

# UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



---

## ESTUDIO DE REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA FRESCA SHOTCRETE EN PROYECTOS DE ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

---

### TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

**AUTOR:**

BR. ELVIS ALEXANDER REYES RUBIO

**ASESOR:**

DR. ENRIQUE FRANCISCO LUJAN SILVA

TRUJILLO – PERÚ

2019





## MIEMBROS DEL JURADO

**“ESTUDIO DE REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA FRESCA SHOTCRETE EN PROYECTOS DE ESPACIOS SUBTERRÁNEOS”**

---

**PRESIDENTE**

**ING. JOSÉ SEBASTIAN HUERTAS POLO**

**CIP: 34570**

---

**SECRETARIO**

**ING. JUAN PAUL HENRRIQUEZ ULLOA**

**CIP: 118101**

---

**VOCAL**

**ING. ROLANDO OCHOA ZEVALLO**

**CIP: 9133**

---

**ASESOR**

**ING. ENRIQUE FRANCISCO LUJAN SILVA**

**CIP: 54460**



## DEDICATORIA

### **A DIOS**

*Porque los anhelos que tengo siempre va de la mano con Él, siempre estuvo allí para sosegar algún cansancio, renueva mis fuerzas para continuar los días a su plena voluntad, me siento agradecido de haberme dado la oportunidad de pasar por este espacio terrenal, para poner en práctica la virtud del servicio a mis semejantes y a la comunidad.*

**Hija, Alessia Sofía I. Reyes P.**

*Te lo dedico con mucho cariño, porque eres lo más importante y una gran motivación que Dios puso en mí caminar.*

*Deseo que esto sea también una motivación de superación especial para ti, mi amada Hija.*

**Padres, Carlos y Haydeé**

*Gracias Padre, gracias Madre, gracias por enseñarme a luchar por los deseos de superación, siempre llevaré conmigo sus mejores ejemplos.*

*Y gracias a mis hermanos menores por su tolerancia y comprensión.*

**Mamá Angélica**

*Este gran paso también se lo dedico a una gran persona, mi abuelita Angélica, que con mucho cariño siempre dirigió sus palabras de aconsejo, gracias Mamita linda por sus buenos deseos, gracias por todo.*



## RESUMEN

En este documento de investigación se estudió el fenómeno físico de la generación del Rebote, una cantidad de porción de material de mezcla altamente pastosa de cemento con fibras metálicas o sintética, que no adhiere en la cara de la superficie del estrato rocoso de un túnel, mezcla que es colocado a alta presión de aire en la operación del proyectado con el equipo robotizado para el Shotcrete.

Emplazado en el sitio de los trabajos del complejo sostenimiento mecanizado de túneles y en contacto directo de los mismos por un periodo de tiempo de 2 años, concebí en llevar a cabo, muestreo de este material Rebote.

Ejecutando el plan estratégico de muestreo donde se detallan desde la página 46. Este material de muestreo representativo, se llevó a laboratorio de Control de Calidad para ser analizado a través de ensayos granulométricos, encontrando ciertos cambios de sus características de origen.

El análisis de ensayo nos dice que sufrió desplazamiento de la gradación de las partículas del árido para el Shotcrete, se puede visualizar e interpretar a través de su gráfico de la curva granulométrica y su módulo de finura. La arena inicial compuesta en el Shotcrete se muestra con un módulo de finura del porcentaje pasante un valor de 3.76, este al ser sometido a la operación del lanzado sufre el cambio de su módulo de finura de 2.87, un valor menor que el árido de origen. Estos, se detalla en el Capítulo de resultados.

El complejo sostenimiento mecanizado de túneles, debido al íntegro y combinaciones de sus demás elementos como Operacionales, Productivo y Controles de Ingeniería, se requirió de igual importancia examinar en simultaneo el comportamiento físico y mecánico estos mismos elementos, para pretender el entero conocimiento y se detallan en el desarrollo de esta tesis.

Entre los temas relevantes abordados son la técnica de lanzado del Operador, el equipo robotizado autónomo de suministro de aire a presión y de los conjuntos de los procedimientos técnicos de controles de calidad del Shotcrete, con ensayos previos en laboratorio de sus materiales componentes, así como sus ensayos en estado fresco y estado endurecido del Shotcrete.

La elaboración de esta, se siguieron recomendaciones de documentos normativos de prácticas y métodos internacionales de construcción de espacios subterráneos, Normas Europeas, Americana y Australiana; EN, EFNARC, ACI, ASA y ASTM.



## ABSTRACT

In this research document the physical phenomenon of the Rebound generation was studied, an amount of highly grainy cement material mix with metallic or synthetic fibers, which does not adhere to the surface of the rock stratum surface of a tunnel, mixture that is placed at high air pressure in the operation of the projected with the robotic equipment for the Shotcrete.

Located on the site of the works of the complex mechanized maintenance of tunnels and in direct contact of the same for a period of 2 years, I conceived in carrying out, sampling of this material Rebound.

Executing the strategic sampling plan where detailed from page 46.

This representative sampling material was taken to the Quality Control laboratory to be analyzed through granulometric tests, finding certain changes in its characteristics of origin.

The test analysis tells us that it suffered displacement of the gradation of the aggregate particles for the Shotcrete, it can be visualized and interpreted through its graph of the granulometric curve and its modulus of fineness. The initial aggregate composed in the Shotcrete is shown with a modulus of fineness of the passing percentage a value of 3.76, this being subjected to the operation of the launched undergoes change of its modulus of fineness of 2.87, a value less than the aggregate of origin. These are detailed in the Results Chapter.

The complex mechanized support of tunnels, due to the completeness and combinations of its other elements such as Operational, Productive and Engineering Controls, it was equally important to examine these same elements simultaneously, to pretend the full knowledge and are detailed in the development of this thesis.

Among the relevant topics addressed are the Operator's launch technique, the autonomous robotic equipment for supplying pressurized air and the sets of the technical procedures for quality control of the Shotcrete, from the previous laboratory tests of its component materials, as well as his test in fresh state and hardened state of the Shotcrete.

In the preparation of this, followed the recommendations, normative documents of practices and international methods of construction of underground spaces, European, American and Australian Standards; EN, EFNARC, ACI, ASA and ASTM.



# ÍNDICE DEL CONTENIDO

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación	1
1.1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.1.2. Formulación del Problema	3
1.2. Objetivo General	3
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación del Estudio	3
1.5. Viabilidad de Investigación	4

## CAPÍTULO II.

### MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio	6
2.2. Marco teórico	11
2.2.1. La mezcla fresca Shotcrete	11
▪ Reseña Histórica	11
▪ Definición Actual	12
2.2.2. Elemento Constituyente	13
2.2.3. Contemplaciones geotécnicos de Diseño	14
2.2.4. Materiales Constituyentes del Shotcrete	17
1. Cemento	
2. Árido	
3. Agua	
4. Aditivos	
5. Adición fibras refuerzo	
2.2.5. Propiedades de los Principios físicos y mecánico del Shotcrete	27
I. Módulo de Elasticidad	27
II. Esfuerzo y Deformación	27



a. Representación gráfica	28
b. Determinación de la absorción de energía	29
c. Determinación de las clases de resistencias	29
2.3. Hipótesis	31
2.4. Operacionalización de variables	32
2.4.1 Definición de variable	32
2.4.2 Matriz operacional de las variables	33
<b>CAPÍTULO III.</b>	
<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	
3.1. Tipo y nivel de investigación	34
Tipo de Investigación	
3.1.1 Tipo No Experimental	
3.1.2 Tipo Prospectiva	
3.1.3 Tipo Longitudinal	
3.2. Nivel de Investigación	34
3.2.1 Nivel de investigación exploratorio	
3.2.2 Nivel de investigación descriptivo	
3.2.3 Nivel de investigación correlacional	
3.2.4 Nivel de investigación explicativo	
3.3. Población y muestra de estudio	36
3.3.1 Población de Estudio	
I. Cantera del material árido	36
3.3.2 Muestra de Estudio	
II. El Árido pre lanzado	40
3.4. Diseño de investigación	47
I. Diseño de Investigación Experimental	
II. Diseño unifactorial	
III. Diseño univariado	



3.4.1 Estructura Plan Estratégico	48
I. Seguimiento al sostenimiento con Shotcrete vía húmeda	49
II. Estrategia del muestreo del árido del Shotcrete post lanzado	51
3.5. Técnicas e instrumentos de investigación	53
3.5.1 Técnicas de Investigación	53
3.5.1.1 Técnicas de Transporte de la mezcla fresca Shotcrete	53
I. El camión Mixer bajo perfil	53
II. Ciclo de Operación del Mixer	55
3.5.1.2 Técnica de Operación de Lanzado del Shotcrete	57
I. Equipo Robot Lanzador	57
II. El Técnico Operador del Robot Lanzador	58
III. Las Técnicas de aplicación	59
3.5.2 Instrumentos de investigación	62
I. Etapa a nivel de laboratorio	62
1. Juego de Tamices	
2. Balanza Electrónica	
3. Horno	
4. Trompo Mezclador	
5. Aguja Vicat	
6. Picnómetro para Arena	
7. Cono de Absorción para condición triple SSS	
8. Cono de Abrams (**)	
9. Flexómetro (**)	
10. Termómetro (**)	
11. Moldes Cilíndricos 4" x 8" (**)	
12. Calibrador vernier digital	
13. Extractor núcleo diamantina	
14. Prensa Hidráulica	
15. Maquina Absorción de Energía	
II. Etapa a nivel de campo (**)	62
16. Penetrometro para mortero de bolsillo	
17. Penetrometro Digital	
18. Pistola Hilti DX 450-SCT	



3.6. Procesamiento y análisis de datos_____	<b>67</b>
I. Procesamiento de datos a nivel de laboratorio _____	<b>68</b>
II. Procesamiento de datos a Nivel de Campo _____	<b>79</b>

## **CAPÍTULO IV.**

### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Análisis e interpretación de resultados_____	<b>86</b>
4.1.1. Nivel de Laboratorio de Control de Calidad_____	<b>86</b>
4.1.2. Nivel de Campo en operación de minado _____	<b>86</b>
4.2. Resultados de las características y propiedades de los materiales componentes del shotcrete. _____	<b>86</b>
4.2.1. Resultados de las características físicas y propiedades del árido para el Shotcrete G-1 y G-2_____	<b>87</b>
4.2.1.1. Curvas granulométricas _____	<b>87</b>
4.2.1.2. Módulo de Finura _____	<b>88</b>
4.2.1.3. El tamaño máximo nominal _____	<b>89</b>
4.2.2. Comparativo del parámetro de las curvas granulométricas del árido para el Shotcrete G-1 y G-2_____	<b>90</b>
4.2.3. Resultados de análisis granulométrico de la arena inicial procesada de cantera. _____	<b>90</b>
4.2.4. Resultados del análisis granulométrico del muestreo de la arena rebote del Shotcrete. _____	<b>91</b>
4.2.5. Resultado gráfico comparativo del análisis granulométrico de la Arena inicial y Arena Rebote_____	<b>93</b>
4.2.6. Resultado resumen del análisis granulométrico del árido inicial y árido de rebote. _____	<b>94</b>
4.2.7. Análisis de resultados de las propiedades del árido para el shotcrete. _____	<b>97</b>
4.3. Resultados de los requisitos de Diseño para la Mezcla Shotcrete_____	<b>99</b>
4.3.1. Diseño Inicial del Shotcrete_____	<b>99</b>
4.3.2. El Diseño Inicial con la interacción del aditivo Acelerante _____	<b>99</b>



4.3.3. Resistencia Inicial del Diseño del Shotcrete_____	100
4.3.4. Resistencia temprana del Diseño del Shotcrete_____	100
4.3.5. Resistencia a la Absorción de Energía del Diseño del Shotcrete	101
4.4. Resultados de cálculos del diseño de la mezcla para Shotcrete._____	102
4.5. Análisis de resultados del cálculo de dosificación _____	103
4.6. Resultados de ensayos a la mezcla Shotcrete en estado fresco_____	105
4.6.1. Características y propiedades de los Aditivos_____	105
4.6.2. Resultados pruebas de slump en laboratorio_____	106
4.6.3. Resultados de pruebas de slump de campo_____	107
4.7. Resultados de las clases de resistencia del Shotcrete en estado endurecido	
4.7.1. Resultados de fragua de la mezcla proyectada_____	108
4.7.2. Resultados de Resistencia Iniciales_____	118
4.7.3. Resultados de Resistencia Tempranas_____	119
4.7.4. Resultados de Resistencia a la Compresión Axial_____	120
▪ Testigos Cilíndricos Simples_____	120
▪ Testigos Cilíndricos Diamantina _____	127
4.8. Resultados de resistencias del Shotcrete a la absorción de energía__	135
▪ Comparación de diferentes edades de ensayos paneles cuadrados	
_____	137
4.9. Resultados de mediciones de índices de material Rebote_____	140
<b>CAPÍTULO V.</b>	
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS _____</b>	<b>142</b>
<b>VI. CONCLUSIONES _____</b>	<b>150</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES _____</b>	<b>152</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____</b>	<b>156</b>
<b>IX. ANEXOS _____</b>	<b>157</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	Sostenimiento propuesto Galería N°9 Unidad Minera Colquirrumi	7
Tabla N°2	RCS de los principales tipos rocas	14
Tabla N°3	Línea de tiempo de los Métodos de Sostenimiento	15
Tabla N°4	Calor de Hidratación de los tipos de Cemento	17
Tabla N°5	Evaluación Química del Agua	20
Tabla N°6	Composición Química del aditivo acelerante	24
Tabla N°7	Tipos de fibra: sintética y Metálica	26
Tabla N°8	Tipos y clases de resistencia del Shotcrete	30
Tabla N°9	Masa mínima muestra de Campo	46
Tabla N°10	Distancias para la técnica de lanzado "Base"	59
Tabla N°11	Distancias para la técnica de lanzado "Corona"	60
Tabla N°12	Límites de gradaciones del árido para Shotcrete	87
Tabla N°13	Módulo de Finura del árido para Shotcrete	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Gráfico de Clasificación Q	16
Fig. 2	Gráfico de la Temperatura de los Tipos de Cemento	17
Fig. 3	Gráfico de los índices volumétricos por cada material en la unidad de Volumen.	19
Fig. 4	Gráfico comportamiento típico del esfuerzo y deformación	28
Fig. 5	Gráfico del comportamiento típico del Shotcrete reforzado con fibra	28
Fig. 6	Gráfico de la Matriz y relación del Aseguramiento de Calidad del Sostenimiento mecanizado de Túneles.	61



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1. Descripción de la realidad problemática.

En los establecidos sistemas de gestión de proyectos mineros o civiles, del campo de sostenimiento mecanizado de túneles en todas las operaciones o ciclos de trabajo, se ejecutan construcciones de túneles con carácter económico. Inmediatamente después de la ruptura violenta al macizo rocoso por energía explosiva, se usa como principal material y elemento estructural para el sostenimiento de avance definitivo el concreto proyectado neumático, mezcla de mortero fibra reforzada, cual garantizará la seguridad de tránsito del personal y maquinarias de bajo perfil dentro de los espacios subterráneos.

Estos trabajos operacionales demandan una alta producción y uso de volúmenes masivos no menores de  $3500m^3$  promedios en un mes, trabajados cronológicamente en dos turnos al día. Según capacidad de producción de una unidad en un turno puede llegar a usar la cantidad de shotcrete en el rango de 60 a  $90 m^3$ . La cantidad que se requiere para un frente de labor a sostener en avance del túnel va en el rango de 2.5 a  $3.5 m^3$ .

Para todas las unidades organizadas es relevante reducir los costos y aumentar los beneficios. Entonces la idea de esta investigación es reducir y o anular que el material fresco shotcrete producido para proyectar en el sostenimiento no se desperdicie por el efecto de la operación de lanzado, se aprecia material que no se adhiere en su totalidad sobre el sustrato rocoso que ha sido proyectado, denominado en el campo de los hechos “Rebote”, cual se manifiesta físicamente durante y después del proyectado en la superficie horizontal del terreno del frente de trabajo. Se cuantifican valores que van desde 12% hasta por encima del 18% de rebote del volumen inicial cubicado.



Dipl.-Ing. Jurgen Hofler, Putzmeister AG, Jurg Schlumpf, BSC Ingeniero Civil, Sika Schweiz AG, 2004. Introducción a la tecnología básica de concreto Proyectado.

**Rebote:** El reto más complicado en la operación del lanzado del concreto proyectado es mitigar la cantidad de desperdicio excesivo de material rebote. Son muchos factores que predominan por encima de un sistema de control. El factor principal de un trabajo con poco rebote es la mano de obra calificada del operador de robot. La porción de material que rebota se vincula con la pericia del operador. Esto, claro está, que es de vital repercusión económica y logística, ya que por cada tonelada de material rebote, genera repetir el trabajo o hacer el mismo reproceso.

Augusto Holmberg F. Octubre 2015. GUÍA CHILENA DEL HORMIGÓN PROYECTADO, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, Santiago. Dice:

El **índice de rebote** está relacionado por varios factores, incluyendo:

- La pericia del pitonero para maniobrar la boquilla. La conservación de distancias adecuadas entre la punta de la boquilla y la cara del sustrato rocoso a proyectar, así como la posición angular de la misma, cuales tienen severa influencia para que se produzca un alto grado de índice de rebote.
- La confiabilidad de los equipos electromecánicos de proyección del mortero fibro reforzado, así también la importancia de la presurización de aire continua.
- Los diseños de mezcla, se toma en cuenta el tamaño del agregado y o gradación (el rebote será inevitable si el tamaño en la malla del árido supera los 14 mm)
- La frescura misma de la mezcla, trabajabilidad.
- El grado de la superficie lisa o rugosidad.

Hasta la actualidad tesis anteriores han dejado abierta esta parte complementaria de investigación. Además de la finalidad de esta investigación, pretende con factibilidad revertir otros problemas contiguos

tales como; la contaminación del suelo, contaminación del metal precioso y la generación de altos volúmenes de desperdicios de material shotcrete endurecido.

### **1.1.2. Formulación y enunciado del problema.**

¿De qué manera influye el estudio de reducción del índice de rebote en la evaluación del rendimiento de la mezcla fresca shotcrete en proyectos de espacios subterráneos?

### **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia del estudio de reducción del índice de rebote en la evaluación del rendimiento de la mezcla fresca shotcrete en proyectos de espacios subterráneos.

### **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar la influencia de la reducción del índice de rebote en la determinación de adherencia de la mezcla fresca shotcrete en proyectos de espacios subterráneos.
2. Determinar si el aditivo acelerante de fraguado de la mezcla fresca, influye en la generación del índice de rebote.
3. Determinar si la Técnica de Lanzado del Operador influye en la generación de material rebote.
4. Determinar la influencia del estudio de reducción del índice de rebote en la disminución de costos por reproceso en los proyectos de espacios subterráneos.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.**

- La investigación recopila material de información de la experiencia sistemática, empírica y crítica
- Amplia y complementa a detalle las especificaciones y normas de ensayos ya establecidos.

- El método y procedimientos técnicos desarrollados sirve para su aplicación en el sitio del terreno.
- Estos procedimientos y especificaciones ofrece explorar y experimentar la realización del diseño de mezcla final para aplicar en cada proyecto.
- Estos procedimientos aplican sobre las diversas variables existentes de características propias de cada terreno o proyecto.
- Es relevante reducir y minimizar la contaminación del suelo por el residual de material no adherido del concreto proyectado.
- En los terrenos mineralizados se reduce, se minimiza o se anula la contaminación del mineral por el residual de material shotcrete endurecido no adherido, transformándolo en un mineral de alta calidad
- Mitigar desperdicio de volúmenes de shotcrete endurecido que cubre grandes áreas de superficie de terreno natural, lugares o rellenos sanitarios de acopio.
- Tener mejores resultados de rendimiento en recubrir mayores metros cuadrado con la mezcla fresca proyectante, siendo de beneficio para todas las partes involucradas.

### **1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.**

Las limitaciones pueden suscitarse ante la programación previa de los trabajos, presentando altos grados de dificultad para la correcta ejecución de los mismos, tales como:

- Caídas o desprendimiento de rocas por sobre voladura, sobre excavación, deficiente desatado manual o con equipos
- Falta de ventilación o iluminación led.
- Alto grado de decibeles generado por las máquinas de ventilación.
- Túneles con temperaturas extremas de calor, generado por las maquinarias de operación, ocasionando golpes de calor y estrés térmico al personal que trabaja en el frente asignado.
- Falla de equipos o maquinarias no confiables por edad de antigüedad.



- Accesos con aniegos e inundaciones por rebose de aguas de cámaras de bombeo.
- Probabilidad de carecimiento de la logística de transportabilidad o unidad móvil, restringiendo la verificación o supervisión de los trabajos.
- Mala cubicación del volumen requerido para el sostenimiento, puede ser menor o exceso de material mezcla fresca shotcrete.
- Falta de mantenimiento preventivo a las Plantas de Premezclado recalentamiento del sistema digital operacional.
- Descalibración de balanzas y contadores de litros
- Empozamiento de aguas amarillas por lavado de mixer en las plantas de premezclado
- Acopio de agregado, arena para shotcrete contaminado con granos gruesos.
- Irregularidad de calidad de Aditivos
- Hidratación de suministros de cemento
- Alto tiempo de espera de la mezcla fresca del mixer en el frente de labor por falta de habilitación o liberación para la operación de lanzado.
- Mala manipulación de la mezcla fresca del operador de mixer por falta capacitación o exceso de confianza.
- Mala técnica de lanzado del operador de robot

## CAPÍTULO II

### MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

Cipriano Chudán, R. R., & Marín Cabrera, E. E. (2018). Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería NV. 9, unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018. Universidad Privada del Norte.

Estos autores plantearon como objetivo, proponer el diseño de sostenimiento para la Galería Nv. 9 de la Unidad Minera Colquirrumi.

Y concluyen que, los resultados obtenidos tienen un carácter preliminar, es decir representan una aproximación a los requerimientos de sostenimiento requeridos.

Que según características de ensayos se clasifican de acuerdo a Bieniawski, Barton y Hoek, geomecánica del macizo rocoso corresponde a una caliza de calidad: Regular (estación 2, 4 y 5) – Buena (estación 1 y 3).

Usaron para dominios geotécnicos o sets de discontinuidades, programas computacionales de Rocscience como son, el software Dips y Unwedge, con el objetivo de visualizar de manera específica la distribución de las discontinuidades, para luego diseñar el sostenimiento a utilizar.

Por clasificación geomecánicas recomiendan como soporte para la Galería Nv. 9:

RMR (89): Empernado sistemático de 4 m de largo, espaciado de 1,5 a 2 m en el techo y paredes con malla en el techo y para el caso de Shotcrete con espesor de 50 a 100 mm en el techo y 30 mm en las paredes.

Índice Q de Barton: Sin soporte o pernos colocados puntualmente/ocasionalmente.

Índice GSI: Nos brinda dos opciones de sostenimiento, la primera es sin soporte o pernos ocasionales, la segunda es colocar pernos sistemáticos 1.50 x 1.50 m (malla).

El espesor de zona plastificada en la Galería Nv. 9 presenta distintos resultados, esto es debido a que cada método presenta una particularidad, la cual se resume a continuación:

Protodyakonov considera que las cargas se distribuyen de forma parabólica (techo y cajas en menor medida). Resultado: 0.35 m

Phase2 considera una distribución de cargas heterogéneas, y por tanto más ajustado a la realidad del caso en estudio. Resultado: en techo 0.31 m y en cajas 0.66 m.

Los parámetros de los elementos de fortificación (colocación de sostenimiento puntual/ocasional), utilizando software se presentan a continuación:

Se infiere que los métodos analíticos (clasificaciones geomecánicas) y numéricos (modelamiento con softwares) cuando se combinan contribuyen a un buen análisis de la definición de un proyecto de apoyo y refuerzo para ser aplicado en una excavación subterránea.

Y como aporte presentan el sostenimiento propuesto, en base al análisis previo de los resultados, por cada estación de manera resumida en el siguiente cuadro:

ESTACIÓN	SECCIÓN	SOSTENIMIENTO	PARÁMETROS	DOMINIO GEOTÉCNICO
1	2 x 2.5 m	Empernado sistemático	Espaciado: 0.30 m Longitud perno: 1.5 m	Cuñas estables
2	2 x 2.5 m	Empernado puntual Shotcrete	Espaciado: 0.30 m Longitud perno: 1.5 m Espesor: 5 cm	Cuñas inestables
3	2 x 2.5 m	Empernado sistemático	Espaciado: 0.30 m Longitud perno: 1.5 m	Cuñas estables
4	2 x 2.5 m	Empernado sistemático	Espaciado: 0.30 m Longitud perno: 1.5 m	Cuñas estables
5	2 x 2.5 m	Empernado puntual	Espaciado: 0.30 m Longitud perno: 1.5 m	Cuñas inestables

Tabla 1: Sostenimiento propuesto para la GL N° 09 de la Unidad Minera Colquirrumi.

Vargas Niquín, E. (2017). Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmote zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa. Universidad Nacional de Trujillo.

El autor tiene como objetivo principal de este proyecto es optimizar el sostenimiento de la Rampa Patrick III – marsa, con la implementación del uso de desmote zarandeado como agregado para el concreto proyectado



en un tipo de roca IIIB y que pueda ser utilizado en futuras labores que van a utilizar shotcrete como sostenimiento.

Concluye que el agregado con desmorte zarandeado es óptimo para el para el lanzado del shotcrete via húmeda; cumple con los requisitos y las pruebas de resistencia practicadas a las muestras.

Con el porcentaje de rebote de 2% mayor del shotcrete con desmorte zarandeado aun es rentable su utilización ya que se logra obtener un costo mucho más bajo que con el agregado de cantera, el rebote es de 11% un valor aceptable en relación al costo es mucho más económico que comprar o trasladar agregado de una cantera.

Para el sostenimiento con shotcrete es necesario una considerable cantidad de agregado que es transportado desde una cantera por dicha razón se optó por utilizar como alternativa el desmorte zarandeado, logrando un sostenimiento eficiente y por ende disminución de costos

El aporte de su investigación es utilizar el desmorte zarandeado como agregado les ha resultado beneficioso, ya que se puede utilizar en otras labores mineras con similares características de terreno y también implementarlo en otras minas donde se utiliza el shotcrete como medio de sostenimiento.

Alpaca López, Y. R. (2016). Caracterización geotécnica, estructural del macizo rocoso de los desarrollos subterráneos de la Fase V, Chuquicamata–Chile. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Tienen como objetivo, caracterizar las condiciones geotécnicas y estructurales del macizo rocoso de los desarrollos subterráneos de la Fase V - Chuquicamata – Chile.

En conclusión realizaron subterráneos entre diciembre 2010 y febrero 2012 alcanzan los 1.147 m, correspondientes a 162,7 m en 9 estocadas para sondajes, 495,9 m en el túnel salida de emergencia, 233 m en la Rampa N° 6 y 255,7 m en la construcción de los accesos a los piques de extracción de ventilación 1-Sur y 2-Sur. El rendimiento mensual promedio alcanza los 76,5 m.

El bajo rendimiento se debe principalmente a problemas operacionales en los trabajos de excavación y sostenimiento. Influyen también en menor

medida las dificultades de acceso a los túneles a través de la Mina Chuquicamata en operación permanente, al desarrollo de campañas de sondajes desde los túneles y a otras actividades relacionadas con el proyecto como la instrumentación geotécnica.

Como aporte han definido 3 tipos de estructuras diferenciadas: VIF (Very Important Faults) corresponden a aquellas de mayor influencia y persistencia observables al interior de la Mina.

Chuquicamata, FT (Fault Traces) son de menor importancia, presentando influencias y persistencias reducidas por lo que afectan el comportamiento geotécnico solo a nivel básico y las diaclasas o fracturas (FR), corresponden a rupturas geológicas simples sin desplazamiento o con desplazamiento reducido (inferior a 10 cm).

El análisis de distribución de sistemas de fallas, muestra cuatro dominios estructurales del modelo estructural de la Mina Chuquicamata que se proyectan hacia los túneles. Estos son los dominios estructurales Nor-Oeste, Estanques Blancos, Balmaceda y Americana (Plano 14: Ubicación de los Desarrollos Subterráneos en Dominios Estructurales).

Pacheco Centeno, J. (2014). Aplicación del sostenimiento estructural en Mina Ticlio. Universidad Nacional de Ingeniería.

Su objetivo es la búsqueda del mejor diseño de sostenimiento estructural, los que intervienen una combinación de elementos de sostenimiento como son el shotcrete vía húmeda, pernos de fricción, pernos expansivos y malla electrosoldada cuando sea necesario, con fines de reducir el uso de las cimbras, las cuales implican más tiempo y mayor recurso humano.

Concluye que el uso de las cimbras queda restringido para las zonas de falla o zonas con presencia excesiva de agua.

Los resultados presentados indican que para las dimensiones establecidas de tajeos, las condiciones de estabilidad están cercanas al equilibrio límite, siendo necesario utilizar sostenimiento obligatorio de los subniveles con pernos, malla electrosoldada y shotcrete, en todo el contorno de la excavación.



El cambio del tipo de sostenimiento como herramienta le permite mejorar el proceso de sostenimiento, logrando resultados positivos en seguridad, productividad y costos, siendo los más significativos la calidad del ambiente de trabajo por la reducción de agua en la labor y la menor exposición del personal a los riesgos existentes durante la instalación de las cimbras.

El aporte con el reemplazo del tipo de sostenimiento y el sistema mecanizado de equipos, garantizará mayor velocidad del ciclo de sostenimiento, minado y productividad en los frentes de mineral y desmonte.

Vizcarra Guillen, A. N. (2014). Análisis y aplicación del Shotcrete para lograr continuidad y velocidad en el sostenimiento unidad operativa Chipmo Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Su objetivo es analizar y aplicar el sistema de sostenimiento con concreto lanzado como una alternativa viable de sostenimiento en las distintas labores subterráneas de la mina.

Concluye que al comparar los métodos seco y húmedo, puede 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.

Como aporte establece un procedimiento para el lanzado de shotcrete basado en estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente.

Linares Pipón, C. (2018). Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: Correlación entre método normado UNE-EN 14488-2 y método alternativo. Universidad de Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151305>

El objetivo central de esta memoria es determinar la correlación entre el método normado y el método alternativo “Method Statement Shotcrete Testing”, para saber qué es lo que pasa realmente en el intervalo entre 1.2MPa y 3Mpa, que es el rango en donde el método normado no obtiene mediciones de los ensayos utilizados. Actualmente, en el método normado,

la curva se completa a partir de la unión de estos puntos sin conocer realmente cómo se comporta la resistencia en el tramo.

Concluye que el hormigón proyectado, es un hormigón especial, por lo que requiere de consideraciones especiales con respecto a los hormigones convencionales. Entre las consideraciones mencionadas, este material posee una dosificación acorde a lo especificado por el proyecto y que además cumpla con las resistencias tempranas. Junto con esto, un punto de vital relevancia para el correcto funcionamiento del hormigón proyectado es la colocación, que es en donde generalmente se producen los problemas que afectan directamente a la resistencia del mismo.

Finalmente su aporte dice que la resistencia del hormigón proyectado depende de muchas variables a lo largo de su producción y aplicación, es por eso, que el estudio de las resistencias tempranas del dicho hormigón a lo largo de la construcción de una obra es de vital importancia tanto para la seguridad de las personas involucradas en el proceso como para la buena ejecución del proyecto. Con los resultados de esta memoria se adquieren nuevos conocimientos acerca de las resistencias tempranas del hormigón proyectado, pero aún queda mucho camino por recorrer, y es responsabilidad de las nuevas generaciones avanzar con el estudio del hormigón proyectado y así generar construcciones más óptimas y seguras. Además, se hace necesario una normativa chilena que toque estos puntos y que incorpore los resultados obtenidos en el presente trabajo.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. La mezcla fresca Shotcrete.**

#### **▪ Reseña histórica.**

En 1895, en el Field Museum of Natural Science de Chicago, EE. UU, el Dr. Carlton Akeley necesitaba desarrollar un dispositivo para permitir la pulverización de la mezcla de mortero. Después de la experimentación, desarrolló un recipiente a presión de una sola cámara que contenía una mezcla de cemento y arena. Cuando se presurizó con aire comprimido, la mezcla se forzó a través de una abertura y a lo largo



de una manguera de suministro. Al final de la manguera había una boquilla que estaba equipada con un rociador de agua. Al pasar por este spray se hidrató la mezcla. Este equipo era conocido como la "pistola de cemento" y el material pulverizado llamado "Gunita".

Los métodos fueron patentados en 1911 y fueron adquiridos por Cement Gun Company. Después de mudarse de EE.UU. a Alemania en 1921, finalmente se convirtió en una compañía británica en 1953. Las primeras máquinas colocaron la mezcla seca de arena y cemento en la cámara presurizada desde donde se proyectó a una boquilla donde se agregó agua. Por lo tanto, este sistema se denominó el "proceso seco".

A medida que se desarrollaba el proceso en seco, también se estaba desarrollando el método de "pistola verdadera". Esto requería que la mezcla de arena y cemento se mezclara completamente con agua antes de ser bombeada a través de una máquina fundamentalmente diferente. Debido a su diferente método de mezcla, el sistema se conoció como el "proceso húmedo". El proceso húmedo no se desarrolló completamente comercial hasta la entrada de la década de 1970, y gran parte de su experimentación se llevó a cabo en los Estados Unidos.

Es en este punto que se deben pasar unos momentos considerando la terminología. El nombre original de la mezcla pulverizada de arena y cemento era "Gunita". Otros términos han sido, y todavía se utilizan, incluyendo "Concreto proyectado" "Concreto de inyección" y "hormigón proyectado". El término "Shotcrete" se usa a menudo cuando se describe una mezcla cuyo tamaño máximo de agregado no es más de 10 mm. (Sprayed Concrete Association, 2016)

- **Definición actual.**

El concreto lanzado es, a decir de la Norma ACI 506 R, "un mortero o concreto lanzado neumáticamente a una gran velocidad contra una superficie". Como se ve en la definición anterior, el concreto lanzado es

sólo un sistema de colocación, por lo que los principios fundamentales de la tecnología del concreto convencional se aplican plenamente.

Esto significa que el concreto lanzado no debe de diseñarse al azar; se debe emplear una mezcla para cumplir los requerimientos técnicos a un costo razonable lo que implica considerar los materiales (cemento, agregados, agua, aditivos, fibras, acelerantes), las condiciones de aplicación, el método de aplicación (vía húmeda o vía seca), la logística del concreto dentro de la mina, los requerimientos de seguridad y salubridad, así como un control de calidad.

### **2.2.2. Elemento Constituyente**

#### **El macizo rocoso y la energía explosiva.**

Las rocas responden de forma muy diferente a la onda de detonación del explosivo en lo que respecta a la primera etapa de formación de fisuras, primordial y origen del fenómeno de rotura y fragmentación. Generalmente se relaciona la volabilidad de una roca con su dureza. Una roca más dura exige una mayor cantidad de explosivo para ser volada. Esto no es exacto pues además del término dureza se debe incluir el aspecto fragilidad.

Una roca dura pero frágil (cuarcita por ejemplo) responde muy bien a esa onda primaria y en consecuencia sobre ella se producen importantes fisuras que en la segunda etapa del trabajo de los gases de explosión son ampliadas. La roca arranca y fragmenta fácilmente. En el extremo opuesto, una roca blanda elástica absorbe la onda de detonación deformándose sin fisurarse y en consecuencia la actuación de los gases del explosivo en la segunda etapa queda disminuida.

Un ejemplo muy ilustrativo de estos extremos se presenta en el uso de cargas de explosivo adosadas a rocas para su taqueo.

En este caso el trabajo de los gases es nulo pues la carga no se encuentra confinada. Su rotura se debe tan solo a la energía cedida a la roca por efecto de la onda de choque.

#### VALORES ORIENTATIVOS DE LA RCS PARA ALGUNOS TIPOS DE ROCAS

Tipo de Roca	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Caliza terrosa blanda	130-250
Caliza grano medio	400-450
Caliza dura grano fino	700-1200
Pizarras	120-200
Cuarcitas	400-600
Granitos	900-1800
Basaltos	400-900

Tabla 2: RCS de los principales tipos de Rocas

Las rocas extremadamente duras pero frágiles rompen bien mientras que las rocas blandas elásticas apenas son fragmentadas.

José Bernaola Alonso, Juan Herrera Herbert (2013), Perforación y voladura de Rocas en minería. España.

### 2.2.3. Contemplaciones Geotécnico de diseño

El ingeniero experimentado especializado debe evaluar la influencia del comportamiento del macizo rocoso en el tiempo, después de su alteración o ruptura de equilibrio, estas condiciones afecta sobre la especificación del hormigón proyectado y su desempeño de tenacidad.

Por ello se emplean herramientas de diseño geotécnicos, basado en métodos empíricos exploratorios que tiene su evolución desde el año 1946.

De los similares métodos y sistemas, el sistema Q introduce el uso del shotcrete reforzado con fibras a través de una tabla gráfica clasificatoria promovido por Grimstad & Barton.

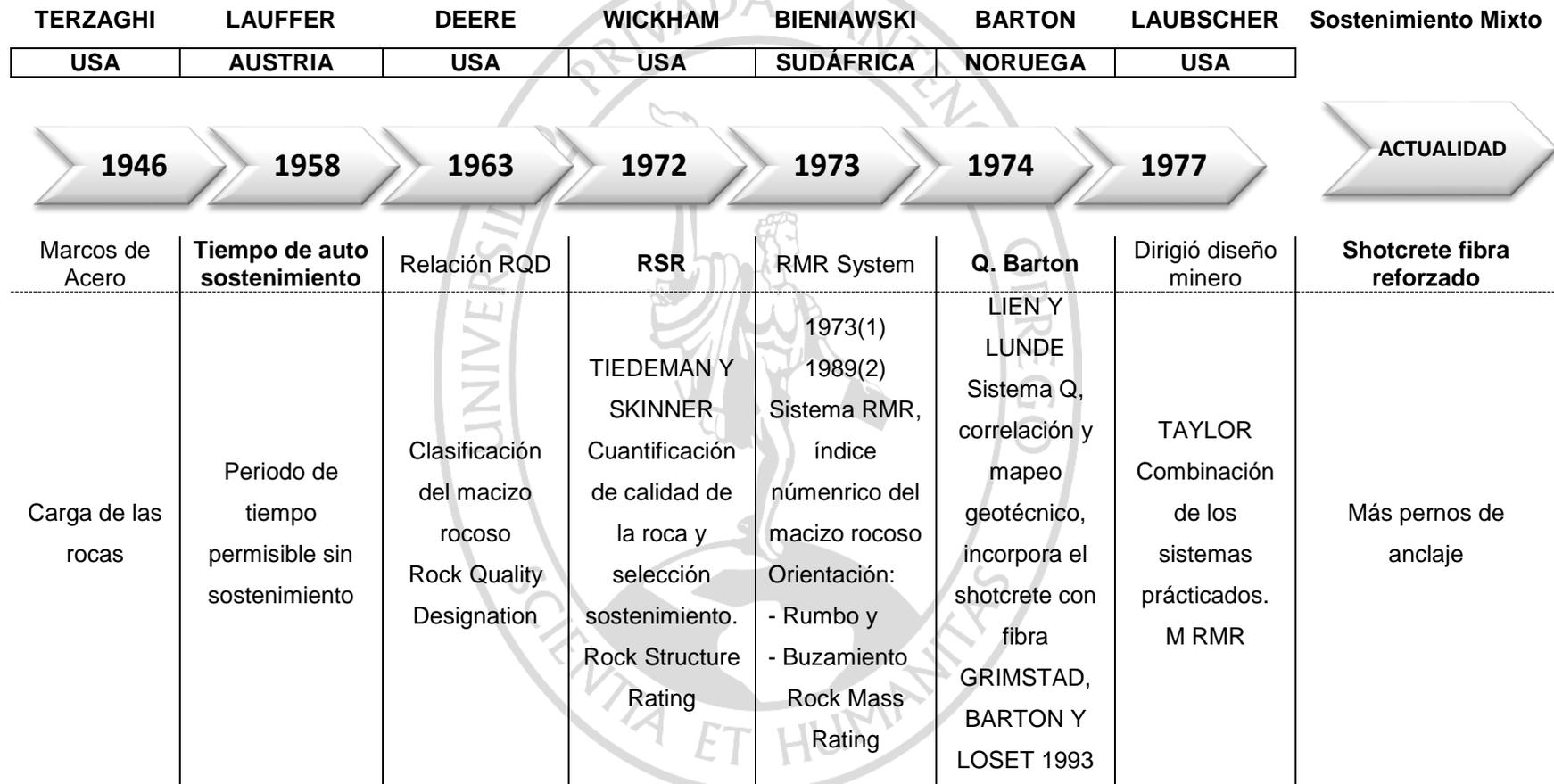


Tabla 3: Línea de tiempo de los métodos y sistemas de sostenimiento

## Clasificación Geomecánica de Barton

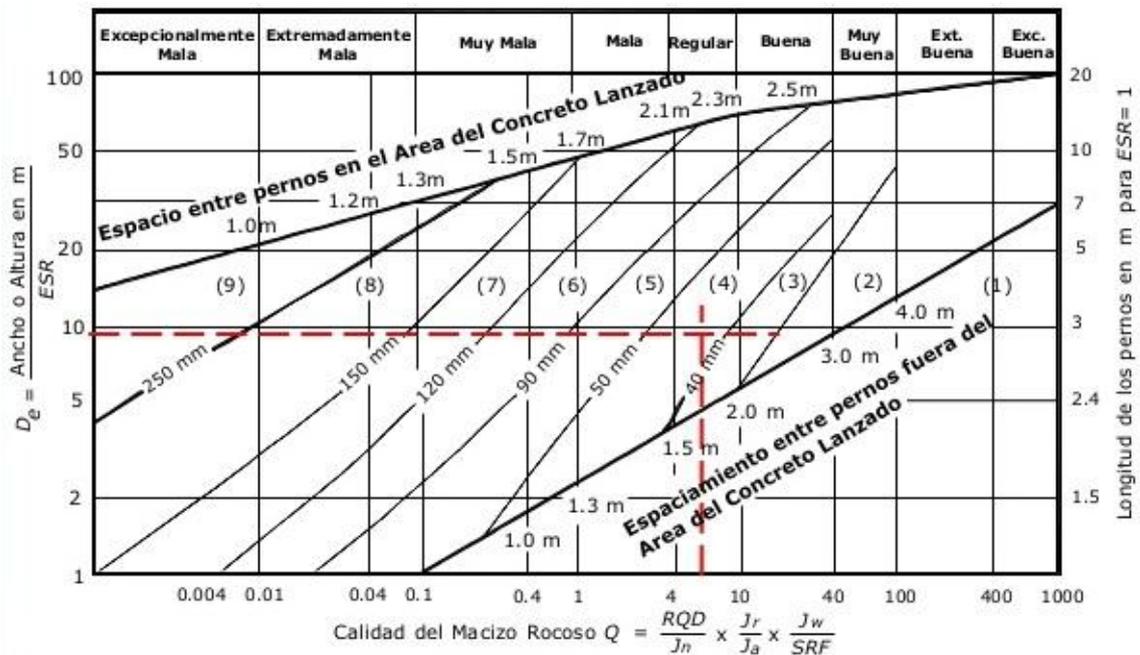


Figura 1. Gráfico de Clasificación Q.  
Fuente: (Grimstad Eystein y Barton Nick, 1993)

- (1) Sin sostenimiento
- (2) Pernos colocados en forma esporádica
- (3) Pernos colocados en forma sistemática
- (4) Perno colocados en forma sistemática + shotcrete no reforzado (40 - 100 mm)
- (5) Perno + shotcrete reforzado con fibra (50 - 90 mm)
- (6) Perno + shotcrete reforzado con fibra (90 - 120 mm)
- (7) Perno + shotcrete reforzado con fibra (120 - 150 mm)
- (8) Perno + shotcrete reforzado con fibra (> 150 mm) + marcos
- (9) Revestimiento de hormigón armado colado en sitio

$D_e$ : Dimensión Equivalente

ESR: Relación Soporte de Excavación.

RQD: Índice Calidad Roca

$J_n$ : Índice Diaclasa del número de familias

$J_r$ : Índice de rugosidad de juntas.

$J_a$ : Índice de alteración de juntas

$J_w$ : Factor reducción presencia de agua.

SRF: Factor Reducción por Esfuerzos.

Como se aprecia estas son las recomendaciones según esta tabla que son muy conservadores, pero se debe tener en cuenta que la selección

del tipo de sostenimiento último, lo define el ingeniero experimentado especialista por inmersión y reconocimiento propio del terreno.

## 2.2.4. Materiales Constituyentes del Shotcrete.

### 1. EL CEMENTO

La guía 506 R; especificación para el shotcrete recomienda el uso de cemento portland Tipo I, fabricado bajo la norma ASTM C 150.

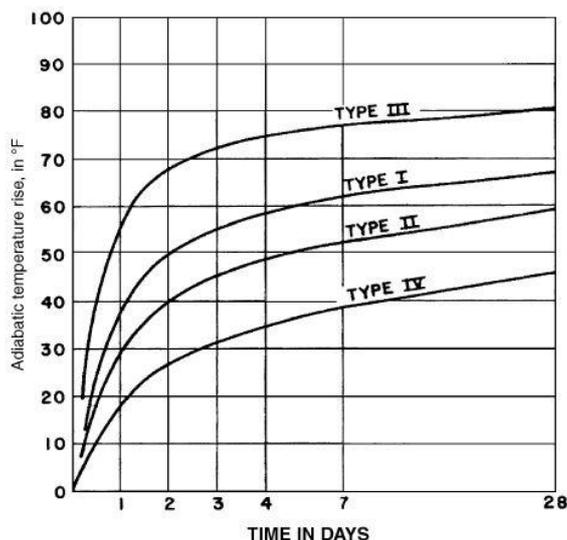


Figura 2: Gráfico de temperatura de los tipos de Cemento  
Fuente: ACI 207-2R. Cap. 4

Estas curvas del gráfico son representaciones de dosis de cemento que va de los  $223 \text{ kg/m}^3$  y el comportamiento de su temperatura para este caso es adiabática.

Para el sostenimiento mecanizado con shotcrete se requiere que se cumpla la especificación de fraguas rápidas y por ende el desarrollo de resistencias tempranamente. Por ello un factor influyente para darse esta característica, es el comportamiento de la temperatura del cemento. En el gráfico ilustrado por el ACI 207, se interpreta que:

Cemento	Edad		Calor de hidratación Magnitud
	7 días	28 días	
Tipo IV	3.8° C	8.3° C	Muy bajo
Tipo II	11.11° C	15.56° C	Bajo
Tipo I	16.67° C	20° C	Medio
Tipo III	25° C	27° C	Alto

Tabla 4: Calor de Hidratación de los tipos de cemento.

En base a la recomendación de uso del cemento portland Tipo I, dada por la guía 506R, tiene una magnitud de calor de hidratación medio. Cabe resaltar que la temperatura o la ganancia del calor de hidratación es sensiblemente variable a sus factores externos, tales como, fineza del cemento, la temperatura ambiente (cambios bruscos) y los movimientos mecánicos de fricción.



*Imagen 1: Cemento a granel en bolsones de 1.5 Tn (big bag).*



*Imagen 2: Cemento con poca frescura de fabricación.*

**Opinión experimental:** Si los materiales componentes del shotcrete y las operaciones de proyectado de la mezcla fresca, por defecto se encuentran en temperatura ambiente cálidos, este no será un factor influyente para la pérdida de slump de la mezcla, porque no recibe ningún golpe o cambio brusco de temperaturas.

## 2. EL ÁRIDO

El árido para el shotcrete llega a ocupar cerca del 65% de volumen en un  $m^3$ , esto quiere decir que el shotcrete está compuesto en mayor parte por el agregado (árido). Por ello el agregado para la preparación de shotcrete debe cumplir características recomendadas por las guías o las normas nacional e internacional.

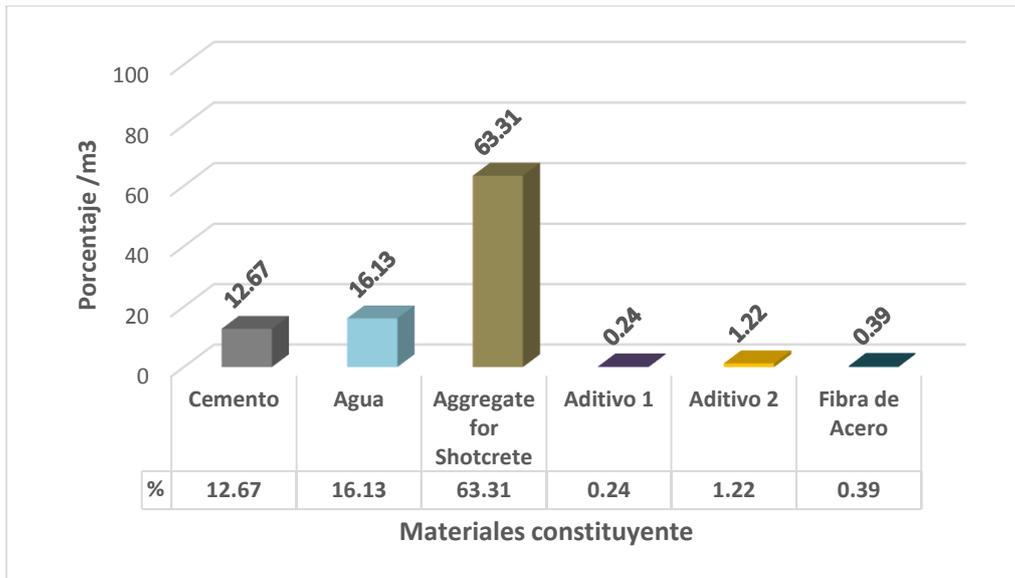


Figura 3: Porcentaje volumétrico de los materiales por unidad de volumen.  
Fuente: Propia

El ASTM C 1436, Estándar de especificación de materiales para el Shotcrete, En el apartado de Resultados **Cap. IV (4.2.1.1) Curvas Granulométricas**, se muestra la tabla de límites de gradación del agregado para la preparación del shotcrete.



Imagen 3: Producción árido



Imagen 4: Árido en planta Premezclado

### 3. EL AGUA

En segundo orden continúa el agua ocupando un 16% de su volumen. La Guía 506 R, en su apartado 2- Materiales, indica que el agua debe ser limpia y potable.

Además debe cumplir con los requisitos bajo las recomendaciones de la tabla 3 - del apartado 5. Materiales, 5.1.3 Agua, de la norma ASTM C 94/C 94 M-03a

Requisitos químicos de concentración máxima en el agua de mezclado			
Hormigones armados en ambientes húmedos	Und	Cantidad	Doc. normativo
Cloruro "Cl"	ppm	1000	D 512
Sulfato "SO <sub>4</sub> "	ppm	3000	D 516
Alcalis (Na <sub>2</sub> O)	ppm	600	
Sólidos totales	ppm	50 000	AASTHO T 26

Tabla 5: Evaluación química del agua.

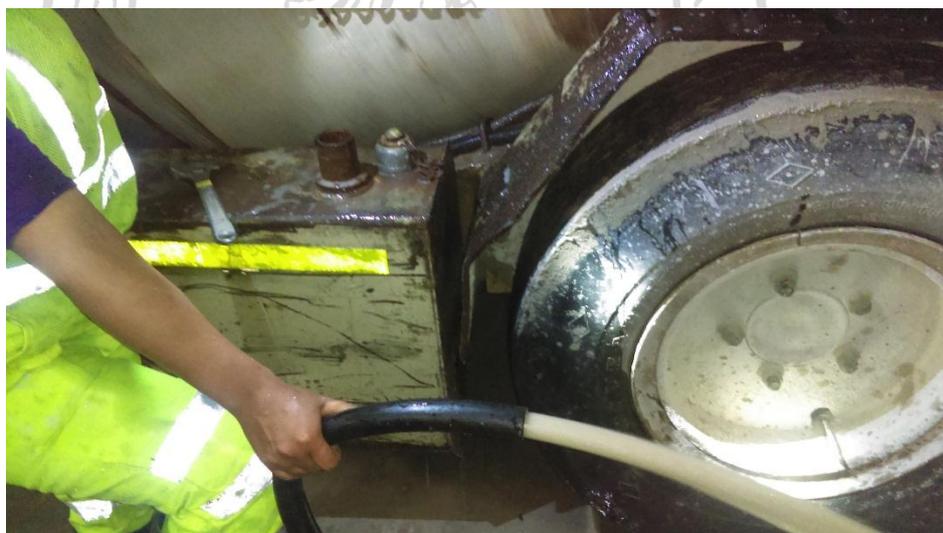


Imagen 5: No apto para producción de mezclas (Contenido de limos y arcillas)



*Imagen 6: Contenido de limos y arcillas*



*Imagen 7: Libre de de limos y arcillas*

#### 4. LOS ADITIVOS

Son aquellos insumos químicos que se adicionan en su mayoría a la mezcla fresca pequeñas cantidades. La tecnología de estos es de constante investigación, que para el caso de la preparación y uso del shotcrete, se requiere aditivos que cumplan y se adapten a las especificaciones del shotcrete característico inherente de cada lugar o proyecto, tanto para su **estado fresco** y **estado endurecido** de la mezcla fresca Shotcrete.

- **Dosificación del aditivo.**

La dosificación de los insumos químicos aditivos se calculan en base a la dosificación del peso del cemento. Los fabricantes dan recomendaciones de dosificación expresado en unidades de porcentaje (%), pero la determinación de la cantidad de dosificación se hace realizando tandas de mezclas en un laboratorio implementado. A la dosificación de aditivo también se le denomina rango de dosificación (%).

## **I. Estado Fresco del Shotcrete.**

Es la característica física inmediata que proporciona el agua y el aditivo, al compuesto de la mezcla, formándose una gran masa pastosa, emplazándose la reacción química inicial del proceso de hidratación, al contener aditivo plastificante hará que el estado fresco aumente y se conserve por un mayor tiempo prolongado de trabajabilidad. Este estado es medible a través de su principal ensayo de consistencia, Método de ensayo normalizado de Asentamiento a la mezcla con cemento hidráulico, ASTM C143.

## **II. Estado endurecido del Shotcrete.**

En esta investigación se considerará el estado endurecido al shotcrete, después inmediato que la mezcla compuesta haya interactuado con la dosificación aditivo acelerante, post inmediato proyectado el shotcrete pasa a la característica física de haber perdido su plasticidad y presto al desarrollo de dureza, dejando de ser maleable, moldeable, iniciando su fraguado inicial. Estado en el cual el aditivo plastificante ha terminado con su reacción efectiva, quedando presto a realizar sus ensayos correspondientes especificados líneas abajo.

Se determina que la aplicación del aditivo plastificante y el aditivo acelerante se dan en dos fases o etapas, en el orden que corresponde.

La primera etapa se da con el aditivo plastificante dosificación a nivel de la planta de premezclado o laboratorio de ensayos si corresponde.

Y en la segunda etapa, se aplica el aditivo acelerante en el tiempo simultáneo o paralelo en la operación del proyectado de la mezcla, a nivel de in situ.

## 4.1 Fase 1 de aplicación

### A. El Aditivo Plastificante

Aquellos que permitirán obtener una mejor plasticidad de trabajabilidad. Los fabricantes, proveedores de aditivos denominan a estos en rangos y grados de obtención de la plasticidad, anteponiendo los prefijos Super e Hiper según corresponda.

- **Super plastificante:** Característica de obtención de buena plasticidad para la mezcla fresca.
- **Hiper plastificante:** Característica de obtención de alta plasticidad, obtiene mayor plasticidad que el super plastificante con la misma cantidad de dosificación.

#### a. Principales Especificaciones técnicas

##### a.1. Plasticidad

Es una característica que demanda el estado fresco del shotcrete, el aditivo debe ofrecer a la mezcla fresca un estado de fluidez libre de segregación, la cantidad de dosis óptima, se verá representado por medio de la prueba o ensayo del Asentamiento de la mezcla fresca, “el slump”. Para la operación del proyectado se requiere un slump no mayor de 8” para sustratos secos y hasta 6” para sustratos húmedos, manteniendo estos rangos el equipo proyectante, tendrá la confiabilidad de que no se produzcan atascamiento u obstrucciones en las líneas de impulsión del bombeo de la mezcla fresca shotcrete.

##### a.2. Mantención de la mezcla fresca

Característica que debe cumplir el shotcrete de mantener adecuada plasticidad, libre de segregación, para los tiempos y distancias que demande las operaciones de minado. Es

importante el entrenamiento al personal que transporta el material fresco shotcrete en los mixer de perfil bajo.

## 4.2 Fase 2 de aplicación

### B. El Aditivo Acelerante

Es constante el estudio e investigación de los aditivos de aceleración del tiempo de fraguas y la velocidad del pronto desarrollo de las resistencias iniciales de la mezcla shotcrete.

Estos se usan estratégicamente en el momento oportuno del colocado final del concreto acelerando el fraguado de la mezcla fresca proyectada y desarrollando resistencias iniciales a temprana edad, pero sucede efectos decrecientes de resistencias en la edad madura del concreto, este aditivo acelerante tiende a tener una menor capacidad de obtención de resistencia final, a comparación de la resistencia de diseño inicial, diseño inicial o Fase 1, donde no interactúa con el aditivo acelerante.

En la actualidad existen aditivos Acelerantes con compuestos alcalinos y Aditivos Acelerantes libre de Álcali.

### Principales Composiciones Química del Aditivo Alcalino

COMPUESTO	FÓRMULA
Aluminato de Sodio	$NaAlO_2$
Aluminato de Potasio	$K_2Al_2O_4 - 3H_2O$
Aluminato de Calcio	$Al_3C$
Hidróxido de Sodio	$NaOH$
Carbonato de Sodio	$Na_2CO_3$

Tabla 6: Composición química del Aditivo Acelerante.

Fuente: Hojas de Seguridad MSDS

### Ventajas:

1. Realizar en menos tiempo nuevas capas para cumplimiento de espesores de recubrimiento.

2. Tendencia a un menor desprendimiento por el fraguado acelerado eficiente sobre la superficie proyectada.
3. Acelera el proceso de hidratación por tanto acelera la ganancia del desarrollo de resistencias iniciales y tempranas.
4. La correcta aplicación cumplirá con el rol de aumento de productividad y mayores números de ciclos de minado.

**Opinión experimental:** Todo fabricante de aditivo debe hacerse responsable de las características y propiedades que ofrece a la mezcla shotcrete, probadas previamente en laboratorio, para aceptación de su uso en la producción industrial o masiva.

Quiere decir que si las propiedades de los demás componentes del shotcrete no cambian, entonces en ningún caso las dosis definidas en laboratorio de los aditivos no deben aumentarse en los procesos siguientes, caso que se fuerce a un aumento de dosificación, es un indicativo de cambios químicos propios del aditivo, debiendo ser difundido por los responsables caso contrario es perjudicial para el usuario.



**Imagen 8:** Muestreo retención de aditivos



**Imagen 9:** Sistema de bombeo de aditivo en Planta Premezclado

## 5. Adición fibras refuerzo

En la lucha por la longevidad del shotcrete y la fisuración, es uno de los mayores rompecabezas al que se enfrentan los calculistas en este tipo de proyectos. Anteponerse a este problema es una de las claves de la ingeniería actual, y una de las razones por la cual el shotcrete reforzado con fibras ha ganado adeptos durante los últimos 40 años.

<http://bestsupportunderground.com/shotcrete-reforzado-con-fibras/>

### Propiedades y características de las fibras:

Material	Sintético	Acero
Largo	48 – 50 mm	35 mm
Diámetro	-	0.55 mm
Relación L/D	-	65
Resistencia a la tracción	610 – 640 Mpa	1345 – 1850Mpa
Superficie	Relieve	Liso
Densidad	0.90 – 0.92	7.85 g/dm <sup>3</sup>
Módulo Elasticidad	10 Gpa	200 – 210Mpa
Punto de fusión	150° C – 170° C	-
Punto de ignición	Mayor a 450° C	-
Resistencia álcali	Excelente	Malo
Presentación unidad fibra	suelta	Suelta / encolado

Tabla 7: Tipos de fibra

### Opinión experimental:

En la mezcla del shotcrete, la cuantía de dosificación de kilogramos de fibra por  $m^3$ , sea la fibra de material distinto, se define su dosificación completa elaborando pruebas propiamente dicha a escalas menores; preparación de tandas de mezclas no menor a 40 litros. A pesar de la recomendación de dosificación dada por el fabricante. A través de esta se conocerá, desde que cantidad de dosificación se da inicio a la proporción de propiedades mecánicas requeridas, así también sus escalas y límites de dosificación útil.

## 2.2.5. Propiedades de los principios físicos y mecánicas del Shotcrete.

El shotcrete en la construcción del túnel trabaja como un elemento estructural y por lo tanto está dotado de propiedades mecánicas resistente.

### I. Módulo de Elasticidad (Ec)

Conocido también como módulo de Young, es un parámetro de medida a la rigidez mecánica de un material, en un gráfico de esfuerzo y deformación está delimitado por la región elástica.

El cuerpo del shotcrete en este rango de propiedad puede deformarse con la posibilidad de regresar a su estado inicial.

El módulo de elasticidad del shotcrete sin refuerzo generalmente es de 25-30 GPa a la edad de un año.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} = \sigma \quad \frac{L - L_0}{L_0} = \varepsilon$$

#### **Opinión experimental:**

El shotcrete mezclado con aditivos acelerantes alcalinos pierde propiedades de rigidez.

### II. Esfuerzo y Deformación

El shotcrete propiamente dicho, debe ser reforzado con la adición de material de fibra refuerzo (acero, polietileno, etc.). Este elemento estructural, al estar sujeto a continuos esfuerzos es tendencia conocer las capacidades resultantes de deformación, como; su límite de elasticidad, límite elastoplástico, su límite de fluencia (cedencia), su límite de endurecimiento y seguidamente su límite de resiliencia última, cual logra desempeñar el Shotcrete debido a la adición del refuerzo.

a. Representación gráfica.

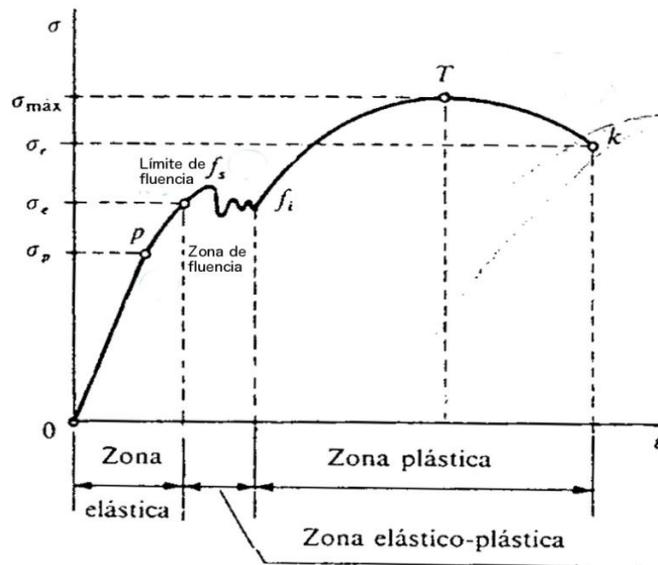


Figura 4: Comportamiento típico de esfuerzo y deformación.

Fuente: Internet wikipedia

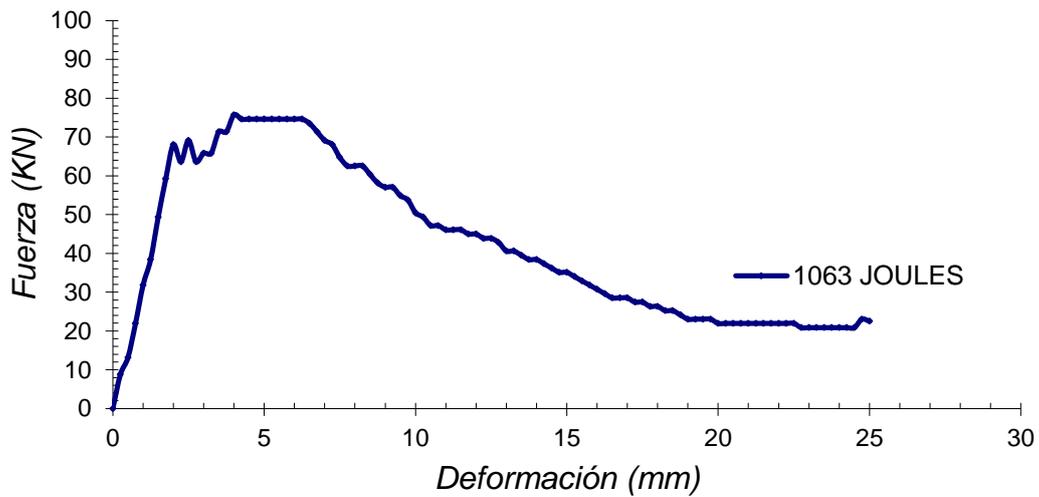


Figura 5: Comportamiento típico de Fuerza vs Deformación del Shotcrete reforzado con Fibra metálica 65/35

Fuente: Propia



*Imagen 10: Panel con fibra sintética (D57)*

*Imagen 11: Panel con fibra metálica (65/35)*

### b. Determinación de la absorción de energía.

Siguiendo las definiciones por EFNARC, el ensayo de absorción de energía es hasta la deflexión de 25 mm y se calcula:

$$\mathcal{T} = \int_a^b \sigma(\epsilon) d\epsilon$$

$\sigma$ : Esfuerzo normal (KN, N)  
 $\epsilon$ : Deformación unitaria (Cada ¼ vuelta)

$$E_{25mm} = \int_0^{0.00025} \sigma_N(\epsilon_{0.00025}) d\epsilon$$

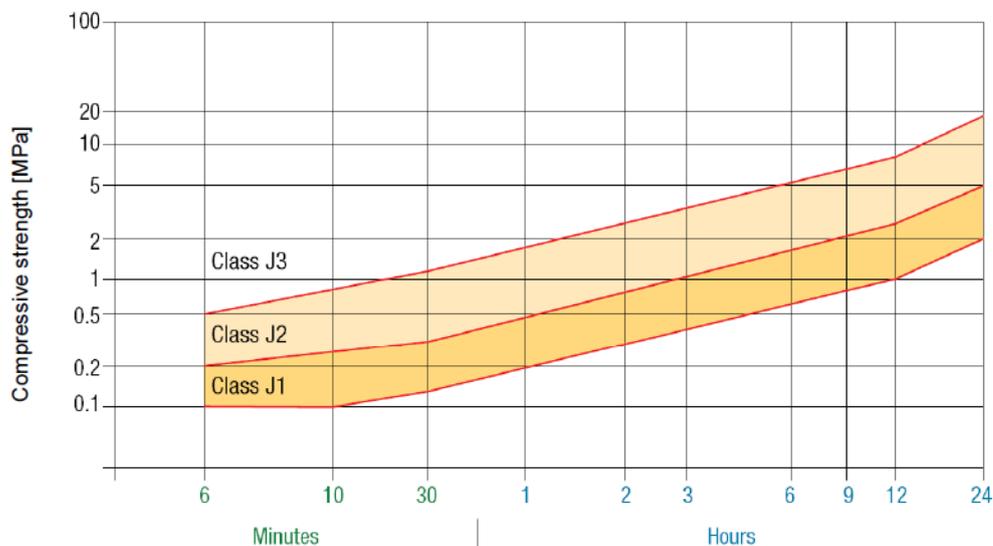
### c. Determinación de las clases de resistencias

Deben determinarse requisitos especiales para el hormigón proyectado en la construcción de túneles y determinar la clase de resistencia temprana sea J1, J2 o J3, según la relevancia de la edad y del grado de seguridad. Por ello a la mezcla shotcrete post inmediato a su colocado final para determinar sus propiedades

mecánicas de esfuerzos sobre el área, se logra ordenar una clasificación de resistencias y ensayos, que va desde medición de su fragua inicial hasta su resistencia final, ejecutados con los instrumentos indicados y siguiendo los procedimientos de las normativas de métodos de ensayo.

CLASES DE RESISTENCIA DEL SHOTCRETE				
DESARROLLO	INSTRUMENTO	NORMATIVA	RESISTENCIA	TIEMPO
<b>Fragua inicial</b>	Penetrometro de bolsillo	ASTM C 403	500 lb/pulg <sup>2</sup>	5-10 min
<b>Resistencia Inicial</b>	Penetrometro digital	EN 14488-2 (MÉT. A)	0 hasta 1.5 Mpa	1 a 3 horas
<b>Resistencia temprana</b>	Pistola Hilti DX 450 SCT	EN 14488-2 (MÉT. B)	3 a 20 Mpa	3 a 24 horas
<b>Resistencia final</b>	Maquina Compresión axial	ASTM C 39	>36 Mpa	28 días

Tabla 8: Tipos y clases de Resistencias de Shotcrete.



Fuente: 1998. Österreichische Bautechnik V (OBV)

## CLASE J1

El Shotcrete de la clase J1 es apropiado para la aplicación en capas delgadas en un substrato seco.

No se esperan requisitos estructurales en este tipo de hormigón proyectado durante las primeras horas después de su aplicación.

## **CLASE J2**

El Shotcrete de la clase J2 se utiliza en aplicaciones donde las capas más gruesas tienen que ser alcanzadas dentro de poco tiempo.

Este tipo de hormigón pulverizado se puede aplicar sobre la corona y es adecuado incluso en circunstancias difíciles en caso de ligero flujo de agua, carga de trabajos inmediatos posteriores como perforación y chorreado.

## **CLASE J3**

El Shotcrete de la clase J3 se utiliza en caso de roca altamente frágil o afluencia de agua fuerte.

Debido a su ajuste rápido, se produce más polvo y rebote durante la aplicación y, por lo tanto, el hormigón rociado de la clase J3 sólo se utiliza en casos especiales.

No solamente debe ser un programa control de implementación, si no debe ser un programa de control obligatorio.

Así como también los requisitos de Diseño de la Mezcla, requisito Estructural, de Durabilidad o tiempo de vida operativa de diseño.

El sostenimiento mecanizado, se le agrega estos requisitos específicos para el fehaciente cumplimiento, en aras al factor demanda de tiempo, en beneficio a la rapidez de los ciclos de minado dentro de los marcos de seguridad.

### **2.3. HIPÓTESIS**

El estudio de reducción del índice de rebote influye sustancialmente en la evaluación del rendimiento de la mezcla fresca shotcrete en proyectos de espacios subterráneos.

## 2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 2.4.1 Definiciones

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional
<b>Reducción del índice de rebote del shotcrete</b>	Grado de desperdicio de material shotcrete no adherido en el la operación de lanzado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Proyectado del material shotcrete (Cemento, fibra, aditivos y arena)</li> <li>b) Pericia del Operador de robot lanzador</li> <li>c) Confiabilidad equipo robot lanzador presurizado</li> <li>d) Sobre excavaciones y desatado de roca suelta ineficiente.</li> <li>e) Cubicación de material y cálculo del índice de rebote.</li> </ul>
<b>Evaluación del rendimiento de la mezcla fresca shotcrete</b>	Cantidad de área de recubrimiento con shotcrete del túnel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Revisión de los registros de cubicación de la mezcla fresca shotcrete</li> <li>b) Reajuste de precisión de la curva granulométrica</li> <li>c) Revisión de avance lineal por <math>m^2</math>.</li> </ul>

**Variable independiente**

**Rebote = X**

**Variable dependiente**

**Rendimiento = Y**

### 2.4.3 Matriz operacional de las variables

Variable	Tipo de Variable	Operación	Categoría o Dimensiones	Definición	Indicador	Nivel de Medición	Unidad de Medida	Instrumentos
<b>Rebote (Desperdicio)</b>	Independiente	Cantidad material no adherido en la operación lanzado del shotcrete.	Técnico	<i>Técnico:</i> Propiedad del material shotcrete que no adhiere.	Volumen metros cúbicos	Nominal	Cuantitativa	Recipiente volumétrico 0.20 m3. Formatos Excel
<b>Rendimiento</b>	Dependiente	Cantidad área de recubrimiento en la operación proyectado del shotcrete.	Humano Financia	<i>Humano:</i> Personal capacitado especialista <i>Financia:</i> Recurso infraestructural	Área Metros cuadrados	Nominal	Cuantitativa	Distanciómetro /flexo

**Variable independiente**

**Variable dependiente**

$$\text{Rebote} = x_{\text{Roca buena}}$$

$$\text{Rebote} = x'_{\text{Roca mala}}$$

$$\text{Rendimiento} = Y$$

(< Rebote) → (Rendimiento >)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

##### Tipo de Investigación

##### 3.1.1 Investigación No experimental

En esta etapa el centro de información se da con la observación del comportamiento del proceso de operación de proyectado del Shotcrete. Entonces para poner en marcha la idea principal, es muestrear el material de rebote representativo, sin alterar variables del comportamiento propio del material shotcrete proyectado, sin alterar las condiciones propias que presenta el terreno, la pericia del operador, la confiabilidad del equipo robot, la presión de aire y la calidad de la mezcla fresca en la operación.

##### 3.1.2 Investigación Prospectiva

Para recoger y registrar los datos primarios de información de campo, se llevó a cabo el seguimiento del mismo, realizando una previa programación secuencial de las actividades a realizar, reconociendo cada una de ellas por cada ingeniería especialista.

En la ejecución de los mismos se presentó condiciones favorables y desfavorables por la misma dinámica de las operaciones de minado.

##### 3.1.3 Investigación Longitudinal

De la lista de actividades de Control de Calidad, se tomó varios números de registros de datos, de la repetitividad de las diferentes actividades.

#### 3.2 Niveles de investigación

##### 3.2.1 Investigación exploratorio

Revisada la literatura para esta tesis se adopta una perspectiva secuencial que va desde estudios exploratorios, visualizando el objetivo en examinar o profundizar en el tema del título propuesto, debido a que existen otras tesis locales que solo lo mencionan el problema de investigación del Rebote del Shotcrete y a nivel internacional información parcial. Se aprovecha la familiarización de trabajo con la obtención de

información de laboratorio y campo del comportamiento del fenómeno complejo del rebote.

### **3.2.2 Investigación descriptivo**

Por su profundidad alcanza ser descriptiva, para que esta tesis le permita a otros y nuevos autores fundamento de origen y soporte para sus propias investigaciones, porque en esta se especificará propiedades y características del fenómeno y a través de la elaboración de un protocolo de muestreo del material de rebote realizar ensayos en laboratorio del mismo, resultando un pre dimensionamiento de la arena para shotcrete por precisión granulométrica.

### **3.2.3 Investigación correlacional**

Se guarda correlación entre sus variables de Rebote (desperdicio) del shotcrete y rendimiento de área sostenida, midiendo sus características físicas en la operación del sostenimiento, desde antes de la preparación de la mezcla a nivel de planta de premezclado; donde se obtiene un pronóstico del futuro comportamiento o desempeño, durante, cuando se transporta y se coloca el material; obteniendo el comportamiento esperado en su estado fresco y post ejecución, cuando el material ha sido colocado; obteniendo el comportamiento final de desempeño, registrando datos que servirán como patrones de trabajo.

### **3.2.4 Investigación explicativo**

Se pretende determinar y explicar las causas, para que surjan efectos que aporten reajustes o modificaciones, transformando el fenómeno complejo del rebote, en un hecho cuerdo, equilibrado y determinante. Quedando a disposición para su comprobación de la hipótesis, a través de los métodos técnicos aplicativo propuesto en este material de investigación, en contribución y conocimiento del atenuado fenómeno estudiado.

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

#### 3.3.1 Población de estudio

##### I. Cantera del material árido

Para este caso de estudio de población lleve a cabo el estudio de la cantera de la playa de arena del río Parcoy, arena integral procesado en planta de zarandeo para obtener la arena para producción de mezcla Shotcrete.

##### ▪ La playa de arena del río Parcoy.

Es una superficie de material integral de río, que de forma natural y en el sentido de su cauce termina en una laguna, aguas abajo.

La cantera tiene el potencial de suministrar material la cantidad que se requiere, debido a la acción de sedimentación de material granular natural aguas abajo. La extensión de la superficie efectiva de material integral de río y de los trabajos se aproxima a las 180 hectáreas.

Se tiene en cuenta que por efectos climáticos tiene temporadas de elevación de su cauce, por lo tanto, produce efectos de variabilidad sobre el material integral para shotcrete. De cuales se toma previsiones tales como:

1. Producir material arena para shotcrete a doble turno programados dentro de los meses de temporada de verano de la zona.
2. La producción de arena producido a doble turno se almacena, generando stock de suministro para los meses de lluvias.

Este potencial de la población tiene la siguiente identificación:

- **Ubicación:** Localidad de Pías, Parcoy, Retamas, Provincia de Patate, departamento de La Libertad

- **Ubicación UTM:**

<b>ESTE:</b>	220784.050
<b>NORTE:</b>	9124186.502
<b>ZONA:</b>	18 M



*Imagen 12: Laguna Pías  
Fuente: Google Maps*



*Imagen 13: Playa de arena del río Parcoy en Pías  
Fuente: Google maps*



*Imagen 14: Ubicación de la planta de zarando.  
Fuente: Google maps*



*Imagen 15: Rio Fuente de extracción de material integral.  
Fuente: Propia*



*Imagen 7: Playa de material integral*  
*Fuente: Propia*



*Imagen 8: Planta de zarandeo y producción de arena para Shotcrete.*  
*Fuente: Propia*

### 3.3.2 Muestra de estudio

#### II. El Árido pre lanzado

El material árido para elaborar el Shotcrete, inicialmente es un material integral para ser procesado en la planta zaranda a pie de río de la cantera Pías-Retamas, siendo este la fuente o potencial, que suministra la cantidad y calidad de material árido requerido.

El suministro de arena procesada es transportado en volquetes de 18 y 20 m<sup>3</sup> de capacidad, siendo descargados en una o varias plantas de premezclado industrial que se encuentran instaladas dentro de las operaciones mina.

En esta cantera se logra procesar la cantidad de 200 m<sup>3</sup> de árido por día, existe algunas complicaciones de producción del árido para shotcrete en las temporadas de lluvia.

Se tomó las muestras de los acopios de los conos de arena procesadas por la planta, sea en la misma cantera o según sea el caso. Se verificó previamente sus características para poder conocer indicios del futuro comportamiento del shotcrete compuesto con respecto a la trabajabilidad y aporte a la calidad del sostenimiento definitivo.



*Imagen 16: Muestreo de material árido procesado.  
Fuente: Propia*



*Imagen 17: Traslado de material árido muestreado en recipientes no absorbente.  
Fuente: Propia*

Para la toma de las muestras se siguieron las recomendaciones de las normas técnicas, tal como; la Norma Técnica Peruana NTP 400.010. (4.4. Número y masa de las muestras de campo: Tabla 1 – Medida de las Muestras). Transcrito íntegramente de la norma técnica ASTM D 75.



Para la ejecución de la muestra de estudio se elabora el siguiente PETS.

## Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro - PETS

### PROCEDIMIENTO NORMALIZADO PARA EL MUESTREO DE LOS ÁRIDOS – ASTM D 75

#### 1. OBJETIVO

Establecer las prácticas y brindar los conocimientos de los lineamientos y metodología de la norma, agregando y siguiendo los pasos obligatorios por la seguridad integral del personal interactuante y equipos.

#### 2. ALCANCE

Este PETS se aplicará para el muestreo del material árido y será evaluado en laboratorio previamente para ser utilizado en la preparación de la Mezcla Shotcrete.

#### 3. DEFINICIONES

##### ▪ ÁRIDO

Material obtenido de sustratos de suelos evaluados para procesamiento mecanizado de chancado o zarandeo, o procesamiento combinado, estos pueden conservar su forma natural o nuevas formas en sus aristas, según su procesos que corresponda.

##### ▪ ACOPIO

Material natural o procesado, trasegado de su lugar de origen a una zona o área libre de agentes contaminantes, para su acumulación y almacenaje.

##### ▪ HUMEDAD

Es el contenido de agua adherido en alguna materia o partícula captada del medio ambiente.



- **GRANULOMETRIA**

Es un conjunto de pasos ordenados que identificará la gradación de los materiales granulares a través de tamices.

- **CURVA GRANULOMETRICA**

Es la unión secuencial de líneas segmentadas, obtenida del cálculo del material porcentaje pasante.

- **TAMIZADO**

Agitación manual o mecánica del tamiz, para que el material vertido de diversos tamaños pase a través de ello y otros tamaños se retengan en el mismo.

- **ENSAYOS FÍSICOS DE ÁRIDOS**

Conjunto de procedimientos técnicos basados en las normas nacionales e internacionales, destinados a verificar totalmente sus propiedades, características mecánicas y determinación de su calidad.

#### 4. DEFINICIONES DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

- **PELIGRO**

Situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a personas, equipos, proceso y ambiente.

- **RIESGO**

Probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a la persona, equipos y al ambiente.

- **INCIDENTE**

Suceso con potencial de pérdida acaecido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo, en el que la persona afectada no sufre lesiones corporales.

- **ACCIDENTE**

Todo suceso repentino que sobrevenga por causa u ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o muerte.

- **EVALUACIÓN DE RIESGO**

Proceso posterior a la identificación de peligros, que permite valorar el nivel grado y gravedad de aquellos, proporcionando la información necesaria para que el titular de la actividad, empresa, contratista, trabajadores y visitantes estén en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la oportunidad, propiedad y tipo de acciones preventivas que deben adoptar, con la finalidad de eliminar la contingencia o proximidad de un daño.

- **ASPECTO AMBIENTAL**

Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

- **IMPACTO AMBIENTAL**

Cualquier cambio o alteración en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, total o parcialmente resultante de las actividades, productos servicios de una organización.

## **5. PERSONAL RESPONSABLE**

### **Ing. Control de Calidad**

- Facultado para difundir los conocimientos de la geotecnia y los avances tecnológicos.
- Implementar y actualizar el sistema de gestión de calidad
- Preservar la seguridad integral del personal y del medio ambiente.

### **Técnico Control de Calidad**

- Personal capacitado, acreditado y autorizado para ejecutar con seguimiento los ensayos de los materiales en laboratorio, conservando los procedimientos del PETS respectivo.
- Realizará las actividades guardando las medidas y las herramientas de gestión de seguridad impartidas por el sistema.
- Registrar y actualizar los datos resultantes en los formatos del sistema
- Responsable de sostener la comunicación efectiva de los resultados u cualquier observación.

#### **Auxiliar de Control de Calidad**

- Adjunto del Técnico Control de Calidad, participante activo de las medidas y herramientas de seguridad.
- Apoyo continuo del seguimiento de los ensayos de los materiales de laboratorio y de campo.

### **6. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

#### **EPP BÁSICO (Uso Obligatorio)**

- Casco de seguridad
- Lentes de seguridad claros u oscuros, según las condiciones del clima
- Uniforme de trabajo y chaleco con cinta reflectiva
- Zapatos de seguridad con punta de acero
- Bloqueador solar.

#### **EPP ESPECÍFICO (Uso Obligatorio)**

- Respirador de media cara con filtros para polvo
- Protector auditivo
- Guantes de cuero resistente al calor.

### **7. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES**

- Camioneta
- Radio de Comunicación
- Cocina a Gas

- Pala
- Sacos de poliyute
- Pizarra acrílica
- Juego de tamices
- Balanza
- Tazones
- Brocha
- Cucharón

## **8. PERMISOS Y RESTRICCIONES**

- No realizar los trabajos sin autorización y sin herramientas de gestión de seguridad (IPERC Continuo).
- Es obligatorio usar los Epps específicos en todo momento del desarrollo de la actividad.
- Prohibido sacar muestras de campo en condiciones climáticas de peligrosidad.
- No se debe realizar trabajos específicos si no se encuentra capacitado y acreditado.
- No ingresar a las zonas de muestreo sin autorización del operador de maquinaria pesada.

## **9. PROCEDIMIENTOS**

### **1. INSPECCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

El encargado de laboratorio preparará las herramientas manuales e instrumentos inspeccionando que se encuentren en buen estado antes de realizar el muestreo y los ensayos en laboratorio, u otro caso corregir alguna condición subestandar.

### **2. SOLICITUD DE PERMISO DE ACCESO**

Se solicita el permiso al operador de cargador frontal para ingresar al acopio y realizar el muestreo, el ingreso y salida será en vehículo camioneta. Y señalizar el área antes del proceso.

### 3. INSPECCIÓN DEL MATERIAL DE ACOPIO

Se realiza la inspección visual del material acopiado e identificar irregularidades o agentes externos contaminantes en material acopiado.

### 4. MUESTREO DE MATERIAL

Se toma la muestra de la zona media del cono apilado profundizando 0.30 m. con la pala, luego sustraer material representativo de diferentes puntos alrededor, hasta obtener una muestra mínima según tabla indicada.

O según corresponda el método de muestreo recomendado por la Norma Técnica Peruana NTP 400.010.

- Muestreo de flujos de áridos
- Muestreo de Fajas transportadoras
- Muestreo de Unidades de transporte
- Muestreo de material de su colocado final

Tamaño Máximo Nominal		Masa mínima muestra de campo
Agregado fino		
(mm)	<b>Tamiz</b>	<b>Kg</b>
<b>2.36</b>	<b>[N° 8]</b>	10
<b>4.76</b>	<b>[N° 4]</b>	10
Agregado Grueso		
<b>9.5</b>	<b>[3/8 in]</b>	10

*Tabla 9: Masa mínima muestra de campo*

Según esta tabla con la cantidad mínima de muestreo recomendado sería lo suficiente para los ensayos básicos rutinarios de calidad.

### 5. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Una vez obtenida la muestra se debe identificar marcando sobre el recipiente contenedor el nombre del tipo de material, procedencia, cantera, ubicación y fecha.

### 3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para poder alcanzar los objetivos, elaboré un plan de trabajo, seleccionando los mas adecuado en base a la idea principal. El diseño propuesto incide en generar un método práctico para controlar la variable independiente del “Rebote del shotcrete”

Se busca proporcionar al método práctico los mecanismos apropiados para llegar a maximizar la variable dependiente V.D., minimizar, reducir a la variable independiente V.I. y proponer controles necesarios.

El amplio campo de las operaciones, procesos de minado y construcción de túneles, se suscitan problemas o fenómenos que afectan severamente recursos como; el recurso humano, la infraestructura, los equipos y materiales. De las acotaciones líneas arriba se evalúa que el efecto de rebote se relaciona estrechamente en tres eslabones matriciales:

1. Técnica de lanzado del operador de equipo robotizado: experimentado, pericia del operador.
2. El equipo robotizado lanzador
  - Autonomía de aire comprimido
  - Dosificación Aditivo Acelerante
3. La calidad del material fresco shotcrete – Laboratorio Control de Calidad.

Los factores influyentes interpretados de la generación excesiva de material rebote, me conduce a la necesidad de aplicar y asumiendo validez interna de un Diseño de investigación experimental.

#### 3.4.1 Diseño de Investigación Experimental:

Del diseño de investigación los trabajos a realizar son netamente esencia de controles, con el empleo de instrumentación normada y certificada, características que llevan a alcanzar el alto grado de validez interna. En esta oportunidad no se llega a manipular intencionalmente la variable independiente V.I., pese a tener la opción de pasar a ese nivel, pero se debe elaborar un nuevo plan, que demandará de otro nuevo tiempo y recursos, pero si, se deja como base de información el método práctico desarrollado en el capítulo de los resultados, para que futuros autores puedan manipular la V.I.

### **3.4.2 Diseño unifactorial:**

Definido la única variable independiente V.I. del Rebote del Shotcrete, se realiza y se establece las comparaciones de la misma V.I. para que los nuevos investigadores suban su información y verifiquen entre sus nuevos valores resultantes.

### **3.4.3 Diseño univariado:**

Igualmente se definió una única variable dependiente V.D., la del Rendimiento de Shotcrete, quién depende de la cantidad de rebote del shotcrete producido en la operación del robot lanzador.

### **3.4.4 Estructura plan estratégico**

El procedimiento es obtener muestreo de material shotcrete post inmediato a la operación del proyectado con el equipo maquinaria robot lanzador. Obtenido el muestreo en recipiente de material resistente, inmediato se le dará un tratamiento de lavado total y decantación del agua que contiene cemento con aditivo.

Lavada la muestra se protege para trasladar a laboratorio y realizar ensayos para conocer su nueva característica granulométrica, identificando cuales son los tamaños granulares del compuesto de la mezcla que no adhieren al sustrato o superficie rocosa proyectado.

Tal es así, que esta tesis propone abordar un replanteo correlacional compensatorio de la curva granulométrica inicial del árido para el shotcrete, generando una nueva curva granulométrica post análisis granulométrico del material arena rebote del shotcrete.

Por ello se subdivide dos estrategias de estudio y seguimiento:

**I) Seguimiento al Sosténimiento con Shotcrete vía húmeda**

**II) Estrategia del muestreo del árido del Shotcrete post lanzado**

Se trabajó también con un Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) para el caso del Sosténimiento con Shotcrete vía húmeda.

## I) Seguimiento al Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda

Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro - PETS

### SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA HUMEDA

#### 1. OBJETIVO

Establecer las prácticas y brindar los conocimientos de los lineamientos y metodología de los trabajos operacionales del sostenimiento con Shotcrete, siguiendo pasos obligatorios por la seguridad integral del personal interactuante, la infraestructura a construir y los equipos.

#### 2. ALCANCE

Este PETS se aplicará para la correcta operación del sostenimiento con Shotcrete, que generará el pronóstico esperado, basado en los estudios previos de los especialistas.

#### 3. PERSONAL PARTICIPANTE

- 3.1 Supervisor de Sostenimiento
- 3.2 Operador de robot
- 3.3 Operador de Mixer
- 3.4 Ayudante de Robot
- 3.5 Supervisor Laboratorio Shotcrete
- 3.6 Auxiliares de Control de Calidad

#### 4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL EPPS

- 4.1 Protector tipo jockey – Casco
- 4.2 Lampara para casco
- 4.3 Barbiquejo
- 4.4 Lentes de seguridad
- 4.5 Orejeras
- 4.6 Respirador con filtros y cartuchos
- 4.7 Chaleco, uniforme cinta reflectiva
- 4.8 Guantes dieléctrico
- 4.9 Bota punta acero

## **5. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES**

- 5.1 Equipo robot lanzador
- 5.2 Mixer bajo perfil
- 5.3 Herramientas de gestión de seguridad
- 5.4 Comba 6 lb y herramientas manuales
- 5.5 Balde y jarra milimetrada.
- 5.6 Flexómetro

## **6. PROCEDIMIENTO**

- 6.1 Inspección técnica equipo robot lanzador antes y después de cada trabajo u operación
- 6.2 Verificación caudal aditivo acelerante
- 6.3 Inspección del desatado, re desatado de roca material suelto y libre de presencia de agua empozada sobre el frente de terreno.
- 6.4 Verificar la accesibilidad y pendientes del terreno.
- 6.5 Verificación de iluminación, ventilación y tomas de energía eléctrica.
- 6.6 Verificación de protección con manta el frente con veta mineral
- 6.7 Ingreso y parqueo de equipo robot lanzador en el frente a sostener
- 6.8 Inspección de suministro de aire comprimido autónomo o de líneas de alimentación. De 3 bares – 6 bares.
- 6.9 Llegada Mixer para suministro de mezcla fresca shotcrete con slump de 6 – 8”
- 6.10 Inicio de suministro y proyectado del shotcrete primera capa con ajustes de rango dosificación aditivo acelerante.
- 6.11 Colocación de calibradores con la barretilla telescópica adecuadas y control de espesor
- 6.12 Proyectado de segunda capa después de la fragua inicial y complemento de espesor, acabado uniforme.

## **7. RESTRICCIONES**

- 7.1 Si durante el proceso presenta falla mecánica o dosificaciones de aditivo acelerante detener la operación, ponerse a buen recaudo y reportar.

7.2 Si durante el lanzado se produce atascamiento realizar maniobras solo si el área está despejado libre de personal.

7.3 Si durante la operación ocurre corte de energía, no habrá ventilación e iluminación, detener y ponerse a buen recaudo.

## 8. RIESGOS

8.1 Asfixia por gases

8.2 Golpes y aplastamiento por caída de rocas sueltas

8.3 Golpes y aplastamiento por caída de shotcrete

8.4 Golpe por caída al mismo nivel

8.5 Stress o golpe de calor

8.6 Atropello por equipos

8.7 Electrocutación

8.8 Quemadura a la piel por contacto de aditivo acelerante en polución

8.9 Hipoacusia generado por alta exposición de ruido de equipos.

Siguiendo este procedimiento se concibe que existe un porcentaje de material shotcrete que no adhiere al sustrato proyectado.

### II) Estrategia del muestreo del árido del Shotcrete post lanzado

Muestreo de material rebote que se tomó inmediato al post operación de lanzado o proyección del shotcrete, de acuerdo a las prácticas recomendadas en esta tesis, se debe seguir el siguiente procedimiento:

**1. Tendido de lona:** Antes de la operación de lanzado se habilitó una lona de nylon resistente tendido sobre toda la superficie del terreno a proyectar el shotcrete, se recomienda realizar esta práctica en los frentes de terrenos que guarden horizontalidad o terrenos mas adecuados, tomando las medidas de seguridad por desprendimiento de rocas sueltas.

- Usar bastones desplegable para tender la lona sin exponerse a la línea de fuego.

**2. Retiro de lona:** Se retira la lona con material rebote de la zona recién sostenido a un lugar seguro y libre de tránsito de maquinarias. Tomando medidas de seguridad necesarias.

3. **Acopio material rebote:** Acopiar inmediato el material rebote y tomar muestreo representativo en recipiente impermeable no absorbente, cantidad no menor a 10 kg.
4. **Lavado de material rebote:** Lavar inmediatamente tomada el muestreo, decantar hasta perder todos los finos cementante y llevar a laboratorio para su ensayo respectivo. Esta práctica se debe realizar con un número de personas no menos a 3.



*Imagen 18: (1) Tendido lona de nylon para recolección de muestra material rebote  
Fuente: Propia*



*Imagen 19: (2) Operación lanzado de Shotcrete  
Fuente: Propia*



*Imagen 20: (3) Acopio material rebote post operación de lanzado del Shotcrete  
Fuente: Propia*



*Imagen 21: (4) Medición volumétrica, cantidad de material de rebote  
Fuente: Propia*

A este diseño y estrategia de investigación se añadió y se ejecutó mediciones volumétricas del material no adherente, “Rebote”, para conocer los valores de índices de aproximación del porcentaje del material de Rebote, tales mediciones se muestran en el capítulo de resultados.

### 3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.5.1 Técnicas de investigación.

Las fuentes de información inicial se comprenderán en base a la experticia de las ingenierías de involucración directa para el sostenimiento mecánico de los espacios subterráneos.

El Geomecánico especialista, que proporcionó las propiedades y características técnicas del comportamiento de la roca y sustratos, después de ser alterado por alguna energía externa y a su vez podrá evaluar el requerimiento del tipo de sostenimiento.

El Ingeniero Civil, especialista en el diseño del material de alto desempeño y su investigación, proporcionará las características y propiedades de la mezcla fresca en su estado fresco y en su estado endurecido, material tenaz que opondrá resistencia a la deformación y por su versatilidad se acondicionará al comportamiento mismo del macizo alterado. Además se evalúa el material diseñado en la interacción del ciclo de la Operación y la Técnica del colocado final.

La condición de disponibilidad de equipos de trabajo, mano de obra que va desde la calificada, operadores capacitados y acreditados, hasta la simple con experiencia.

Entre otros especialistas para obras subterráneas de mantos o vetas mineralizadas, se encuentran también involucrados los Ingenieros Geólogos y de Minas, participantes activos en las operaciones de minado.

##### 3.5.1.1 Técnica de Transporte de la mezcla fresca Shotcrete.

###### I. El camión Mixer bajo Perfil

Equipado con una cuba hormigonera, conocido también como transmixer, camión mixer mezclador, agitador u hormigonera.

Debido a las duras condiciones del terreno con secciones pequeñas de los túneles y gradientes pronunciadas, estos cuentan con potentes

motores diésel, dimensiones compactas, que permiten buena movilidad y maniobrabilidad.

Su función principal es transportar el material de mezcla fresca compuesta hasta el lugar designado, conservando la misma calidad desde la salida de la preparación hasta el lugar donde espera el equipo robot lanzador para que el material sea trasegado y pueda ser proyectado.

Para el aseguramiento de la buena conservación de calidad de la mezcla fresca influye las distancias a recorrer y además el grado de la Logística que se cuenta.

Los camiones tienen funciones según sea su fabricación y según el tipo de planta de producción de mezclas que se disponga en el lugar de trabajo, Planta Dosificadora o Amasadora.

- **El amasado:** Capacidad del mixer para recepcionar la alimentación de los pesos de los materiales secos (estado humedad natural) en la cuba para ser amasados a revoluciones por minuto altas dentro de la misma y obtener una mezcla compuesta homogénea.
- **La operación del amasado:** Esta operación debe hacerse estrictamente cuando el mixer se encuentra parqueado, ya que si se realiza durante el transporte puede ocurrir el “peligro de vuelco” de la unidad. Por lo tanto, durante el transporte debe operarse el equipo únicamente en modo velocidad de agitado. (Transporte en marcha)
- **Velocidad de Amasado:** Es aquella magnitud de revoluciones por minuto que va en el rango de 16 a 19 rpm.
- **El Agitado:** Función del equipo mixer para mantener la mezcla fresca en movimiento suave.
- **La operación del Agitado:** Si se cuenta con una Planta amasadora el mixer recepcionará la mezcla fresca y sólo

realizará la función de agitado a una velocidad adecuada para que la mezcla no disgregue durante el tiempo de transporte.

- **Velocidad de Agitado:** Para el agitado la velocidad es de 3 a 6 rpm, debido a que recepciona y transportará bachadas de material previamente amasadas por la planta.

## II. Ciclo de Operación del Mixer

- **Carguío de material en Planta Premezclado**

El Operador de mixer realiza la maniobra de parqueo en la Planta de Premezclado, para la alimentación del material por el embudo de carguío del mixer. Durante la carga del material se debe tener en cuenta la operación de velocidad de la cuba, sea de Amasado o de Agitado. Además el operador debe cerciorarse de que la cuba en su interior puede estar saturado (húmedo), mas no puede contener por ninguna razón litros de agua fuera del diseño de la mezcla.

- **Transporte del material**

Antes del transporte del material hacia su destino de colocado, debe pasar por el Control de calidad en Planta, validando el cumplimiento del requisito de la prueba de Slump.

Un exceso de velocidad de operación de la cuba durante el tiempo de transporte hará que la mezcla pierda trabajabilidad (se secará) Se recomienda no superar las 300 rpm desde el inicio o salida de planta, hasta el lugar de descarga en la operación del transporte, para conservar las propiedades del estado fresco de la mezcla.

- **Descarga o trasegado al equipo Robot Lanzador**

En este tramo de operación, el control de calidad se iniciará con la inspección visual de la mezcla en la cuba, el operador de mixer entrenado debe ser capaz de validar la trabajabilidad de la mezcla para proceder al trasegado.

En la operación de descarga o trasegado de la mezcla a la bandeja receptora del equipo robotizado, se ajusta la velocidad de descarga según el caudal de bombeo del proyectado del shotcrete para proporcionar flujo constante y evitar estratificaciones o la proyección de capas no compactas.



**Imagen 22:** Planta Premezclado (1)



**Imagen 23:** Dosificación de Materiales (2)



**Imagen 24:** Carguío de Materiales (3)



**Imagen 25:** Control de Calidad en Planta (4)



**Imagen 26:** Transporte de la Mezcla Fresca (5)



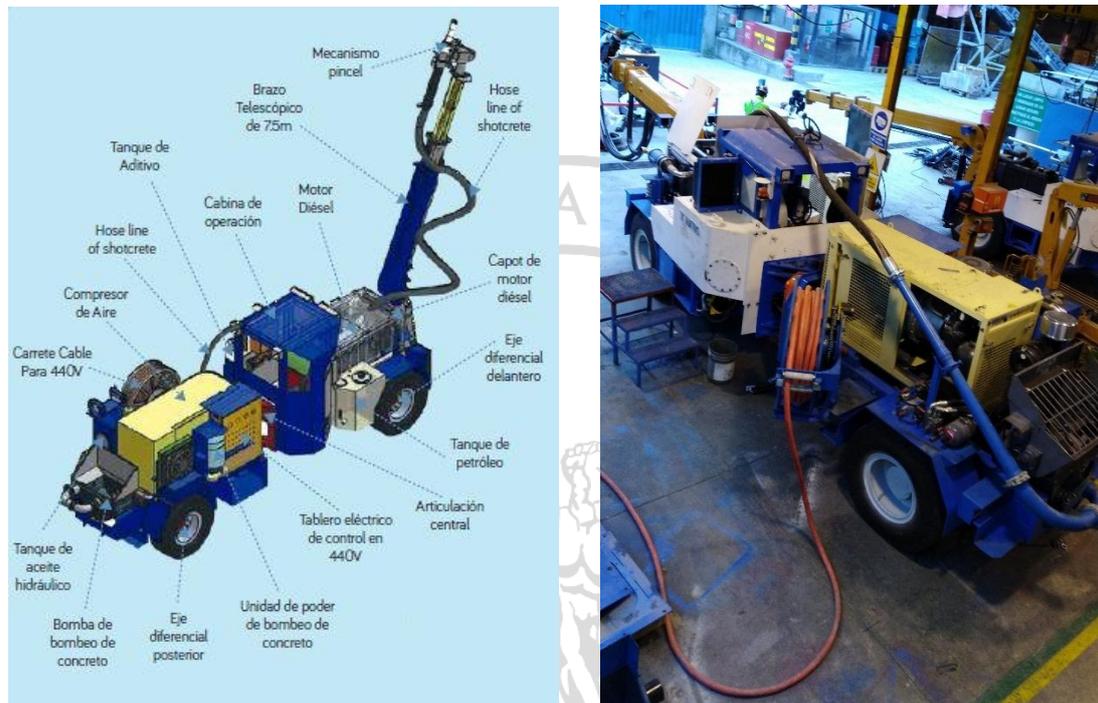
**Imagen 27:** Trasegado del Shotcrete de Mixer a Robot Lanzador, de flujo constante, sin atrapamiento de aire (6)

### 3.5.1.2 Técnica de Operación Lanzado del Shotcrete.

#### I. Equipo Robot lanzador

A la actualidad existen diversas gamas de equipos robot mecanizado de bajo perfil pre dimensionados a medida de los espacios reducidos

de los diversos túneles, de fácil selección de acuerdo a la necesidad o tipo de proyectos, cuentan con funciones de sincronización automática con la dosificación del aditivo acelerante, y autónomas de aire comprimido, brindando las cualidades para obtener una calidad alta de sostenimiento y rentable.



**Imagen 28:** Principales partes del equipo robot lanzador

- **Brazos de proyección:** Los brazos de proyección desplegados permiten trasladar el cabezal de proyección y alcanzar puntos inaccesibles, tanto a la vista del operador y por seguridad evita que el operador se encuentre dentro de la línea de fuego (área de roca no sostenida). El brazo proyector en su base cuenta con maniobrabilidad angular.
- **Cabezal de Proyección:** Cuenta con características particulares de movimientos, como:
  1. **Movimiento de Rotación,** el cabezal tiene el movimiento libre de 360°
  2. **Movimiento de Inclinación,** del eje de giro del cabezal puede inclinarse 120°.

**3. Movimiento de Nutación,** este movimiento lo realiza el extremo de la tobera o puntera en forma angular de balanceo homogéneo.

- **Bomba de Hormigón:** Encargada de impulsar la mezcla fresca a través de las líneas o conductos de impulsión, proporcionado por mecanismos hidráulicos de doble pistón. Un metro cúbico de Shotcrete puede ser suministrado en 3 minutos.
- **Bombeo de aditivo:** En la actualidad el bombeo puede ser programable y sincronizado con el flujo o caudal del shotcrete, fundamental para la correcta dosificación homogénea a la mezcla fresca. Puede contar con el Sistema Controlador Lógico Programable (PLC)
- **Compresora de aire:** Es fundamental que el equipo robot lanzador sea autónoma con respecto al suministro y capacidad de aire comprimido de flujo constante.
- **Telemando:** Dispositivo inalámbrico que ayuda a la ergonomía y comodidad de trabajo en el frente.

## II. Técnico Operador

Pilar influyente en el grado del Control del Rebote, en la actualidad el Técnico operador debe entrenarse con la tecnología de los simuladores y obtener la acreditación. El titular y la obra tendrá los beneficios de extender la vida útil de la maquinaria, reducción de los altos costos de operación, reducción de gastos pasivo de material por resanes y entre otros como el sobre espesor y el desafío del Rebote.

- **Antes de la aplicación**
  1. Iluminación y Ventilación
  2. Limpieza libre de roca suelta y aguas retenidas en el frente
  3. Reconocimiento del tipo de terreno o sustrato a sostener

▪ **Procedimiento, inicio y control durante la Operación del equipo**

1. Parqueo e instalación del equipo fuera de la línea de fuego
2. Seleccionar modo funcionamiento Diesel o conexión Eléctrica.
3. Activación del sistema de arranque y configuración display, caudal de bombeo, sprayed, dosificación aditivo y aire comprimido.
4. Lubricación de las líneas de impulsión.
5. Verificación de la trabajabilidad de la mezcla, prueba del Slump.
6. Atención oportuna al sistema de alarma y seguridad.

**III. La Técnica de aplicación**

1. El operador diestro limpiara la superficie de contacto de acuerdo a la característica del sustrato, sea con agua o solo aire comprimido.
2. El operador diestro visualmente compartirá el túnel de 2 a 4 secciones.
3. Entrada, Fondo, bases y corona, la base cuenta con 2 lados parte inferior y la corona es la parte superior.
4. El operador debe iniciar construyendo la entrada, desde un lado de las bases desde la parte anterior sólida sostenida, realizando un ligero traslape de hasta 0.30 m, hacia el avance de minado y conservando las siguientes distancias:

BASE	Nutación	Cabezal de Proyección		Altura libre del piso shotcreteado
		Distancia	Altura de Piso	
Cara del sustrato base	10°	1.20 m	0.40 m	0.185 m
		1.50 m		0.131 m

*Tabla 10: Distancias para la técnica de lanzado "Bases"*

5. La posición clave del cabezal proyector con la puntera en todo momento debe guardar perpendicularidad a la cara del sustrato del proyectado, para construir capa de espesor homogéneo.

Así también debe conservar el sprayed en sentido horizontal y ascendente con la maniobra de desplazamiento del brazo telescópico.

6. Terminado los lados de las bases, iniciar la corona por el orden del lado de la primera base shotcreteada. Al proyectar la corona no debe excederse de la distancia rango recomendado de 1.50 m.

<b>CORONA</b>	<b>Nutación</b>	<b>Distancias</b>	<b>Capa 1</b>
<b>Cara del sustrato</b>	10°	1.20 – 1.50 m	e=no >1.5”

*Tabla 11: Distancias para la técnica de lanzado “Corona”*

7. Proyectar la corona debe ser con un espesor ligeramente delgado, no excediendo un sobre espesor, para completar la capa de la corona se debe tener en cuenta el fraguado inicial del shotcrete (tiempo en que alcanzó 700lb/pulg<sup>2</sup>), dato o información brindado por el departamento de Control de Calidad.
8. Terminado la construcción de la entrada repetir la misma secuencia para la construcción del fondo.
9. Si la sección del túnel a sostener por su longitud de avance no es mayor a 3 metros se puede considerar la construcción en un solo tiempo, quiere decir solo 2 bases y una corona.

## MATRIZ Y RELACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL SOSTENIMIENTO MECANIZADO DE TÚNELES

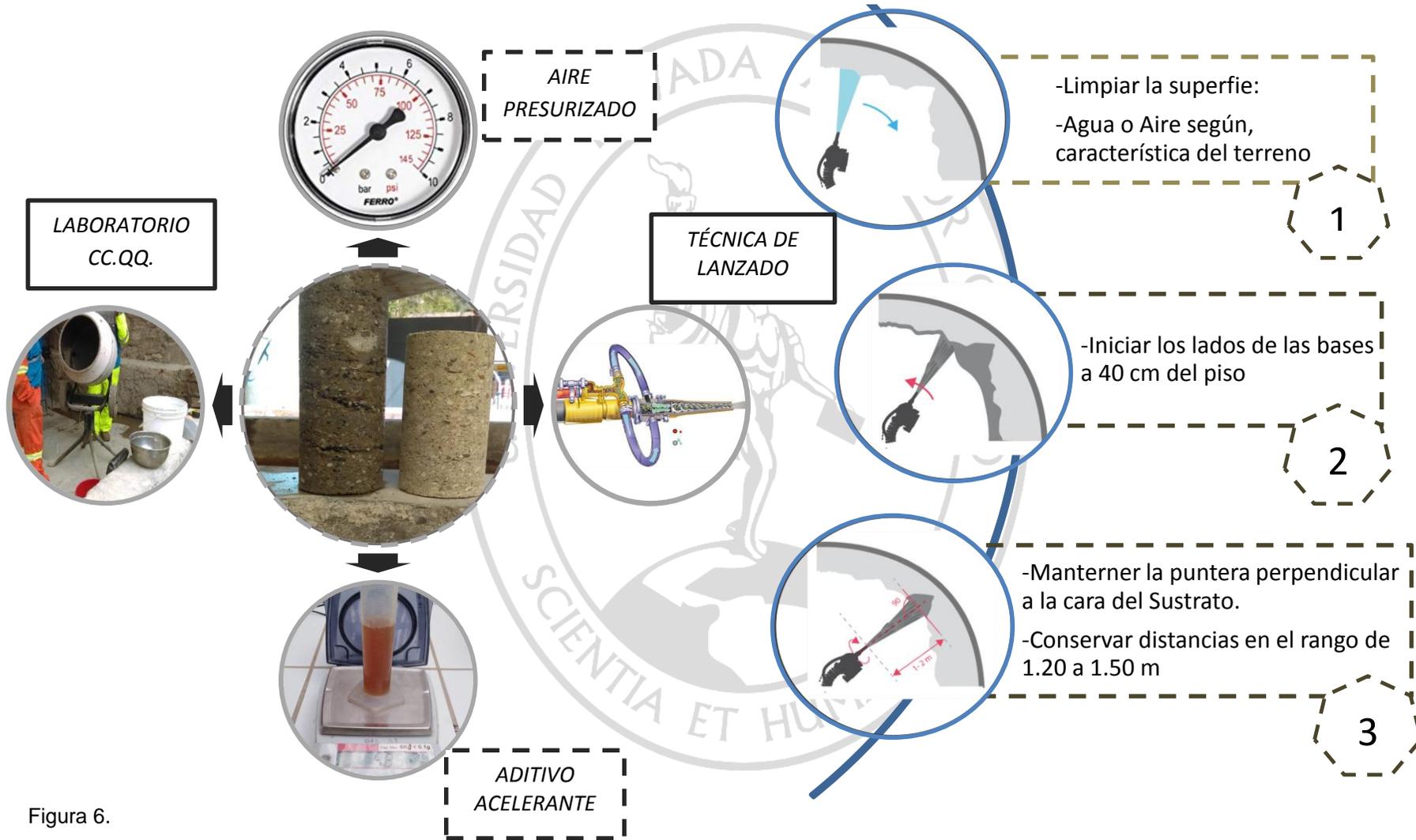


Figura 6.

### 3.5.2 Instrumentos de investigación.

Para la operación, producción y control de calidad industrial del material fresca shotcrete, se debe contar con no menor a una infraestructura básica de instalación de un laboratorio de pruebas y ensayos de los materiales.

Los equipos de laboratorio cumplen con las especificaciones de las normas nacionales como internacional para dar confiabilidad y validez a los resultados.

En base a la librería normativa existente, se debe llevar a cabo la gestión del control de calidad, generándose la información o datos veraces de los distintos tipos diseños de mezcla, que cumplan con los requisitos, especificaciones técnicas para registro y aceptación de la unidad o algún agente auditor.

Los principales instrumentos de medición a especificar y que debe contar el laboratorio de control de calidad son:

#### I. Etapa a nivel de Laboratorio (\*)

1. Juego de Tamices
2. Balanza Electrónica
3. Horno
4. Trompo Mezclador
5. Aguja Vicat
6. Picnómetro para Arena
7. Cono de Absorción para condición triple SSS
8. Cono de Abrams (\*\*)
9. Flexómetro (\*\*)
10. Termómetro (\*\*)
11. Moldes Cilíndricos 4" x 8" (\*\*)
12. Calibrador vernier digital
13. Extractor núcleo diamantina Hilti DD 160
14. Prensa Hidráulica
15. Maquina Absorción de Energía

## II. Etapa a nivel de campo (\*\*)

- 16. Penetrometro para mortero de bolsillo
- 17. Penetrometro Digital
- 18. Pistola Hilti DX 450-SCT

## I. Etapa a nivel de Laboratorio

### 1. Tamices de prueba estándar

Para la fabricación de un tamiz estándar deber cumplir la siguiente norma, **ASTM E 11: Especificación estándar para tela de tamiz de prueba de alambre tejido y tamices de prueba**

#### Especificaciones y Características: ASTM E 11

<b>Marcos</b>	Diámetro: 8" Altura: 2"
<b>Fabricación</b>	Bronce pulido y malla acero inox.
<b>Modelo</b>	Ele internacional
<b>Placas Descriptivas</b>	Indican la norma
<b>Peso</b>	453 gr

### 2. Balanza electrónica portátil

#### Especificaciones y características:

Modelo	Capacidad	Resolución	Linealidad	Tamaño platillo	Peso (aprox)
EJ - 6100	6100 g	0.1 g	±0.2 g	127 x 140 mm	1100 g

### 3. Horno

#### Especificaciones y características:

<b>Pantalla</b>	Lectura digital temperatura
<b>Interior</b>	Cámara acero inox
<b>Rango temperatura</b>	51.7°C a 225°C
<b>Voltaje</b>	220-230
<b>Temperatura</b>	Vigilancia automática

#### 4. Trompo Mezclador

##### Especificaciones y características:

<b>Potencia</b>	0.8 HP 600 (wats)
<b>Motor velocidad</b>	2800 rpm
<b>Velocidad Rotación tambor</b>	27 rpm
<b>Voltaje</b>	220 v
<b>Frecuencia</b>	50hz
<b>Volumen de Trabajo</b>	40 L
<b>Carga de Trabajo</b>	120 kg

#### 5. Aguja Vicat

##### Especificaciones y características:

ASTM C-91, C-187, C-191; AASHTO T-129, T-131.

<b>Embolo</b>	Reversible; 10mm de diámetro en un extremo Peso combinado 300 gr
<b>Aguja</b>	Montado en el embolo 1 mm diámetro y 50 mm de largo
<b>Escala</b>	Graduado mm
<b>Molde</b>	Goma dura Base: 70 mm de diámetro Superior: 60 mm Altura: 40mm
<b>Peso</b>	Neto 1.8 kg.
<b>Base de apoyo</b>	Sólida mas placa de vidrio de 3mm

#### 6. Picnómetro

##### Especificaciones y características: ASTM C-128; AASTHO T-84

<b>Embace</b>	Capacidad 0.9L
<b>Tapa</b>	Molde metálico Cónico; resistente al óxido. Orificio superior 9.5mm Roscado al embace
<b>Arandela</b>	De goma
<b>Peso</b>	Neto 453 g

#### 7. Cono de Absorción para condición triple SSS

##### Especificaciones y características: ASTM C-128; AASTHO T-84

<b>Molde</b>	Bronce Superior: 40 mm Base: 90mm Altura: 75mm
<b>Pisón</b>	Acero resistente a la corrosión 25.4mm diámetro 168 mm largo
<b>Peso pisón</b>	340 g

## 8. Cono de Abrams

Especificaciones y características:	
	ASTM C-143, C-192; AASHTO T-23, T-119, T-126.
<b>Molde</b>	Cono truncado, resistente al óxido. Espesor: 1,1 mm Base: 8" Superior: 4" Altura: 12"
<b>Peso del cono</b>	Neto 2.1kg
<b>Varilla</b>	Diámetro: 16mm Largo: 24"
<b>Punta</b>	Acabado extremo semiesférico
<b>Base</b>	Plano Espesor: 7mm L x A: 45 cm

## 9. Flexómetro

Especificaciones y características:	
<b>Material</b>	Acero al carbono revestido
<b>Base</b>	Con freno Clip de sujeción
<b>Longitud</b>	3m
<b>Anchura</b>	16 mm

## 10. Termómetro

Especificaciones y características: ASTM C-1064	
<b>Gama</b>	-50° a 220° C
<b>Modelo</b>	Hanna HI 145-20
<b>Resolución</b>	0.1°C
<b>Peso</b>	65 g
<b>Longitud de sonda</b>	125mm

## 11. Moldes cilíndricos PVC

Especificaciones y características:	
	ASTM C-31, C-192, C-470; AASHTO M-205.
<b>Material</b>	Polipropileno, un solo molde. Robusto, duradero, resistentes.
<b>Medidas</b>	Base: 4" de diámetro Altura: 8"
<b>Peso con concreto</b>	Aprox. 5.9 kg

## 12. Calibrador Vernier digital

### Especificaciones y características:

<b>Pantalla</b>	LCD
<b>Resolución</b>	0.01 mm
<b>Longitud de medición</b>	150 mm ( 6" )

## 13. Extractor de núcleo diamantina Hilti DD 160

### Especificaciones y características: EN 60745

<b>Aplicación material</b>	Concreto
<b>Rango de Diámetro</b>	25 a 202mm
<b>Broca</b>	Diamantado
<b>Voltaje</b>	230v
<b>Velocidades</b>	3
<b>Rpm sin carga</b>	420 rpm 700 rpm 1570 rpm
<b>Peso del Sistema</b>	16 kg

## 14. Prensa Hidráulica

### Especificaciones y características: ASTM C 39

<b>Modelo</b>	Ele Internacional
<b>Capacidad</b>	1 112 KN (113 TN)
<b>Lector Digital</b>	ADR Ele Internacional

## 15. Máquina Absorción de Energía

### Especificaciones y características: EN 14488-5 / GUÍA EFNARC

<b>Modelo</b>	RC-10T
<b>Capacidad</b>	10 000 PSI
<b>Dial</b>	Analógico
<b>Modelo dial</b>	GF-10P

## II. Etapa a nivel de Campo

## 16. Penetrometro para mortero

### Especificaciones y características: ASTM C 403 – NTP 339.082

<b>Material</b>	Acero
<b>Aguja</b>	1.27 mm de diámetro
<b>Longitud de inserción</b>	25.4mm
<b>Rango</b>	0 - 700 lb/pulg <sup>2</sup>
<b>Lectura</b>	Directa
<b>Medidas</b>	178 mm largo x 3/4"
<b>Peso</b>	227g

## 17. Penetrometro Digital

### Especificaciones y características: EN 14488-2 (MÉTODO A)

<b>Pantalla</b>	LED
<b>Carga</b>	1000N
<b>Inserción</b>	Aguja sesgado <60°
<b>Aguja</b>	3 mm diámetro
<b>Longitud</b>	15 mm
<b>Precisión</b>	0.1%

## 18. Pistola Hilti DX 450 STC

### Especificaciones y características: EN 14488-2 (MÉTODO B)

<b>Longitud Total</b>	350 mm
<b>Alimentación</b>	Cartuchos (fulminante)
<b>Peso</b>	3.2 kg
<b>Cartucho y clavo</b>	Verde y 103 mm –Resistencias iniciales
<b>Extractor de clavo</b>	Adaptador tuerca
<b>Manometro</b>	KN

### 3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En este apartado se elaboró la connotación de la aplicación de la instrumentación de laboratorio y de campo. Para la ejecución de todos los ensayos se siguieron los procedimientos establecidos según documentación normativa, empleados para dar confiabilidad a los Controles de Calidad, obteniendo y recolectando toda información producida. Durante el procesamiento se registraron todos los hechos o datos resultantes, valores numéricos de los ensayos que fueron ordenados según corresponda para su posterior análisis.

Los trabajos de control de calidad, datos de los ensayos son registrados y procesados, en formatos de Microsoft Excel, usando las herramientas necesarias para visualizar resultados a través de gráficos y tablas dinámicos, fácil de leer, facilitar el análisis de los beneficios, ventajas y desventajas. Método de análisis para predecir futuros comportamientos, en lo consecuente tomar acciones de mejoramiento.

Debido a la tecnología de vanguardia en la actualidad se está migrando de procesamientos manuales hacia procesamientos de datos automáticos

y podemos encontrar en el mercado tecnológico equipos sofisticados para laboratorio, así como para plantas de premezclado automatizados.

Las muestras elaboradas sometidas a estos equipos automatizados los resultados de ensayo son procesados en el mismo sistema del equipo, arrojando datos fiables. Equipos que se clasifican como gama alta, siendo una fuerte ventaja en la rapidez en referencia a lo convencional. Y como ligera desventaja, es que, al ser equipos electrónicos, son sensibles a las temperaturas extremas, a la humedad y a la alta polución partículas finas en el medio ambiente. Por ello la importancia de contar con la infraestructura adecuada para las buenas condiciones de las instalaciones de los equipos e instrumentación.

## I. Procesamiento de datos a nivel de laboratorio

### 1. Tamices de prueba estándar (ASTM C 1436-99)

Obtenida las muestras de árido, subdivididas a cantidad de ensayo, se prepararon los tamices o malla de forma gradual ordenada, permitió obtener datos para evaluar los diferentes tamaños de sus granos y analizar sus características apropiadas del árido para la elaboración del shotcrete.

Los tamices que se emplearon son fabricado bajo recomendación normativa, ofreciendo datos con nivel alto de validez y confiabilidad.



**Imagen 29:** Ensayo granulométrico de material rebote lavado

## 2. Balanza electrónica

Se empleó balanza electrónica calibrada de precisión, instalada en laboratorio, para la toma de los pesos retenidos por cada tamiz.

Al registrar el peso de cada uno se tuvo en cuenta que el dial de lectura se estabilice.



25.60 g

867.3 g

1480 g



941 g

752.6 g

490.8 g



214.1 g

76.8 g

185.2 g

Imágenes 30: Pesaje de material retenido por cada tamiz

### 3. Horno

Antes de los ensayos necesarios del árido como la granulometría, la muestra a ensayar pasa por el proceso de secado a temperaturas constantes y controladas de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , ubicado en las instalaciones de laboratorio. El equipo interviene en la realización de los ensayos de:

- Contenido de Humedad – *NTP 339.185 / ASTM C566*
- Material más fino pasante malla 200 – *NTP 400.018 / ASTM C117*
- Peso específico y absorción – *NTP 400.022 / ASTM C128*



Imagen 31: Horno de capacidad de mantener temperatura a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$

#### 4. Trompo Mezclador

Definido las diferentes tandas a probar se empleó el trompo mezclador con la capacidad necesaria para obtener mezclas compuestas homogéneas. Se trata de mantener trazabilidad de secuencia de alimentación al trompo de los materiales componentes, conservando un orden de mezclado, como lo siguiente:

1. Agua inicial, alimentar hasta 80% del total de agua de dosificación por tanda.
2. Alimentar el total del árido y mezclar hasta saturar el árido.
3. Alimentar cemento y saturar homogéneamente.
4. Seguidamente alimentar un 15% de agua complementaria tratando de lavar los finos adheridos en las paredes del trompo mezclador.
5. El 5% de agua complementaria final diluir y remover con el aditivo plastificante, en un recipiente adecuado no absorbente (Probeta plástica) y verter al trompo mezclador de manera uniforme dentro de la mezcla en movimiento.
6. Seguido y finalmente, alimentar a la mezcla adicionando la fibra de refuerzo de forma rápida y uniforme.
7. Dejar mezclar hasta un tiempo no menor de 5 minutos desde la adición final de la fibra refuerzo.
8. Dejar reposar 1 minuto y realizar los ensayos que corresponde en el estado fresco de la mezcla.



**Imagen 32:** Preparación de la tanda de mezcla cronometrado

## 5. Aguja Vicat (ASTM C-91, C-187, C-191)

Se empleó para conocer el comportamiento de fraguado del cemento sin aditivo acelerante y con aditivo acelerante.

Para este ensayo se define la relación agua cemento de 0.30.

De acuerdo al peso del cemento se define la dosificación del aditivo acelerante para este ensayo.



**Imagen 33:** Evaluación del comportamiento de fragua del cemento

## 6. Picnómetro (ASTM C-128)

Habiendo saturado el árido, se preparó el instrumento para ensayar y determinar el peso específico del árido, dato para desarrollar los demás pesos de dosificación componentes del shotcrete.

1. Por norma de procedimientos de ensayo, el material árido estuvo reposando en agua 24 horas antes.
2. El árido saturado fue secado a medio ambiente para alcanzar la condición S.S.S.
3. En climas fríos para llegar a esta condición toma varias horas.
4. Calibrar Picnómetro con tapa, tomar peso
5. Probar condición del árido a través del cono, llenando en una sola capa y apisonando 25 veces hasta la rasante del cono.
6. Alcanzada la condición, verter rápidamente en el frasco calibrado con agua.

7. Tapar el frasco llenando de agua hasta su rasante, eliminar toda burbuja de aire atrapado
8. Tomar el peso del frasco con material saturado, registrar y calcular.

### 7. Cono de Absorción para condición triple SSS (ASTM C-128)

Se empleó para determinar la característica de condición del árido Superficial Seco Saturado. Acciones descritas en las líneas anteriores inmediata, en el punto 6.



Imagen 34: Prueba de la condición del árido SSS

### 8. Cono de Abrams (ASTM C-143, C-192)

Obtenida las muestras compuestas de la mezcla fresca shotcrete sea de laboratorio o de campo se empleó este instrumento para determinar su consistencia según diseño propuesto por dosificación del aditivo plastificante.

1. Obtenida la muestra fresca homogénea realizar el ensayo dentro de los 5 primeros minutos.
2. Realizar el ensayo sobre una superficie plana libre de vibraciones
3. Humedecer saturando todo el kit cono de abrams antes de verter la mezcla fresca al cono.
4. Llenar en tres capas de igual volumen, cada capa varillar 25 veces
5. La primera capa varillar con una pulgada arriba del fondo del cono
6. La segunda capa pasar la varilla una pulgada la capa anterior

7. La tercera capa llenar con rebose medurado y varillar pasando una pulgada la capa anterior
8. Enrasar firmemente con la misma varilla con movimiento de corte.
9. Limpiar la base de alguna rebabas de shotcrete
10. Elevar el cono a través de las asas de forma vertical en un tiempo de  $5 \pm 2$  seg.
11. Voltear el cono y colocar el cono sobre la base
12. Colocar la varilla lisa sobre el cono volteado y
13. Medir con el flexo el centro asentado de la mezcla hasta la parte inferior de la varilla lisa colocada.



Imagen 34: Prueba de slump Laboratorio y Campo (frente de labor)

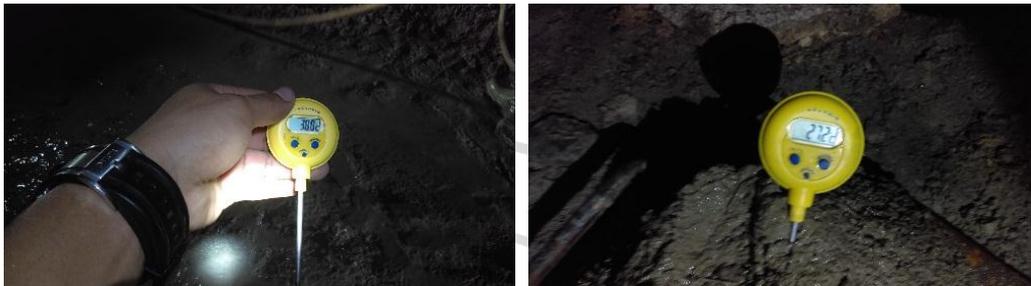
### 9. Flexómetro

Se empleó para tomar las mediciones en pulgadas del asentamiento de la mezcla fresca en la prueba de Slump con el Cono de Abrams.

### 10. Termómetro (ASTM C-1064)

La toma de lectura de la mezcla para este caso se empleó como referencia para conocer el comportamiento de temperatura adquirido, mas se analizó que no es un potencial influyente o determinante sobre la pérdida del Slump de la mezcla fresca Shotcrete.

1. Tomar la lectura insertando todo el sensor y untar alrededor del sensor en la mezcla fresca para que no intervenga la temperatura del medio ambiente.
2. Tomar lectura hasta los dos minutos, o hasta que la lectura se estabilice.
3. La lectura de registra con aproximación a 0.5° C.



**Imagen 35:** Se registró T° A° de hasta 38.8 y la T°C° 27.2

### **11. Moldes cilíndricos PVC (ASTM C-31, C-192, C-470)**

Para la elaboración de testigos cilíndricos previamente se añadió a los moldes una capa fina de material desmoldante. Ya sean elaborados en laboratorio o en campo.

1. Obtenida la muestra homogénea compuesta elaborar los testigos dentro los primeros 15 min para la confiabilidad de resultados.
2. Elaborar sobre una superficie nivelada, libre de vibraciones, libre de corrientes de viento u agentes contaminantes.
3. Para los moldes de 4 x 8 pulgadas
4. Llenar en dos capas, varillando 25 veces cada capa
5. En la primera capa conservar una pulgada arriba del fondo, después de las 25 varilladas, eliminando posible atrapamiento de aire golpear con el mazo de goma o con la palma de la mano de 12 a 15 veces uniformemente alrededor del molde.
6. En la última y segunda capa llenar con rebose medurado, varillar los 25 veces y enrasar firmemente dando un buen acabado liso.
7. Identificar y proteger.



**Imagen 36:** Testigos cilíndrico en moldes de 4X8”

## 12. Calibrador Vernier digital

De uso necesario para conocer con exactitud el diámetro de los testigos núcleos cilíndricos diamantina, terminada las mediciones, se empleó un paño suave para limpiar el instrumento de posible polución y humedad.



**Imagen 37:** Vernier digital Mitutoyo

## 13. Extractor de núcleo diamantina (EN 60745)

Recolectado el panel moldeado con Shotcrete del frente que fue elaborado, se trasladado a Laboratorio. En Laboratorio se desmoldo cuidadosamente en un tiempo de  $24 \pm 4$  horas, para su extracción de núcleos y ensayos a la edad de 1 día.

1. Desmoldado el panel de shotcrete prismático ubicar en la base del extractor y centrar
2. Conectar la alimentación de agua de flujo constante

3. Diamantar hasta profundizar
4. Tallar los extremos e identificar.



Imagen 38: Equipo extractor núcleo Hilti DD 160

#### 14. Cortadora circular

Extraído los núcleos, estos deben tallarse sus extremos, siguiendo las recomendaciones y las consideraciones de seguridad:

1. Uso de EPP específicos
  - Taponos
  - Guantes
  - Lentes de Seguridad
2. Tallar los extremos conservando en lo posible la altura del testigo shotcrete diamantina en relación a dos veces el diámetro.
3. En caso que presente estratigrafía eliminar o cortar.
4. Dar acabado de la superficie los más lisos posibles.



Imagen 39: Tallado de núcleos diamantina

## 15. Prensa Hidráulica (ASTM C-39)

Se empleó para medir los resultados de la resistencia a la compresión adquirida del shotcrete moldeados cilíndricamente en testigos simples de 4" x 8" y testigos diamantina de 7.5 cm de diámetro.

1. Configurar el tipo de ensayo en el sistema según relación diámetro y altura.
2. Usar las almohadillas de neopreno que corresponda
3. Ejecutar el ensayo a velocidad constante hasta su falla
4. Registrar lectura.



Imagen 40: Calibración Prensa Hidráulica y ensayo

## II. Procesamiento de datos a nivel de campo (\*\*)

### 16. Penetrometro para mortero (ASTM C-403)

Se empleó dispositivo de tamaño para bolsillo para medir el inicio del fraguado de la mezcla fresca recién proyectado. Se dispone por normativa ASTM C 403, que la propiedad de la fragua inicial de una pasta de mortero se da en la unidad de medida de 500 PSI ( $lb/pulg^2$ ).

Aquí las mediciones se realiza desde los 5 minutos de proyectado el shotcrete, donde se encuentra en interacción el aditivo acelerante, reacción química activa de la acelerada hidratación e interrumpiendo en totalidad la característica de plasticidad de la mezcla fresca.

1. Proyectado el Shotcrete, tomar las medidas de seguridad e insertar la aguja del penetrometro hasta la medida o marca de

- 25,4 mm del embolo, sobre el espesor del shotcrete recién proyectado, teniendo en cuenta
2. La aguja del penetrometro no hingue sobre partículas de granos gruesos o sobre shotcrete con poco espesor.
  3. La aguja del penetrometro no hingue con alguna fibra haciendo resistencia
  4. Caso que presente repetir inmediato la lectura.
  5. Por seguridad se recomienda realizar el ensayo en moldes de paneles muestreados con shotcrete.
  6. Realizar limpieza de la humedad y posibles rebabas adheridos en el instrumento.



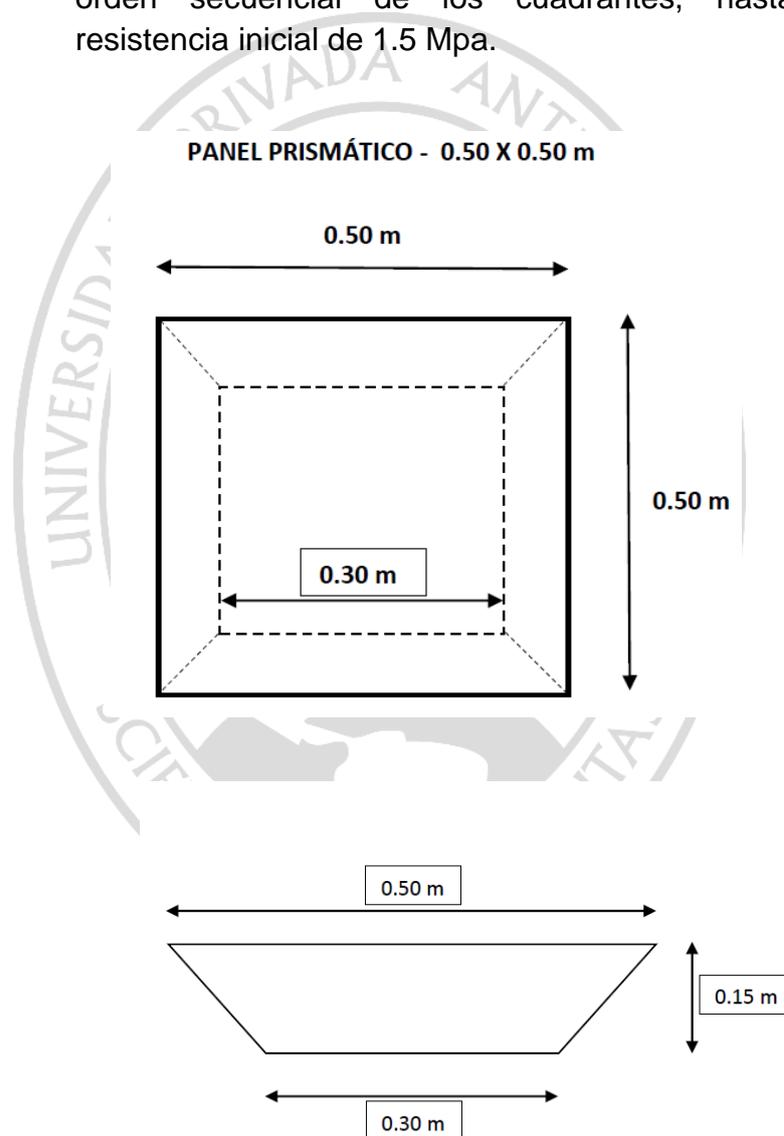
**Imagen 41:** Para evaluar el comportamiento de la fragua inicial (500lb/pulg<sup>2</sup>)

## 17. Penetrometro Digital (EN 14488-2 MÉTODO A)

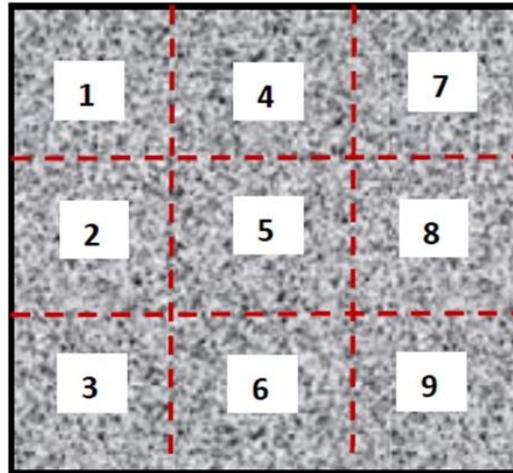
Se empleó el dispositivo para medir las resistencias iniciales de la mezcla fresca recién proyectado, muestreados en paneles prismáticos, en el orden de tiempo desde los 6 minutos, 10, 30, 60, hasta los 180 min (3 horas).

1. Obtenido el muestreo de shotcrete proyectado elaborado en el panel prismático, proteger la superficie de acabado.
2. Realizar una cuadrícula sobre la superficie con pintura sprayed
3. Enumerar los cuadrantes de la cuadrícula, arrojar 9 cuadrantes.
4. Iniciar el hincado desde los 6 minutos o según la resistencia que ofrezca lecturas.

5. Hincar la aguja de forma perpendicular hasta la medida indicada de 15mm y en el orden secuencial de los cuadrantes.
6. Abortar lectura cuando la aguja hincue la fibra o alguna particular granular que hace resistencia falsa, repetir.
7. Realizado el hincado en los 9 cuadrantes, realizar 1 más al azar o en el cuadrante que tenga duda para completar el mínimo de 10 lecturas por edad de ensayo (minutos y horas).
8. Repetir en la frecuencia de tiempos determinados y en el orden secuencial de los cuadrantes, hasta alcanzar resistencia inicial de 1.5 Mpa.



**Imagen 42:** La superficie contacto con el shotcrete debe ser de un material no absorbente.



**Imagen 43:** Elaboración de cuadrícula en el panel de Shotcrete para ensayo R.I.



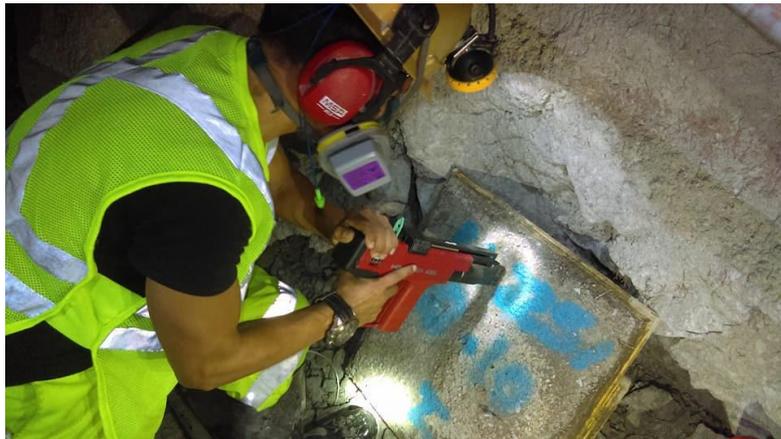
**Imagen 44:** Medición resistencia inicial del Shotcrete con Penetrometro Digital ( Método A)

## 18. Pistola Hilti DX 450 SCT (EN 14488-2 MÉTODO B)

Se empleó para medir las resistencias temprana de la mezcla fresca shotcrete, disparando los clavos de 103 mm en el molde panel cuadrado con shotcrete proyectado en el frente de labor.

La norma recomienda disparar 10 clavos, pero por criterio de trabajo el ensayo de 10 clavos distorsiona los resultados por la unidad del tiempo, haciendo una variabilidad de más de 30 minutos en culminar el ensayo de 10 clavos, estos serían resultados a diferente edad de ensayo.

1. Obtenido la muestra de shotcrete proyectado elaborado en el panel cuadrado, proteger la superficie de acabado.
2. Realizar una cuadrícula sobre la superficie con pintura sprayed
3. Enumerar los cuadrantes de la cuadrícula, arrojar 6 cuadrantes.
4. Alcanzado los 1.5 Mpa con el penetrometro digital, realizar un primer disparo sobre un cuadrante al azar con el clavo de 103mm y fulminante verde
5. Seguidamente si el clavo no se insertó en su totalidad, colocar el perno autoroscante en el clavo para aplicar el pull test del clavo, dispositivo que jalará el clavo y registrará en el manómetro las unidades de fuerza adquirida.(N)
6. En razón de una buena práctica ejecutar como máximo 6 disparos y no menor de 3 en la unidad de tiempo. Tratar de conseguir los datos del ensayo en rangos de minutos breves.
7. Habilitar y usar varios pernos autoroscantes
8. Realizar el proceso del ensayo con la asistencia simultánea de un auxiliar de Control de Calidad.



**Imagen 45:** Medición de la resistencia temprana del Shotcrete. (Método B)

## 19. Máquina Absorción de Energía (EN 14488-5)

Se empleó para realizar los ensayos de los paneles cuadrados según procedimiento de la norma EN 14488-5 / Guía EFNARC.

1. Retirar panel de shotcrete de la poza de curado
2. Secar e insertar cuidadosamente el panel sobre la base metálica del equipo
3. Marcar el centro del panel interceptando líneas de las esquinas
4. Centrar el panel con la base de la platina de 10 x 10 cm y el pistón de empuje.
5. Ajustar el dial analógico calibrando las agujas en cero, sobre la base del equipo y la platina.
6. Iniciar la carga a velocidad constante

7. Tomar lectura del manómetro PSI cada 1/4 “ de vuelta de la aguja del dial
8. Registrar lectura hasta alcanzar la deformación de 25 mm.



Imagen 46: Ensayo de panel en laboratorio - EFNARC



Imagen 47: SINTÉTICA (R50)



Imagen 48: METÁLICA (3D)



## CAPITULO IV

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección doy a conocer los resultados experimentales, desde el análisis de las características del material árido para la elaboración del shotcrete y las características de los demás componentes.

Los resultados a presentar se subdividen en dos etapas o niveles.

##### 4.1.1. Nivel de Laboratorio de Control de Calidad

En primer orden se presenta los resultados de la evaluación previa de los materiales componentes del shotcrete a nivel de laboratorio de Control de Calidad.

##### 4.1.2. Nivel de Campo en operación de minado

En segundo orden se presenta los resultados del comportamiento del shotcrete a nivel de campo, a nivel de las interacciones de las operaciones de minado y la construcción de los túneles.

En este segundo orden es donde se lleva a cabo el método propuesto para atacar la raíz del problema de este trabajo de investigación.

La obtención de la muestra de material de rebote es la fuente de análisis que proporcionará información de nuevas características granulométricas, que ha sufrido el árido en el proceso dinámico de la colocación final de la mezcla compuesta del Shotcrete.

## 4.2. RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL SHOTCRETE.

### 4.2.1. El árido para el Shotcrete G-1 y G-2.

#### 4.2.1.1. Curvas granulométricas

Designation: C 1436 – 99 Standard Specification for Materials for Shotcrete1

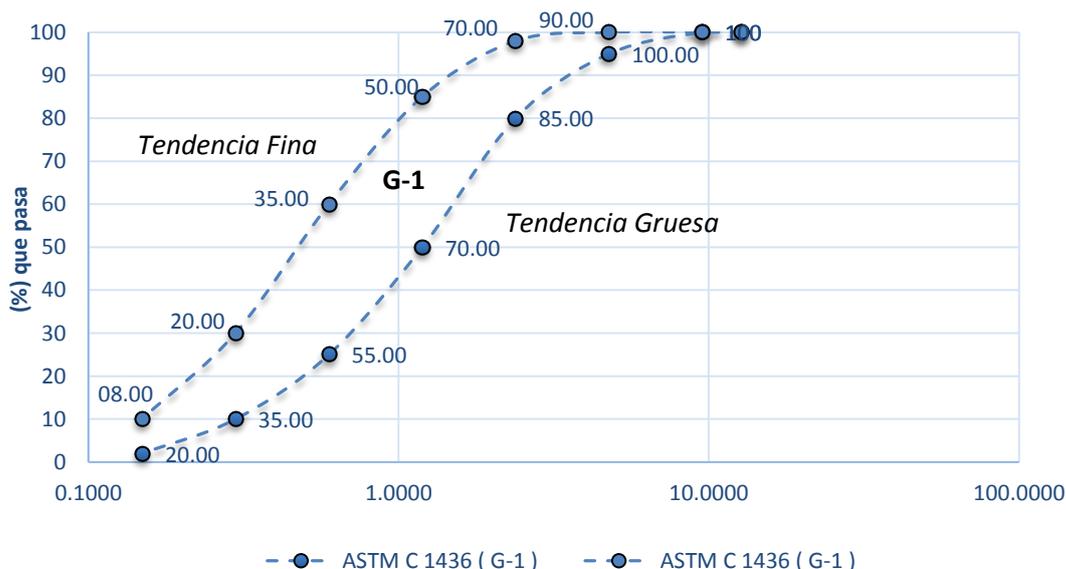
TABLE 1 - Grading Limits for Combined Aggregate for Shotcrete

Percent by Mass Passing Individual Sieve		
Sieve Size, U.S. Standard	Grading, N° 1	Grading, N° 2
12.5 mm (1/2 in.)	-	100
9.5 mm (3/8 in.)	100	90 – 100
4.75 mm (N° 4)	95 – 100	70 – 85
2.36 mm (N° 8)	80 - 98	50 - 70
1.18 mm (N° 16)	50 - 85	35 – 55
600 µm (N° 30)	25 - 60	20 - 35
300 µm (N° 50)	10 - 30	8 - 20
150 µm (N° 100)	2 - 10	2 - 10

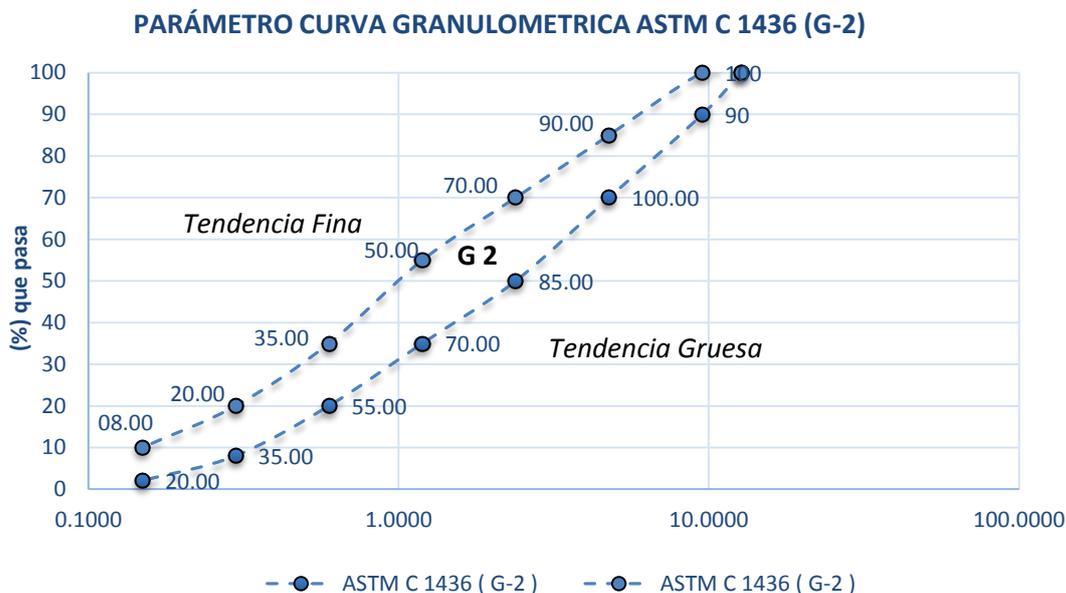
Tabla 12: Límites de Gradaciones del árido para shotcrete.

Gráfico de la curva granulometrica de la **Gradación N° 01**.

#### PARÁMETRO CURVA GRANULOMETRICA ASTM C 1436 (G-1)



## Gráfico curva granulometrica de la Gradación N° 02



- Se identifica la existencia de dos parámetros del árido característico para la elaboración de mezcla shotcrete, recomendado por la norma ASTM C1436

### 4.2.1.2. El módulo de finura

#### Grading Limits for Combined Aggregate for Shotcrete

Sieve Size, U.S. Standard	Percent by Mass Passing Individual Sieve			
	Grading, Nº. 01		Grading, Nº. 02	
– Modulo Finura por banda	3.62	4.83	2.75	3.75
	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.
– M.F. (Idóneo)	4.225		3.25	

Tabla 13: Módulo de Finura del árido para Shotcrete

- Se identificó por cada banda Límite inferior y superior su Módulo de Finura.
- El Módulo de Finura idóneo, es el valor medio calculado del rango superior e inferior
- La Gradación N°2 su Módulo de Finura idóneo es menor con 3.25 y la Gradación N° 1 es mayor con un valor de 4.225.

#### 4.2.1.3. El tamaño máximo nominal del árido

– **Tamaño Máximo Nominal de las gradaciones G-1 y G-2.**

<b>G-1</b>					
Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	<i>Limite Inf.</i>		<i>Limite Sup.</i>	
		<i>% Pasante</i>	<i>% Retiene Inf.</i>	<i>% Pasante</i>	<i>% Retiene Sup.</i>
1/2"	12.70	100.00	0	100.00	0
3/8"	9.53	100.00	0	100.00	0.
Nº 4	4.77	95.00	5	100.00	0.
Nº 8	2.38	80.00	15	98.00	2.
Nº 16	1.19	50.00	30	85.00	13
Nº 30	0.60	25.00	25	60.00	25
Nº 50	0.30	10.00	15	30.00	30
Nº 100	0.15	2.00	8	10.00	20
		0.00	2	0.00	10
			Σ 100		Σ 100

**Primer retenido**

<b>% Retenido:</b>	<b>5</b>
<b>TMN:</b>	<b>Nº 4</b>

- Se identificó que el Tamaño Máximo Nominal (TMN) en la Gradación N° 1 se presenta en el tamiz N° 4, con el 5% de retenido por el límite inferior.

<b>G-2</b>					
Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	<i>Limite Inf.</i>		<i>Limite Sup.</i>	
		<i>% Pasante</i>	<i>% Retiene Inf.</i>	<i>% Pasante</i>	<i>% Retiene Sup.</i>
1/2"	12.70	100.00	0.00	100.00	0.00
3/8"	9.53	90.00	10.00	100.00	0.00
Nº 4	4.77	70.00	20.00	85.00	15.00
Nº 8	2.38	50.00	20.00	70.00	15.00
Nº 16	1.19	35.00	15.00	55.00	15.00
Nº 30	0.60	20.00	15.00	35.00	20.00
Nº 50	0.30	8.00	12.00	20.00	15.00
Nº 100	0.15	2.00	6.00	10.00	10.00
		0.00	2.00	0.00	10.00
			Σ 100		Σ 100

**Primer retenido**

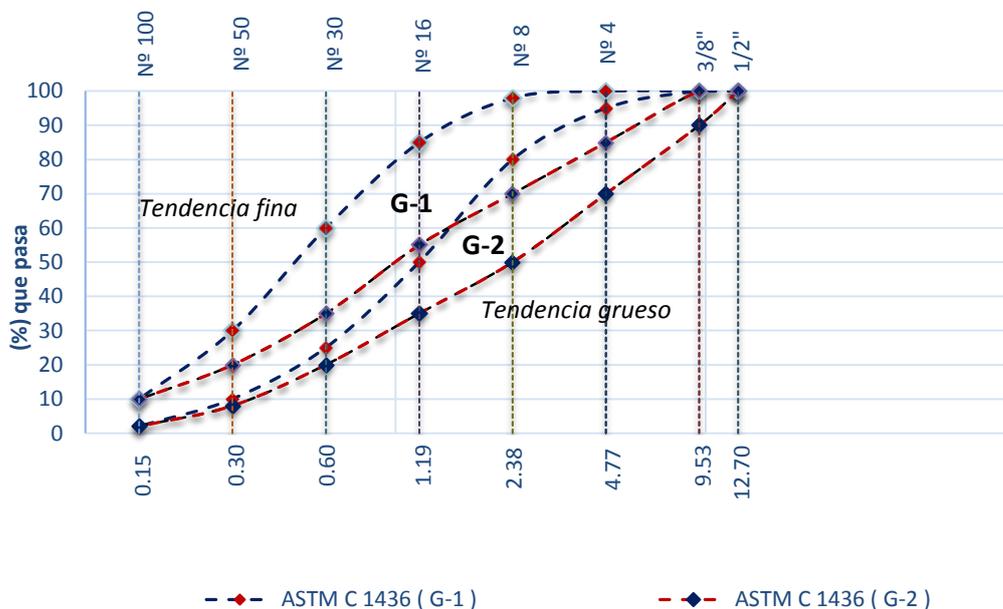
<b>% Retenido:</b>	<b>10</b>
<b>TMN:</b>	<b>3/8"</b>

- En la gradación N°2 el Tamaño Máximo Nominal se presenta en el tamiz N° 3/8" en el límite inferior de la banda granulométrica.

#### 4.2.2 Comparativo de los parámetros de las curvas granulométricas del árido para el Shotcrete G-1 y G-2.

Gráfico comparativo de las curvas granulométrica de la Gradación N° 01 y Gradación N° 02.

**CURVAS GRANULOMETRICA ASTM C 1436 (G-1) Y (G-2)**



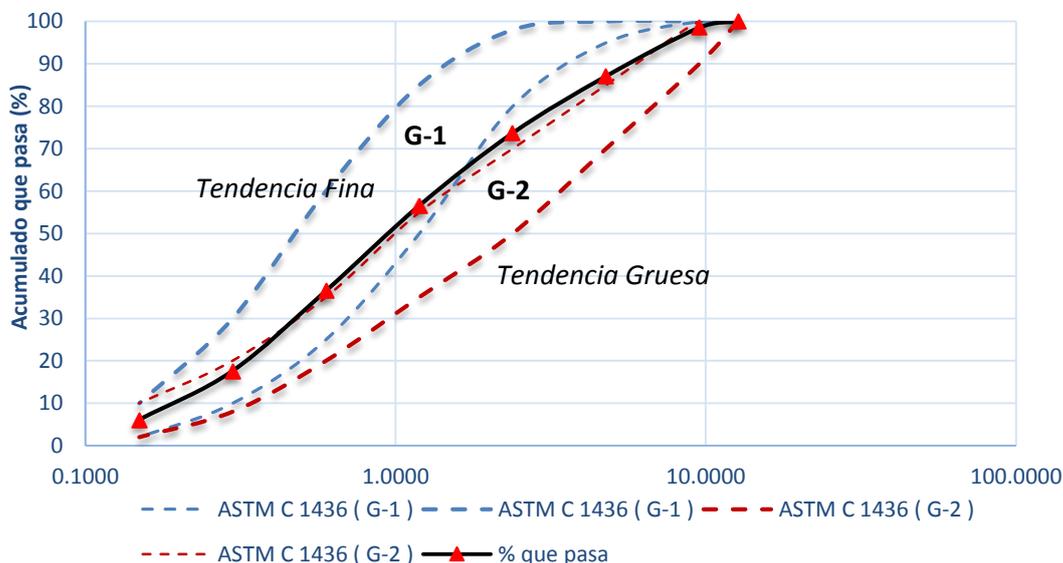
- El gráfico comparativo muestra al G-1 que se apoya a la textura o tendencia fina.
- Mientras el G-2 se apoya a la tendencia gruesa.

#### 4.2.3 Análisis granulométrico de la arena inicial procesada de cantera.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO-“ARENA INICIAL”					
Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Acum. Retenido	% que pasa
1/2"	12.70	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	11.86	1.45	1.45	98.55
Nº 4	4.77	93.72	11.44	12.89	87.11
Nº 8	2.38	109.81	13.41	26.30	73.70
Nº 16	1.19	140.12	17.11	43.41	56.59
Nº 30	0.60	164.46	20.08	63.50	36.50
Nº 50	0.30	154.72	18.89	82.39	17.61
Nº 100	0.15	94.16	11.50	93.89	6.11
FONDO		50.05	6.11	100.00	0.00
		818.90	M.F.:	3.24	3.76

Gráfico de la curva granulométrica de la arena inicial en las curvas de la  
**Gradación N° 01 y Gradación N° 02.**

**CURVA GRANULOMETRICA- "ARENA INICIAL" EN (G-1) y (G-2)**

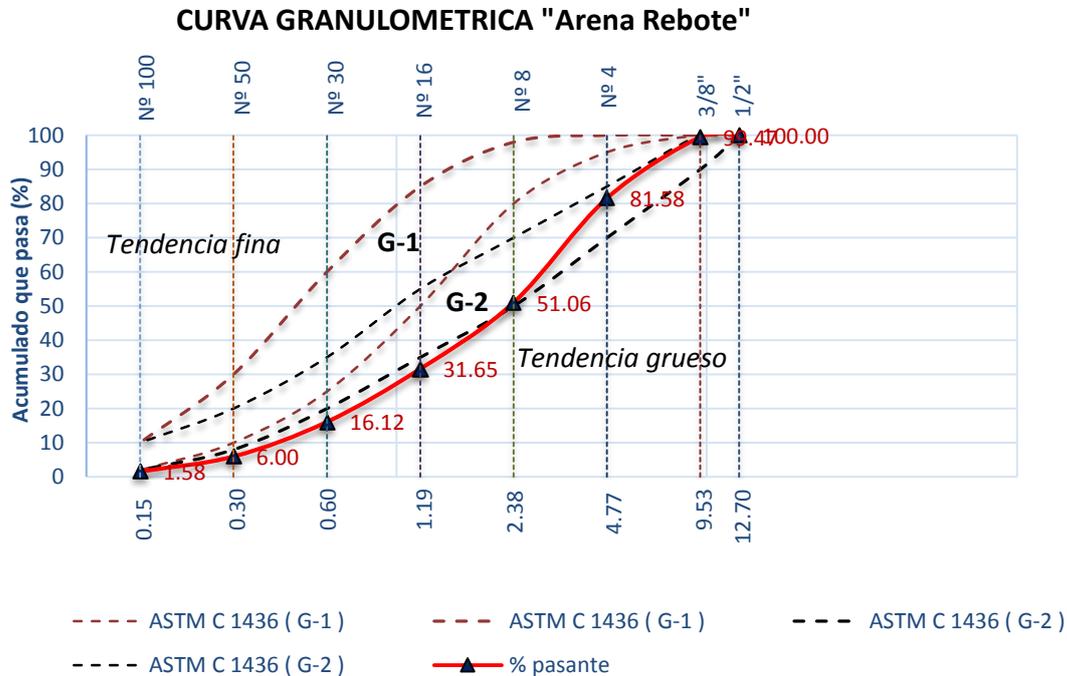


- El gráfico muestra como el resultado la curva granulométrica de la arena inicial para shotcrete se ubica en el G-2.
- Y se apoya hacia la banda límite inferior mostrando una característica de textura fina.

**4.2.4 Resultados del análisis granulométrico del muestreo de la arena rebote del Shotcrete.**

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ARENA SHOTCRETE DE "REBOTE"</b>					
Tamiz (N°)	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Acum. Retenido	% pasante rebote
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	25.60	0.53	0.53	99.47
N° 4	4.77	867.30	17.89	18.42	81.58
N° 8	2.38	1,480.00	30.53	48.94	51.06
N° 16	1.19	941.00	19.41	68.35	31.65
N° 30	0.60	752.60	15.52	83.88	16.12
N° 50	0.30	490.80	10.12	94.00	6.00
N° 100	0.15	214.10	4.42	98.42	1.58
FONDO		76.80	1.58	100.00	0.00
		4,848.20	M. F:	4.13	2.87

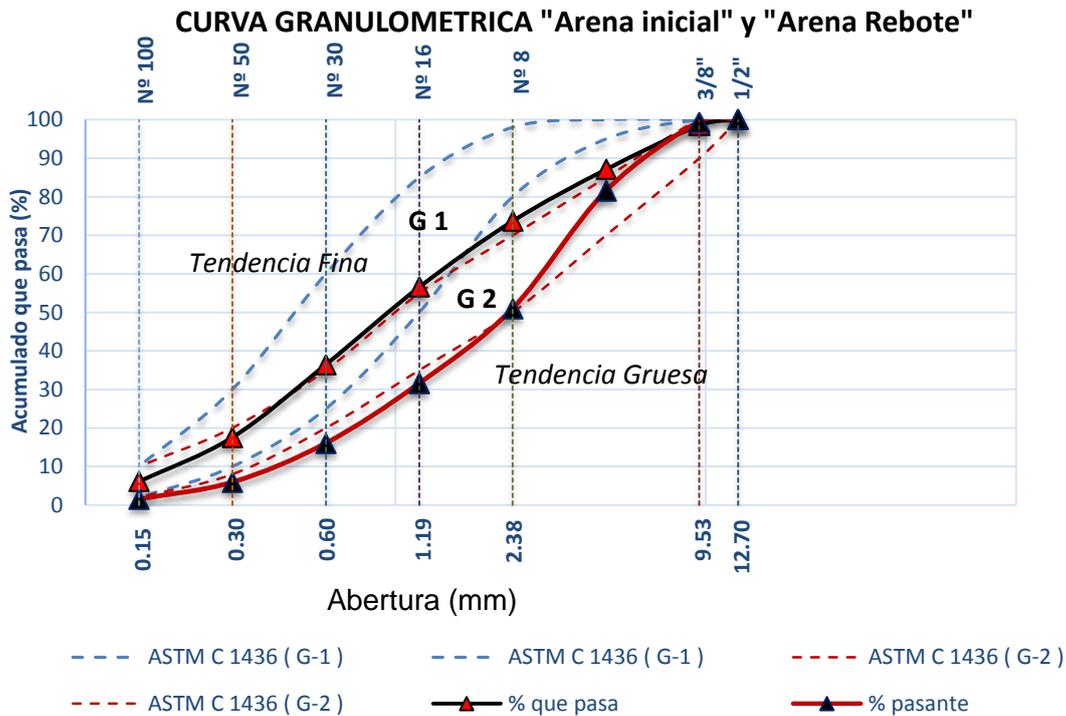
Gráfico de la curva granulometrica del material rebote del shotcrete muestreado, dentro de las bandas de la **Gradación 01 y Gradación 02.**



- Esta curva granulometrica fue antes de la operación de lanzado una curva inicial.
- El gráfico muestra como se ubica la curva granulométrica de la muestra de la arena Rebote.
- La curva de la arena rebote resulta estar dentro de las bandas de la Gradación N° 2 desde los pasante de 3/8 y la malla siguiente N°4.
- Pero a partir del tamiz N° 8 la curva tiende a salirse del límite máximo superior.
- En general la curva de la arena rebote tiene la característica de una textura gruesa.

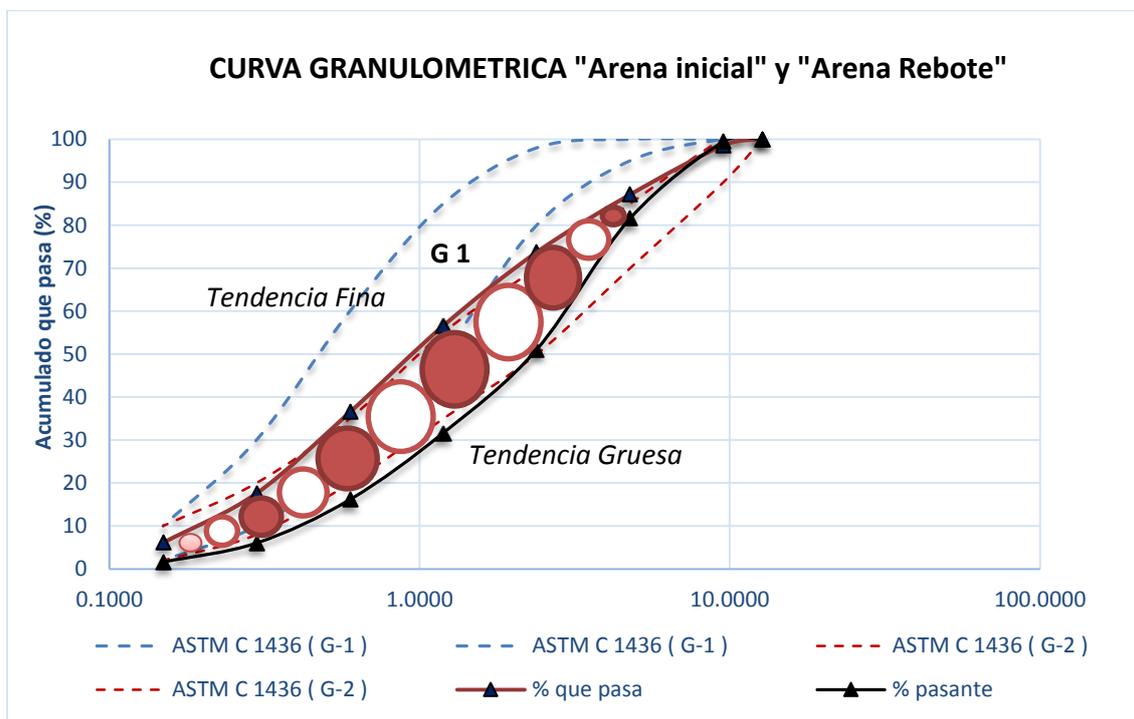
#### 4.2.5 Resultado gráfico comparativo del análisis granulométrico de la Arena inicial y Arena Rebote.

Gráfico de las curvas granulométrica del material rebote del shotcrete y de la arena inicial, dentro de las bandas de la Gradación N° 01 y Gradación N° 02.



- El gráfico de comparación de las curvas de la arena inicial con su post proyectado muestra un desplazamiento de ubicación en las bandas de las Gradaciones.
- La ubicación de la curva de la arena de rebote se muestra en la banda de la Gradación 2, apoyada al límite superior de la tendencia gruesa.

Gráfico de la formación de una banda comprendido entre la curva granulométrica del rebote de shotcrete y la curva granulométrica de la arena inicial.



- Se muestra que se forma una área entre la curva de arena inicial y la curva de la arena shotcrete de rebote.

#### 4.2.6 Resultado resumen del análisis granulométrico del árido inicial y árido de rebote.

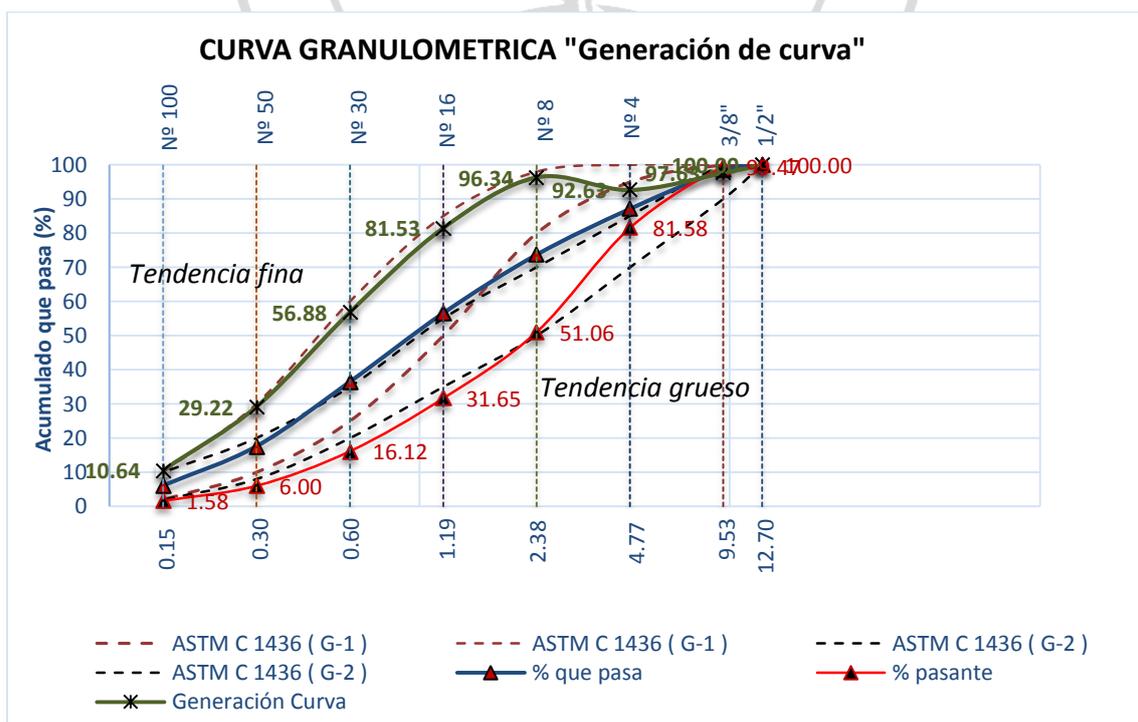
Tamiz (Nº)	Arena Inicial		Arena de Rebote		Rango Diferencia Pasantes	Generación Curva
	% pasante	% Retiene	% pasante	% Retiene		
1/2"	100.00		100.00		0.00	100.00
3/8"	98.55	1.45	99.47	0.53	-0.92	97.63
Nº 4	87.11	11.44	81.58	17.89	5.52	92.63
Nº 8	73.70	13.41	51.06	30.53	22.64	96.34
Nº 16	56.59	17.11	31.65	19.41	24.94	81.53
Nº 30	36.50	20.08	16.12	15.52	20.38	56.88
Nº 50	17.61	18.89	6.00	10.12	11.61	29.22
Nº 100	6.11	11.50	1.58	4.42	4.53	10.64
		6.11		1.58		
M.F.	3.76		M.F.	2.87		

$\% \text{ pasante}_{\text{Arena inicial}} - \% \text{ pasante}_{\text{Arena rebote}} = \text{Rango diferencia pasante}$

$\% \text{ pasante}_{\text{Arena Inicial}} + \text{Rango Diferencia} = \text{Generación Curva}$

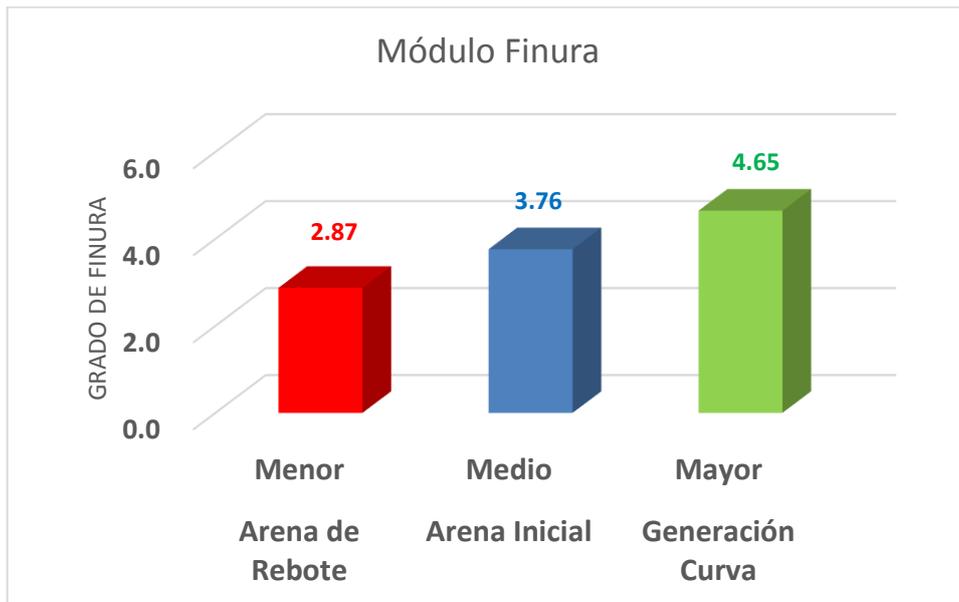
- Aquí en el análisis de ambos estados de la arena Inicial y la arena rebote, se calculó a través de los porcentajes pasantes un módulo de finura.
- El módulo de finura del porcentaje pasante de la Arena Inicial muestra un valor de 3.76.
- Y la Arena rebote muestra un valor de Módulo de finura en su porcentaje pasante de 2.87
- Entonces la Arena Rebote tiene un menor M.F. que la Arena Inicial.
- A través de los resultados de los valores de porcentajes pasante, se desarrolló un cálculo de valor medio entre los rangos de ambas curvas resultantes.
- Con estos valores medio calculados se recalculo con los valores de la curva inicial.
- Generandose nuevos valores de porcentajes pasantes y por ende una reubicación nueva de la curva granulométrica.

Gráfico formación de una nueva curva granulométrica por compensación a la curva de la arena rebote del shotcrete sobre la curva de la area inicial



- Aquí el gráfico nos muestra la generación de una nueva curva granulométrica.
- Curva calculada que se apoya al límite inferior de la Gradación N° 01.
- Esta curva presenta una característica de tendencia fina.

Gráfico de resultados de los análisis de los módulos de finura



- Como se muestra en el gráfico la arena rebote tiene el “menor” M.F. por lo tanto su curva se apoya a la tendencia gruesa como lo muestra los resultados gráficos arriba.
- Seguidamente el M.F. de la Arena Inicial
- Y la nueva curva granulométrica calculada arroja un “mayor” módulo de finura, por lo tanto su carecteristica es de tendencia fina.

#### 4.2.7 Análisis de resultados de las propiedades del árido para el shotcrete.

RESULTADO ENSAYO DE LABORATORIO ÁRIDO - CONTROL DE CALIDAD	
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA PÍAS
<b>PLANTA</b>	: PREMEZCLADO SHOTCRETE
<b>TIPO MEZCLA</b>	: SHOTCRETE PARA SOSTENIMIENTO DE TÚNEL

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO (NORMA DE ENSAYO: NTP 400.022 - ASTM C 128)					
MUESTRA: Arena para Shotcrete			IDENTIFICACIÓN		
PROCEDENCIA: Cantera Pías			M1	M2	
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco SSS	[gr.]	<b>500</b>	<b>500</b>	PROM.
B	Peso Frasco + agua	[gr.]	<b>667.2</b>	<b>667.2</b>	
C	Peso Frasco + agua + A	[gr.]	1167.2	1165.2	
D	Peso del Mat. SSS + agua en el frasco	[gr.]	<b>966.4</b>	<b>964.2</b>	
E	Vol de masa + vol de vacío = C-D	[cc.]	200.8	201.0	
F	Pe. Mat. Seco en horno	[gr.]	<b>518.6</b>	<b>513.9</b>	
G	Vol de masa = E - ( A - F )	[cc.]	219.4	213.9	
	<b>PE Masa ( Base seca ) = F/E</b>	[gr/cc]	2.583	2.557	<b>2.57</b>
	<b>PE Masa ( SSS ) = A/E</b>	[gr/cc]	2.607	2.660	<b>2.63</b>
	<b>PE Aparente ( Base Seca ) = F/G</b>	[gr/cc]	2.707	2.764	<b>2.74</b>
	<b>% de Absorción = ((A - F)/F)*100</b>	[%]	2.295	2.277	<b>2.29</b>

- Los resultados son promedio de dos ensayos
- El Peso Específico de la masa Seca es de 2.57 kg/cm<sup>3</sup>
- El Peso Específico de la masa Superficialmente Seco Saturado es de 2.63 kg/cm<sup>3</sup>
- Y el Peso Específico Aparente es de 2.74 kg/cm<sup>3</sup>
- Y el porcentaje de Absorción del árido es de 2.29 %.

**CONTENIDO DE HUMEDAD  
(NORMA DE ENSAYO: NTP 339.185 / ASTM C566)**

<b>Material :</b>	<b>Unds</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
Peso de la muestra humeda :	(gr)	455.52	875.72
Peso de la muestra seca original :	(gr)	444.05	852.72
Peso de agua :	(gr)	11.47	23.00
<b>Contenido de humedad :</b>	<b>(%)</b>	2.58%	2.70%
		<b>2.64%</b>	

- Los resultados de humedad son resultado de promedio de dos ensayos.
- El resultado promedio de ensayo es de 2.64%
- Este resultado de humedad serán calculados para la corrección por humedad en el diseño de la mezcla.

**MATERIAL MAS FINO MALLA #200  
(NORMA DE ENSAYO: NTP 400.018 / ASTM C117)**

<b>Material :</b>	<b>Unds.</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
Peso de la muestra seca original :	(gr)	443.37	459.28
Peso de la muestra seca lavada :	(gr)	419.70	432.50
Peso perdido por lavado :	(gr)	23.67	26.78
<b>finos que pasan el tamiz N° 200 :</b>	<b>%</b>	5.34%	5.83%
		<b>5.6%</b>	

- Los resultados de malla # 200 es promedio de dos ensayos.
- El ensayo malla #200 promedio es 5.6%.
- La cantidad de porcentaje de contenido de Limos y Arcillas no pasa el 6%.

### 4.3 RESULTADOS DE LOS REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA MEZCLA SHOTCRETE.

#### 4.3.1 DISEÑO INICIAL DEL SHOTCRETE

<i>Relación</i>	<i>f'c</i>	<i>S'</i>	<i>Edad</i>	TESTIGO CILÍNDRICO SIMPLE
<i>a/c</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(pulg)</i>	<i>(días)</i>	
<b>0.41</b>	<b>400</b>	<b>9"</b>	<b>28</b>	

- En las obras de túneles, el shotcrete se expone a medios ambientales altamente agresivos como:
- Aguas subterráneas ácidas y corrosivas.
- Atmosferas de temperaturas altas, con gases de óxido de carbono emanado de las maquinarias en operación.
- Esta condiciones son abrasivas para el deteriorado temprano del shotcrete
- El instituto de Concreto de Australia, recomienda el adecuado uso de relación agua cemento.
- También muestra una tabla que especifica la resistencia mínima a la edad de 28 días para obras de tunelería.

#### 4.3.2 DISEÑO INICIAL CON INTERACCIÓN DE ADITIVO ACELERANTE

TESTIGO CILÍNDRICO DIAMANTINA	<i>Relación a/c</i>	<i>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Edad(días)</i>
		<b>0.41</b>	<b>360</b>

- Por efectos del empleo de aditivos acelerantes se establece una resistencia mínima final.

- La única medición representativa de la capacidad de resistencia a la compresión del Shotcrete proyectado es, a través de la extracción de testigo de diamantina.
- Se empleó el equipo extractor Hilti DD 60, sistema de perforación diamantina, siguiendo las instrucciones del manual de uso.

#### 4.3.3 RESISTENCIA INICIALES DEL DISEÑO DEL SHOTCRETE

			MUESTREO
<i>Relación</i> <i>a/c</i>	<i>Mpa</i>	<i>Edad</i> <i>(horas)</i>	PANELES DE SHOTCRETE
0.41	1	1	

- Los resultados se aplican con la obtención del muestreo del shotcrete proyectado en moldes de los paneles prismáticos.
- Se requiere obtener a la 1 hora, 1 [Mpa] de resistencia inicial

#### 4.3.4 RESISTENCIA TEMPRANA DEL DISEÑO DEL SHOTCRETE

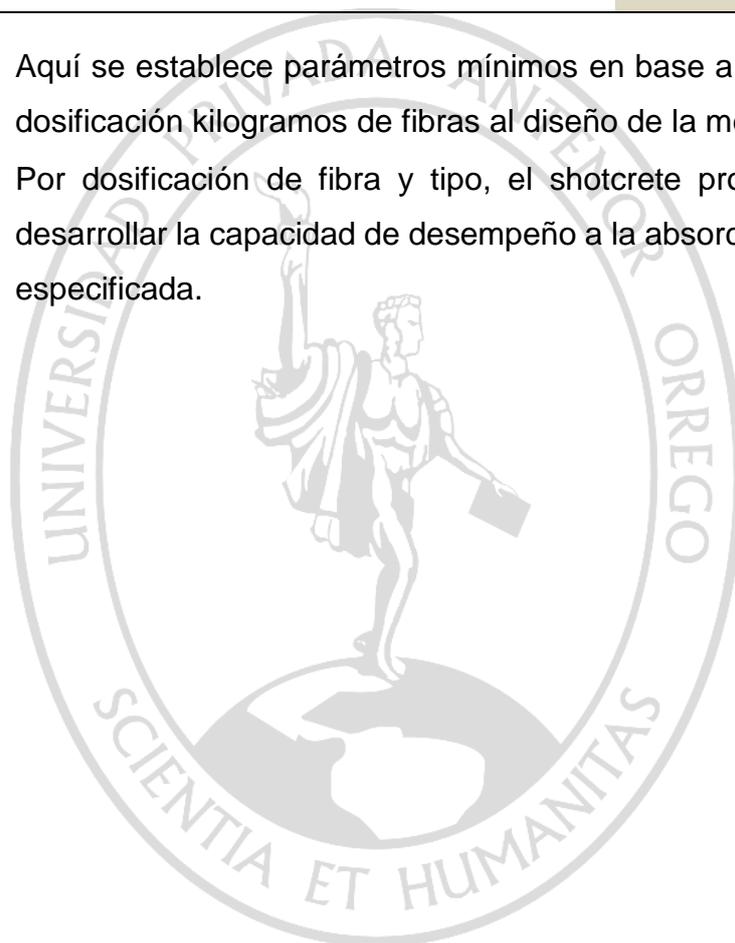
MUESTREO			
PANELES DE SHOTCRETE	<i>Relación</i> <i>a/c</i>	<i>Mpa</i>	<i>Edad</i> <i>(horas)</i>
	0.41	3	3

- Los resultados se aplican sobre la obtención del muestreo del shotcrete proyectado en moldes de los paneles prismáticos o también en los moldes cuadrados.
- Aquí se usó la pistola Hilti DX 450 SCT, con fulminante verde y los clavos que corresponde que va en el orden de medidas 103, 80, y 60 mm.

#### 4.3.5 RESISTENCIA A LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA DEL DISEÑO DEL SHOTCRETE

SHOTCRETE FIBRA REFORZADO		
METÁLICA	SINTÉTICO	JOULE
(Kg)		(J)
25		> 900
30	5	> 1000
35	6	>1200
40		>1350

- Aquí se establece parámetros mínimos en base a la cantidad de dosificación kilogramos de fibras al diseño de la mezcla,
- Por dosificación de fibra y tipo, el shotcrete proyectado debe desarrollar la capacidad de desempeño a la absorción de energía especificada.



#### 4.4 RESULTADOS DE CÁLCULOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA PARA SHOTCRETE.

<b>Tipo Shotcrete:</b> $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$	<b>Diseño:</b> Elvis A. Reyes R.
<b>Tipo Suministro:</b> Vía Húmedo	<b>Adiciones:</b> Aditivo 1 / Aditivo 2 / Fibra
<b>Procedencia Árido:</b> Cantera Pias	<b>Cemento:</b> Portland - I Plus
<b>Obra:</b> Sostenimiento túnel	<b>Fecha :</b> 2018

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES		PROPIEDADES FISICAS DEL ÁRIDO PARA EL SHOTCRETE	
<b>Materiales</b>	<b>Peso Específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Humedad. ( % )</b> NTP 339.185 / ASTM C566	
Cemento Tipo I	3140	2.64	
Agua	1000	<b>Absorción ( % )</b> NTP 400.022 / ASTM C128	
Aggregate for hotcrete	2579	2.29	
Aditivo 1	1090	<b>Mat. # 200 ( % )</b> NTP 400.018 / ASTM C117	
Aditivo 2	1450	5.60%	
Fibra de Acero	7850	<b>Módulo Finura</b> Sin Norma	
		3.58	

REQUISITOS DEL SHOTCRETE / PARÁMETROS DE DISEÑO								
$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Dv. Estandar (kg/cm <sup>2</sup> )	$f'cr$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua ( L )	a/c	Cemento ( kg )	S' ( pulg )	Mod. Finura Global	Inc.Agr. ( % )
<b>390</b>	25	<b>424</b>	160	<b>0.405</b>	395	8" a 9"	3.58	1.00
$f'cr = f'c + (1.34 * Dv.e)$ $f'cr = f'c + 2.33 * Dv.e - 35$								<b>100%</b>

DOSIFICACIÓN DEL SHOTCRETE (KG/M3) - FIBRA (30 KG)						
Materiales	% Dosif. Adiciones	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (libre) kg/ m <sup>3</sup>	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda 0.02 (m <sup>3</sup> )
Cemento		395	0.126	<b>395</b>	395	<b>7.89</b>
Agua		160	0.160	<b>154.34</b>	160	<b>3.09</b>
Aggregate for Shotcrete		1620	0.628	<b>1663</b>	1657	<b>33.25</b>
Aditivo 1	0.66%	2.60	0.002	<b>2.60</b>	2.60	<b>52.10</b>
Aditivo 2	4.43%	17.48	0.012	<b>17.48</b>	17.48	<b>0.35</b>
Fibra de Acero	7.62%	30.07	0.004	<b>30.07</b>	30.07	<b>601.48</b>
Aire Atrapado	6.00%		0.060			
<b>Peso total (kg/m3)</b>		<b>2207</b>	1.0	<b>2244</b>	2244	<b>44.89</b>

#### 4.5 ANALISIS DE RESULTADOS DEL CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN.

$$1. Pe. = \frac{m \text{ kg}}{V \text{ m}^3}$$

$$2. a/c = 0.405$$

#### 3. Cemento

$$Pe = 3140 \text{ kg/m}^3$$

$$a/c = 395 \text{ Kg}$$

$$3140 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{395}{V}$$

$$V_{\text{Cemento}} = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 4. Agua

$$a/c = 160 \text{ Litros}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.160 \text{ m}^3$$

#### 5. Adición aditivo 1: Plastificante

$$Pe. = 1090 \text{ kg/m}^3 \text{ (fuente, el fabricante)}$$

Dosificación por el peso del Cemento: 0.66%

$$Adtvo \text{ (kg)} = 0.66\% * 395$$

$$\text{Kilogramos: } 2.60 \text{ (kg)} = 0.0066 * 395 \quad \text{Litros: } 2.40 \text{ (L)} = \frac{2.60}{1.09}$$

$$V_{\text{adtvo}} = \frac{2.60 \text{ kg}}{1090 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{adtvo}} = 0.002 \text{ m}^3$$

#### 6. Adición Fibra metálica:

$$Pe. = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Dosificación por el peso del Cemento: 7.62%

$$Fibra \text{ (kg)} = 7.62\% * 395$$

$$30.09 \text{ (kg)} = 0.0762 * 395$$

$$V_{\text{fibra}} = \frac{30.09 \text{ kg}}{7850 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{fibra} = 0.004m^3$$

### 7. Aire atrapado:

El aire atrapado en la mezcla fresca shotcrete: 6%

$$V_{aire\ atrapado} = 0.06m^3$$

### 8. Cálculo Volumen del árido

$$V_{\text{árido}} = 1.0 - (V_{CEM} + V_{AGUA} + V_{ADTVO} + V_{FIBRA} + V_{AIRE})$$

$$0.638 m^3_{\text{árido}} = 1.0 - (V_{CEM} + V_{AGUA} + V_{ADTVO} + V_{FIBRA} + V_{AIRE})$$

$$Vol\ m^3_{\text{árido}} * P. e. \frac{kg}{m^3} = \text{Árido}\ kg$$

$$0.638 m^3_{\text{árido}} * 2579 \frac{kg}{m^3} = 1646kg$$

### 9. Corrección por humedad

Agua efectiva:

$$Agua_{diseño} - (Arido\ kg * \frac{(H\% - Abs\%) }{100}) = Agua_{efectiva}$$

$$160_{diseño} - (1646\ kg * \frac{(2.64\% - 2.29\%) }{100}) = Agua_{efectiva}$$

$$160_{diseño} - (1646\ kg * \frac{(2.64\% - 2.29\%) }{100}) = 154.25\ Litros_{efectiva}$$

Arena corregido por humedad:

$$Arido_{seco} * (1 + (\frac{H\%}{100})) = \text{Árido}\ Corregido$$

$$1646_{seco} * (1 + (\frac{2.64\%}{100})) = \text{Árido}\ Corregido$$

$$1646_{seco} * (1 + (\frac{2.64\%}{100})) = 1689\ kg\ Corregido$$

**El Cemento, Aditivo acelerante y fibra** no intervienen en la corrección por humedad, conservan sus propios pesos (Pesos Seco kg/m3).

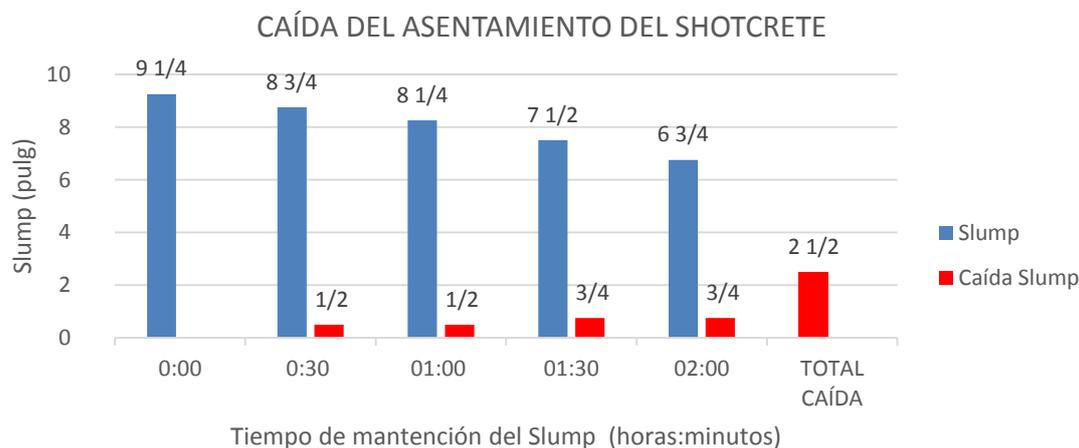
## 4.6 RESULTADOS DE ENSAYOS A LA MEZCLA SHOTCRETE EN ESTADO FRESCO, ASTM C 143.

### 4.6.1. Características y propiedades de los Aditivos

ADITIVOS	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	RANGO DOSIFICACIÓN (%)	DOSIFICACIÓN PROPUESTA (Kg) / m <sup>3</sup>
SUPER PLASTIFICANTE	1090	0.6% - 0.72%	2.37 - 2.82
ACELERANTE	1450	1% - 6%	8 - 12

#### REQUISITO DEL COMPORTAMIENTO DEL ADITIVO PLASTIFICANTE

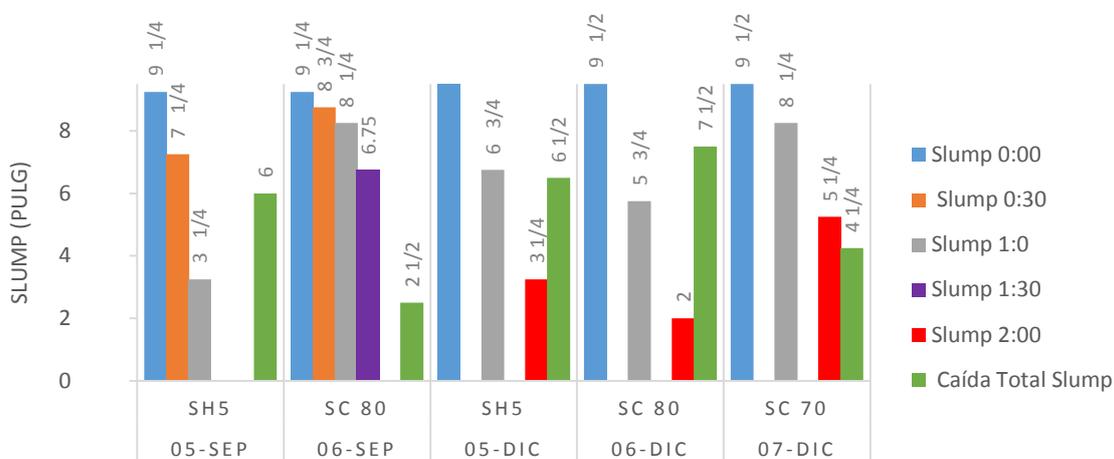
		Rango Dosif. (%)		Rango Cant. L/m <sup>3</sup>		Tiempo (h:min)	0:0	0:30	1:0	1:30	2:00	Total Caída
		S'		S'			9 1/4	8 3/4	8 1/4	7 1/2	6 3/4	2 1/2
		Caída S'		Caída S'				1/2	1/2	3/4	3/4	
0.6	0.7	2.36	2.50									



- Para los trabajos de producción y colocación proyectada del shotcrete se requiere que el aditivo plastificante proporcione un asentamiento de 9 1/4”, inmediato a su mezclado compuesto.
- Se requiere que el shotcrete plastificado mantenga y pierda su trabajabilidad gradualmente a través de su tiempo de hidratación.

#### 4.6.2. Resultados pruebas de Slump en laboratorio.

### PRUEBAS DE SLUMP LABORATORIO



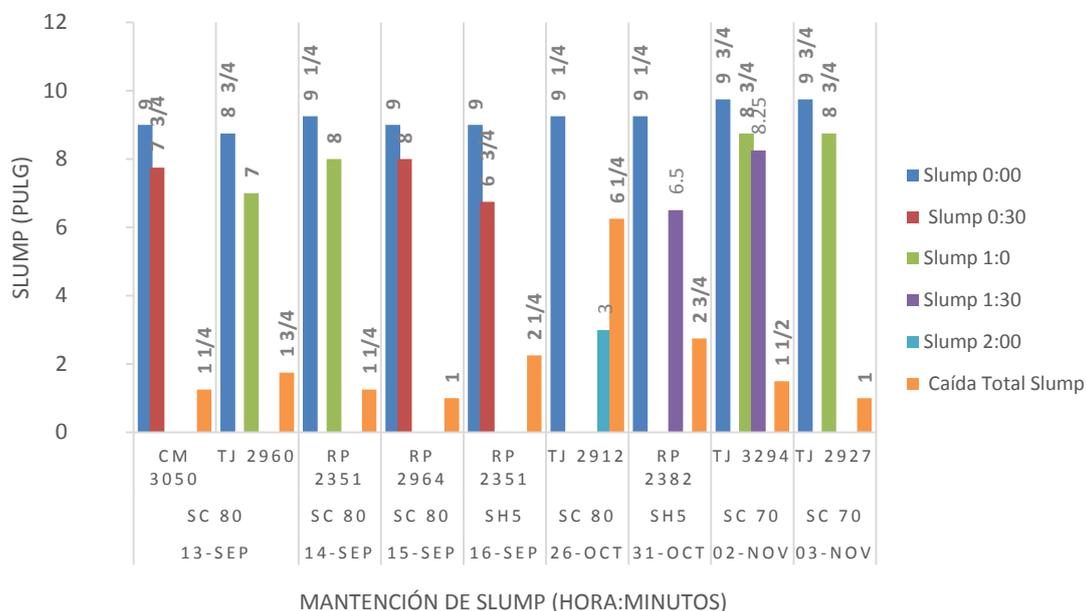
MANTENCIÓN DE SLUMP (HORA:MINUTOS)

### PRUEBAS ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA FRESCA SHOTCRETE DE LABORARTORIO

Fecha	Adtvo	% Dosif.	L/m3	0:0	0:30	1:0	1:30	2:00	Total Caída S'
05-sep	SH5	0.72	2.59	9 1/4	7 1/4	3 1/4			6
06-sep	SC 80	0.60	2.36	9 1/4	8 3/4	8 1/4	6 3/4		2 1/2
05-dic	SH5	0.90	3.26	9 3/4		6 3/4		3 1/4	6 1/2
06-dic	SC 80	0.70	3.26	9 1/2		5 3/4		2	7 1/2
07-dic	SC 70	0.91	3.24	9 1/2		8 1/4		5 1/4	4 1/4

### 4.6.3. Resultados de pruebas de Asentamiento de campo

#### PRUEBAS DE SLUMP EN CAMPO



#### PRUEBAS DE ASENTAMIENTO DEL SHOTCRETE DE CAMPO

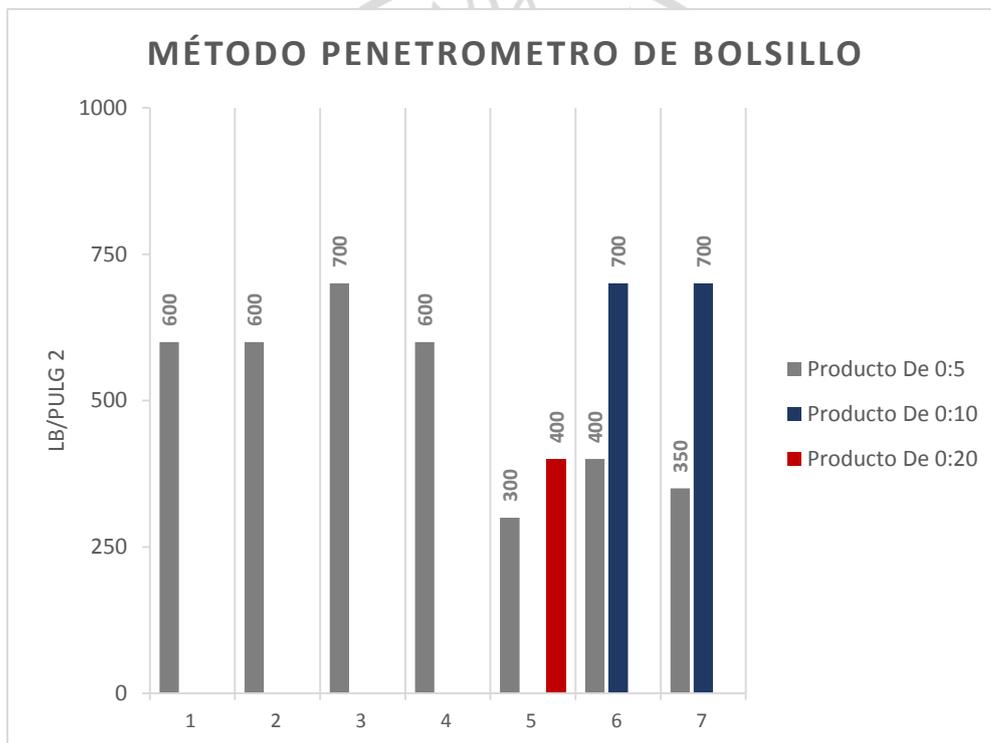
Fecha	Frete Labor	Adtv.	% Dosif.	L/m3	0:0	0:30	1:0	1:30	2:00	Caída Total
13-sep	CM 3050	SC 80	0.60	2.15	9	7 3/4				1 1/4
13-sep	TJ 2960	SC 80	0.60	2.15	8 3/4		7			1 3/4
14-sep	RP 2351	SC 80	0.60	2.15	9 1/4		8			1 1/4
15-sep	RP 2964	SC 80	0.60	2.15	9	8				1
16-sep	RP 2351	SH5	0.72	2.61	9	6.75				2 1/4
26-oct	TJ 2912	SC 80	0.68	2.47	9 1/4				3	6 1/4
31-oct	RP 2382	SH5	0.72	2.61	9 1/4			6.5		2 3/4
02-nov	TJ 3294	SC 70	0.72	2.61	9 3/4		8 3/4	8.25		1 1/2
03-nov	TJ 2927	SC 70	0.90	3.26	9 3/4		8 3/4			1

- Los resultados muestran que en su mayoría el Slump inicial está por encima de las 9”.

- A los 30 minutos hay unas pérdidas de Slump de 1”.
- A 1 hora hay resultados de pérdida de Slump de hasta 1 ¾”.
- Se tiene en 1.50 horas un valor de caída de Slump de hasta 2 ¾”.
- Y a las 2 horas se tiene valor de perdida de Slump de hasta 6 ¼”.

#### 4.7. RESULTADO DE LAS CLASES DE RESISTENCIA DEL SHOTCRETE EN ESTADO ENDURECIDO

##### 4.7.1. Resultados de fragua de la mezcla proyectada, ASTM C403.



PRUEBAS DE FRAGUA DEL SHOTCRETE - ASTM C 403

Fecha	Frente Labor	Adtvc	% Dosif. Plast.	L/m3	% Dosif. Adrte	L/m3 Adrte	0:5	0:10	0:15	0:20
13-sep	CM 3050	SC80/L30	0.66	2.36	3.85	10.5	600			
13-sep	TJ 2960	SC80/L30	0.66	2.36	4.04	11	600			
13-sep	RP 2351	SC80/L30	0.66	2.36	5.97	16.25	700			
13-sep	RP 2964	SC80/L30	0.66	2.36	4.21	11.48	600			
16-sep	RP 2351	SH5/L30	0.70	2.54	3.27	8.9	300			400
16-sep	RP 3293	SH5/L30	0.70	2.54	3.85	10.5	400	700		
16-sep	CX 2724	SH5/L30	0.70	2.54	3.59	9.78	350	700		



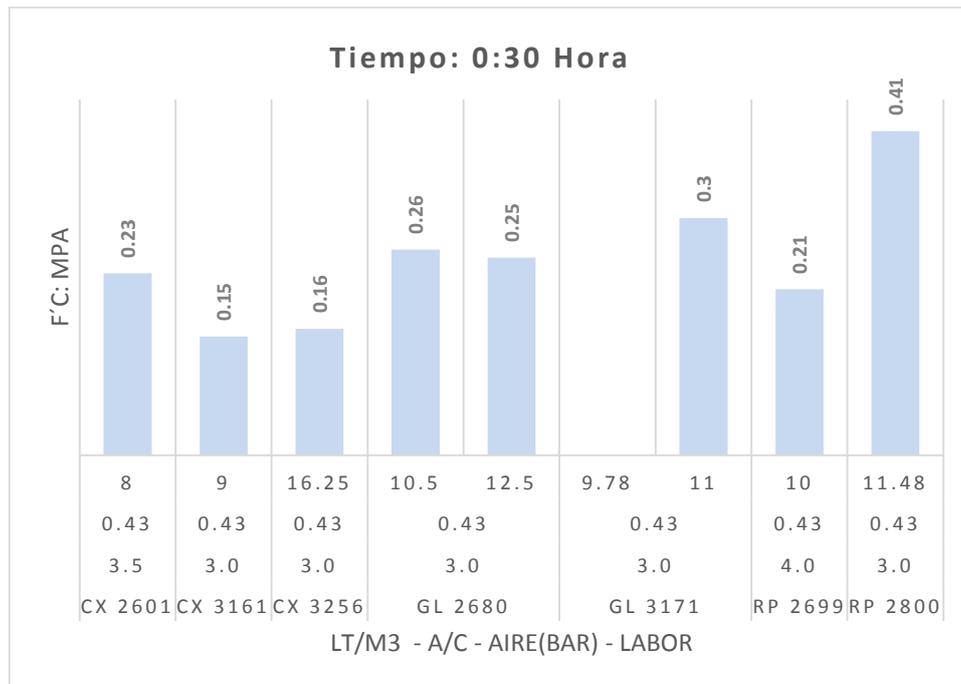
Imagen 49: Pruebas de fragua inicial alshotcrete recién proyectado.

- Los resultados muestran a través de la evaluación de inserción del penetrometro para mortero bajas y altos valores de fraguas iniciales desde los 5min, como también
- Se aprecia un resultado que a los 20 minutos de haber sido proyectado el shotcrete no logra adquirir su fragua inicial.

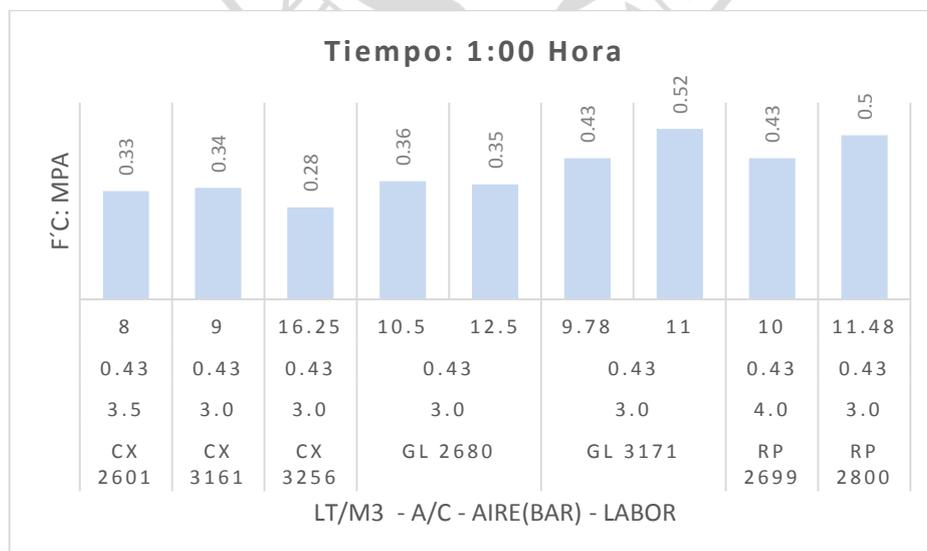
#### 4.7.2. Resultados de Resistencia Iniciales, EN 14488-2 (Método A)

En este segmento de evaluación y resultados se ordena las relaciones de agua cemento desde las más altas a la más baja, de 0.43 a 0.38 respectivamente.

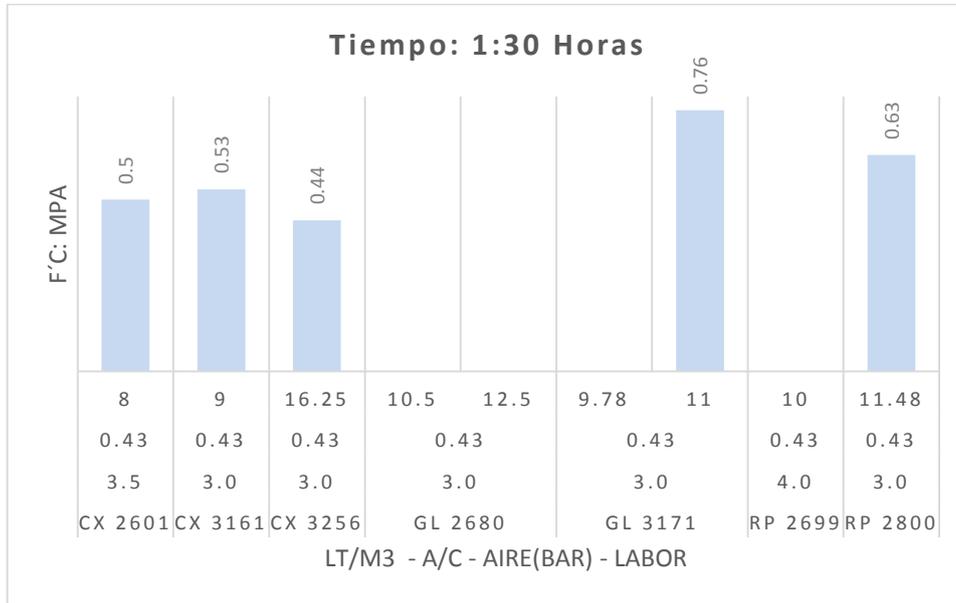
##### RESISTENCIAS INICIALES RELACIÓN A/C: 0.43



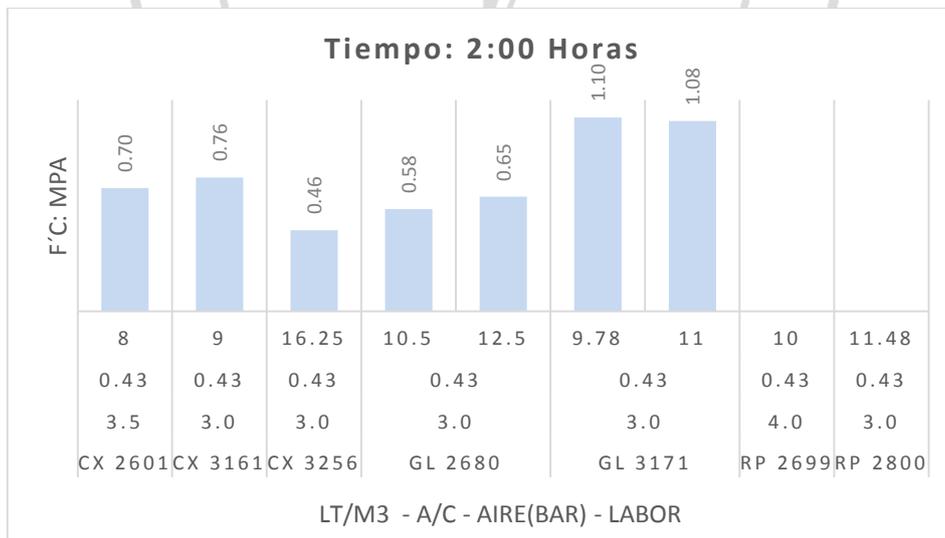
- Los resultados de la relación agua cemento de 0.43, es la más alta relación y contiene mayor dosificación de agua por la unidad de m3.
- A los 30 minutos de edad el resultado más bajo es de 0.15 Mpa
- Y el resultado más alto es de 0.41 Mpa
- 



- A la edad de una hora la resistencia inicial más baja resulta con 0.28 Mpa
- Y la más alta con 0.50 y 0.52 Mpa

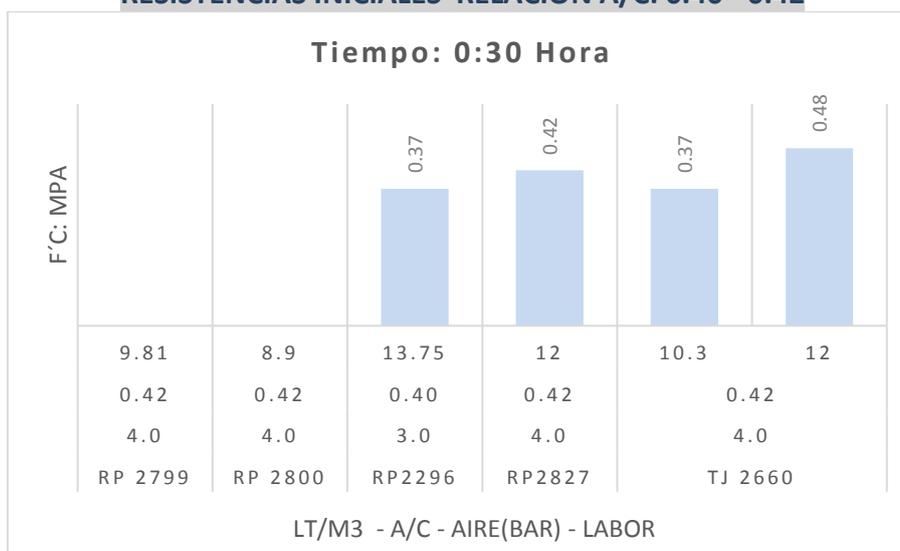


- A la edad de 1.5 horas el valor más alto resulta con 0.76 Mpa

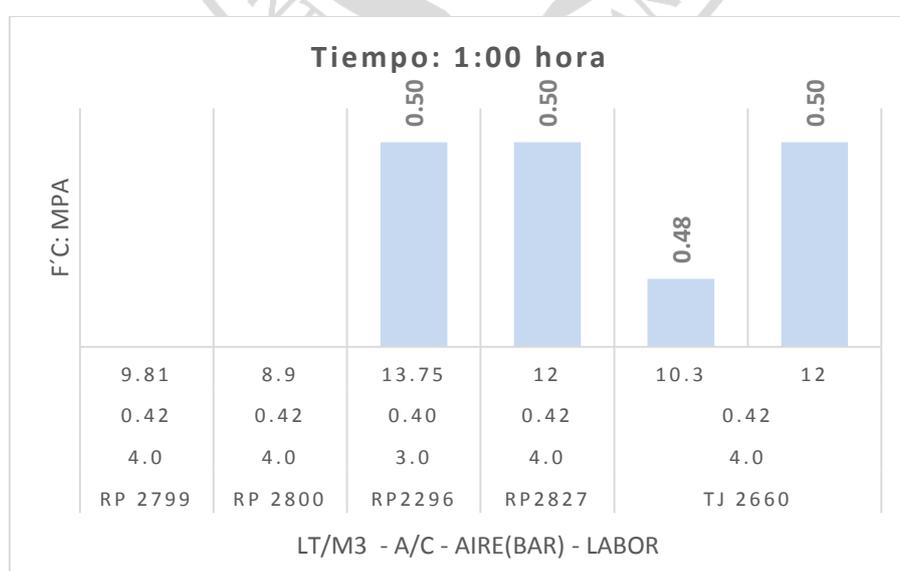


- A la edad de 2.0 horas el valor más alto resulta con 1.08 y 1.10 Mpa.
- A las 2 horas estos resultados es tardío el desarrollo de las resistencias iniciales.
-

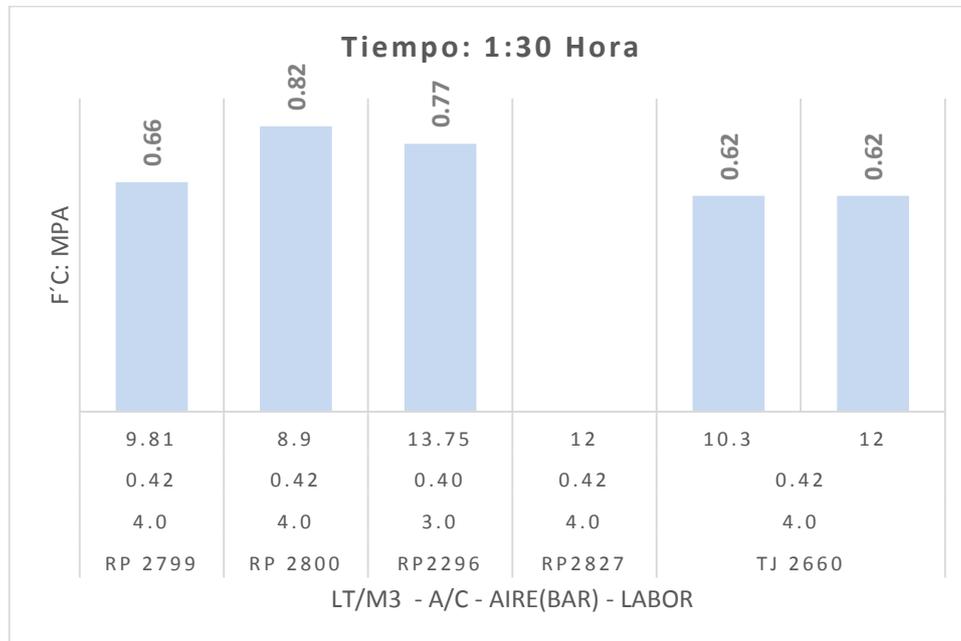
### RESISTENCIAS INICIALES RELACIÓN A/C: 0.40 - 0.42



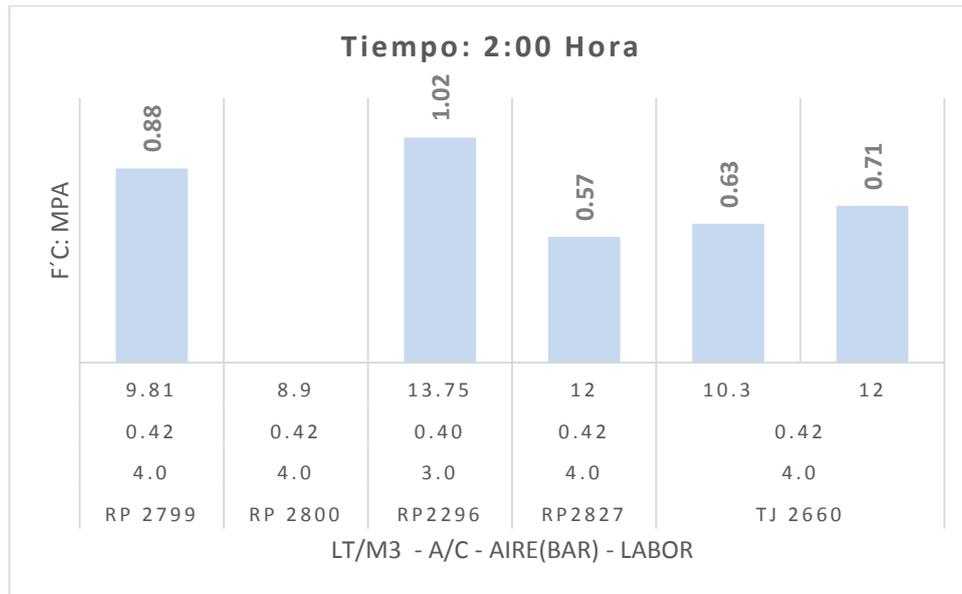
- La resistencia inicial es evaluada con respecto a la relación agua cemento de 0.40 y 0.42
- La edad de resistencia inicial evaluada es a los 30 minutos.
- El mejor resultado a los 30 minutos es con la dosificación de 12 litros y conserva una relación de agua cemento de 0.42 y con 4 bares de presión de aire, resulta un valor de 0.48 Mpa.
- Se muestra la relación de agua cemento de 0.40 una dosificación de 13.75, con 3 bares de presión de aire, pero sin embargo su resistencia inicial es menor a la de 0.48 Mpa



- A la 1 hora los resultados se muestran con una nivelación o igualdad de resistencia con las dosificaciones de acelerante mostradas, pero el crecimiento de desarrollo resistencias no son significativos.

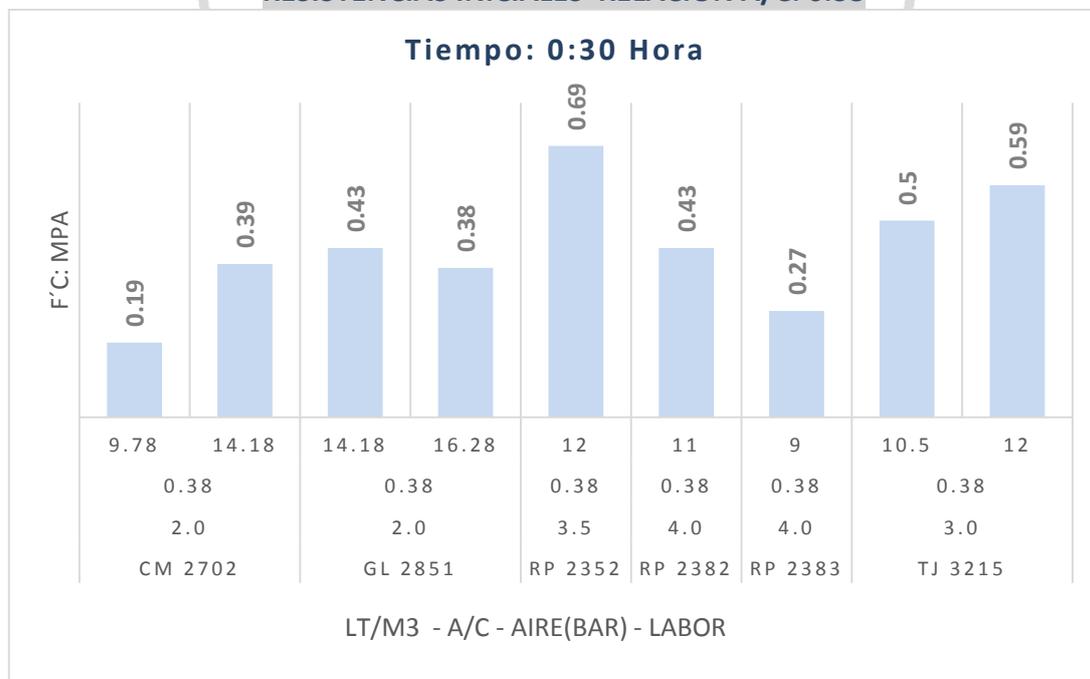


- A las 1.5 horas los resultados muestran que con 8.9 l/m<sup>3</sup> de dosificación acelerante, con 4 bares de presión de aire y la relación de agua cemento de 0.42 logra alcanzar 0.82 Mpa
- La relación de agua cemento de 0.40 con 3 bares, llegó a 0.77Mpa, además cuenta con una dosificación de 13.75 l/m<sup>3</sup>, cerca de 14 litros.



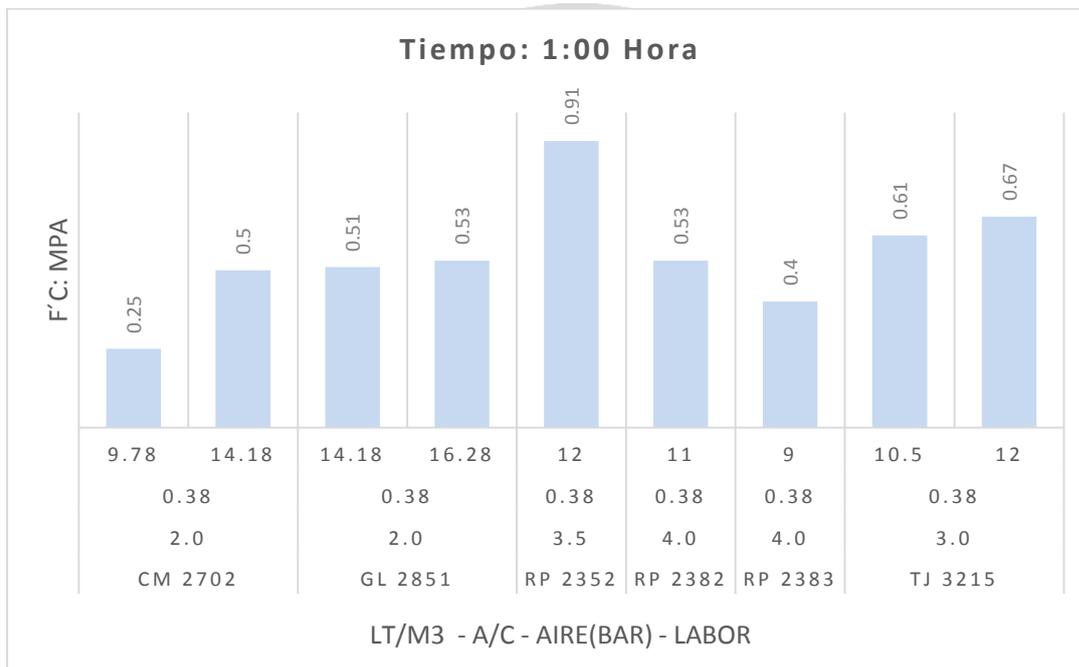
- La relación de agua cemento de 0.40, a las 2 horas de edad con 3 bares, llegó a 1.02 Mpa. El registro más bajo de la relación a/c de 0.42 a las 2 horas es de 0.57 Mpa.
- Los resultados de la relación agua cemento de 0.42 a las 2 horas no llegan a 1 Mpa.

**RESISTENCIAS INICIALES RELACIÓN A/C: 0.38**

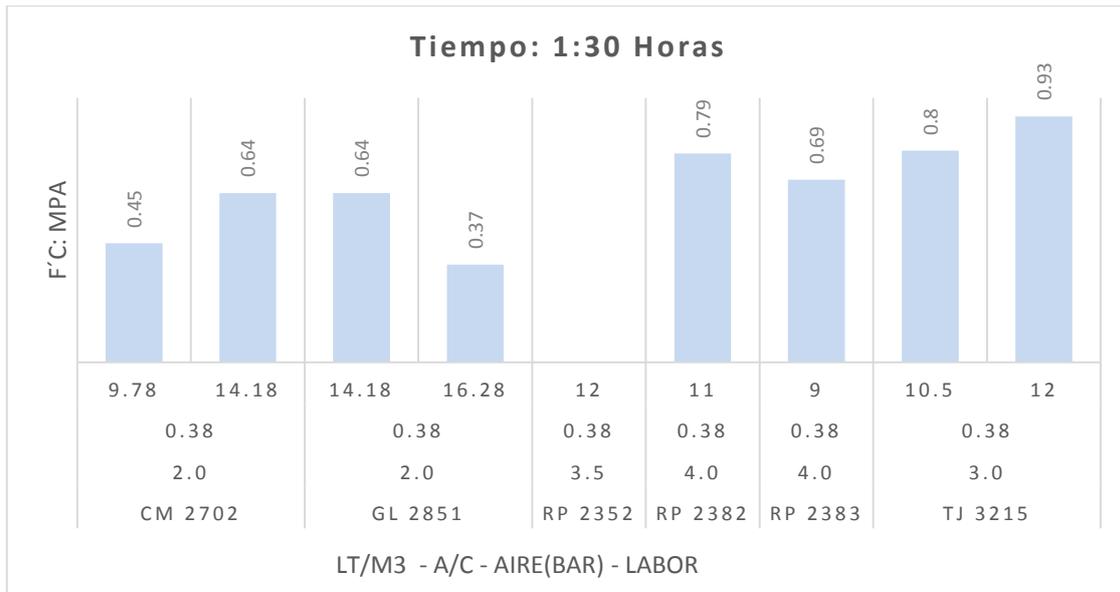


- La relación agua cemento evaluado es de 0.38
- El tiempo evaluado es a los 30 primeros minutos

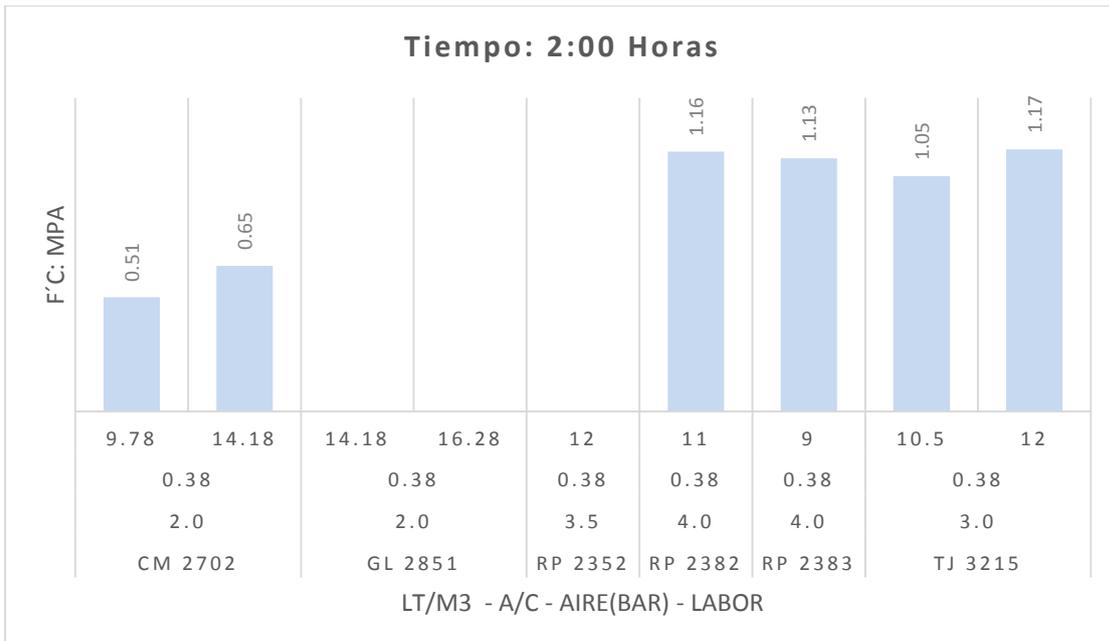
- El resultado más bajo es de 0.19 Mpa, con una dosificación de 9.78 l/m<sup>3</sup> de aditivo acelerante. Además se aprecia que fue colocado con una presión de aire comprimido de 2 bar (29 psi)
- Mientras existe un resultado de 0.69 Mpa con una dosificación de 12 l/m<sup>3</sup> y colocado con una presión de aire de 3.5 bar ( 50.7 psi)
- Se muestran dosificaciones de acelerantes mayores a 12 l/m<sup>3</sup>, pero sin embargo son de menores resistencias iniciales.



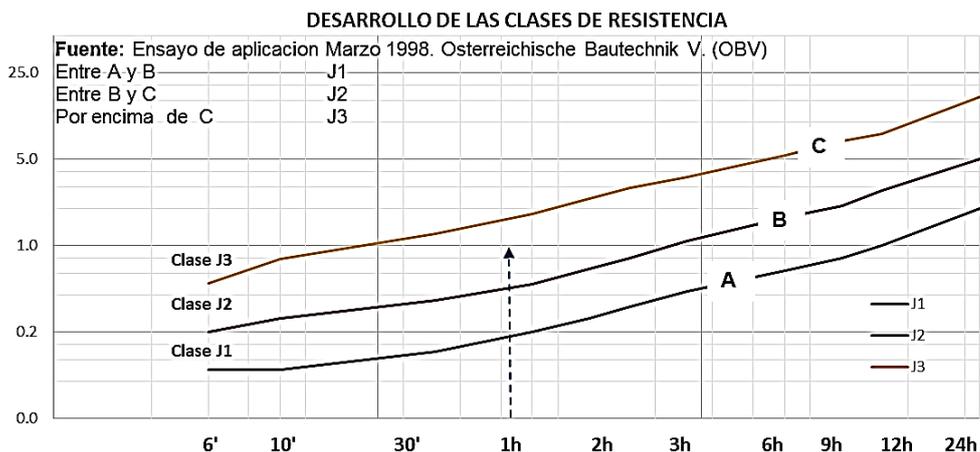
- La relación agua cemento de 0.38 es evaluada a la edad de una hora.
- El mayor desarrollo de resistencia inicial es con la dosificación de 12 litros/m<sup>3</sup> con 0.91Mpa
- Seguidamente se aprecia un desarrollo de 0.67 Mpa, dosificado con 12 l/m<sup>3</sup>, pero la presión de aires es menor a la de 3.5 bar.



- En la continuación de la evaluación a la edad 1.5 horas, de la dosificación de 12 l/m<sup>3</sup> y con 3.5 bar de presión de aire, se abortó el ensayo, por motivo de seguridad, retiro y evacuación de la zona o lugar de ensayo.
- Se estima que el ensayo abortado debió haber obtenido un resultado de resistencia inicial por encima de 1 Mpa, a la edad de 1.5 horas.
- Se muestra que la otra dosificación con acelerante de 12 l/m<sup>3</sup> tiende a tener el mejor desarrollo de resistencia inicial
- Sin embargo se aprecia que la dosificación con 16.28 l/m<sup>3</sup> inversamente decrece su resistencia inicial, paso de 0.53 Mpa (1 Hora) a 0.37Mpa (1.5 Hora).



- Se registró a las dos horas que las dosificaciones con acelerantes desde el orden de 9 a 12 litros por m<sup>3</sup> siguieron desarrollando resistencias aquellos que cuentan con una presión de aire por encima de los 3 bares.
- Sin embargo las otras que tienen menos presión de aire no muestran un apreciable crecimiento de resistencia a la edad de 2 horas.

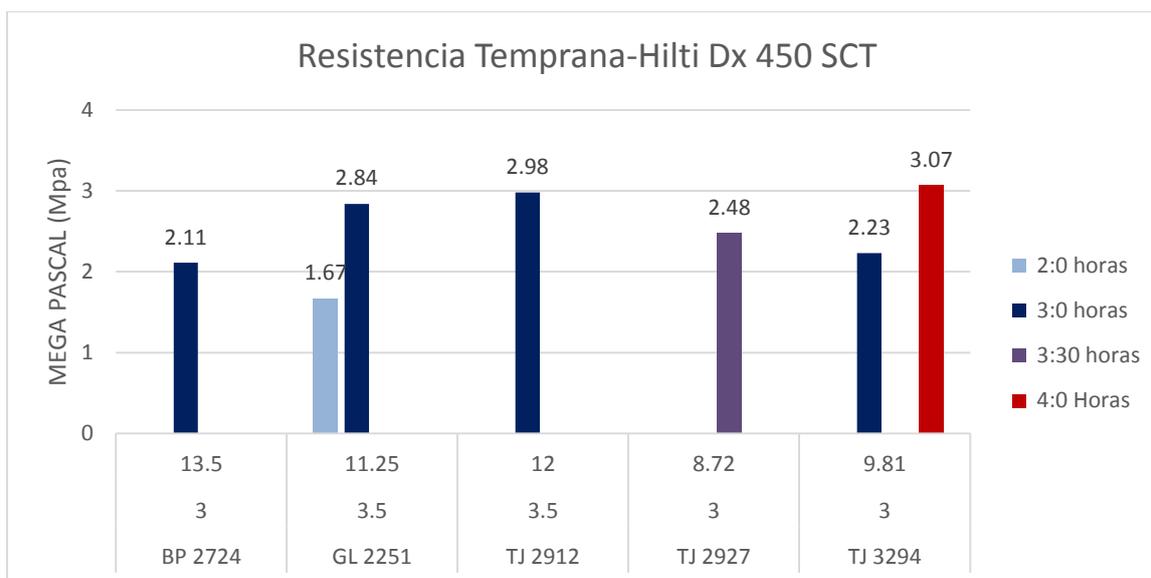




**PRUEBAS DE RESISTENCIAS INICIALES DEL SHOTCRETE**

Fecha	Frete Labor	Aire (bar)	a/mc	Fibra (kg)	Adtvos	% Dosif.	L/m3	% Dosif. Acelerante	Acelerante L/m3	Edad 1 día f'c (kg/cm2)	0:30	1:0	1:30	2:0
12-mar	RP 2800	3.0	0.43	30	SH5/L30	0.66	2.36	4.21	11.48	234	0.41	0.50	0.63	
14-mar	GL 3171	3.0	0.43	25	SH5/L30	0.66	2.36	3.59	9.78	212		0.43		1.10
15-mar	GL 3171	3.0	0.43	25	SH5/L30	0.66	2.36	4.04	11.00	231	0.30	0.52	0.76	1.08
16-mar	CX 2601	3.5	0.43	30	SH5/L30	0.66	2.36	2.94	8.00	250	0.23	0.33	0.50	0.70
17-mar	CX 3256	3.0	0.43	25	SH5/L30	0.66	2.36	5.97	16.25		0.16	0.28	0.44	0.46
18-mar	CX 3161	3.0	0.43	30	SH5/L30	0.66	2.36	3.30	9.00	203	0.15	0.34	0.53	0.76
19-mar	RP2296	3.0	0.40	25	SC70/L30	0.66	2.36	5.05	13.75		0.37	0.50	0.77	1.02
20-mar	RP 2382	4.0	0.38	35	SC70/L30	0.66	2.36	4.04	11.00	156	0.43	0.53	0.79	1.16
20-mar	RP 2383	4.0	0.38	35	SC70/L30	0.66	2.36	3.30	9.00	188	0.27	0.40	0.69	1.13
20-mar	RP 2352	3.5	0.38	35	SC70/L30	0.66	2.36	4.41	12.00	157	0.69	0.91		
23-mar	TJ 3215	3.0	0.38	25	SC70/L30	0.66	2.36	3.85	10.50		0.50	0.61	0.80	1.05
23-mar	TJ 3215	3.0	0.38	25	SC70/L30	0.66	2.36	4.41	12.00		0.59	0.67	0.93	1.17
24-mar	CM 2702	2.0	0.38	30	SH5/L30	0.85	3.08	3.59	9.78		0.19	0.25	0.45	0.51
24-mar	CM 2702	2.0	0.38	30	SH5/L30	0.85	3.08	5.21	14.18		0.39	0.50	0.64	0.65
25-mar	GL 2851	2.0	0.38	30	SH5/L30	0.80	3.08	5.21	14.18		0.43	0.51	0.64	
25-mar	GL 2851	2.0	0.38	30	SH5/L30	0.80	3.08	5.98	16.28		0.38	0.53	0.37	
10-abr	GL 2680	3.0	0.43	30	SH5/L30	0.66	2.36	3.85	10.50		0.26	0.36		0.58
10-abr	GL 2680	3.0	0.43	30	SH5/L30	0.66	2.36	4.59	12.50		0.25	0.35		0.65
07-jul	RP 2800	4.0	0.42	35	SH5/L30	0.66	2.36	3.27	8.90	177			0.82	
06-jul	RP 2799	4.0	0.42	35	SH5/L30	0.66	2.36	3.60	9.81	177			0.66	0.88
12-jul	RP2827	4.0	0.42	35	SH5/L30	0.66	2.36	4.41	12.00	168	0.42	0.50		0.57
12-jul	TJ 2660	4.0	0.42	35	SH5/L30	0.66	2.36	4.41	12.00	156	0.48	0.50	0.62	0.71
12-jul	TJ 2660	4.0	0.42	35	SH5/L30	0.66	2.36	3.78	10.30	171	0.37	0.48	0.62	0.63

### 4.7.3. Resultados de Resistencia Tempranas, EN 14488-2 (Método B)



**PRUEBAS DE RESISTENCIAS TEMPRANA DEL SHOTCRETE**

**HILTI DX 450 SCT - FULMINANTE VERDE - CLAVO 103MM**

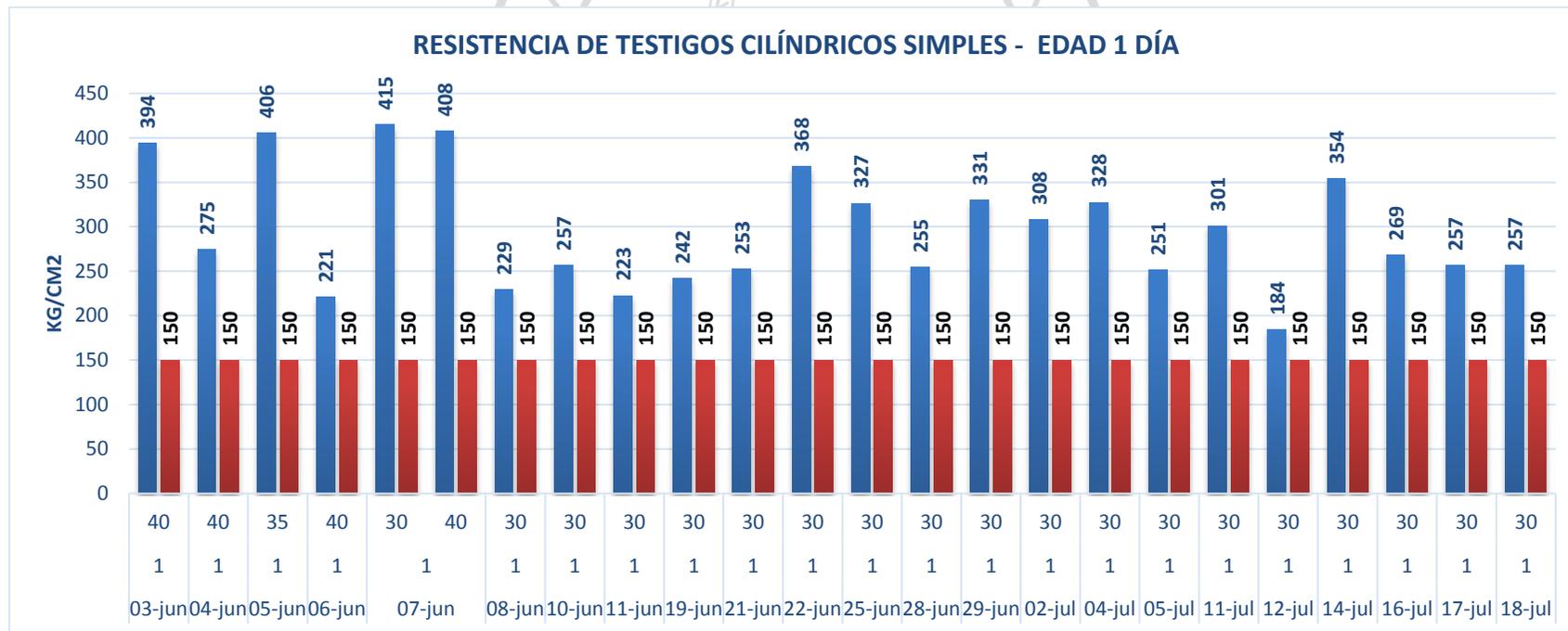
Fecha	Frente Labor	Adtvo	% Dosif.	L/m3	Presión aire	2:0	3:0	3:30	4:0
13-ene	TJ 3294	L30	3.20	9.81	3.0		2.23		3.07
18-ene	TJ 2927	L30	2.60	8.72	3.0			2.48	
21-ene	GL 2251	L30	4.13	11.25	3.5	1.67	2.84		
21-ene	TJ 2912	L30	4.41	12.00	3.5		2.98		
26-ene	BP 2724	L30	4.95	13.5	3.0		2.11		

- Se registra que a las 2 horas con una dosificación de acelerante de 11.25 l/m3, se obtiene 1.67 [MPa]
- Y a las 3 horas 2.84 [MPa]
- Una dosificación de 12 l/m3, a las 3 horas alcanza 2.98 [MPa]
- Una dosificación alta de 13.5 l/m3, a las 3 horas alcanza resistencia baja de 2.11 [MPa]
- Una dosificación de 9.81 l/m3 por debajo de los 11 litros, sólo alcanza 2.48 [MPa] a las 3.5 horas

#### 4.7.4. Resultados Resistencia a la Compresión Axial, ASTM C39

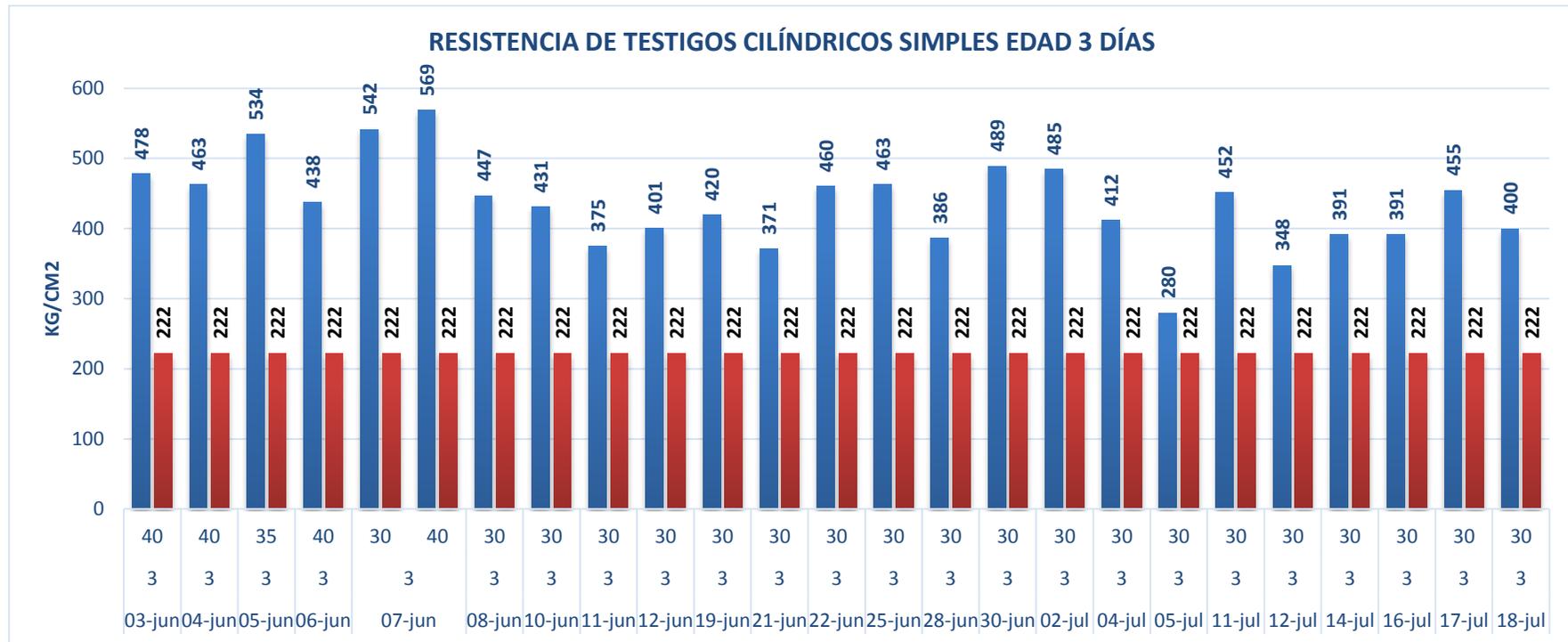
- **Testigos Cilíndricos Simples**

Resultados del diseño inicial, se señala que estos testigos son elaborados fuera de la interacción con cualquier aditivo acelerante. Por ello estos no sufren los efectos de la reacción química alcalina, resultando resistencias a la compresión elevadas desde la edad de 1,3 y 28 días. Estos resultados se exceptúan de dar conformidad a la resistencia requerida del shotcrete de su colado final.



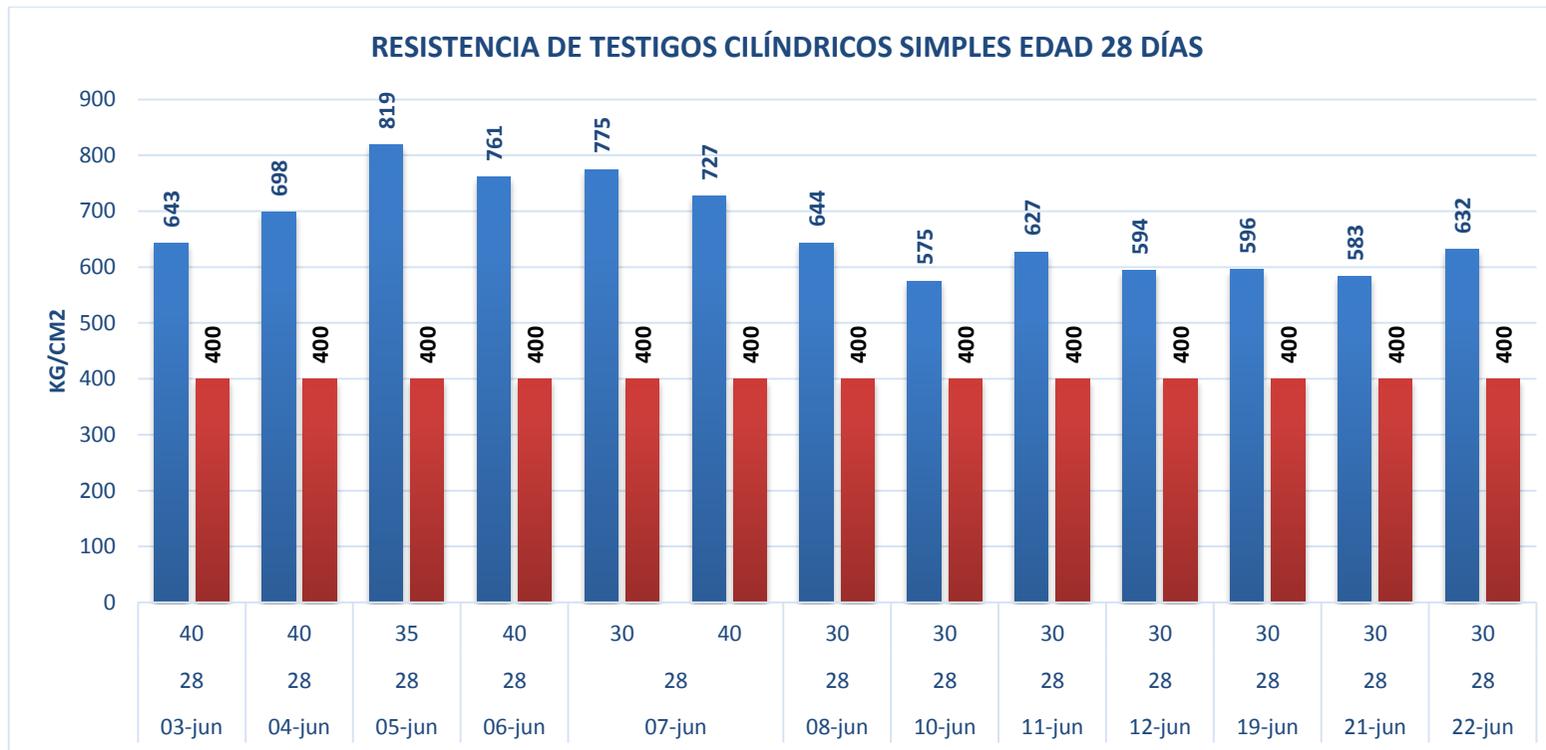
PROMEDIO: 290 KG/CM2

- Los resultados muestran que todos los ensayos están por encima de los 150 Kg/cm2 a la edad de 1 día.



PROMEDIO: 434 KG/CM2

- Los resultados de ensayo a los 3 días están por encima de los 222 kg/cm<sup>2</sup>



PROMEDIO: 665 KG/CM2

- Los resultados de ensayo a los 28 días están por encima de los 400 kg/cm<sup>2</sup>



### ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS SIMPLES - ASTM C-39 / NTP 339.034

FECHA MOLDEO	FECHA ENSAYO	EDAD (Días)	LABOR	CEMENTO (Kg)	TIPO	FIBRA (Kg)	CARGA (kgf)	DIAMETRO (cm)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	%
03-jun	04-jun	1	TJ 2799	398	I	40	31,920	10.1	398	150	265%
03-jun	04-jun	1	TJ 2799	398	I	40	31,280	10.1	390	150	260%
03-jun	06-jun	3	TJ 2799	398	I	40	37,740	10.1	471	222	212%
03-jun	06-jun	3	TJ 2799	398	I	40	38,830	10.1	485	222	218%
03-jun	01-jul	28	TJ 2799	398	I	40	54,090	10.1	675	400	169%
03-jun	01-jul	28	TJ 2799	398	I	40	48,980	10.1	611	400	153%
04-jun	05-jun	1	CX 2570	398	I	40	21,320	10.1	266	150	177%
04-jun	05-jun	1	CX 2570	398	I	40	22,710	10.1	283	150	189%
04-jun	07-jun	3	CX 2570	398	I	40	36,950	10.1	461	222	208%
04-jun	07-jun	3	CX 2570	398	I	40	37,270	10.1	465	222	209%
04-jun	02-jul	28	CX 2570	398	I	40	52,350	10.1	653	400	163%
04-jun	02-jul	28	CX 2570	398	I	40	59,500	10.1	743	400	186%
05-jun	06-jun	1	TJ 2383	398	I	35	32,630	10.1	407	150	271%
05-jun	06-jun	1	TJ 2383	398	I	35	32,390	10.1	404	150	269%
05-jun	08-jun	3	TJ 2383	398	I	35	40,840	10.1	510	222	230%
05-jun	08-jun	3	TJ 2383	398	I	35	44,730	10.1	558	222	251%
05-jun	03-jul	28	TJ 2383	398	I	35	65,050	10.1	812	400	203%
05-jun	03-jul	28	TJ 2383	398	I	35	66,190	10.1	826	400	207%
06-jun	07-jun	1	RP 2815	395	I	40	17,720	10.1	221	150	147%
06-jun	07-jun	1	RP 2815	395	I	40	17,730	10.1	221	150	147%
06-jun	09-jun	3	RP 2815	395	I	40	32,450	10.1	405	222	182%
06-jun	09-jun	3	RP 2815	395	I	40	37,640	10.1	470	222	212%
06-jun	04-jul	28	RP 2815	395	I	40	60,900	10.1	760	400	190%
06-jun	04-jul	28	RP 2815	395	I	40	61,060	10.1	762	400	191%
07-jun	08-jun	1	CX 2254	398	I	40	32,600	10.1	407	150	271%
07-jun	08-jun	1	CX 2254	398	I	40	32,700	10.1	408	150	272%
07-jun	10-jun	3	CX 2254	398	I	40	44,440	10.1	555	222	250%
07-jun	10-jun	3	CX 2254	398	I	40	46,630	10.1	582	222	262%
07-jun	05-jul	28	CX 2254	398	I	40	55,100	10.1	688	400	172%
07-jun	05-jul	28	CX 2254	398	I	40	61,260	10.1	765	400	191%
07-jun	08-jun	1	TJ 2352	395	I	30	33,330	10.1	416	150	277%
07-jun	08-jun	1	TJ 2352	395	I	30	33,190	10.1	414	150	276%
07-jun	10-jun	3	TJ 2352	395	I	30	43,890	10.1	548	222	247%
07-jun	10-jun	3	TJ 2352	395	I	30	42,850	10.1	535	222	241%
07-jun	05-jul	28	TJ 2352	395	I	30	61,210	10.1	764	400	191%
07-jun	05-jul	28	TJ 2352	395	I	30	62,860	10.1	785	400	196%



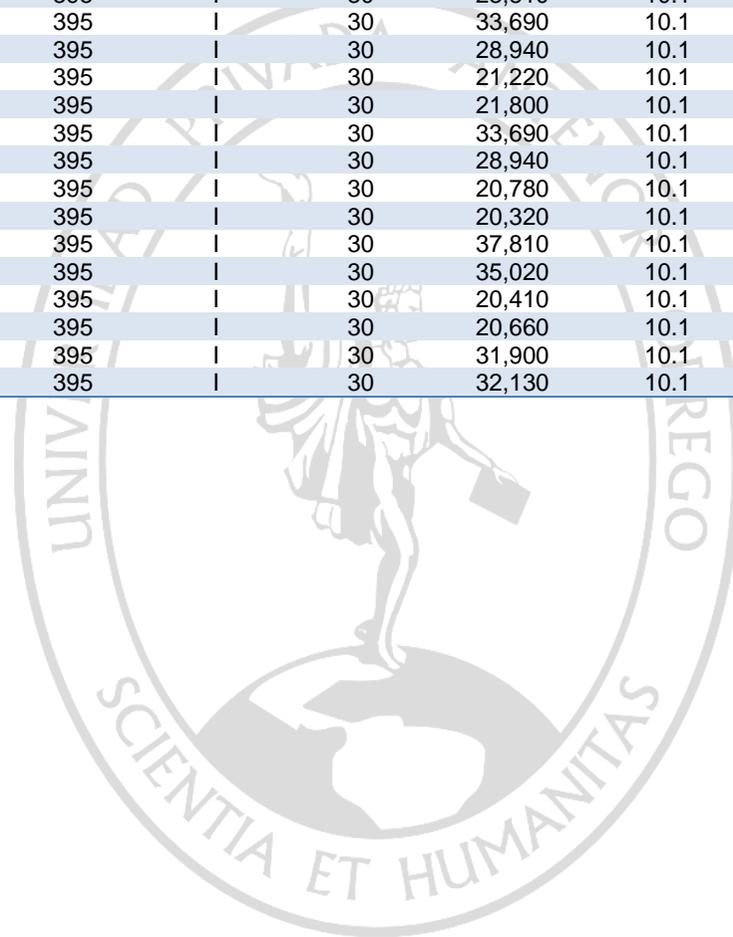
08-jun	09-jun	1	BP2708	395	I	30	16,800	10.1	210	150	140%
08-jun	09-jun	1	BP2708	395	I	30	16,940	10.1	211	150	141%
08-jun	11-jun	3	BP2708	395	I	30	34,090	10.1	425	222	191%
08-jun	11-jun	3	BP2708	395	I	30	31,930	10.1	399	222	180%
08-jun	06-jul	28	BP2708	395	I	30	48,840	10.1	610	400	153%
08-jun	06-jul	28	BP2708	395	I	30	50,120	10.1	626	400	157%
08-jun	09-jun	1	TJ2332	395	I	30	21,180	10.1	264	150	176%
08-jun	09-jun	1	TJ2332	395	I	30	18,500	10.1	231	150	154%
08-jun	11-jun	3	TJ2332	395	I	30	37,890	10.1	473	222	213%
08-jun	11-jun	3	TJ2332	395	I	30	39,220	10.1	490	222	221%
08-jun	06-jul	28	TJ2332	395	I	30	53,610	10.1	669	400	167%
08-jun	06-jul	28	TJ2332	395	I	30	53,660	10.1	670	400	168%
10-jun	11-jun	1	TJ1995	395	I	30	20,770	10.1	259	150	173%
10-jun	11-jun	1	TJ1995	395	I	30	20,450	10.1	255	150	170%
10-jun	13-jun	3	TJ1995	395	I	30	35,660	10.1	445	222	200%
10-jun	13-jun	3	TJ1995	395	I	30	33,320	10.1	416	222	187%
10-jun	08-jul	28	TJ1995	395	I	30	44,980	10.1	561	400	140%
10-jun	08-jul	28	TJ1995	395	I	30	47,200	10.1	589	400	147%
11-jun	12-jun	1	TJ1786	395	I	30	17,640	10.1	220	150	147%
11-jun	12-jun	1	TJ1786	395	I	30	18,040	10.1	225	150	150%
11-jun	14-jun	3	TJ1786	395	I	30	29,100	10.1	363	222	164%
11-jun	14-jun	3	TJ1786	395	I	30	31,000	10.1	387	222	174%
11-jun	09-jul	28	TJ1786	395	I	30	49,340	10.1	616	400	154%
11-jun	09-jul	28	TJ1786	395	I	30	51,150	10.1	638	400	160%
12-jun	15-jun	3	GL 2088	395	I	30	32,100	10.1	401	222	181%
12-jun	15-jun	3	GL 2088	395	I	30	32,080	10.1	400	222	180%
12-jun	10-jul	28	GL 2088	395	I	30	47,770	10.1	596	400	149%
12-jun	10-jul	28	GL 2088	395	I	30	47,470	10.1	592	400	148%
19-jun	20-jun	1	CX 3860	395	I	30	19,490	10.1	243	150	162%
19-jun	20-jun	1	CX 3860	395	I	30	19,290	10.1	241	150	161%
19-jun	22-jun	3	CX 3860	395	I	30	37,320	10.1	466	222	210%
19-jun	22-jun	3	CX 3860	395	I	30	29,880	10.1	373	222	168%
19-jun	17-jul	28	CX 3860	395	I	30	48,020	10.1	599	400	150%
19-jun	17-jul	28	CX 3860	395	I	30	47,430	10.1	592	400	148%
21-jun	22-jun	1	TJ.2383	395	I	30	19,990	10.1	250	150	167%
21-jun	22-jun	1	TJ.2383	395	I	30	20,430	10.1	255	150	170%
21-jun	24-jun	3	TJ.2383	395	I	30	29,570	10.1	369	222	166%
21-jun	24-jun	3	TJ.2383	395	I	30	29,860	10.1	373	222	168%
21-jun	19-jul	28	TJ.2383	395	I	30	46,440	10.1	580	400	145%
21-jun	19-jul	28	TJ.2383	395	I	30	46,940	10.1	586	400	147%



22-jun	23-jun	1	RP.2855	395		30	29,880	10.1	373	150	249%
22-jun	23-jun	1	RP.2855	395		30	29,080	10.1	363	150	242%
22-jun	25-jun	3	RP.2855	395		30	36,800	10.1	459	222	207%
22-jun	25-jun	3	RP.2855	395		30	36,910	10.1	461	222	208%
22-jun	20-jul	28	RP.2855	395		30	51,650	10.1	645	400	161%
22-jun	20-jul	28	RP.2855	395		30	49,520	10.1	618	400	155%
25-jun	26-jun	1	TJ2814	395		30	26,250	10.1	328	150	219%
25-jun	26-jun	1	TJ2814	395		30	26,050	10.1	325	150	217%
25-jun	28-jun	3	TJ2814	395		30	36,250	10.1	452	222	204%
25-jun	28-jun	3	TJ2814	395		30	37,940	10.1	474	222	214%
28-jun	29-jun	1	GL3174	395		30	20,160	10.1	252	150	168%
28-jun	29-jun	1	GL3174	395		30	20,580	10.1	257	150	171%
28-jun	01-jul	3	GL3174	395		30	30,640	10.1	382	222	172%
28-jun	01-jul	3	GL3174	395		30	31,220	10.1	390	222	176%
29-jun	30-jun	1	RP2855	395		30	27,100	10.1	338	150	225%
29-jun	30-jun	1	RP2855	395		30	25,880	10.1	323	150	215%
30-jun	03-jul	3	RP 2805	395		30	38,490	10.1	480	222	216%
30-jun	03-jul	3	RP 2805	395		30	39,920	10.1	498	222	224%
02-jul	03-jul	1	RP 2800	395		30	25,240	10.1	315	150	210%
02-jul	03-jul	1	RP 2800	395		30	24,130	10.1	301	150	201%
02-jul	05-jul	3	RP 2800	395		30	37,209	10.1	464	222	209%
02-jul	05-jul	3	RP 2800	395		30	40,490	10.1	505	222	227%
04-jul	05-jul	1	TJ 2383	395		30	26,360	10.1	329	150	219%
04-jul	05-jul	1	TJ 2383	395		30	26,120	10.1	326	150	217%
04-jul	07-jul	3	TJ 2383	395		30	36,330	10.1	453	222	204%
04-jul	07-jul	3	TJ 2383	395		30	29,660	10.1	370	222	167%
05-jul	06-jul	1	RP 2799	395		30	20,050	10.1	250	150	167%
05-jul	06-jul	1	RP 2799	395		30	20,210	10.1	252	150	168%
05-jul	08-jul	3	RP 2799	395		30	22,070	10.1	275	222	124%
05-jul	08-jul	3	RP 2799	395		30	22,770	10.1	284	222	128%
11-jul	12-jul	1	TJ 2993	395		30	22,870	10.1	285	150	190%
11-jul	12-jul	1	TJ 2993	395		30	25,400	10.1	317	150	211%
11-jul	14-jul	3	TJ 2993	395		30	35,800	10.1	447	222	201%
11-jul	14-jul	3	TJ 2993	395		30	36,540	10.1	456	222	205%
12-jul	13-jul	1	RP 2827	395		30	14,330	10.1	179	150	119%
12-jul	13-jul	1	RP 2827	395		30	15,160	10.1	189	150	126%
12-jul	15-jul	3	RP 2827	395		30	26,720	10.1	334	222	150%
12-jul	15-jul	3	RP 2827	395		30	28,930	10.1	361	222	163%
13-jul	14-jul	1	RP 2705	395		30	16,730	10.1	209	150	139%
13-jul	14-jul	1	RP 2705	395		30	16,960	10.1	212	150	141%

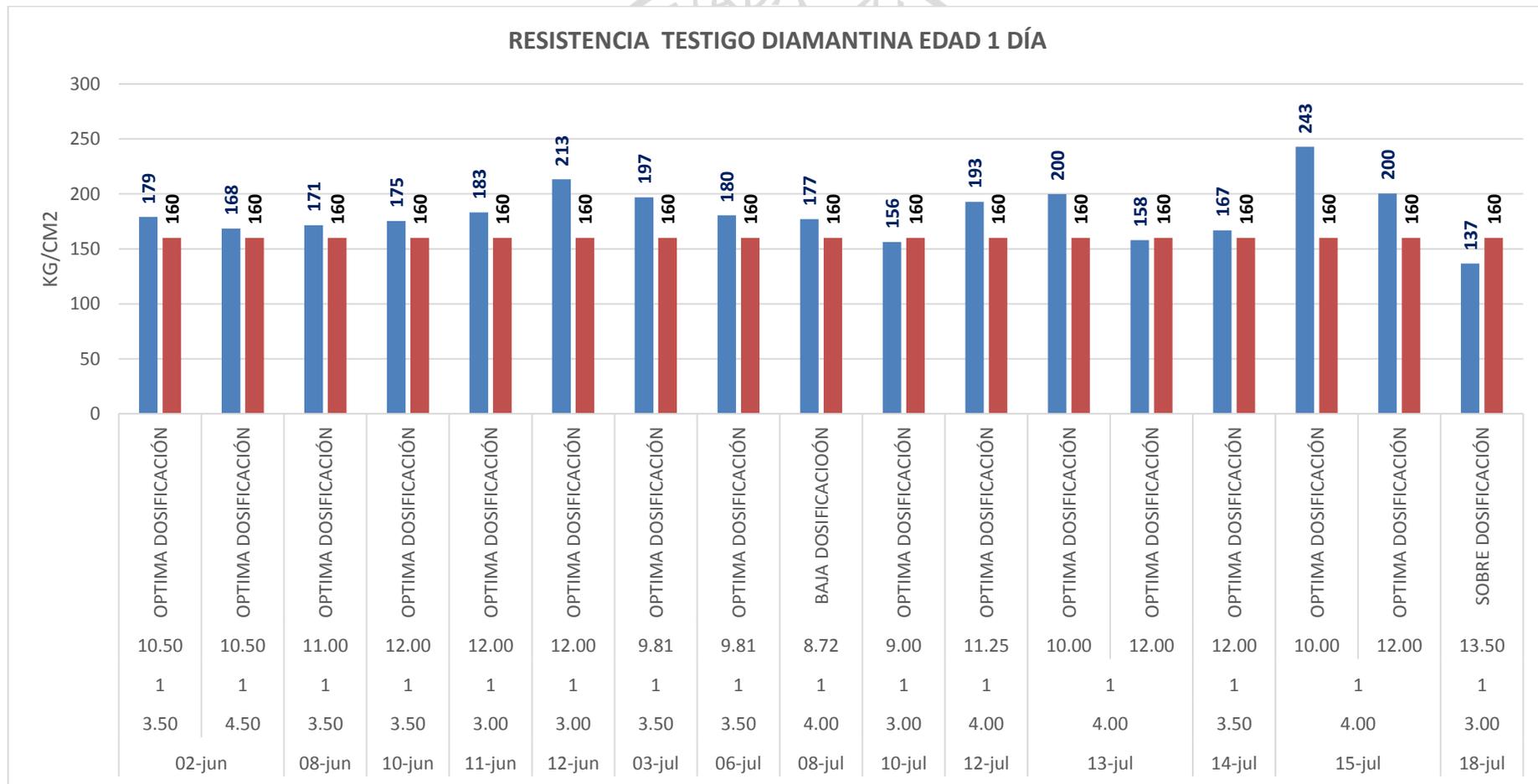


13-jul	16-jul	3	RP 2705	395	I	30	32,030	10.1	400	222	180%
13-jul	16-jul	3	RP 2705	395	I	30	31,530	10.1	394	222	177%
14-jul	15-jul	1	CX2254	395	I	30	27,890	10.1	348	150	232%
14-jul	15-jul	1	CX2254	395	I	30	28,810	10.1	360	150	240%
14-jul	17-jul	3	CX2254	395	I	30	33,690	10.1	421	222	190%
14-jul	17-jul	3	CX2254	395	I	30	28,940	10.1	361	222	163%
16-jul	17-jul	1	CX2570	395	I	30	21,220	10.1	265	150	177%
16-jul	17-jul	1	CX2570	395	I	30	21,800	10.1	272	150	181%
16-jul	19-jul	3	CX2570	395	I	30	33,690	10.1	421	222	190%
16-jul	19-jul	3	CX2570	395	I	30	28,940	10.1	361	222	163%
17-jul	18-jul	1	TJ2705	395	I	30	20,780	10.1	259	150	173%
17-jul	18-jul	1	TJ2705	395	I	30	20,320	10.1	254	150	169%
17-jul	20-jul	3	TJ2705	395	I	30	37,810	10.1	472	222	213%
17-jul	20-jul	3	TJ2705	395	I	30	35,020	10.1	437	222	197%
18-jul	19-jul	1	TJ2799	395	I	30	20,410	10.1	255	150	170%
18-jul	19-jul	1	TJ2799	395	I	30	20,660	10.1	258	150	172%
18-jul	21-jul	3	TJ2799	395	I	30	31,900	10.1	398	222	179%
18-jul	21-jul	3	TJ2799	395	I	30	32,130	10.1	401	222	181%

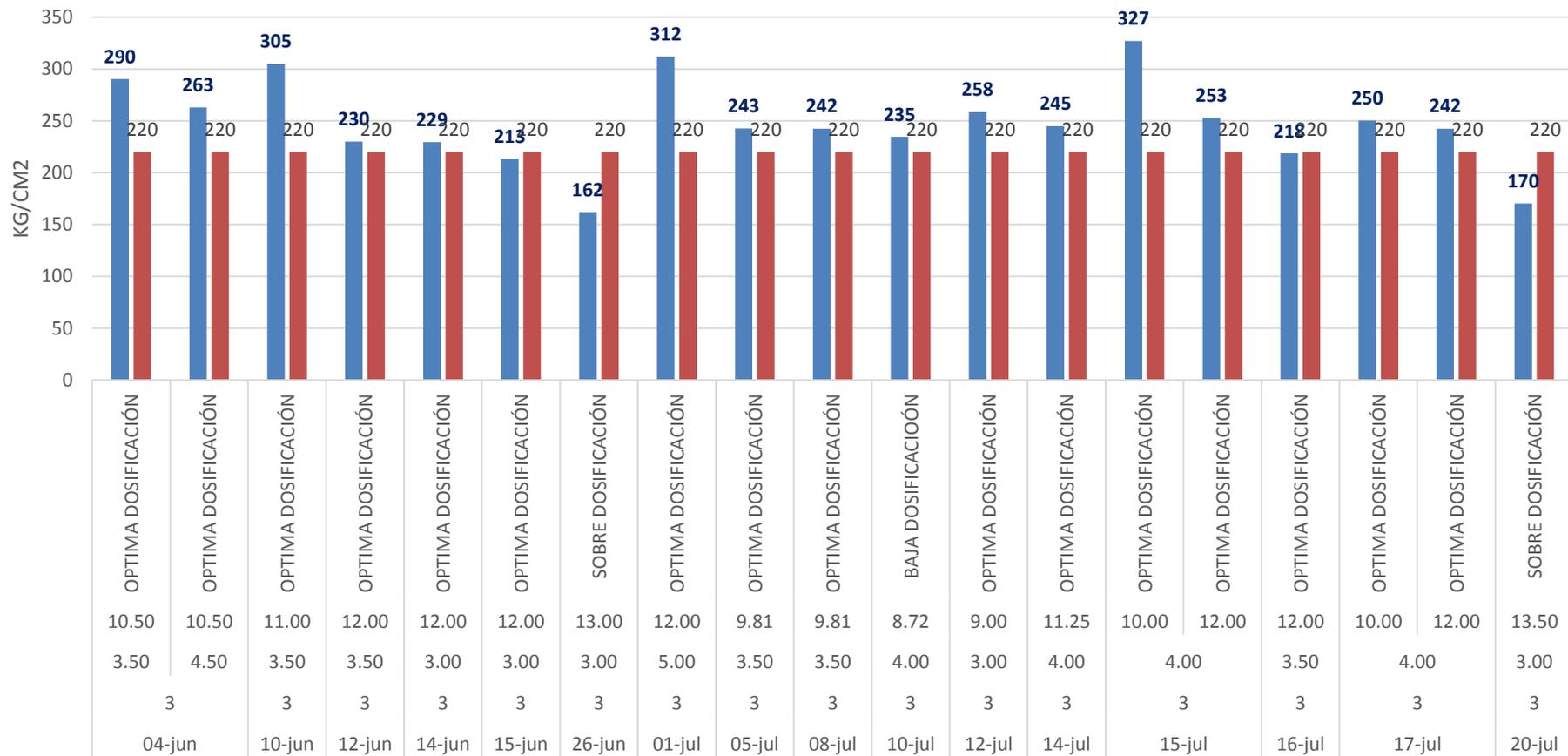


▪ **Testigos cilíndricos núcleo diamantina**

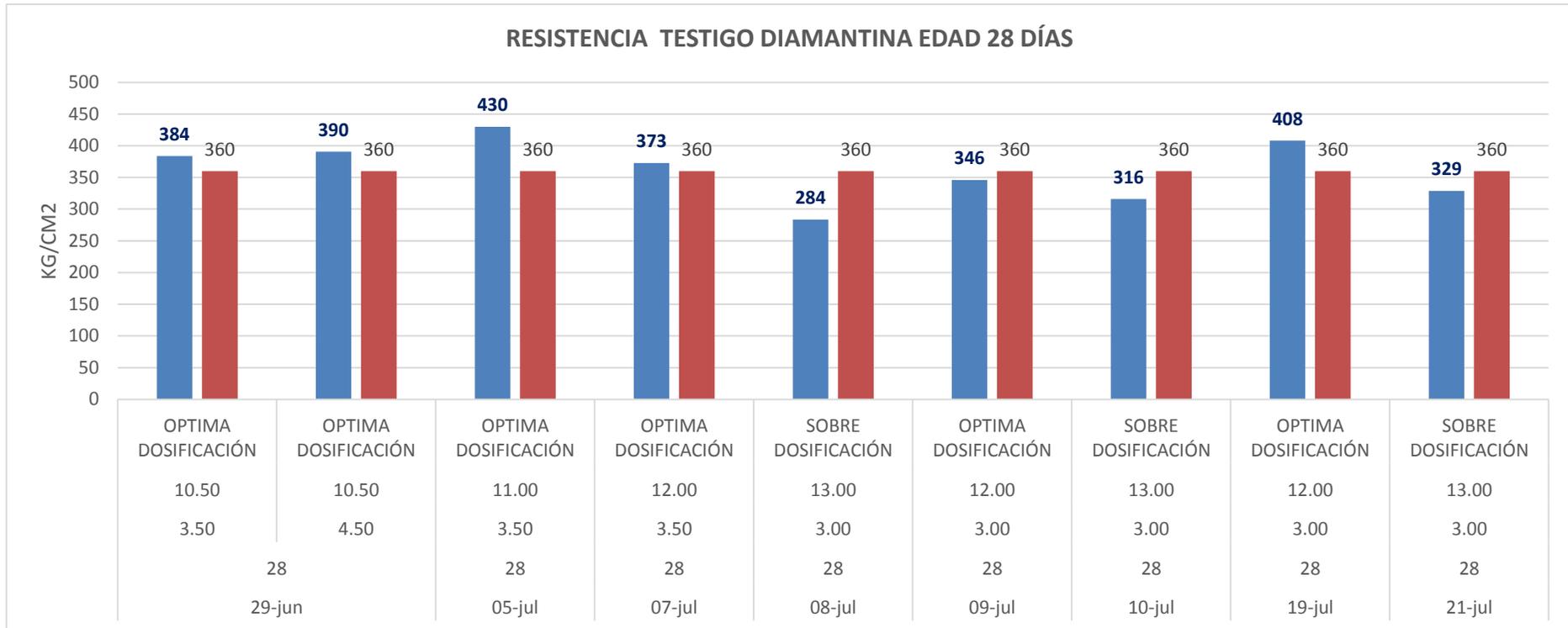
Estos núcleos diamantina de diámetros promedio de 7.4 cm, son testigos representativos del shotcrete proyectado en su colocación final, para dar conformidad respecto a la resistencia a la compresión alcanzada.



### RESISTENCIA TESTIGO DIAMANTINA EDAD 3 DÍAS



### RESISTENCIA TESTIGO DIAMANTINA EDAD 28 DÍAS





**ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINAS - ASTM C-39 / NTP 339.034**

FECHA MOLDEO	FECHA ENSAYO	EDAD Días	LABOR	AIRE (Bar)	a/c	FIBRA Kg/m3	CMNT kg/m3	% DSF. ACLT.	L/m3	CARG (kg/f)	Ø cm	ALT (H)	f'cr Kg/cm2	f'c Kg/cm2	PROM Kg/cm2
01-jun	02-jun	1	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	8220	7.4	13.7	160	189	179
01-jun	02-jun	1	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	7390	7.4	13.0		169	
01-jun	02-jun	1	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	7040	7.4	13.9	160	163	168
01-jun	02-jun	1	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	7420	7.4	14.7		174	
07-jun	08-jun	1	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	7680	7.4	11.4	160	172	171
07-jun	08-jun	1	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	7570	7.4	11.9		170	
09-jun	10-jun	1	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	6290	7.4	14.3	160	146	175
09-jun	10-jun	1	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	8880	7.4	13.9		205	
10-jun	11-jun	1	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	7470	7.4	14	160	173	183
10-jun	11-jun	1	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	8290	7.4	14.4		193	
11-jun	12-jun	1	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	9160	7.4	14.4	160	213	213
11-jun	12-jun	1	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	9170	7.4	14.5		213	
02-jul	03-jul	1	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	8060	7.4	15.3	160	190	197
02-jul	03-jul	1	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	8700	7.4	15.1		204	
05-jul	06-jul	1	RP 2799	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	7850	7.4	15.15	160	185	180
05-jul	06-jul	1	RP 2799	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	7500	7.4	15.12		176	
07-jul	08-jul	1	RP 2800	4.00	0.42	35.0	395	3.2	8.72	7520	7.4	15.15	160	177	177
07-jul	08-jul	1	RP 2800	4.00	0.42	35.0	395	3.2	8.72	7520	7.4	15.15		177	
09-jul	10-jul	1	GL 2081	3.00	0.42	35.0	395	3.31	9.00	7340	7.4	15.1	160	173	156
09-jul	10-jul	1	GL 2081	3.00	0.42	35.0	395	3.31	9.00	6090	7.4	13.3		140	
11-jul	12-jul	1	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	7940	7.4	14.8	160	186	188
11-jul	12-jul	1	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	8120	7.4	14.7		190	
11-jul	12-jul	1	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	9190	7.4	14.5	160	214	197
11-jul	12-jul	1	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	7700	7.4	14.9		180	



12-jul	13-jul	1	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	4.41	12.00	6970	7.4	13.9	160	161	157
12-jul	13-jul	1	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	4.41	12.00	6530	7.4	14.8			153
12-jul	13-jul	1	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	3.67	10.00	8050	7.4	14.7	160	188	200
12-jul	13-jul	1	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	3.67	10.00	9020	7.4	14.9			212
12-jul	13-jul	1	RP 2728	4.00	0.42	35.0	395	4.405	12.00	6515	7.4	14.8	160	152	159
12-jul	13-jul	1	RP 2728	4.00	0.42	35.0	395	4.405	12.00	7080	7.4	14.8			166
13-jul	14-jul	1	RP 3174	3.50	0.43	30.0	395	4.405	12.00	8010	7.4	11	160	178	167
13-jul	14-jul	1	RP 3174	3.50	0.43	30.0	395	4.405	12.00	7000	7.4	10.7			155
14-jul	15-jul	1	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	3.67	10.00	10280	7.4	14.8	160	241	243
14-jul	15-jul	1	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	3.67	10.00	10490	7.4	14.7			245
14-jul	15-jul	1	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	4.405	12.00	8370	7.4	14.9	160	197	200
14-jul	15-jul	1	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	4.405	12.00	8830	7.4	14.1			204
17-jul	18-jul	1	GL3174	3.00	0.43	30.0	395	4.954	13.50	5400	7.4	13.5	160	124	137
17-jul	18-jul	1	GL3174	3.00	0.43	30.0	395	4.954	13.50	6350	7.4	14.7			149
01-jun	04-jun	3	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	13320	7.4	13.0	220	304	290
01-jun	04-jun	3	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	11940	7.4	13.9			276
01-jun	04-jun	3	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	11970	7.4	14.8	220	280	263
01-jun	04-jun	3	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	10630	7.4	14.1			246
07-jun	10-jun	3	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	12250	7.4	10.2	220	269	305
07-jun	10-jun	3	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	15510	7.4	10			340
09-jun	12-jun	3	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	8750	7.4	14.4	220	203	230
09-jun	12-jun	3	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	10990	7.4	14.6			257
11-jun	14-jun	3	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	9850	7.4	14.5	220	229	229
11-jun	14-jun	3	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	9870	7.4	14.5			229
12-jun	15-jun	3	GL 2088	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	9590	7.4	14.3	220	223	213
12-jun	15-jun	3	GL 2088	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	8790	7.4	14.4			204
23-jun	26-jun	3	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	4590	7.4	14.6	220	107	162
23-jun	26-jun	3	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	9280	7.4	14.5			216

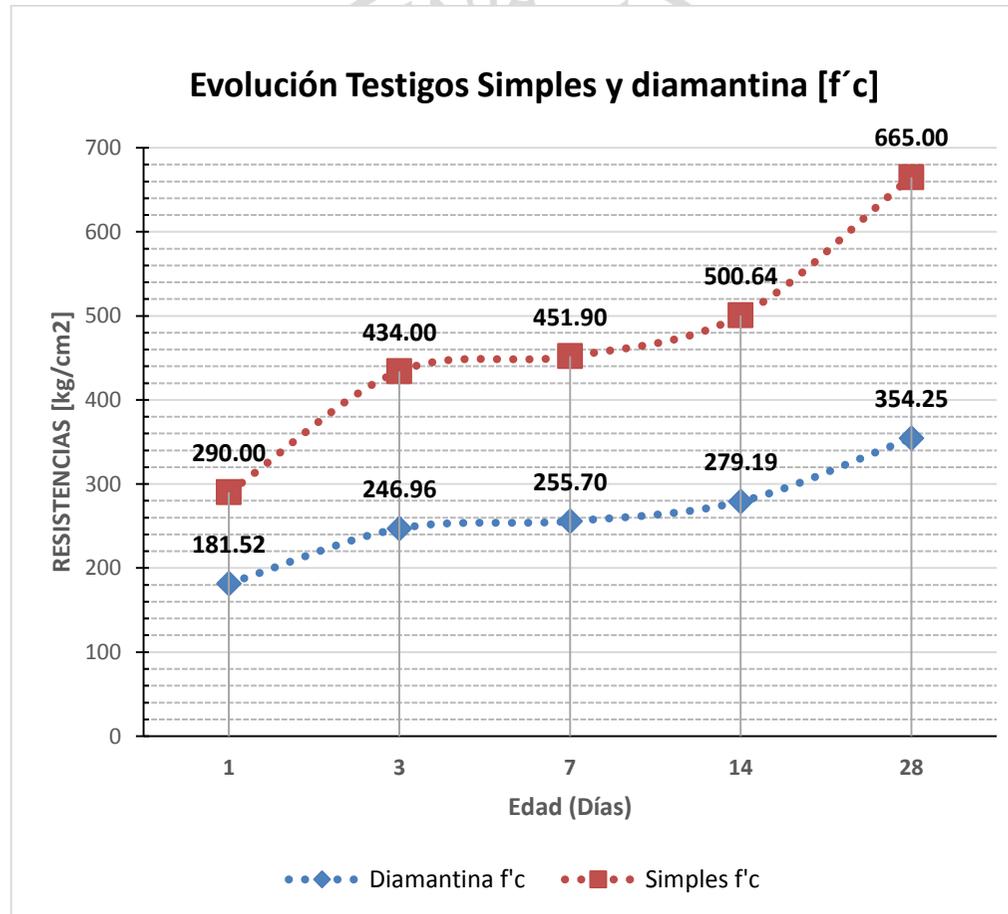


<b>28-jun</b>	01-jul	3	RP 692	5.00	0.43	40.0	398	4.41	12.00	13470	7.4	14.6	220	314	312
<b>28-jun</b>	01-jul	3	RP 692	5.00	0.43	40.0	398	4.41	12.00	13280	7.4	14.5		310	
<b>02-jul</b>	05-jul	3	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	10510	7.4	14.6	220	245	243
<b>02-jul</b>	05-jul	3	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	10330	7.4	14.5		240	
<b>05-jul</b>	08-jul	3	RP 2799	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	10890	7.4	15.2	220	256	242
<b>05-jul</b>	08-jul	3	RP 2799	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	9700	7.4	15.2		229	
<b>07-jul</b>	10-jul	3	RP 2800	4.00	0.42	35.0	395	3.2	8.72	11830	7.4	14.1	220	274	235
<b>07-jul</b>	10-jul	3	RP 2800	4.00	0.42	35.0	395	3.2	8.72	8760	7.4	10.9		195	
<b>09-jul</b>	12-jul	3	GL 2081	3.00	0.42	35.0	395	3.31	9.00	10410	7.4	15	220	244	258
<b>09-jul</b>	12-jul	3	GL 2081	3.00	0.42	35.0	395	3.31	9.00	11610	7.4	15		272	
<b>11-jul</b>	14-jul	3	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	9810	7.4	15	220	230	228
<b>11-jul</b>	14-jul	3	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	9680	7.4	14.9		227	
<b>11-jul</b>	14-jul	3	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	10290	7.4	14.8	220	241	261
<b>11-jul</b>	14-jul	3	GL 2188	4.00	0.42	35.0	395	4.13	11.25	12030	7.4	14.8		282	
<b>12-jul</b>	15-jul	3	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	4.41	12.00	10410	7.4	15	220	244	243
<b>12-jul</b>	15-jul	3	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	4.41	12.00	10360	7.4	14.8		243	
<b>12-jul</b>	15-jul	3	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	3.67	10.00	14000	7.4	15	220	329	327
<b>12-jul</b>	15-jul	3	TJ 2601	4.00	0.42	25.0	395	3.67	10.00	13910	7.4	14.8		325	
<b>12-jul</b>	15-jul	3	RP 2728	4.00	0.42	35.0	395	4.405	12.00	10430	7.4	14.1	220	242	262
<b>12-jul</b>	15-jul	3	RP 2728	4.00	0.42	35.0	395	4.405	12.00	12090	7.4	14.7		282	
<b>13-jul</b>	16-jul	3	RP 3174	3.50	0.43	30.0	395	4.405	12.00	9750	7.4	10.7	220	216	218
<b>13-jul</b>	16-jul	3	RP 3174	3.50	0.43	30.0	395	4.405	12.00	9900	7.4	11		220	
<b>14-jul</b>	17-jul	3	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	3.67	10.00	11020	7.4	14.91	220	258	250
<b>14-jul</b>	17-jul	3	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	3.67	10.00	10320	7.4	15.07		242	
<b>14-jul</b>	17-jul	3	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	4.405	12.00	10160	7.4	14.94	220	238	242
<b>14-jul</b>	17-jul	3	RP 2461	4.00	0.43	30.0	395	4.405	12.00	10590	7.4	14.61		247	
<b>17-jul</b>	20-jul	3	GL3174	3.00	0.43	30.0	395	4.954	13.50	7570	7.4	14	220	175	170
<b>17-jul</b>	20-jul	3	GL3174	3.00	0.43	30.0	395	4.954	13.50	7170	7.4	13.7		165	



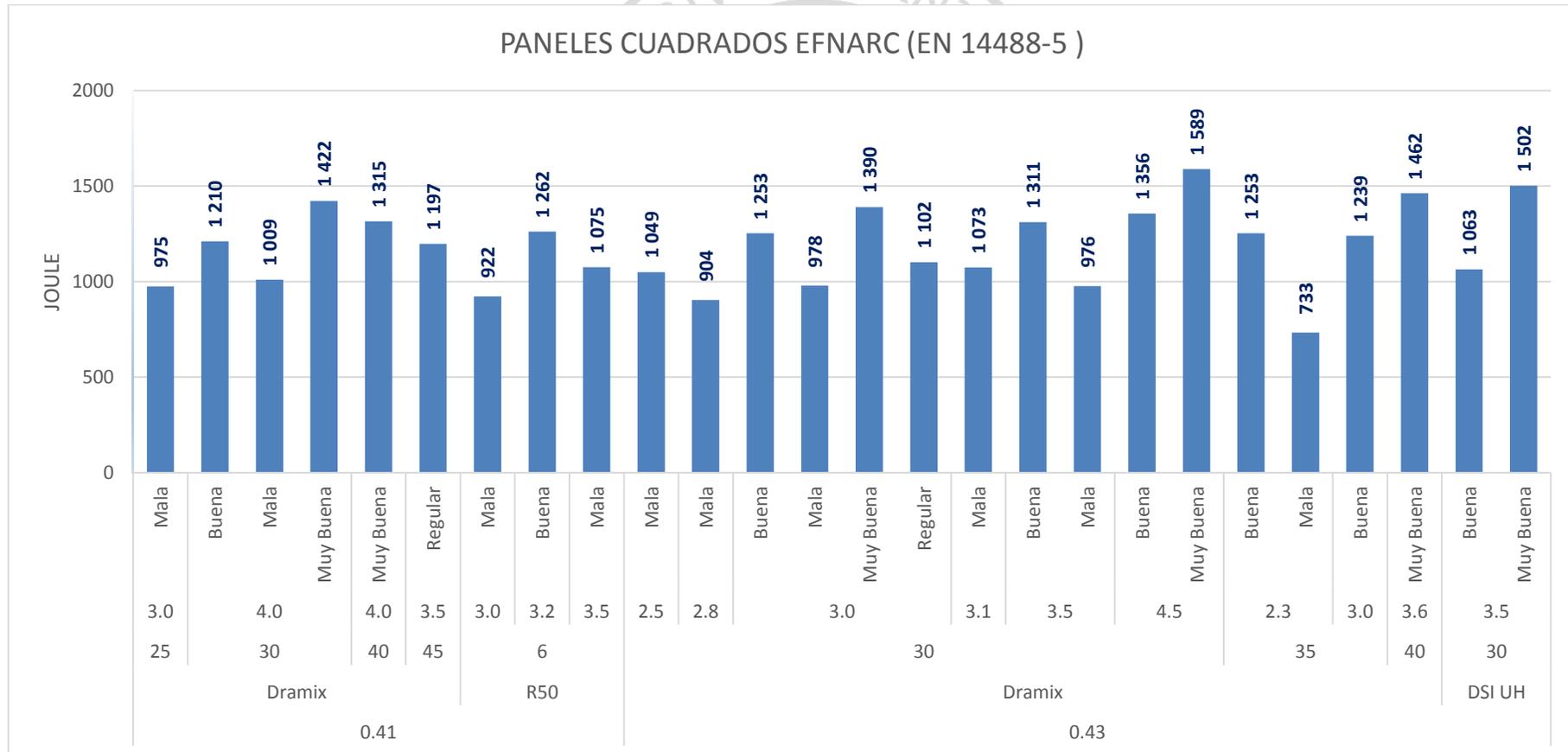
21-jun	28-jun	7	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	11250	7.4	14.5	270	263	262
21-jun	28-jun	7	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	11170	7.4	14.5		261	
23-jun	30-jun	7	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	9820	7.4	14.4	360	228	233
23-jun	30-jun	7	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	10240	7.4	14.5		238	
02-jul	09-jul	7	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	11360	7.4	14.6	360	265	272
02-jul	09-jul	7	RP 2800	3.50	0.43	30.0	395	3.6	9.81	12010	7.4	14.5		280	
21-jun	05-jul	14	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	12620	7.4	14	290	292	293
21-jun	05-jul	14	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	12610	7.4	14.6		294	
23-jun	07-jul	14	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	11470	7.4	14.6	360	268	266
23-jun	07-jul	14	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	11280	7.4	14.7		263	
01-jun	29-jun	28	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	17290	7.4	14.6	360	403	384
01-jun	29-jun	28	CX 2570 - M1	3.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	15760	7.4	14		364	
01-jun	29-jun	28	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	17120	7.4	13.8	360	395	390
01-jun	29-jun	28	CX 2570 - M2	4.50	0.43	30.0	395	3.85	10.50	16690	7.4	14		386	
07-jun	05-jul	28	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	19070	7.4	11.4	360	427	430
07-jun	05-jul	28	CX 2254	3.50	0.43	40.0	398	4.01	11.00	19900	7.4	9.6		433	
09-jun	07-jul	28	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	15890	7.4	14.3	360	369	373
09-jun	07-jul	28	TJ 2298	3.50	0.43	35.0	395	4.41	12.00	16130	7.4	14.6		376	
10-jun	08-jul	28	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	14140	7.4	14.3	360	329	294
10-jun	08-jul	28	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	11110	7.4	14.8		260	
10-jun	08-jul	28	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	9570	7.4	14.4	360	223	273
10-jun	08-jul	28	TJ 1995	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	13930	7.4	14.1		323	
11-jun	09-jul	28	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	13850	7.4	14.4	360	322	346
11-jun	09-jul	28	GL.2081	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	15850	7.4	14.5		370	
12-jun	10-jul	28	GL 2088	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	14190	7.4	14.3	360	330	316
12-jun	10-jul	28	GL 2088	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	13000	7.4	14.4		302	
21-jun	19-jul	28	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	17030	7.4	13.8	360	393	408
21-jun	19-jul	28	GL2188	3.00	0.43	30.0	395	4.41	12.00	18200	7.4	14.4		423	

23-jun	21-jul	28	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	13870	7.4	14.5	360	323	329
23-jun	21-jul	28	GL1736	3.00	0.43	30.0	395	4.41	13.00	14380	7.4	14.5		335	



#### 4.8 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA DEL SHOTCRET, EN 14488-5/GUÍA EFNARC

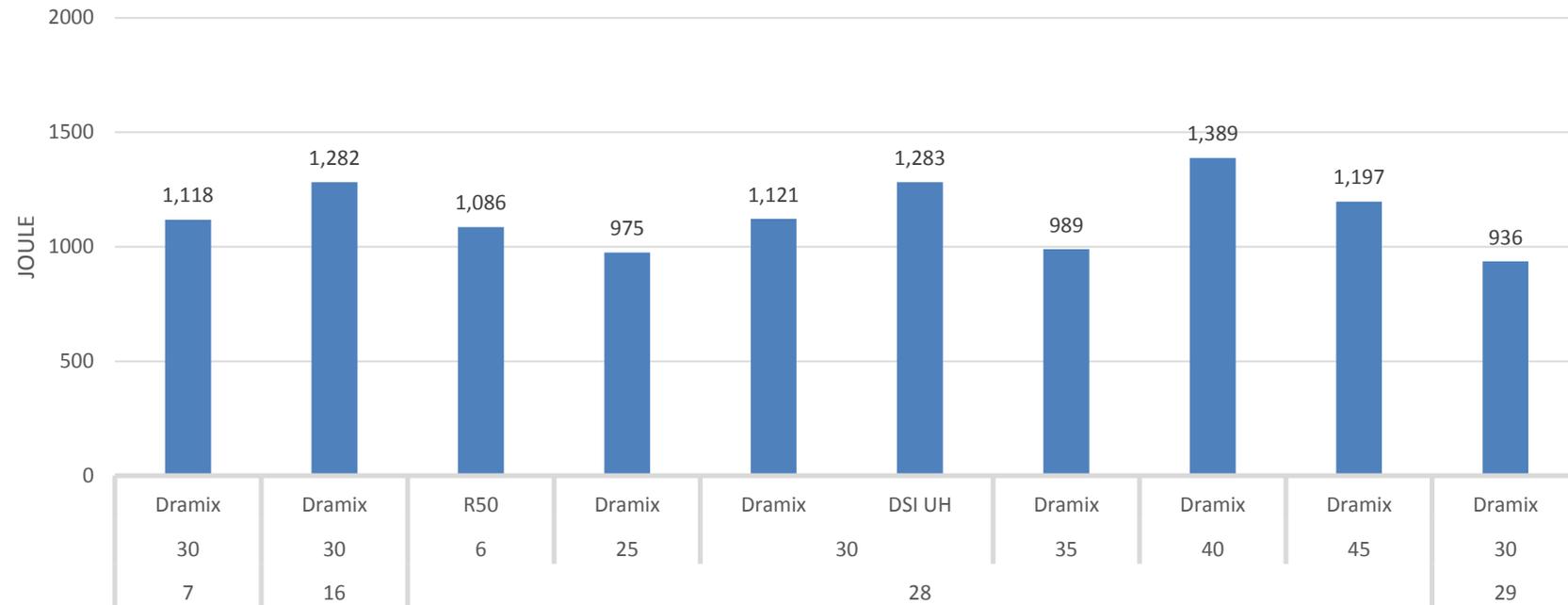
Estos son los paneles cuadrados de shotcrete proyectado en el frente de las labores, de acuerdo a las condiciones propias en el momento de la operación de lanzado.





- Se muestra en el registro dosificaciones de fibras del tipo metálica y sintético
- Dosificaciones de 6 kg para fibra sintético
- Y dosificaciones de fibras metálicas que va desde los 25 hasta 45 kg
- La presión de aire más bajo registrado es de 2.3 bar
- Mientras la más alta es de 4.5 bar registrado.
- La absorción de energía más baja es de 733 Joule, Shotcrete proyectado con una baja presión de aire de 2.3 bar.
- Se tiene un registro con un resultado de 1589 Joule, shotcrete proyectado con una presión de aire de 4.5 bares y que contiene una dosificación de 30 kg de fibra metálica por metro cúbico.
- Mientras que la fibra sintética muestra un desempeño de 1262 Joule, proyectado con una presión de aire de 3.2 bares.

### COMPARACIÓN DE DIFERENTE EDADES DE ENSAYOS PANELES CUADRADOS



- La evaluación de edad del panel cuadrado de shotcrete con respecto a desempeño de la tenacidad, indica:

- Que el ensayo de un panel a los 7 días con una dosificación de 30 kg de fibra metálica desempeña 1118 Joule en promedio
- Se tiene ensayo de un panel a la edad de 16 días con una dosificación de 30 kg, que desempeña 1282 Joule, en promedio.
- Y a los 28 días de edad se tiene ensayo de panel cuadrado con una dosificación de 30 kg, que desempeña 1283 Joule.

#### RESULTADOS RESISTENCIA DEL SHOTCRETE DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA (EN 14488-5)

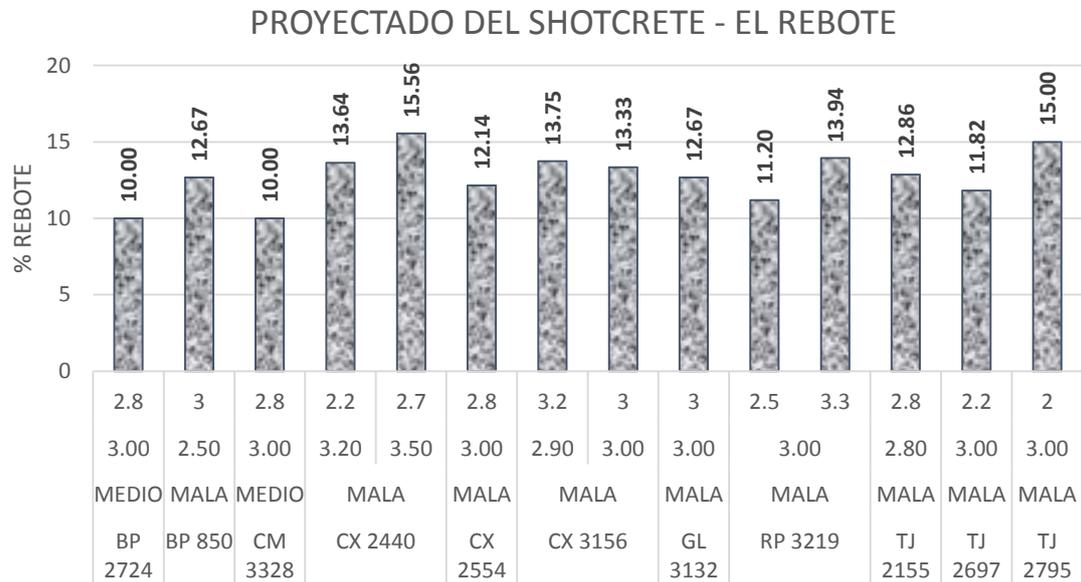
##### PANELES CUADRADO DE CONCRETO LANZADO

F. MOLDEO	Edad (días)	F. ENSAY.	LABOR	CMNT kg/m <sup>3</sup>	L/M <sup>3</sup>	a/c	FIBR. Kg	TIP. FIBRA	MARCA	PRES. AIRE (bar)	JOULE r'	JOULE	TÉCNICA LANZADO	LUGAR ENSAYO
06-ene	28	03-feb	CX2440	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	2.5	1000	1049	Mala	Lab - Mina
03-feb	28	03-mar	RP 297	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	1251	Buena	Lab - Mina
07-feb	28	07-mar	RP3137	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	1349	Muy Buena	Lab - Mina
20-feb	28	20-mar	RP2461	398	12	0.41	6	SINTÉ.	R50	3.2	1100	1262	Buena	Lab - Externo
21-feb	28	21-mar	RP2912	398	12	0.41	6	SINTÉ.	R50	3.5	1100	1075	Mala	Lab - Externo
22-feb	28	22-mar	TJ 2926	398	12	0.41	6	SINTÉ.	R50	3.0	1100	922	Mala	Lab - Externo
11-mar	28	08-abr	RP2800	398	12	0.41	40	METÁ	Dramix	4.0	1350	1315	Muy Buena	Lab - Mina
11-mar	28	08-abr	TJ 2629	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	913	Mala	Lab - Mina
14-mar	29	12-abr	CX2601	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	936	Mala	Lab - Mina
27-mar	28	24-abr	CX3815	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.5	1000	1080	Mala	Lab - Mina



<b>28-mar</b>	28	25-abr	CX3797	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	2.8	1000	<b>832</b>	Mala	Lab - Mina
<b>29-mar</b>	28	26-abr	GI 3173	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	<b>1255</b>	Buena	Lab - Mina
<b>30-mar</b>	28	27-abr	GI 2851	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	2.8	1000	<b>975</b>	Mala	Lab - Mina
<b>31-mar</b>	28	28-abr	GI 2352	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.1	1000	<b>1073</b>	Mala	Lab - Mina
<b>06-abr</b>	28	04-may	GI 2689	398	12	0.41	30	METÁ	Dramix	4.0	1000	<b>942</b>	Mala	Lab - Mina
<b>07-abr</b>	28	05-may	TJ 2383	398	12	0.41	30	METÁ	Dramix	4.0	1000	<b>1060</b>	Mala	Lab - Mina
<b>09-abr</b>	28	07-may	TJ 3171	398	12	0.41	25	METÁ	Dramix	3.0	900	<b>975</b>	Mala	Lab - Mina
<b>07-may</b>	7	14-may	TJ2795	400	12	0.41	30	METÁ	Dramix	4.0	1000	<b>1026</b>	Mala	Lab - Mina
<b>09-may</b>	7	16-may	TJ 2993	400	12	0.41	30	METÁ	Dramix	4.0	1000	<b>1210</b>	Buena	Lab - Mina
<b>11-may</b>	28	08-jun	RP2708	400	12	0.41	30	METÁ	Dramix	4.0	1000	<b>1422</b>	Muy Buena	Lab - Mina
<b>12-may</b>	28	09-jun	BP2724	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	<b>1431</b>	Muy Buena	Lab - Mina
<b>15-may</b>	28	12-jun	GL2595	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	<b>1086</b>	Mala	Lab - Mina
<b>18-may</b>	28	15-jun	RP3174	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.0	1000	<b>1102</b>	Regular	Lab - Mina
<b>19-may</b>	28	16-jun	RP2292	395	10.5	0.43	35	METÁ	Dramix	3.0	1200	<b>1239</b>	Buena	Lab - Mina
<b>29-jun</b>	28	27-jul	RP2800	398	12	0.41	45	METÁ	Dramix	3.5	1350	<b>1197</b>	Regular	Lab - Mina
<b>01-jun</b>	16	17-jun	CX2570	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.5	1000	<b>1311</b>	Buena	Lab - Mina
<b>01-jun</b>	16	17-jun	CX2570	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	3.5	1000	<b>872</b>	Mala	Lab - Mina
<b>04-jun</b>	16	20-jun	CX2570	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	4.5	1000	<b>1356</b>	Buena	Lab - Mina
<b>04-jun</b>	16	20-jun	CX2570	395	10.5	0.43	30	METÁ	Dramix	4.5	1000	<b>1589</b>	Muy Buena	Lab - Mina
<b>07-jun</b>	28	05-jul	CX2254	395	10.5	0.43	30	METÁ	DSI UH	3.5	1000	<b>1063</b>	Buena	Lab - Mina
<b>07-jun</b>	28	05-jul	CX2254	395	10.5	0.43	30	METÁ	DSI UH	3.5	1000	<b>1502</b>	Muy Buena	Lab - Mina
<b>09-jun</b>	28	07-jul	TJ 2298	395	10.5	0.43	35	METÁ	Dramix	2.3	1200	<b>1253</b>	Buena	Lab - Mina
<b>11-jun</b>	28	09-jul	GL2081	395	10.5	0.43	40	METÁ	Dramix	3.6	1350	<b>1462</b>	Muy Buena	Lab - Mina
<b>23-jun</b>	28	21-jul	GL1731	395	10.5	0.43	35	METÁ	Dramix	2.3	1200	<b>642</b>	Mala	Lab - Mina
<b>23-jun</b>	28	21-jul	GL1731	395	10.5	0.43	35	METÁ	Dramix	2.3	1200	<b>823</b>	Mala	Lab - Mina

#### 4.9 RESULTADOS DE MEDICIONES DE ÍNDICES DE MATERIAL REBOTE.





### PRUEBA DE MEDICIONES DE INDICES DE MATERIAL DE REBOTE

F. ENSAYO	LABOR	EQ. LC	VOL. M3	FIBRA	PRESIÓN AIRE	ADTV. ACLT.	VOL. MOLDE	N° MOLDES	VOL. REBOTE	% REBOTE	% PROYECTADO	TÉCNICA DE LANZADO
04-ene	GL 3132	9	3.00	35	3.00	L-30	0.020	19	0.38	12.67	87.33	MALA
05-ene	CX 3156	13	3.20	35	2.90	L-30	0.020	22	0.44	13.75	86.25	MALA
06-ene	CX 2440	9	2.20	35	3.20	L-30	0.020	15	0.30	13.64	86.36	MALA
07-ene	CX 3156	13	3.00	35	3.00	L-30	0.020	20	0.40	13.33	86.67	MALA
08-ene	TJ 2697	6	2.2	25	3.00	L-30	0.020	13	0.26	11.82	88.18	MALA
09-ene	BP 2724	16	2.8	30	3.00	L-30	0.020	14	0.28	10.00	90.00	MEDIO
17-ene	RP 3219	10	3.3	30	3.00	L-30	0.020	23	0.46	13.94	86.06	MALA
17-ene	TJ 2155	17	2.8	30	2.80	L-30	0.020	18	0.36	12.86	87.14	MALA
18-ene	CX 2440	10	2.7	30	3.50	L-30	0.020	21	0.42	15.56	84.44	MALA
18-ene	TJ 2795	10	2.0	30	3.00	L-30	0.020	15	0.3	15.00	85.00	MALA
19-ene	CM 3328	16	2.8	30	3.00	L-30	0.020	14	0.28	10.00	90.00	MEDIO
19-ene	CX 2554	6	2.8	30	3.00	L-30	0.020	17	0.34	12.14	87.86	MALA
20-ene	RP 3219	11	2.5	35	3.00	L-30	0.020	14	0.28	11.20	88.80	MALA
21-ene	BP 850	17	3.0	40	2.50	L-30	0.020	19	0.38	12.67	87.33	MALA



## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 5.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL SHOTCRETE

##### 5.1.1. Discusión de Resultados del árido para el Shotcrete G-1 y G-2

1. El árido de la gradación N° 01 tiene una textura más fina que el árido de la gradación N° 02.
2. El G-01 tiene mayor área de banda granulométrica que el G-02
3. El módulo de Finura (MF) del G-01 tiene un valor mayor que el MF del G2.
4. El tamaño máximo nominal (TMN) de la G-01 se da en el tamiz N°4
5. Mientras que el G-02 su TMN se da en la malla o tamiz 3/8”.
6. Se interpreta entonces que el TMN del G-02 esta sobre el TMN del G-01.

##### 5.1.2. Discusión del resultado comparativo de los parámetros de las curvas granulométricas de árido para el Shotcrete G-1 y G-2

1. Se examina que las bandas del G-01 y G-02, no se cruzan en los tamaños superiores desde 1/2 ” hasta N°16
2. Pero si se relacionan a partir del tamaño N°30 hacia adelante, N° 100.

##### 5.1.3. Discusión de Resultados del análisis granulométrico de la arena inicial procesada de cantera para Shotcrete – Arena inicial.

1. El resultado promedio de la arena es de tendencia fina con respecto al G-02.
2. Su MF calculado por % acumulado retenido es de 3.24
3. Y su MF calculado por el % que pasa es de 3.76

#### **5.1.4. Discusión del resultado del análisis granulométrico del muestreo de la arena rebote del Shotcrete.**

1. Aquí se destaca el hecho de ejecutar el plan estratégico del muestreo del shotcrete post lanzado para recuperar y evaluar el árido.
2. El resultado de la arena inicial después del proceso de lanzado sufre un desplazamiento dentro de la banda granulométrica G2
3. Este desplazamiento se dirige hacia el límite superior de la banda G-02 y por lo tanto muestra una textura gruesa.
4. Se identifica la formación de una banda, área entre la curva de la arena inicial y la curva de su post lanzado.

#### **5.1.5. Discusión de los resultados resumen del análisis granulométrico del árido inicial y árido de rebote.**

1. Aquí se interpreta según los resultados que la Arena Rebote tiene un menor valor de MF que en su estado inicial.
2. Se interpreta que al crearse un rango de unidades por cada tamaño de las partículas, estas unidades o valores pueden ser recalculados para compensar. Es decir trasladar estos valores a lado opuesto del eje de la curva de la arena inicial.
3. Al ser calculado estos valores se genera una nueva posición de la curva granulométrica, con MF de un valor mayor que la arena inicial.
4. Esta nueva posición de la nueva curva nos indica que se debe trabajar con el árido que tenga la característica de posicionarse en la banda de Gradación N° 01.
5. La aplicación de este análisis aportará al problema de la investigación y destaca en el cumplimiento de los objetivos.

#### **5.1.6. Discusión del Análisis de resultados de las propiedades del árido para el shotcrete.**

1. Que la arena estudiada de procedencia de río aguas abajo como peso específico (Base seca) alcanza a 2570 kg/m<sup>3</sup>.

2. Y el árido ocupa el mayor volumen en la unidad del volumen del shotcrete, llega a ocupar el 63.31%.
3. Y no menos importante es conocer con exactitud la propiedad de absorción que tiene el árido para poder calcular con la humedad natural el agua efectiva del Diseño de la Mezcla.
4. La malla 200 no es una propiedad del árido, pero si es una característica que adquiere del medio ambiente de dónde es sustraído.

## **5.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REQUISITOS DE DISEÑO DE MEZCLA – SHOTCRETE.**

1. El shotcrete en suma importancia se define por trabajar con las relaciones de agua y material cementante las más bajas.
2. Por ello la relación de a/mc expuesto en esta tesis es menor a 0.43 hasta de 0.41
3. Para conservar la relación agua cemento indicado, se trabaja con cantidades alta de kilogramos de cemento, que supera los 395kg por metro cúbico.
4. El uso de los nuevos métodos de medición de resistencias iniciales con dispositivos digitales, resistentes a la exposición de los trabajos, se requieren debido a las necesidades importantes de seguridad y al factor del tiempo de ciclo de minado u obra en general.
5. Y como requisito general a la seguridad de puesta en servicio de un túnel, lo define el requisito de absorción de energía.
6. También es importante mencionar que el uso de mallas de refuerzo están quedando obsoletas, no por sus propias propiedades mecánicas de la malla, si no por las condiciones del terreno, al ser terrenos de caras irregulares, la malla en cocada no es versátil a la cara o superficie a sostener.
7. En el caso de ser instaladas y no cumplir su función, se convierte en un elemento de alto potencial de accidente. Por ello el diseño de las mezclas con fibras refuerzo.

8. Se tiene que rediseñar la mezcla shotcrete para el caso de nuevas característica del árido evaluado por compensación de los valores en su curva granulométrica.

### **5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CÁLCULOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA PARA SHOTCRETE.**

1. Aquí se debe prestar importancia a los resultados con respecto al traslado de los datos de los pesos a una Planta de Premezclados.
2. Tener en cuenta que existen plantas de premezclado que trabajan con los Pesos secos, o con los Pesos Húmedos u otros con los Pesos SSS.
3. El Shotcrete arroja un peso por unidad volumétrica seca de 2207 kg/m<sup>3</sup>, con atrapamiento de aire del 6%.
4. Existen diferentes marcas de aditivos plastificantes y cada uno proporcionan diferentes valores con respecto al aporte de aire atrapado
5. En el diseño de mezcla no se considera para el cálculo el peso específico del aditivo acelerante, ya que este es aplicado en el momento simultáneo de la operación de lanzado.

### **5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADO DE ENSAYOS A LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

#### **5.4.1. Discusión de los resultados de las Características y propiedades de los Aditivos plastificante y acelerante.**

1. Que el aditivo plastificante proporciona el slump igual o por encima de requerido a todas los despachos de mezcla.
2. Pero en el requisito teórico con relación a los resultados de pruebas de campo son muy variables al respecto de la caída de Slump en el tiempo.
3. El aditivo plastificante en el shotcrete debe ser un co conductor del aditivo aelerante.
4. La situación de una sobre dosificación de aditivo acelerante es un determinante perjudicial para la capacidad de desempeño del shotcrete que fue diseñado,

5. A través de los ensayos de resistencias iniciales y tempranas pueden ser detectados.
6. Además el shotcrete sobre dosificado de acelerante sufrirá el efecto de golpe de fraguado inicial, influyendo en la no adherencia adecuada de la primera capa o la capa final o de acabado.

#### **5.4.2. Discusión de Resultados de fragua de la mezcla proyectada.**

1. El método de incado del penetrometro de mortero nos indicará inmediato sobre el comportamiento del aditivo acelerante, además daría la alerta si el sistema de bombeo del aditivo presentase fallas.
2. Los resultados tomados en el tiempo determinado y se presente por debajo de lo esperado, nos indica que hubo paso de una baja dosificación del aditivo acelerante.
3. Y si el resultado de fraguado inicial fuese muy rápido en el tiempo antes determinado, nos indicaría una sobre dosificación del aditivo acelerante.
4. Por lo tanto la situación de una sobre dosificado el Shotcrete en su posterior desarrollo de resistencias final perderá mayor rigidez.
5. La información del resultado de la hora o el tiempo de fraguado inicial según control de calidad, es de vital implicancia en la técnica de operación de lanzado.
6. Entonces el conocimiento del fraguado inicial para el Técnico Operador implica en la determinación de la adherencia de la primera capa y la sucesiva capa final o de acabado.

### **5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADO DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS CLASES DE RESISTENCIA**

#### **5.5.1. Discusión de Resultados de la determinación de resistencia iniciales**

1. Que trabajado las relaciones agua y cemento desde 0.43 a 0.41, las relación con mejor resultados y que cumple con el requisito de la resistencia inicial es la relación de 0.41 a/mc.
2. Las relaciones de a/mc mayores a 0.41 se alejan de obtener resistencias iniciales en menor tiempo.
3. Al tener resultados favorables de resistencias iniciales es un indicativo de además que se cumplirá con el requisito de resistencias tempranas.

### **5.5.2. Discusión de Resultados de la determinación de resistencia tempranas**

1. Que una correcta dosificación de acelerante permitirá alcanzar la resistencia temprana requerida
2. Así como también un exceso de dosificación puede quemar la matriz cementante, por lo tanto no desarrollará resistencias.
3. Y una cantidad por debajo del rango de dosificación tardará en presentar desarrollo de resistencias tempranas.

### **5.5.3. Discusión de Resultados resistencia a la compresión**

#### **▪ Testigos Cilíndricos Simples**

1. Los resultados de resistencias son elevados debido a que no interactúa con aditivo acelerante.
2. Con la cantidad de cemento de 395 kg por la unidad de volumen y sus demás componentes resulta un promedio alcanzado a u día de 290 kg/cm<sup>2</sup>.
3. A la edad de 28 días el shotcrete compuesto, libre de acelerante logra alcanzar hasta 569 kg/cm<sup>2</sup>
4. Se interpreta también que la fibra refuerzo influye directamente en la obtención alta de la propiedad de resistencia a la compresión.

#### ▪ Testigos cilíndricos núcleo diamantina

1. Los resultados de resistencia de los núcleos desarrollan en el orden de 51.42%, 69.77%, 72.32%, 78.81% y 100%, respectivamente 1, 3, 7, 14 y 28 días de edad.
2. Para la elaboración de un núcleo compacto, influyen los siguientes factores; La técnica de lanzado, el aire presurizado y la correcta dosificación de aditivo acelerante.
3. El shotcrete núcleo diamantina con sobredosificación aditivo acelerante y presencia de estratificaciones, al ser sometido a la máquina de ensayo, falla se da al mínimo esfuerzo.

#### 5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENACIDAD

1. En este caso de investigación el material de fibra sintética ofrece una menor capacidad mecánica de absorción de energía con respecto a la fibra metálica
2. Se analiza que después del ensayo del panel con fibra metálica, se visualiza en las grietas de fallas, que la fibra pierde el doblez de su forma inicial, manifestándose de forma recta o lineal y ganando longitud.
3. El factor influyente en primer orden para alcanzar su máximo desempeño el shotcrete, está vinculado directamente con el factor del aire comprimido con que fue proyectado.
4. Si se tuvo una mala técnica de lanzado, cuando se desmolda los paneles cuadrados se evidenciará en los lados de las aristas vacíos, poros o agujeros, que pueden influenciar en los resultados de los ensayos.
5. Con respecto a la edad de ensayo, se analiza que el shotcrete cuando adquirido por encima del 70 %, del desarrollo de su resistencia a la compresión 250 kg/cm<sup>2</sup>, como lo indica los núcleos diamantina, cuenta con la suficiente capacidad para trabajar en la propiedad mecánica de tracción, así como el nivel de desempeño de un panel ensayado a los 28 días.



6. Se propone que otros autores puedan evaluar mas extenso a las fibras sintéticas (texturas, tamaño y secciones), ya que estas están en constante desarrollo. Y pienso que influenciaran además en la durabilidad del shotcrete.

## **5.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE MEDICIONES DE ÍNDICES DE MATERIAL REBOTE.**

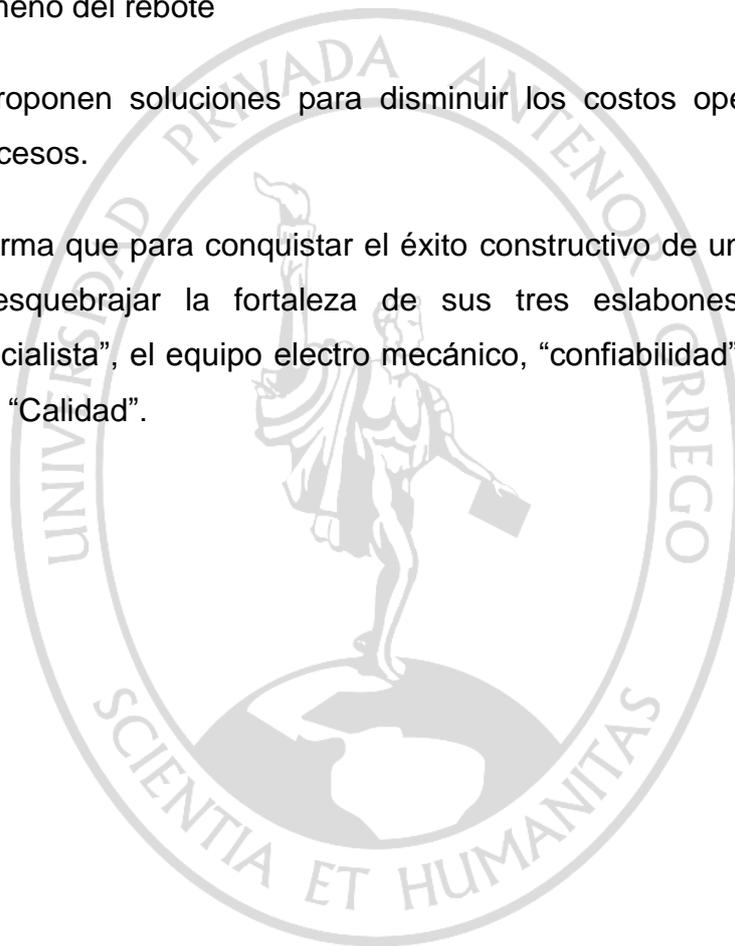
1. En primer orden el factor influyente que ocasiona el material de rebote es el grado de la Técnica de Lanzado
2. El segundo orden interpreto como factor influyente es el suministro de aire a presión.
3. En esta investigación se interpreta un registro de hasta 15.56% de material rebote
4. Se propone que todo Técnico Operador de Robot debe ser capacitado y acreditado por los programas de Simulador de Operación de Robots lanzadores.
5. El Técnico operador de Robot acreditado influenciará en magnitud sobre la disminución de los costos de Mantenimiento, costos de Operación y los costos de los Materiales.

## VI. CONCLUSIONES

1. La adherencia del shotcrete recién proyectado está influenciado por; la técnica de lanzado.
2. Influenciado por el estudio análisis granulométrico del árido de rebote.
3. Y su desempeño mecánico, influenciado por; el suministro eficiente del aire comprimido.
4. Los aditivos acelerantes desarrollan resistencias a temprana edad.
5. El uso de relación agua y cemento de 0.38 es fundamental para las resistencias iniciales.
6. Esta investigación logró 0.91 [Mpa] de resistencia inicial, edad de 1 hora.
7. El pronto desarrollo de resistencias iniciales es ventaja para avances de los ciclos de minado
8. La desventaja de los acelerantes, es que reduce la resistencia de diseño.
9. Según resultados de la resistencia del diseño inicial y la resistencia diamantina, el aditivo acelerante redujo hasta 37.24% a la edad de 1 día.
10. Y hasta la edad de 28 días se redujo un 46.77%
11. El aditivo acelerante influye en la generación de material rebote, si sufre el golpe de fragua inicial.
12. Las adiciones fibras refuerzo deben ser dotados de gran pasta de cemento.
13. El árido analizado necesitará ser reajustado en los mecanismos de una planta de Procesos de Conminución.
14. El árido analizado demandará de un ligero mayor consumo de Aditivo plastificante por características de tendencia más fina.



15. La caída del Asentamiento de la mezcla fresca de campo no es uniforme.
16. Las plantas de premezclado son sensibles a posibles errores de dosificación de aditivo.
17. Los laboratorios implementados con equipamiento de gama alta compensan los costos por la información confiable obtenida.
18. En este material de investigación se estudia los factores influyentes del fenómeno del rebote
19. Se proponen soluciones para disminuir los costos operacionales de reprocesos.
20. se afirma que para conquistar el éxito constructivo de un túnel, es vital no resquebrajar la fortaleza de sus tres eslabones; el personal “especialista”, el equipo electro mecánico, “confiabilidad” y del material tenaz “Calidad”.



## VII. RECOMENDACIONES

1. Se debe elaborar Shotcrete con relaciones de agua y cemento por debajo de 0.41 (a/mc) para cumplimientos.
2. Que otros autores investiguen un mejor desarrollo de resistencia inicial, mayor a 1.0 [Mpa] a la edad de 1 hora.
3. Otros autores deben buscar que el aditivo acelerante reduzca menores porcentajes de resistencia del diseño inicial.
4. Si los trabajos de producción de mezclas son permanentes, se debe evaluar la rentabilidad del suministro de aditivos a granel, ya que el consumo en cilindros de 220kg retienen cantidad en el fondo de su interior apreciable en volúmenes masivos.
5. Se debe tener muestras representativas de retención de los materiales componentes, tal como los aditivos.
6. El empleo del cemento portland a granel debe mantener fresca, hasta como máximo un mes.
7. Si los trabajos de Producción de Premezclado son permanentes, se debe planificar rentabilidad y calidad del suministro del cemento portland a granel de camiones bombonas, para el almacenamiento corto y continuo en Silos de gran capacidad de tonelajes.
8. Debido a las propiedades de calor de hidratación, el Cemento Portland tipo I es el más equilibrado para la elaboración del Shotcrete.
9. Se debe analizar el material del rebote de cada terreno de construcción de túnel, según el análisis de esta investigación.
10. No se debe proyectar shotcrete con presión de aire por debajo de 3.5 bar.
11. El Slump de la mezcla fresca antes de su lanzamiento inmediato se debe establecer un Asentamiento Nominal de 6" ± 1" pulg.

12. Y un Asentamiento Máximo de 6" pulg. para frentes o sustratos con ligera filtración de agua.
13. El uso de una fuente de agua cercana o fuente de aguas subterráneas, estas deben ser procesadas y tratadas adecuadamente, cumpliendo con los requisitos químicos permisibles de la tabla 3, mencionada en la Norma ASTM C 94.
14. Otros investigadores deben evaluar la reacción de la fibra metálica, respecto al contacto directo con filtraciones de agua del mismo túnel.
15. Se debe normalizar en el Perú los métodos de medición de las resistencias iniciales.
16. El titular del proyecto debe asignar el recurso de capacitación y entrenamiento para la acreditación del Técnico Operador de Robot.
17. El diseño de los equipos robot lanzadores electrónicos deben soportar las condiciones ambientales y dureza de un túnel.
18. Se debe establecer mediciones del caudal de la bomba de aditivo del equipo robot lanzador de litros por minutos del aditivo acelerante.
19. Se debe establecer mediciones del caudal que suministra la bomba de aditivo de una planta premezclado automatizado.
20. El carguío de los materiales secos o material previamente amasado deben ir directo a la cuba del mixer, por ello es importante manejar los correctos niveles de montaje de una Planta de Premezclado.
21. Toda planta de Premezclado y su zona de Lavado debe contar con un sistema para la práctica de reciclaje del agua.
22. En la actualidad existen plantas de Premezclado que reconocen la humedad directa del árido, ofreciendo dato para correcciones de Agua efectiva al Diseño.

- 23.** Otros autores deben evaluar el uso del Speedy Test con respecto a la humedad del árido para producir Shotcrete.
- 24.** No se debe realizar ninguna otra operación dentro de la primera hora de proyectado el Shotcrete fresco.
- 25.** Realizar perforaciones el frente de avance adjunto, después que el shotcrete recién proyectado haya alcanzado la propiedad mecánica no menor a 1 [MPa] a la edad de 1 Hora.
- 26.** Realizar el sostenimiento mixto con la inserción de pernos cuando el Shotcrete proyectado haya alcanzado la propiedad mecánica no menor de 3 [MPa].
- 27.** Se debe sostener con shotcrete fibras refuerzo superficies irregulares y no usar mallas electrosoldadas.
- 28.** Nuevos autores deben evaluar si solo si se usa mallas electrosoldadas a nivel de las bases de un túnel, con factibilidad compensatoria de menor dosificación de kilogramos de fibra en las bases.
- 29.** Para obtener lecturas representativas de ensayos de resistencias iniciales se recomienda la aplicación del método de la cuadrícula difundida en la página 86.
- 30.** Se puede establecer la realización de ensayos de absorción de energías a edades tempranas menores a 7 días.
- 31.** Para otros investigadores se propone que puedan medir la resistencia de los núcleos diamantina a edades establecidas mayor a los 28 días.
- 32.** Además que otros investigadores realicen cantidad de muestreos patrones, para ensayos locales y ensayos en laboratorio externo.
- 33.** El responsable de control de calidad debe dar comunicación efectiva de los resultados de ensayos al Técnico Operador de Robot.

- 34.** Se debe restringir y eliminar sostenimientos con potenciales de peligro.
- 35.** El contenido de esta investigación del estudio del índice de material rebote, ampliará conocimientos prácticos a los sucesivos investigadores así como a entes nacionales e internacionales.
- 36.** Se debe tener en cuenta que estos resultados son propios del terreno estudiado, y se recomienda que otros investigadores lo usen como una guía de Estudio y obtener sus propios resultados.
- 37.** Debido a la alta actividad de minería subterránea se debe establecer una Guía práctica de Construcción de Túneles del Perú.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vizcarra Guillen, A. N. (2014). *Análisis y aplicación del Shotcrete para lograr continuidad y velocidad en el sostenimiento unidad operativa Chipmo Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Pacheco Centeno, J. (2014). *Aplicación del sostenimiento estructural en Mina Ticlio.* Universidad Nacional de Ingeniería.

Alpaca López, Y. R. (2016). *Caracterización geotécnica, estructural del macizo rocoso de los desarrollos subterráneos de la Fase V, Chuquicamata–Chile.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Vargas Niquín, E. (2017). *Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmonte zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa.* Universidad Nacional de Trujillo.

Linares Pipón, C. (2018). *Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: Correlación entre método normado UNE-EN 14488-2 y método alternativo.* Universidad de Chile.

Cipriano Chudán, R. R., & Marín Cabrera, E. E. (2018). *Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería NV. 9, unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018.* Universidad Privada del Norte.

Beresovsky de las Casas, A. (2008). *Estudio experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas.* Pontificia Universidad Católica del Perú.

Augusto Holmberg F. Octubre 2015. *GUÍA CHILENA DEL HORMIGÓN PROYECTADO*, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, Santiago.

Dipl.-Ing. Jurgén Hofler, Putzmeister AG, Jurg Schlumpf, BSC Ingeniero Civil, Sika Schweiz AG, 2004. *Introducción a la tecnología básica de concreto Proyectado.*



## IX. ANEXOS

