



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“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”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Didier Daniel Otiniano Spelucin

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y el conocimiento que me permite el haber llegado hasta este momento tan importante y fundamental para seguir completando mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional a pesar de los obstáculos que se presentaron durante el transcurso de mi formación profesional.

A mi padre, porque siempre estuvo conmigo y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es muy especial e importante para él.

Por último y no menos importante dedico este trabajo de investigación a todos los docentes quienes supieron guiarnos para lograr nuestra formación académica de la mejor manera y así ayudarnos a cumplir nuestra meta.

Didier Daniel

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme el don de la perseverancia y poder alcanzar una de mis metas.

También quiero agradecer a la universidad por abrirme las puertas y haberme aceptado ser parte de ella, para así poder estudiar mi carrera, así mismo agradecer a los docentes quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante y no dar pie atrás.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi asesor de tesis Ing. Víctor E. Alvarez León, por haberme brindado su apoyo y la oportunidad de poder recurrir a sus conocimientos y capacidad intelectual, así como haberme tenido la paciencia para asesorarme durante el desarrollo de mis tesis.

Y para finalizar agradezco a mis compañeros y amigos por motivarme y sobresalir a los obstáculos que se presentan en esta vida día a día.

Didier Daniel

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema	25
1.3. Objetivos	25
1.4. Hipótesis.....	26
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	27
2.1. Tipo de investigación	27
2.2. Población y muestra	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	28
2.4. Procedimiento.....	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
3.1. Ventajas técnicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP.....	31
3.2. Ventajas económicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP.....	34
3.3. Método más óptimo y rentable para la adhesión de Shotcrete en una mina subterránea en La Libertad	36
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de acelerantes y principales propiedades	12
Tabla 2: Requisitos químicos para el cemento Tipo IP	14
Tabla 3: Análisis de costos de Acelerante de fragua	34
Tabla 4: Diseño general del procedimiento de aplicación de concreto lanzado.....	36
Tabla 5: Resistencia del concreto lanzado y parámetros de medición	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes tipos de acelerantes y sus principales propiedades.....	21
Figura 2: Lista de aceleradores de fraguado.....	22
Figura 3: Propiedades de acelerantes.....	22
Figura 4: Gráfico del análisis comparativo de costos de acelerantes de fraguado.	34

RESUMEN

La tesis que se presenta a continuación tiene como objetivo principal realizar la evaluación del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (PLASTOL 200) y el concreto lanzado con cemento IP para mejorar la adhesión del Shotcrete, como método de sostenimiento en minería subterránea, la metodología que se siguió es mediante la aplicación de muestras y ensayos. En los análisis realizados acerca de las ventajas técnicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP, en donde se identificó que el PLASTOL 200 tiene rápido desarrollo de resistencias tempranas reduciendo el curado a vapor y se utilizan menores dosis para alcanzar una extensibilidad deseada. Finalmente, con la evaluación de las ventajas económicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP, se evidenció un menor costo en relación a los aditivos disponibles en el mercado nacional, además de que se recomienda su aplicación en dosis de 0,4% al 1,3% del peso del cemento; por lo cual tiene mayor durabilidad.

Palabras clave: Aditivo, acelerante, fraguado, shotcrete, concreto, plastol 200.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La presente investigación tiene por finalidad realizar la evaluación del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (PLASTOL 200) y el concreto lanzado con cemento IP para mejorar la adhesión del Shotcrete, como método de sostenimiento en minería subterránea, para lo cual se recopiló la información de los muestreos y ensayos realizados con estos materiales.

Castellon & De la Osa (2013), en la Universidad de Cartagena-Colombia, presentó su tesis “Estudio Comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos Tipo I y Tipo III, modificados con aditivos acelerantes y retardantes”, concluye: Para la buena elaboración del concreto y sus resultados óptimos, es de gran importancia que el ingeniero siga las proporciones que especifica el diseño de mezcla, así mismo debe regirse a las normas y especificaciones que garanticen una buena calidad del mismo (p.101). Conocer los tiempos de fraguado inicial y final, es importante porque así se puede estimar el tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y afinar concreto en obra, así como para curarlo y colocarlo en servicio (p.102). La dosificación de los aditivos debe hacerse siguiendo las instrucciones de los fabricantes, pues utilizados en cantidades menores o mayores a las recomendadas no producen los efectos deseados sobre la resistencia del concreto (p.102).

Según Cervantes y Villa (2015) en Arequipa menciona que, en los últimos años el uso del shotcrete como soporte para excavaciones subterráneas en el ámbito minero ha ido en aumento, Sin embargo, todavía existen aspectos en los cuales se pueden realizar

investigaciones para aumentar y facilitar su uso, ya que restricciones como accesos difíciles o condiciones inusuales de carga necesitan aun de mayor profundización para poder ser resueltos. Como componentes básicos del concreto lanzado tenemos al cemento, agregado fino y agua, adicionando una dosis de aditivo acelerante debido a que el shotcrete debe ganar una resistencia temprana alta para poder estabilizar la porción de roca que ha sido desequilibrada debido a la excavación. Se le puede adicionar fibra de acero para aumentar su resistencia a la flexión y/o micro sílice para aumentar su resistencia a la compresión.

Quispe & Rivas (2013) en la Universidad de Sipán realizó su tesis “Estudio comparativo del diseño de mezclas de concreto convencional utilizando diferentes aditivos acelerantes de resistencia; con agregados de las canteras tres tomas y la victoria de la región de Lambayeque”, concluye: El diseño del concreto con acelerante de resistencia de mejores resistencias tempranas fue el concreto con aditivo SIKA RAPID 1, en la dosificación superior, añadiendo 3.00% (respecto al peso del cemento), un concreto curado utilizando cemento MS obteniendo una resistencia a la compresión de $f'c = 312 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días. (p.138). El análisis meticuloso del resultado de investigaciones sobre acelerantes para mezclas de cemento, efectuadas a través de tesis profesionales, muestran que estos productos comerciales no llegan a cumplir estrictamente con todos los requisitos técnicos especificados en las normas y/o en las fichas del fabricante. Esta no conformidad está referida a los tiempos de fraguado y a los incrementos en la resistencia a la compresión, principalmente.

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende de forma muy importante de la calidad

de los materiales y de la mano de obra, es importante poner atención a la preparación, colocación y cuidados de éste para que en estado endurecido cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad esperados (Sencico, 2014, p.13). Cada día la tecnología del concreto avanza, esto se traduce a nuevos tipos de concretos, más durables, más resistentes, con características especiales para solucionar diferentes problemas, suplir diferentes necesidades, es por ello que no solo en el país, sino en el mundo, el concreto es y será por muchos años más el principal material usado en la construcción de puentes, edificios, hospitales, viviendas, pistas, veredas, aeropuertos, puertos, centrales hidroeléctricas, entre otros (Sencico, 2014, p.13).

El aditivo es definido como "un material que no sienta agua, agregado, cemento hidráulico o fibra de refuerzo, se utiliza como un ingrediente del mortero o concreto y es añadido a la mezcla antes o durante el mezclado", para modificar propiedades del concreto fresco y/o endurecido. El empleo de aditivos en el concreto cumplirá con las especificaciones de la Norma NTP 339 086 y su empleo y sistema de incorporación al concreto están sujetos a lo indicado en las especificaciones de obra o la aprobación previa de la Supervisión. Su uso no autoriza a modificar el contenido de cemento seleccionado para la mezcla (Rivva, 2004).

Los aditivos son aquellos productos que al ser introducidos en la mezcla del concreto logran modificar ciertas propiedades en una forma controlada. Estos aditivos son capaces de disolverse en agua y son administrados como porcentaje del peso del cemento. Los aditivos para concreto hacen que el concreto sea un sistema complejo de múltiples materiales.

Los acelerantes controlan el tiempo de fraguado del concreto proyectado después de su aplicación, se utilizan en forma líquida o en polvo. Un factor importante para el control del tiempo de fraguado del concreto proyectado es la estabilidad en la dosificación del acelerante, razón por la cual la utilización de estos aditivos debe hacerse desde unidades dosificadoras que garanticen baja variabilidad de la dosis acorde con el flujo de concreto (sincronización). En términos de calidad, la única excepción, es en aplicaciones menores. Los acelerantes de fraguado se clasifican según su composición química y por consiguiente con su manera individual de acción y efecto en el fraguado del concreto (Jurgen et al; 2004).

Los acelerantes libres de álcalis se pueden utilizar no sólo para sostenimiento de roca, sino que además para revestimientos finales de túneles (Cruz, 2019). Sin embargo, debemos de tener en cuenta el tipo y la marca de acelerante que se debe utilizar. Es por ello que se debe evitar la mezcla de insumos de diferentes marcas y tipos en la dosificación para el diseño de shotcrete ya que como consecuencia se obtiene rendimientos variables en el porcentaje de rebote y lanzamiento de shotcrete. Controlando también el contenido de agua, tamaño de partículas y el espesor lo cual juegan un rol muy importante en la resistencia del concreto lanzado (Camarena, 2016).

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende de forma muy importante de la calidad de los materiales y de la mano de obra, es importante poner atención a la preparación, colocación y cuidados de éste para que en estado endurecido cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad esperados (Issuu, 2015).

Las propiedades más importantes del concreto lanzado acelerado, como son el fraguado y endurecimiento temprano, se logran gracias a dos reacciones químicas principales inducidas por los acelerantes libres de álcalis (estos basados en sulfatos e hidrosulfatos de aluminio). Aunque estas reacciones ocurren principalmente en serie, es decir una tras otra, de todas formas, tiene lugar un traslape, así como una interferencia química entre ellas (Hermida, 2014).

De la tabla 1 se desprende que los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis son los más adecuados para obtener un concreto lanzado seguro y durable. Sin embargo, cada aplicación determina la solución más eficiente en términos de sistema de aceleración (Hermida, 2014).

Tabla 1

Tipo de acelerantes y principales propiedades

PROPIEDADES	TIPO DE ACELERANTE		
	Alcalino Basado en aluminatos	Alcalino Basado en silicatos	Sin álcalis
Rango de la dosis	3 - 6 %	12 - 15 %	4 - 10%
pH	13 - 14	12 - 13	2 - 4%
Equivalente a Na ₂ O	20 %	12 %	<1%
Resistencia muy temprana a la misma dosis	++++	++++	++
Resistencia Final	+	--	+++
Estanqueidad (impermeabilidad)	++	--	+++
Comportamiento de lixiviación	---	--	-
Salud ocupacional	---	-	+++
Salud ocupacional y del transporte	--	-	+++
	+ mejora	- deterioro	

Fuente: Revista “Concreto: Acelerantes para concreto lanzado” Sika Colombia SAS

Para tener resultados más exitosos se debe contar con un laboratorio para el control de calidad, de esta manera se realizará el diseño de shotcrete, obteniendo resultados más óptimos y favorables. Este aditivo es favorable en la etapa de rebote ya que nos ayuda a optimizar material. La cantidad del material de rebote disminuye generalmente

cuando se utiliza un aditivo acelerante de fragua, permitiendo incluso la aplicación de capas más gruesas por su rápida gelificación, que es casi inmediatamente al entrar en contacto el acelerante con el cemento (Torres, 2016).

El Cemento en el shotcrete actúa como aglutinante en la mezcla de concreto lanzado, que une y fija las partículas de agregado a través de la mezcla. También interviene como lubricante principal del concreto y tiene un fraguado hidráulico que lo hace parcialmente responsable de las propiedades mecánicas del concreto endurecido. El cemento para el concreto lanzado debe tener un desarrollo rápido de fraguado inicial y muy alta resistencia temprana (Cervantes y Villa, 2015).

El cemento Tipo IP, se obtiene mediante el mezclado y molienda de puzolanas con cemento Portland se designan como tipo IP o tipo P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del Clinker de cemento Portland, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana. La norma ASTM C-618 describe la puzolana a todo material silicoso o silicoso - aluminoso. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos (pruebas) de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I (Cervantes y Villa, 2015).

Según ficha técnica es fabricado a base de Clinker, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos, logrando un alto grado de finura. Sus propiedades especiales como alta durabilidad, permiten que su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la

acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, acidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro. (Cervantes y Villa, 2015)

Tabla 2

Requisitos químicos para el cemento Tipo IP

Requisitos químicos	Método de ensayo aplicable	Tipos de cemento			
		IS (<70) IT(P<S<70) IT(L<S<70)	IS(≥70) IT(S≥70)	IP,I(PM) IT(P≥S) IT(P≥L)	ICo IL IT(L≥S) IT(L≥P)
Oxido de magnesio (MgO), máx. %	334.086	6.0	...
Azufre como trióxido de azufre (SO ₃) máx. %	334.086	3.0	4.0	4.0	3.0
Azufre (S), máx. %	334.086	2.0	2.0
Residuo insoluble, máx. %	334.086	1.0	1.0
Perdida por ignición, máx. %	334.086	3.0	4.0	5.0	10.0

Fuente: Tesis “Análisis comparativo del concreto Lanzado con cemento tipo IP y tipo HE en el revestimiento de túneles de la mina Orcopampa – Arequipa”

Finalmente podemos decir que, al utilizar un aditivo con acelerantes de fragua libre de álcalis, no solo se está asegurando una mejor impermeabilidad del concreto proyectado, sino que también presenta un valor de pH de aproximadamente 3, el aire del túnel no contiene neblina lo cual es favorable para el personal a cargo de esta actividad ya que no produce daños a la piel, aparato respiratorio y ojos.

Considerando la rapidez y efectividad del concreto lanzado como una herramienta fundamental en el sostenimiento de labores subterráneas, se tiene que este es un elemento importante como solución tanto en el control de derrumbes como en el sostenimiento preventivo en labores de profundización y desarrollo. (López, 2014).

El material del concreto proyectado se utiliza en un diseño de mezcla de concreto que está determinada por los requerimientos de aplicación y los parámetros especificados. Como regla general, esto significa una reducción en el tamaño máximo del agregado a 8 mm o máximo 16 mm, un aumento en el contenido de cementante y el empleo de aditivos especiales para el concreto proyectado que controlan las propiedades del material (Jurgen Hofler & Putzmeister, 2004).

El proceso de concreto proyectado tiene múltiples aplicaciones. Se usan el concreto o el mortero proyectado para reparaciones de concreto, tonelería y minería, estabilización de taludes y hasta en diseños artísticos de edificios. En términos de importancia, encabezan la lista la tunelería, la minería y la reparación de concretos. En tunelería y minería, los usos principales son la estabilización de la excavación, y los arcos de revestimiento temporal o permanente. El concreto proyectado se emplea también en otros trabajos, a menudo, por ejemplo, grandes cavidades se llenan con concreto proyectado. Este material ha confirmado y reforzado su posicionamiento junto con las dovelas de revestimiento de túneles (entubado) y el anillo interior de concreto como los principales métodos de colocación de concreto. Las limitaciones de su utilización radican en aspectos técnicos y económicos comparado con los otros procesos de colocación del concreto y/o métodos de construcción (Jurgen Hofler, Putzmeister AG; 2004).

El concreto proyectado es el material perfecto para estabilizar excavaciones. Su flexibilidad única en la elección del espesor a ser aplicado, la formulación del material (fibra), el rendimiento, su desarrollo de resistencia a muy temprana edad (en seco y/o húmedo) y la capacidad que tiene de ser proyectado sobre el concreto existente en

cualquier momento, hacen del concreto proyectado el material más adecuado para estabilizar excavaciones (Jurgen Hofler, Putzmeister AG; 2004).

Debe diferenciarse entre excavación total y parcial según la capacidad de soportar carga y la estabilidad del sustrato. La excavación se hace mediante sistema de voladura o por métodos mecánicos. Conforme con el viejo adagio en tunelería: “está oscuro enfrente de la pica”, a menudo sondeos preliminares o túneles piloto estrechos preceden la construcción principal en condiciones de terrenos difíciles. Esos túneles de exploración son incorporados con frecuencia en la excavación del túnel futuro o son empleados como túneles paralelos para diferentes propósitos. En todas estas aplicaciones se usa el concreto proyectado para estabilizar si la superficie excavada no es lo suficientemente estable. Se puede conformar muy rápidamente con concreto proyectado una capa de bajo espesor en forma de una piel delgada. Si las propiedades de soporte de carga del concreto proyectado no son suficientes, se puede mejorar la capacidad de soporte con refuerzo (fibra /acero de refuerzo). Cuando se utilizan anillos de acero y malla, el concreto proyectado se convierte en el entramado entre las vigas. Utilizando pernos las propiedades de soporte de carga del concreto proyectado pueden ser vinculadas con las propiedades de soporte de carga mejoradas del sustrato que se encuentra cerca de la excavación. Si hubiera una alta penetración de agua y/o importante fractura de la roca, inyección e impermeabilización preliminar con gunita y los canales de drenaje crean las condiciones para la aplicación de la capa de concreto proyectado (Jurgen Hofler, Putzmeister AG; 2004).

El concreto proyectado se utiliza principalmente para estabilización, pero también con frecuencia para el relleno de cavidades. El desarrollo de resistencia muy temprana y temprana es especificado para soporte de roca y suelo sobre cabeza.

Al comparar los métodos seco y húmedo, puede concluirse que el primero debe ser utilizado para aplicaciones de volúmenes pequeños (p. Ej., reparaciones) y en condiciones muy especiales (distancias largas, interrupciones repetidas, etc.), mientras que el método por vía húmeda debe utilizarse en todo trabajo de soporte de rocas, siempre y cuando se tenga las condiciones necesarias (Vizcarra Guillen, 2014).

Evitar la mezcla de insumos de diferentes marcas y tipos en la dosificación para el diseño de shotcrete ya que como consecuencia se obtiene rendimientos variables en el porcentaje de rebote y lanzado de shotcrete. Controlando también el contenido de agua, tamaño de partículas y el espesor lo cual juegan un rol muy importante en la resistencia del concreto lanzado. Se debe contar y centralizar con un laboratorio de control de calidad para el diseño de shotcrete con la finalidad de realizar las pruebas especiales y determinar la vida útil, resistencia y rendimiento del concreto lanzado (Camarena, 2015).

La cantidad de rebote depende de la consistencia del concreto, uso de acelerante, técnicas de lanzado y graduación de agregados. En el proceso de mezcla húmeda el rango de rebote es de 08% - 12%. La colocación del shotcrete debe ser por capas: Con el fin que el concreto proyectado se adhiera a la superficie de aplicación, no se debe colocar capas muy gruesas que por su peso comprometan su adherencia y cohesión interna (Torres Alvarez, 2016)

En el caso del acelerante líquido, aporta altas resistencias al concreto lanzado en minutos, acelerando la fragua inicial y endureciendo la mezcla de manera rápida en el sostenimiento de túneles o socavones. Asimismo, los aditivos plastificantes que también ayudan al shotcrete, aportan fluidez al concreto que se va a lanzar, ayudando a que el shotcrete no se espese, esto es para concreto lanzado por vía húmeda. Las dosificaciones de los aditivos para el concreto son de 2 % ó 3 % del peso del cemento, o del volumen del concreto, en promedio (Fernández, Valderrama; 2018).

Según la aplicación, a la hora de seleccionar un determinado aditivo, debe tenerse en cuenta la influencia del mismo en los siguientes aspectos: incremento de la trabajabilidad, capacidad reductora de agua, mantenimiento de la trabajabilidad en el tiempo, desarrollo de resistencia temprana, retraso de fraguado, desarrollo de resistencia a largo plazo, incorporación de aire, presencia de otros aditivos químicos. La trabajabilidad del concreto es un término amplio y subjetivo que describe cuán fácilmente se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar el hormigón recién mezclado con una mínima pérdida de homogeneidad. La elección del tipo de cemento a usarse es muy importante, estos deben cumplir con las normas como la ASTM C 150 o C 595, por ser el cemento el componente más activo del concreto, y teniendo en cuenta que todas las propiedades del concreto dependen de la cantidad y tipo de cemento a usarse es que la selección del tipo a usarse y una adecuada dosificación son muy importantes (Cruz, 2019).

El cemento actúa como un “aglutinante” en la mezcla de concreto proyectado que une y fija las partículas de agregado a través de la matriz. El cemento también es el lubricante principal del concreto proyectado, tiene un fraguado hidráulico y por lo

tanto es parcialmente responsable de las propiedades mecánicas del concreto endurecido. Sin embargo, aquí hay un requerimiento importante que no es condición en concreto estructural. El cemento para el concreto proyectado siempre debe empezar a fraguar extremadamente rápido y producir muy alta resistencia temprana. El cemento que no reaccione bien al combinarse con acelerantes de fraguado o con aditivos de reacción lenta no es apropiado para la producción de concreto proyectado para estabilización del terreno (Jurgen Hofler, Putzmeister AG; 2004).

El cemento Pórtland Puzolánico ASTM —Tipo IP es el resultado de la mezcla del cemento tipo 1 con puzolana. El fraguado y el ritmo de obtención de la resistencia depende de la actividad de la puzolana y de la proporción de cemento tipo 1 en la mezcla. Generalmente los cementos puzolánicos hidratan más lentamente que el tipo 1, por lo tanto, requieren un periodo de curado más prolongado; sin embargo, su resistencia final es aproximadamente igual al cemento del tipo 1. El cemento tipo IP es necesario para concreto masivo debido a su baja generación de calor por su hidratación lenta (López, 2014).

El uso de cantidad baja de cemento o aglomerantes (menos de 400 Kg.) tendrá como resultado una reducción de la calidad (relación agua/cemento mayor a 0.5), baja resistencia inicial, alta resistencia final, incremento de rebote, mayor consumo de acelerante de fraguado (debido a una mayor relación agua/cemento), menor producción debido a la pobre consistencia y mayor volumen requerido debido al alto rebote (Vizcarra Guillen, 2014).

Cemento Tipo IP, es un cemento portland Tipo I que tiene una adición puzolánica entre 15 - 45%, se utiliza en obras donde se requiere bajo calor de hidratación y altas resistencias al ataque de los sulfatos (Sencico, 2014).

Al utilizar el cemento Tipo IP en condiciones al interior de la mina, se comprobó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de la resistencia a la compresión a Edad de 3 días, 7 días y 28 días con respecto a los resultados obtenidos en laboratorio. Los resultados estadísticos nos demuestran que si existen diferencias significativas entre los resultados de la resistencia a la compresión del concreto lanzado con cemento Tipo IP y cemento Tipo HE en su totalidad de edades ensayadas, las resistencias del cemento Tipo HE tiene un mayor desempeño que las resistencias obtenidas con el cemento Tipo IP (Cervantes,2019)

Los aditivos para el concreto se utilizan para mejorar y/o cambiar las propiedades del concreto que no pueden o no pueden correctamente ser controladas por los componentes cemento, agregados y agua. Los aditivos pueden ser también adicionados al concreto proyectado durante el proceso de proyección para regular el inicio del fraguado. Los aditivos de concreto hacen que el concreto sea un sistema complejo de múltiples materiales. Los acelerantes de fraguado tradicionales reducen la resistencia final, esta es una de las razones que favorece la utilización de acelerantes libres de álcali en la producción de concreto proyectado durable.

Figura 1

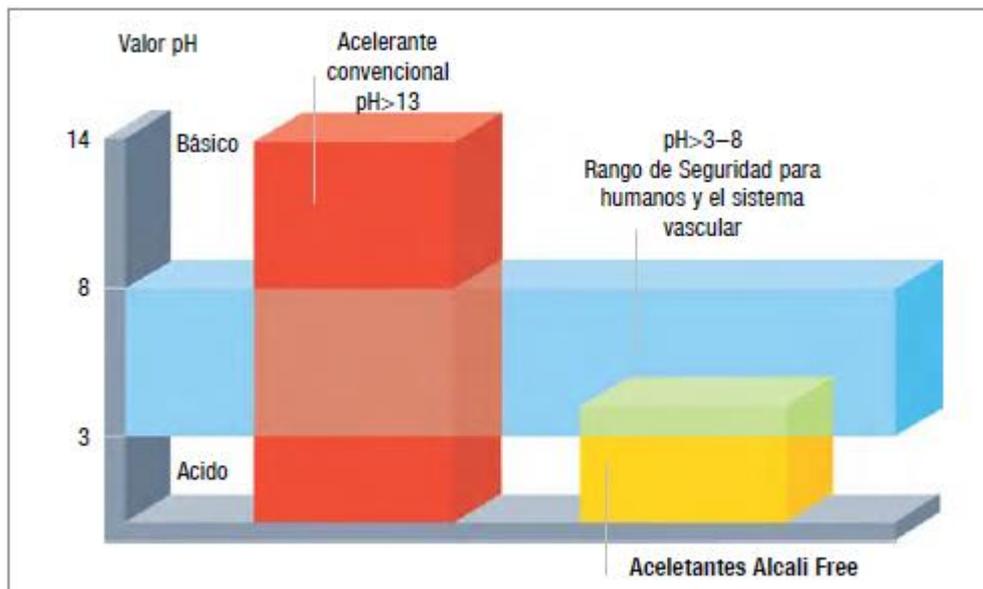
Diferentes tipos de acelerantes y sus principales propiedades

Tipo	Producto	Uso/efecto	Observaciones
Acelerante de fraguado líquido, libre de álcalis	<i>Sigunit®AF Líquido</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización sobre cabeza en túneles • Estabilización de roca y taludes • Revestimiento final de alta calidad • Muy alta resistencia temprana • incrementa la impermeabilidad al agua • Reducción de álcalis • Mejor seguridad ocupacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Para el proceso de proyectado vía seca o húmeda • No corrosivo • Baja reducción de resistencia final comparado con concreto original no acelerado • No compatible con acelerantes alcalinos • Partes metálicas en contacto con este acelerante deben ser de acero inoxidable
Acelerante de fraguado polvo, libre de álcalis	<i>Sigunit®AF Polvo</i>		
Acelerante de fraguado líquido, alcalino	<i>Sigunit®AF Líquido</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización sobre cabeza en túneles • Estabilización de roca y taludes • Muy alta resistencia temprana • Bajo rebote • Puede ser proyectado sobre sustrato húmedo 	<ul style="list-style-type: none"> • Para el proceso de proyectado vía seca o húmeda • Corrosivo • Reducción de resistencia final comparado con concreto original no acelerado
Acelerador de fraguado polvo, alcalino	<i>Sigunit®AF Polvo</i>		

Controlar la dosificación del aditivo de acuerdo a la norma técnica del producto. La cantidad del material de rebote disminuye generalmente cuando se utiliza un aditivo acelerante de fragua, permitiendo incluso la aplicación de capas más gruesas por su rápida gelificación, que es casi inmediatamente al entrar en contacto el acelerante con el cemento. Los acelerantes líquidos son los más ventajoso. Se añaden en la "lancha" disuelta en el agua, por lo que no produce polvo suplementario ni se corre el riego del fraguado prematuro. La amalgamación más regular de la mezcla y el agua permite una mejor dosificación según la cantidad requerida. Los 143 acelerantes líquidos reducen la cantidad de rebote y no alteran la homogeneidad del concreto como los acelerantes en polvo cuya repartición no es regular (Vizcarra & Guillen,2014).

Figura 2

Lista de aceleradores de fraguado



Fuente: Vizcarra & Guillen (2014)

Figura 3

Propiedades de acelerantes

Propiedad	Tipo de acelerante		
	Alcalino Base Aluminato	Alcalino Base Silicato	Libre de álcalis
Rango de dosificación	3–6 %	12–15 %	4–7 %
Valor de pH	13–14	11–13	3
Equivalente Na ₂ O	20 %	12 %	< 1 %
Resistencia muy temprana a la misma dosis	++++	++++	+++
Resistencia final	+	—	+++
Impermeabilidad al agua	++	—	+++
Lixiviación	--	--	-
Salud ocupacional	-	+	+++
Seguridad ocupacional y transporte	—	+	+++

Fuente: Vizcarra & Guillen (2014)

Debido al valor del pH de aproximadamente 3, el aire del túnel no contiene neblina, agua o aerosoles cáusticos, por lo que no producen, daños en la piel, membranas mucosas u ojos. Con el empleo de acelerantes álcali free, sustancias altamente alcalinas

no son descargadas en el terreno ni en los drenajes de agua. Los acelerantes de fraguado álcali free no son peligrosos durante el transporte, almacenamiento o dosificación. La utilización de aceleradores libres de álcali minimiza el efecto del endurecimiento acelerado del concreto y mejora la impermeabilidad del concreto proyectado y por consiguiente su durabilidad. Los acelerantes libres de álcali no introducen ningún álcali soluble adicional dentro del concreto. Esto reduce bastante el riesgo de infiltración en drenajes.

- Se definen los aceleradores como libres de álcali si el contenido equivalente de álcali con respecto a su peso es $< 1\%$.
- Se definen los productos como alcalinos cuando su valor de pH esta entre 7 y 14.

Los activadores de fraguado se clasifican según su composición química, acción y efecto en el fraguado del concreto. Los acelerantes empleados deben estar totalmente exentos de cloruros. Los acelerantes denominados álcali-free reducen gran parte de los efectos secundarios producidos por los tradicionales. Los acelerantes tradicionales (basados en aluminatos y silicatos) son sustancias básicas y con un alto contenido de álcalis.

Aunque se logran excelentes rendimientos en el fraguado, permiten aplicar grandes espesores de concreto, sus efectos secundarios –pérdida de resistencia mecánica final– son importantes sobre: el concreto endurecido, las condiciones de trabajo (sustancias altamente corrosivas y cáusticas) y el medio ambiente (generan vertidos de alta peligrosidad). Con el uso de acelerantes libres de álcalis, aparte de una rápida adquisición de resistencias iniciales, se obtienen mayores resistencias finales en el

concreto lanzado, igual que un ambiente de trabajo más seguro y menos impacto medioambiental (debido a que son sustancias no alcalinas) (Martínez Vargas, 2011).

La cantidad del material de rebote disminuye generalmente cuando se utiliza un aditivo acelerante de fragua, permitiendo incluso la aplicación de capas más gruesas por su rápida gelificación, que es casi inmediatamente al entrar en contacto el acelerante con el cemento (Torres Álvarez, 2016).

Los acelerantes líquidos son los más ventajosos. La amalgamación más regular de la mezcla y el agua permite una mejor dosificación según la cantidad requerida. Los acelerantes líquidos reducen la cantidad de rebote y no alteran la homogeneidad del concreto como los acelerantes en polvo cuya repartición no es regular (Torres Álvarez, 2016).

El mundo de la construcción subterránea se caracteriza por situaciones de alto riesgo y a pesar de las numerosas aplicaciones técnicas disponibles. Para lograr la calidad y eficiencia requerida, es fundamental disponer de equipos, productos y servicios fiables y de alta calidad. Al implantar mejoras en el sistema de sostenimiento con concreto lanzado, se permitirá una mayor versatilidad y dinamismo acorde con el ritmo de ejecución de las labores subterráneas. Ello significa optimización en la velocidad de minado de los trabajos (López Cruz, 2014).

En el Reglamento de Seguridad– DS 055-2010 EM. Se indica que en labores que se tendrán abiertas por un tiempo considerable, llámese crucero, galería, cortada, rampa, túnel, se podrá utilizar como elemento de sostenimiento el lanzado de concreto, manteniendo las características técnicas de resistencia a la compresión simple, a la

tracción, a la flexotracción y adhesión. Este tipo de sostenimiento puede ser combinado con pernos de roca, mallas, barras ranuradas, de fricción, entre otros (Vizcarra Guillen,2014).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la 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?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP para mejorar la adhesión del concreto lanzado – Shotcrete en una mina subterránea en La Libertad, 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar las ventajas técnicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP.

Evaluar las ventajas económicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP.

Analizar el método más óptimo y rentable para la adhesión de Shotcrete en una mina subterránea en La Libertad.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Para reducir el tiempo de instalación y mejorar la adhesión de shotcrete, se debe utilizar un aditivo con acelerantes de fragua libre de álcalis, asegurando una mejor impermeabilidad del concreto proyectado, en una mina subterránea en La Libertad.

1.4.2. Hipótesis específicas

El aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200), presenta ventajas técnico económicas significativas para realizar una buena adhesión de concreto lanzado – shotcrete, el cual nos permitirá reducir el tiempo del sostenimiento en una mina subterránea.

El concreto lanzado con cemento tipo IP, no presenta ventajas técnico económicas para la adhesión de shotcrete, el cual demora el sostenimiento y a la vez genera un costo alto aumentando el tiempo del Ciclo de Minado.

El método más rentable y óptimo para la adhesión del concreto lanzado y reduce el tiempo del sostenimiento es el aditivo acelerante libre de álcalis (Plastol 200).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo No experimental - Aplicada con diseño descriptivo, el cual tiene como objetivo principal evaluar el aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP para mejorar la adhesión del concreto lanzado – Shotcrete en una mina subterránea. Inicialmente se analizó datos del aditivo Plastol 200, posteriormente se realizaron investigaciones de la aplicación del cemento tipo IP en el concreto lanzado, para al final realizar una comparación entre los datos obtenidos de ambos, lo cual permitió evaluar la contribución para mejorar la adhesión del shotcrete en una mina subterránea en la Libertad.

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver, se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Toda la información que pueda recopilarse respecto a las características, aplicaciones e investigación respecto al Plastol 200 en una mina subterránea en La Libertad.

Toda la información que pueda recopilarse respecto a las características, aplicaciones e investigación respecto al cemento tipo IP en una mina subterránea en La Libertad.

2.2.2. Muestra

La información recopilada que brinde valores obtenidos por pruebas con Plastol 200 aplicado al Shotcrete.

La información recopilada que brinde valores obtenidos por pruebas con cemento tipo IP aplicado al Shotcrete.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron el análisis documental y la recolección de datos de campo.

En el análisis documental, se investigaron los antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a los tipos de aditivos acelerantes de fragua y el concreto lanzado con cemento tipo IP para mejorar la adhesión del Shotcrete en minas subterránea, por lo cual se recopiló información de diferentes bibliotecas virtuales, con esta información se establecieron antecedentes que respalden el trabajo de investigación.

Las técnicas de recolección de información básica para la presente investigación fueron obtenidas de los ensayos experimentales de laboratorio con la metodología planteada, cumpliendo con las normas para cada ensayo que ayudará a asegurar una adecuada investigación.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Primero se clasificaron los datos obtenidos de los ensayos, luego se tabularon y graficaron los resultados comparando los diseños de concreto patrón con los diseños de concreto con aditivo. Por último, se hizo una correlación de los resultados obtenidos para cada uno de los diseños.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Etapa de Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales.

2.4.2. Etapa de procesamiento de datos

Se procedió a organizar la información obtenida del comportamiento del aditivo PLASTOL 200 en diferentes volúmenes en relación a las mezclas. Luego se compiló la información correspondiente a los análisis granulométricos de los agregados y cementos utilizados, conjuntamente con el comportamiento final del aditivo en base al tiempo de fraguado.

2.5. Aspectos éticos

El presente trabajo se realizará de acuerdo con el formato que maneja la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor; en segundo lugar, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo; en tercer lugar, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para

nuevas y futuras investigaciones; en cuarto lugar, presentar un contenido entendible de todo el trabajo, recalcando metodología, análisis e interpretación de resultados.

Finalmente, citar acorde a la norma APA, de manera correcta.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. **Ventajas técnicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP**

El Cemento en el shotcrete actúa como aglutinante en la mezcla de concreto lanzado, que une y fija las partículas de agregado a través de la mezcla. También interviene como lubricante principal del concreto y tiene un fraguado hidráulico que lo hace parcialmente responsable de las propiedades mecánicas del concreto endurecido. El cemento para el concreto lanzado debe tener un desarrollo rápido de fraguado inicial y muy alta resistencia temprana.

Los aditivos acelerantes de fraguado permiten:

- “Lograr incrementos significativos en la resistencia inicial del concreto”
- “Reducir los períodos de curado y protección necesarios para alcanzar una resistencia determinada en el concreto; y”
- “Trabajar el concreto en mejores condiciones durante los períodos de baja temperatura ambiente”
- “La aceleración del desarrollo inicial de resistencia permite un desencofrado más rápido”
- “Acortamiento en el período de protección del concreto”
- “Rápido acabado o reparación de la estructura”
- “Compensación de los efectos de las bajas temperaturas sobre el desarrollo de resistencia 2”
- “Los beneficios de una reducción en el tiempo de fraguado incluyen: operaciones de acabado superficial más rápidas y reducción temprana en la presión sobre los encofrados”

- “Rápido taponeo de fallas debidas a presión hidráulica” (Rivva López, 2000, p.278).

Dentro de las ventajas del acelerante de fragua libre de álcalis del PLASTOL 200 tenemos las siguiente:

- Rápido desarrollo de resistencias tempranas reduciendo el curado a vapor.
- Menores dosis para alcanzar una extensibilidad deseada.
- Menores relaciones agua: cemento en la matriz de concreto.
- Mejora la apariencia de las mezclas de concreto auto consolidable.
- Reduce los tiempos de descarga en los elementos prefabricados.
- Proporciona alta fluidez en mezclas secas.
- Altas resistencias a todas las edades.

A lo largo de la línea de evolución de los acelerantes instantáneos aparecen de manera temprana los acelerantes que incluyen álcalis. Estas sustancias cuentan en su composición con cantidades altas de compuestos de aluminio y álcalis (sodio o potasio) lo que les confiere un pH muy alto, superior en la mayoría de los casos a 11. Si bien los aluminatos son una alternativa económica, puesto que para alcanzar los tiempos de fraguado requeridos en campo se logran con dosis reducidas (comparados con otros acelerantes) y su precio por kg es relativamente bajo, resulta evidente que implican un riesgo en cuanto a la salud ocupacional. Un líquido con un pH mayor a 11 al entrar en contacto con la piel, podría producir una quemadura si no es lavado de inmediato con agua. Esto es válido tanto para el contacto directo (con piel y ojos) como para las aspersiones. Una tenue aspersión de estos acelerantes afecta negativamente la respiración, el tejido interno y en general cualquier mucosa

expuesta. Algunos países luego de presentarse incidentes de este tipo, decidieron proscribir el uso de estos compuestos, mientras que en otras regiones prefirieron continuar su uso, pero extremando las medidas y exigencias de seguridad cuando se emplean. Los aluminatos son tecnología antigua menos segura que otros acelerantes, pero continúan usándose, debido a su alta relación desempeño/costo.

3.2. Ventajas económicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP

Los aditivos acelerantes reducen el tiempo de fraguado del concreto en estado fresco y agilizan la ganancia de resistencia en estado endurecido a temprana edad. Cuando el tiempo de fraguado es reducido, las operaciones de acabado pueden finalizar más rápido. El desarrollo de resistencia a temprana edad, es muy importante cuando se está colocando concreto en climas con temperaturas muy bajas. Cuando se usan aditivos acelerantes, con frecuencia ocurren pérdidas rápidas de asentamiento, las demoras afectan la trabajabilidad y resistencia del concreto más que en un concreto sin este aditivo. El mezclado apropiado es esencial. El concreto con este tipo de aditivos debe ser entregado tan pronto como sea posible. Dependiendo de su uso, existen aditivos acelerantes base cloruros utilizados comúnmente en la producción de concreto industrializado, y aditivos libres de cloruros empleados frecuentemente en la producción de concreto pre y pos-tensado.

Tabla 3

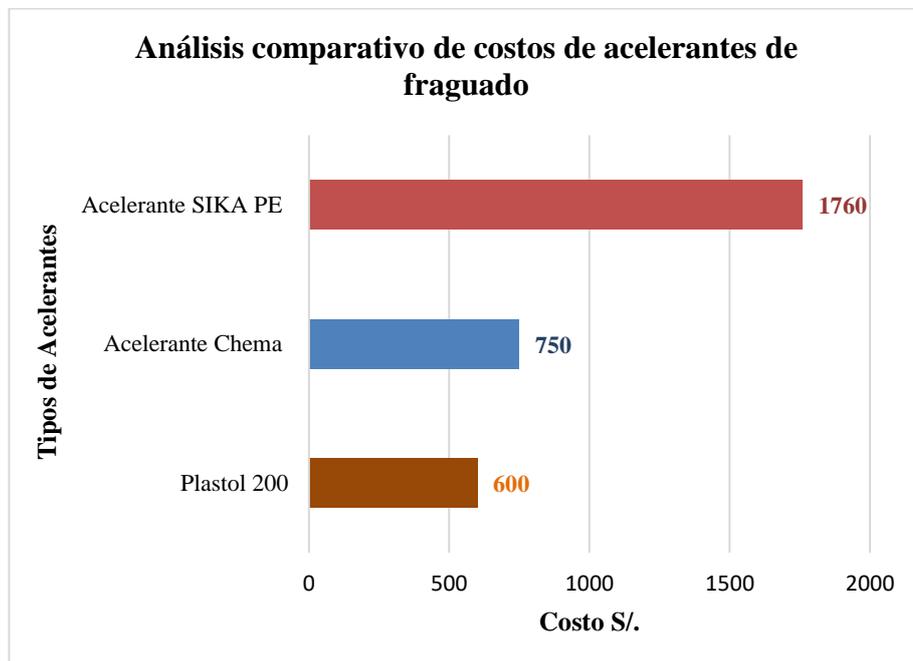
Análisis de costos de Acelerante de fragua

ACELERANTE	UNIDAD DE MEDIDA	PRESENTACIÓN	PRECIO S/.
	5 gal	Balde	65
Acelera CPA #2	55 gal	Cilindro	650
Plastol 200	220 kg	Tambor	600
Acelerante Chema	55 gal	Balde	750
Acelerante SIKA PE	55 gal	Balde	1760

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4:

Gráfico del análisis comparativo de costos de acelerantes de fraguado.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se evidencia que el menor costo entre todos los acelerantes de fraguado lo presenta el acelerante Plastol 200.

3.3. Método más óptimo y rentable para la adhesión de Shotcrete en una mina subterránea en La Libertad

El shotcrete es un sistema de colocación de concreto a alta velocidad sobre una superficie vertical u horizontal o con secciones curvas o alabeadas, transportado a través de tubería o manguera, proyectado neumáticamente, para conformar elementos estructurales o no estructurales, adhiriéndose perfectamente a ella con una excelente adherencia y compactación. Si bien la mezcla que se utiliza para este tipo de concreto se consolida por la fuerza del impacto, la dosificación de dicha mezcla requiere de componentes de alta gama que brinden una fácil aplicación, flexibilidad, resistencia y durabilidad para un buen soporte y sostenimiento en túneles o socavones mineros.

En la proyección del shotcrete las técnicas de lanzado juega un papel muy importante, y a la vez el operador debe de estar bien capacitado sino esto arroja perdidas de proyección. Según Martínez en diciembre del 2011, de la Pontifica Universidad Javeriana, de la facultad de ingeniería Civil público su libro “Análisis del Concreto Lanzado como Revestimiento Definitivo para Túneles”, en la que concluye, que la resistencia se ve afectada por el sistema constructivo. Los valores de absorción de energía, resistencia flexural y módulo de elasticidad aumentan notoriamente al usar la compactación mecánica que brinda el concreto lanzado. Reflejándose esto en menor cantidad de concreto, menor volumen de material de excavación, menos tiempos de construcción de lanzado, mayores eficiencias de los equipos y cumplimiento de metas.

Los aluminatos continúan siendo una opción para acelerar el concreto o el mortero proyectado y pueden ser usados con las precauciones debidas en cuanto a la seguridad de los usuarios.

Tabla 4

Diseño general del procedimiento de aplicación de concreto lanzado

DISEÑO DE INGENIERÍA	
N°	PROCEDIMIENTO
1	La mezcla será preparada mediante el camión mezclador para el caso de vía húmeda y de forma manual para el caso de vía seca.
2	La graduación de tamaños de los agregados, debe aproximarse a la curva ideal.
3	Cumplir el espesor del concreto proyectado de acuerdo a la recomendación geomecánica.
4	Utilizar un calibrador de alambre por 0.1 m2 para el control del espesor del concreto.
5	El concreto proyectado debe fraguar 4 horas como mínimo.
6	Hidratar el concreto con agua pasadas las 4 horas de fragua por un tiempo de 10 minutos por un periodo de 2 días con la finalidad de que adquiera su máxima resistencia y evitar las rajaduras.
7	Para proyección manual, usar plataformas en labores mayores a 4 m de altura, también se podrá utilizar una superficie con carga.
8	La presión de aire no debe ser menor a 4.5 bares durante aplicación del concreto proyectado.
9	El hormigón o concreto proyectado debe alcanzar una resistencia a la compresión mayor a 200 kg/cm ² .
10	Extraer los paneles testigos de hormigón o concreto en forma mensual, para los ensayos y la determinación de resistencia.
11	Los tiempos de duración de la mezcla preparada serán: vía húmeda 4 horas y vía seca 6 horas, pasado los tiempos establecidos debe ser descartado para el uso de concreto proyectado.
12	Mantener la distancia del tope de la labor y el concreto proyectado no mayor a 6 m para tipos de roca regular y mala.
13	La rejilla (malla) debe tener una abertura máxima de 3/4".
14	La máquina deberá estar ubicada en un piso firme dónde la pendiente no sea superior al 2%.
15	La distancia de transporte de mezcla en la manguera de alimentación no debe ser mayor a 50 m en vía seca y 30 m en vía húmeda.

16 Los equipos deberán contar con todos los dispositivos de seguridad según su diseño.

Fuente: Área de planeamiento.

Tabla 5

Resistencia del concreto lanzado y parámetros de medición

Resistencia del concreto a 28 días a 280 kg/cm²	
0.1 m ³ de agregado	1500 kg a 1650 kg
Relación agua - cemento A/C	0.35 - 0.40
Cemento	425 kg (10 bolsas)
Agua	145 L a 170 L
Acelerante de fragua libre de álcali	15 L - 18 L
Plastificante (vía húmeda)	4 L a 6 L
Estabilizador (vía húmeda y emergencias)	1 L a 2.5 L

Fuente: Área de planeamiento.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El cemento para el concreto lanzado debe tener un desarrollo rápido de fraguado inicial y muy alta resistencia temprana. Los beneficios de una reducción en el tiempo de fraguado incluyen: operaciones de acabado superficial más rápidas y reducción temprana en la presión sobre los encofrados. Apoya lo indicado por Hofler & Putzmeister (2004) quienes señalan que "El material del concreto proyectado se utiliza en un diseño de mezcla de concreto que está determinada por los requerimientos de aplicación y los parámetros especificados. Como regla general, esto significa una reducción en el tamaño máximo del agregado a 8 mm o máximo 16 mm, un aumento en el contenido de cementante y el empleo de aditivos especiales para el concreto proyectado que controlan las propiedades del material".

Los tiempos de duración de la mezcla preparada serán: vía húmeda 4 horas y vía seca 6 horas, pasado los tiempos establecidos debe ser descartado para el uso de concreto proyectado. Mantener la distancia del tope de la labor y el concreto proyectado no mayor a 6 m para tipos de roca regular y mala. Esto apoya lo señalado por Vizcarra & Guillen (2014) quienes indicaron que controlar la dosificación del aditivo de acuerdo a la norma técnica del producto. La cantidad del material de rebote disminuye generalmente cuando se utiliza un aditivo acelerante de fragua, permitiendo incluso la aplicación de capas más gruesas por su rápida gelificación, que es casi inmediatamente al entrar en contacto el acelerante con el cemento. Los acelerantes líquidos son los más ventajoso. Se añaden en la "lancha" disuelta en el agua, por lo que no produce polvo suplementario ni se corre el riesgo del fraguado prematuro. La amalgamación más regular de la mezcla y el agua permite una mejor

dosificación según la cantidad requerida. Los 143 acelerantes líquidos reducen la cantidad de rebote y no alteran la homogeneidad del concreto como los acelerantes en polvo cuya repartición no es regular.

4.2 Conclusiones

Se analizaron las ventajas técnicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP, en donde se identificó que el PLASTOL 200 tiene rápido desarrollo de resistencias tempranas reduciendo el curado a vapor y se utilizan menores dosis para alcanzar una extensibilidad deseada.

Con la evaluación de las ventajas económicas del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis (Plastol 200) y el concreto lanzado con cemento tipo IP, se evidenció un menor costo en relación a los aditivos disponibles en el mercado nacional, además de que se recomienda su aplicación en dosis de 0,4% al 1,3% del peso del cemento; por lo cual tiene mayor durabilidad.

Se Analizó el método más óptimo y rentable para la adhesión de Shotcrete en una mina subterránea en La Libertad, posteriormente se concluye que los tiempos de duración de la mezcla preparada serán: vía húmeda 4 horas y vía seca 6 horas, pasado los tiempos establecidos debe ser descartado para el uso de concreto proyectado, además de que el concreto debe tener un tiempo de fraguado no menor a 4 horas.

REFERENCIAS

Castellón Corrales Harold, De la Ossa Arias Karen (2013). *“Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III, modificados con aditivos acelerantes y retardantes”*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad de Cartagena – Colombia.

Cervantes Abarca Betsy Pierina, Villa Meza Liz Katherine. (2015). *“Análisis comparativo del concreto lanzado con cemento tipo IP y tipo HE en el revestimiento de túneles de la mina Orcopampa – Arequipa.”*
http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2240/cervantes_bp-villa_lk.pdf?sequence=1&isAllowed=yDipl.-Ing.

Camarena Cosme, Franklin Miguel. (2016). *“Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Robocon S.A.C. En La Mina San Cristóbal - Cía Minera Volcan S.A.A.”*
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3860/Camarena%20Cosme.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Germán Hermida (2014). *“Concreto: Acelerantes para concreto lanzado”*. Revista Sika Colombia SAS.
<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/772d19a9-cc98-3740-a69f-78e9861e9385/Acelerantes%20para%20Concreto%20Lanzado.pdf>

Issu (2015). *“Preparación, colocación y cuidados del concreto”*. Chimbote Mind Project.

https://issuu.com/engcaos/docs/preparacion_colocacion_y_cuidados_d

Jurgen Hofler, Putzmeister AG Jurg Schlumpf, BSC Ingeniero Civil, Sika Schweiz AG.

(2004). *“Introducción a la tecnología básica del concreto proyectado.”*

Oré Torre John (2014). *“Manual de Preparación, Colocación y Cuidados del Concreto”*.

Rivva López, E. (2004). *“Control del Concreto en Obra”*. (1era Edición). Fondo Editorial ICG. Lima- Perú.

Torres Alvarez, Luis Renato. (2016). *“Diseño y aplicación de Shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristobal - Minera Bateal.”*

<http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3260/MItoallr05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quispe Zarate Miluska, Rivas Arce Oscar (2013). *“Estudio comparativo del diseño de mezclas de concreto convencional utilizando diferentes aditivos acelerantes de resistencia; con agregados de las canteras Tres Tomas y La Victoria de la región de Lambayeque”*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Universidad Señor de Sipán, Lambayeque.

ANEXOS

Anexo N° 01: Ficha técnica del aditivo PLASTOL 200.

PLASTOL PRECAST 200 Aditivo reductor de agua de alto poder	
Descripción	<p>PLASTOL PRECAST 200 es un aditivo reductor de agua de alto rango, hiperfluidificante base polycarboxilato, diseñado especialmente para dar alta fluidez y reducción de agua con el empleo de una menor dosis respecto a otros aditivos de la misma línea Plastol.</p> <p>PLASTOL PRECAST 200 no contiene iones cloruros adicionados que puedan promover la corrosión en el concreto.</p> <p>PLASTOL PRECAST 200 cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 Tipo A y Tipo F como reductor de agua de alto rango.</p>
Información Técnica	<p>Apariencia : Líquido de color café claro Densidad : 1,08 kg/l +/- 0,02 kg/l</p>
Usos	<p>PLASTOL PRECAST 200 es especialmente recomendado cuando se requiere concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para elaboración de elementos prefabricados. • Auto – Consolidables. • Fluidos • De alto desempeño. • De resistencias rápidas en sinergia con otros aditivos. • Bombeados.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido desarrollo de resistencias tempranas reduciendo el curado a vapor. • Menores dosis para alcanzar una extensibilidad deseada. • Menores relaciones agua : cemento en la matriz de concreto. • Mejora la apariencia de las mezclas de concreto autoconsolidable. • Reduce los tiempos de descarga en los elementos prefabricados. • Proporciona alta fluidez en mezclas secas. • Altas resistencias a todas las edades.
Dosificación	<p>PLASTOL PRECAST 200 se recomienda en dosis de 0,4% al 1,3% del peso del cemento, sin embargo, las recomendaciones de uso dependen de las características de la mezcla y los materiales a ser usados, asentamiento o extensibilidades requeridas y la temperatura.</p> <p>Se recomienda realizar ensayos previos en la obra para determinar la dosificación adecuada por saco de cemento, de acuerdo con el tipo de obra o trabajo que se proyecte realizar.</p> <p>Se pueden requerir dosis diferentes a las recomendadas, en estos casos consultar con el Departamento Técnico de TOXEMENT.</p>

ADITIVOS

PLASTOL PRECAST 200

TX 40T 504

PLASTOL PRECAST 200 Aditivo reductor de agua de alto poder	
<p>Aplicación</p> <p>PLASTOL PRECAST 200 debe ser adicionado preferiblemente al agua de amasado, no debe ser colocado al cemento seco o sobre otros aditivos hasta que éstos estén completamente incorporados en la mezcla. Después de adicionado en la mezcla de concreto se debe dar mezcla entre 5 a 10 minutos para que el aditivo actúe de manera correcta.</p>	ADITIVOS
<p>Recomendaciones Especiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es muy sensible cuando se combina con inclusiones de aire ya que puede incrementarse significativamente cuando aumenta el tiempo de mezclado. • Se recomienda aplicarlo a pie de obra para dar la fluidez requerida. • Se recomienda realizar las mezclas de prueba para determinar la compatibilidad del aditivo con el cemento a emplear, al igual que para determinar las dosis apropiadas. • En concretos fluidos se debe ajustar el diseño para mantener la homogeneidad de la mezcla y evitar segregación por sobredosis de aditivo. • No usar aire comprimido para su agitación. • No mezclar con aditivos base naftaleno. • Se recomienda utilizar dosificadores automáticos para la colocación. • En todos los casos consultar la Hoja de Seguridad del producto antes de su uso. 	
<p>Manejo y Almacenamiento</p> <p>PLASTOL PRECAST 200 debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado, bajo techo y protegido de la intemperie.</p> <p>Vida útil en almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 año en su envase original. • 6 meses a granel 	PLASTOL PRECAST 200
<p>Presentación</p> <p>Tambor: 220 kg</p> <p>Las Hojas Técnicas de los productos TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.</p> <p>Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala. TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.</p>	

Fuente: TOXEMENT, (2019).

Anexo N° 02: Ficha técnica del Cemento Pacasmayo Tipo IP

CEMENTO PACASMAYO TIPO IP ESPECIAL

REQUISITOS FÍSICOS COMPARATIVOS

REQUISITOS FISICOS	Tipo IP ASTM C 595 NTP 334.090	Tipo I ASTM C 150 NTP 334.009
Resistencia a la compresión		
3 días, kg/cm ² , mín.	130	120
7 días, kg/cm ² , mín.	200	190
28 días, kg/cm ² , mín.	250	280*
Tiempo de fraguado, minutos.		
Inicial, mín.	45	45
Final, máx.	420	375
Resistencia a los sulfatos, % máximo de expansión.	0,10* (6 meses)	----
Calor de hidratación,		
7 días, máx, kJ / kg	290*	----
28 días, máx, kJ / kg	330*	----

* Requisito opcional





Anexo N° 023: Fotos del shotcrete con PLASTOL 200.



Lanzado de shotcrete con cemento tipo IP



Lanzado de shotcrete con Plastol



Lanzado de shotcrete con Plastol