que satisfaga las condiciones de colocación, resistencia y durabilidad del mismo de acuerdo a las condiciones climáticas y temperatura del lugar de trabajo. Para este estudio, se ha utilizado el aditivo TamShot 70 AFC, y la dosis recomendada por el fabricante indica que varía entre 3-10 % del peso del cemento, según el efecto acelerador deseado.

En los ensayos realizados con cemento, agua y distintas cantidades de aditivo acelerante, se comprobó que a partir de una temperatura inicial de 22. 3° hasta los 32. 5°, el acelerante comienza a fraguar la mezcla inicial y luego tiende a estabilizarse, tal como se indica en la Tabla 5.

También, se realizaron análisis para observar el comportamiento del aditivo con el cemento; y los resultados indican que, a mayor consumo de aditivo acelerante la resistencia del cemento tiende a disminuir, tal como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 4.** Proporción de diseño de mezcla final

Mezcla	Materiales	Cantidad	
		Peso	Proporción
Cementante	Cemento (Kg)	285	14%
	Relave (kg)	154	7%
Agregados	Arena (kg)	1009	48%
	Grava (Kg)	433	20%
Agua (lt)		230	11%
Total			100%

*Diseños de mezclas de concreto considerando porcentajes de agregados.*

**Tabla 5.** Temperatura y tiempo de fraguado aditivo acelerante

Tiempo (min)	M-1 T°	M-2 T°	M-3 T°	M-4 T°	M-5 T°	M-6 T°	M-7 T°	M-8 T°	M-9 T°	M-10 T°	M-11 T°	M-12 T°	M-13 T°	M-14 T°
00:00	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
00:30	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	24.6	25.5	24.6	23.7	23.7	23.7	23.7	24.6
01:30	30	29.1	30.9	30.9	30.9	29.1	26.4	27.3	29.1	31.9	32.8	32.8	31.9	28.2
02:00	30	30	31.9	31.9	31.9	30	28.2	29.1	30.9	32.8	33.7	34.6	32.8	29.1
02:30	30	30	31.9	32.8	32.8	31.9	30	30	31.9	33.7	35.5	34.6	32.8	29.1
03:30	30	30	32.8	32.8	33.7	33.7	31.9	30.9	32.8	34.6	36.4	34.6	32.8	29.1

*Diseños de mezclas de concreto con aditivo acelerante.*

**Tabla 6.** Resistencia vs aditivo

Mezcla N°	Absorción	Resistencia (Kg/cm2)	Temperatura máxima	Porcentaje de aditivo	ph
1	4.24	0.120	30.0	0%	3
2	3.94	0.222	30.9	1%	3
3	3.25	0.153	32.8	2%	3
4	4.23	0.183	32.8	3%	3
5	1.04	0.170	33.7	4%	3
6	2.01	0.173	33.7	5%	3
7	3.96	0.182	31.9	6%	3
8	4.41	0.164	30.9	7%	3
9	6.05	0.126	32.8	7%	3
10	5.28	0.177	34.6	8%	3
11	6.56	0.139	36.4	9%	3
12	4.57	0.132	34.6	10%	3
13	4.57	0.138	32.8	11%	3
14	3.04	0.166	29.1	12%	3

*Nota: Se muestran los porcentajes de aditivos asociados a las resistencias obtenidas.*

### 3.4. Análisis petrográfico y minerográfico del relave

Se enviaron muestras de relave para analizar e identificar las especies mineralógicas presentes y porcentaje de las especies principales predominantes; siendo el cuarzo, el mineral predominante con un porcentaje mayor del 63%, Caolinita 10%, Feldespatos 6%, Hematita 6%, Calcita 4%, Goethita 3% y el resto de otros componentes (8%), tal como se muestra en la Tabla 7. Entonces debido a la mayor cantidad de cuarzo (SiO<sub>2</sub>), como un componente principal del relave, se logró tener resultados favorables similares a un adicionante puzolánico y para ello se tomó como referencia lo expuesto por Cano (2017) donde menciona la capacidad de la puzolana de generar resistencia por endurecimiento hidráulico, a partir de su reacción al encontrarse finamente molida con el hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>, destacando la capacidad de este último de generar propiedades cementantes en una formación nueva de compuestos estables al encontrarse a temperatura ambiente, por otro lado, la puzolana posee valores cementantes muy bajos o inexistentes al encontrarse en su estado puro y adquiere esta propiedad (resistencia por endurecimiento hidráulico)

de su reacción con el activador hidróxido de calcio, la cual incrementa la resistencia mecánica del concreto.

## IV. DISCUSIÓN

Después de realizar ensayos del comportamiento del cemento con el relave y diferentes ensayos de granulometría a los agregados, se elaboraron diseños de concreto con diferentes cantidades de relave en sustitución gradual del cemento y para ello se realizaron pruebas en donde se definió la resistencia a la compresión que generan entre sí, y estos resultados muestran que con un 40% de relave se alcanza la resistencia máxima, pudiendo con ello realizar la sustitución respecto al peso total del cemento, también manteniendo la relación agua/cemento y asegurando su funcionamiento; queda sustentado en los ensayos a las edades de 3, 7, 14 y 28 días, mediante la prueba de compresión axial simple, en la Tabla 8, se muestran los resultados del nuevo diseño del concreto incluyendo el relave.

Tabla 7. Análisis mineralógico y petrográfico del relave (%)

Especie Mineral	FECHA DE ANALISIS			Promedio
	02/05/2016	07/09/2016	18/03/2017	
Cuarzo	60	67	61	63%
Caolinita	10	10	11	10%
Feldespatos	7	7	5	6%
Hematita	6	6	5	6%
Goethita	4	4	2	3%
Clorita	4	0	1	2%
Biotita	2	0	1	1%
Calcita	2	2	8	4%
Pirita	2	1	1	1%
Esfalerita	1	0	3	1%
Calcopirita	0.8	1	0.4	1%
Oro Nativo	0.5	0.6	0.8	1%
Plata Nativa	0.4	0.5	0.5	0%
Ilmenita	0.1	0.1	0.2	0%
Covelita	0.2	0	0	0%
Bornita	0	0.1	0	0%
Galena	0	0	0.1	0%
				100%

Nota: De acuerdo al análisis petrográfico del relave, la presencia de cuarzo y arcillas es la que predomina.

Tabla 8. Nueva dosificación de concreto

MATERIALES	Proporción para un bulto de cemento		Cantidades para producir 1m <sup>3</sup> de concreto
	En peso (Kg)	En volumen (Botes)	En peso (Kg)
CEMENTO	50	1 bulto	285
AGUA	40	2	230
ARENA	177	6 2/9	1009
GRAVA	76	2 3/4	433
RELAVE	27	1	154

Nota: Dosificación de concreto incluyendo relave en un metro cubico.

En cuanto a la aplicación del relave y su aplicación en las labores subterráneas, se tuvo en cuenta aquellas obras mineras temporales y excavaciones que requieran concreto de hasta 2 pulgadas de espesor.

El seguimiento a esta nueva dosificación se realizó en dos estaciones instalando puntos de convergencia y de acuerdo con Ángeles (2021), este tipo de medición se vienen aplicando a muchos proyectos de excavación subterránea y para este caso se utilizará un registro de las obras, midiendo la deformación de la roca con un pivote laser que describe el movimiento del macizo rocoso de forma milimétrica; y con ello, predecir la velocidad de deformación del macizo rocoso.

La interpretación a los resultados de este tipo de control indica que el concreto lanzado cumplía con la función de sostenimiento del macizo rocoso y que ayudan a la estabilizar en el tiempo, los comentarios de las estaciones A y B colocadas son los siguientes:

- CA04\_1H1, del punto A1\_A2, se tiene un desplazamiento moderado de 1 mm, originado por error de medida. En el punto A3\_A2, se tiene un desplazamiento moderado de 3 mm. En el punto A3\_A1, hay desplazamiento de 2 cm, en las tablas debido a la presencia de una falla diagonal. En el punto A1\_A3, hay movimiento de 1.8cm; el pilar se estabiliza, pero al inicio hubo un movimiento 14.3 cm, por la presencia de una falla tensional.

Como conclusión el punto A3, ubicado en el hastial derecho de la cámara CA-04 (zona de falla tensional), logra

estabilizarse con la aplicación de esta nueva mezcla de concreto, tal como se muestra en la Figura 3.

- CA04\_CL2\_1H1, en el punto B1\_B2, se tiene un desplazamiento moderado de -2.9 mm, originado por error de medida. En el punto B3\_B2 hay un movimiento de 6.3 cm debido a una falla y que se va estabilizando a 2 cm a los 10 días de lectura. En el punto B3\_B1, hay un ligero movimiento en el punto B3, (Falla Bonanza); y que se estabiliza con el tiempo. En el punto B1\_B3, hay un ligero movimiento que realiza el punto B3, (Falla Bonanza); y que se estabiliza con el tiempo.

En conclusión, para esta estación en el punto B3, ubicado en la falla BV se estabiliza con el paso de los días, ver Figura 4.

En cuanto a los resultados del revenimiento y resistencias iniciales del concreto con relave, se realizó muestreos y controles al revenimiento de la mezcla dosificada, para cumplir con la especificación técnicas en llevar un control de revenimiento entre los 14 (+-2) cm; también sirvió para determinar el tiempo en el que se activa la mezcla desde la preparación hasta su punto de llegada en obra; llegando a determinar que la mezcla se activa pasado los 40 minutos; es decir, el revenimiento comienza a disminuir, y la mezcla comienza a endurecer, ver Figura 5.

Asimismo, para llevar un control acerca del desempeño de la nueva mezcla de concreto con relave, se procedió a realizar la misma dosificación con aditivo acelerante libre de álcalis y libre de cloruros (TamShot 70 AFC); con la finalidad de observar el comportamiento

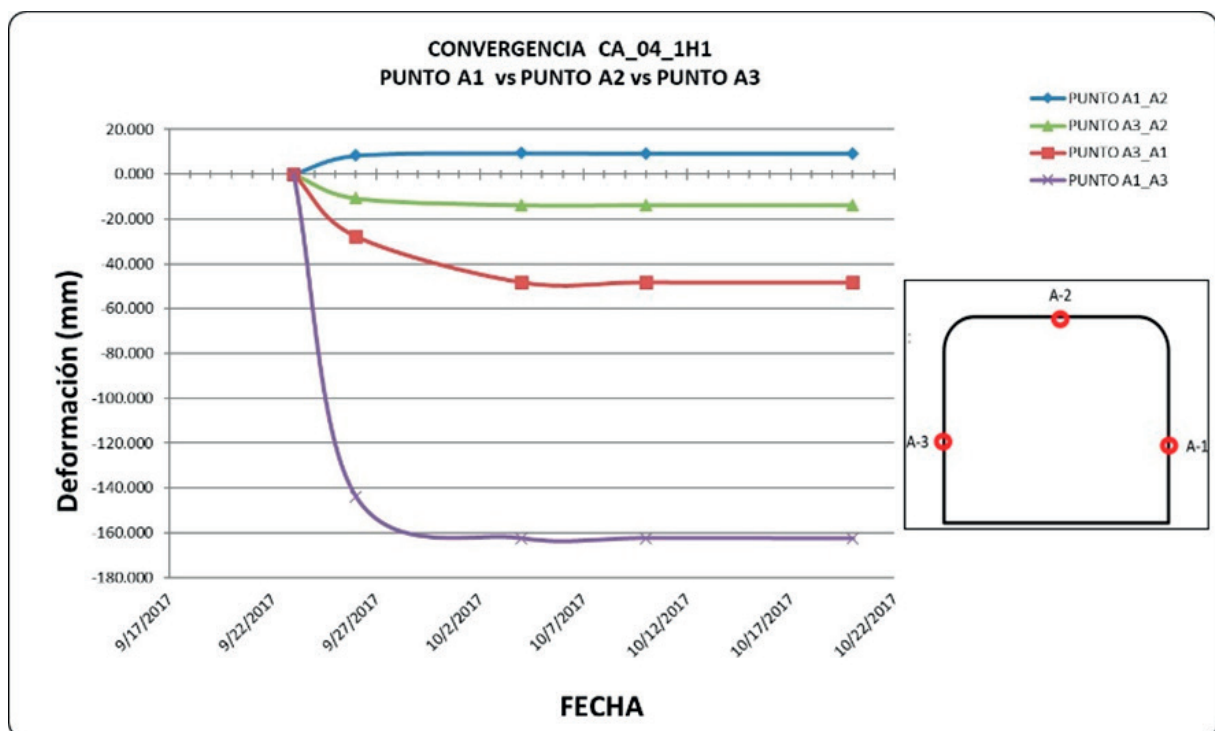


Figura 3. Convergencia Estación A, se muestra estabilización en el tiempo.

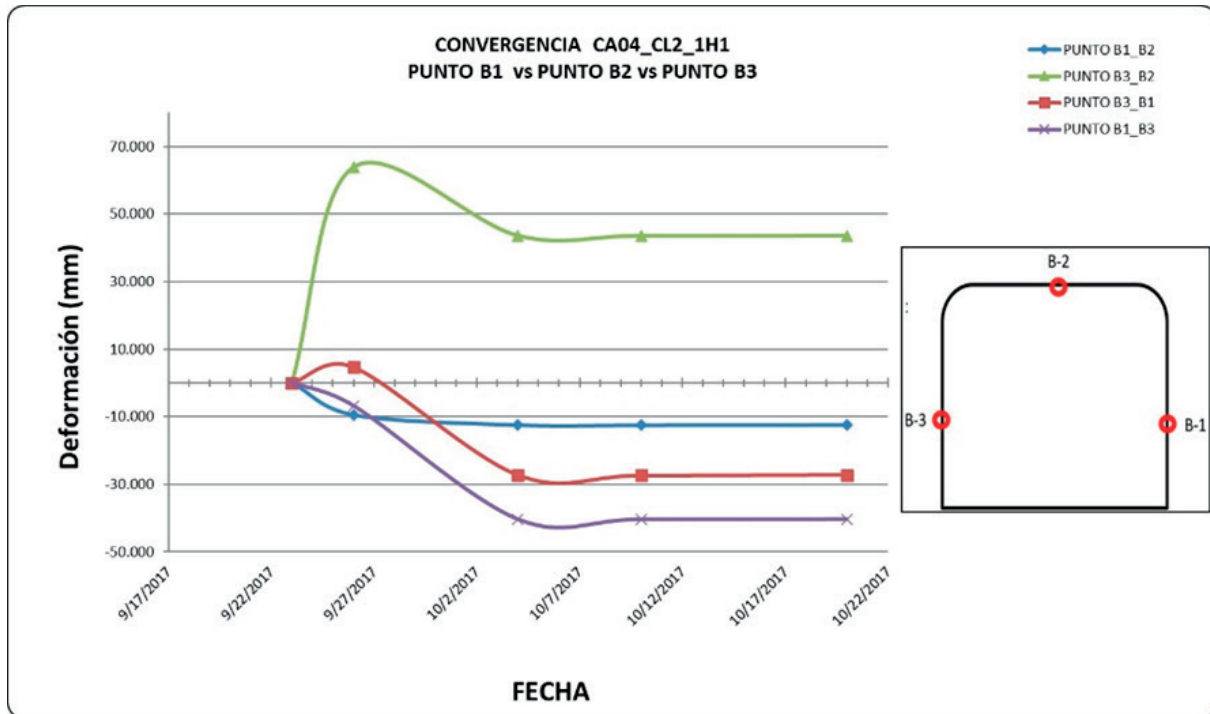


Figura 4. Convergencia Estación B, se muestra estabilización en el tiempo.



Figura 5. Control del revenimiento del concreto con relave.

del concreto a edades tempranas y permitir el ingreso del personal a realizar actividades complementarias de sostenimiento, entonces para medir las resistencias iniciales se utilizó la metodología de la aguja digital Mecmesin AFG 1000, como se ilustra en la Figura 6, y los resultados obtenidos del concreto lanzado con relave se muestran en la Tabla 9 y 10.

Entonces, tomando como base los estudios acerca del rendimiento temprano de mezclas de concreto realizado

por Clark et al. (2011) del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Canadá en donde indican que los trabajadores pueden ingresar a su obra minera después de 6 horas, y que su concreto haya desarrollado una resistencia a la compresión de mínima de 1 MPa, se está cumpliendo por encima de esta norma; es decir, que el nuevo concreto ha desarrollado una resistencia suficiente para ser autoportante, y puede permitir el colocado de los elementos de soporte restantes que requieren perforación en la capa de hormigón proyectado sin degradación.



**Tabla 9.** Velocidad de fraguado inicial en la Calle 1 Sur del TJ H1

Tiempo (Min.)	10	20	30	40	60	90	120	270	380	540
Resistencia. MPa	0.11	0.12	0.20	0.32	0.57	0.83	1.02	0.00	0.00	0.00

**Tabla 10.** Velocidad de fraguado inicial en la Calle 3 Sur del TJ H1

Tiempo (Min.)	10	20	30	40	60	90	120	270	380	540
Resistencia MPa	0.11	0.12	0.20	0.31	0.57	0.82	0.97	0.00	0.00	0.00

**Figura 6.** Medición de velocidad de fraguado del concreto con relave.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas experimentales del relave con diferentes porcentajes en sustitución del cemento permitieron conocer el comportamiento de la nueva mezcla y la manera cómo debía ser preparada para llegar a una resistencia adecuada y su aplicación como parte del sostenimiento en las labores con tiempo de vida temporal, es decir, en las cámaras de explotación cuyo tiempo de vida no excede el año de vida.

Conocer los componentes mineralógicos, petrográficos y su comportamiento en combinación con los componentes

del concreto lanzado permitió realizar análisis de las propiedades y características físico-mecánicas del relave; con la finalidad de poder trabajar una determinada mezcla de concreto, ya que puede variar de acuerdo con el tipo de yacimiento que explota cada mina, también es necesario conocer el tamaño de la granulometría del relave, en este caso fue menor de 200 micras; también el conocimiento de los componentes mineralógicos y petrográficos de este relave sirvió para poder compararlos con las puzolanas que existen en el mercado; en este caso en específico, se tiene un alto contenido de sílice (65% promedio) junto con otros componentes favorables para el diseño del concreto, como es arcilla, calcita y algunos feldspatos.

Los resultados de las combinaciones de grava y arena fueron importantes, ya que determinaron los tipos de resistencias que podían obtenerse y con ello modificar la mezcla del concreto a fin de que esta sea bombeable por el brazo robótico del equipo de lanzado.

Finalmente, el seguimiento que se realizó a la mezcla del lanzado de concreto con relave a las obras mineras, arrojó resultados inmediatos; sin embargo, destacar el cuidado que debe tenerse con las dosificaciones de los materiales, ya que surgieron dudas en cuanto a su desempeño por parte de la operación de mina; pero con el control del pivote laser, el control del revenimiento y el control de fraguado inicial del concreto, dieron resultados favorables para su aplicación.

## VI. AGRADECIMIENTOS

A los altos directivos de Compañía Minera Cuzcatlan y que estuvieron liderando la Gerencia General al Mg. Carlos Manrique Bellido por el apoyo técnico y las exigencias profesionales, al Mg. Percy Pascal Pérez por las sugerencias, ideas y observaciones, a la revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por permitirme dar a conocer mi artículo de investigación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andía, J. Y. (2019). Evaluación geotécnica del agregado morrénico y su influencia en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto - Sapallanga - Huancayo - Junín. (*Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con mención en Geotecnia*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10339>
- Ángeles, R. E. (2021). Modelo de monitoreo geológico- geotécnico mediante convergencias para definir el sostenimiento final de un túnel con fines civiles y mineros - túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cheves. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 13-25. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21704>
- Bracamontes, R. (2014). Concreto lanzado en la industria minera. *Revistacyt*, 9(11), 16-23. <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/portada/141-concreto-lanzado-en-la-industria-minera>
- Caceres, I. M., & Larico, J. L. (2017). Evaluación de mezclas de concreto  $f'c=175, 210$  y  $245 \text{ kg/cm}^2$  con relave minero del Distrito de Ananea - Putina - Puno. (*Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6692>
- Cano, E. I. (2017). Ceniza volante de carbón mineral para adición en mezclas de concreto. (*Título de Ingeniero Civil*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/7847>
- Clark, C. C., Stepan, M. A., Seymour, J. B., & Martin, L. A. (2011). EARLY STRENGTH PERFORMANCE OF MODERN WEAK ROCK MASS SHOTCRETE MIXES. *SME*, 63(1), 54-59. <https://me.smenet.org/abstract.cfm?articleID=204&page=54>
- Coronel, Y. C., Altamirano, L. F., & Muñoz, S. P. (2022). Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto. *Revista del Instituto de investigación de La Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(49), 321-329. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.20814>
- Medina, J. P. (2017). Comportamiento físico-mecánico del hormigón simple fabricado con arenas de relave de la planta de tratamiento y beneficio “reina del cisne”, código 390354, del cantón Portovelo, provincia de El Oro. (*Tesis de grado previa a la obtención de Título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial*). Universidad Nacional de Loja, Loja. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17925>