

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo de minado para la
Reducción de los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina
Inmaculada – Ayacucho 2024

Presentado por:

Mickey Serrano Ortega

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú
2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



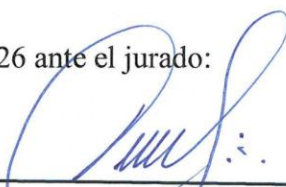
TESIS

**Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo de minado para la
Reducción de los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina
Inmaculada – Ayacucho 2024**

Presentado por **Mickey Serrano Ortega**, para optar el título Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 14 de enero de 2026 ante el jurado:

Presidente:



Mg. Feliciano Escobedo Silva

Primer miembro:



Ing. Juan Antonio Huamani Ayvar

Segundo miembro:



Mg. Francisco Calle Ramos

Asesor:



Mg. Oscar Eugenio Alvarez Gamarra



Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 008-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo de minado para la Reducción de los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho 2024**, presentada por el Bach. **Mickey Serrano Ortega**, para optar el título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (10%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 12 de enero del 2026

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

Dra. Hesméralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 031



Agradecimientos

Expreso mi sincero agradecimiento a los docentes de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, quienes, a lo largo de mi formación académica, contribuyeron con sus conocimientos, orientación y experiencia profesional al desarrollo de mis capacidades. Su dedicación y compromiso con la enseñanza fueron fundamentales para consolidar los aprendizajes necesarios que permitieron la realización de esta investigación.

Asimismo, agradezco a mi casa de estudios, la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por brindarme la formación académica, los recursos y el entorno adecuado para mi desarrollo profesional. La exigencia académica y los valores institucionales impartidos han sido clave para culminar con éxito esta etapa de mi vida universitaria.



Dedicatoria

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a mis padres, Manuel Serrano Espinoza y Marisol Ortega Huamán, por su esfuerzo constante, su apoyo incondicional y los valores que me inculcaron desde siempre. Gracias por ser mi ejemplo de perseverancia, responsabilidad y sacrificio, y por acompañarme en cada etapa de mi formación personal y profesional.

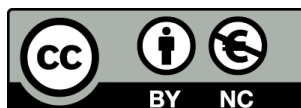
De manera muy especial, dedico este logro a mi esposa Sara Viviana Batallanos Becerra e hija Abigail Sarai Serrano Batallanos, quien es la principal motivación de mis metas y el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos. Su presencia en mi vida me inspira a superarme día a día, a no rendirme ante las dificultades y a construir un mejor futuro. Este logro es para ti, con todo mi amor y compromiso de seguir avanzando para darte el mejor ejemplo.



Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo de minado para la
Reducción de los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina
Inmaculada – Ayacucho 2024

Línea de Investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 Justificación de la investigación	7
1.4 Ubicación y contextualización	8
1.4.1 Ubicación	9
1.4.2 Accesibilidad	11
1.4.3 Contextualización	11
CAPÍTULO II	14
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	14
2.1 Objetivos de la investigación	14
2.1.1 Objetivo general	14
2.1.2 Objetivos específicos	14
2.2 Hipótesis de la investigación	14
2.2.1 Hipótesis general	14
2.2.2 Hipótesis específicas	14
2.3 Operacionalización de variables	15
CAPÍTULO III	16
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	16
3.1 Antecedentes	16
3.2 Marco teórico	18
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas más importantes de la masa rocosa	18
3.2.1.1 Clasificación de Deere (1967)	19
3.2.1.2 Clasificación de Bieniawski (1973, 1976, 1989)	20



3.2.1.3	Clasificación de Barton et al. (1974)	21
3.2.1.4	Correlaciones entre RMR y Q	22
3.2.2	Concreto lanzado (shotcrete)	23
3.2.2.1	Sistema por vía húmeda	24
3.2.2.2	Sistema por Vía Seca	24
3.2.2.3	Materiales	25
3.2.3	Sostenimiento	29
3.2.3.1	Tipos de Sostenimiento	30
3.2.3.2	Métodos Comunes de Sostenimiento	31
3.2.3.3	Factores a Considerar en el Sostenimiento	32
3.2.4	Costos unitarios	34
3.2.4.1	Estructura de costos en minería	34
3.2.4.2	Costos unitarios en operaciones mineras	35
3.3	Marco Conceptual	37
CAPÍTULO IV		40
METODOLOGÍA		40
4.1	Tipo y nivel de investigación	40
4.2	Diseño de la investigación	40
4.3	Descripción ética de la investigación	40
4.4	Población y muestra	41
4.4.1	Población	41
4.4.2	Muestra	41
4.5	Procedimiento	42
4.6	Técnica e instrumentos	43
CAPÍTULO V		45
RESULTADOS Y DISCUSIONES		45
5.1	Análisis de resultados	45
5.1.1	Características Mecánicas del concreto lanzado	45
5.1.1.1	Determinación de las características físicas del shotcrete en estado fresco mediante datos de laboratorio.	54
5.1.1.2	Características mecánicas del concreto lanzado aditivo MASTER ROC 160 S.A Antes	57
5.1.1.3	Características mecánicas del concreto lanzado aditivo MASTER ROC 193 S.A Después.	59
5.1.2	Determinas los tiempos de fraguado.	61

5.1.2.1	Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 160 S.A	62
5.1.2.2	Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 193 S.A	76
5.1.2.3	Resultado general: comparación de ambos	90
5.1.3	Determinar los costos operativos del concreto con aditivo MASTER ROC 160 S.A VS MASTER ROC 193 S.A.	91
5.1.3.1	Antes	91
5.1.3.2	Después	92
5.2	Discusión	95
CAPÍTULO VI		98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		98
6.1	Conclusiones	98
6.1.1	Conclusión general	98
6.1.2	Conclusiones específicas	98
6.2	Recomendaciones	100
6.2.1	Recomendación general	100
6.2.2	Recomendaciones específicas	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		102
ANEXOS		104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Accesibilidad de la unidad minera Inmaculada	11
Tabla 2 — Operacionalización de variables	15
Tabla 3 — Diferencias del proceso del shotcrete vía seca y shotcrete vía húmeda	25
Tabla 4 — Control de la granulometría del agregado	45
Tabla 5 — Determinación del % malla #200 teniendo como muestra representativa 7 días	46
Tabla 6 — Muestra el % malla #200 prueba N°1	49
Tabla 7 — Pruebas en laboratorio se obtuvo los siguientes datos para la determinación del módulo de fineza	50
Tabla 8 — Resultados acumulados del módulo de fineza	51
Tabla 9 — Características físicas del shotcrete en estado fresco mediante datos de laboratorio	54
Tabla 10 — Tipo de mezcla de concreto	58
Tabla 11 — Resistencia a la compresión diamantina	58
Tabla 12 — Diseño de shotcrete Master Roc 193 S.A	59
Tabla 13 — Resistencia a la compresión diamantina	60
Tabla 14 — Lugar de prueba (Penetrómetro)	62
Tabla 15 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)	63
Tabla 16 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)	65
Tabla 17 — Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa	68
Tabla 18 — Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 MPa	70
Tabla 19 — Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa	73
Tabla 20 — Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 160 S.A.	75
Tabla 21 — Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 193 S.A.	76
Tabla 22 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)	76
Tabla 23 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)	78
Tabla 24 — Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa.	82
Tabla 25 — Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 Mpa.	84
Tabla 26 — Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa	87

Tabla 27 — Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 193 S.A	89
Tabla 28 — Resultado general: comparación de ambos	90
Tabla 29 — Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 160 S.A.	91
Tabla 30 — Escenario a evaluar	91
Tabla 31 — Consumo de aditivo total	91
Tabla 32 — Costo de insumos (aditivo)	91
Tabla 33 — Costo de dosificando de planta mezcladora	92
Tabla 34 — Costo de transporte	92
Tabla 35 — Costo de lanzado	92
Tabla 36 — Costo de lanzado	92
Tabla 37 — Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 193 S.A	92
Tabla 38 — Escenario a evaluar	93
Tabla 39 — Consumo de aditivo total	93
Tabla 40 — Costo de Insumos	93
Tabla 41 — Costo de dosificando de planta mezcladora	93
Tabla 42 — Costo de transporte	94
Tabla 43 — Costo de lanzado	94
Tabla 44 — Costo total del shotcrete mensual	94
Tabla 45 — Resultado general: comparación de ambos	94
Tabla 46 — Matriz de consistencia ambos	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Ubicación integral de las operaciones de la unidad minera en Perú	10
Figura 2 — Aditivos superplastificantes	28
Figura 3 — Aditivos superplastificantes	29
Figura 4 — Grafico del comportamiento de la granulometría a 7 días	46
Figura 5 — Límite máximo permisible malla 200	49
Figura 6 — Parámetros permisible módulo de fineza	52
Figura 7 — Características físicas del agregado para el shotcrete en plantas	53
Figura 8 — Norma Astmc-143	54
Figura 9 — Rendimiento Norma ASTM 138	55
Figura 10 — Norma ASTM C138	55
Figura 11 — Norma ASTM 231 % de aire en concreto	56
Figura 12 — Norma ASTM C 1064 Temperatura	57
Figura 13 — Ficha técnica MasterRoc	57
Figura 14 — Ficha técnica sica	59
Figura 15 — Cuadro estadístico del método A y B	66
Figura 16 — Resumen de cálculo de resistencias tempranas	67
Figura 17 — Cuadro estadístico de resistencias a 7 días	70
Figura 18 — Cuadro estadístico de resistencias a 14 días	72
Figura 19 — Cuadro estadístico de resistencias a 28 días	75
Figura 20 — Cuadro estadístico del método A y B	80
Figura 21 — Resumen de cálculo de resistencias tempranas	81
Figura 22 — Cuadro estadístico de resistencias a 7 días	84
Figura 23 — Cuadro estadístico de resistencias a 14 días	86
Figura 24 — Cuadro estadístico de resistencias a 28 días	89
Figura 25 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro	106
Figura 26 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro	107
Figura 27 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro	108
Figura 28 — Procedimiento abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie	109

Figura 29 — Procedimiento abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie	110
Figura 30 — Procedimiento Abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie	111
Figura 31 — Procedimiento traslado de robot lanzador	112
Figura 32 — Procedimiento traslado de robot lanzador	113
Figura 33 — Procedimiento traslado de robot lanzador	114
Figura 34 — Procedimiento lanzado de concreto vía húmeda con robot lanzador Alpha 20	115
Figura 35 — Procedimiento lanzado de concreto vía húmeda con robot lanzador Alpha 20	116
Figura 36 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha 20	117
Figura 37 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha 20	118
Figura 38 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha 20	119
Figura 39 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha 20	120
Figura 40 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4	121
Figura 41 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4	122
Figura 42 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4	123
Figura 43 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4	124
Figura 44 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4	125
Figura 45 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE	126
Figura 46 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE	127
Figura 47 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE	128
Figura 48 — Sika sigunit SA 193 (LTS)	129
Figura 49 — Muestra de agregado y calidad de concreto	130
Figura 50 — Determinación de temperatura y slaump	130
Figura 51 — muestras de probetas para las resistencias a 14 días	131
Figura 52 — prensa de compresión simple	131
Figura 53 — Muestreo de resistencias iniciales	132
Figura 54 — Muestreo de resistencias iniciales	132
Figura 55 — Lanzado de shotcret	132

Figura 56 — Lanzado e shotcret	132
Figura 57 — Determinacion de la resistencia del concreto mediante ensayo de compresión uniaxial	132
Figura 58 — Muestreo y seguimiento de resistencias tempranas del concreto lanzado en interior mina, parte 1	132
Figura 59 — Muestreo y seguimiento de resistencias tempranas del concreto lanzado en interior mina, parte 2	132

INTRODUCCIÓN

La minería subterránea constituye una actividad fundamental para el desarrollo económico del Perú, especialmente en regiones con alta actividad minera como Ayacucho, donde la eficiencia operativa, la seguridad y la optimización de costos representan factores clave para la sostenibilidad de las operaciones. En este contexto, el sostenimiento de labores subterráneas mediante el uso de concreto lanzado (shotcrete) se ha consolidado como una de las técnicas más utilizadas, debido a su capacidad para mejorar la estabilidad del macizo rocoso y garantizar condiciones seguras de trabajo en las labores de producción.

Dentro del ciclo de minado, el concreto lanzado cumple un rol estratégico, ya que su desempeño influye directamente en la continuidad de las operaciones, los tiempos de avance y los costos operativos asociados. Uno de los aspectos críticos en su aplicación es el tiempo de fragua, debido a que un fraguado lento genera tiempos de espera prolongados, interrupciones en el ciclo de minado y mayores costos operativos; mientras que un fraguado adecuadamente optimizado permite acelerar las operaciones, mejorar la productividad y reducir costos sin comprometer la resistencia ni la seguridad estructural del sostenimiento.

En los últimos años, el desarrollo de aditivos acelerantes de alto rendimiento ha permitido optimizar el comportamiento del concreto lanzado, especialmente en términos de resistencias tempranas y control del tiempo de fragua. Sin embargo, la implementación de estos aditivos debe ser evaluada técnica y económicamente, considerando las condiciones específicas de cada unidad minera. En la Mina Inmaculada, ubicada en la región Ayacucho, se ha identificado la necesidad de optimizar el tiempo de fragua del concreto lanzado con el fin de mejorar el ciclo de minado y reducir los costos operativos asociados a las labores de producción.

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo determinar cómo la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado contribuye a la reducción de los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho durante el año 2024. Para ello, se realiza un análisis comparativo del desempeño técnico y económico de los aditivos acelerantes MASTER ROC 160 S.A. y MASTER ROC 193 S.A., evaluando sus características mecánicas, los tiempos de fraguado y su impacto en los costos operativos del ciclo de minado.



La investigación adopta un enfoque aplicado, orientado a brindar soluciones técnicas viables para la mejora de la eficiencia operativa en minería subterránea. Los resultados obtenidos permiten demostrar que la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado no solo mejora el desempeño mecánico del sostenimiento, sino que también genera beneficios económicos significativos al reducir tiempos improductivos, mejorar la continuidad operacional y aumentar la rentabilidad de las labores de producción. En este sentido, el estudio aporta información relevante para la toma de decisiones técnicas y económicas, contribuyendo al fortalecimiento de las prácticas de sostenimiento y optimización de costos en operaciones mineras subterráneas.



RESUMEN

En la minería subterránea, el concreto lanzado constituye un elemento fundamental dentro del sistema de sostenimiento, ya que influye directamente en la seguridad, la continuidad operativa y los costos asociados al ciclo de minado. En la Mina Inmaculada, ubicada en la región Ayacucho, se ha identificado que los tiempos de fragua del concreto lanzado generan demoras operativas, incrementando los tiempos de espera y los costos operativos en las labores de producción. Frente a esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo general determinar cómo la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado contribuye a la reducción de los costos operativos, aplicado a las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024. Para ello, se evaluaron las características mecánicas del concreto lanzado, los nuevos tiempos de fraguado y los costos operativos asociados, mediante un análisis comparativo entre los aditivos acelerantes MASTER ROC 160 S.A. y MASTER ROC 193 S.A. Los resultados obtenidos evidencian que el uso del aditivo MASTER ROC 193 S.A. permite un desarrollo superior de resistencias tempranas, alcanzando 2.53 MPa a las 2 horas de lanzado, frente a 2.04 MPa obtenidos con el aditivo convencional, además de mantener una mayor resistencia final a los 28 días. Asimismo, la optimización del tiempo de fragua redujo los tiempos de espera operativa y mejoró la continuidad del ciclo de minado. El análisis económico demostró que, pese a un mayor costo unitario inicial, la aplicación del MASTER ROC 193 S.A. generó una ganancia neta de US\$ 48,181.50, confirmando su viabilidad técnica y económica. En conclusión, la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado constituye una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos operativos en minería subterránea.

Palabras clave: *Aditivo acelerante, costos operativos, estabilidad geotécnica, minería subterránea.*



ABSTRACT

In underground mining, shotcrete is a fundamental element of the support system, directly influencing safety, operational continuity, and the costs associated with the mining cycle. At the Inmaculada Mine, located in the Ayacucho region, it has been identified that shotcrete setting times cause operational delays, increasing waiting times and operating costs in production activities. To address this problem, the general objective of this research was to determine how optimizing the setting time of shotcrete in the mining cycle contributes to reducing operating costs, specifically for production activities at the Inmaculada Mine – Ayacucho, 2024. To this end, the mechanical characteristics of shotcrete, the new setting times, and the associated operating costs were evaluated through a comparative analysis of the accelerating admixtures MASTER ROC 160 S.A. and MASTER ROC 193 S.A. The results obtained demonstrate that the use of the MASTER ROC 193 S.A. admixture... It allows for superior early strength development, reaching 2.53 MPa two hours after application, compared to 2.04 MPa obtained with the conventional additive, while also maintaining higher final strength at 28 days. Furthermore, optimizing the setting time reduced operational downtime and improved the continuity of the mining cycle. Economic analysis demonstrated that, despite a higher initial unit cost, the application of MASTER ROC 193 S.A. generated a net profit of US\$ 48,181.50, confirming its technical and economic viability. In conclusion, optimizing the setting time of shotcrete is an effective strategy for improving operational efficiency and reducing operating costs in underground mining.

Keywords: *Accelerating additive, operating costs, geotechnical stability, underground mining.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

a) Internacional

El shotcrete o concreto lanzado se ha consolidado a nivel internacional como uno de los sistemas de sostenimiento estructural más eficientes en minería subterránea, debido a su capacidad de proporcionar confinamiento inmediato y mejorar la estabilidad de las excavaciones. En los últimos años, diversas investigaciones y proyecciones del sector minero han orientado sus esfuerzos hacia la optimización de su desempeño mediante el uso de aditivos de nueva generación, con la finalidad de reducir el tiempo de fragua, incrementar la resistencia temprana y mejorar la eficiencia del ciclo de minado. Sin embargo, pese a los avances tecnológicos, organismos internacionales como el International Council on Mining and Metals reportan que una proporción considerable de accidentes mortales en minería subterránea continúa relacionada con fallas en el sostenimiento y caída de rocas, problemática que, según tendencias proyectadas para los próximos años, podría incrementarse debido a la profundización de las explotaciones, mayores esfuerzos geomecánicos y condiciones geotécnicas cada vez más complejas.

Experiencias desarrolladas en operaciones subterráneas de países como Canadá, Australia y Sudáfrica demuestran que la optimización del tiempo de fragua del shotcrete mediante acelerantes no cáusticos y aditivos de alto desempeño ha permitido disminuir incidentes geotécnicos, mejorar la adherencia del concreto en zonas húmedas y fracturadas, así como incrementar la velocidad de avance de las excavaciones. No obstante, en América Latina aún persisten múltiples problemas relacionados con tiempos prolongados de fragua, deficiencias en la dosificación de mezclas, altos porcentajes de rebote, pérdida de adherencia y limitada estandarización de los procesos de aplicación, factores que generan sobrecostos operativos, baja productividad y mayores riesgos para el personal operativo.



b) Diagnóstico nacional

En el contexto nacional, la minería subterránea peruana emplea de manera generalizada el shotcrete como sostenimiento primario; sin embargo, diversos estudios realizados en unidades mineras como Orcopampa, Pallancata y Antamina evidencian que la inadecuada selección de aditivos y el limitado control de las propiedades del concreto lanzado ocasionan problemas de resistencia temprana insuficiente, retrasos en el sostenimiento y dificultades para responder a ciclos de minado cada vez más exigentes.

Asimismo, los pronósticos de crecimiento de la producción minera nacional y el desarrollo de explotaciones a mayor profundidad prevén un incremento en las exigencias geomecánicas, lo que demandará sistemas de sostenimiento más eficientes, rápidos y seguros. A ello se suma que muchas operaciones continúan empleando diseños convencionales de shotcrete con limitaciones técnicas en el control del tiempo de fragua, ocasionando mayores tiempos muertos, incremento del consumo de materiales y mayores costos operativos relacionados con sostenimientos complementarios y reprocesos.

c) Diagnóstico regional y local

Esta problemática se manifiesta de manera directa en la Mina Inmaculada, ubicada en la región Ayacucho, donde el tiempo prolongado de fragua del shotcrete vía húmeda genera diversos problemas operacionales, entre ellos retrasos en la habilitación de labores, incremento de tiempos muertos, menor continuidad en el ciclo de minado, sobrecostos por consumo adicional de recursos y limitaciones en la productividad diaria.

Del mismo modo, las condiciones de humedad, fracturamiento del macizo rocoso y convergencia presentes en determinadas zonas de explotación incrementan la necesidad de contar con un sostenimiento de rápida respuesta y alta resistencia inicial. Reportes operacionales internos indican que estas deficiencias afectan directamente la eficiencia de las labores y aumentan la exposición del personal a riesgos geotécnicos asociados a desprendimientos y caída de rocas.

De mantenerse esta situación, los pronósticos operacionales indican que podrían incrementarse los costos de sostenimiento, reducirse la eficiencia del ciclo de



producción y elevarse los riesgos de inestabilidad geomecánica en las labores subterráneas. Frente a este escenario, se evidencia la necesidad de optimizar el tiempo de fragua del shotcrete mediante la incorporación de aditivos de alto desempeño que permitan mejorar la resistencia temprana, reducir tiempos de sostenimiento, minimizar costos operativos y garantizar mayores condiciones de seguridad y productividad en las labores de la Mina Inmaculada.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Como la Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo minado optimizará los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se determinarán las características mecánicas del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024?
- ¿De qué manera se identificarán los nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024?
- ¿Cómo se determinarán los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024?

1.3 Justificación de la investigación

Para el tratamiento de la presente investigación, se tomará en cuenta lo siguiente:

- **Justificación social:** Este estudio, busca mejorar las condiciones de trabajo de los colaboradores en la Unidad Operativa Inmaculada al optimizar el ciclo de minado mediante la reducción del tiempo de fragua del concreto lanzado. Esto permitirá disminuir los riesgos asociados a tiempos prolongados de sostenimiento, garantizando un entorno laboral más seguro y eficiente, lo que impactará positivamente en la integridad física y psicológica de los trabajadores, así como en su calidad de vida laboral.

- **Justificación práctica:** La investigación aporta información relevante y contextualizada sobre el impacto que tiene la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado, en los costos operativos y la eficiencia del ciclo de minado. Además, evalúa la efectividad del uso del aditivo MASTER ROC 193, permitiendo la implementación de soluciones prácticas que favorezcan la continuidad de las operaciones mineras y reduzcan los tiempos de improductividad en la mina Inmaculada.
- **Justificación teórica:** Este trabajo, contribuyó al desarrollo y ampliación del conocimiento en el ámbito de la ingeniería de minas, específicamente en la relación entre el uso de tecnologías avanzadas; como aditivos para concreto lanzado, y la optimización de procesos productivos. Asimismo, fortalece la teoría relacionada con la reducción de costos y riesgos en el sostenimiento de galerías mineras.
- **Justificación metodológica:** La presente investigación, proporciona una metodología aplicable para futuros estudios sobre la optimización de procesos mineros, específicamente en el uso de aditivos para concreto lanzado en ciclos de minado subterráneos. Esta metodología permitirá evaluar en otros contextos, estrategias tecnológicas similares para mejorar la productividad en operaciones mineras.
- **Justificación legal:** Este estudio, se desarrolla en cumplimiento del marco legal establecido en el artículo 43, inciso 45.2 de la Ley Universitaria N° 30220, así como en el artículo 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, que regula los requisitos para la obtención del título profesional de Ingeniero de Minas, garantizando su alineación con los estándares académicos y legales vigentes.

1.4 Ubicación y contextualización

El proyecto minero Inmaculada es una mina subterránea de oro y plata de 20 000 hectáreas de área de concesión. Consta de 40 concesiones mineras y está situada en la región de Ayacucho, en el sur de Perú. Se encuentra a 112 kilómetros de la operación de Pallancata y fue originalmente propiedad de un Joint Venture, en el que el Grupo tenía una participación de control del 60%, mientras que el 40% restante estaba en manos de



IMZ. Tras la adquisición de IMZ en diciembre de 2013, la mina Inmaculada es 100% propiedad directa de la empresa Hochschild.

Inmaculada es el activo clave de Hochschild. La propiedad puesta en servicio en 2015, consta de cuarenta concesiones mineras y se caracteriza por sistemas mineralizados epitermales de baja y alta sulfuración, alojados en vetas, brechas y diseminaciones dentro de volcánicos terciarios. Se han encontrado otros 3 millones de onzas equivalentes de oro desde el inicio de las operaciones y sigue habiendo un fuerte potencial geológico.

El estudio de factibilidad original del 2012 se basaba en los recursos de la veta principal: Ángela, a la que se accede a través de una rampa que parte de un portal situado a una elevación de aproximadamente 4 400 metros sobre el nivel del mar. Cerca del portal hay una planta trituradora primaria, con una cinta transportadora de 1,5 km de longitud, que transporta el mineral a la planta y a un vertedero de residuos situado a un kilómetro al sur. Los métodos de extracción empleados son el rebaje por debajo del nivel, la perforación de taladros largos y el relleno con pasta, así como el corte y relleno mediante perforación horizontal.

Entre los años 2001 hasta el 2006, el grupo HOC apertura sus oficinas de exploración por ello identificó varios proyectos en Perú, Argentina, México y Chile, y se firmó varios acuerdos de empresa conjunta con los socios mineros, especialmente aquellos vinculados a las unidades operativas de San José, Pallancata e Inmaculada. En el año 2015 la compañía minera UNICON anunció la producción comercial de la unidad minera Inmaculada, actualmente la operación más grande de la compañía.

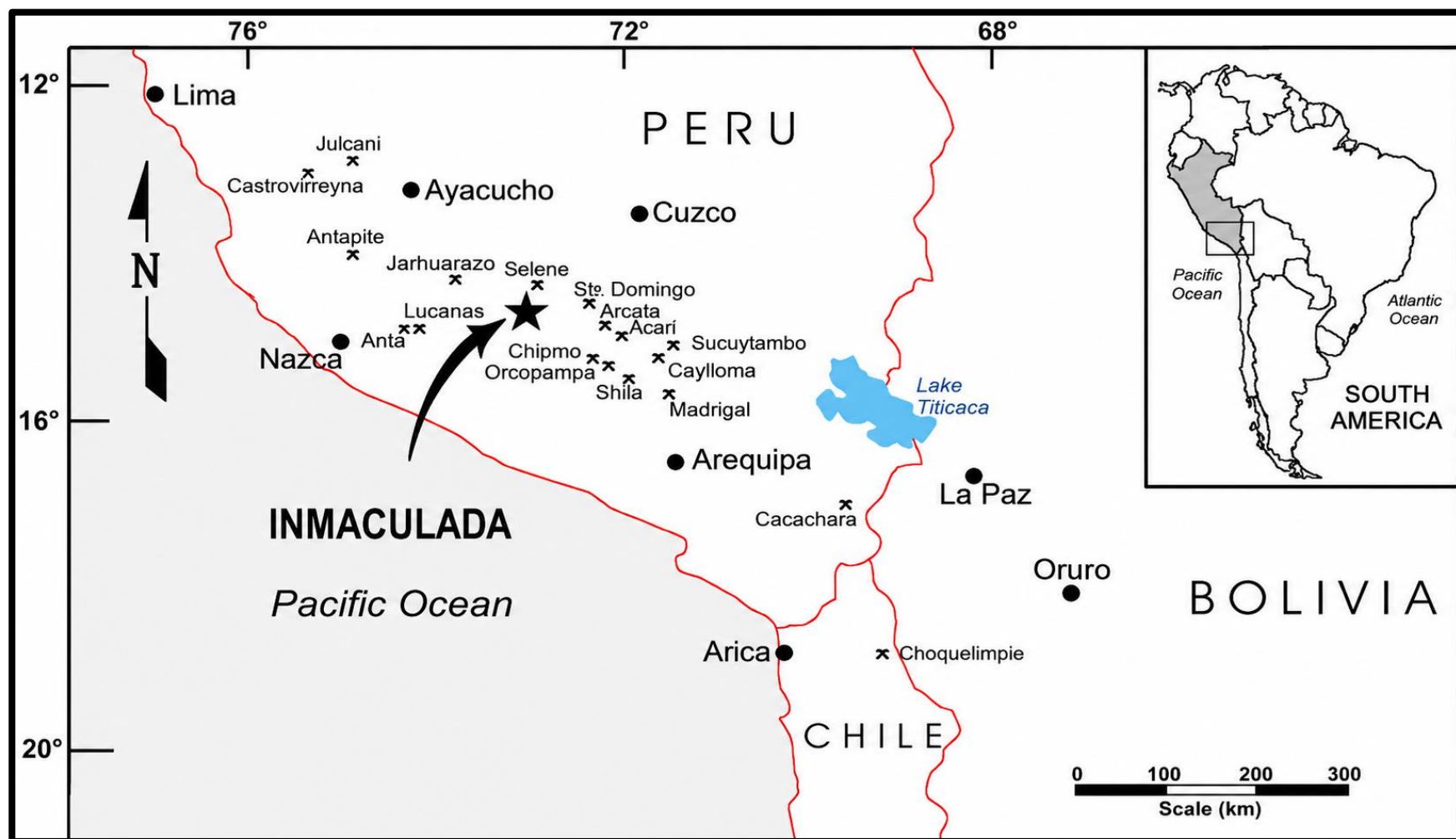
En el 2019 se inicia con la transformación cultural en todas sus operaciones implicando un propósito de negocio “Ser una minería responsable e innovadora comprometida con un mundo mejor”, así también el forjar los atributos corporativos que son: la responsabilidad, buscamos la eficiencia, innovamos siempre y promovemos el talento.

1.4.1 Ubicación

Inmaculada, es el nombre de la unidad operativa minera perteneciente a Compañía minera UNICON, ubicada aproximadamente a 210 kilómetros al Sur - Oeste de Cusco y 530 kilómetros al Sur - Este de Lima. Situado entre los 3 900 y 4 800 m.s.n.m., dentro del cinturón metalogenético epitermal Puquio – Caylloma, está



en el distrito de Oyolo, provincia de Paucar del Sara Sara, en el departamento de Ayacucho. Políticamente el área de la unidad minera Inmaculada se encuentra ubicada dentro de los sectores Quellopata - Minascucho.



FUENTE: Unidad Minera Hochschild, 2026.

Figura 1 — Ubicación integral de las operaciones de la unidad minera en Perú

1.4.2 Accesibilidad

Uno de los accesos a la zona de la unidad minera Inmaculada es a través de la carretera Panamericana sur pavimentada, de Lima hasta la ciudad de Nazca (455 Km.), desde la cual se va por un acceso que conduce al departamento del Cusco, llegando a un pequeño poblado llamado Izcahuaca y de esta se va por un camino de trocha que conduce hasta la zona de la unidad minera, también se puede realizar por vía aérea de Lima a Cusco (1 hora).

Otro acceso a la unidad minera es partir de la ciudad de Arequipa hasta el pueblo de Chuquibamba (228 Km) por carretera afirmada, de Chuquibamba hasta el pueblo de Cotahuasi (200 Km) por trocha carrozable, y de Cotahuasi hasta la unidad minera por trocha carrozable, (aproximadamente 4 horas). La accesibilidad a la unidad minera Inmaculada, por las diferentes vías se resumirá en la siguiente tabla.

Tabla 1 — Accesibilidad de la unidad minera Inmaculada

Lugar de salida	Destino	Tipo de vía	Duración (h)	Distancia (km)
Arequipa-Unidad minera				
Arequipa	Chuquibamba	Asfalto regular	3	228
Chuquibamba	Cotahuasi	Trocha	4	200
Cotahuasi	Inmaculada	trocha	4	220
Lima-Unidad minera				
Lima	Nazca	Asfalto regular	6	460
Nazca	Puquio	Asfalto regular	4	155
Puquio	Izcahuaca	Asfalto regular	3	142
Izcahuaca	inmaculada	Trocha	4	141
Cuzco-Unidad minera				
Lima	Cuzco	Aire	1	590
Cuzco	Abancay	Asfalto regular	4	195
Abancay	Challhuanca	Asfalto regular	3	120
Challhuanca	Izcahuaca	Asfalto regular	1	43
Izcahuaca	Inmaculada	Trocha	4	141
FUENTE: Elaboración propia.				

1.4.3 Contextualización

El ciclo de minado constituye un elemento fundamental dentro de las operaciones de producción minera subterránea, ya que integra de manera secuencial y



sistemática actividades críticas como la perforación, voladura, ventilación, sostenimiento y limpieza, las cuales permiten garantizar una explotación eficiente, segura y continua del yacimiento. La correcta articulación de estas etapas resulta determinante para el cumplimiento de los objetivos de producción, control de costos y gestión de la seguridad operacional. Dentro de este proceso, el sostenimiento inmediato adquiere especial relevancia, dado que condiciona la estabilidad de las excavaciones y la continuidad de las labores productivas.

En este contexto, el concreto lanzado o shotcrete se ha consolidado como uno de los métodos de sostenimiento primario más utilizados en minería subterránea, debido a su capacidad para proporcionar soporte estructural inmediato al macizo rocoso, controlar la caída de rocas y reducir los riesgos geotécnicos. Sin embargo, el desempeño del shotcrete está estrechamente vinculado a su tiempo de fragua y al desarrollo de resistencia temprana, ya que tiempos de fraguado prolongados pueden generar retrasos significativos en la habilitación de las labores, incrementar los tiempos muertos dentro del ciclo de minado y afectar negativamente la productividad global de la operación.

A nivel internacional, diversas operaciones mineras subterráneas han orientado sus esfuerzos hacia la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado mediante la incorporación de aditivos acelerantes de última generación y mejoras en el diseño de mezcla. Experiencias desarrolladas en países como Canadá y Sudáfrica, caracterizados por condiciones geomecánicas complejas, evidencian que la reducción del tiempo de fraguado contribuye significativamente al incremento de la tasa de avance, a la disminución de incidentes por inestabilidad del macizo rocoso y a la reducción de los costos operativos asociados al uso de sostenimientos adicionales. No obstante, en diversas operaciones mineras de América Latina, la adopción de estas tecnologías aún es limitada, generando ineficiencias operativas y sobrecostos que podrían ser mitigados mediante una adecuada optimización técnica.

En el ámbito nacional, la minería subterránea peruana emplea el shotcrete como sostenimiento primario en la mayoría de sus labores; sin embargo, persisten deficiencias relacionadas con los tiempos de fragua y el desarrollo de resistencia temprana, particularmente en zonas con macizos rocosos fracturados, presencia



de humedad y elevada convergencia. Esta problemática se manifiesta de manera específica en la Unidad Minera Inmaculada, ubicada en la región Ayacucho, donde el uso de concreto lanzado por vía húmeda con aditivos convencionales presenta períodos de inducción prolongados, retrasando la continuidad del ciclo de minado, incrementando la exposición del personal a riesgos geotécnicos y elevando los costos operativos debido a la necesidad de sostenimientos complementarios y reprocesos.

Frente a esta realidad, se plantea la necesidad de optimizar el tiempo de fragua del concreto lanzado mediante la incorporación de aditivos acelerantes de alto desempeño, como el MasterRoc SA 193, así como la mejora en el diseño de la mezcla y en los procedimientos de aplicación en campo. En este sentido, la presente investigación se orienta a analizar la influencia de la optimización del tiempo de fragua del shotcrete dentro del ciclo de minado, evaluando su impacto en la reducción de los costos operativos, el incremento de la productividad y el fortalecimiento de la seguridad en las labores de producción de la Mina Inmaculada. Los resultados permitirán establecer criterios técnicos y económicos que contribuyan a una operación minera más eficiente, segura y sostenible.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar cómo la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado contribuye a la reducción de los costos operativos, aplicado a las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características mecánicas del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.
- Identificar los nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.
- Determinar los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado reduce significativamente los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La determinación adecuada de las características mecánicas del concreto lanzado influye positivamente en la optimización del tiempo de fragua en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.
- La identificación de nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado influye significativamente en la reducción de los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.



- La determinación de los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado permite evaluar la reducción de costos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 2 — Operacionalización de variables

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable independiente	Concreto Lanzado	Características mecánicas del concreto lanzado	Índice de calidad del macizo rocoso (Q o RMR)	(Q o RMR)
Variable dependiente	Costos Operativos	Tiempos de fraguado	minutos u horas de fraguado del concreto	min. hr
		Costos operativos	costo de preparacion por metro cubico	US\$/m ³

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

De acuerdo con (Ccahuana, y otros, 2024) en su tesis que titula, Aplicación de shotcrete vía seca para mejorar el sostenimiento de chimeneas de vetas angostas de la U.M. San Andrés - Mina Marsa-2021. se determinó que la aplicación del shotcrete por vía seca ejerce una influencia positiva y estadísticamente significativa en la resistencia a la compresión del sistema de sostenimiento en chimeneas de vetas angostas. Los resultados obtenidos evidencian, con un p-valor de 0.000, un incremento considerable en la resistencia media a la compresión, pasando de 5,31 MPa en condiciones sin aplicación de shotcrete a 52,28 MPa cuando se emplea dicho método de sostenimiento. Este aumento sustancial en la capacidad resistente del sostenimiento resulta determinante para mejorar la estabilidad estructural de las labores subterráneas, disminuyendo significativamente el riesgo de colapsos y fallas geomecánicas. En consecuencia, la aplicación del shotcrete vía seca se consolida como una alternativa técnica eficaz que contribuye de manera directa a fortalecer la seguridad y la continuidad operativa en la minería subterránea.

De acuerdo con (Otiniano, 2021) en su tesis que titula Evaluación del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP para mejorar la adhesión del shotcrete en una mina subterránea en La Libertad, 2020, se analizó la selección del método más eficiente y económicamente rentable para mejorar la adhesión del shotcrete en una operación minera subterránea. Como resultado del estudio, se concluyó que la mezcla preparada de concreto proyectado presenta un tiempo de trabajabilidad limitado, siendo de hasta 4 horas para la vía húmeda y 6 horas para la vía seca, superados los cuales el material debe ser descartado para su aplicación. Asimismo, se estableció que el concreto lanzado debe presentar un tiempo de fraguado no menor a 4 horas, a fin de garantizar una adecuada adherencia, desempeño mecánico y calidad del sostenimiento aplicado.

De acuerdo (Lazo, 2020) en su tesis que tiene por título, Optimización del sistema de sostenimiento de las labores subterráneas para una mina con problemas de altos esfuerzos,



se concluyó que, a partir del análisis numérico de esfuerzos, las mayores concentraciones de esfuerzos inducidos se localizan principalmente en la zona Central, entre las cotas 4 050 y 4 100 m s. n. m., así como en la zona Inferior, por debajo de los 3 700 m s. n. m. Dichas concentraciones se manifiestan de manera predominante en la corona de las excavaciones y en elementos estructurales críticos como los pilares puente y los pilares costilla. Los resultados obtenidos muestran valores del esfuerzo principal mayor (σ_1) superiores a 80 MPa, mientras que el esfuerzo principal menor (σ_3) se encuentra en un rango de 0 a 5 MPa. Estos valores evidencian condiciones geomecánicas altamente exigentes, lo que pone de manifiesto la necesidad de implementar sistemas de sostenimiento más robustos, adecuados y diseñados específicamente para cada zona, con el fin de preservar la estabilidad de las excavaciones subterráneas y garantizar la seguridad operativa.

De acuerdo con (Cruz, 2020) en su tesis titulada, Propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones, se concluye que la implementación de un sistema de soporte optimizado permitió una mejora significativa en la eficiencia de los costos de sostenimiento. Los resultados evidenciaron que, tras la aplicación de la propuesta técnica, el costo unitario se redujo de 3,72 a 2,72 US\$/t, lo que representó un ahorro del 36.76% durante el tercer trimestre de evaluación. Este resultado demuestra que una adecuada evaluación y selección del sistema de soporte no solo contribuye a la reducción de los costos operativos, sino que también fortalece la sostenibilidad económica de la operación minera. Asimismo, se resalta que dicha optimización se logró sin comprometer los niveles de seguridad ni la estabilidad geomecánica del macizo rocoso, garantizando la continuidad de las labores subterráneas bajo condiciones técnicas adecuadas.

De acuerdo con (Torres, y otros, 2023) en su tesis que tiene por título, Optimización de costos de sostenimiento en labores de exploración crucero 290 - Compañía Minera Caraveli S.A.C. Arequipa – 2022, se determinó que la aplicación de un sistema de sostenimiento moderno basado en pernos Split Set y malla electrosoldada presenta un costo total de 172,85 US\$/ml, el cual resulta inferior al costo del sostenimiento tradicional con madera, que asciende a 183,83 US\$/ml, generando una diferencia económica favorable de 10,98 US\$/ml. Dicho análisis fue desarrollado en las labores subterráneas de exploración del crucero 290 - nivel 1820, de la Compañía Minera Caravelí S.A.C., y



evidencia que la sustitución de métodos convencionales por sistemas de sostenimiento tecnificados permite no solo mejorar las condiciones de seguridad y durabilidad de las excavaciones, sino también lograr una reducción significativa de los costos operativos. En este sentido, los resultados refuerzan la importancia de implementar tecnologías de soporte más eficientes y modernas, las cuales contribuyen a la optimización económica de las operaciones mineras y aseguran la estabilidad geomecánica necesaria para la continuidad y sostenibilidad de la minería subterránea.

(Aguilar, 2018) en su tesis que titula; Evaluación del Sistema de Sostenimiento en la Compañía Minera Santa Luisa – Unidad Huanzala dando énfasis al Sostenimiento con Shotcrete para su Optimización, se concluye que para garantizar un sostenimiento eficiente mediante el uso de shotcrete es indispensable la utilización sistemática de calibradores, los cuales permiten controlar y verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos establecidos durante su aplicación. En particular, el autor señala la necesidad de asegurar un espesor uniforme de aproximadamente 2 pulgadas, con el fin de evitar pérdidas de mezcla en cavidades, sobre mallas embolsadas o en zonas de difícil acceso, situaciones que pueden comprometer la efectividad del sostenimiento. Asimismo, el estudio identifica que una de las principales limitaciones en la correcta aplicación del shotcrete es la falta de concientización del personal operativo, lo que genera variaciones en el proceso y afecta la calidad del soporte. En este sentido, se destaca la importancia de complementar el control técnico mediante instrumentos adecuados con programas de capacitación continua al personal, orientados a fortalecer el conocimiento y la responsabilidad en la correcta aplicación del shotcrete, garantizando así la estabilidad y seguridad de las labores subterráneas.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas más importantes de la masa rocosa

En ingeniería geotécnica y minería subterránea, las clasificaciones geomecánicas constituyen herramientas fundamentales para evaluar la calidad y el comportamiento de la masa rocosa frente a excavaciones y obras subterráneas. Estas metodologías permiten estimar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso, definir el tipo de sostenimiento requerido y optimizar el diseño de labores mineras y obras civiles. Su aplicación resulta indispensable para reducir riesgos geotécnicos, mejorar la seguridad operacional y garantizar un adecuado desempeño estructural de las excavaciones.



Entre las clasificaciones geomecánicas más utilizadas a nivel mundial destacan el sistema RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski, el sistema Q desarrollado por Barton, Lien y Lunde, y el índice GSI (Geological Strength Index) planteado por Hoek y Brown. Estas metodologías son ampliamente empleadas debido a su confiabilidad, facilidad de aplicación y capacidad para relacionar las características geológicas y estructurales del macizo rocoso con parámetros de diseño y sostenimiento.

Los sistemas RMR y Q consideran como uno de sus parámetros principales el RQD (Rock Quality Designation), índice desarrollado inicialmente por Deere para cuantificar la calidad de la roca a partir de la recuperación de testigos de perforación. Este parámetro permite estimar el grado de fracturamiento y discontinuidad de la masa rocosa, constituyéndose en una base importante para la evaluación geomecánica del terreno.

A continuación, se describen las principales características, criterios y aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas de Deere (RQD), Bieniawski (RMR), Barton, Lien y Lunde (Q) y Hoek-Brown (GSI), las cuales representan las metodologías más relevantes y utilizadas en proyectos mineros y geotécnicos.

3.2.1.1 Clasificación de Deere (1967)

Con el propósito de superar las limitaciones presentadas por las primeras clasificaciones utilizadas para el diseño de sostenimiento y entibación en túneles y excavaciones subterráneas, surgieron nuevos métodos orientados a evaluar de manera más precisa la calidad del macizo rocoso. En este contexto, Deere (1967) desarrolló una de las clasificaciones geomecánicas más importantes y ampliamente utilizadas en ingeniería geotécnica: el índice RQD (Rock Quality Designation), el cual fue propuesto como un criterio básico para estimar la calidad de la roca y apoyar el diseño de sostenimiento en excavaciones subterráneas.

El RQD constituye un indicador que permite cuantificar el grado de fracturamiento de la masa rocosa a partir de la recuperación de testigos obtenidos mediante perforaciones diamantinas. Este índice se calcula



considerando únicamente los fragmentos de testigo con longitudes mayores a 10 cm respecto a la longitud total perforada, expresándose generalmente en porcentaje. Valores altos de RQD representan macizos rocosos de buena calidad y menor fracturamiento, mientras que valores bajos indican rocas muy fracturadas y de menor estabilidad geomecánica.

Sin embargo, la utilización del RQD debe realizarse con determinadas consideraciones técnicas, debido a que su valor no depende exclusivamente del nivel de fracturamiento de la roca, sino también de otros factores asociados al proceso de perforación. Entre estos factores destacan la orientación del sondeo respecto a las discontinuidades, el diámetro de perforación, la calidad de recuperación del testigo, el tipo de equipo utilizado y la experiencia del operador. Por ello, en determinadas condiciones el RQD puede presentar variaciones que no reflejan completamente el comportamiento real del macizo rocoso.

En muchas ocasiones, especialmente durante etapas preliminares de exploración o en zonas donde no se dispone de perforaciones diamantinas, es necesario estimar el valor del RQD a partir de observaciones realizadas en afloramientos rocosos. Para estos casos, Palmström (2005) propuso una relación empírica basada en el índice volumétrico de juntas (J_v), la cual permite realizar una estimación aproximada de la calidad de la roca:

$$RQD = 110 - 2,5 J_v \quad (1)$$

donde

J_v es el índice volumétrico de juntas o número de juntas por m³.

3.2.1.2 Clasificación de Bieniawski (1973, 1976, 1989)

Esta clasificación se desarrolló inicialmente a partir de la experiencia en obras realizadas en África del sur. Su aplicación no tiene apenas



limitaciones, excepto en rocas expansivas y fluyentes donde no es aconsejable su uso.

- **Obtención del índice de RMR**

Para determinar la calidad del macizo rocoso, se divide este en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea. La estructura del macizo comprende al conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región. El índice que define la clasificación es el denominado RMR (Rock Mass Rating), que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de los parámetros siguientes:

3.2.1.3 Clasificación de Barton et al. (1974)

La clasificación geomecánica propuesta por Barton, Lien y Lunde en 1974 constituye uno de los sistemas más utilizados para la evaluación de macizos rocosos en excavaciones subterráneas, especialmente en túneles y labores mineras. Este método permite estimar la calidad geomecánica del terreno y seleccionar el tipo de sostenimiento más adecuado en función de las condiciones estructurales y tensionales de la roca.

El sistema se basa en el denominado índice de calidad Q (Tunnelling Quality Index), el cual considera seis parámetros fundamentales relacionados con las características estructurales, hidrogeológicas y geomecánicas del macizo rocoso. Estos parámetros permiten evaluar el comportamiento de la roca frente a las excavaciones y estimar su estabilidad.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2)$$

3.2.1.4 Correlaciones entre RMR y Q

Las clasificaciones geomecánicas RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski y Q de Barton et al. son dos de los sistemas más utilizados para evaluar la calidad de los macizos rocosos en minería subterránea y obras civiles. Debido a que ambas metodologías consideran parámetros relacionados con el fracturamiento, las discontinuidades y las condiciones geomecánicas de la roca, diversos investigadores han desarrollado correlaciones matemáticas que permiten establecer equivalencias aproximadas entre ambos índices.

Estas correlaciones resultan de gran utilidad práctica, especialmente cuando solo se dispone de información parcial de campo o cuando se requiere comparar resultados obtenidos mediante diferentes metodologías de clasificación geomecánica. Asimismo, permiten facilitar la interpretación del comportamiento del macizo rocoso y apoyar el diseño preliminar de sostenimiento y excavaciones subterráneas.

De manera general, la relación entre los índices RMR y Q puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

- $RMR = 9 \ln Q + 44$ Bieniawski (1976)
- $RMR = 13,5 \ln Q + 43$ Ruteledge (1978)
- $RMR = 12,5 \ln Q + 55,2$ Moreno (1980)
- $RMR = 10,53 \ln Q + 41,83$ Abad et al. (1983)

El valor de Bieniawski corresponde a la media del rango presentado en la Figura 5.15. En 2004 este mismo autor ha propuesto una nueva correlación que se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$RMR = 15 \log Q + 50 \quad (3)$$



3.2.2 Concreto lanzado (shotcrete)

De acuerdo con (MEZARES, 2022) el shotcrete, según la definición del Instituto Americano del Concreto (ACI) es un mortero o concreto que se aplica mediante aire comprimido y a alta velocidad sobre una superficie determinada. De manera complementaria, la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras señala que el shotcrete consiste en una mezcla homogénea de cemento, agregados y agua, la cual es proyectada neumáticamente a través de una boquilla hacia un área previamente definida, con el objetivo de formar una masa compacta, densa y adherente. Este método de aplicación permite que el material se compacte de forma simultánea durante su colocación, logrando un adecuado contacto con la superficie soporte. Los principales componentes del concreto lanzado están conformados por el cemento, los agregados, el agua y los aditivos, los cuales, al ser proyectados a alta velocidad y de manera continua, permiten obtener un sistema de sostenimiento eficiente. Asimismo, el concreto lanzado puede aplicarse mediante sistemas de mezcla seca o mezcla húmeda, los cuales forman parte de las tecnologías utilizadas en la ejecución del shotcrete, adaptándose a las condiciones operativas y técnicas de cada proyecto. Los materiales que se utilizan como componentes del concreto lanzado son:

- a) Aditivos
- b) Cemento
- c) Agregados
- d) Agua

Estos materiales, una vez dosificados y mezclados adecuadamente, son proyectados y compactados mediante aire comprimido a una velocidad constante y elevada sobre una superficie previamente definida, lo que permite obtener un recubrimiento denso y adherente. Este proceso de aplicación garantiza una adecuada compactación del concreto lanzado, favoreciendo su desempeño mecánico y su capacidad de sostenimiento. Asimismo, la tecnología del concreto lanzado comprende dos sistemas principales de mezcla: el sistema de mezcla seca y el sistema de mezcla húmeda, los cuales se diferencian por el momento en que

se incorpora el agua a la mezcla, pero cumplen el mismo objetivo de proporcionar un sostenimiento eficiente y seguro en las labores subterráneas.

3.2.2.1 Sistema por vía húmeda

El sistema de aplicación del concreto lanzado por vía húmeda se basa en el transporte neumático, a través de tuberías, de una mezcla previamente preparada de concreto a la cual se le incorpora un aditivo acelerante con el objetivo de inducir un inicio rápido del fraguado. Este procedimiento permite que el concreto proyectado se adhiera de manera eficiente a las irregularidades de la superficie del macizo rocoso, reduciendo significativamente el riesgo de desprendimiento de rocas y, por ende, contribuyendo a la prevención de accidentes en las labores subterráneas. Durante el proceso de proyección, se logra una aplicación más homogénea del material, lo que garantiza una calidad uniforme del concreto lanzado. La mezcla es colocada inicialmente en un contenedor y posteriormente impulsada mediante una bomba que la proyecta a presión a través de una manguera hasta la superficie a tratar. Asimismo, se incorpora aire comprimido de forma continua y controlada, con la finalidad de incrementar la velocidad de proyección, mejorar la compactación del concreto y asegurar una adecuada adherencia sobre las superficies irregulares de la mina, obteniéndose un sostenimiento más eficiente y duradero.

3.2.2.2 Sistema por vía seca

En el sistema de concreto lanzado por vía seca, los materiales constituyentes del shotcrete, tales como el cemento, los agregados y los aditivos en estado seco, son previamente mezclados y depositados en una tolva, donde permanecen en constante agitación antes de ser proyectados. Según Maldonado (2018), una vez que los materiales se encuentran en la tolva, se incorpora aire comprimido a través de un barril rotatorio, cuya inyección de aire varía en función del equipo empleado, permitiendo que la mezcla seca sea transportada de manera continua a lo largo de la manguera de proyección. El agua se adiciona al final de la manguera, justo antes de la boquilla de lanzado, donde también se incorpora el aditivo acelerante de fragua en forma pulverizada, logrando así una adecuada hidratación y una mezcla homogénea de los



componentes del concreto lanzado. Este sistema es comúnmente utilizado en trabajos de menor volumen o en labores donde el acceso es limitado y se dificulta el ingreso de equipos de gran tamaño. Asimismo, resulta especialmente conveniente en situaciones donde se requiere una alta resistencia inicial, como en el sellado de filtraciones de agua, trabajos de impermeabilización o labores de reparación de estructuras de concreto, debido a su capacidad para desarrollar rápidamente resistencia y adherirse eficazmente a las superficies irregulares del macizo rocoso.

Tabla 3 — Diferencias del proceso del shotcrete vía seca y shotcrete vía húmeda

shotcrete vía seca	shotcrete vía húmeda
1. El agua de mezcla se controla en el equipo de mezcla y se puede medir con precisión. 2. El agua utilizada para mezclar está bajo el control del equipo de mezcla, lo que permite tomar medidas precisas. 3. Un mayor nivel de confianza de que el agua utilizada para mezclar se combina completamente con los otros componentes 2. 4. El proceso de extracción da como resultado una menor cantidad de polvo y materiales cementosos que se pierden. 5. Generalmente tiene un rebote menor, lo que resulta en menos desperdicio que otros materiales. 6. ¿Un mayor volumen para cada tamaño de manguera?	1. Control instantáneo sobre el agua de mezcla y la consistencia de la mezcla en la boquilla para cumplir con las condiciones de campo variables. 2. Ejercer control instantáneo sobre el agua de la mezcla y la consistencia de la mezcla en el recipiente para ajustarse a las condiciones de las variables de campo. 3. Más adecuado para la incorporación de mezclas que incluyan aglomerados de naturaleza ligera o materiales refractables. 4. Es capaz de recorrer distancias mayores que otros vehículos. 5. Las mangueras de reparto son las más adecuadas para mudanzas. 6. Hay un volumen menor por tamaño de manguera.
FUENTE: Ccahuana, y otros, 2024	

3.2.2.3 Materiales

a) Cemento

Según (Leon, 2024) el cemento es un material aglomerante de textura fina y color gris que, al entrar en contacto con el agua, forma una pasta homogénea capaz de endurecer y desarrollar propiedades de resistencia y adherencia, perteneciendo al grupo de los aglomerantes hidráulicos. Su proceso de fabricación se origina a partir de una materia prima compuesta principalmente por calizas,



arcillas o una combinación de ambas, las cuales son sometidas a un proceso de molienda y posteriormente calcinadas en hornos verticales o rotatorios a temperaturas aproximadas entre 1400 °C y 1450 °C, dando como resultado el clinker. Este producto es luego molido finamente y mezclado con aproximadamente un 5 % de yeso, obteniéndose el cemento comercial. Actualmente, el cemento constituye uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, ya que forma parte esencial del concreto, material que se caracteriza por su elevada resistencia, durabilidad y versatilidad, permitiendo su aplicación en diversas formas y estructuras, tanto en superficie como en labores subterráneas.

b) Agregado

Se denomina agregado al conjunto de materiales granulares, como arena, grava o roca chancada, que conforman uno de los componentes principales del concreto, actuando como elementos pasivos que son cohesionados por la pasta de cemento. De acuerdo con la norma ASTM C-125, los agregados comprenden toda materia granular natural o artificial utilizada en combinación con un material cementante para la elaboración de morteros o concretos hidráulicos. Generalmente, los agregados representan entre el 60 % y 75 % del volumen total del concreto y entre el 70 % y 85 % de su peso, influyendo de manera significativa en la trabajabilidad de la mezcla fresca, la resistencia del concreto endurecido y los costos de producción. Desde el punto de vista económico, resulta conveniente emplear mezclas con un mayor contenido de agregados y una menor proporción de cemento, siempre que se mantenga un equilibrio adecuado que garantice la calidad y resistencia del concreto. Las propiedades de los agregados dependen fundamentalmente del tipo de roca madre y del proceso mediante el cual esta ha sido transformada. Según el tamaño de sus partículas, se clasifican en agregados finos, que pasan el tamiz de 3/8 de pulgada y se retienen en la malla N° 200, siendo la arena el ejemplo más común, y agregados gruesos, que se retienen en el tamiz N° 4, los cuales incluyen la grava y la roca chancada.



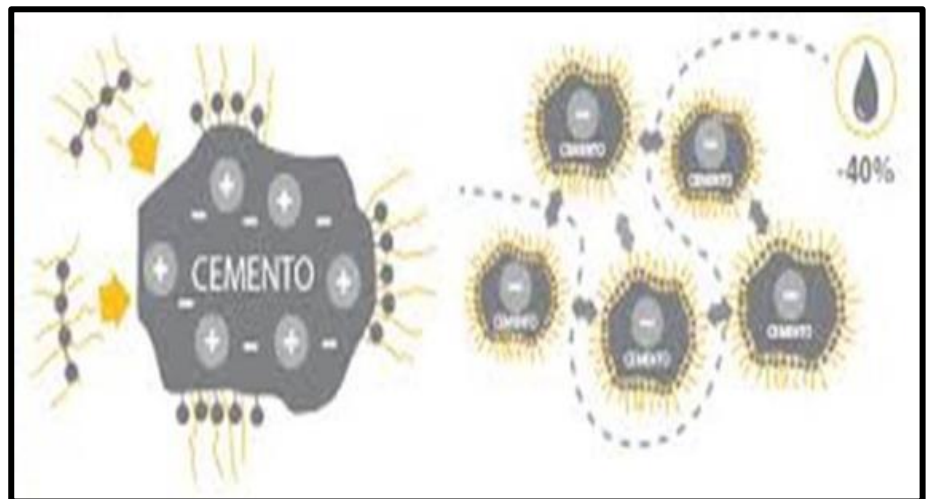
c) Agua

El agua es un componente esencial en la elaboración del concreto lanzado, ya que influye directamente en la resistencia, durabilidad, adherencia y comportamiento del concreto endurecido. El agua utilizada, incluyendo la humedad contenida en los agregados, debe ser limpia y libre de sustancias nocivas como aceites, ácidos, sales, álcalis o materia orgánica, que puedan afectar negativamente las propiedades del concreto o provocar corrosión en los elementos de refuerzo. El agua cumple dos funciones principales: por un lado, participa en la hidratación del cemento durante la preparación de la mezcla, y por otro, es empleada en el proceso de curado para favorecer el desarrollo continuo de la resistencia. Se distingue entre el agua de uso interno, empleada en la mezcla, y el agua de uso externo, utilizada para el curado; sin embargo, se recomienda que ambas posean la misma calidad, a fin de evitar alteraciones en el desempeño del concreto y garantizar condiciones óptimas de resistencia y durabilidad.

d) Aditivos

Los aditivos son productos orgánicos o inorgánicos que se incorporan al concreto antes, durante o después del amasado, en proporciones que generalmente no superan el 5 % del peso del cemento, con el propósito de modificar o mejorar determinadas propiedades del concreto en estado fresco o endurecido. Estos pueden ser solubles en agua y su dosificación se establece en función del peso del cemento, considerando su interacción con la relación agua-cemento. En el concreto lanzado, los aditivos desempeñan un rol fundamental, ya que permiten optimizar la trabajabilidad, la adherencia, la resistencia temprana y la durabilidad del material. Es indispensable que los aditivos sean previamente ensayados y cumplan con las especificaciones establecidas en las normas ASTM correspondientes. En el proceso de shotcrete, el aditivo más utilizado es el acelerante de fragua, el cual permite obtener un rápido endurecimiento inicial y una adecuada adherencia del concreto proyectado sobre el sustrato. Los primeros acelerantes fueron

formulados a base de cloruro de calcio (CaCl_2); sin embargo, su uso fue restringido debido a su efecto corrosivo sobre el acero. Posteriormente, se desarrollaron acelerantes a base de silicatos y aluminatos, los cuales, si bien no generan corrosión, presentan elevados niveles de alcalinidad que pueden resultar perjudiciales para la salud y el medio ambiente. En la actualidad, se han desarrollado acelerantes de fragua libres de álcalis y no cáusticos, los cuales reducen significativamente los impactos ambientales y los riesgos para el personal. Asimismo, los aditivos plastificantes y superplastificantes, también conocidos como reductores de agua, se emplean para mejorar la trabajabilidad del concreto sin necesidad de aumentar la relación agua-cemento, permitiendo así obtener mezclas más resistentes, bombeables y con mejores condiciones de colocación.



FUENTE: Leon, 2024

Figura 2 — Aditivos superplastificantes



FUENTE: Leon, 2024

Figura 3 — Aditivos superplastificantes

3.2.3 Sostenimiento

De acuerdo con (Acevedo, y otros, 2019) el sostenimiento en minería subterránea comprende el conjunto de métodos, técnicas y sistemas empleados con el propósito de mantener la estabilidad de las excavaciones, asegurando tanto la protección del personal como la conservación de las infraestructuras mineras. Este proceso es fundamental, ya que las labores subterráneas implican la excavación y remoción de importantes volúmenes de roca, lo que altera el equilibrio natural del macizo rocoso y puede generar condiciones de inestabilidad.

Estas modificaciones incrementan el riesgo de eventos como desprendimientos de rocas, movimientos de bloques y, en casos más severos, colapsos parciales o totales de las labores. Frente a ello, el sostenimiento adquiere un rol clave para garantizar que estructuras como túneles, rampas y galerías permanezcan estables, seguras y operativas a lo largo de su vida útil, permitiendo la continuidad de las actividades mineras en condiciones controladas.

Asimismo, el diseño y selección de un sistema de sostenimiento adecuado no solo debe basarse en las características geomecánicas del macizo rocoso, sino también considerar criterios técnicos y económicos. De esta manera, se busca optimizar los costos operativos, mejorar la durabilidad de las excavaciones y contribuir a la eficiencia y sostenibilidad integral de la operación minera subterránea.

3.2.3.1 Tipos de sostenimiento

En la minería subterránea, el sostenimiento constituye un elemento clave para garantizar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de los trabajadores. De acuerdo con su forma de interacción con el macizo rocoso y el mecanismo mediante el cual contribuyen a mantener la estabilidad, los sistemas de sostenimiento se clasifican principalmente en sostenimiento pasivo y sostenimiento activo.

- **Sostenimiento pasivo**

Este tipo de sostenimiento se caracteriza por no ejercer una acción directa o inmediata sobre el macizo rocoso, sino por apoyarse en la resistencia propia del material utilizado y en la capacidad natural de la roca para mantenerse estable. Su función principal es actuar como un refuerzo complementario, ayudando a redistribuir los esfuerzos y a controlar desprendimientos localizados de roca.

Entre los sistemas más comunes de sostenimiento pasivo se encuentran los pernos de anclaje, que permiten fijar bloques inestables al macizo principal, así como las mallas metálicas, cuya función es contener fragmentos pequeños y evitar la caída de material suelto. Generalmente, este tipo de sostenimiento se aplica en macizos rocosos de calidad media a buena, donde la roca presenta una adecuada capacidad de auto estabilidad.

- **Sostenimiento activo**

A diferencia del sostenimiento pasivo, el sostenimiento activo actúa directamente sobre el macizo rocoso, generando fuerzas adicionales de confinamiento o presión que permiten controlar los desplazamientos y deformaciones de la roca. Este tipo de sostenimiento se emplea cuando el macizo presenta baja resistencia, alta fracturación o una marcada tendencia a la inestabilidad.

Entre los ejemplos más representativos se incluyen los pernos expansivos con sistemas de resorte, que ejercen presión continua

contra la roca, las cementaciones o inyecciones, que consolidan zonas fracturadas mediante materiales de relleno, y los sistemas hidráulicos, capaces de aplicar presión constante para mantener la estabilidad de la excavación. El sostenimiento activo es especialmente utilizado en zonas críticas o de alto riesgo, donde resulta indispensable una intervención directa para prevenir derrumbes o colapsos.

3.2.3.2 Métodos comunes de sostenimiento

En minería subterránea se utilizan diversos métodos de sostenimiento con la finalidad de asegurar la estabilidad de las excavaciones y proteger la integridad de los trabajadores. La elección del método adecuado depende de factores como las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, el tipo y diseño de la labor minera, así como el nivel de riesgo asociado a posibles desprendimientos. Entre los métodos más empleados se encuentran los siguientes:

- **Pernos de anclaje o de perforación**

Son elementos que se instalan dentro de la roca mediante perforaciones, cuya función es fijar bloques inestables y mejorar la cohesión del macizo rocoso. Actúan como un refuerzo interno que limita el desplazamiento de fragmentos y aumenta la capacidad resistente del terreno. Generalmente están fabricados en acero de alta resistencia o materiales compuestos, y suelen utilizarse de manera complementaria con otros sistemas de sostenimiento.

- **Mallas metálicas**

Corresponden a estructuras flexibles que se colocan en las paredes y el techo de las excavaciones, fijándose mediante pernos o anclajes. Su principal función es retener fragmentos sueltos de roca, evitando su caída y reduciendo el riesgo para el personal. Este método se emplea comúnmente como complemento de los pernos de anclaje para incrementar el nivel de seguridad.

- **Soportes de acero o metálicos**

Se aplican principalmente en zonas donde el macizo rocoso presenta condiciones de alta inestabilidad. Incluyen elementos como arcos o estructuras metálicas que sostienen directamente el peso de la roca, transfiriendo las cargas hacia puntos de apoyo más seguros. Su uso es frecuente en labores de gran sección o en áreas críticas con baja capacidad de auto estabilidad.

- **Hormigón proyectado (shotcrete)**

Consiste en la proyección de concreto a alta presión sobre las superficies de la excavación, formando una capa continua que refuerza el macizo y previene desprendimientos. En función de las condiciones geológicas, el shotcrete puede ser reforzado con fibras de acero, fibras sintéticas o mallas metálicas, lo que incrementa su resistencia y durabilidad. Es uno de los métodos más versátiles y ampliamente utilizados en minería subterránea.

- **Barras y anclajes de resorte**

Son sistemas diseñados para absorber energía en zonas sometidas a elevadas tensiones o donde se prevén movimientos repentinos del macizo rocoso. Su capacidad de deformación controlada permite mantener la estabilidad de la excavación frente a esfuerzos dinámicos, siendo especialmente útiles en minas con alta presión o actividad sísmica.

- **Mantos o envolventes de polímeros**

En determinadas situaciones se utilizan láminas o envolventes de polímeros reforzados que actúan como una barrera protectora, evitando la caída de fragmentos sueltos. Este tipo de sostenimiento se aplica de manera puntual, ya sea como refuerzo adicional o cuando no es viable el uso de mallas metálicas tradicionales.

3.2.3.3 Factores a considerar en el sostenimiento

La elección y correcta implementación de un sistema de sostenimiento en minería subterránea no responde a un criterio único, sino que está

condicionada por diversas variables de carácter técnico y operativo. Entre los factores más relevantes que deben analizarse se encuentran los siguientes:

- **Condiciones geomecánicas del macizo rocoso**

Las propiedades del macizo, tales como su calidad, nivel de fracturamiento, presencia de fallas, zonas alteradas y su clasificación geomecánica (RMR, Q de Barton, entre otras), influyen directamente en el tipo de sostenimiento requerido. Cuanto menor sea la competencia de la roca o mayor su grado de inestabilidad, será indispensable aplicar sistemas de soporte más resistentes y de instalación inmediata.

- **Tipo de excavación**

El sistema de sostenimiento varía según la naturaleza y dimensiones de la labor minera. En excavaciones de sección reducida, como galerías, pueden emplearse pernos y mallas; mientras que en rampas, túneles principales o cámaras de explotación se requieren métodos de mayor capacidad, como concreto lanzado reforzado o estructuras metálicas. Asimismo, la forma y geometría de la excavación condicionan la distribución de esfuerzos y, por tanto, el tipo de soporte más eficiente.

- **Evolución de la excavación**

Durante el avance de las labores, el estado tensional del macizo rocoso puede cambiar debido a la redistribución de esfuerzos. Esta situación demanda un seguimiento continuo de las condiciones del terreno y, en muchos casos, la incorporación de refuerzos adicionales o la combinación de distintos sistemas de sostenimiento. Por ello, resulta clave que el sistema seleccionado sea flexible y permita adaptarse a las condiciones cambiantes a lo largo del tiempo.

- **Seguridad y normativas aplicables**

Todo sistema de sostenimiento debe ajustarse a la normativa minera y a los estándares técnicos nacionales e internacionales establecidos. El cumplimiento de estas disposiciones asegura no solo la protección

del personal, sino también la estabilidad de las excavaciones y la continuidad segura y sostenible de las operaciones mineras.

3.2.4 Costos unitarios

3.2.4.1 Estructura de costos en minería

La estructura de costos en la actividad minera es un elemento clave para una adecuada administración económica, pues permite reconocer, supervisar y mejorar el uso de los recursos empleados en cada etapa del proceso productivo. Dicho proceso comprende desde las actividades iniciales de exploración hasta la etapa final de comercialización del mineral, incluyendo fases fundamentales como el desarrollo, la explotación y el procesamiento.

Dentro de esta estructura se consideran los siguientes componentes principales:

- **Costos de desarrollo y construcción:** Corresponden a la habilitación de accesos, galerías y rampas, así como a la construcción de infraestructura complementaria como plantas, talleres, polvorines y campamentos. También consideran la adquisición, instalación y puesta en operación de equipos y maquinaria necesarios para iniciar la explotación.
- **Costos operativos:** Comprenden los gastos directamente asociados a la producción minera, tales como perforación, voladura, carguío, transporte, ventilación, tratamiento del mineral y pago de mano de obra. Estos costos suelen representar una de las mayores proporciones dentro del presupuesto total de la operación.
- **Costos de mantenimiento:** Están relacionados con las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos e infraestructura. Una gestión eficiente de estos costos es fundamental para reducir fallas, evitar interrupciones imprevistas y extender la vida útil de los activos.

- **Costos financieros:** Incluyen los intereses por financiamientos, amortizaciones, seguros y obligaciones tributarias vinculadas a la operación minera, los cuales influyen de manera directa en la rentabilidad del proyecto.
- **Costos ambientales:** Han cobrado mayor importancia debido a las exigencias de la normativa ambiental vigente. Abarcan la gestión de residuos, el control de emisiones, el monitoreo ambiental, los planes de cierre y las acciones de recuperación de áreas intervenidas.
- **Costos de comercialización y logística:** Consideran el transporte del mineral o concentrado hacia plantas de beneficio o mercados de destino, el almacenamiento, los trámites administrativos y aduaneros, así como la distribución. Estos costos son determinantes para la competitividad y el acceso a los mercados nacionales e internacionales.

Asimismo, es esencial diferenciar entre:

- Costos fijos, que se mantienen prácticamente constantes independientemente del nivel de producción, como la depreciación de equipos o los sueldos del personal administrativo y de supervisión.
- Costos variables, que varían según la intensidad de la operación, incluyendo el consumo de energía, explosivos, reactivos, repuestos y otros insumos directamente relacionados con el volumen de producción.

3.2.4.2 Costos unitarios en operaciones mineras

Según (Mamani, 2024). Los costos unitarios son un indicador clave para evaluar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras, ya que representan el gasto requerido para extraer o procesar cada unidad de mineral. Este indicador permite a la empresa medir su desempeño operativo y apoyar la toma de decisiones estratégicas orientadas a la

optimización de recursos, el fortalecimiento de la competitividad y la sostenibilidad en el largo plazo.

Los costos unitarios se desglosan principalmente en las siguientes categorías:

- **Costos de extracción:** Incluyen el conjunto de actividades necesarias para la obtención del mineral, tales como perforación, voladura, carguío y transporte. Estos costos están influenciados por factores como la dureza y la estructura del macizo rocoso, la profundidad de la operación y la tecnología empleada. Asimismo, el costo de acarreo depende de la distancia y del volumen de material movilizado, lo cual incide directamente en la eficiencia operativa.
- **Costos de procesamiento:** Corresponden a los gastos vinculados al tratamiento y concentración del mineral, como el consumo de reactivos, energía y agua, además del mantenimiento de los equipos utilizados en procesos de trituración, molienda, flotación o cianuración. La eficiencia de estos procesos y la calidad del mineral influyen de manera directa en el costo final por unidad procesada.
- **Costos administrativos y operativos:** Comprenden los desembolsos asociados al personal, incluyendo remuneraciones, beneficios sociales, transporte y seguridad industrial. También consideran el mantenimiento de maquinaria y equipos, así como la implementación de medidas destinadas a garantizar la seguridad y la calidad en todas las etapas de la operación minera. Estos costos resultan indispensables para asegurar la continuidad operativa con adecuados niveles de productividad y seguridad.
- **Costos financieros y ambientales:** Abarcan los pagos por intereses y amortización de obligaciones financieras, así como las inversiones requeridas para la gestión ambiental. Esto incluye el manejo y tratamiento de residuos, la gestión de aguas, la rehabilitación de áreas intervenidas y el cumplimiento de la normativa ambiental

vigente. Estos costos influyen tanto en la rentabilidad del proyecto como en su sostenibilidad y aceptación social a largo plazo.

3.3 Marco conceptual

- **Split set**

El Split Set es un elemento de estabilización conformado por un tubo de acero con una ranura longitudinal, diseñado con un extremo cónico que facilita su introducción en el taladro perforado. En el extremo opuesto cuenta con una brida anular soldada, cuya función es sostener la placa de apoyo, contribuyendo así a la estabilidad del macizo rocoso (Torres, y otros, 2023).

- **Shotcrete**

El shotcrete se ha consolidado como uno de los principales sistemas de sostenimiento en minería subterránea. En los últimos años se ha demostrado que es un método de aplicación sencilla, que actúa directamente sobre la superficie excavada y puede reemplazar a sistemas pasivos de sostenimiento con menores costos. Su uso continuo ha permitido el desarrollo e implementación de tecnologías más avanzadas para su transporte y aplicación, mejorando su eficiencia operativa (Aguilar, 2018).

- **Capa**

Se define como el espesor de shotcrete ya fraguado, el cual se obtiene mediante la superposición de varias pasadas sucesivas de la boquilla durante el proceso de aplicación (Leon, 2024).

- **Costos**

Los costos representan un componente clave en cualquier actividad industrial, adquiriendo mayor importancia en sectores como la minería y la metalurgia, donde las inversiones iniciales y los gastos operativos suelen ser elevados. El análisis detallado de la estructura de costos resulta fundamental para evaluar la rentabilidad de las operaciones y sustentar decisiones estratégicas. Una adecuada gestión de costos permite detectar oportunidades de mejora, optimizar procesos productivos, ajustar procedimientos operativos y maximizar la eficiencia económica (Ciro, 2014).

- **Sostenimiento**

El sostenimiento en minería subterránea es esencial debido a que las labores se desarrollan en espacios vacíos generados por la extracción del mineral, los cuales pueden presentar condiciones de inestabilidad. Para garantizar áreas de trabajo seguras, es necesario redistribuir las fuerzas que actúan entre la excavación y el macizo rocoso mediante la instalación oportuna de sistemas de refuerzo adecuados. La elección del sostenimiento debe considerar las características geológicas y geomecánicas del terreno, como el tipo de roca, su resistencia, la presencia de fallas, fracturas, humedad y presiones geo estáticas. Un diseño y control apropiados del sostenimiento permiten prevenir colapsos, reducir accidentes y optimizar la continuidad y eficiencia de las operaciones subterráneas (Quilca, 2004).

- **Concreto proyectado**

Material constituido por cemento, agua y agregados, que se aplica mediante proyección neumática sobre superficies subterráneas con el fin de asegurar la estabilidad de túneles, galerías y otras excavaciones mineras.

- **Rebote**

Se expresa generalmente en porcentaje y corresponde a la fracción de la mezcla de shotcrete que no se adhiere a la superficie de aplicación durante el proceso de proyección, perdiéndose en las paredes, la corona o el piso de la labor subterránea (Leon, 2024).

- **Tiempo de fragua**

Es el intervalo necesario para que el concreto pase de un estado plástico a uno rígido, siendo un factor determinante para la seguridad, estabilidad y continuidad de las labores mineras.

- **Aditivos acelerantes**

Son sustancias químicas añadidas al concreto proyectado con el objetivo de disminuir el tiempo de fragua, mejorando su comportamiento y desempeño en condiciones propias de ambientes subterráneos.



- **Shotcrete vía húmeda**

Sistema de aplicación del concreto proyectado en el cual la mezcla de cemento, agregados y agua se prepara previamente antes de ser transportada y proyectada en el frente de trabajo (Ccahuana, y otros, 2024).

- **Shotcrete por vía seca**

Método en el que el cemento y los agregados se dosifican y mezclan en seco, incorporándose el agua recién en la boquilla de proyección al momento de la aplicación (Ccahuana, y otros, 2024).

- **Innovaciones tecnológicas**

Se refieren a la incorporación de equipos modernos y técnicas avanzadas, como robots de proyección y sistemas de monitoreo en tiempo real, orientados a mejorar la calidad, eficiencia y control del concreto proyectado en minería subterránea.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, el cual, de acuerdo con Medina et al. (2019), se caracteriza por el uso sistemático de datos numéricos y resultados obtenidos a partir de distintos análisis estadísticos. En este estudio se formularon hipótesis, se recolectaron datos y estos fueron procesados mediante herramientas estadísticas, lo que permitió sustentar la toma de decisiones orientadas a la optimización de los procesos evaluados en función de los objetivos planteados.

Asimismo, la investigación corresponde a un tipo aplicativo, ya que, según Tomasada et al. (2015), este tipo de estudios se orienta a la aplicación práctica de conocimientos y herramientas existentes, utilizando información obtenida de manera directa en el campo. En ese sentido, se emplearon modelos matemáticos previamente desarrollados para la optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado, los cuales fueron evaluados y contrastados en el presente estudio, seleccionando el modelo más adecuado según las características del macizo rocoso de la labor analizada.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo, ya que se orienta a detallar y caracterizar las actividades que se desarrollan en el proceso de sostenimiento de labores permanentes, permitiendo describir sus condiciones, procedimientos y características tal como se presentan en el contexto de estudio. Este enfoque facilita la comprensión del comportamiento de las variables involucradas sin intervenir ni modificar el entorno operativo.

4.3 Descripción ética de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo respetando los lineamientos establecidos en la Guía de Elaboración de Tesis de Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. La información recolectada mediante los instrumentos de



investigación fue utilizada garantizando en todo momento el anonimato y la confidencialidad de los trabajadores que conformaron la muestra de estudio.

Las ideas, conceptos y aportes de otros autores que sirvieron como sustento teórico y metodológico fueron debidamente citados, empleando la norma ISO 690, asegurando así el respeto a la propiedad intelectual. La investigación tuvo fines estrictamente académicos, y su originalidad fue verificada mediante el software Urkund, obteniéndose un porcentaje de similitud inferior al 25 %, en cumplimiento de las exigencias institucionales. Finalmente, se declara que los datos obtenidos a través de los instrumentos de investigación son verídicos y no han sido modificados ni alterados en beneficio del investigador.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

La población de la presente investigación está constituida por las labores permanentes de la Unidad Minera Inmaculada, específicamente aquellas donde se aplica el concreto lanzado (shotcrete) como sistema de sostenimiento. Estas labores representan el conjunto total de frentes en los que se desarrollan procesos de aplicación y control del tiempo de fragua del concreto proyectado, bajo condiciones operativas y geomecánicas similares, y sobre las cuales se orientan los objetivos del estudio.

4.4.2 Muestra

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la rampa 5000 positiva que es representativa de las labores permanentes donde se ejecuta el proceso de aplicación y fragua del concreto lanzado. Está cortada fue elegida debido a la accesibilidad de información, la continuidad del proceso operativo y la disponibilidad de datos técnicos necesarios para el análisis. La muestra permitió evaluar de manera directa el comportamiento del tiempo de fragua del shotcrete y su incidencia en la seguridad y eficiencia del sostenimiento, siendo coherente con los objetivos y resultados de la investigación.



4.5 Procedimiento

El procedimiento de la presente investigación se desarrolló de forma ordenada y sistemática, con el propósito de describir el comportamiento del tiempo de fragua del concreto lanzado y su incidencia en los costos operativos del ciclo de minado en las labores de producción de la Mina Inmaculada, ubicada en la región Ayacucho. El estudio se centró en la observación, registro y análisis de las condiciones reales en las que se aplica el sostenimiento con shotcrete, sin modificar los procesos operativos habituales de la unidad minera.

En una primera etapa, se realizó la identificación de las principales actividades del ciclo de minado relacionadas con el sostenimiento, tales como perforación, voladura, aplicación del concreto lanzado, tiempo de fragua y habilitación de las labores. Estas actividades fueron descritas considerando su secuencia operativa y su influencia en la continuidad de los trabajos productivos. De manera paralela, se efectuó una revisión de literatura técnica especializada vinculada al uso del shotcrete en minería subterránea y a los tiempos de fragua del concreto proyectado.

Posteriormente, se llevó a cabo la recolección de información en campo, mediante el registro de tiempos de fragua del concreto lanzado, avances diarios de las labores y costos asociados al sostenimiento. Estos datos fueron obtenidos a partir de reportes operativos, registros de producción y observaciones directas realizadas durante el desarrollo normal de las labores de minado, lo que permitió establecer una descripción del desempeño operativo del shotcrete en condiciones reales.

Asimismo, se realizó la descripción de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en las zonas evaluadas, específicamente en el tajo (+) 5000, considerando aspectos como el tipo de roca, grado de fracturamiento y necesidad de sostenimiento inmediato. Esta información fue obtenida a partir de mapeos geológicos, observaciones en campo y documentación técnica existente, permitiendo contextualizar la aplicación del concreto lanzado dentro de las condiciones propias del yacimiento.

Como parte del procedimiento, se efectuó la descripción comparativa de los tiempos de fragua observados durante la aplicación del concreto lanzado utilizando los aditivos acelerantes MasterRoc SA 160 y MasterRoc SA 193. Para ello, se registraron los tiempos de endurecimiento inicial y la habilitación de las labores posteriores a la aplicación del



shotcrete, tanto en pruebas de laboratorio como en condiciones operativas de campo, sin alterar las dosificaciones establecidas por la operación.

Adicionalmente, se describieron las características del diseño del shotcrete empleado, considerando la dosificación de los materiales, las propiedades de la arena Sorani y las condiciones ambientales presentes durante su aplicación. Esta descripción permitió identificar las variaciones observadas en el tiempo de fragua y su efecto en la programación de las actividades del ciclo de minado.

Finalmente, se realizó la descripción de la disponibilidad mecánica de los equipos involucrados en el proceso de aplicación del concreto lanzado, tales como equipos lanzadores, mixers y equipos auxiliares. Se analizaron los tiempos operativos y de inactividad registrados, con el fin de identificar su influencia en la continuidad del sostenimiento y en los costos operativos asociados.

El desarrollo de este procedimiento permitió describir de manera integral el comportamiento del tiempo de fragua del concreto lanzado y su relación con los costos operativos, proporcionando información relevante para la toma de decisiones orientadas a mejorar la eficiencia del sostenimiento en las labores de producción de la Mina Inmaculada.

4.6 Técnica e instrumentos

La presente investigación empleó técnicas propias del enfoque cuantitativo y del nivel descriptivo, orientadas a la recopilación, medición y análisis de datos objetivos relacionados con el proceso de sostenimiento mediante concreto lanzado en labores de producción minera. Estas técnicas permitieron describir de manera sistemática las características del tiempo de fragua del shotcrete y su comportamiento operativo dentro del ciclo de minado.

Como técnica principal se utilizó la observación directa, aplicada durante las actividades de sostenimiento en campo, lo que permitió registrar de forma objetiva los tiempos de fragua, las condiciones de aplicación del concreto proyectado y la secuencia operativa del ciclo de minado. Esta observación se realizó de manera estructurada, considerando criterios previamente definidos para garantizar la consistencia de la información recolectada.



Asimismo, se empleó la revisión documental, mediante el análisis de reportes técnicos, partes diarios de operación, registros de costos, hojas de control de sostenimiento y documentos internos de la unidad minera. Esta técnica permitió obtener información cuantificable relacionada con costos operativos, consumo de materiales, tiempos de operación y desempeño de los aditivos acelerantes utilizados en el concreto lanzado.

Complementariamente, se aplicó la medición directa, como técnica cuantitativa, para el registro de variables numéricas tales como tiempos de fragua, volúmenes de concreto proyectado y costos unitarios asociados al sostenimiento. Los datos obtenidos fueron organizados en tablas y posteriormente analizados mediante procedimientos estadísticos descriptivos, permitiendo identificar tendencias, promedios y comparaciones entre las condiciones evaluadas.

El uso conjunto de estas técnicas facilitó la descripción objetiva del fenómeno de estudio, asegurando la confiabilidad de los datos y permitiendo cumplir con los objetivos planteados dentro de un enfoque descriptivo y cuantitativo.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1 Características mecánicas del concreto lanzado

a) Granulometría

Es necesario que se lleve un control minucioso de la granulometría del agregado, así la gradación se encuentre dentro de los parámetros de la gradación N° 2 en agregado fino (Seco).

Tabla 4 — Control de la granulometría del agregado

Aberturas	Tamices	%	%	% Pasante Acumulado						
mm	ASTM	Min	Max	19/10	20/10	21/10	22/10	23/10	24/10	25/10
0,5	½"	100	100	99,7	99,4	100	99,6	99,2	99,8	99,7
0,375	3/8"	90	100	97,0	96,4	9,7	96,7	95,1	97,6	97,6
0,187	#4	70	85	78,4	77,1	76,9	77,5	77,2	79,9	80,5
0,0937	#8	50	70	60,6	59,0	58,3	58,8	58,7	59,5	61,4
0,0469	#16	35	55	42,3	44,2	44,0	43,3	73,3	44,2	45,5
0,0234	#30	20	35	28,4	30,2	27,6	29,0	28,8	30,1	30,7
0,0117	#50	8	20	15,0	17,7	14,0	14,6	15,8	16,9	17,9
0,0059	#100	2	10	3,0	4,7	2,8	3,1	3,4	4,4	4,6
0,00	Fondo	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

La desviación y/o inclinación de la curva granulométrica hacia el parámetro grueso repercutirá en la segregación y exudación de la mezcla, así mismo aumentará el desperdicio del volumen de concreto por el exceso de rebote y deficiente compactación al momento del lanzado en el sustrato.

La desviación y/o inclinación de la curva granulométrica hacia el parámetro fino repercutirá en un incremento de material cementicio en el diseño, incremento de los aditivos plastificantes, así mismo es más propenso a la fisuración del shotcrete lanzado por exceso de finos y baja resistencia del concreto.



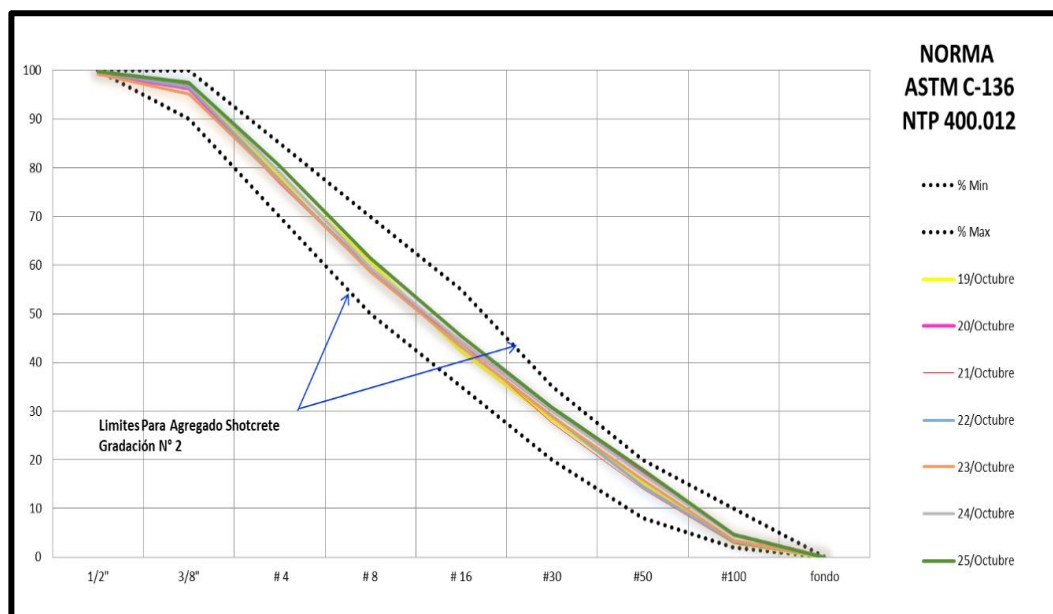


Figura 4 — Grafico del comportamiento de la granulometría a 7 días

b) Determinación del % malla #200 teniendo como muestra representativa 7 días

Tabla 5 — Determinación del % malla #200 teniendo como muestra representativa 7 días

ITEM	Prueba N°1	Prueba N°2	Prueba N°3	Prueba N°4	Prueba N°5	Prueba N°6	Prueba N°7
	19/10	20/10	21/10	22/10	23/10	24/10	25/10
Peso de tara (g)	1030,3	1030,3	1047,1	1020,2	1020,1	1019,8	1020,1
Peso de muestra seca (g)	1931,0	2010,7	1971,7	1899,1	2051,0	1891,6	2051,0
Peso de muestra después del lavado seca (g)	1886,1	1962,6	1925,6	1857,6	2001,6	1849,7	2001,6
% malla 200	4,9	4,9	4,9	4,7	4,8	4,8	4,7
FUENTE: Elaboración propia.							

Fórmula para determinar el % malla #200

$$\%Malla\ 200 = \frac{(E-F)}{(E-D)} \times 100 \quad (4)$$

donde

- D* es el peso de tara (g);
E es el peso de muestra seca (g);
F es el peso de la muestra después del lavado y seco (g);

Desarrollo:

- Prueba N° 1

$$\%Malla\ 200 = \frac{(1931,0 - 1886,1)}{(1931,0 - 1030,3)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(44,9)}{(900,7)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,9 \%$$

- Prueba N° 2

$$\%Malla\ 200 = \frac{(2010,7 - 1962,6)}{(2010,7 - 1030,3)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(48,1)}{(980,4)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,9 \%$$

- Prueba N° 3

$$\%Malla\ 200 = \frac{(1971,7 - 1925,6)}{(1971,7 - 1047,1)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(46,1)}{(924,6)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,9 \%$$

- Prueba N° 4

$$\%Malla\ 200 = \frac{(1899,1 - 1857,6)}{(1899,1 - 1020,2)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(41,5)}{(878,9)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,7 \%$$

- Prueba N° 5

$$\%Malla\ 200 = \frac{(2051,0 - 2001,6)}{(2051,0 - 1020,1)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(49,4)}{(1030,9)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,8 \%$$

- Prueba N° 6

$$\%Malla\ 200 = \frac{(1891,6 - 1849,7)}{(1891,6 - 1019,8)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(42,0)}{(871,8)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,8 \%$$

- Prueba N° 7

$$\%Malla\ 200 = \frac{(2051,0 - 2001,6)}{(2051,0 - 1020,1)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = \frac{(49,4)}{(1030,9)} \times 100$$

$$\%Malla\ 200 = 4,7 \%$$

El contenido de material fino para la malla #200 no debe superar el 5% según norma ASTM C 117, para la elaboración de concreto lanzado.

Si exceso de contenido de material fino en la malla # 200 es superior a 5% repercute en la trabajabilidad de la mezcla en el transcurso del tiempo, presentando fisuración del shotcrete endurecido por contracción.

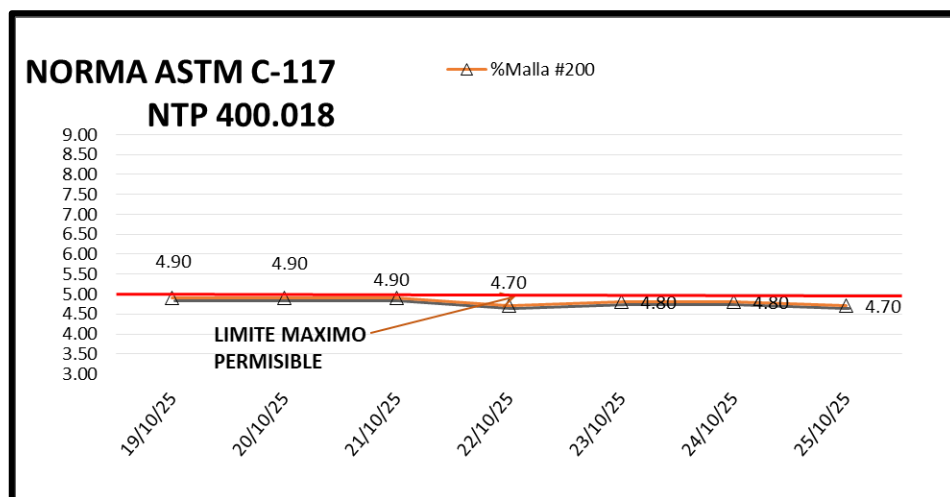


Figura 5 — Límite máximo permisible malla 200

c) Determinación del módulo de fineza para el concreto lanzado

Teniendo como muestra el % malla #200 prueba N°1

Tabla 6 — Muestra el % malla #200 prueba N°1

ITEM	Prueba N°1
	19/10
Peso de tara (g)	1030,3
Peso de muestra seca (g)	1931,0
Peso de muestra después del lavado seca (g)	1886,1
% malla 200	4,9

MUESTRA FINAL = es el peso de muestra despues del lavado seco – Peso de tara (5)

$$MUESTRA\ FINAL = 1886,1 - 1030,3$$

$$MUESTRA\ FINAL = 855,1\ g$$

Determinación del módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3"+ 1½"+ ¾" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100

Realizando las pruebas en laboratorio se obtuvo los siguientes datos para la determinación del módulo de fineza.

Tabla 7 — Pruebas en laboratorio se obtuvo los siguientes datos para la determinación del módulo de fineza

Malla	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Parámetros gradación #2
3"					
2 1/2"		0,0	0,0	100	
2"		0,0	0,0	100	
1 1/2"		0,0	0,0	100	
1"		0,0	0,0	100	
3/4"		0,0	0,0	100	
1/2"	4,1	0,5	0,5	99,5	100
3/8"	24,4	2,9	3,4	96,7	90 - 100
# 4	164,0	19,2	22,6	77,5	70 - 85
# 8	154,7	18,1	40,7	59,4	50 - 70
# 16	128,6	15,0	55,6	44,4	35 - 55
# 30	123,6	14,5	70,1	29,9	20 - 35
# 50	109,7	12,8	82,9	17,1	8 - 20
# 100	110,3	12,9	95,8	4,2	2 - 10
Fondo	35,7	4,2	100	0	
TOTAL	855,1 (g)	100 %	Módulo de fineza	3,71	

NOTA

Para agregado Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno.

FUENTE: Elaboración propia.

El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Determinar el porcentaje retenido

$$\% \text{ Retenido} = \left(\frac{\text{Peso Retenido}}{\sum \text{Peso Retenido}} \right) \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Retenido} = \left(\frac{4,1}{855,1} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Retenido} = 0,5 \%$$

Determinación de módulo de fineza

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{\sum(\text{Porcentaje retenido acumulado})}{100} \quad (7)$$

Solución:

$$\begin{aligned} \text{Modulo de fineza} \\ = \frac{\sum(0,5 + 3,4 + 22,6 + 40,7 + 55,6 + 70,1 + 82,9 + 95,8)}{100} \end{aligned}$$

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{371,6}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = 3,71 \%$$

Resultados acumulados del módulo de fineza

Tabla 8 — Resultados acumulados del módulo de fineza

Fecha	Módulo de fineza
19/10/25	3,71
20/10/25	3,71
21/10/25	3,68
22/10/25	3,65
23/10/25	3,70
24/10/25	3,68
25/10/25	3,70

Para la elaboración de un buen shotcrete se debe de mantener un módulo de fineza del agregado entre 3,60 a 3,80 como recomendación técnica.

La desviación fuera de los parámetros recomendados conllevara a un sobre costo en la optimización de la calidad del shotcrete.

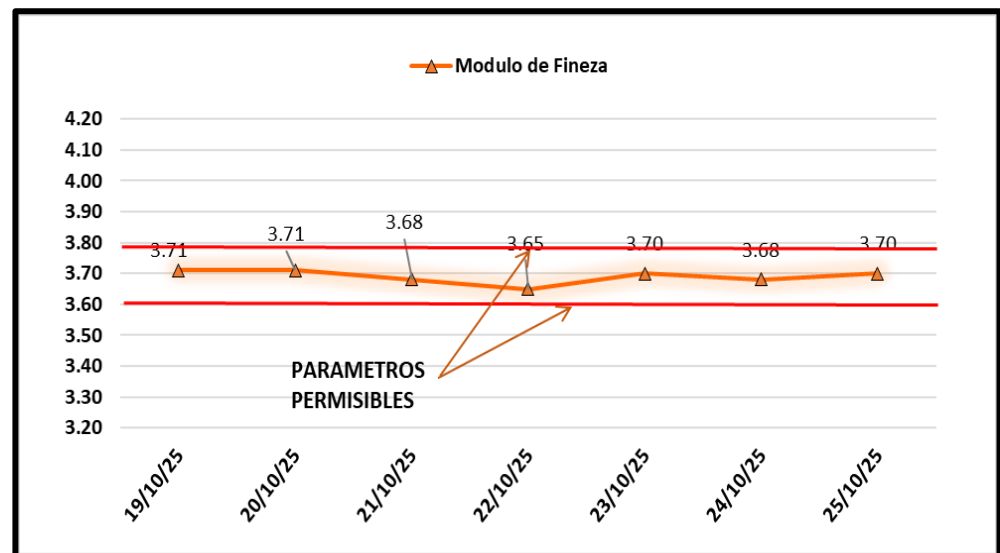


Figura 6 — Parámetros permisible módulo de fineza

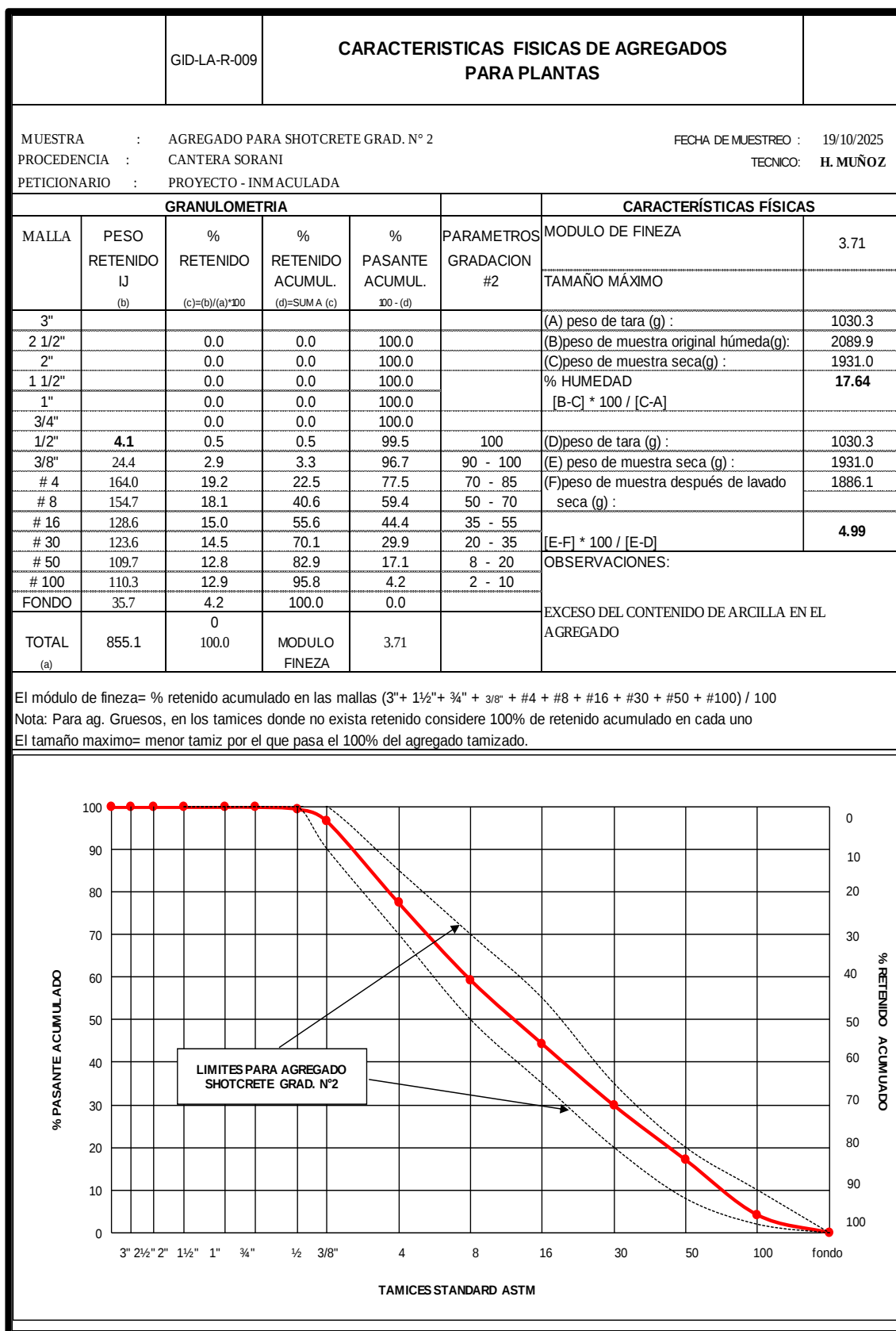


Figura 7 — Características físicas del agregado para el shotcrete en plantas

5.1.1.1 Determinación de las características físicas del shotcrete en estado fresco mediante datos de laboratorio

Tabla 9 — Características físicas del shotcrete en estado fresco mediante datos de laboratorio

Fecha	Slump (pulgadas)	Rendimiento	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de % aire	Temperatura del concreto °c
19/10/25	10 ½	1,00	2015	7,5	14,2
20/10/25	10 ¾	1,01	1993	8,0	15,2
21/10/25	10 ¾	1,00	1016	7,8	14,8
22/10/25	10 ¾	1,00	2009	8,0	16,8
23/10/25	10 ¾	1,00	2021	7,5	15,2
24/10/25	10 ¾	1,01	1985	8,2	17,6
25/10/25	10 ¾	1,00	2008	8,5	17,9
FUENTE: Elaboración propia					

a) Slump

El slump determina la consistencia de la mezcla en estado fresco, buscando una trabajabilidad idónea para el traslado con el camión hormigonero, trasegado y lanzado con el robot lanzador, se determina mediante el cono de Abrams en la norma ASTM C143 (se recomienda contar con un slump de 10 ½” +- ¼” salida de planta)

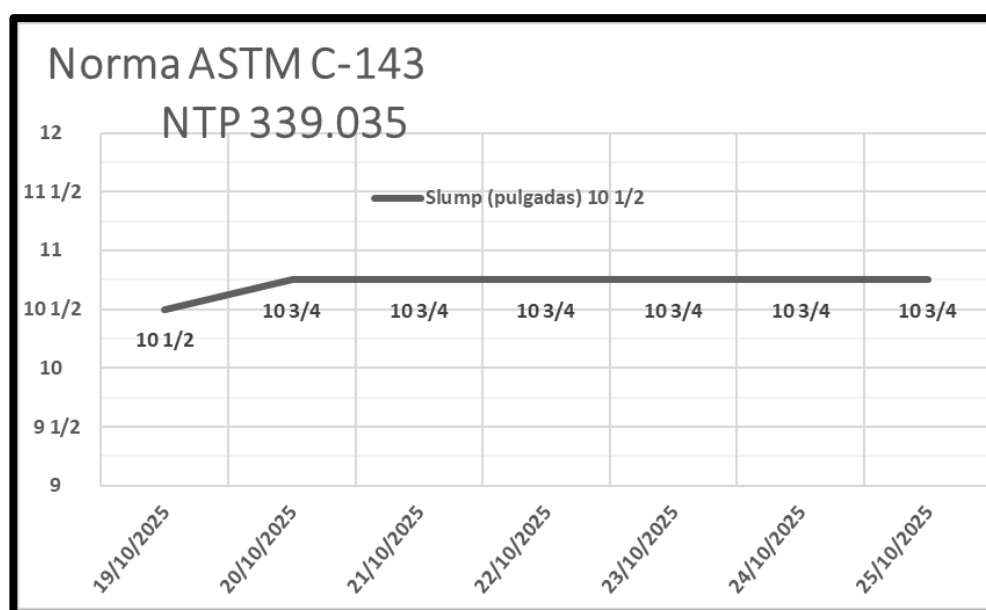


Figura 8 — Norma Astmc-143

b) Rendimiento

Comparativo de pesos que ingresan en un metro cubico de concreto a escala de laboratorio. Se recomienda mantener los resultados dentro de un parámetro de 100 ± 0.02 según norma ASTM C138

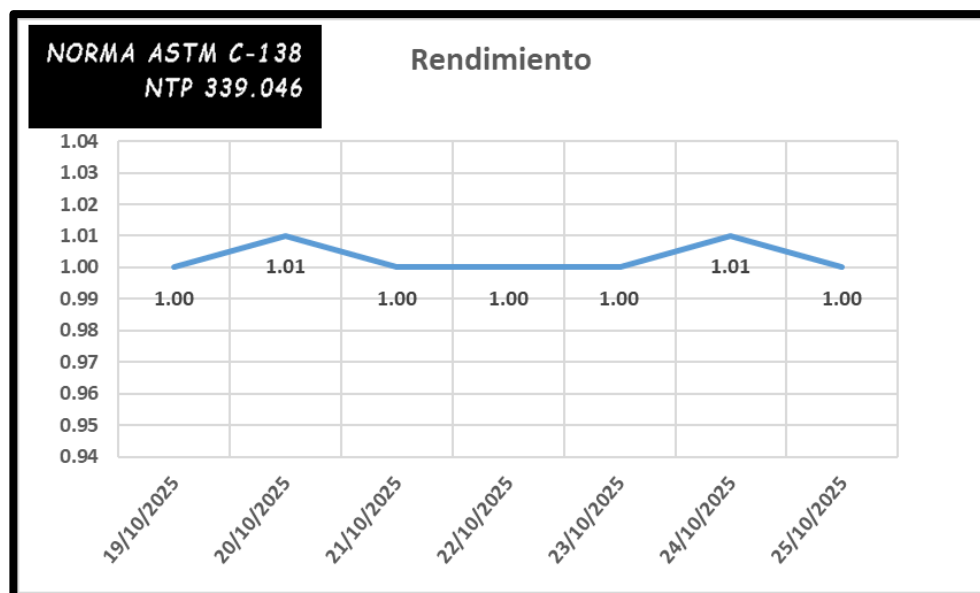


Figura 9 — Rendimiento Norma ASTM 138

c) Peso unitario (m3)

Es la determinación real de pesos de los insumos por m3 de concreto por volumen a escala de laboratorio.

ASTM C138

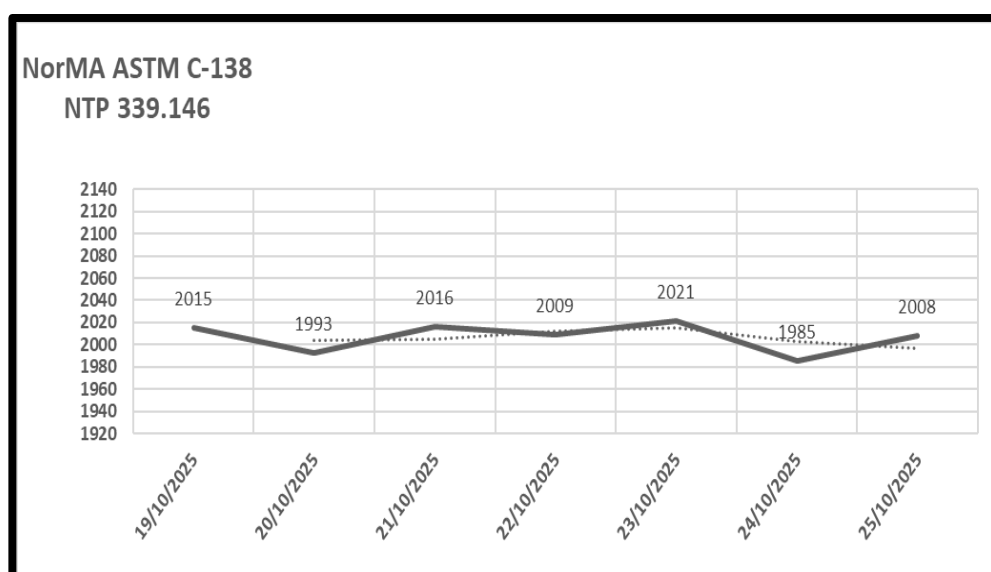


Figura 10 — Norma ASTM C138

d) Contenido de aire

El contenido de aire atrapado en el concreto beneficia a la docilidad de la mezcla facilitando a la bombeabilidad del concreto por el robot lanzador.

Se recomienda mantener un margen de 7% a 9% de aire atrapado en la mezcla.

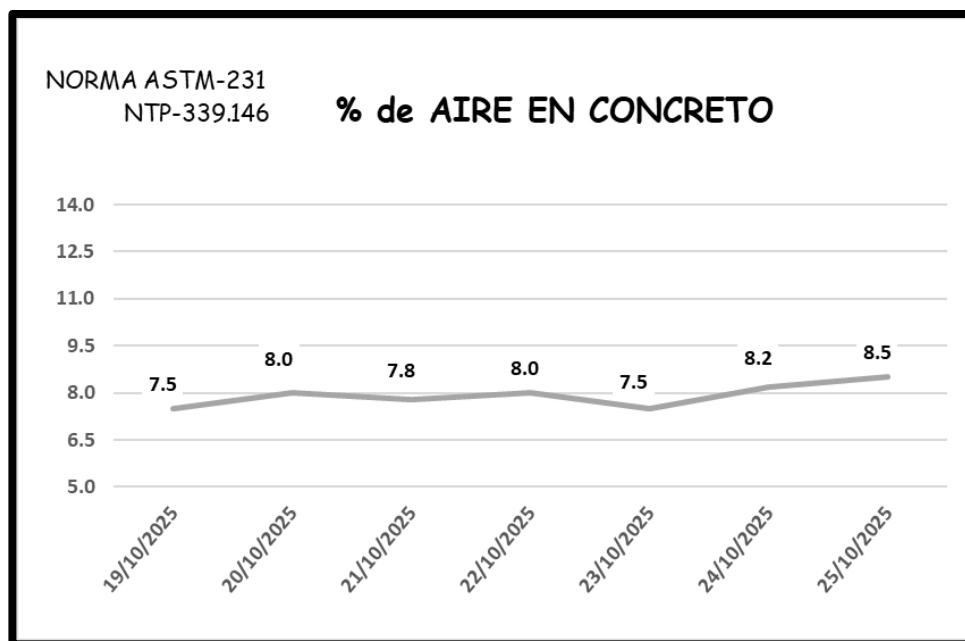


Figura 11 — Norma ASTM 231 % de aire en concreto

e) Temperatura del concreto

La temperatura del concreto se relaciona con el proceso de fraguado del concreto lanzado en interior mina. Para el shotcrete se recomienda contar con un margen de 15°C a 25°C para obtener un incremento adecuado de las resistencias iniciales del concreto lanzado.

Los valores menores a 15° C retardan el proceso de fraguado en inclusive valores menores a 11° C pueden llegar a un punto de congelamiento.

Por lo contrario, valores superiores a 25 °C provocan una pérdida acelerada del slump (pérdida prematura de la trabajabilidad).

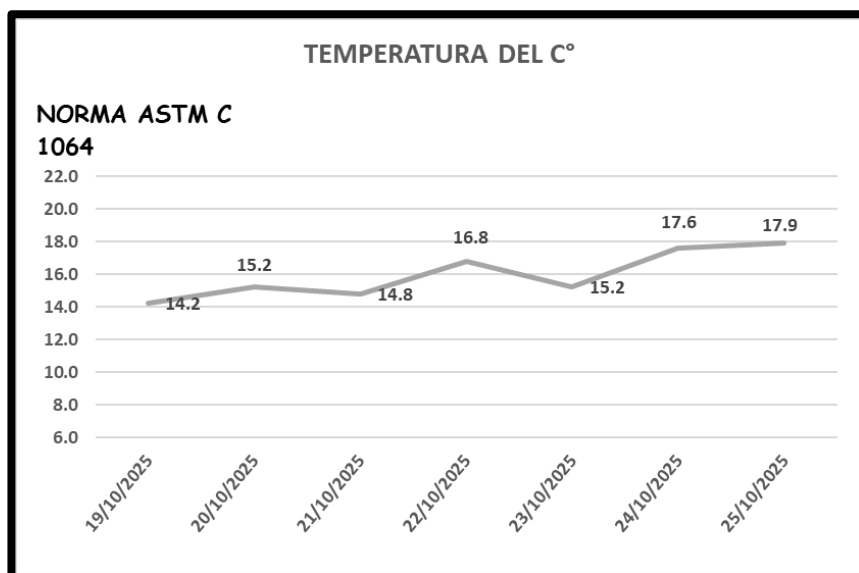


Figura 12 — Norma ASTM C 1064 Temperatura

5.1.1.2 Características mecánicas del concreto lanzado aditivo MASTER ROC 160 S.A Antes

a) Fichas técnicas



BASF
The Chemical Company

MasterRoc® SA 160

Antes MEYCO SA 160

Para mayor información, consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto o contacte a su representante de BASF.

Propiedades	
Aspecto físico:	Líquido viscoso beige.
Densidad, 20° C:	1,43 ± 0,03 g/cm3
pH, 20° C:	2,5 ± 0,5
Contenido en cloruros:	≤ 0,1 %
Viscosidad 20° C Brookfield Sp05/100rpm:	750 ± 250 cps.
Función principal:	Acelerante de fraguado para hormigón proyectado.
Efecto secundario por sobredosificación:	Pérdida de resistencias mecánicas a largo plazo.

Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse a nuestro Departamento Técnico



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

Figura 13 — Ficha técnica MasterRoc

b) Tipo de mezcla de concreto**Tabla 10 — Tipo de mezcla de concreto**

Materiales	Unidad	Peso/Secos
Cemento	kg	440,0
Arena Sorani	kg	1529,0
Master Glenium4220	kg	2,0
Master Ease 3014	kg	1,5
Agua	kg	180,0
Fibra sintética	l	4,0
MasterRoc S.A 160	kg	42,0 (29 l)
R a/c	kg	0,43

c) Resistencia a la compresión diamantina**Tabla 11 — Resistencia a la compresión diamantina**

Tiempos	Requerido por el proyecto (MPa)	Master ROC 160 S.A. (MPa)
28 días	28,0	28,7
FUENTE: Elaboración propia		

d) Resultado

Según la norma ASTM C39, los resultados de resistencia a compresión uniaxial de los testigos cilíndricos de concreto endurecido deben superar el 100% de la resistencia requerida por el proyecto. En este sentido, los resultados obtenidos con el aditivo acelerante MASTER ROC 160 S.A. han mostrado un promedio de 28,7 MPa, lo que indica un desempeño positivo y garantiza el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente.

Este rendimiento no solo asegura la conformidad con la normativa, sino que también refleja la calidad y fiabilidad del concreto, respaldando así la confianza del cliente en los materiales utilizados.

5.1.1.3 Características mecánicas del concreto lanzado aditivo MASTER ROC 193 S.A Después

a) Ficha técnica

CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD		
PRODUCTO:	Sika Sigunit SA 193 (LTS)	
LOTE:	PE-01741-T24	VENCE: DICIEMBRE 2024
FECHA:	18 JUNIO 2024	
EL PRODUCTO CUMPLE CON TODOS LOS REQUISITOS ESPECIFICADOS		
PARAMETRO	LOTE	ESPECIFICACIONES
ASPECTO FISICO	Dispersión homogénea	Dispersión homogénea
COLOR	Beige	Beige - Blanco
DENSIDAD	1.46	Min: 1.44 Max: 1.50 (24.0 - 26.0)°C
%RESIDUO SOLIDO	53.20	Min: 51.00 Max: 55.00 (Lamp., 1g, 130°C)
pH	2.80	Min: 2.00 Max: 4.00 (24.0 - 26.0)°C
Los datos facilitados solamente reflejan los resultados de los controles realizados sobre una muestra representativa. La empresa no se hace responsable por el uso que se haga del producto y/o de la información suministrada. La calidad de nuestros productos está garantizada bajo nuestras Condiciones Generales de Venta. SIKA MBCC PERU S.A. cuenta con certificación ISO 9001 y 14001.		

Figura 14 — Ficha técnica sika

b) Diseño de shotcrete Master Roc 193 S.A

Tabla 12 — Diseño de shotcrete Master Roc 193 S.A

MATERIALES	UNIDAD	PESO/SECOS
Cemento	kg	440,0
Arena Sorani	kg	1275,0
Master Glenium4220	kg	2,4
Master Ease 3014	kg	1,35
Agua	l	180,0
Fibra sintética	kg	4,0
MasterRoc S.A 193	kg	41,0 (28 l)
R a/c		0,41

c) **Resistencia a la compresión diamantina****Tabla 13 — Resistencia a la compresión diamantina**

Tiempos	Requerido por el proyecto (MPa)	Master ROC 160 S.A. (MPa)
28 días	28,0	29,5

d) **Resultado**

Según la norma ASTM C39, los resultados de resistencia a compresión uniaxial de los testigos cilíndricos de concreto endurecido deben superar el 100% de la resistencia mínima requerida por el proyecto. En este contexto, los resultados obtenidos con el aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. han alcanzado un promedio de 29,5 MPa, lo que representa un rendimiento óptimo y superior al de otros aditivos.

Este desempeño no solo cumple con los requisitos del cliente, sino que también establece a MASTER ROC 193 como la opción preferida para garantizar la calidad y fiabilidad del concreto. La capacidad del aditivo para lograr estas resistencias en un tiempo reducido

Comparativo aditivo MASTER ROC S.A 160 S.A y MASTER ROC 193 S.A

El uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. ha demostrado ofrecer resultados significativamente superiores en términos de resistencias tempranas. En comparación con su predecesor, MASTER ROC 160 S.A., que alcanzaba una resistencia de 2,1 MPa a las 4 horas de lanzado, el nuevo aditivo logra una resistencia de 2,5 MPa a tan solo 2 horas después del lanzado.

Además, la dosis utilizada de MASTER ROC 193 es de 28 litros por metro cúbico, lo que representa una reducción de 1 litro en comparación con los 29 litros/m³ requeridos de MASTER ROC 160. Esto no solo resulta en un mejor rendimiento a una dosis menor, sino que también optimiza el proceso de fragua del concreto, acelerando la operación de minado.



En resumen, el aditivo MASTER ROC 193 no solo mejora las resistencias tempranas, sino que lo hace de manera más eficiente, favoreciendo un ciclo de minado más ágil y efectivo.

5.1.2 Determinas los tiempos de fraguado

La presente investigación tiene a bien poner en conocimiento todos los trabajos desarrollados durante el período de asistencia por parte del equipo técnico de Sika MBCC Perú SA (en adelante MBCC), representado por Alan Jonathan Peláez, en la mina Inmaculada los días del 05 al 17 de marzo del presente año.

El área de Geotecnia Inmaculada (en adelante Mina) ha solicitado a MBCC el soporte técnico para reformular el diseño de shotcrete que dispone Unicon en la unidad, “normal”, de tal forma que adquieran una resistencia temprana suficiente para iniciar los trabajos con el equipo Bolter en 2 horas.

Según información recopilada durante la presente visita, Mina está considerando tiempos de espera de 2 y 4 horas de fraguado para retomar el avance. Culminado el lanzamiento del shotcrete, se espera 2 horas de fraguado previo al inicio de la perforación del frente, y 4 horas de espera para el empernado. Como se puede notar, existe un riesgo durante la perforación debido a que esta actividad se viene efectuando sin completar el sostenimiento de las labores con pernos.

El móvil de la visita es básicamente invertir el orden del avance, también, por un tema de seguridad; es decir, primero se estaría culminando el sostenimiento con pernos pasada las 2 horas de fraguado del shotcrete e inmediatamente después se estaría perforando el frente. Como se puede entender, son estas dos actividades, empernado y perforación, los puntos más críticos de estrés para el shotcrete recién proyectado.

Mina ha solicitado llegar a una resistencia mínima de 2.5 MPa pasada las 2 horas de fraguado para retomar el avance de las labores recién sostenidas con shotcrete. MBCC ha considerado la utilización del aditivo MasterRoc SA 193 con dosis del 9% en función al peso del cemento para cumplir con holgura y seguridad esta nueva exigencia por parte de Mina.



MBCC ha llevado a la unidad 1200 litros de MasterRoc SA 193 para el desarrollo de las pruebas a escala industrial. Se asignó los equipos #50 y #44 para dichas pruebas, asimismo, se contó con la presencia y apoyo del personal técnico de Calidad Unicon, Jimmy González y Alonso Tejada, quienes supervisaron el desarrollo de las pruebas, y por parte de Mina se contó con la presencia del Ing. Helbert Cárdenas.

A continuación, se detalla la situación actual de los diseños y el planteamiento por parte del equipo técnico de MBCC.

5.1.2.1 Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 160 S.A

a) Lugar de prueba (Penetrómetro)

Tabla 14 — Lugar de prueba (Penetrómetro)

Zona	Nv4265
Labor	Bp 6450
Mixkret	1013
Espesor	2 pulgadas
Cubos	3,0 m3
Presión de aire	bar
Equipo lanzador	Robot #34
Operador de equipo	Santiago Ochochoque

b) Determinación de resistencias tempranas método A

- Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Tabla 15 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente °C	Fuerza de la penetración (Kp)					Promedio (Kp)	Resistencia a la compresión MPa
01:05	00:15	20,2	27,	22,	32,	32,	22,	26,0	0,47
			27,	22,	27,	27,	22,		
01:20	00:30	20,2	37,	37,	37,	32,	27,	34,5	0,62
			37,	37,	37,	32,	32,		
01:35	00:45	20,2	42,	42,	47,	42,	42,	43,0	0,77
			47,	42,	42,	37,	47,		
01:50	01:00	20,1	52,	52,	47,	47,	52,	49,0	0,88
			52,	42,	62,	67,	62,		
02:05	01:15	20,0	62,	62,	62,	67,	62,	60,5	1,08
			62,	52,	57,	62,	57,		

Calculo para determinar las resistencias a edades tempranas con el uso del penetrómetro.

Formula del penetrómetro.

$$R = \frac{\left(\frac{\sum \text{Muestra (Kp)}}{\text{N}^\circ \text{ De Muestra}} \right)}{56} \quad (8)$$

donde

R es el resistencia a la compresión;

Kp es el Kilo pondios;

Caso 1: a 00:15 min.

$$R = \frac{\left(\frac{27 + 22 + 32 + 32 + 22 + 27 + 22 + 27 + 27 + 22}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{260 \text{ kp}}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,47 \text{ MPa}$$

Caso 2: a 00:30 min.



$$R = \frac{\left(\frac{37 + 37 + 37 + 32 + 32 + 37 + 37 + 37 + 32 + 32}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{345kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,62 MPa$$

Caso 3: a 00:45 min.

$$R = \frac{\left(\frac{42 + 42 + 47 + 42 + 42 + 47 + 42 + 42 + 37 + 47}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{430kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,77 MPa$$

Caso 4: 01:00 min.

$$R = \frac{\left(\frac{52 + 52 + 47 + 47 + 52 + 52 + 42 + 62 + 67 + 62}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{490kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,88 MPa$$

Caso 5: a 01:15 min.

$$R = \frac{\left(\frac{62 + 62 + 62 + 67 + 62 + 62 + 52 + 57 + 62 + 57}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{650kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 1,08 MPa$$

c) **Determinación de resistencias tempranas método B con el uso del Hiltin**

- Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Tabla 16 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente °C	Perno longitud (mm)	Saliente perno (mm)	Penetración perno (mm)	Lectura de carga tracción (KN)	Resistencia en (MPa)
03:05	02:00	19,6	103	11	92	1100	2,04
				10	93	1200	
				10	93	1400	
				12	91	1200	
				11	92	1100	
05:05	04:00	17,4	80	13	67	2200	4,17
				14	66	1900	
				13	67	2000	
				14	66	1900	
				12	68	1800	

Calculo para determinar las resistencias a edades tempranas con el uso del Hiltin.

Formula del Hiltin

$$R = \frac{\frac{prom.C}{prom.P} + 2,7}{7,69} \quad (9)$$

donde

- R es las resistencias tempranas (MPa);
- C es la lectura de carga a la tracción (KN);
- P es el Penetración del perno(mm);

- Calculando la resistencia temprana a 2 horas.

$$R = \frac{\frac{(1100 + 1200 + 1400 + 1200 + 1100)}{5}}{\frac{(92 + 93 + 93 + 91 + 92)}{5}} + 2,7$$

$$R = \frac{\frac{1200}{92} + 2,7}{7,69}$$

$$R = \frac{13,04 + 2,7}{7,69}$$

$$R = 2,04 \text{ MPa}$$

- Calculando la resistencia temprana a 4 horas.

$$R = \frac{\frac{(2200 + 1900 + 2000 + 1900 + 1800)}{5}}{\frac{(67 + 66 + 67 + 66 + 68)}{5}} + 2,7$$

$$R = \frac{\frac{1960}{67} + 2,7}{7,69}$$

$$R = \frac{29,25 + 2,7}{7,69}$$

$$R = 4,17 \text{ MPa}$$

d) Cuadro estadístico del método A y B



Figura 15 — Cuadro estadístico del método A y B

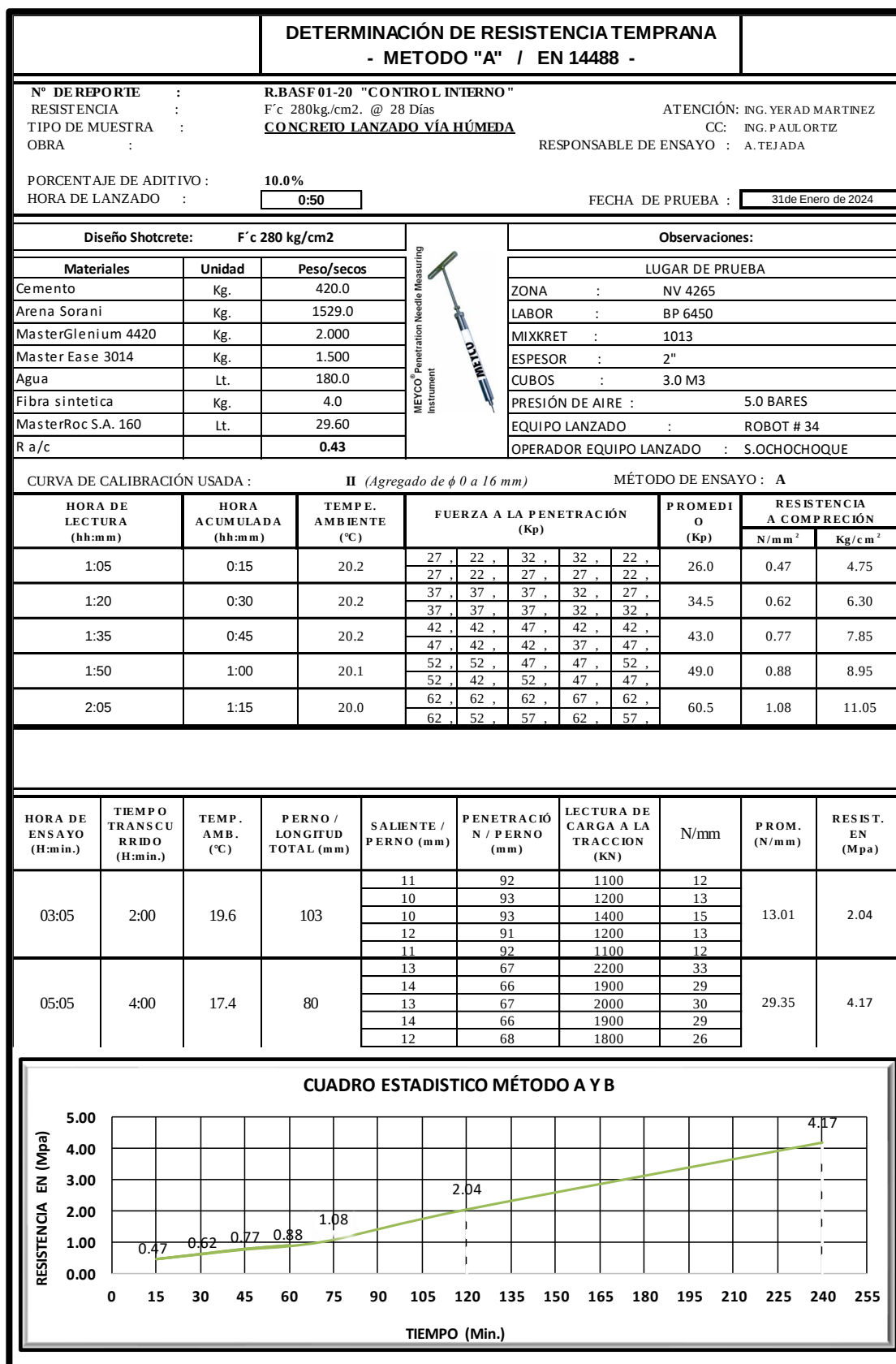


Figura 16 — Resumen de cálculo de resistencias tempranas

a) Resultados de resistencia a la compresión de núcleos diamantinos
MASTER ROC 160 S.A

- Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 17 — Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (Mpa)
7/02/24	6548	41,85	154,8	15,5
	6284	41,85		
	6611	41,85		
8/02/24	6564	41,85	154,9	15,5
	6025	41,85		
	6863	41,85		
9/02/24	6967	41,85	155,5	15,6
	6544	41,85		
	6022	41,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA MAXIMA)kg}{\text{PROM.}(AREA DEL TESTIGO)cm^2} \quad (10)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (11)$$

b) Cálculo de resistencia a 7 días

Caso 1.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6548 + 6284 + 6611)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{6481 kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 154,8 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{154,8 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 15,5 \text{ MPa}$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6564 + 6025 + 6863)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{6484 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 154,9 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{154,9 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 15,5 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6967 + 6544 + 6022)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{6511 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 155,5 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{154,8 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 15,6 \text{ MPa}$$

c) Cuadro estadístico de resistencias a 7 días

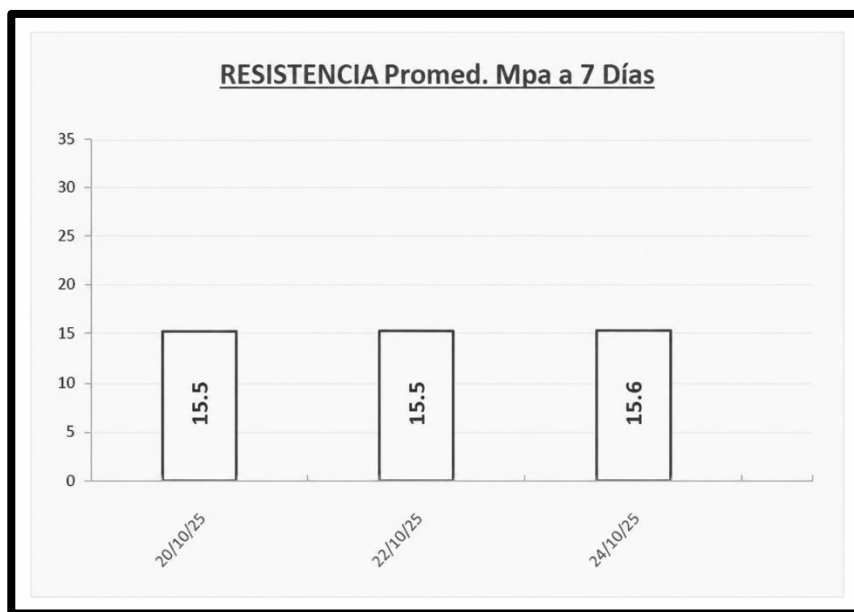


Figura 17 — Cuadro estadístico de resistencias a 7 días

- Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 MPa

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 18 — Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 MPa

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
14/02/24	11196	41,85	256,8	25,6
	10418	41,85		
	10629	41,85		
15/02/24	10770	41,85	263,0	26,3
	11694	41,85		
	10564	41,85		
16/02/24	10965	41,85	260,1	26,0
	10754	41,85		
	11002	41,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA MAXIMA)kg}{\text{PROM.}(AREA DEL TESTIGO)cm^2} \quad (12)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (13)$$

d) Cálculo de resistencia a 14 días

Caso 1

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(+11196 + 10418 + 10629)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$
$$P = \frac{10747,6 kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 256,8 kg/cm^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{256,8 kg/cm^2}{10}$$

$$R = 25,6 MPa$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(10770 + 11694 + 10564)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{11009,3kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 263,0 kg/cm^2$$



Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{263,0 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 26,3 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(10965 + 10754 + 11002)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{10907 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 260,60 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{260,10 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 26 \text{ MPa}$$

e) Cuadro estadístico de resistencias a 14 días

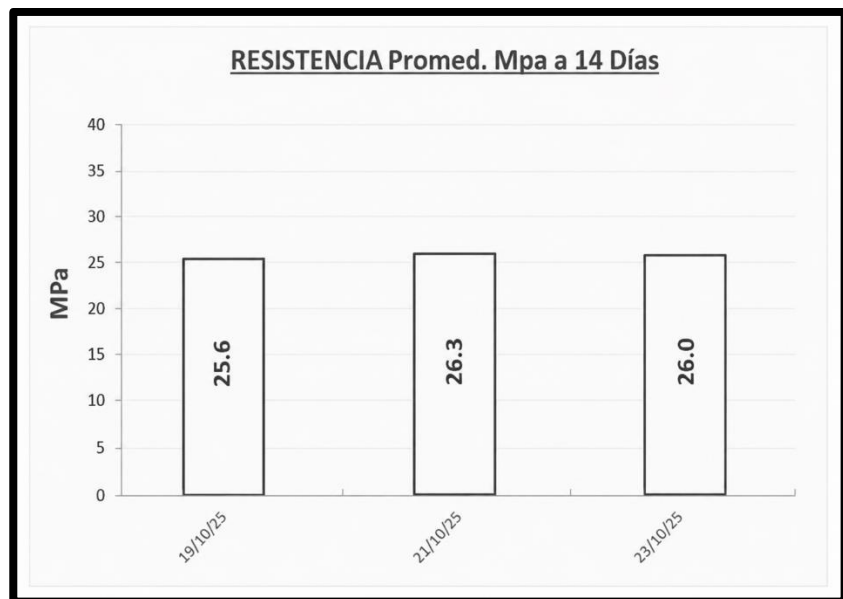


Figura 18 — Cuadro estadístico de resistencias a 14 días

- Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 19 — Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
01/03/24	12067	41,85	287,3	28,7
	11862	41,85		
	12148	41,85		
02/03/24	11365	41,85	286,0	28,6
	11894	41,85		
	12657	41,85		
02/03/24	12365	41,85	289,2	28,9
	11897	41,85		
	12054	41,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA MAXIMA)kg}{\text{PROM.}(AREA DEL TESTIGO)cm^2} \quad (14)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (15)$$

f) Cálculo de resistencia a 28 días

Caso 1.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(12067 + 11862 + 12178)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{12025,6 kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 287,3 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{287,3 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 28,7 \text{ MPa}$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(11365 + 11894 + 12657)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{11972,0 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 286,0 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{286,0 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 28,6 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(12365 + 11897 + 12054)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{12105,3 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 289,2 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{289,2 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 28,9 \text{ MPa}$$



g) Cuadro estadístico de resistencias a 28 días

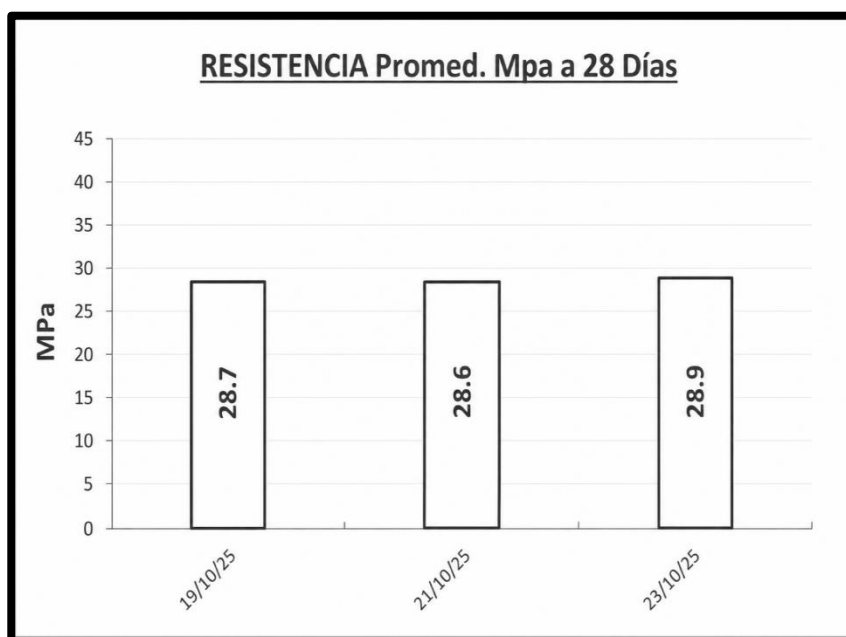


Figura 19 — Cuadro estadístico de resistencias a 28 días

Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 160 S.A

Tabla 20 — Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 160 S.A.

TIEMPOS	MASTER ROC 160 S.A. (MPa)
2 horas	2,04
4 horas	4,17
7 días	15,5
14 días	25,9
28 días	28,7

5.1.2.2 Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 193 S.A

a) Lugar de prueba (Penetrómetro)

Tabla 21 — Determinación de edades tempranas con el aditivo MASTER ROC 193 S.A.

Zona	NV4330
Labor	TJ4244
Mixkret	1001
Espesor	2 pulgadas
Cubos	4,0 m3
Presión de aire	bar
Equipo lanzador	Robot #49
Operador de equipo	Honorio Hurtado

• Determinación de resistencias tempranas método A

Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Tabla 22 —Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente °C	Fuerza de la penetración (Kp)					Promedio (KP)	Resistencia a la compresión MPa
10:00	00:15	21,1	27,	27,	17,	17,	22,	21,5	0,39
			22,	27,	17,	17,	22,		
10:15	00:30	21,0	37,	32,	37,	32,	32,	34,5	0,62
			37,	32,	37,	32,	37,		
10:30	00:45	21,0	47,	47,	42,	42,	42,	44,0	0,79
			42,	42,	47,	42,	47,		
10:45	01:00	20,9	57,	52,	57,	52,	57,	55,5	0,99
			52,	42,	62,	62,	52,		
11:00	01:15	20,8	62,	62,	67,	62,	67,	64,0	1,15
			62,	62,	62,	67,	67,		

Calculo para determinar las resistencias a edades tempranas con el uso del penetrómetro.

Formula del penetrómetro.

$$R = \frac{\left(\frac{\sum \text{Muestra (Kp)}}{\text{Nº De Muestra}} \right)}{56} \quad (16)$$

donde

R es la resistencia a la compresión;

Kp es el kilo pondios;

Caso 1: a 00:15 min.

$$R = \frac{\left(\frac{27 + 27 + 17 + 17 + 22 + 22 + 27 + 17 + 17 + 22}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{215 \text{ kp}}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,39 \text{ MPa}$$

Caso 2: a 00:30 min.

$$R = \frac{\left(\frac{37 + 32 + 37 + 32 + 32 + 37 + 32 + 37 + 32 + 37}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{345 \text{ kp}}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,62 \text{ MPa}$$

Caso 3: a 00:45 min.

$$R = \frac{\left(\frac{47 + 47 + 42 + 42 + 42 + 42 + 42 + 47 + 42 + 47}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{440 \text{ kp}}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,79 \text{ MPa}$$

Caso 4: 01:00 min.

$$R = \frac{\left(\frac{57 + 52 + 57 + 52 + 57 + 52 + 52 + 62 + 62 + 52}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{555kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 0,99 MPa$$

Caso 5: a 01:15 min.

$$R = \frac{\left(\frac{62 + 62 + 67 + 62 + 67 + 62 + 62 + 62 + 67 + 67}{10} \right)}{56}$$

$$R = \frac{\left(\frac{640kp}{10} \right)}{56}$$

$$R = 1,15 MPa$$

- **Determinación de resistencias tempranas método B con el uso del Hiltin**

Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Tabla 23 — Curva de calibración usada (agregado de 0 a 16 mm)

Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente °C	Perno longitud (mm)	Saliente perno (mm)	Penetración perno (mm)	Lectura de carga tracción (KN)	Resistencia en (Mpa)
11:45	02:00	19,2	103	15	88	1500	2,53
				12	91	1400	
				13	90	1600	
				15	88	1400	
				13	90	1600	
13:45	04:00	18,4	80	16	64	2500	5,23
				13	67	2700	
				14	66	2600	
				18	62	2100	
				14	66	2300	

Calculo para determinar las resistencias a edades tempranas con el uso del Hiltin.

Formula del Hiltin

$$R = \frac{\frac{\text{prom.C}}{\text{prom.P}} + 2,7}{7,69} \quad (17)$$

donde

- R es la resistencia temprana (MPa);
- C es la lectura de carga a la tracción (KN);
- P es la penetración del perno(mm);

- Calculando la resistencia temprana a 2 horas.

$$R = \frac{\frac{(1500 + 1400 + 1600 + 1400 + 1600)}{5}}{\frac{(88 + 91 + 90 + 88 + 90)}{5}} + 2,7$$

$$R = \frac{\frac{1500}{89} + 2,7}{7,69}$$

$$R = \frac{16,85 + 2,7}{7,69}$$

$$R = 2,53 \text{ MPa}$$

- Calculando la resistencia temprana a 4 horas.

$$R = \frac{\frac{(2500 + 2700 + 2600 + 2100 + 2300)}{5}}{\frac{(64 + 67 + 66 + 62 + 66)}{5}} + 2,7$$

$$R = \frac{\frac{2440}{65} + 2,7}{7,69}$$

$$R = \frac{37,53 + 2,7}{7,69}$$

$$R = 5,23 \text{ MPa}$$

- Cuadro estadístico del método A y B

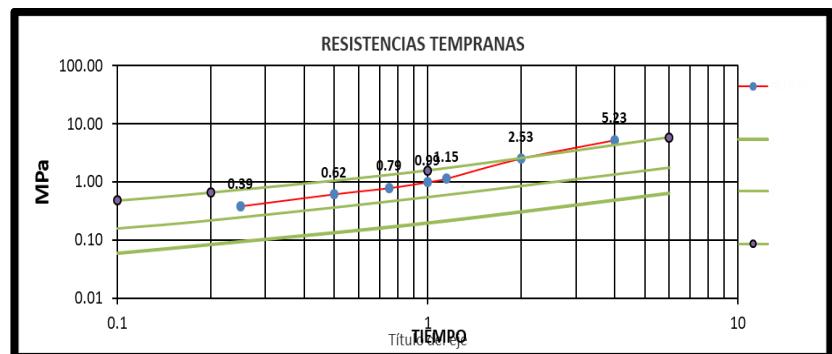


Figura 20 — Cuadro estadístico del método A y B

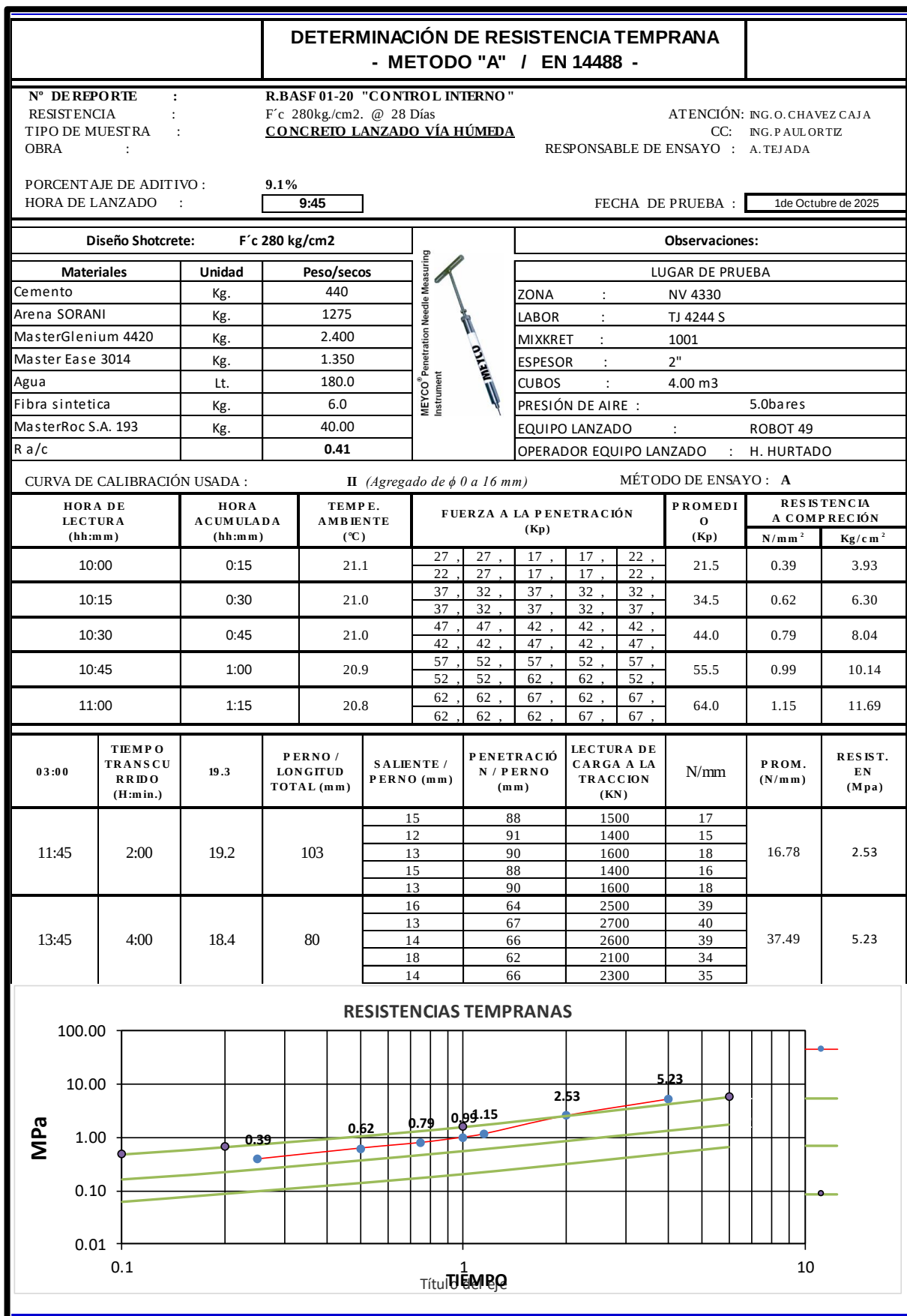


Figura 21 — Resumen de cálculo de resistencias tempranas

Resultados de resistencia a la compresión de núcleos diamantinos
MASTER ROC 193 S.A

- **Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa**

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 24 — Resistencia promedio a 7 días según proyecto tiene que ser mayor a 15 Mpa.

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
8/11/25	6748	41,85	158,8	15,9
	6574	41,85		
	6611	41,85		
9/11/25	6864	41,85	162,9	16,3
	6925	41,85		
	6663	41,85		
10/11/25	6767	41,85	157,2	15,7
	6644	41,85		
	6322	41,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA MAXIMA)kg}{\text{PROM.}(AREA DEL TESTIGO)cm^2} \quad (18)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (19)$$

a) Cálculo de resistencia a 7 días.

Caso 1.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6748 + 6574 + 6611)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{6644,3 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 158,8 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{158,8 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 15,9 \text{ MPa}$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6864 + 6925 + 6663)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{6817,3 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 162,9 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{162,9 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 16,3 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(6767 + 6644 + 6322)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{6577 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 157,1 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{157,1 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 15,7 \text{ MPa}$$

b) Cuadro estadístico de resistencias a 7 días.

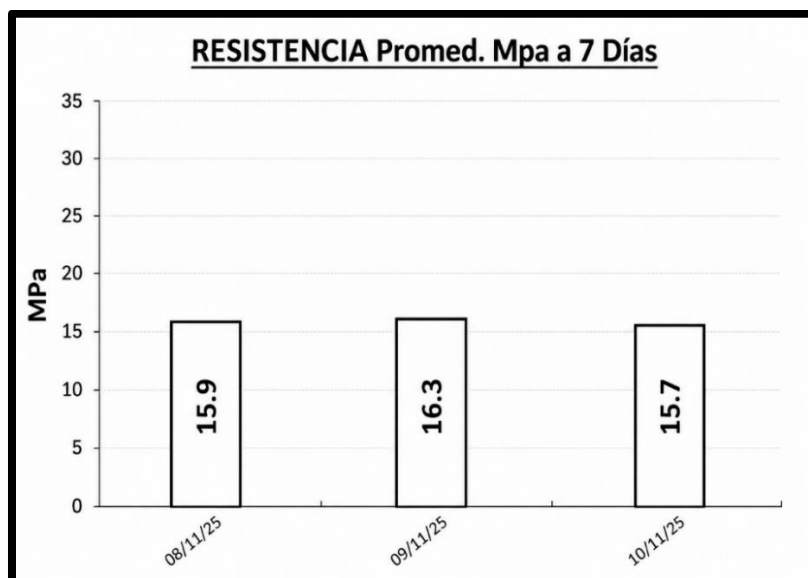


Figura 22 — Cuadro estadístico de resistencias a 7 días

- Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 Mpa

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 25 — Resistencia promedio a 14 días según proyecto tiene que ser mayor a 24 Mpa.

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (Mpa)
15/11/25	11196	42,85	262,3	26,2
	10816	42,85		
	10929	42,85		
16/11/25	12295	42,85	271,1	27,1
	11298	42,85		
	10464	42,85		
17/11/25	11981	42,85	276,7	27,6
	11755	42,85		
	11009	42,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA \text{ MAXIMA})kg}{\text{PROM.}(AREA \text{ DEL TESTIGO})cm^2} \quad (20)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (21)$$

c) Cálculo de resistencia a 14 días

Caso 1.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(11196 + 10818 + 10929)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{10981,0 kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 262,3 kg/cm^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{270,3 kg/cm^2}{10}$$

$$R = 27,0 MPa$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(12295 + 11298 + 10464)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{11352kg}{41,85 cm^2}$$

$$P = 271,1 kg/cm^2$$



Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{271,1 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 27,1 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(11981 + 11755 + 11009)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{11581,6 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 276,7 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia.

$$R = \frac{276,7 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 27,6 \text{ MPa}$$

d) Cuadro estadístico de resistencias a 14 días

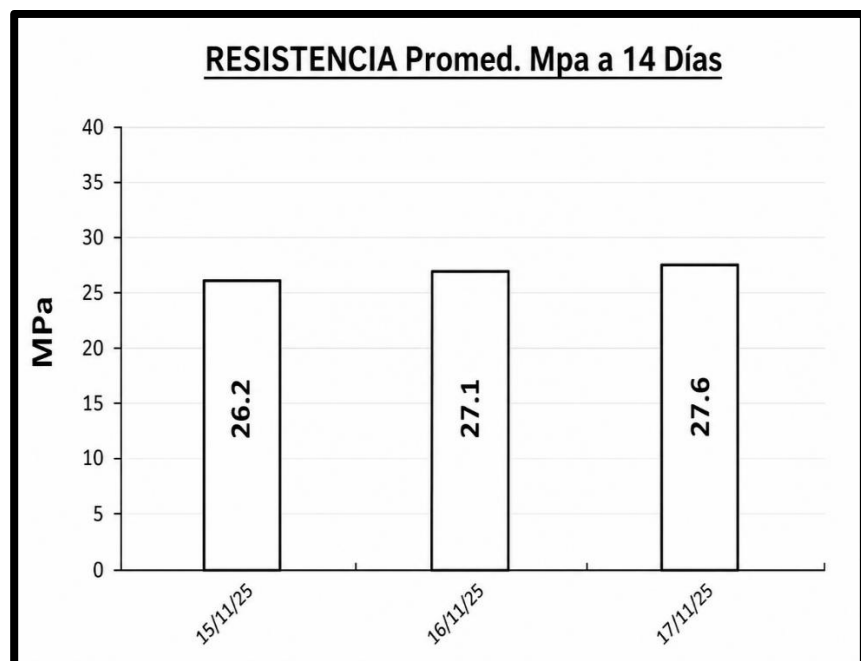


Figura 23 — Cuadro estadístico de resistencias a 14 días

- Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa

Datos obtenidos de muestras en laboratorio

Tabla 26 — Resistencia promedio a 28 días según proyecto tiene que ser mayor a 28 Mpa

Fecha	Carga máxima	Área de testigo (cm ²)	Prom. de resultado (kg/cm ²)	Resistencia (Mpa)
22/11/25	13667	41,85	312,0	31,2
	13262	41,85		
	12248	41,85		
23/11/25	12665	41,85	304,3	30,4
	12894	41,85		
	12657	41,85		
24/11/25	12665	41,85	301,9	30,1
	12897	41,85		
	12354	41,85		

Fórmula para núcleos diamantinos.

$$\text{Resultado promedio de testigo. } P = \frac{\text{PROM.}(CARGA MAXIMA)kg}{\text{PROM.}(AREA DEL TESTIGO)cm^2} \quad (22)$$

$$\text{Determinar la Resistencia. } R = \frac{\text{resultado promedio de testigo } (\frac{kg}{cm^2})}{10} \quad (23)$$

e) Cálculo de resistencia a 28 días

Caso 1

Halla el resultado promedio de testigo.

$$P = \frac{\frac{(13667 + 13262 + 12248)}{3} kg}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} cm^2}$$

$$P = \frac{13059,0 kg}{41,85 cm^2}$$



$$P = 312,04 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia

$$R = \frac{312,04 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 31,2 \text{ MPa}$$

Caso 2.

Halla el resultado promedio de testigo

$$P = \frac{\frac{(12665 + 12894 + 12657)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{12738,6 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 304,3 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia

$$R = \frac{304,3 \text{ kg/cm}^2}{10}$$

$$R = 30,4 \text{ MPa}$$

Caso 3.

Halla el resultado promedio de testigo

$$P = \frac{\frac{(12665 + 12897 + 12354)}{3} \text{ kg}}{\frac{(41,85 + 41,85 + 41,85)}{3} \text{ cm}^2}$$

$$P = \frac{12638,6 \text{ kg}}{41,85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 301,9 \text{ kg/cm}^2$$

Determinar la Resistencia

$$R = \frac{301,9kg/cm^2}{10}$$

$$R = 30,1 MPa$$

f) Cuadro estadístico de resistencias a 28 días

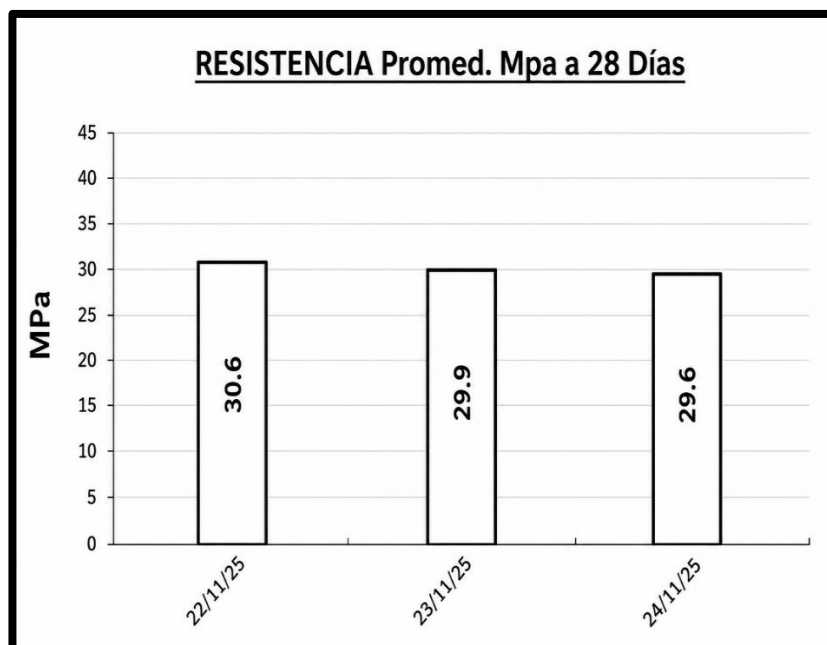


Figura 24 — Cuadro estadístico de resistencias a 28 días

Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 193 S.A

Tabla 27 — Resultados de resistencia a edades tempranas y a compresión de núcleos diamantinos MASTER ROC 193 S.A

Tiempos	Master ROC 193 S.A. (MPa)
2 horas	2,53
4 horas	5,23
7 días	15,9
14 días	26,9
28 días	30,5

5.1.2.3 Resultado general: comparación de ambos

Tabla 28 — Resultado general: comparación de ambos

Tiempos	MASTER ROC 160 S.A. (MPa)	MASTER ROC 193 S.A. (MPa)
2 horas	2,04	2,53
4 horas	4,17	5,23
7 días	15,5	15,9
14 días	25,9	26,9
28 días	28,7	30,5

El uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. ha demostrado ofrecer resultados significativamente superiores en términos de resistencias tempranas. En comparación con su predecesor, MASTER ROC 160 S.A., que alcanzaba una resistencia de 2,1 MPa a las 4 horas de lanzado, el nuevo aditivo logra una resistencia de 2,5 MPa a tan solo 2 horas después del lanzado.

Además, la dosis utilizada de MASTER ROC 193 es de 28 litros por metro cúbico, lo que representa una reducción de 1 litro en comparación con los 29 litros/m³ requeridos de MASTER ROC 160. Esto no solo resulta en un mejor rendimiento a una dosis menor, sino que también optimiza el proceso de fragua del concreto, acelerando la operación de minado.

En resumen, el aditivo MASTER ROC 193 no solo mejora las resistencias tempranas, sino que lo hace de manera más eficiente, favoreciendo un ciclo de minado más ágil y efectivo.

5.1.3 Determinar los costos operativos del concreto con aditivo MASTER ROC 160 S.A VS MASTER ROC 193 S.A.

5.1.3.1 Antes

a) Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 160 S.A.

Tabla 29 — Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 160 S.A.

Producción total	6450 m3
-------------------------	---------

b) Escenario a evaluar

Tabla 30 — Escenario a evaluar

Escenario a evaluar	6401 a 6500
----------------------------	-------------

c) Consumo de aditivo total

Tabla 31 — Consumo de aditivo total

Insumo	Producción total m3	Cantidad por metro cubico (l)	Consumo total (l)	Precio unitario US\$	Costo total US\$
Master Roc S.A 160	6450,0	29,0	187050,0	1,01	188920,5

d) Costo de insumos (aditivo)

Tabla 32 — Costo de insumos (aditivo)

Insumos	Cantidad por m3 (l)	Precio por litro US\$	Costo total US\$
Aditivo visocrete Ease 3014.	1,0	1,00	1,00
Aditivo visocrete Glenium 4220.	2,4	1,20	2.88
Master Roc S.A 160.	29,0	1.01	29.17
Costo total			33,05

e) Costo de dosificando de planta mezcladora

Tabla 33 — Costo de dosificando de planta mezcladora

De	A	Costo de transporte US\$	Costo total US\$
6401	6500	37,6	37,6

f) Costo de transporte

Tabla 34 — Costo de transporte

De	A	Costo de lanzado US\$	Costo total US\$
6401	6500	53,7	53,7

g) Costo de lanzado

Tabla 35 — Costo de lanzado

De	A	Costo de dosificación US\$	Costo total US\$
6401	6500	48,6	48,6

Explicación de los precios unitarios

Tabla 36 — Costo de lanzado

Producto	Producido (m3)	PU 160 (US\$)	Costo 160 (US\$)
Shotcrete Regular	5633	172,95	974227,35
Shotcrete Especial	510	172,95	88204,50
Tapón Relleno	237	172,95	40989,15
Tapón Servicios	70	172,95	12106,50
TOTAL			1115527,5

5.1.3.2 Después

a) Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 193 S.A.

Tabla 37 — Producción acumulada mensual de shotcrete MASTER ROC 193 S.A

Producción total	6450 m3
------------------	---------

b) Escenario a evaluar

Tabla 38 — Escenario a evaluar

Escenario a evaluar	6401a 6500
---------------------	------------

c) Consumo de aditivo total

Tabla 39 — Consumo de aditivo total

Insumo	Producción total m3	Cantidad por metro cubico (l)	Consumo total (l)	Precio unitario US\$	Costo por metro cubico US\$
Master roc S.A 160	6450,0	28,0	180600	1,31	236586,0

d) Costo de Insumos

Tabla 40 — Costo de Insumos

Insumos	Cantidad por m3 (l)	Precio por litro US\$	Costo total US\$
Aditivo visocrete Ease 3014.	1,0	1,00	1,00
Aditivo visocrete Glenium 4220.	2,4	1,2	2,88
Master Roc S.A 193.	28,0	1,31	36,64
Costo total			40,52

e) Costo de dosificando de planta mezcladora

Tabla 41 — Costo de dosificando de planta mezcladora

De	A	Costo de transporte US\$	Costo total US\$
6401	6500	37,6	37,6

f) Costo de transporte

Tabla 42 — Costo de transporte

De	A	Costo de lanzado US\$	Costo total US\$
6401	6500	53,7	53,7

g) Costo de lanzado

Tabla 43 — Costo de lanzado

De	A	Costo de dosificación US\$	Costo total US\$
6401	6500	48,60	48,60

Tabla 44 — Costo total del shotcrete mensual

Producto	Producido (m3)	PU 193 (US\$)	Costo 193 (US\$)
Shotcrete Regular	5633	180,42	1016305,86
Shotcrete especial	510	180,42	92014,20
Tapón relleno	237	180,42	42759,54
Tapón Servicios	70	180,42	12629,40
Total			1163709,0

Resultado general comparación de ambos

Tabla 45 — Resultado general: comparación de ambos

Producto	Producción (m3)	Pu 160 (us\$)	Pu 193 (us\$)	Costo 160 (us\$)	Costo 193 (us\$)	Diferencia
shotcrete regular	5633	172,95	180,42	974227,35	1016305,86	42078,51
Shotcrete especial	510	172,95	180,42	88204,50	92014,20	3809,70
Tapón relleno	237	172,95	180,42	40989,15	42759,54	177,39

Tapón servicios	70	172,95	180,42	12106,50	12629,40	522,90
				1115527,5	1163709,0	48181,50
Ganancia neta						48181,50

5.2 Discusión

Los resultados obtenidos por Ccahuana et al. (2024) evidencian que la aplicación del shotcrete vía seca incrementa de manera significativa la resistencia a la compresión del sostenimiento, pasando de 5,31 MPa sin shotcrete a 52,28 MPa con shotcrete, lo que demuestra que el adecuado control de los parámetros del concreto lanzado tiene una relación directa con la mejora del desempeño mecánico y la estabilidad de las labores mineras. En comparación, los resultados de la presente investigación, si bien se desarrollan en un contexto operativo distinto, muestran una relación directa con dichos hallazgos, ya que la optimización del tiempo de fragua mediante el uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. permitió alcanzar una resistencia temprana de 2,5 MPa a las 2 horas, superando al aditivo MASTER ROC 160 S.A., que alcanzó 2,1 MPa recién a las 4 horas. Esta diferencia evidencia que, al igual que en el estudio de referencia, la mejora en las propiedades del concreto lanzado influye positivamente en el comportamiento mecánico del sostenimiento; sin embargo, en el presente estudio el énfasis se centra en las resistencias tempranas y en la reducción del tiempo de espera operativo, más que en resistencias finales. Asimismo, la reducción de la dosificación del aditivo de 29 a 28 litros por metro cúbico confirma una mayor eficiencia del proceso, lo que establece una relación directa entre la optimización del tiempo de fragua y la mejora del ciclo de minado. En consecuencia, aunque ambos estudios analizan variables diferentes, los resultados son coherentes y complementarios, demostrando que el control y optimización del concreto lanzado inciden directamente en la seguridad, eficiencia operativa y reducción de costos en minería subterránea.

Los resultados obtenidos por Otiniano (2021), en su investigación titulada “Evaluación del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP para mejorar la adhesión del shotcrete en una mina subterránea en La Libertad, 2020”, establecen que la mezcla de concreto lanzado presenta tiempos de trabajabilidad limitados, siendo de 4 horas para la vía húmeda y 6 horas para la vía seca, recomendándose su descarte una vez superados dichos periodos, así como un tiempo de



fraguado no menor a 4 horas para garantizar una adecuada adhesión y desempeño del shotcrete. En comparación con estos hallazgos, los resultados de la presente investigación evidencian una relación directa, ya que el uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. permite alcanzar resistencias tempranas superiores en menores tiempos, registrándose valores de 2,53 MPa a las 2 horas y 5,23 MPa a las 4 horas, superando al aditivo MASTER ROC 160 S.A., que alcanzó 2,04 MPa y 4,17 MPa en los mismos intervalos de tiempo. Asimismo, a edades mayores, el MASTER ROC 193 S.A. mantiene un desempeño ligeramente superior, alcanzando resistencias de 30,5 MPa a los 28 días frente a los 28,7 MPa del MASTER ROC 160 S.A., lo que demuestra que la aceleración del fraguado no compromete la resistencia final del concreto. En este sentido, aunque Otiniano (2021) plantea la necesidad de un tiempo mínimo de fraguado para asegurar la calidad del shotcrete, los resultados del presente estudio evidencian que, mediante el uso de aditivos acelerantes de alto rendimiento, es posible optimizar los tiempos de fraguado manteniendo y mejorando las propiedades mecánicas del concreto lanzado. Esta optimización guarda una relación directa con la mejora del ciclo de minado, al reducir los tiempos de espera y favorecer una operación más eficiente y económicamente rentable en minería subterránea.

La investigación desarrollada por Torres et al. (2023), titulada “Optimización de costos de sostenimiento en labores de exploración cruce 290 – Compañía Minera Caravelí S.A.C., Arequipa – 2022”, concluye que la implementación de un sistema de sostenimiento moderno basado en pernos Split Set y malla electrosoldada presenta un costo de 172,85 US\$/ml, inferior al sostenimiento tradicional con madera, cuyo costo asciende a 183,83 US\$/ml, generándose un ahorro de 10,98 US\$/ml, lo que evidencia que la adopción de tecnologías más eficientes no solo mejora la seguridad y durabilidad de las labores subterráneas, sino que también contribuye significativamente a la reducción de costos operativos. De manera comparativa, los resultados de la presente investigación guardan una relación directa con dichos hallazgos, ya que el análisis económico del uso de concreto lanzado con los aditivos MASTER ROC 160 S.A. y MASTER ROC 193 S.A. demuestra diferencias económicas relevantes en función de la optimización del proceso. En este sentido, si bien el costo unitario del shotcrete con MASTER ROC 193 S.A. es mayor, el análisis global evidencia una ganancia neta de 48,181.50 USD, atribuida a la optimización del ciclo de minado, la reducción de tiempos improductivos y la mejora en la eficiencia operativa. Asimismo, la comparación de costos para los distintos tipos de shotcrete y aplicaciones específicas muestra que la inversión en insumos de mayor



rendimiento permite compensar el incremento inicial de costos mediante una mayor productividad y continuidad operacional. En consecuencia, al igual que lo señalado por Torres et al. (2023), los resultados de esta tesis confirman que la implementación de tecnologías optimizadas en el sostenimiento y aplicación del concreto lanzado mantiene una relación directa con la reducción de los costos operativos y la mejora de la rentabilidad en minería subterránea.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

6.1.1 Conclusión general

En función del objetivo general de determinar cómo la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado contribuye a la reducción de los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024, se concluye que la aplicación de aditivos acelerantes de alto rendimiento, específicamente el MASTER ROC 193 S.A., permite mejorar significativamente las características mecánicas del concreto lanzado, reducir los tiempos de fraguado y optimizar el desarrollo de resistencias tempranas sin afectar la resistencia final. Esta optimización técnica se traduce en una mejora sustancial del ciclo de minado, al disminuir los tiempos de espera operativa, incrementar la continuidad de las labores y elevar la productividad, lo que impacta de manera directa y positiva en la reducción de los costos operativos globales. Asimismo, el análisis económico demuestra que, pese a un mayor costo unitario inicial, la implementación del MASTER ROC 193 S.A. genera una ganancia neta significativa, confirmando su viabilidad técnica y económica. En consecuencia, se determina que la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado constituye una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad de las labores de producción en minería subterránea.

6.1.2 Conclusiones específicas

En relación con el objetivo de determinar las características mecánicas del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024, se concluye que el uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. presenta un desempeño mecánico superior en comparación con el aditivo MASTER ROC 160 S.A., evidenciado principalmente en el desarrollo de resistencias tempranas. El MASTER ROC 193 S.A. alcanzó una resistencia de 2.5 MPa a las 2 horas de lanzado, superando al MASTER ROC 160 S.A., que registró una resistencia de 2,1 MPa recién a las 4 horas, lo que demuestra una mejora significativa en el comportamiento inicial del concreto lanzado. Asimismo, la



reducción en la dosificación del aditivo, de 29 a 28 litros por metro cúbico, confirma una mayor eficiencia en el uso de insumos sin comprometer las propiedades mecánicas del material. En consecuencia, se determina que el aditivo MASTER ROC 193 S.A. optimiza las características mecánicas del concreto lanzado, contribuyendo a un ciclo de minado más eficiente y a una mejora en la continuidad operativa de las labores de producción.

Respecto al objetivo de identificar los nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024, se concluye que el uso del aditivo acelerante MASTER ROC 193 S.A. permite una reducción significativa de los tiempos de fraguado, evidenciada por el rápido desarrollo de resistencias tempranas. Los resultados muestran que el concreto lanzado con MASTER ROC 193 S.A. alcanza una resistencia de 2,53 MPa a las 2 horas y 5,23 MPa a las 4 horas, superando consistentemente al aditivo MASTER ROC 160 S.A., el cual registra 2,04 MPa y 4,17 MPa en los mismos intervalos de tiempo. Asimismo, a edades mayores, el MASTER ROC 193 S.A. mantiene un desempeño superior, alcanzando 30,5 MPa a los 28 días frente a los 28,7 MPa del aditivo convencional, lo que confirma que la aceleración del fraguado no afecta negativamente la resistencia final del concreto. En consecuencia, se identifica que los nuevos tiempos de fraguado obtenidos mediante el uso del MASTER ROC 193 S.A. optimizan el ciclo de minado al reducir los tiempos de espera operativa, mejorar la continuidad de las labores y contribuir a una mayor eficiencia productiva en la mina.

En relación con el objetivo de determinar los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024, se concluye que, si bien el uso del aditivo MASTER ROC 193 S.A. presenta un mayor costo unitario en comparación con el aditivo MASTER ROC 160 S.A., el análisis económico global evidencia una ganancia neta de 48181.50 US\$, producto de la optimización del ciclo de minado y la mejora en la eficiencia operativa. La evaluación comparativa de los costos del shotcrete regular, shotcrete especial y las distintas aplicaciones de tapones muestra que la inversión adicional inicial se ve compensada por la reducción de tiempos improductivos, la mayor continuidad de las labores y el incremento de la productividad, factores que inciden directamente en la disminución de los costos



operativos totales. En consecuencia, se determina que la implementación del aditivo MASTER ROC 193 S.A. resulta económicamente viable y favorable, ya que contribuye de manera significativa a la optimización de los costos operativos y a la mejora de la rentabilidad en las labores de producción de la mina.

6.2 Recomendaciones

6.2.1 Recomendación general

Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el análisis de la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado incorporando variables adicionales no abordadas en el presente estudio, tales como el comportamiento del shotcrete bajo diferentes condiciones geomecánicas del macizo rocoso, variaciones de temperatura y humedad en interior mina, así como el desempeño del concreto lanzado en labores con mayores exigencias estructurales. Asimismo, se sugiere evaluar el impacto de la optimización del tiempo de fragua en indicadores de seguridad ocupacional y sostenimiento a largo plazo, a fin de fortalecer la toma de decisiones técnicas y económicas en las operaciones de minería subterránea.

6.2.2 Recomendaciones específicas

Se recomienda realizar estudios complementarios orientados a evaluar el comportamiento reológico y la durabilidad del concreto lanzado con el uso del aditivo MASTER ROC 193 S.A., considerando ensayos adicionales como adherencia al macizo rocoso, resistencia al desgaste y comportamiento frente a ciclos de carga, con el propósito de validar su desempeño en diferentes escenarios operativos y condiciones de servicio.

Asimismo, se sugiere profundizar en la evaluación de los tiempos óptimos de fraguado mediante la variación controlada de la dosificación del aditivo acelerante, así como la comparación con otros aditivos de características similares disponibles en el mercado, lo que permitiría identificar combinaciones más eficientes y adaptables a las necesidades específicas de cada labor minera.

En relación con los costos operativos, se recomienda desarrollar un análisis económico de mayor alcance que incluya costos indirectos asociados a la aplicación del concreto lanzado, tales como mantenimiento de equipos, consumo energético, mano de obra, paradas operativas y costos por reprocesos, con el fin

de obtener una visión integral del impacto económico de la optimización del tiempo de fragua en el ciclo de minado.

Finalmente, se recomienda que la empresa evalúe la estandarización del uso del aditivo MASTER ROC 193 S.A. en las labores de producción, acompañada de programas de capacitación técnica para el personal operativo y de supervisión, orientados a garantizar una correcta dosificación, aplicación y control de calidad del concreto lanzado, asegurando así la sostenibilidad de los resultados técnicos y económicos obtenidos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, LÓPEZ Manuel Antonio y ACENETH, PARADA Sandra. 2019. [En línea] Ministerio De Minas Y energía Colombia, 2019. <https://es.scribd.com/document/517792521/Senalizacion-de-Minas-de-Carbon>.

AGUILAR, RAMOS Juan Carlos. 2018. *Evaluación Del Sistema De Sostenimiento En La Compañía Minera Santa Luisa – Unidad Huanzala Dando Enfasis Al Sostenimiento Con Shotcrete Para Su Optimizacion*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro De Pasco : 2018.

CCAHUANA, ARRIETA Paúl Hernán y TONGOMBOL, Rodriguez Osmar. 2024. *Aplicación de shotcrete vía seca para mejorar el sostenimiento de chimeneas de vetas angostas de la U.M. San Andrés - Mina Marsa-2021*. Universidad Nacional De Huancavelica, Huancavelica : 2024.

CIRO, QUISPE Galvan. 2014. *Valorizacion de Minas*. Huancayo : Ed. Universidad Nacional del Centro del Peru, 2014.

CRUZ, VARGAS Elvis German. 2020. *Propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones*. Universidad Continental, Lima : 2020.

GALARZA, Andrei Abel, RIVERA, Kevin Antony y ESPINOZA , Jesus Reymundo. 2023. *"Implementacion de shotcrete vía húmeda semimecanizado para mejorar la eficiencia del sostenimiento en la unidad minera sierra sumaq rumi"*. Huancayo, universidad continental. 2023. tesis.

HERNÁNDEZ, Francisco. 2017. *Métodos empleados en la evaluación de la calidad de concreto lanzado*. Universidad Nacional Autónoma de Mexico. México : s.n., 2017.

LAZO, LAURA Roy Arturo Orlando. 2020. *Optimización del sistema de sostenimiento de las labores subterráneas para una mina con problemas de altos esfuerzos*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima : 2020.

LEON, AROTINCO Jhonatan Karol. 2024. *Diseño y control de calidad para la mezcla de concreto lanzado vía húmeda robotizado. Unidad Económica Animón Compañía Minera*



Chungar, S.A. Región Pasco. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco : 2024.

MAMANI, CHIQUI Hugo Hernan. 2024. *Diseño De Malla De Perforación Y Voladura Para La Reducción De Costos Unitarios En La Galería 206e - Unidad Minera Yanaquihua S.A.C.* Universidad Nacional Del Altiplano, Puno : 2024.

MARTINEZ, Jorge Andrés. 2011. *Analisis del concretolanzado como revestimiento definitivo para túneles.* Pontificia universidad Javeriana . Bogotá : s.n., 2011. Tesis.

MEZARES, CONDOR Alberto Domingo. 2022. *Sistema de concreto lanzado vía húmeda empleando robot alpha 20 en el sostenimiento de labores mineras subterráneas. Unidad económica Animón - Pasco.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco : 2022.

OTINIANO, SPELUCIN Didier Daniel. 2021. *Evaluación del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo ip para mejorar la adhesión del shotcrete en una mina subterránea en la Libertad, 2020.* Universidad Privada del norte, Cajamarca : 2021.

QUILCA, ALEJO Mariela C. 2004. *geco.mineroartesanal.com. geco.mineroartesanal.com.* [En línea] Geco, 2004. [Citado el: 23 de Octubre de 2019.] http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=1244.

TORRES, HILARIO Carlos y RAMOS, ENRIQUE Kevin Chris. 2023. *Optimización de costos de sostenimiento en labores de exploracion crucero 290 - Compañía Minera Caraveli S.A.C. Arequipa - 2022.* Universidad Nacional De Huancavelica, Huancavelica : 2023.



ANEXOS



Anexo A

Tabla 46 — Matriz de consistencia ambos

Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo de minado para la Reducción de los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho 2024				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión
Problema general ¿Cómo la Optimización del Tiempo de Fragua del Concreto Lanzado en el ciclo minado reduce los Costos Operativos, Aplicado a las Labores de Producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho 2024?	Objetivo general Determinar cómo la optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado contribuye a la reducción de los costos operativos, aplicado a las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.	Hipótesis general La optimización del tiempo de fragua del concreto lanzado en el ciclo de minado reduce significativamente los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.	Variable independiente Concreto Lanzado	Características mecánicas del concreto lanzado
Problema específicos ¿Cómo se determinarán las características mecánicas del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024? ¿De qué manera se identificarán los nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024? ¿Cómo se determinarán los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024?	Objetivos específicos - Determinar las características mecánicas del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024. - Identificar los nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024. Determinar los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.	Hipótesis específicas - La determinación adecuada de las características mecánicas del concreto lanzado influye positivamente en la optimización del tiempo de fragua en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024. - La identificación de nuevos tiempos de fraguado del concreto lanzado influye significativamente en la reducción de los costos operativos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024. - La determinación de los costos operativos asociados al uso del concreto lanzado permite evaluar la reducción de costos en las labores de producción de la Mina Inmaculada – Ayacucho, 2024.	Variable dependiente Costos Operativos	Tiempos de fraguado Costos operativos

Anexo B

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: CARGUIO, TRANSPORTE Y TRASEGADO DE CONCRETO DEL MIXKRET AL ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA VERSIÓN: 26/12/2023	VERSION: 08	IMP-UNIO9-03	

- 1. PERSONAL**
 - 1.1 Operador del mixkret.
 - 1.2 Operador del robot lanzador
 - 1.3 Ayudante del robot lanzador.
- 2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**
 - 2.1 Casco de seguridad tipo jockey con barbiquejo.
 - 2.2 Lentes de seguridad luna clara
 - 2.3 Orejeras y/o tapón auditivo.
 - 2.4 Respirador con filtros de polvo y gases.
 - 2.5 Overol con cinta reflectiva.
 - 2.6 Guantes de seguridad de jebe.
 - 2.7 Guantes de seguridad badana.
 - 2.8 Guantes nitrilo solvex 18".
 - 2.9 Correa porta autorescatador.
 - 2.10 Lámpara minera.
 - 2.11 Traje Tyvek (Usado por el ayudante del robot lanzador).
 - 2.12 Botas dieléctricas de seguridad con punta de acero.
- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES**
 - 3.1 Mixkret
 - 3.2 Robot lanzador
- 4. PROCEDIMIENTO**
 - 4.1 Inspeccionar el área, haciendo uso de las herramientas de gestión (formato IPERC Continuo, Check list diaria de labores-Interior mina y Check list de pre-uso del equipo). Los peligros mapeados posteriormente, también deberán de ser registrados en el formato IPERC Continuo del Operador de robot antes de realizar el trasegado.
 - 4.2 Trasladar el mixkret desde la zona de trasegado hacia la labor programada. El operador del Mixkret esperará su turno de descarga si es que otro mixkret se encuentre trasegando.
 - 4.3 En caso no haya ningún mixkret trasegando, el equipo ingresara en retroceso y se parqueara hasta el cono con el bastón luminoso colocado por el ayudante, hasta su autorización.
 - 4.4 El ayudante autorizará y guiará el retroceso del mixkret (lentamente), desde la instalación del cable alimentador del robot (tablero y zona de bloqueo) con energía neumática y eléctrica cero, haciendo uso del bastón luminoso dirigirá al operador del Mixkret en su trayecto en retroceso hacia la batea del equipo robot lanzador, siempre con la extensión de la canaleta recogida.
 - 4.5 En todo momento el operador de Mixkret tendrá contacto visual con el ayudante de robot quien se ubicará a una distancia considerable a la izquierda de la batea, a fin de proyectar la prolongación de la canaleta del mixkret con la batea del robot (No extender la canaleta), manteniendo comunicación constante y visibilidad con el operador de mixkret, ejecutando el código de señales con el bastón (mover subiendo y bajando en forma vertical). El ayudante indicara al operador del mixkret paralizar el retroceso a una distancia prudente para verificar que la canaleta esta

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martínez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 25 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: CARGUIO, TRANSPORTE Y TRASEGADO DE CONCRETO DEL MIXKRET AL ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA VERSIÓN: 26/12/2023	VERSION: 08	IMP-UNIOP09-03	

recogida y autorizara continuar con el retroceso hasta coincidir con la batea.

- 4.6 El operador del mixkret colocara el cono y tacos al parquear.
- 4.7 Mantener encendido el mixkret con el giro de la cuba en sentido horario, para que la mezcla no fragüe.
- 4.8 El operador de Mixkret y el ayudante deberán mantener bloqueada o delimitada el área de trasegado y/o lanzado de la labor colocando el letrero de bloqueo, conos y bastón luminoso a fin de evitar el ingreso de personal ajeno a la actividad. El personal de compañía y contratas que necesiten ingresar al área deberán comunicarse y esperar que se les dé la autorización.
- 4.9 El operador del mixkret se posicionara en la parrilla del equipo robot lanzador y/o piso firme para trasegar el concreto hacia la batea del robot manipulando la botonera hasta llenar un 90% de la capacidad de la batea. Usar las manos en la canaleta para el mejor escurrimiento del concreto, y para evitar el ingreso de pequeñas rocas en la batea del robot. En todo momento se deberá de usar los lentes de seguridad, guantes y el respirador. Por ninguna circunstancia se dejará sin carga la batea, cuando se abastezca de concreto al robot en funcionamiento.
- 4.10 Al concluir el trasegado, el operador del mixkret dará una vuelta al equipo antes de dar marcha garantizando la ausencia de factores que puedan generar algún accidente.
- 4.11 Retirar los conos y taco para el retiro de los equipos, una vez terminado trasegado en su totalidad.
- 4.12 El operador del mixkret lavará la canaleta cada vez que termine un trasegado a fin de evitar que el concreto se adhiera; para lo cual usará la pistola de lavado (karcher) y agua a presión de manera controlada. Al finalizar el lavado colocará la pistola en su lugar asegurando su correcta colocación para evitar posibles caídas.

5. RESTRICCIONES:

- 5.1 No se ejecutará la actividad cuando el personal no tenga la orden de trabajo firmada por el jefe de planta; y no haya registrado las herramientas de gestión; (IPERC continuo, Check list diario de labores-Interior mina, check list de pre-uso de los equipos).
- 5.2 No se realizara maniobra avance o retroceso con el equipo mixkret, si se cuenta con la condición de deslumbramiento generado por equipo cercano o cualquier otra fuente de emisión.
- 5.3 Equipo pesado o liviano al momento de dar pase, queda alguna parte del equipo sobresalido, no continuar con el avance.
- 5.4 No se ejecutará la actividad si los operadores no cuenten con la autorización interna vigente, emitida por el cliente.
- 5.5 No se ejecutará la actividad si no se usa los lentes de seguridad y respirador asignado.
- 5.6 No se ejecutará la actividad si el equipo no pasa el CO2 y Nitrosos límites permisibles.
- 5.7 Restricción de operar equipos fuera del asiento / posición del operador.
- 5.8 No se realizará los carguios de concreto hacia las labores cuando se encuentre próximo al horario de almuerzo (12 horas) a excepción que se cargue el concreto, se dirija al comedor dejando el equipo refugiado con todos los dispositivos de seguridad en una labor cercana y posterior reinicie la marcha hacia la labor para la cual fue pedido el concreto.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martínez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 26 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: CARGUIO, TRANSPORTE Y TRASEGADO DE CONCRETO DEL MIXKRET AL ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA VERSIÓN: 26/12/2023	VERSION: 08	IMP-UNIO09-03	

FECHA	DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION	MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO	VERSION
10/01/2020	Publicación inicial	Ing. David Pulache Bereche	00
01/01/2021	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	01
13/10/2021	Restricción de operar equipos fuera del asiento / posición del operador.	Ing. David Pulache Bereche	02
10/03/2022	Actualización de formato	Ing. Lizbeth Franco Gutiérrez	03
07/01/2023	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	04
05/03/2023	Se actualizó: 5.1 No se realizara maniobra avance o retroceso con el equipo mixkret, si se cuenta con la condición de deslumbramiento generado por equipo cercano o cualquier otra fuente de emisión.	Incidente 08 / Ing. David Pulache Bereche	05
10/06/2023	Se actualizó: 5.3 Equipo pesado o liviano, al momento de dar pase, queda alguna parte del equipo sobresalido, no continuar con el avance.	Incidente 24 / Ing. Jhon de la Cruz Palacios	06
12/12/2023	Actualización según Formato HOC	Revisión Anual / Julio Espinoza	07
26/12/2023	No se realizará los carguios de concreto hacia las labores cuando se encuentre próximo al horario de almuerzo (12 horas) a excepción que se cargue el concreto, se dirija al comedor dejando el equipo refugiado con todos los dispositivos de seguridad en una labor cercana y posterior reinicie la marcha hacia la labor para la cual fue pedido el concreto.	Incidente 49 / Ing. Jhon de la Cruz Palacios	08

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 27 — Procedimientos escritos de trabajo Seguro

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: ABASTECIMIENTO DE ADITIVO MASTER ROC AL ROBOT LANZADOR EN SUPERFICIE				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 05	IMP-UNIO09-04	

1. PERSONAL

- 1.1. Operador de equipo de lanzador.
- 1.2. Ayudante de equipo de lanzador.

2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- 2.1 Casco de seguridad tipo jockey
- 2.2 Lentes de seguridad
- 2.3 Barbiquejo
- 2.4 Guantes solvex
- 2.5 Botas con punta de acero.
- 2.6 Overol con cintas reflectivas.
- 2.7 Traje Tyvek

3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- 3.1 Robot lanzador
- 3.2 Mangueras
- 3.3 Bandeja metálica de contención
- 3.4 Juego de llaves
- 3.5 Bomba neumática
- 3.6 Lava ojos

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Se realizara entre los involucrados el llenado respectivo de check list y IPERC continuo.
- 4.2 Los trabajadores harán uso de sus EPP's completos y en buen estado de manera obligatoria.
- 4.3 Se colocara jalara y se colocara en el lugar adecuado la manguera de aditivo en el equipo robot lanzador.
- 4.4 Se fijara adecuadamente la manguera antes de poder abrir la válvula para el abastecimiento de aditivo.
- 4.5 Una vez fijado la manguera de aditivo en el equipo robot lanzador el ayudante de robot lanzador abrirá la válvula de aditivo máster Roc y abastecerá de aditivo por medio de la bomba neumática de los tanques, este trabajo se debe de realizar entre dos personas.
- 4.6 El ayudante del equipo robot lanzador haciendo uso de su lentes de seguridad verificara que se haya llenado el tanque del equipos robot lanzador y deberá de cerrar la llave de paso que se encuentra pegada a la pared.
- 4.7 Una vez se haya procedido a descargar la columna de aditivo de la manguera el operador del cisterna procederá a cerrar la válvula de la puntera para evitar derrames o salpicaduras.



Fig. 01: cerrado de válvula de puntera

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 28 — Procedimiento abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: ABASTECIMIENTO DE ADITIVO MASTER ROC AL ROBOT LANZADOR EN SUPERFICIE				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 05	IMP-UNIOF09-04	

- 4.8 Una vez abastecidos el equipo robot lanzador, el ayudante de robot asegurara y boqueara la válvula para poder evitar alguna manipulación de ello.
- 4.9 El operador y el ayudante terminado la actividad procederán a retirarse del abastecimiento de aditivo.
- 4.10 La camioneta se estacionara y colocara sus dispositivos de seguridad, de igual forma el robot lanzador, se apagaran ambos equipos para la instalación.
- 4.11 El coordinador u operador de cisterna instalara la manguera de aire de la bomba neumática utilizando el whipcheck, verificando que todas las válvulas de pase se encuentren cerradas.
- 4.12 El operador de robot o el ayudante será el que colocara la manguera de descarga de aditivo en el tanque del robot haciendo uso del full face para la actividad.
- 4.13 Posicion inicial de las valvulas
- 4.14 El operador de cisterna abrirá la válvula de paso de alimentación de la bomba y luego procederá a abrir una de las válvulas de paso del sistema de cañerías tipo T la cual está ubicada en la base de la bomba.
- 4.15 Una vez se culmine el abastecimiento del primer cilindro se procederá a cerrar su respectiva válvula de paso y se abrirá la siguiente para proseguir con el abastecimiento del segundo cilindro.



Fig. 02: Cerrado de válvula de paso de cilindro

- 4.16 En todo momento se debe de tener comunicación constante entre los involucrados en el abastecimiento y no se realizara esta tarea de 1 sola persona.
- 4.17 El abastecimiento de los cilindros vacios se realizara en superficie.

5. RESTRICCIONES

- 5.1 No realizar el abastecimiento si no se utiliza la bandeja de contención durante abastecimiento.
- 5.2 No realizar si el personal no está con traje tyvek
- 5.3 No realizar si no se cuenta con los EPP adecuados.
- 5.4 No se realizará la actividad si el personal no cuenta con lentes de seguridad.
- 5.5 No se realizará la actividad sino hay 2 personas como mínimo para el abastecimiento.
- 5.6 Restricción de operar equipos fuera del asiento / posición del operador.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
 SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	 SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	 JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A	 JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 29 — Procedimiento abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: ABASTECIMIENTO DE ADITIVO MASTER ROC AL ROBOT LANZADOR EN SUPERFICIE				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 05	IMP-UNIO P09-04	

FECHA	DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION	MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO	VERSION
10/01/2020	Publicación inicial	Ing. David Pulache Bereche	00
01/01/2021	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	01
13/10/21	Restricción de operar equipos fuera del asiento / posición del operador.	Ing. David Pulache Bereche	02
10/03/2022	Actualización de formato	Ing. Lizbeth Franco Gutierrez	03
09/09/2023	Actualización de formato	Ing. Lizbeth Franco Gutierrez	04
12/12/2023	Actualización según Formato HOC	Revisión Anual / Julio Espinoza	05

ELABORADO POR: Julio Espinoza 	REVISADO POR: Juliet Rodriguez 	REVISADO POR: Cristhian Zapata 	APROBADO POR: Yered Martinez 
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 30 — Procedimiento Abastecimiento de aditivo master roc al robot lanzador en superficie

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: TRASLADO DE ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 07	IMP-UNIOP09-07	

- 1. PERSONAL**
 - 1.1 Operador de equipo.
 - 1.2 Ayudante de equipo de lanzador.
 - 1.3 Conductor de Camioneta.

- 2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**
 - 2.1 Casco de seguridad tipo jockey.
 - 2.2 Lentes de seguridad luna clara
 - 2.3 Barbiquejo.
 - 2.4 Orejeras y/o tapón auditivo.
 - 2.5 Respirador con filtros de polvo y gases.
 - 2.6 Overol con cinta reflectiva.
 - 2.7 Guantes de seguridad badana.
 - 2.8 Guantes nitrilo solvex 18".
 - 2.9 Guantes de seguridad.
 - 2.10 Traje tyvek (a la cintura para el ayudante durante el traslado a pie)
 - 2.11 Correa porta autorescatador.
 - 2.12 Lámpara minera.
 - 2.13 Botas dieléctricas de seguridad con punta de acero.
 - 2.14 Detector de gases (Monogas)
 - 2.15 Autorescatador (Para cada personal)

- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES**
 - 3.1 Robot lanzador
 - 3.2 Camioneta 4x4
 - 3.3 Dispositivos de seguridad: 02 tacos, 02 conos, 01 bastones luminosos
 - 3.4 Radio de comunicación.

- 4. PROCEDIMIENTO**
 - 4.1 Recibir instrucción de seguridad de 15 min antes del despacho de guardia
 - 4.2 Durante la reunión de seguridad de inicio de guardia, el jefe de planta comunicará al coordinador de operaciones y a cada operador sobre las zonas programadas (programa de sostenimiento de la guardia), mediante el formato de orden de trabajo.
 - 4.3 Recibir y revisar la orden de trabajo.
 - 4.4 El operador realizará la inspección pre-uso de equipos (robot lanzador) de acuerdo a la orden del personal de mantenimiento el cual indicará el equipo a operar durante la guardia. La inspección pre-uso se realizará en superficie o interior mina asegurándose que todos los controles e indicadores estén funcionando apropiadamente, cualquier deficiencia será comunicado inmediatamente al personal de mantenimiento.
 - 4.5 El operador trasladará el Robot Lanzador desde el punto en el cual se dejó estacionado el equipo lanzador en la guardia saliente hacia la labor en la cual se aplicará shotcrete. Cuando el personal de mantenimiento indique operar un equipo diferente al usado en la guardia anterior, el operador trasladará el

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodríguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martínez
	 ASISTENTE TECNOLÓGICO SEGURIDAD Y SALUD OPERA MINA	 LABOR COPIA CRISTHIAN ZAPATA BUREAU COTI VILLAS	 UNIÓN DE CONCRETERAS S.A. "VEHICULOS AUTOMATIZADOS"
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 31 — Procedimiento traslado de robot lanzador

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: TRASLADO DE ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 07	IMP-UNIOPO9-07	

equipo desde Planta Unicon hacia la labor en la cual se aplicará shotcrete o viceversa.

Escortado por ayudante

4.6 En caso de no contar con una camioneta para realizar el traslado de equipo, este se realizará con apoyo del ayudante de robot lanzador el cual deberá de contar con sus bastones luminosos y escoltará al robot lanzador a una **distancia de 15 mts.**

4.7 El ayudante de robot que hará la función de vigía usará bastón luminoso bicolor; utilizando luz roja parpadeante para advertir que equipo se está trasladando; luz verde para dar indicaciones de "siga" a robot y/o vehículos en tránsito y luz roja para dar indicaciones de "pare" a robot y/o vehículos en tránsito.

4.8 El traslado con apoyo del ayudante solo será realizado en interior mina.

Escortado por camioneta

4.9 Se deberá realizar la comunicación entre el operador de robot lanzador con el conductor de camioneta para proceder con el traslado del robot lanzador.

4.10 El traslado del equipo lanzador se realizará escoltado por la camioneta los cuales deben de estar separados una **distancia mínima de 30 m.**

4.11 La escolta con camioneta se realizara en avanzada hasta el punto de intersección más cercano donde se detendrá la camioneta para bloquear la vía hasta la llegada del robot, adelantándose hasta el siguiente punto de intersección hasta llegar así a su destino final.

4.12 Cuando el Equipo (lanzador, camioneta) se encuentre en zona operativa (lanzado, carguío, o estacionamiento) estacionado temporalmente, el operador RETIRARÁ LAS LLAVES DEL CONTACTO llevándolas OBLIGATORIAMENTE consigo, asimismo bloqueará el equipo colocando sus tacos, conos, cerrando y bloqueando la cabina del equipo.

4.13 Una vez que el operador de Robot Lanzador ubique su equipo, colocara sus tacos y conos.

4.14 Culminado el sostenimiento de la labor, el operador trasladará el equipo hacia el siguiente punto de sostenimiento siguiendo los puntos anteriores.

5. RESTRICCIONES:

5.1 No se ejecutara la actividad cuando el personal no tenga la orden de trabajo firmada por el jefe de planta; y no se haya registrado las herramientas de gestión; (IPERC continuo, Check list diario de labores-Interior mina).

5.2 No asistir en condiciones físicas o mentales disminuidas al centro de trabajo.

5.3 Por ningún motivo el operador se alejará de su equipo (lanzador, camioneta), dejándolo estacionado con la llave en el contacto ni tampoco dentro de la cabina de conducción. Su Incumplimiento estará sujeto a sanción disciplinaria impuesta por UNICON.

5.4 No se realizará el Traslado del Equipo Robot Lanzador en las siguientes condiciones:

5.5 Cuando haya presencia de tormenta eléctrica (alerta roja).

5.6 Se prohíbe el Traslado sino se cuenta con escolta.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 32 — Procedimiento traslado de robot lanzador

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: TRASLADO DE ROBOT LANZADOR				
	FECHA DE ELABORACION: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSION: 07	IMP-UNIOP09-07	

5.7 Solo podrá Trasladar el equipo Robot Lanzador personal que cuenta con su Autorización.

5.8 Desarrollo de actividades solo con personal capacitado y autorizado.

FECHA	DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION	MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO	VERSION
10/01/2020	Publicación inicial	Ing. David Pulache Bereche	01
01/01/2021	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	02
17/04/2021	Se incorpora el punto 4.7: El ayudante de robot que hará la función de vigía usará bastón luminoso bicolor; utilizando luz roja parpadeante para advertir que equipo se está trasladando; luz verde para dar indicaciones de "siga" a robot y/o vehículos en tránsito y luz roja para dar indicaciones de "pare" a robot y/o vehículos en tránsito.	Ing. Pablo Cervantes Valdivia	03
10/03/2022	Actualización de formato	Ing. Lizbeth Franco Gutierrez	04
31/08/2022	Se incorpora el punto 4.9: Se deberá realizar la comunicación entre el operador de robot lanzador con el conductor de camioneta para proceder con el traslado del robot lanzador.	Ing. Jhon de la Cruz Palacios	05
07/01/2023	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	06
12/12/2023	Actualización según Formato HOC	Revisión Anual / Julio Espinoza	07

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 33 — Procedimiento traslado de robot lanzador

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: LANZADO DE CONCRETO VIA HUMEDA CON ROBOT LANZADOR ALPHA 20				
	FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2020	ULTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSIÓN: 05	IMP-UNIOPO9-08	

- 1. PERSONAL.**
 - 1.1 Operador de equipo de robot lanzador.
 - 1.2 Operador de equipo Mixkret.
 - 1.3 Ayudante de equipo robot lanzador.

- 2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL.**
 - 2.1 Casco de seguridad tipo jockey con barbiquejo.
 - 2.2 Lentes de seguridad luna clara.
 - 2.3 Orejeras y/o tapón auditivo.
 - 2.4 Respirador con filtros de polvo y gases.
 - 2.5 Overol con cinta reflectiva.
 - 2.6 Guantes de seguridad badana.
 - 2.7 Guantes nitrilo solvex 18".
 - 2.8 Traje tyvek.
 - 2.9 Correa porta autorescatador.
 - 2.10 Lámpara minera.
 - 2.11 Botas dieléctricas de seguridad con punta de acero.
 - 2.12 Mascara protectora fullface con mica protectora (operador de robot lanzador).

- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES**
 - 3.1 Equipo Robot lanzador Alpha 20.
 - 3.2 Equipo mixkret.
 - 3.3 Monogas.
 - 3.4 Auto rescatador (personal).
 - 3.5 Comba de 4 o 6 libras.
 - 3.6 Barretilla de 4 pies.
 - 3.7 Llave francesa N°12.
 - 3.8 01 Espátula de 2" pulgadas.
 - 3.9 Varilla de aluminio o Listón de madera (atacador de calibradores) de 3 m a más.
 - 3.10 Cable Whipcheck (Anti Latigazo).
 - 3.11 Calibradores de plástico 2" y/o 3"
 - 3.12 Pelota de goma.
 - 3.13 30 metros de manguera.
 - 3.14 Pico y Lampa.
 - 3.15 02 Tacos, 02 Conos de seguridad, 02 bastón luminoso (mixkret y robot c/u).
 - 3.16 02 Letreros de bloqueo.
 - 3.17 Kit antiderrame.
 - 3.18 03 metro de sog de 1/4".
 - 3.19 Extintor PQS de 9 kilogramos.
 - 3.20 Lava ojos.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 34 — Procedimiento lanzado de concreto vía húmeda con robot lanzador Alpha

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: LANZADO DE CONCRETO VIA HUMEDA CON ROBOT LANZADOR ALPHA 20				
	FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSIÓN: 05	IMP-UNIO P09-08	

3.21 Botiquín.

3.22 Espátula.

3.23 Removedor industrial de concreto.

3.24 Escobillón industrial.

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Liberación del área a sostener:
 El coordinador verificará el área liberada de acuerdo al estándar de liberación de labores, verificando que la labor se encuentre estandarizada. **(Luminaria en la zona de lanzado 15 mts max. del tope de la labor)**. Además, verificar y cumplir con la recomendación geomecánica vigente ubicado en el panel informativo de la labor. Si las condiciones de la labor lo requieren se solicitará PETAR para realizar la actividad.

4.2 Estacionamiento del equipo en la labor e inspección de la labor a sostener:
 El operador estacionara el equipo sobre techo sostenido a 10 metros del frente de trabajo, extenderá los estabilizadores y gatas del equipo, colocará sus dispositivos de seguridad. El ayudante bloqueara todos los ingresos posibles a la labor colocando sus señalizaciones con bloqueo (sogas y letreros), bastones luminosos y conos de seguridad. El operador de robot, ayudante y operador de mixkret realizarán la inspección de la labor haciendo uso del registro de inspección diaria de labores, asimismo desarrollaran el IPERC Continuo y cuadro de medición de gases.

4.3 Instalación de manguera con aire comprimido de servicios mina:
 Con energía cero (neumática); el ayudante desenrollara la manguera que se encuentra en la parte posterior del robot y dirigirá la puntera hasta la válvula de aire, ubicada como máximo a 30 mts del tope de acuerdo a estándar y verificara que la tuberías se encuentre asegurada con cable flexible y grapas crosby. El ayudante abrirá la válvula de la tubería de aire para verificar el estado de este, y eliminar alguna presencia de agua. Colocara un extremo del cable whipcheck en la válvula y asegurara el otro extremo en la manguera de servicio del robot, colocara la reducción en la puntera y con una llave francesa N°12 ajustara lo necesario.

4.4 Estacionamiento del equipo Mixkret.
 Con energía (neumática) en cero, el ayudante haciendo uso del bastón luminoso (código de señales horizontal), dirigirá al operador del mixkret (lentamente) en su trayecto en retroceso hacia la batea del Equipo Alpha 20 siempre con la extensión de la canaleta recogida teniendo contacto visual con el operador de mixkret en todo momento. El operador de mixkret y el ayudante deberán mantener bloqueada o delimitada el área de trasegado y/o lanzado de la labor colocando el letrero de bloqueo, conos y bastón luminoso a fin de evitar el ingreso de personal ajeno a la actividad.

4.5 Trasegado de concreto del mixkret a equipo Alpha 20.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 35 — Procedimiento lanzado de concreto vía húmeda con robot lanzador Alpha

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: LANZADO DE CONCRETO VIA HUMEDA CON ROBOT LANZADOR ALPHA 20				
	FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSIÓN: 05	IMP-UNIO9-08	

Una vez estacionado el equipo mixkret y con todos los dispositivos de seguridad colocados (conos de seguridad y bastón luminoso), el ayudante apertura la válvula de aire y la energía eléctrica; todo esto siempre en comunicación constante con el operador de robot. Se realiza el trasegado de concreto de acuerdo al **PETS: IMP-UNI09-08**

4.6 Sostenimiento con shotcrete.
 Antes del lanzamiento de concreto se realizará la limpieza del macizo rocoso según tipo de roca:
Para Tipo de Roca III con agua en toda el área a sostener.
Para Tipo de Roca IV, con aire comprimido en toda el área a sostener

LANZADO POR TIPO DE ROCA Y ESPESORES		
	Tipo de Roca III	Tipo de roca IV
Para 2 pulgadas de espesor:	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva y después de 10 minutos de fraguado se completara el espesor de 2" según recomendación geomecánica.	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva y después de 15 minutos de fraguado se completara el espesor de 2" según liberación de labor.
Para 3 pulgadas de espesor:	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva, después de 10 minutos de fraguado se completara el espesor de 2", y se espera 30 minutos para completar el espesor de 3" según liberación de labor.	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva, después de 15 minutos de fraguado se completara el espesor de 2", y se espera 30 minutos para completar el espesor de 3" según liberación de labor.
Para 4 pulgadas de espesor:	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva, después de 10 minutos de fraguado se completara el espesor de 2", y se espera 60 minutos para completar el espesor de 4" según recomendación geomecánica.	El sostenimiento se hará por capas, primero se lanzara una capa preventiva, después de 15 minutos de fraguado se completara el espesor de 2", y se espera 60 minutos para completar el espesor de 4" según liberación de labor.

Durante el lanzamiento el operador de robot se ubicará al lado opuesto de la dirección de la boquilla para tener una visión favorable del área a sostener, siempre colocado sobre techo sostenido.
 En todo momento la boquilla deberá estar en dirección perpendicular a la superficie de lanzamiento a una distancia de 1.20 a 1.50 metros, en avanzada con un traslape de 30cm y dándole el debido espesor de acuerdo a la recomendación geomecánica.
 Para cambiar de posición el operador tendrá que paralizar el bombeo, retraer el brazo en posición vertical, rodear al brazo retraído y pasar al otro lado para continuar con el lanzamiento.

Así mismo el sostenimiento se realizará desde los hastiales hacia la corona tal como se grafica en el Anexo 01.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 36 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha

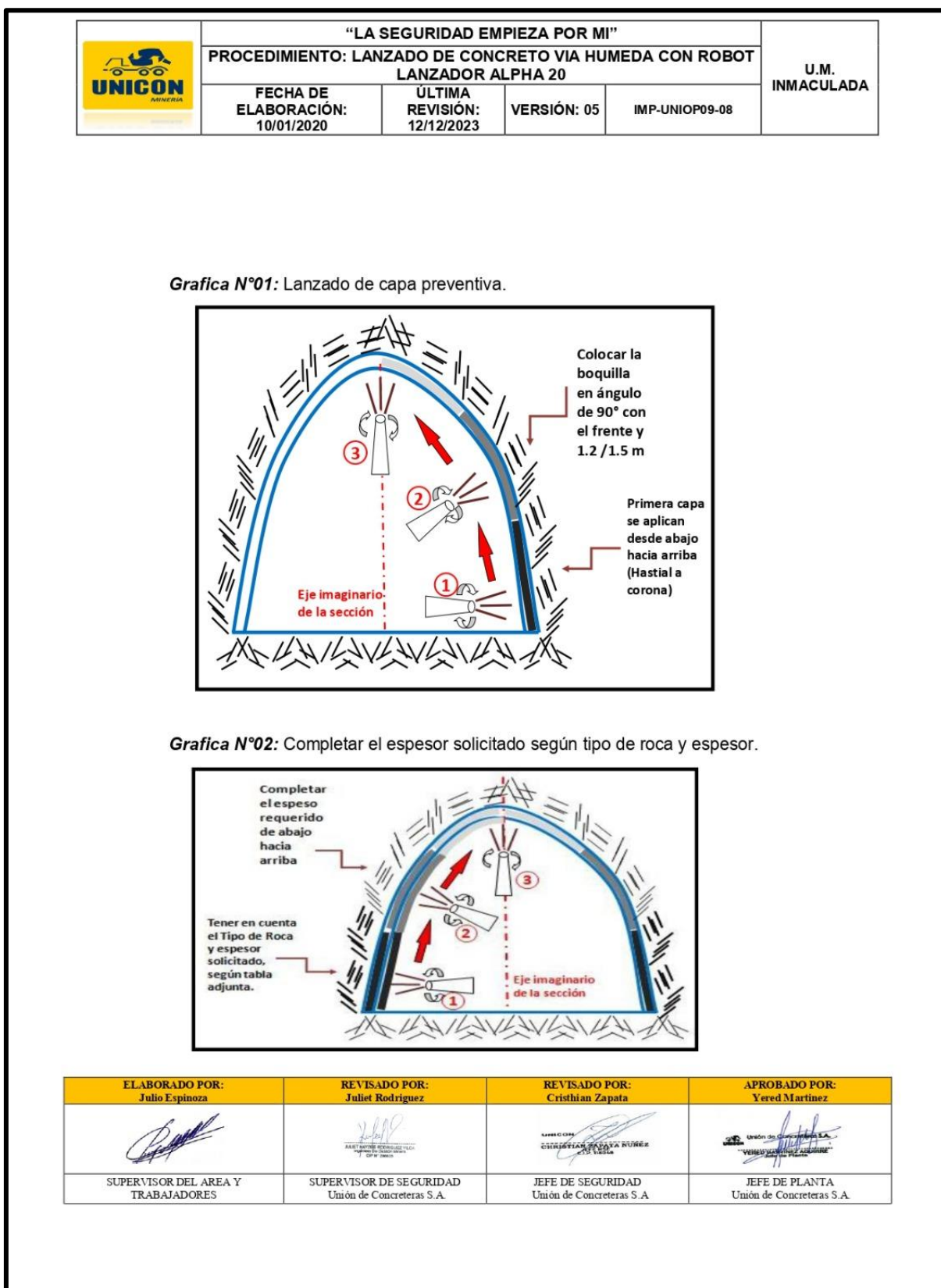


Figura 37 Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha 20

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: LANZADO DE CONCRETO VIA HUMEDA CON ROBOT LANZADOR ALPHA 20				
	FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSIÓN: 05	IMP-UNIO9-08	

Si la cubicación de la labor es mayor a 4 metros cúbicos, una vez trasegado el concreto del primer mixkret, el ayudante deberá eliminar la energía (neumática); así mismo desbloquea la labor y coordina el retiro del equipo mixkret.

El operador de mixkret retira sus dispositivos de seguridad, coloca la cuba en giro horario lento y se retira de la labor.

El siguiente mixkret realiza su ingreso previa coordinación con el ayudante, aplicando nuevamente los pasos 4.4 y 4.5.

El operador de robot lanzador deberá esperar 10 minutos como mínimo posterior al lanzamiento para verificar algún desprendimiento (Según tipo de roca VIA y VIB).

4.7 Instalación de calibradores, marcado de cuaderno y hastial:
 Primero se verifica la recomendación geomecánica y la hoja de liberación; donde indica si la labor amerita calibrar o no.
 En coordinación constante el ayudante con el operador de robot y haciendo uso de una varilla de aluminio y/o listón de madera de 3.5 o 4 metros de longitud, se colocará los calibradores separados a una distancia no mayor de 1 metro cuadrado y en forma de abanico; el calibrado de la labor se realizará siempre desde la zona sostenida con anterioridad; nunca ningún colaborador se expone al shotcrete recién sostenido.
 En el caso de labores con presencia de fallas, filtración de agua, terreno panizado, zona de realce, etc. tal y como indica la liberación, no se colocará calibradores y el espesor será controlado de manera visual y con volumen adicional si fuera necesario, esto cumpliendo la recomendación geomecánica y con la supervisión del área de geomecánica de CIA.

4.8 Desinstalación del equipo lanzador
 Terminado el trasegado de uno o más mixkret en el frente de trabajo, el ayudante en coordinación con el operador de robot, cierra la válvula de aire:

Para el aire: El ayudante desajusta la reducción y retira la manguera para luego enrollarla en la parte posterior del equipo.

4.9 Marcado de cuaderno y hastial
 Una vez calibrada la zona lanzada; y desinstalado el equipo. El operador de robot con un spray de color blanco marcara en el hastial la hora final de lanzamiento, metros cúbicos, fecha y turno; así mismo escribe la hora final de lanzamiento en el cuaderno de la labor (Cuaderno de Fraguado de Shotcrete).

4.10 Limpieza del sistema de bombeo del equipo Alpha 20 y retiro de la labor:
 La limpieza del equipo se realizará siguiendo los pasos del PETS: IMP-UNI09-16
 Luego de realizar la limpieza se retira el bloqueo de la labor y el equipo se retira a la siguiente labor o al taller de acuerdo a la necesidad siguiendo los pasos del PETS: IMP-UNI09-16.

5. RESTRICCIONES.
5.1 No realizar la tarea si no se tiene la liberación de acuerdo al estándar establecido.

ELABORADO POR: Julio Espinoza	REVISADO POR: Juliet Rodriguez	REVISADO POR: Cristhian Zapata	APROBADO POR: Yered Martinez
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 38 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha

	"LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI"				U.M. INMACULADA
	PROCEDIMIENTO: LANZADO DE CONCRETO VIA HUMEDA CON ROBOT LANZADOR ALPHA 20				
	FECHA DE ELABORACIÓN: 10/01/2020	ÚLTIMA REVISIÓN: 12/12/2023	VERSIÓN: 05	IMP-UNIOPO9-08	

5.2 No realizar la tarea si las herramientas y equipos se encuentran en mal estado.
 5.3 No realizar la tarea si el personal no está capacitado y autorizado para lanzado de shotcrete.
 5.4 No realizar la tarea si la labor no está estandarizada (la manga de ventilación a 15 metros del tope, CO menor o igual a 25 ppm, iluminación a 15 metros del tope, tubería de aire a 30 metros del tope y asegurado con cable flexible y garpa crosby).
 5.5 No se realizara la tarea si hay presencia de tiros cortados.
 5.6 No se realizara la tarea si no se cuenta con la recomendación geomecánica actualizada de acuerdo a estándar vigente.
 Roca Tipo IVB – 3 Guardias – 36 Horas
 Roca Tipo IVA – 5 Guardias – 60 Horas
 Roca Tipo IIIA y IIB – 6 Guardias – 72 Horas
 Cambio de tipo de roca de regular a mala, máximo a la siguiente guardia
 5.7 No realizar la tarea si falta desate de roca (bancos colgados)
 5.8 No realizar la tarea si el personal no cuenta con EPP adecuado.
 5.9 No se realizara lanzado si hay trabajos en simultaneo, 2 equipos en la misma labor.
 5.10 Para labores con altura mayor a 4.5 metros, no se realizara la calibración de la corona, solo los hastiales de la labor y se reportara al técnico de Geomecánica.
 5.11 No trasladar el equipo sin haber asegurado el control.
 5.12 No realizar si el personal no cuenta con traje tyvek.
 5.13 No realizar el lavado en áreas no autorizadas.

FECHA	DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION	MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO	VERSION
10/01/2020	Publicación inicial	Ing. David Pulache Bereche	01
01/01/2021	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	02
10/03/2022	Actualización de formato	Ing. Lizbeth Franco Gutierrez	03
07/01/2023	Actualización de PETS	Ing. David Pulache Bereche	04
12/12/2023	Actualización según Formato HOC	Revisión Anual / Julio Espinoza	05

ELABORADO POR: Julio Espinoza 	REVISADO POR: Juliet Rodriguez 	REVISADO POR: Cristhian Zapata 	APROBADO POR: Yered Martinez 
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERVISOR DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE SEGURIDAD Unión de Concreteras S.A.	JEFE DE PLANTA Unión de Concreteras S.A.

Figura 39 — Procedimiento lanzado de concreto via humeda con robot lanzador Alpha

Anexo C

Datos técnicos

WETKRET-4

Actualización

05/06/2018



1. Datos generales

Nº	Datos generales	Unidad	Característica
1.	Medidas largo / alto / ancho	mm	9200/ 2200/ 1900
2.	Altura libre al suelo	mm	400
3.	Peso máquina (*depende de los opcionales instalados)	kg	13000*
4.	Cabina FOPS/ROPS	-	Sí

2. Chasis

Nº	Chasis	Unidad	Característica
5.	Cabina de conducción	-	FOPS-ROPS
6.	Depósito de combustible (Stage IIIA / Stage IV)	L	140/100
7.	Deposito de AdBlue (solo para Stage IV)	L	10
8.	Velocidad máxima	km/h	20
9.	Transmisión hidrostática:	-	Motor ICVD velocidad variable
10.	Número de ejes	-	2
11.	Tipo de ejes	-	DANA 212 1 delantero oscilante 1 trasero rígido
12.	Tipo de freno: hidráulico o seco	-	Hidráulico
13.	Nº Discos en baño de aceite	Nº	8 x eje
14.	Freno de estacionamiento	-	Negativo (SAHR)
15.	Altura de llenado tolva (sin babero goma)	mm	1200
16.	Ruedas	4	9.00 R20 XZM Michelin
17.	Radio de giro exterior	mm	6000
18.	Radio de giro interior	mm	2800
19.	Ángulo máximo de inclinación transversal (traslación)	%	30
20.	Ángulo máximo de inclinación longitudinal (traslación)	%	35

3. Motor Diésel

Nº	Caterpillar C4.4 Stage IIIA	Unidad	Característica
21.	Potencia motor diésel	kW	106
22.	Revoluciones máximas	rpm	2200
23.	Par máximo	Nm	558
24.	Revoluciones par máximo	rpm	1400

Nº	Deutz TCD3.6L4 Stage IV	Unidad	Característica
25.	Potencia motor diesel	kW	85
26.	Revoluciones máximas	rpm	2300
27.	Par máximo	Nm	460
28.	Revoluciones par máximo	rpm	1600
29.	Sistema postcombustión	-	DOC + SCR

4. Bomba de hormigón

Nº	Bomba de Hormigón PM 1507	Unidad	Característica
30.	Tubo oscilante	-	S 1210
31.	Revoluciones bomba hidráulica (50/60 Hz)	1/min	1.500 / 1.800
32.	Presión de cambio del tubo S	bar	220
33.	Rendimiento teórico (máx.)	m³/h	20
34.	Presión máxima sobre el hormigón	bar	65
35.	Cilindros de transporte	Ø mm	150
36.	Dimensiones cilindros hidráulicos (carrera teórica)	mm	700
37.	Número de emboladas	1/min	27
38.	Motor eléctrico: Potencia	kW	37
39.	Tensión red eléctrica	V	400
40.	Frecuencia red eléctrica	Hz	50
41.	Revoluciones del motor eléctrico	rpm	1500
42.	Capacidad de la tolva llena	L	250
43.	Diámetro de salida de tolva TS 323	Pulgadas	4 1/2"
44.	Revoluciones Agitador (OMR 315)	1/min	43
45.	Bombeo en seco	-	NO

Putzmeister Ibérica, S.A. Camino de Hormigueras, 173 – 28031 Madrid. Tel.: 34-914288100 - Fax: 914288106 – www.putzmeister.es
Página 1 de 5

PME653.1 ED: 0701

Figura 40 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4



Anexo C.

Datos técnicos		WETKRET-4	 Putzmeister
Actualización		05/06/2018	
46.	Tamaño de grano máx. bombeado	mm	16

5. Brazo de proyección			
Nº	Brazo de proyección SA8.1	Unidad	Característica
47.	Peso total del brazo	Kg	870
48.	Caudal máximo bomba hidráulica pluma	l/min	33
49.	Altura máx. vertical con ángulo de elevación de los brazos 45°	m	7,5
50.	Alcance máx. vertical/ horizontal	m	7,5 / 7
51.	Extensión del brazo principal	m	2,7
52.	Ángulo de giro de torreta	°	180
53.	Rotación del cabezal proyector	°	360
54.	Inclinación del cabezal proyector	°	+120/ -120
55.	Nutación (rotación) cabezal proyector	°	8
56.	Movimientos ejes	Nº	6

6. Sistema hidráulico			
Nº	Brazo de proyección SA10.1	Unidad	Característica
57.	Peso total del brazo	kg	950
58.	Caudal máximo bomba hidráulica pluma	l/min	33
59.	Altura máx. vertical con ángulo de elevación de los brazos 60°	m	10
60.	Alcance máx. horizontal	m	8.5
61.	Extensión del brazo principal	m	4
62.	Ángulo de giro de torreta	°	180
63.	Rotación del cabezal proyector	°	360
64.	Inclinación del cabezal proyector	°	+120/ -120
65.	Nutación (rotación) cabezal proyector	°	8
66.	Movimientos ejes	Nº	6

7. Motor hidráulico ICVD			
Nº	Sistema hidráulico Tipo VHS	Unidad	Característica
67.	Depósito de aceite	l	170
68.	Bomba hidráulica principal A10V71DFLR	l/min	106,5
69.	Filtro de aspiración (micras)	µ	10
70.	Presión máxima hidráulica	bar	210

8. Sistema hormigón-aditivo-aire			
Nº	ICVD GT-S1N-233V	Unidad	Característica
71.	Desplazamiento máximo	cm³	233
72.	Revoluciones máximas a máximo desplazamiento	rpm	3150
73.	Revoluciones a máximo desplazamiento con ΔP de 40bar	rpm	3350
74.	Caudal con máximo desplazamiento	l/min	348
75.	Potencia con ΔP = 430 bar	kW	249
76.	Par con ΔP = 430 bar	Nm	756
77.	Peso	kg	88
78.	Máximo volumen aceite	cm³	15
79.	Máxima presión de operación	bar	480
80.	Máximo par	Nm	2560
81.	Máxima velocidad del eje de transmisión	rpm	4470

8. Sistema hormigón-aditivo-aire			
Nº	Proyector AL220	Unidad	Característica
82.	Tubería y mangueras de transporte hormigón	DN	65
Nº	Bomba de aditivo hidráulica	Unidad	Característica
83.	Campo de regulación máx.	l/h	60—500
84.	Presión máxima trabajo	bar	7,5
85.	Depósito de aditivo (standard/ especial)	l	550 / 700

Putzmeister Ibérica, S.A. Camino de Hormigueros, 173 – 28031 Madrid. Tel.: 34-914288100 - Fax: 914288106 – www.putzmeister.es

Página 2 de 5

PME653.1 ED: 0701

Figura 41 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4



PME653.1 ED: 0701

Datos técnicos

Actualización

WETKRET-4

05/06/2018



Compresor (Opcional)

Nº	Compresor PM45	Unidad	Característica
86.	Motor de accionamiento	kw	45
87.	Caudal efectivo (max)	m³/min	7,2
88.	Presión de trabajo (max)	bar	7,5
Nº	Compresor PM37SF	Unidad	Característica
89.	Motor de accionamiento	Kw	37
90.	Caudal efectivo (max)	m³/min	6
91.	Presión de trabajo (max)	bar	7,5

Datos de compresores a 0 m.s.n.m. Para aplicaciones en altura, por favor, consultar con Putzmeister Ibérica, S.A.

9. Electricidad

Nº	Alimentación de corriente eléctrica	Unidad	Característica
92.	Tensión de mando	V	24
Nº	Telemando Radio/ Cable Proporcional	Unidad	Característica
93.	Nº Baterías	Nº	2
94.	Tipo batería		NiMH
95.	Longitud del cable	m	20
Nº	Cuadro eléctrico general	Unidad	Característica
96.	Potencia	Kw	85
97.	Protección panel	IP	65
98.	Frecuencia red	Hz	50
99.	Tensión	V	400
100.	Protección de la línea de acometida del cliente		Según establecido en esquema eléctrico
Nº	Baterías	Unidad	Característica
101.	Baterías		2x 12V 70Ah
Nº	Luces	Unidad	Característica
102.	Focos de traslación (LED)	4	24V-35W
103.	Foco de trabajo tolva (LED)	1	24V-18W
104.	Foco de trabajo pluma (LED)	2	24V-80W
105.	Rotativo (Halógeno) con imán	1	24V-70 W
106.	Luz de cortesía en cabina (LED)	1	24V-5 W
107.	Reflectores gálbo (LED)	6	24V-1 W
Nº	Cámara trasera y monitor	Unidad	Característica
108.	Cámara trasera	1	Color-Infrarrojos
109.	Monitor en cabina	1	5.6"

10. Enrollables

Nº	Enrollables manual	Unidad	Característica
110.	Cable 50 m	Ø mm	3x50+25
111.	Cable 100 m	Ø mm	3x70+3G16
Nº	Enrollables hidráulico	Unidad	Característica
112.	Cable 50 m	Ø mm	3x50+25
113.	Cable 100 m	Ø mm	3x70+3G16
114.	Velocidad del enrollables	m/min	83

11. Limpiador de alta presión

Nº	Bomba de agua	Unidad	Característica
115.	Caudal	l/min	10,8
116.	Presión máxima	bar	140

12. Opcionales

Nº	Descripción	Unidad	Característica
117.	Kit acristalamiento cabina completo	-	
118.	Puerta lateral de cabina con cristal	-	
119.	Rejilla protección frontal de cabina	-	
120.	2ª Bomba de aditivo (trasvase)	-	
121.	Kit de climatización (AACC + Calefacción)	-	

Putzmeister Ibérica, S.A. Camino de Hormigueras, 173 - 28031 Madrid. Tel.: 34-914288100 - Fax: 914288106 - www.putzmeister.es
Página 3 de 5

Figura 42 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4



Datos técnicos		WETKRET-4	 Putzmeister
Actualización		05/06/2018	
122.	Babero goma protección eje trasero	-	
123.	Sistema supresión de incendios DAFO	-	Manual / Automático
124.	Neumáticos para minería	-	9.00 R20 XMine2
125.	Foco rotativo LED destellante Naranja con imán	-	
126.	Luces gálbo Rojo/ Verde	-	2 led rojo x 0.8w 2 led verde x 0.8w
127.	Bomba de agua alta presión para limpieza Dynaset	-	Caudal: 30l/min Presión: 200 bar
128.	Protección PVC para cristal delantero cabina	-	
129.	Asiento con suspensión neumática KAB-AIR, con cinturón de 3 puntos.	-	
130.	Funda de polipiel para asiento KAB-AIR.	-	
131.	Asiento con suspensión neumática GRAMMER-PRIMO L, con cinturón de 2 puntos.	-	
132.	Depósito aditivo 700 l de capacidad.	-	

PME653.1 ED: 0701

Figura 43 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4

Datos técnicos

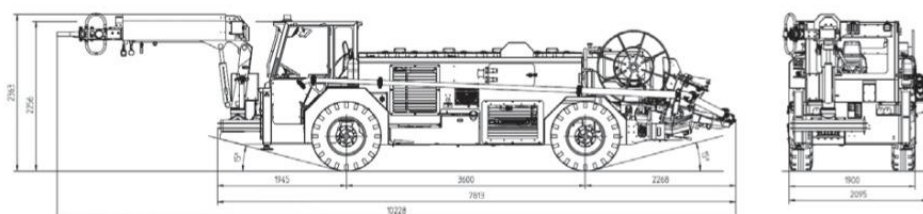
Actualización

WETKRET-4

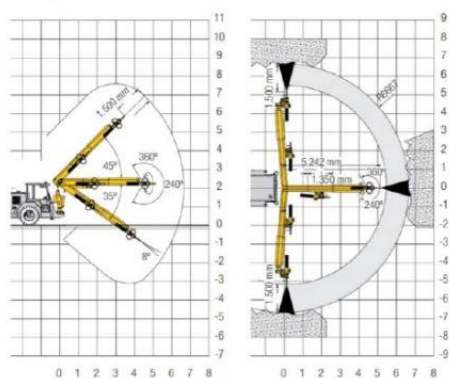
05/06/2018



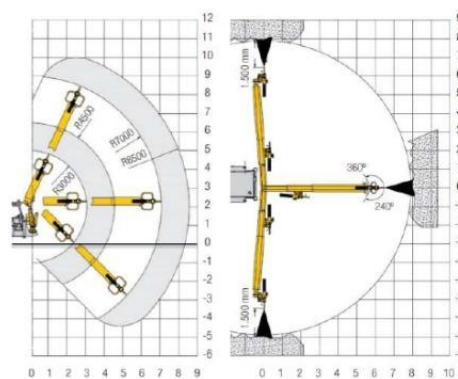
13. Medidas y alcances



Putzmeister SA 8.1 LP



Putzmeister SA 10.1



PMIE653.1 ED: 0701

Figura 44 — Ficha técnica de equipo WTKRET-4

Anexo D



RESEFER
MANUFACTURING
FICHA TECNICA



EQUIPO DE PULVERIZADOR DE CONCRETO **SPRAYMIX LITTLE**

El **SPRAYLITTLE** es un equipo lanzador de concreto para las operaciones modernas en minería, diseñado para trabajos en tuneles de secciones de **2.5x2.5m** hasta **4.5x4.5m**.

Equipado con un brazo para el lanzado de concreto, en secciones con espacios reducidos de manera eficiente y rápida.

El equipo cuenta con el sistema contra incendios y/o sistema de lavado a alta presión.

SPRAYLITTLE, permite su funcionamiento vía mando a distancia, control remoto permitiendo una mayor flexibilidad a las necesidades de la operación minera.

La cabina está diseñada especialmente para dar una adecuada ergonomía, comodidad y desempeño del operador.

Cabina con certificación (**FOPS & ROPS**)



CALLE LAS FRAGUAS
MZA. "B" LOTE 18
INDEPENDENCIA - LIMA



(0511) 01 717 - 4952



WWW.RESEFER.COM

Figura 45 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE

SPRAYMIX LITTLE

EQUIPO PULVERIZADOR DE CONCRETO

E-Mail: ventas@resefer.com.pe

Telefono: (0511) 01 717- 4952

Website: www.resefer.com.pe

CARACTERISTICAS

DATOS GENERALES

Tipo	Pulverizador de concreto
Marca	RESEFER
Modelo	SPRAYMIX LITTLE
Año	2021
Procedencia	Lima- Perú
Largo	5750
Ancho	1400
Alto	2200
Altura libre del suelo	320 mm

MOTOR DIESEL

Marca	CUMMINS
Modelo	QS8 4.5
Potencia motor diesel	119Kw (160 HP)
Revoluciones máximas	2500 rpm
Refrigeración	Agua
Catalizador + Silenciador	Si

BRAZO DE LANZADO

Modelo	RSF-302.1
Accionamiento	A distancia con control remoto y/o cable
Carrera del brazo	3 m
Elevar / bajar	±70
Zona de Giro	360°
Accionamiento de giro del cabezal	Axial 360° / radial 240°
Peso	580 kg

BOMBA DE CONCRETO

Modelo	PUTZMEISTER
Capacidad	13 m ³ /hora
Tipo	Bomba de pistones sincronizada al bombeo
Funcionamiento	Diesel

CABINA CERTIFICADA

Certificación de seguridad	FOPS & ROPS
Asiento hergonómico	Si
Cinturón de seguridad	Si
Camara de retroceso	Si
Pantalla de 7"	Si
Luz de salón	Si

SISTEMA HIDRÁULICO

Tanque de aceite hidráulico	200 L
Enfriador	SI- Tropical
Indicador de nivel de aceite	SI
Indicador de temperatura de aceite	SI

BOMBA DOSIFICADORA

Rango de producción	De 85 hasta 500 litros/h a 10 bar
Potencia	1.5 KW
Deposito de aditivo	400 lts

SISTEMA TRANSPORTADOR

Eje delantero	DANA - Mod. 311/111/189 fijo
Eje trasero	DANA - Mod. 111/138 oscilante
Velocidades	2 Velocidades en avance y retroceso
Dirección articulada	+/- 35° Angulo de giro
Velocidad de desplazamiento plano	20 km/h
Velocidad de desplazamiento a 20°+	8 km/h
Neumáticos	8.25xR15
Tanque de combustible	170 L / 42 gal
Extintor manual	6 Kg
Sistema de extinción de incendio	ANSUL

SISTEMA ELECTRICO

Control de mando de trabajo	Si-24V
Potencia	24V
Protección	Ip58
Baterías	12V (2 unidades)
Luces de traslado y trabajo	LED de 24V

OTROS

Central de engrase	Si - Automático
Sistema de lavado	Si - Carrete 15 metros
Tanque de agua	Si- 180 L
Tacos	Si- 2 unidades
Caja de herramientas	Si

www.resefer.com.pe

ventas@resefer.com.pe

Figura 46 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE

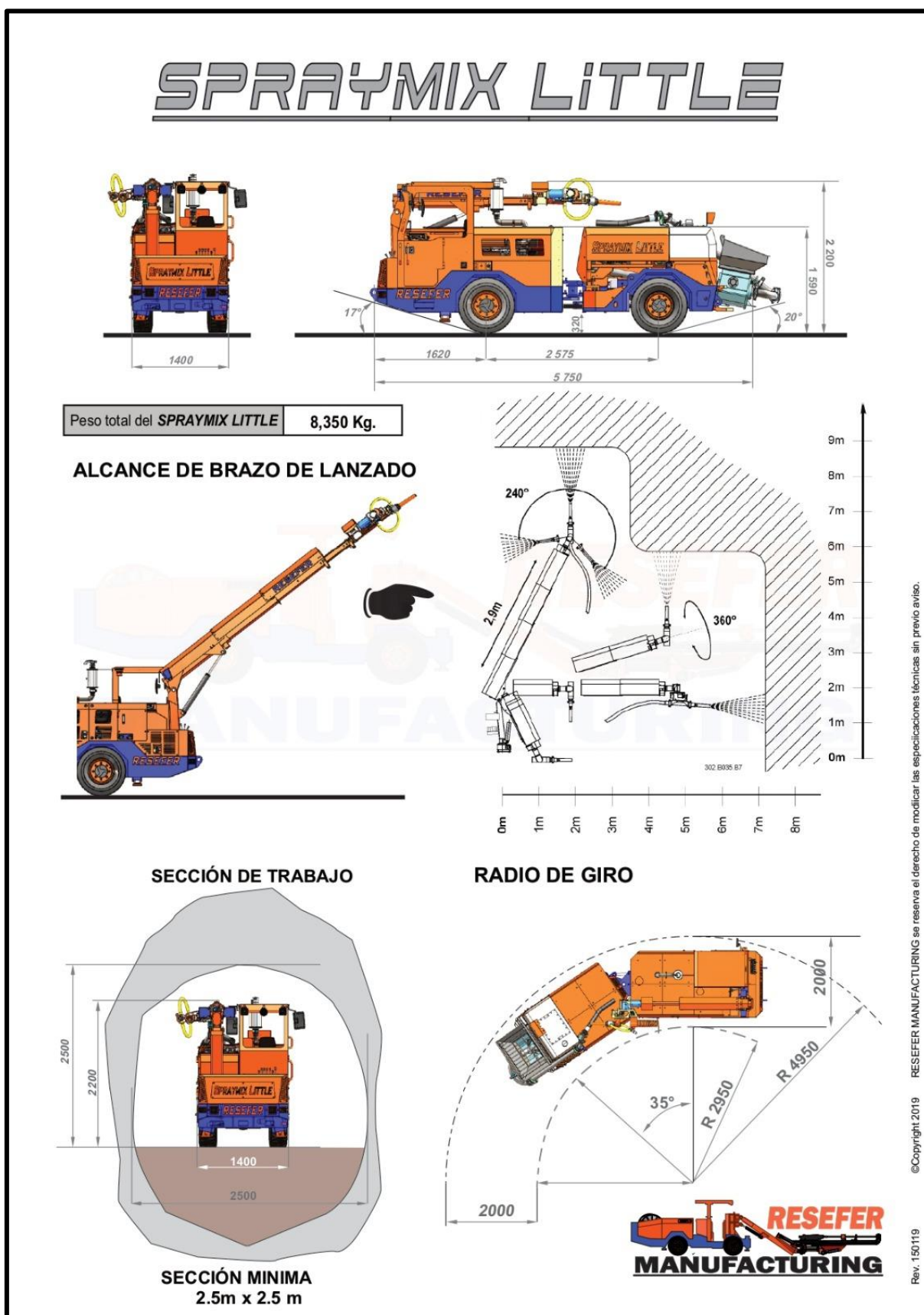


Figura 47 — Ficha técnica de equipo de pulverizador de concreto SPRAYMIX LITTLE



MBCC GROUP | EN PERÚ

ES AHORA
PARTE DE **Sika**

CONSTRUYENDO
CONFIANZA

CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD

PRODUCTO:	Sika Sigunit SA 193 (LTS)		
LOTE:	PE-01741-T24	VENCE:	DICIEMBRE 2024
FECHA:	18 JUNIO 2024		

EL PRODUCTO CUMPLE CON TODOS LOS REQUISITOS ESPECIFICADOS

PARAMETRO	LOTE	ESPECIFICACIONES
ASPECTO FISICO	Dispersión homogénea	Dispersión homogénea
COLOR	Beige	Beige - Blanco
DENSIDAD	1.46	Min: 1.44 Max: 1.50 (24.0 - 26.0)°C
%RESIDUO SOLIDO	53.20	Min: 51.00 Max: 55.00 (Lamp., 1g, 130°C)
pH	2.80	Min: 2.00 Max: 4.00 (24.0 - 26.0)°C

Los datos facilitados solamente reflejan los resultados de los controles realizados sobre una muestra representativa.

La empresa no se hace responsable por el uso que se haga del producto y/o de la información suministrada. La calidad de nuestros productos está garantizada bajo nuestras Condiciones Generales de Venta.

SIKA MBCC PERU S.A. cuenta con certificación ISO 9001 y 14001.



Lic. Katia Rider
Gerente Técnico

SIKA MBCC PERU S.A.
 Jr. Plácido Jiménez N° 630 Lima Cercado
 Teléfono: 219-0630 Fax: 704, 721

Figura 48 — Sika sigunit SA 193 (LTS)

Anexo E

Evidencias fotográficas del tesista



Figura 49 — Muestra de agregado y calidad de concreto

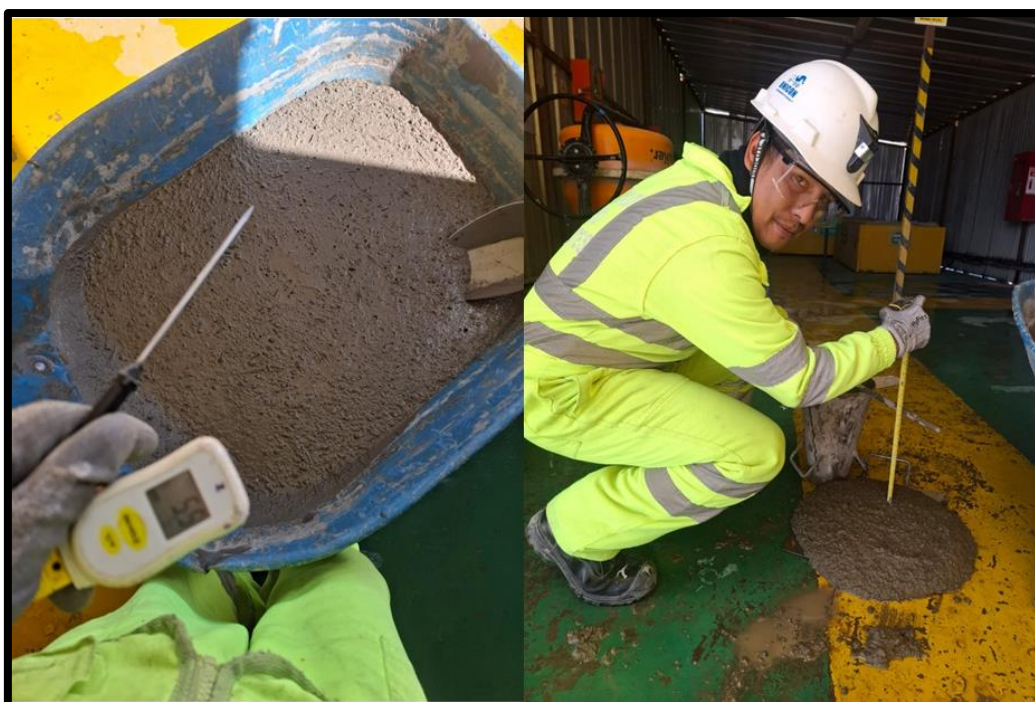


Figura 50 — Determinación de temperatura y slaump



Figura 51 — muestras de probetas para las resistencias a 14 días



Figura 52 — prensa de compresión simple



Figura 53 — Muestreo de resistencias iniciales



Figura 54 — Muestreo de resistencias iniciales



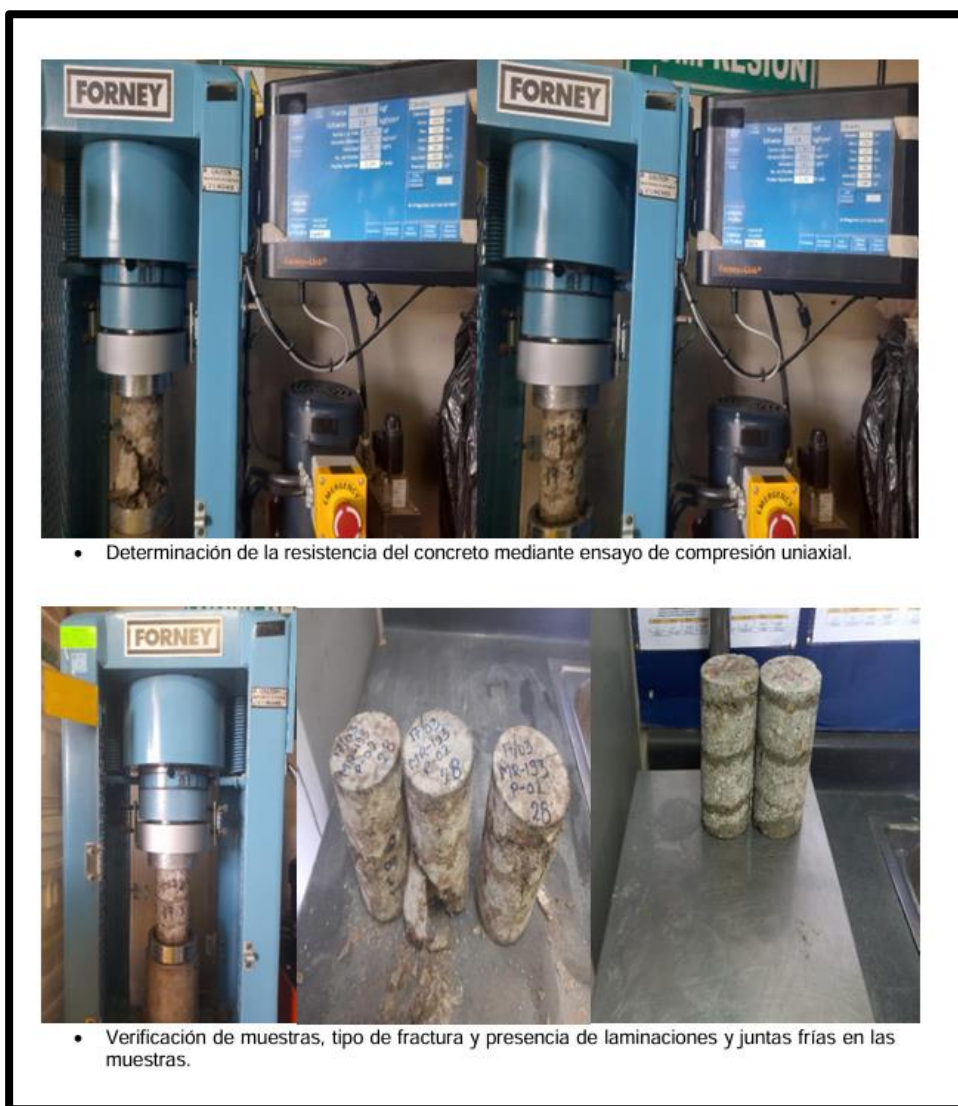
Figura 55 — Lanzado de shotcret



Figura 56 — Lanzado e shotcret



Figura 57 — Determinación de la resistencia del concreto mediante ensayo de compresión uniaxial



- Determinación de la resistencia del concreto mediante ensayo de compresión uniaxial.



- Verificación de muestras, tipo de fractura y presencia de laminaciones y juntas frías en las muestras.

Figura 58 — Muestreo y seguimiento de resistencias tempranas del concreto lanzado en interior mina, parte 1



Figura 59 — Muestreo y seguimiento de resistencias tempranas del concreto lanzado en interior mina, parte 2