

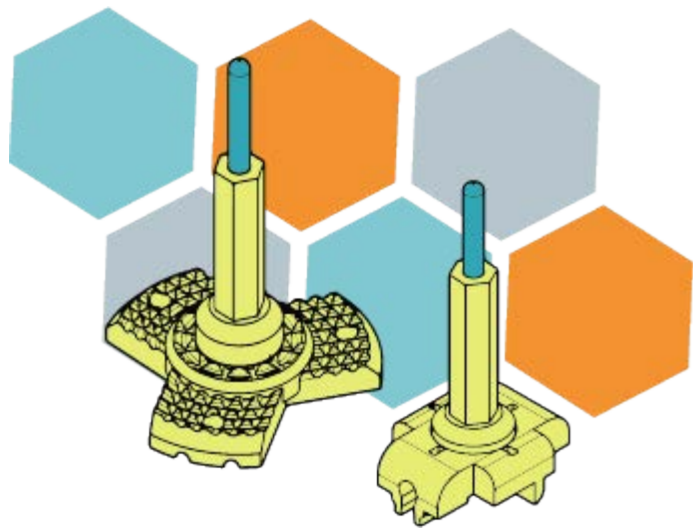
# INCRETE

**Sistema que permite monitorear, reconocer, marcar y registrar visualmente el espesor requerido durante la proyección de hormigón en túneles.**

Memoria para optar al título de Diseñadora mención Industrial y Servicios

Caterina Villarroel Zúñiga  
Profesor Guía: Pablo Domínguez

Santiago, Chile  
2022



## Dedicatoria

A la familia, a los seres queridos que ya dejaron este plano y a mis gatos.

A las pocas pero buenas amistades que hice en el transcurso de la carrera.

A los buenos amigos del WoW.

A todos quienes fueron parte de este proceso o estuvieron al tanto y de alguna u otra forma me dieron su apoyo.





## Agradecimientos

Renato, mi padre, por acompañarme en gran parte del proyecto aportando desde sus conocimientos técnicos.

A mi madre por preocuparse, apoyarme e intentar encontrar solución a los problemas y dificultades que se han presentado en el transcurso.

A la Sofía, mi hermana, por ayudarme a escribir correctamente las referencias que más se me complicaron y resolver mis dudas de escritura.

Al Seba por su apoyo incondicional durante el proceso y su aporte desde el lado audiovisual tomando parte de los vídeos y fotografías de las actividades en terreno con la mejor disposición.

A Don Daniel Parra y a todos los trabajadores de DPL Grout que contribuyeron para el proyecto probando prototipos, respondiendo encuestas y entrevistas. Se agradece su amabilidad y la buena disposición en todo momento.

Al señor Eric Adasme Fuentes por su buena disposición y compartir de su tiempo para aclarar todo tipo de dudas con respecto a la proyección de shotcrete.

Al señor Arturo Goldsack de Rodríguez y Goldsack Ingeniería Civil Ltda. por sus comentarios técnicos sobre la forma de aplicación para el producto.

Al señor Pablo Merino de Ingeroc SpA, por sus comentarios sobre el uso de indicadores.



## Resumen

El proyecto se desarrolla bajo un contexto multidisciplinario, enfocado en la solución de una problemática existente en la fortificación de túneles y uso de shotcrete, específicamente en cómo lograr los espesores de hormigón proyectado definidos para cada túnel específico, de acuerdo a las condiciones geológicas y geotécnicas.

Principalmente la forma que utilizan los operadores para determinar el espesor de shotcrete que están proyectando en tiempo real, es por la experiencia que han adquirido en su formación en terreno, esto quiere decir que han entrenado su noción visual del espesor que proyectan y gracias a esta medición al “ojo” pueden saber más o menos que han llegado al espesor requerido, aún así esta forma de medir el hormigón proyectado tiene porcentajes de error. Uno de los principales problemas en la aplicación del hormigón proyectado se refiere al control de su espesor, el cual generalmente queda con importantes variaciones, cuando el espesor aplicado es inferior al definido, la excavación queda con sostenimiento subestándar, mientras que al aplicar un espesor mayor, se está incurriendo en una pérdida económica.

Dado esto, el proyecto se enfoca en la propuesta de un método para que los pitoneros u operadores, quienes son los encargados de proyectar el hormigón mediante una boquilla o equipo robotizado, puedan tener una guía visual del espesor del hormigón que están proyectando y así determinar la distribución de capas y cuando han finalizado el espesor requerido. Para la realización del proyecto se utilizó como referencia el modelo de proceso de diseño de doble diamante por Design Council (2019) el cual contempla 4 etapas principales; “Descubrimiento”, que se refiere a obtener información de los usuarios clave y entender mejor la problemática desde su punto de vista, “Definición”, donde se utiliza la información obtenida para definir las propuestas del proyecto, “Desarrollo”; la etapa más larga de todas que implica el desarrollo de la propuesta, pruebas y prototipado, y por último “Entrega”, etapa final donde se entregan los resultados, se define la forma de fabricación y se valida la propuesta.





# Indice

Resumen

## Introducción

Motivación personal

## Capítulo 1: Revisión de la literatura

1. La industria en labores subterráneas

1.1 Accidentabilidad en la industria.

1.2 Clasificación de las empresas de minería en Chile.

2. Fortificación de túneles.

2.1 ¿Que es la fortificación?

2.2 ¿Cuál es el rol fundamental de la fortificación?.

2.3 Criterios para la fortificación.

2.4 ¿Qué dice la normativa?.

1.5 Definición de parámetros para la seguridad en espacios subterráneos.

2.6 Tipos de fortificación.

2.7 Métodos de fortificación.

2.8 Arco medio punto como medida de estabilidad.

3. Hormigón proyectado.

3.1 Inicios de la utilización de shotcrete.

3.2 Hormigón proyectado en el metro de Santiago.

3.3 Shotcrete como producto

3.4 Diseño de la mezcla

3.5 Modo de aplicación

3.6 Aplicación de shotcrete manual

3.7 Espesores de hormigón proyectado

3.8 Costos del hormigón proyectado.

4

7

10

11-22

12

12

13

14

14

14

14

14

15

15

16

17

18

18

18

## Capítulo 2: Metodología

1. Objetivo general

2. Objetivos específicos

3. Resumen de la metodología

## Capítulo 3: Descubrir

1. Análisis POE.

1.1 Arquetipo de usuario persona.

1.2 Análisis persona.

1.3 Análisis objeto.

1.4 Análisis entorno.

2. Modo operatorio.

3. Entrevistas a usuarios clave.

4. Estado del arte

5. Mapa de productos

## Capítulo 4: Definir

1.1 Base teórica.

1.2 Definición de la propuesta

2. Mapa mental

19

19

20

20

21

22

**23-25**

24

24

25

**26-49**

28

29

30-31

32-33

34-37

38-39

40-42

44-48

49

**50-55**

52

52-53

54



3. Referentes formales y estéticos	55	8. Resultados del ensayo	90-93
<b>Capítulo 5: Desarrollo</b>	<b>56-103</b>	8.1 Lista de problemas	91
1. Requerimientos	58	9. Modificaciones en el diseño	94-95
2. Exploración de adhesión a roca	59	9.1 Diseño para malla	94
2.1 Variables a considerar para la elección de un pegamento	59	9.2 Visibilidad del producto	95
2.2 Exploración de adhesivos	60	9.3 Control de calidad	95
3. Diseño marcador para roca	61-65	10. Diseño conceptual implemento	96-103
4. Diseño marcador malla	66-72	10.1 Requerimientos	96
5. Metodología ensayo con usuarios	73-77	10.2 Moodboard	97
5.1 Diseño del ensayo	74	10.3 Bocetos exploratorios	98
5.2 Plan de procedimientos	75	10.4 Consideraciones de diseño del largo	99
5.3 Entorno de las pruebas	76	10.5 Consideraciones de diseño de agarre	99
5.4 Prototipos prueba con usuarios	77	10.6 Propuestas de ángulo ajustable	100-102
6. Ensayos con usuarios malla	78-83	10.7 Visión de la zona a instalar el producto	103
6.1 Preparación de la superficie	79	<b>Capítulo 6: Entrega</b>	<b>104-121</b>
6.2 Instalación	80	1. Entrega	106-109
6.3 Preguntas a responder después de la instalación	81	1.1 Render propuesta para roca	106
6.4 Proyección	82	1.2 Render propuesta para malla	106
6.5 Preguntas a responder después de la proyección	83	1.3 Modo de aplicación	107
7. Ensayos con usuarios roca	84	1.4 Cotas generales roca	108
7.1 Preparación de la prueba	85	1.5 Cotas generales malla	109
7.2 Instalación	86	2. Validación con usuarios	110-115
7.3 Preguntas a responder después de la instalación	87	2.1 Instalación	110-11
7.4 Proyección	88	2.2 Proyección	112
7.5 Preguntas a responder después de la proyección	89	2.3 Otras instancias para validación	113-114



2.5 Entrevistas	115
3. Diferencial Semantico	116-117
3.1 Metodología	116
3.2 Resultados	117
4. Fabricación	118-119
4.1 Matriz	118
4.2 Copias	119
5. Costos de producción	120-121
5.1 Costos matriz	120
5.2 Costos marcador roca	121
5.3 Costos marcador malla	121
<b>Conclusiones</b>	<b>122</b>
<b>Proyecciones</b>	<b>123</b>
<b>Referencias Bibliograficas</b>	<b>124-125</b>
<b>Anexos</b>	<b>126-37</b>





## Introducción

Los procesos de seguridad minera son procedimientos que requieren mucho trabajo e inversión, siempre se busca más productividad, eficiencia y seguridad en los proyectos. Entre los procesos de seguridad minera se encuentra la fortificación de túneles para garantizar la seguridad de personas y equipos que transiten y trabajen dentro de el, aquí es donde se entra en el área del reforzamiento utilizando el método de hormigón proyectado o shotcrete, uno de los métodos más utilizados actualmente para el reforzamiento de túneles tanto en pequeña, mediana y gran minería.

«Una mala técnica de proyección genera un mayor desperdicio de shotcrete por rebote y puede además comprometer la integridad estructural de la obra, y la seguridad de los operadores» (Putzmeister, 2021). Uno de los principales problemas en la aplicación de hormigones proyectados se refiere al control de su espesor, el cual generalmente queda con importantes variaciones con respecto a lo definido. En el diseño de cada proyecto se especifica el espesor que debe ser aplicado, la norma “EN 14488-6” que define un método para controlar el espesor explica que debe realizarse posterior a la proyección cuando el hormigón ya este seco, es decir este método no podrá evitar sobre-espesores, lo que incurre a una pérdida económica. Si el espesor es menor, se tendrá que proyectar de nuevo lo que significa gasto en tiempo y materiales.

Según estudios en obra, el 81% del hormigón proyectado por un operador competente se proyecta adecuadamente, mientras que existe un 19% de material proyectado de manera incorrecta. A partir de ese 19% de pérdida, el 52,6% de este es por sobre-espesores. (Figura 1)

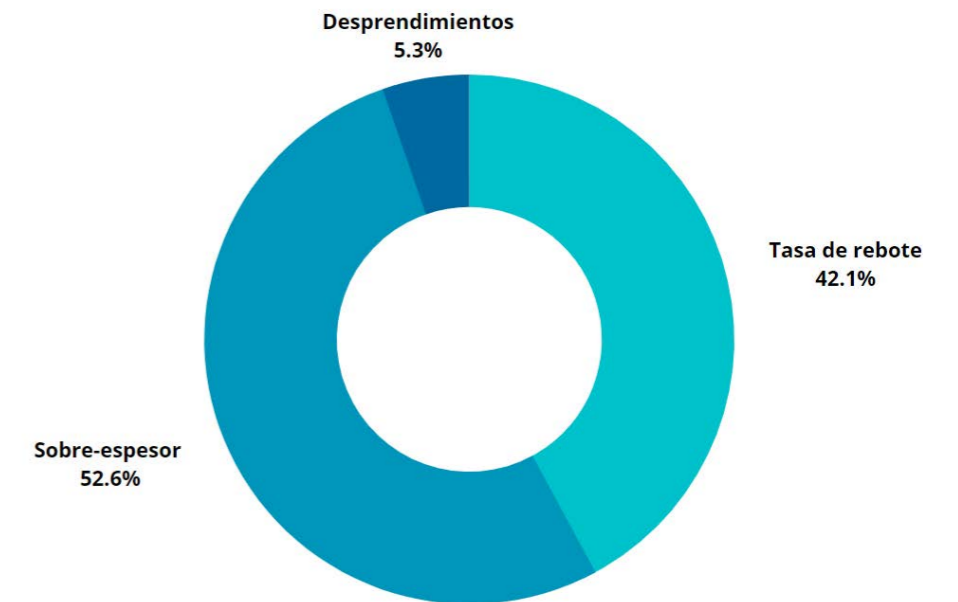
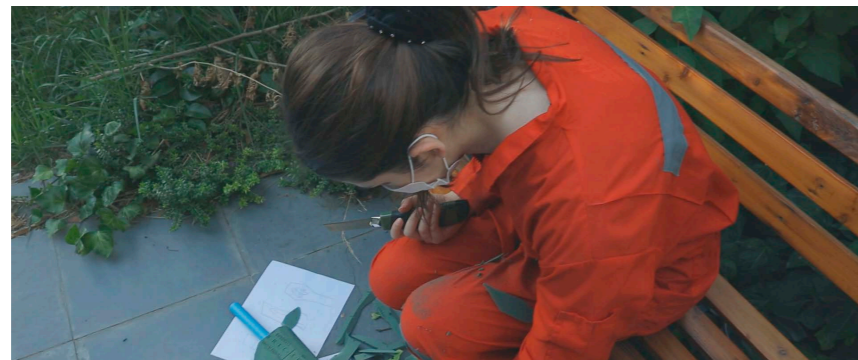


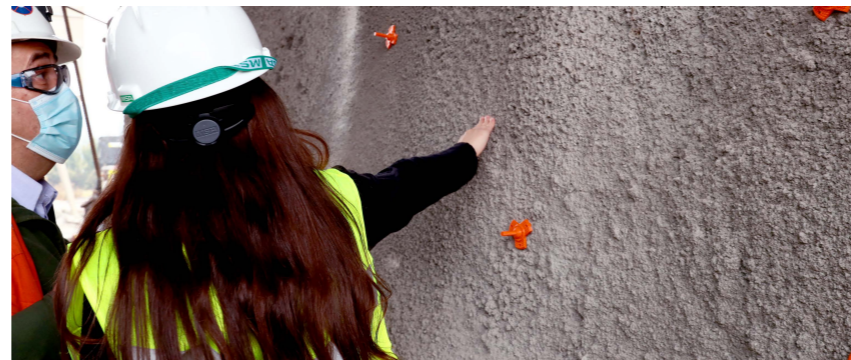
Figura 1: Porcentajes de las causas de shotcrete aplicado incorrectamente, información obtenida de Putzmeister (2021). Elaboración propia



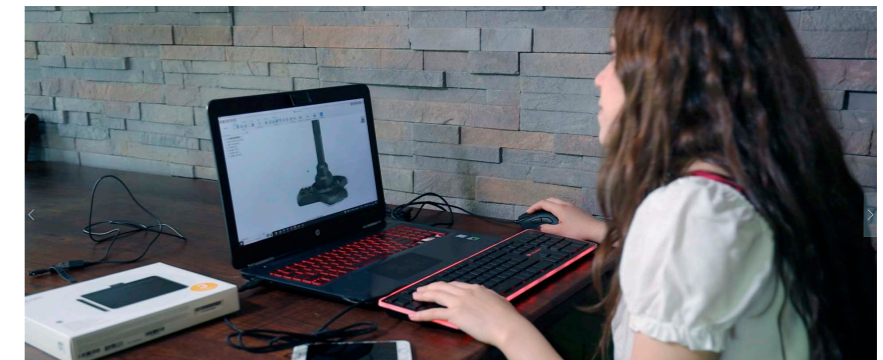
## Motivación personal



La motivación por este proyecto nace debido a las buenas experiencias durante instancias académicas donde se tuvo que trabajar en equipos multidisciplinarios abordando problemáticas y desarrollando proyectos, esas experiencias fueron muy nutritivas además de mucho aprendizaje y el comienzo de nuevas amistades.

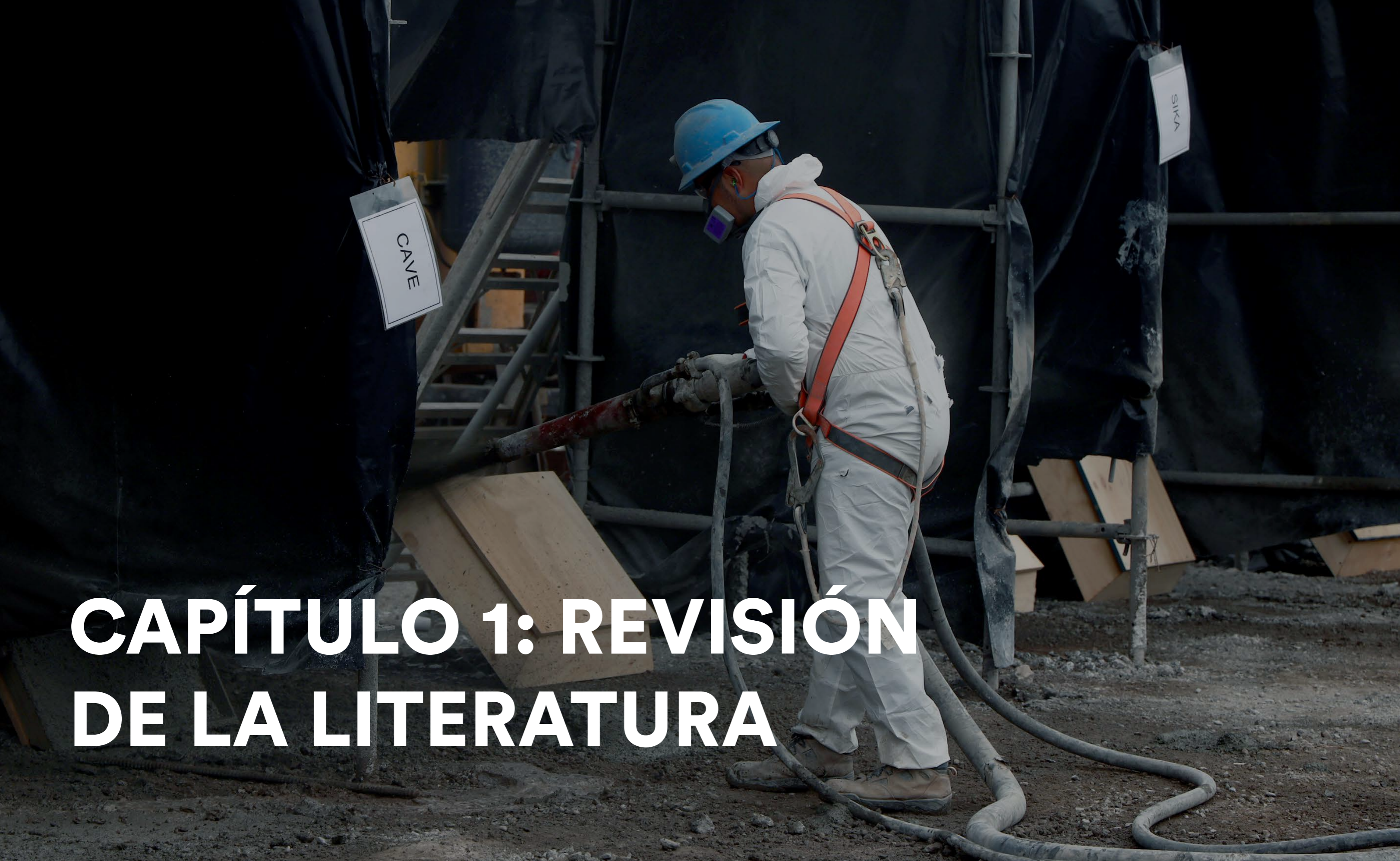


Por otro lado mi padre siempre nos ha compartido parte de sus conocimientos geológicos en diferentes ocasiones. Al mismo tiempo se entiende que el mercado laboral minero y civil es un tema de interés ya que es de suma importancia el capital humano, se entiende que los trabajos para minería y espacios subterráneos en Chile no son 100% automatizados y que aún se requieren trabajadores para desempeñar roles.



Dichos trabajadores deben utilizar equipamiento, manipular objetos y utilizar utensilios durante largas jornadas además de desenvolverse en un entorno que contempla diversos factores tanto político - jurídicos, económico - financieros, socio - culturales, tecnológico - científicos y ecológico - geográficos. Considerando esto, existen muchos puntos en los cuales la disciplina del diseño puede aportar en esta área.





# CAPÍTULO 1: REVISIÓN DE LA LITERATURA

# 1. La industria en labores **subterráneas**

«Aunque la mayor experiencia está en la minería, hay un creciente desarrollo en otros rubros que va desde excavaciones para un mega proyecto hidroeléctrico hasta una gran apuesta por llegar a Argentina, cruzando por debajo de la Cordillera» (Fernandez, 2021, p.26).

Para la construcción de labores subterráneas se realiza un diseño a partir de los resultados de investigaciones geológicas y se aplica el método adecuado de excavación, elección de tronadura y fortificación, esta última tiene como objetivo proteger a los trabajadores y evitar derrumbes, ya que «uno de los riesgos más importantes de accidentes en labores mineras subterráneas es la caída de rocas desde el techo de las galerías o de sus cajas o costados y en las minas de rajo abierto el deslizamiento de terrenos» (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], 2018, p.4). Esto ocurre porque se extrae un volumen de masa rocosa que provoca cambios en las condiciones naturales de equilibrio, se crean espacios en los cuales las caras libres quedan sometidas a fuerzas que quedan sin oposición y convergen hacia el espacio vacío (Figura 2), provocando grietas en el techo y las cajas, esto se ve acrecentado cuando la roca es de mala calidad y pueden generar el desprendimiento de rocas sueltas o planchones.

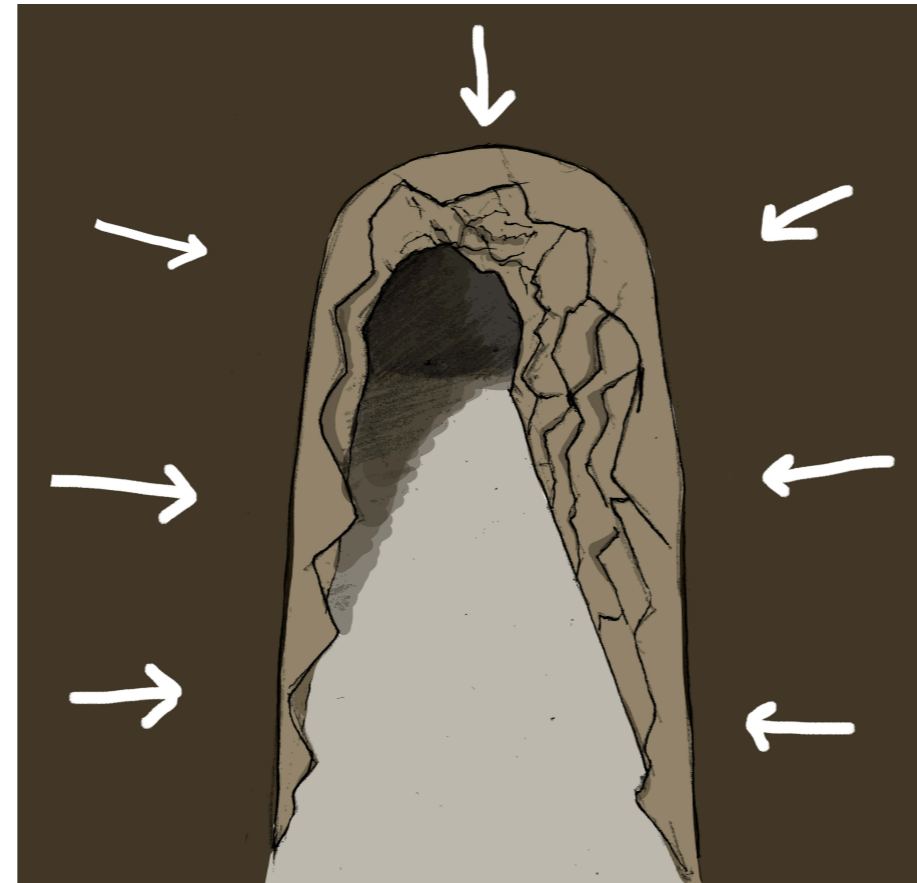


Figura 2: Fuerzas sin oposición. Elaboración propia.

## 1.1 Accidentabilidad en la industria

De acuerdo a las Estadísticas de Accidentabilidad presentadas por el Sernageomin en su publicación del 2021 los accidentes mineros se han reducido un 75% en los últimos años, entre los accidentes fatales por tipología en el año 2021 se

encuentra en primer lugar “apretado, atrapado, aprisionado, succionado.” mientras que en el año 2020 fue la tipología “golpeado por rocas”. En este marco, cabe señalar que la mayor cantidad de personas fallecidas se produjo en empresas de tipo “minería artesanal” seguido de “pequeña minería”. Aunque existen reglamentos y exigencias claras en este sentido, los accidentes son una realidad bastante común en las faenas mineras. Durante los últimos 3 años 2019, 2020 y 2021 las cifras de accidentes totales en la industria extractiva minera han sido de 6949 (Figura 3).



Figura 3: Cifras de todo tipo de accidentes ocurridos durante los años 2019, 2020, 2021. Fuente: (SERNAGEOMIN, 2021)



### 1.2 Clasificación de la minería en Chile

Existen 4 tipos de minería: artesanal, pequeña minería, mediana minería y gran minería. Según Colchico (2014) la pequeña minería se puede dividir en dos segmentos, la pequeña minería propiamente tal y un segmento denominado pequeña minería artesanal, no existe definición de ambas exacta pero se puede decir que la minería artesanal es la más precaria e informal. En la Figura 4 recuperada de Colchico (2014) se muestran las definiciones legales a nivel nacional respecto a la pequeña minería.

La mediana minería da cuenta de un sector con dinamismo y proyecciones de crecimiento (Figura 5). Algunas características de estas empresas según Colchico (2014) son:

- 1) Tienen capacidad para ser abastecedores regulares, pero presentan dificultades para negociar y exportar directamente sus productos
- 2) Aproximadamente 30 compañías.
- 3) Mayor dificultad para acceder a financiamiento bancario para llevar a cabo proyectos importantes.

Las empresas de gran minería tienen la capacidad financiera para desarrollar una mina de tamaño importante por su cuenta. Pueden extraer al año sobre 3.000.000 toneladas de mineral. Como se observa en la Figura 6 publicada por Sonami (2014), la gran minería tiene una participación muy alta en la extracción de cobre, oro, plata y hierro.

Sernageomin	Código de Minería	Ley de Impuesto a la renta	ENAMI
Definición en base a Trabajadores y Horas Trabajadas	Definición en base a Trabajadores	(Minería Artesanal) Definición en base a Trabajadores	Definición en base a Producción
Menor a 80 trabajadores	Menor a 12 trabajadores	Menor a 5 trabajadores	Son los productores que en forma individual venden o benefician mensualmente hasta 10.000 toneladas de minerales o su equivalente en productos mineros.
Menor a 200.000 horas trabajadas			

Figura 4: Definiciones legales de pequeña minería y minería artesanal. (Colchico, 2014)

Institución		
Sernageomin	Instituto Ingenieros de Minas de Chile	ENAMI
Definición en base a Trabajadores y Horas Trabajadas	Definición en base a Producción	Definición en base a Producción
Entre 80 y 400 trabajadores	Explotación entre 300 y 8.000 toneladas de mineral al día (menos de 50.000 toneladas de cobre fino por año aproximadamente)	Es aquel sector de productores, actuales o potenciales, que en forma individual venden o benefician mensualmente más de 10.000 toneladas de minerales o su equivalente en productos mineros.
Entre 200.000 horas y 1.000.000 de horas trabajadas		

Figura 5: Definiciones legales de la mediana minería. (Colchico, 2014)

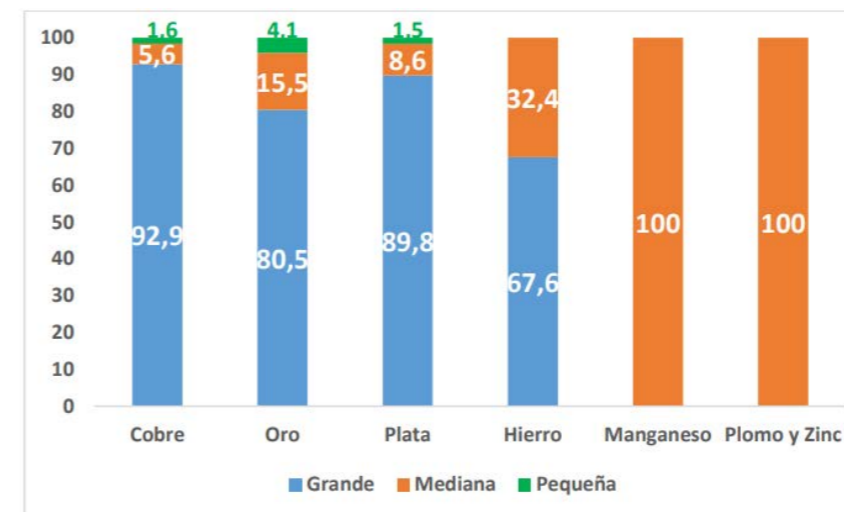


Figura 6: Porcentajes de extracción de mineral según sector productivo. (Sonami, 2014)



## 2. Fortificación de túneles.

### 2.1 ¿Qué es la fortificación?

«La fortificación es el conjunto de procedimientos que permiten mantener estable las labores cuando su condición no es auto soportante en una mina subterránea» (SERNAGEOMIN, 2018, p.6)

### 2.2 ¿Cuál es el rol fundamental de la fortificación?

El rol principal de la fortificación según el Servicio Nacional de Geología y minería es:

1. Mantener labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos y aire.
2. Impedir el desmoronamiento del material fracturado
3. Mantener la cohesión de los terrenos

### 2.3 Criterios para la fortificación

La fortificación debe diseñarse de manera racional y específica para cada caso en particular. En faenas mineras de corta vida (temporales), la fortificación será tan sencilla como sea posible; no obstante, debe asegurar la estabilidad de la labor, por eso siempre se consideran los parámetros mínimos de factor de seguridad. En faenas de mayor duración, la tendencia es diseñar fortificaciones de carácter más permanente, donde se consideran factores de seguridad mayores (ej. ESR del Sistema Q) (SERNAGEOMIN, 2018).



Figura 7: Ilustración que demuestra que la fortificación debe ser oportuna y no exceder a los extremos. Fuente: (SERNAGEOMIN, 2018)

La fortificación siempre se diseña pensando en un contexto, que va en el uso que se le dará al espacio fortificado, no es lo mismo una fortificación para realizar la extracción de un mineral por un tiempo limitado que dure menos de 6 meses, a una fortificación para túneles que tienen que durar mucho tiempo por su uso, por ejemplo obras que tienen que durar 5 o más años, por ejemplo: rampas de acceso y transporte de mineral.

### 2.4 ¿Que dice la Normativa?

Todo proyecto de minería y tunelería civil debe ser evaluado por un especialista el cual podrá determinar que tipo de diseño de fortificación es necesario aplicar y solo podrán quedar sin fortificación sectores que se conozca su condición de auto-soporte, entonces se prohíbe trabajar o acceder a cualquier lugar de la mina que no este debidamente fortificado.

En artículo N°33 del Reglamento de Seguridad Minera se describe el tipo de profesional que puede evaluar estas condiciones.

#### ARTÍCULO N°33 DEL REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA

«Las empresas mineras deberán contar en sus faenas, en forma permanente o esporádica, con la dirección o asesoría técnica de uno o más ingenieros de minas o metalurgistas, civiles o de ejecución, según corresponda, cuyos títulos hayan sido reconocidos en Chile, quienes firmarán todo proyecto y se harán responsables por las obras mineras cuya ejecución tengan a cargo.» (Ministerio de minería, 2002).



## 2.5 Definición de parámetros para la seguridad en espacios subterráneos

Quienes pueden definir las características necesarias para el diseño de la fortificación son los ingenieros geotécnicos. «El ingeniero geotécnico debe tener sólidos conocimientos de las ciencias de la ingeniería y estudios complementarios en geología física y geología estructural. Además, hay que considerar que estas competencias se perfeccionan por medio del estudio, pero también por la práctica» (Van Sint Jan, 2021, p.30). El consultor geotécnico o ingeniero con experiencia en el tema debe evaluar el proyecto a partir de un análisis geológico - geotécnico del sustrato a excavar, a partir de este debe definir la calidad de la roca (sustrato), una vez hecho el estudio puede utilizar por ejemplo: el Sistema Q (ver figura 7). «El sistema Q de clasificación de macizo rocoso fue desarrollado para el soporte de túneles de roca dura por Barton et al. (1974) y se basa en una evaluación numérica de la calidad del macizo rocoso» (ICH, 2018, P.26). Las ventajas del sistema Q es que es sensible a variaciones menores en propiedades de la roca, deja menos margen a la subjetividad en comparación a otros sistemas de clasificación, una de las desventajas es que es relativamente difícil de aplicar para los usuarios sin experiencia. A modo resumen, el sistema Q indica que tipo de método de fortificación utilizar de acuerdo con la calidad de la roca presente en el túnel.

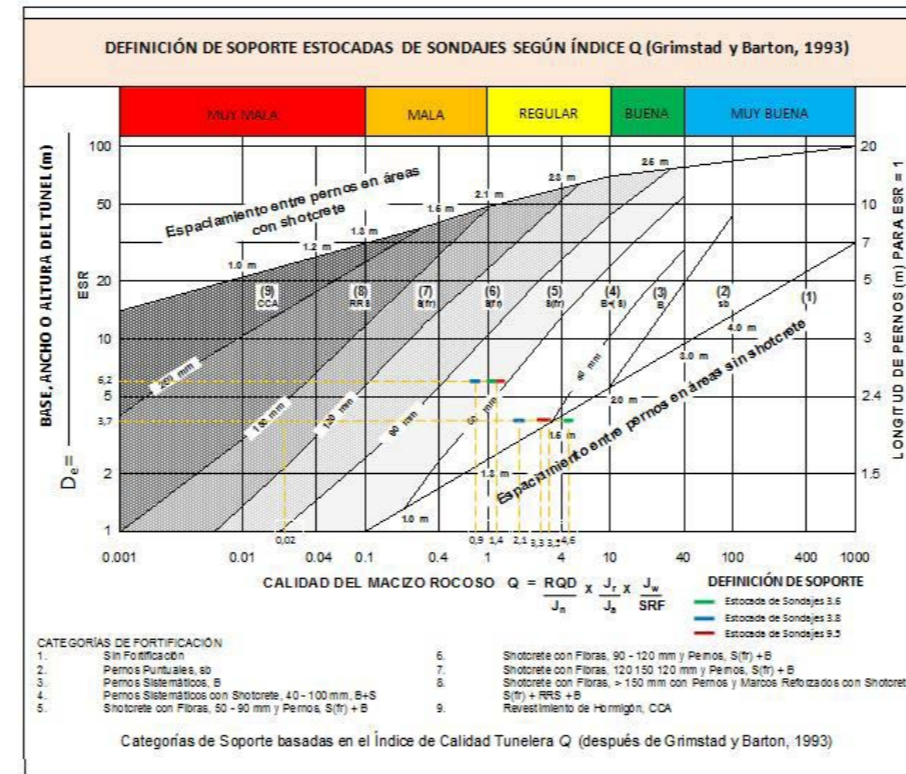


Figura 8: Sistema Q. Fuente: Google imágenes

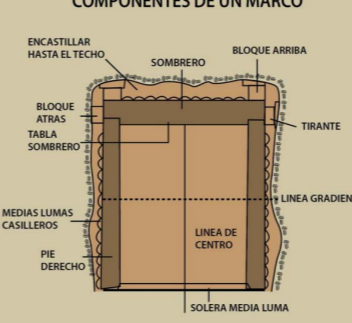
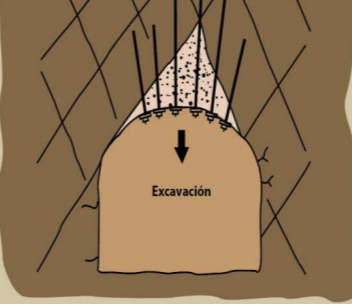
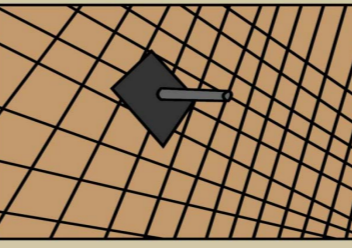

## 2.6 Tipos de fortificación

Después de la evaluación de un profesional de acuerdo con el artículo N°33 del Reglamento de Seguridad minera, este definirá que tipo de mecanismo de sostenimiento debe ser implementado.

- Fortificación activa, o reforzamiento: Se orienta a restablecer el equilibrio original de los diferentes esfuerzos y, al mismo tiempo, a modificar estructuralmente la roca para hacerla “autoportable”.
- Fortificación pasiva: Por razones operacionales y de seguridad, no aplica ninguna carga externa al momento de la instalación y sólo trabaja cuando el macizo rocoso experimenta alguna deformación.
- Fortificación combinada: Por razones operacionales y de seguridad, combina soportes y refuerzos.

## 2.6 Métodos de fortificación.

A continuación se presenta una tabla mencionando los tipos de fortificación posibles y su uso más común para las labores subterráneas. Estas varían dependiendo del contexto del túnel tanto en el uso que se le va a dar, la permanencia en la que se realizaran actividades bajo el túnel, la calidad del sustrato y su condición autosoportante.

<p><b>Fortificación con madera</b> (Pequeña minería)</p>	<p>COMPONENTES DE UN MARCO</p>  <p>Figura 9: Fortificación con madera. Fuente: (Sernageomin, 2018)</p>	<p>La fortificación más usada a nivel de pequeña minería debido a su menor costo y facilidad de manejo y colocación. Están compuestos por tres piezas fundamentales llamadas: sombrero o viga, en posición horizontal, que se apoya de dos postes, pie derecho o vertical. Como pieza auxiliar al marco se tiene la solera que va en el piso de la labor entre los postes. En forma más industrializada no se recomienda su uso porque es un combustible.</p>
<p><b>Fortificación con pernos</b> (Pequeña, mediana y gran minería)</p>	 <p>Figura 10: Fortificación pernos. Fuente: (Sernageomin, 2018)</p>	<p>La utilización de pernos de anclaje permite al macizo rocoso autosoportarse, ya que, al pasar a formar parte del entorno, refuerzan la resistencia de la roca. (Sernageomin, 2018)</p>
<p><b>Fortificación con malla y pernos.</b> (Pequeña, mediana y gran minería)</p>	 <p>Figura 11: Sistema perno malla. Fuente: (Sernageomin, 2018)</p>	<p>Ante la presencia de sectores de alto fracturamiento superficial el sistema de pernos se debe utilizar con malla tejida en los techos de las galerías para prevenir accidentes al personal o equipos por caídas de trozos de roca.</p>
<p><b>Fortificación con hormigón proyectado con pernos y eventualmente marcos.</b> (Pequeña, mediana y gran minería)</p>	 <p>Figura 12: Pitonero proyectando. Fuente: (ICH, 2018)</p>	<p>En caso de ser necesario y garantizar la permanencia de labores subterráneas, se debe adicionar hormigón proyectado (shotcrete) al sistema perno malla.</p>





## 2.7 Arco medio punto como medida de estabilidad

El sistema de clasificación geotécnica de la roca Q (Barton 1974, 1994), define de acuerdo a la calidad geotécnica de la roca, el ancho o largo de la excavación y el uso de esta excavación, una serie de tipos de fortificación, algunos de los cuales, consideran arcos de hormigón proyectado con o sin fibras y en algunos casos considera el uso de marcos costilla de acero, para reforzar el hormigón.

La geometría y características de un arco de medio punto hace que todas sus partes trabajen en compresión. El arco de medio punto aplicado a la tunelería, permite cuando el túnel ha sido excavado adecuadamente, que las paredes y bóveda del techo trabajen en compresión, logrando el mejor estado de estabilidad. Cuando la calidad geotécnica del túnel es deficiente, es posible reforzarla mediante pernos, arcos de hormigón proyectado y marcos de acero en forma de arcos, entre otros elementos.

Cuando se pierde la forma de arco de medio punto de la excavación, se produce una sobre-excavación, donde se requiere aplicar una fortificación más pesada que permita estabilizar dicha excavación, tratando de restituir la forma de arco de medio punto. Por otra parte, la roca al ser excavada mecánicamente o con explosivos, genera irregularidades, que generan puntas de roca y valles, al aplicar un espesor de hormigón proyectado definido, este debe ser aplicado como mínimo en las puntas de roca y en los valles deberá haber un espesor mayor, para permitir que el hormigón pueda generar un arco de medio punto que permita estabilizar la excavación.



## 3. Hormigón proyectado.

Hoy en día el hormigón proyectado o shotcrete puede considerarse como el método de construcción de hormigón más exclusivo y tecnológicamente avanzado (Bernardo et al. 2015). Juega un papel esencial en la industria de la construcción civil y minera debido a que es un material extremadamente versátil, que puede ser fácil y rápidamente aplicado transformándose en un medio rentable para la construcción. (Instituto del cemento y del hormigón [ICH], 2018) A parte de estos usos también es utilizado para edificación, soporte de excavaciones para subterráneos y estacionamientos, canales, embalses, estabilización de taludes, piscinas y skateparks, reparación y restauración de estructuras dañadas, protección contra el fuego, acabados decorativos y estructuras contra explosiones entre otras.

### 3.1 Inicios de la utilización del shotcrete

El proceso de hormigón proyectado se desarrolló por primera vez en 1907 por Carl Akeley con la intención de reparar la fachada del Field Columbian Museum en Chicago. Las reparaciones se realizaron con lo que entonces se denominó proceso “gunitado” (Morgan, D, 2005), el cual «consistía esencialmente en un mortero en Estados Unidos en los años veinte como protección contra el fuego en piques mineros» (ICH, 2018, p.18).

En los años 1930 se establece el nombre “Shotcrete” (Hormigón Proyectado) por la American Railway Engineering Association para describir el proceso por vía seca. De los años 60 a la fecha, la evolución tecnológica del shotcrete tanto en materialidad como en forma de aplicación ha aumentado en gran porcentaje. En Chile se comienza a utilizar de forma acotada a mediados de los años 70, el primero equipo de hormigón proyectado fue para la mina El Teniente.

### 3.2 Hormigón proyectado en el Metro de Santiago.

En los años 70 también comienza la construcción del metro de Santiago en Chile, que hasta la fecha de hoy va de la mano con el desarrollo del hormigón proyectado, producto que juega un rol principal en lo constructivo estructural y revestimiento. En la Figura 12 se observa las líneas del Metro de Santiago, y el avance de tecnología del shotcrete aplicado en ellas para su construcción según el año en que fueron construidas, también se considera la línea 7, que comienza su construcción el año 2022 y que se proyecta que su inauguración será en 2027. El gerente del proyecto línea 7 comenta que «No existe otra alternativa eficiente, segura y que vaya en relación con todas las variables medioambientales, con todo lo que exigen los accionistas o los directorios, en cuanto a ocupar,

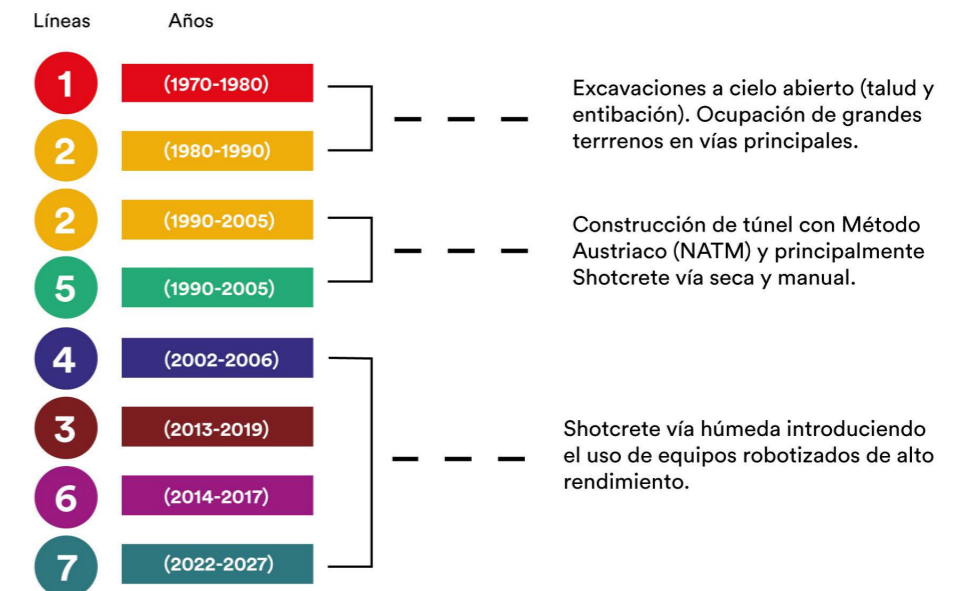


Figura 13: Desarrollo de líneas de metro y métodos de hormigón proyectado utilizado a través de los años. Fuente de la información: Guía Chilena del Hormigón Proyectado. Elaboración propia.

a terminar los proyectos en plazo y en costo, que el shotcrete» (Cortés, O, 2022).

Como se mencionó anteriormente, el mercado del shotcrete en Chile se compone principalmente por la minería, siendo parte de los métodos para garantizar el soporte y seguridad de los desarrollos mineros, y por la tunelería civil donde juega un rol constructivo estructural en túneles que benefician a millones de personas cada día.



### 3.3 Shotcrete como producto

El shotcrete es un producto de alta complejidad tanto en su fabricación como en aplicación, este producto a base de cemento especialmente mezclado, es rociado neumáticamente a alta velocidad sobre superficies expuestas de aberturas subterráneas para proporcionar apoyo al suelo. (Seymour, B., et al. 2010). El hormigón proyectado, se define según la guía de la Asociación Austriaca de Hormigón (1998), como concreto proyectado contra un sustrato a gran velocidad, y compactado por su propio momentum.

El shotcrete es un producto muy versátil el cual puede cumplir con diferentes requerimientos para diversos proyectos, el diseño del shotcrete puede ser para condiciones de estabilidad, de resistencia y resistencia al fuego, durabilidad, considerando parámetros geotécnicos y otros requerimientos.

### 3.4 Diseño de la mezcla

Las principales diferencias entre el hormigón convencional y el hormigón proyectado son la granulometría del árido, el contenido del cemento, método de transporte, colocación y selección de aditivos (ICH, 2018). Las especificaciones basadas en el desempeño se centran en producir en terreno un hormigón proyectado que tenga un nivel mínimo que cumpla con los requisitos establecidos en el diseño. El contratista busca los medios más eficaces y económicos para satisfacer los niveles mínimos de desempeño especificados. (ICH, 2018)

El shotcrete se puede aplicar mediante dos técnicas distintas: proceso de mezcla seca y proceso de mezcla húmeda.

En el proceso de mezcla por vía seca, se dosifica y mezcla concreto con agregados sin agua añadida, la mezcla se introduce en una máquina especialmente diseñada introduciendo una corriente de aire de alta velocidad transportado a través de mangueras flexibles a la boquilla de pulverización. Se añade un chorro de agua finamente atomizado en la boquilla para hidratar el cemento y proporcionar la consistencia de mezcla correcta. Se pueden incorporar acero o fibras en la vía seca. (Guida & Meca, 2015). El sistema de mezcla vía seca tiende a ser más ampliamente utilizado en la minería, debido a la inaccesibilidad de grandes camiones de tránsito y porque generalmente se utilizan camiones más pequeños y compactos. (Hoek, 2021)

En el proceso de mezcla húmeda, todos los componentes de la mezcla de hormigón proyectado, incluido el agua, se preparan utilizando equipos de mezcla de hormigón estándar, la mezcla húmeda alimenta al equipo de suministro como una bomba de hormigón que impulsa la mezcla a través de la manguera por desplazamiento positivo o por aire comprimido. Se agrega aire adicional en la boquilla para aumentar la velocidad de descarga de la boquilla e impulsar el hormigón proyectado a una posición que se compacta por su propio impulso. (Guida, et al. 2015). El sistema de mezcla húmeda es ideal para aplicaciones de alta producción en minería e ingeniería civil, donde hay una excavación profunda en la que se permita el acceso del equipo de aplicación y los camiones puedan operar de manera continua. El producto final del proceso de proyección de hormigón vía seca o húmeda es muy similar. (Hoek, 2021)



### 3.5 Modo de aplicación

«La clave del éxito del hormigón proyectado es la colocación de manera correcta, ya sea por el proceso manual o robotizado, por vía húmeda o seca. Debe ser un operador entrenado quien dirija y controle la colocación del shotcrete bajo la supervisión de un profesional debidamente acreditado para supervisar dicha faena» (ICH, 2018, p.62)

### 3.6 Aplicación de shotcrete manual.

El hormigón proyectado de manera manual es aplicado por un pitonero, el termino “pitonero” es la traducción de la versión en ingles “Nozzleman”. La distancia desde la boquilla hasta la zona a proyectar debe ser entre 0,6 a 1,5 m con el fin de evitar el rebote del hormigón, además la boquilla debe mantenerse perpendicular al sustrato. Según Angeldones (2017) el movimiento a realizar para lanzar el concreto debe ser de abajo hacia arriba y en forma de espiral hacia adentro, mientras que ICH (2018) detalla que la manipulación de la boquilla debe ser de forma circular a ovalada (Figura 14).

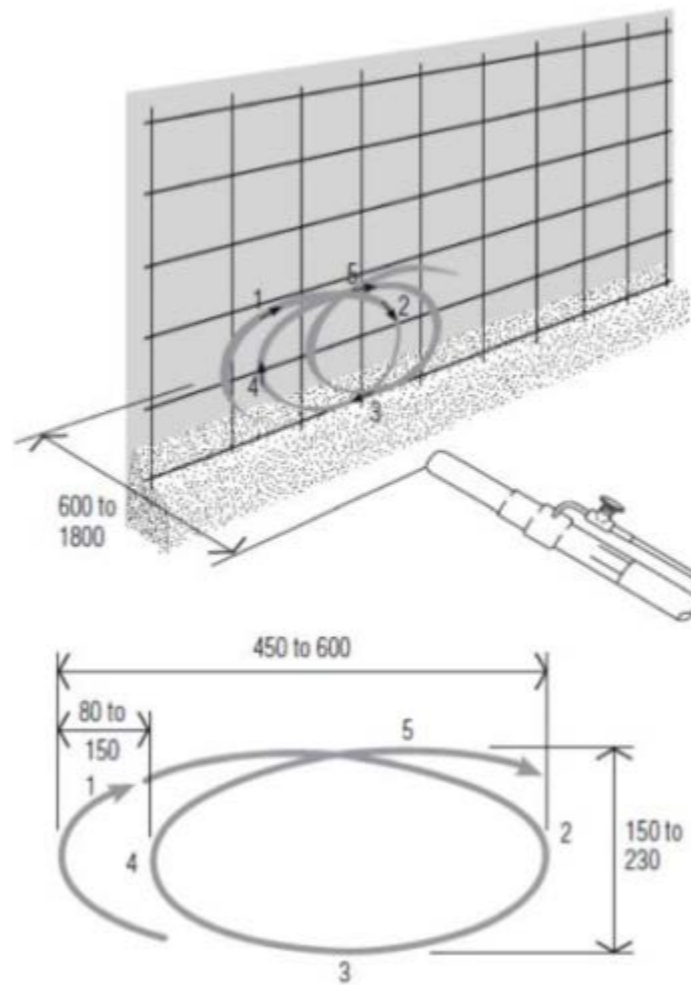


Figura 14: Esquema de aplicación de shotcrete en forma circular. (ICH, 2018)



### 3.7 Espesores de hormigón proyectado.

«Una de las características del diseño y cálculo de un sostenimiento con hormigón proyectado es el espesor de capa. Existen diferentes criterios de proyecto para la determinación de los espesores de hormigón proyectado colocado en el soporte.» (Rey, 1997, p. 901).

Según Rey, existen tres criterios para determinar el espesor: El criterio A, se refiere a un espesor constante, se aplica una capa del mismo espesor en una superficie irregular, el método solo se puede aplicar con proyección manual.

El criterio B, se refiere a un espesor medio y se define en el proyecto, puede realizarse manualmente o con robots.

El criterio C para la determinación del espesor, consiste en garantizar un espesor mínimo de hormigón proyectado en todo el soporte. Se puede alcanzar con equipos robotizados y de forma manual.

La importancia de controlar el espesor es alta, ya que de lo contrario puede quedar con importantes variaciones con respecto a lo especificado en el proyecto, si esto ocurre, la excavación queda con un sostenimiento subestándar en el caso de que el espesor aplicado sea menor al requerido, si el espesor resultante es excesivo, se está incurriendo en una pérdida económica.

La Norma europea entrega un método para el control de espesor del hormigón una vez ya endurecido, este método involucra realizar 4 taladrados en la zona que se quiere analizar, idealmente los agujeros deben estar espaciados  $600 \pm 50$  milímetros (ver figura 15).

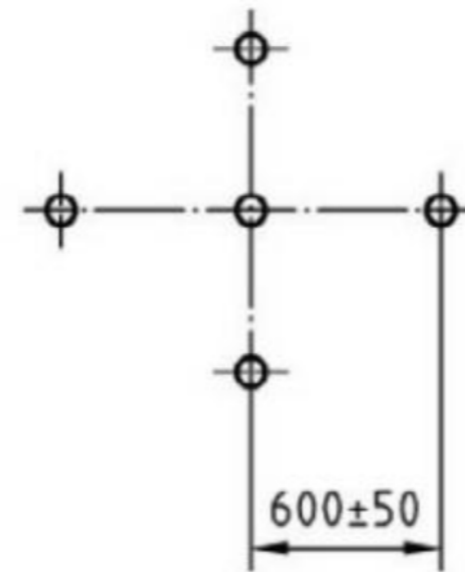


Figura 15: Cuadrícula para perforaciones. (ICH, 2018)



### 3.8 Costos hormigón proyectado

Los proyectos que requieren fortificación vía shotcrete requieren un nivel de inversión muy alto, ya que involucra uso de maquinas especializadas, operadores con experiencia, un diseño de mezcla de hormigón específico para los requerimientos de cada proyecto, costos de transporte y alojamiento, elementos de reforzamiento complementarios, entre otros. Mientras la calidad de la roca sea más inestable, el espesor a proyectar será mayor y por lo tanto se necesitará más hormigón para proyectar. En el caso de un tipo de “Roca Clase Va” (Figura 17), sin considerar gastos alojamiento de personal, utilidad y transporte, el costo referencial seria de más de 8 mil dolares por un metro lineal de túnel. Un metro lineal de túnel se refiere a la proyección de toda la superficie por dentro del arco del túnel hasta avanzar un metro.

	MONTO EXCAVACIÓN						MONTO FORTIFICACIÓN SECCIÓN 4*4 M	INYECCIÓN LECHADA Y OTROS	MONTO TOTAL SECCIÓN 4*4 M
	9,2*9,2		6,0*6,0		4,0*4,0				
	US\$/M	US\$/M3	US\$/M	US\$/M3	US\$/M	US\$/M3			
Roca Clase I	4.040,95	53,48	2.921,58	90,91	1.518,30	106,30	54,76	170,00	1.743,06
Roca Clase II	4.095,84	54,21	2.994,98	93,19	1.560,06	109,22	580,98	170,00	2.311,04
Roca Clase III	4.172,21	55,22	3.132,69	97,48	1.640,50	114,86	1.209,62	170,00	3.020,12
Roca Clase IVa	4.245,26	56,19	3.096,46	96,35	1.612,10	112,87	1.668,82	170,00	3.450,92
Roca Clase IVb	5.303,30	70,19	4.069,71	126,64	2.140,28	149,85	5.313,84	670,00	8.124,12
Roca Clase Va	6.482,02	85,79	4.298,88	133,77	2.192,39	153,49	8.094,95	1.170,00	11.457,34
Roca Clase Vb	6.517,05	86,25	4.504,82	140,17	2.318,83	162,35	9.095,54	1.170,00	12.584,37

Figura 16: Planilla excel de precios referenciados proyecto Gen 100. Obtención a través de Ingeroc.

Roca Clase Va								
Shotcrete con fibra de piso a piso, e= 12cm				1,23	m3/m	776,74		958,48
Perno sistemático tipo helicoidal, L= 3m, C/C 1,5*1,0 m piso				7,5	Unid/m	85,33		639,98
Barbacana L= 2m, 5 unid cada 3 m				1,67	Unid/m	80,91		134,85
Shotcrete sin fibra de piso a piso, e= 25cm				2,57	m3/m	705,31		1813,21
Pernos auto perforantes fibra L= 6 m en la frente				1,67	Unid/m	194,4		324
Paragua pernos autoperforantes Ischebeck 30/11, L = 6m c				7,33	Unid/m	198,55		1456,03
Pernos autoperforantes Ischebeck 30/11, L = 4m c 1,5m				4,00	Unid/m	95		380
Malla Acma C-139 sección completa más doble en piso				18,28	m2/m	30,4		555,81
Marco noruego E 35/3 cada 1,0 m				10,28	m/m	84,77		871,71
Hormigón H-30				1,6	m3/m	230,74		369,18
Shotcrete con fibra en la frente, E=8 cm				0,76	m3/m	776,74		591,7
<b>Total</b>								<b>8094,95</b>

Figura 17: Detalle para la fortificación de una Roca Clase Va. Obtención a través de Ingeroc.





# CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

## Objetivo general

Proponer un sistema que permita monitorear, reconocer, marcar y registrar visualmente el espesor requerido por el pitonero y el equipo de trabajo, mientras se desarrolla la tarea de proyección de hormigón en túneles.

## Objetivos específicos

1. Analizar los actores que constituyen el proceso de proyección de shotcrete para reconocer las actividades específicas de cada uno.
2. Definir los requerimientos iniciales a partir de la teoría y levantamiento de información para desarrollar una propuesta estratégica preliminar.
3. Desarrollar las propuestas iniciales mediante sketching y prototipado rápido para luego ser testeados por usuarios directos.
4. Analizar los resultados de los tests iniciales para plantear mejoras al sistema propuesto.
5. Implementar un proceso de marcha blanca en el proyecto, con el inicio de la fabricación del producto para validar el proyecto desde su proceso productivo hasta la utilización in situ





## Resumen Metodología

Para el desarrollo y estructuración del proyecto se considera como referente el modelo de Doble Diamante propuesto por Design Council, el cual consta de 4 etapas principales: “Discover”, “Define”, “Develop” & “Deliver”. No es un proceso lineal, por lo que se puede retroceder entre etapas.

La primera etapa “Discover” implica inicialmente entender el proceso de proyección de shotcrete no solo teóricamente si no también en la práctica. Esto involucra una búsqueda bibliográfica pero además hablar, pasar tiempo y obtener información de primera fuente con los actores clave, quienes a diario trabajan en esta área y conocen mejor que nadie la problemática

La segunda etapa “Define” utiliza parte de la información recopilada en la primera fase y ayuda establecer parámetros que permitan definir el proyecto.

La tercera etapa “Develop” corresponde a una de las etapas más largas ya que es el comienzo de desarrollo de propuestas, se crean prototipos, se prueban, se analizan y se corrigen de manera que ayude a mejorar la propuesta.

La cuarta y última etapa “Deliver” se presenta el resultado del producto y se muestra la etapa de validación por los usuarios, además se entregan los parámetros para su fabricación, costos y proyecciones del proyecto.

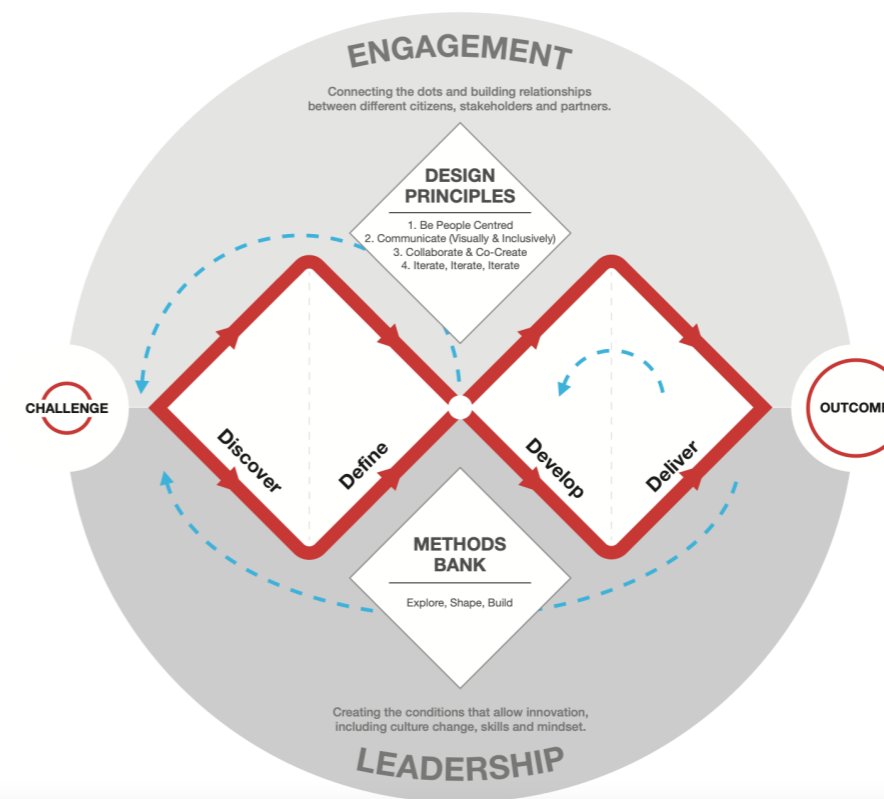


Figura 18: Estructura del proceso de diseño del Doble Diamante. (Design Council, 2019)





# CAPÍTULO 3: DESCUBRIR

Para entender el proceso de proyección de shotcrete no solo teóricamente si no también en la práctica, se requiere hacer una investigación más profunda del contexto y modo de operar de los equipos de trabajo, esto implica hacer salidas a terreno y observar el procedimiento pero también pasar tiempo con los actores y hacer un levantamiento de información de primera fuente.

La primera sección de este capítulo se orientara a un análisis del contexto en el que se sitúa la problemática y la secuencias de acciones que realizan los usuarios para llevar a cabo la tarea que se quiere analizar. Esto se hará a través de un análisis POE (Persona-Objeto-Entorno) y un análisis de modo operatorio.

La segunda sección de este capítulo se dirigirá al conocimiento de los actores clave, para la cual se realizaron entrevistas con el fin de comprender desde el punto de vista de los usuarios como afecta la problemática en el trabajo y también por expertos en el área.

La última sección de este capítulo va orientado a un análisis del estado del arte, que comienza desde la información extraída de las entrevistas, es decir, los métodos que se usan frecuentemente por los usuarios, hasta métodos encontrados en la investigación bibliográfica.



# 1. ANÁLISIS POE

El análisis POE contempla el entorno e interacciones del sistema. En este caso, se toma como persona principal es el operador a cargo de la proyección del shotcrete vía manual o por equipos telecomandados (pitonero y operador de equipo robotizado).

P



Pitonero



Operador de roboshot

O



Protección

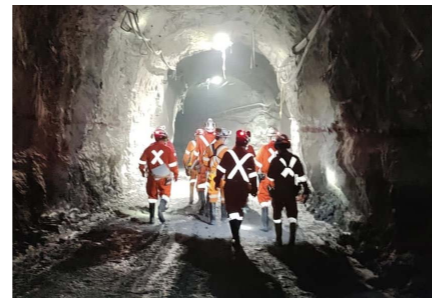


Instrumentos de aplicación



Herramientas

E



Túnel



Personal



Maquinas y equipos



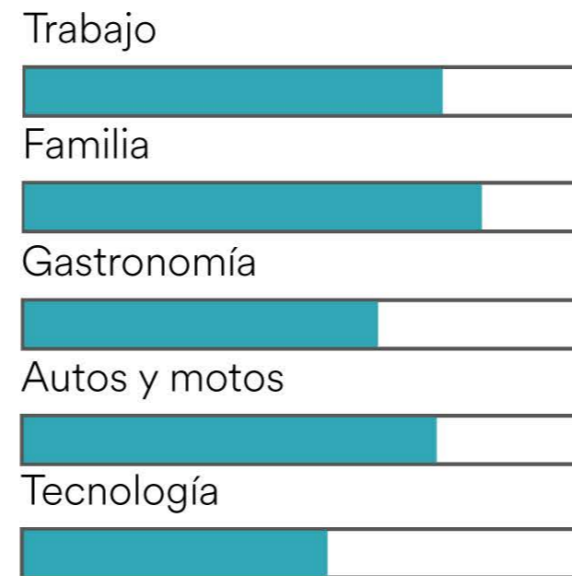
1.1 Persona: Arquetipo



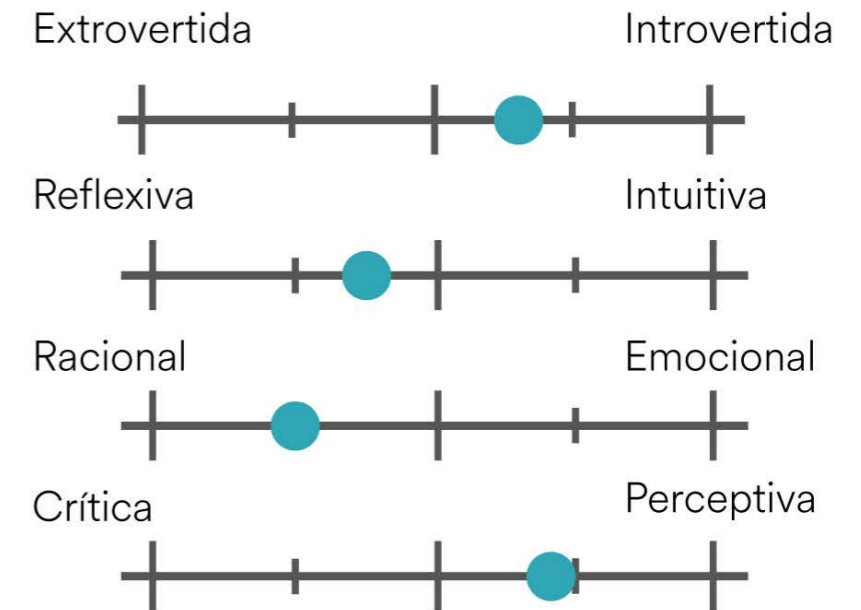
Edad: 34  
 Ocupación: Operador  
 Comuna: Padre hurtado  
 Nivel educacional: Técnico-Profesional

- Proactivo
- Obstinado
- Espontáneo

Motivaciones



Personalidad



Marcas



Le gusta explorar y aprender cosas nuevas, es invaluable en muchas áreas, incluido su propio crecimiento personal. Antes de ser pitonero trabajaba como ayudante minero, de a poco se fue interesando en esta área y aprendiendo de su entorno a medida que avanzaba el tiempo. Actualmente tiene experiencia de 8 años proyectando hormigón. Constantemente se encuentra haciendo viajes a terreno por su trabajo en el cual hace turnos 7x7.

Le gusta poner sus conocimientos técnicos a disposición de inmediato y generalmente se aburre de la teoría rápidamente. En cuanto a su tiempo libre, disfruta mucho de la cocina al aire libre, en especial los asados. También le gusta disfrutar de una cerveza helada y compartir con la familia. Le gusta todo lo que se relacione con el área automotriz y maneja su propia camioneta.

Figura 19: Arquetipo de usuario. Elaboración propia.



# POE

Los pitoneros son personas que se animan a realizar la actividad y en la medida del tiempo van adquiriendo formación técnica, es decir, se van formando en terreno, se van moviendo de un trabajo a otro hasta especializarse en este tipo de área de proyección de hormigón de manera manual.

## Jornada

Su labor se lleva a cabo intensamente por un sistema de turnos 7x7, es decir, trabajan 7 días a la semana 12 horas diarias para luego descansar 7 días.

## Físico

El pitonero tiene una estructura física grande, de contextura gruesa, además mientras mayor sea su altura es mejor para la tarea ya que puede lograr alturas en la proyección que una persona baja no puede.

## Responsabilidades

- El trabajador tiene como obligación tener conocimiento profundo de la operación, los requisitos de mantenimiento y de los procedimientos de seguridad de los equipos además de conocer los requisitos de calidad del proyecto.
- Debe estar física y mentalmente apto para la tarea, es decir, sin sueño, sin influencia de drogas, alcohol o medicamentos que interfieran en sus habilidades.



Figura 20: Pitonero. Elaboración propia.

## Dificultades

El pitonero tiene mucha presión encima, debe preocuparse de distintas variables que debe manejar dinámicamente ya que no es un trabajo estático. Debe estar en constante movimiento, debe posicionarse constantemente muchas veces sobre estructuras, debe manejar la docilidad del hormigón, manejar las dosis de relación de acelerante con hormigón, distancias de proyección, ángulos de proyección y supervisar que el hormigón no se le pase de tiempo, ya que una vez el hormigón entra en ciclo de producción y de proyección baja su duración, si esto pasa antes de que se pueda desarrollar la tarea, se pueden tapar los equipos, perder tubería, perder culebrones o equipo.

## Aptitudes necesarias para la ejecución de su tarea

Concentración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Técnica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equilibrio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rapidez	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Visual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



# POE

El termino “nozzleman” se refiere al operador de equipo robotizado, a diferencia del pitonero “sprayer”, este realiza la proyección a través de equipos telecomandados. El operador tiene la ventaja de que puede guiar un brazo que tiene montada una boquilla que permite llegar a lugares mas difíciles de llegar por un equipo manual. El operador de equipo telecomandado trabaja ampliamente en minería de cielo abierto y subterránea además de actividades de construcción de túneles civiles y estabilización de taludes.

## Jornada

Al igual que el pitonero, su labor se lleva a cabo intensamente por un sistema de turnos 7x7, es decir, trabajan 7 días a la semana 12 horas diarias para luego descansar 7 días.

## Requerimientos

- El operador debe tener conocimientos de seguridad, teóricos y prácticos. El operador certificado establece que conoce los conceptos básicos del hormigón proyectado, puede aprobar con éxito un examen escrito para confirmar ese conocimiento y luego demostrar a un examinador que puede disparar un panel. (Hanskat, 2018). Para una certificación completa según American Shotcrete Association se requiere un tiempo mínimo de 500 horas en menos de 5 años.



Figura 21: Operador de equipo telecomandado. DPL GROUT.

## Dificultades

El operador de equipo telecomandado se mantiene relativamente a salvo de áreas peligrosas, del polvo y rebote que provoca la proyección, igualmente todas las toneladas de hormigón que sale proyectado no pasan por su cuerpo por lo que no tiene tanto desgaste como el pitonero, aun así requiere el mismo nivel de concentración y técnica para la tarea. El factor humano y el diseño del brazo robotizado son factores importantes para la calidad resultante del hormigón, el operador debe mantener un ángulo y distancia uniforme de la boquilla de proyección respecto al sustrato y al espesor que se va logrando.

## Aptitudes necesarias para la ejecución de su tarea

Concentración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Técnica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equilibrio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rapidez	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Visual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



# POE

El operador debe constantemente relacionarse con objetos para su trabajo, tanto objetos que debe llevar en su vestimenta como objetos que debe controlar y manipular. «El ser humano acciona, utiliza, dirige, controla, guía, manipula, programa, (...) la máquina o el objeto.» (García-Acosta, 2002, p. 86). Para las interacciones persona con objetos, se clasificaron según tipologías; protección, herramientas y de aplicación.

## 2. Objetos de Protección

«La vestimenta de protección apropiada para el operador debe mantenerse en buenas condiciones y ser de un material que lo proteja de la actividad que realiza, de preferencia de color amarillo, naranja y con cintas reflectantes». (ICH, 2018, p.63).

A continuación se presenta una tabla con los elementos de protección personal numerados según la figura 22.

1- Casco de seguridad 2- Lámpara minera	Protección cabeza
4- Lentes de seguridad 5- Protector auditivo tipo fono 7- Respirador con filtros p100	Protección al rebote, polvo del cemento, producto químico en suspensión, presencia de material particulado, ruido.
8- Guantes de seguridad 9- Zapatos o botas de seguridad 10- Overol con cinta reflectiva 11- Traje de PVC	El uso de botas es útil ya que frecuentemente se encuentra agua en túneles civiles. Además la vestimenta es fundamental y obligatoria con colores reflectantes para la protección del trabajador.
6- Arnés de cuerpo completo 3- Cinturón minero auto rescatador	Para actividades en altura se recomienda usar arnés de cuerpo completo, además el equipo auto rescatador es indispensable en cualquier operación minera.



Figura 22: Objetos de interacción directa. Elaboración propia.

## 2.1 Herramientas

Otros objetos que son parte del sistema son herramientas, entre estas se pueden encontrar medidores de gases, utilizado por el supervisor para garantizar que el aire es seguro dentro de el túnel, caja de herramientas, que puede ser ocupada por cualquier operador en especial el ayudante minero para cualquier tipo de situación que se presente, y pala manual, la cual se utiliza con el hormigón.





# POE

## 2.2 Artefactos de aplicación de shotcrete

Los instrumentos definidos como de aplicación corresponden a las herramientas que permiten la proyección del shotcrete. Principalmente existen dos artefactos que un operador puede usar para la proyección, la pistola manual (12) y el control remoto del equipo telecomandado (13), (Figura 22).

## 2.3 Equipo manual.



Figura 23: Sistema de objetos de aplicación manual. (ICH, 2018, p.13)

## 2.4 Equipo robotizado.

«A través del control remoto, el operador puede gestionar y modificar los componentes principales del hormigón proyectado (hormigón y aditivo) así como los del equipo (brazo de proyección y su boquilla). Existen controles remotos por radio o cable, permitiendo al operador trabajar siempre desde una zona segura» (Putzmeister, 2022).



Figura 24: Objetos de aplicación mediante equipo robotizado. (ICH, 2018)



# POE

Si bien la ubicación donde se realizan las actividades siempre cambia de acuerdo a la geolocalización de los proyectos, el entorno siempre es parecido, en cada uno de estos lugares se debe crear y mantener un entorno de trabajo seguro, esto incluye suelo nivelado y acceso adecuado a la zona de trabajo.

## 3.1. Tunel

El túnel es el entorno donde la persona deberá realizar en la mayoría de las veces su trabajo, este espacio físico es un medio que proporciona a la persona de algún tipo de iluminación, temperatura, humedad, vibraciones, sonido/ruido, radiaciones, polvos, humos, gases, etc

## 3.2 Humedad y temperatura

Existen diferentes tipos de túneles en condiciones que varían, pero el factor de humedad varia entre 20% y 70% aunque en oportunidades se pueden presentar túneles con condiciones de humedad sobre el 90%.

La temperatura dentro de los túneles tiende a elevarse por razones como temperatura del aire en la superficie, formas de oxidación, motores, lámparas, respiración, calor del terreno, intensidad de la ventilación, compresión adiabática del aire en el pozo de la entrada. El entorno debe estar a más de 5° grados y a menos de 35° para la proyección de hormigón. En general en zonas frías la temperatura puede llegar a los 0° grados, pero normalmente la temperatura puede variar entre 20° a 35°.

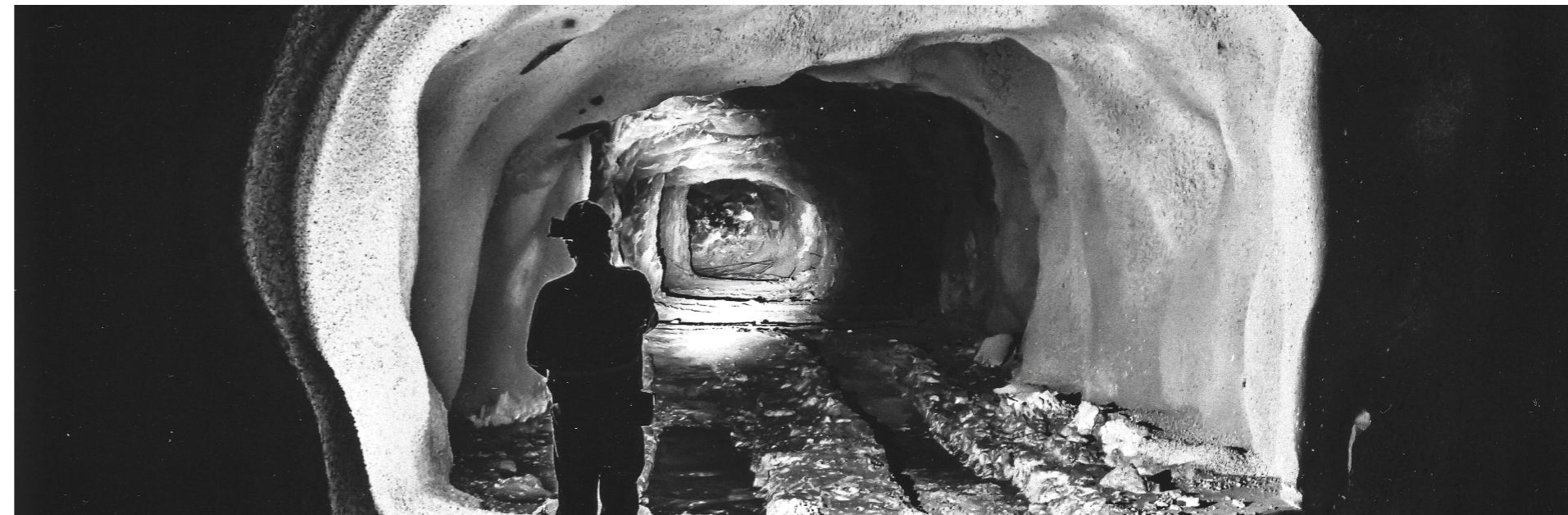


Figura 25: Fotografía artística del acabado después de la proyección de shotcrete. (Turner, 2016).

## 3.3 Polvos y gases

Polvos que puede haber en el ambiente se deben a polvos de labores mineras. Las principales materias primas para fabricar el hormigón son cemento, arena y aditivos, encontrándose en estos materiales sílice tipo cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

Con respecto a los gases, el aire atmosférico normal (seco) está compuesto por 78% de  $\text{N}_2$ , 21% de  $\text{O}_2$ , 0,2% de  $\text{CO}_2$ , 0,93% de Argón y 0,01 de otros gases. Otras impurezas que contiene el aire provienen de Gases de las mismas formaciones geológicas y polvo de labores mineras. El equipo debe usar protección adicional utilizando filtros para prevenir exposición a gases nitrosos ( $\text{NO}_x$ ).

## 3.4 Iluminación

La Iluminación es de tipo artificial el espacio al ser subterráneo no permite la entrada de luz, por esto se instala equipo de iluminación a parte de la iluminación que dan las lámparas mineras. La buena iluminación mejora la seguridad y ayuda a los operadores de equipos de shotcrete a evitar fallas en la aplicación por visibilidad.



# POE

## 3.5 Ruido

Con respecto al sonido/ruido todos los procedimientos mineros dentro del entorno producen ruido que puede generar daños al oído, es por eso de suma importancia la protección auditiva. En los procesos de proyección de shotcrete el ruido se encuentra presente en gran parte de las operaciones, especialmente en las etapas de preparación previa y posicionamiento del equipo.



Figura 26: Visualización del entorno, condiciones de iluminación. Foto sacada a solicitud de la autora.

## 3.6 Tamaño del entorno.

Los tamaños de los túneles a trabajar varían dependiendo del contexto de este, los túneles pequeños pueden llegar a medir 2 metros de alto y 2 de ancho, mientras que los grandes hasta 12 metros de alto y ancho, sin considerar las excavaciones de cavernas que alcanzan dimensiones mayores..

## 3.7 Texturas y colores

Como se puede apreciar (Figura 28) la superficie de la roca (sustrato) es completamente irregular. Si se compara la textura de la roca con la del hormigón ya proyectado, la superficie del hormigón es granulada, porosa, en cambio la roca si bien también tiene un grado de porosidad, es mucho más lisa.

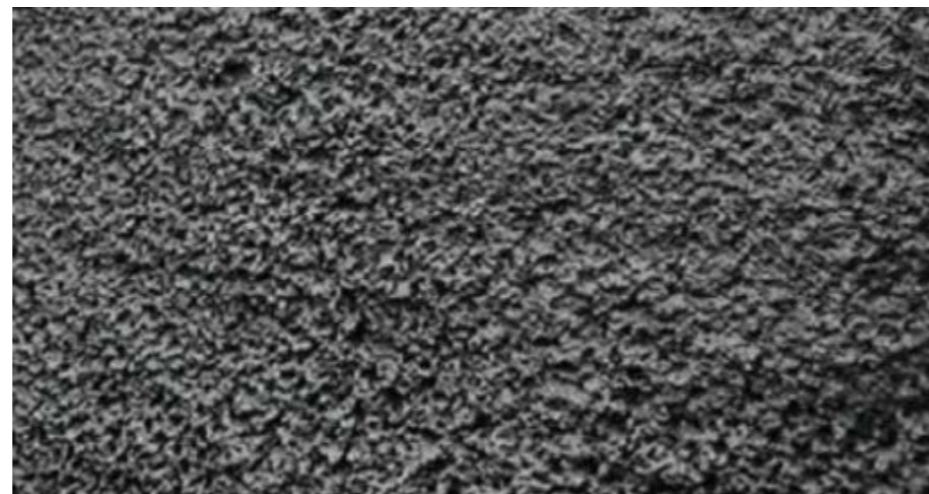


Figura 27: Textura de hormigón proyectado que deja la boquilla. (ICH, 2018)



Figura 28: Textura de la roca. Fotografía a solicitud de la autora.



# POE

## 4.1 Personal

Para la realización de proyección de shotcrete se requiere un equipo completo, el operador que proyecta el concreto se encuentra en un entorno junto a otros trabajadores que desarrollan labores específicas.



**Capataz**

Supervisa en todo momento la obra, se comunica con todos los operadores. Verifica que el área a proyectar se encuentre sin exceso de agua y que este el suelo despejado. Coordina con la planta la cantidad de shotcrete necesaria para el trabajo.



**Operador de compresora y flujo de aditivo**

Regula la presión de compresor en 4 a 5 bar para lanzamiento de shotcrete y en 6 bar para inyección de aditivo acelerante



**Operador de bomba estacionaria**

Regula presión de bomba estacionaria y lubrica tubería



**Ayudante minero**

Lava con agua la roca para evitar que el polvo u otros elementos afecten la adherencia del shotcrete a la roca. Verifica el posicionamiento de las mangueras y despeja el área a proyectar, puede prestar ayuda en cualquier cosa que se necesite. También guía al camión mixer y observa la descarga del hormigón desde el camión por una tolva.

**Operador de manitú**

Maneja la maquina que permite al pitonero elevarse y proyectar desde altura.

**Operador de camión mixer**

Maneja los camiones que mezclan y transportan el hormigón



# POE

## 4.2 Máquinas y equipos

El entorno del operador también está compuesto por camiones y máquinas de shotcrete. Los equipos pueden variar dependiendo de diversos factores que se relacionan con el tipo de requerimientos de cada proyecto y el diseño de la mezcla a utilizar.

## 4.3 Camión mixer



Figura 29: Camión mixer. (ICH, 2018, p.102)

## 4.4 Equipo de levante en superficie

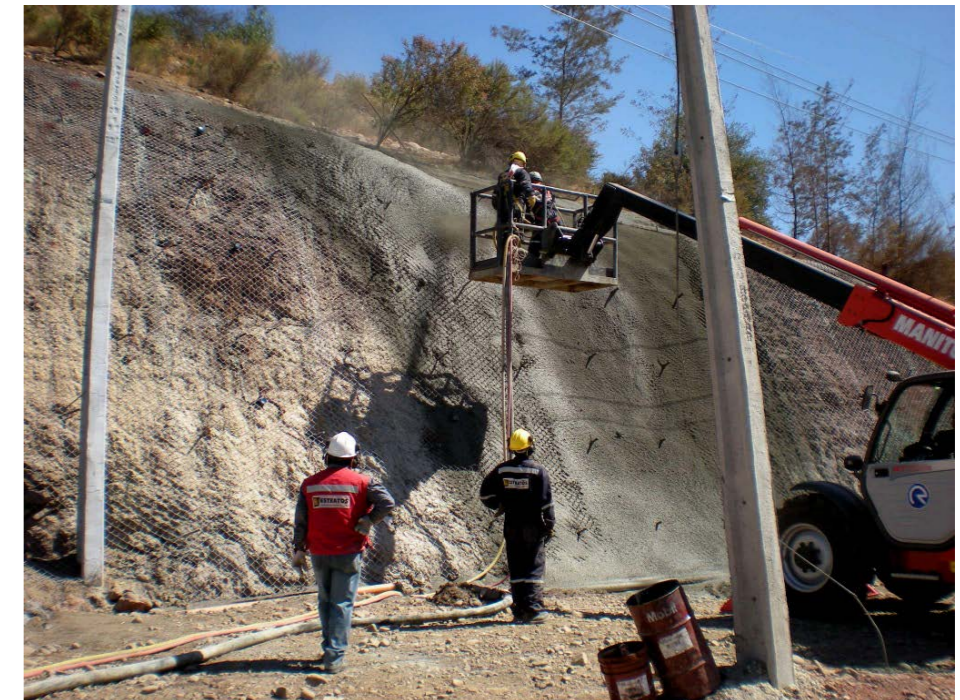


Figura 30: Máquina de levante en superficie. (Estratos, 2022)



# MO

El análisis del modo operatorio desde la metodología del diseño se define como “La identificación de la secuencia de acciones relevantes que debe realizar un individuo para realizar la tarea”, el análisis del modo operatorio permite identificar puntos críticos de una actividad y a su vez entregar parámetros fundamentales para la intervención desde el diseño.

Se analiza la actividad del pitonero dentro de la proyección de hormigón, se considera como punto inicial la preparación de la boquilla para proyectar hasta su desarmado y limpieza. Para el registro de la información se realizaron salidas a terreno donde se pudo observar de manera directa en distintos momentos la actividad, donde se hicieron registros audiovisuales, anotaciones y croquis de apoyo. Para complementar esta información se revisa el documento realizado por Angeldones (2017).

Como se puede observar (ver figura 31), se definieron 5 etapas principales en la actividad de proyección de shotcrete por un pitonero, en cada una de ellas se desarrollan tareas específicas. También se consideraron tareas secundarias en el proceso. Se define que 3 de las 5 etapas identificadas corresponden a un ciclo, es decir las etapas 2-3-4 (ver figura 31) se pueden repetir varias veces incluso durante horas considerando por ejemplo que se deba proyectar por varios metros lineales de túnel.



# MO

## 5. MODO OPERATORIO

### Actividades secundarias



- 2.1** Si la proyección es en altura, el pitonero se sube a un equipo de levante en superficie, y mediante señas les indica a los operadores para su posicionamiento.



- 4.1** Cuando el pitonero considera que ha finalizado el rociado, hace una seña con la mano a los operadores para cortar el paso de hormigón.



- 4.2** Si se requiere cambiar de posición, el pitonero cuenta con la ayuda de un operador de mangueras.



- 1** Preparar la pistola. Se arma la pistola para el shotcrete y se conecta a las mangueras.



- 2** Posicionamiento y visualización del área a proyectar.



- 3** El pitonero revisa la presión correcta de aire, se van mezclando los componentes, luego da la señal para que pase el hormigón por las mangueras



- 4** Mantiene una distancia entre 1m a 1,5m y rociado de la zona, cada pitonero tiene su técnica, pero en general se hace en movimientos circulares u ovalados.



- 5** Limpieza y desarmado de pistola de shotcrete junto a la desconexión de esta de las mangueras.

### Actividades principales

### Ciclo

Figura 31: Modo operativo proyección shotcrete. Elaboración propia.



## 6. Entrevistas a usuarios clave

### Entrevista 1

Se realiza una entrevista a Daniel Parra, gerente general de la empresa DPL GROUT, empresa con más de 18 años en el rubro. En la entrevista manifiesta la problemática relacionada con el control del espesor del hormigón proyectado.



Bueno, actualmente y desde muchos años atrás el tema de medir los espesores de hormigón ha sido un problema en el rubro de la construcción especialmente en la ejecución de fortificación de túneles. No hemos encontrado el elemento que pueda medir los espesores de shotcrete que necesitamos proyectar, entonces hoy día se hace en base a la experiencia que tienen los lanzadores de shotcrete sea manual o robotizado, que se estima y se han hecho pruebas que funcionan relativamente bien pero siempre hay un margen de error y este radica en que se aplican capas de menor espesor o mayor del requerido por el proyecto.

**“No hemos encontrado el elemento que pueda medir los espesores de shotcrete que necesitamos proyectar”**

**“Los operadores tanto de shotcrete manual como robotizado tengan alguna referencia en el sustrato”**

Frente a esta condición, el proceso de colocación de shotcrete, para no tener el problema de tener una menor capa, se aplica un mayor espesor y esto obviamente trae un problema en la gestión económica del proyecto que siempre se aplica, si son 10 cm se aplican 2 más o 3 más porque no hay una medida de control.

Entonces la idea de tener un diseño para esto es poder medir con exactitud y que los operadores tanto de shotcrete manual como robotizado tengan alguna referencia en el sustrato donde puedan decir “bueno este es el espesor que debo lograr, con esto cumplo con el proyecto, con esto cumplo con el recubrimiento del acero, con esto cumplo con lo que indica el diseño de fortificación del túnel.”

Figura 32: Daniel Parra, entrevistado. Elaboración propia.





## Entrevista 2

Se realiza una entrevista a Eric Adasme, trabajador en la empresa DPL GROUT, quien una experiencia en el rubro de construcción de túneles y hormigones proyectados de 20 años. El objetivo de esta entrevista es recopilar información de primera fuente del panorama actual sobre el trabajo con hormigón proyectado. Entrevista completa en Anexos.



Figura 33: Eric Adasme, entrevistado. Elaboración propia.

### ¿Cómo se miden los espesores actualmente?

Actualmente tienes dos formas para poder medir, una que es una medición estimada que generalmente te lo da la experiencia, el pitonero que es la persona encargada de realizar la proyección en terreno la aplica y generalmente es al ojo, no hay un número ni un elemento que te permita definir un espesor y hoy día en equipos modernos hay medidores láser que son equipos computarizados que se programan y tu le das el espesor, inconvenientes de eso es que el estimado puede que te falte o te sobre, entonces quedar con una capa muy delgada o con una capa muy gruesa y estas fuera de los rangos de lo que te pide el cliente generalmente. En el área automatizada hay que ser muy cuidadoso con la mantención del equipo posterior a las proyecciones porque como son sensores láser si tu no tienes el cuidado con la limpieza del sensor al final el equipo no tiende a funcionar bien tampoco y puede dar espesores equivocados.

Lo que tradicionalmente se hace es marcar mediante un elemento externo y que generalmente se usaba que eran barras de fierro que se cortan medio centímetro o 1 centímetro menos del espesor requerido y que se usa como guía para poder lograr un espesor promedio que cumpla requerimientos eso sería lo que hoy se usa y lo que hoy día actualmente está en uso en la industria.

### ¿Cómo funciona el método de perforaciones?

Generalmente las empresas cuando presentan técnica y especificaciones establecen una revisión de los espesores posteriores a las proyecciones y eso generalmente se hace 1 mes, 2 meses, 3 meses, 6 meses después de la proyección, no es automático, ¿para que? Principalmente para poder respaldarse. Entonces los testigos verifican: espesores, resistencia y otros datos de laboratorio propiamente de la calidad del producto terminado.



Ahora que pasa cuando no se logran los espesores, tienes que volver a hacer la tarea y poder cargar de nuevo y poder lograr los espesores

**¿Qué ocurre si después de esperar meses para realizar las perforaciones para comprobar los espesores, demuestran que no se logro el espesor?**

A mi me ha tocado marcar espesores y estar 30 días después dándole los espesores que corresponden, o sea estamos hablando de una inversión en horas y materiales importante y generalmente es al final de los proyectos en donde ya los plazos no son los mismos, está la presión por entregar los proyectos, por tanto si hay una inversión que uno no estima mucho cuando los espesores son muy deficientes.

Ahora en líneas generales los proyectos grandes y las especificaciones te dan un margen, te dicen más menos un centímetro, o sea tu puedes estar un centímetro mas o uno menos, por tanto si tu espesor es de 20 centímetros, tu puedes estar en 19 o en 21 y estas cumpliendo, pero si estas en 18, 17 o en 15, estas obligado a proyectar una capa de 2 o 3 cm, eso pasa siempre. Principalmente porque los definidores de espesores en tema práctico, no hay una metodología y un sistema tan avanzado para poder medir espesores y los equipos que lo hacen son muy caros, por tanto muchas empresas no te lo piden porque son costos muy altos. Cuando son proyectos muy grandes te lo piden y te lo exigen , pero cuando son proyectos pequeños o medianos ellos te piden un espesor definido y ahí es donde entra todo el sistema de medir los espesores posterior a la proyección pero eso puede ser una semana después, un mes después, un año después y eso pasa, hasta el día de hoy todavía pasa, eso es así.





## 7. Estado del arte

Para el estudio del estado del arte se recoge la información obtenida de primera fuente para conocer las técnicas cotidianas utilizadas por los trabajadores a la hora de controlar el espesor aplicado de hormigón, esta investigación se complementa con una búsqueda bibliográfica de métodos u herramientas existentes para esta misma función tanto en el ámbito nacional como internacional. El objetivo del estudio del estado del arte además de verificar los métodos disponibles actualmente, es identificar sus ventajas y desventajas. Los métodos serán clasificados por variable artesanal/industrial y por el momento en el que permiten a los usuarios medir el espesor, es decir: en tiempo real, entremedio de la proyección, o después de la proyección, dado que este factores determinante a la hora de evitar sobre-espesores o capas muy delgadas.

Momento en que mide el espesor	Fabricación
<ul style="list-style-type: none"> <li> <span style="color: orange;">■</span> <b>Medición en tiempo real</b>            Se define como medición en tiempo real cualquier método que permita medir o entregar algún tipo de información al encargado de proyectar el hormigón al mismo tiempo que desarrolla dicha proyección.         </li> <li> <span style="color: teal;">■</span> <b>Entremedio de la proyección</b>            Método que se aplica una vez proyectado unas capas de hormigón en la superficie.         </li> <li> <span style="color: darkslategray;">■</span> <b>Después de la proyección</b>            Método que puede entregar información sobre el espesor cuando la proyección ya fue realizada.         </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <span style="color: red;">■</span> <b>Método Artesanal</b>            Soluciones que se hacen a mano sin uso de algún instrumento o producto concreto desarrollado para esa función.         </li> <li> <span style="color: darkslategray;">■</span> <b>Producto</b>            Método que involucra un producto de por medio.         </li> <li> <input type="checkbox"/> <b>No aplica</b> </li> </ul>



### 7.1 Medición “al ojo” del operador



Este método para proyectar un espesor determinado de hormigón se basa en la experiencia del pitonero u operador del equipo telecomandado, es una medición estimada generalmente al ojo, no hay un número ni elemento que defina el espesor, el pitonero u encargado de la proyección en terreno es el que debe calcular cuanto espesor esta aplicando midiéndose por su propia vista en base a la experiencia adquirida.



Figura 34: Pitonero proyectando shotcrete. Elaboración propia.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma rápida de proyectar sin la necesidad de instalar algún elemento o utilizar maquinaria extra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de la experiencia del operador</li> <li>• La medición al ojo puede hacer que el espesor sea muy inferior o muy por sobre de lo requerido</li> <li>• Sobre-espesor: Involucra una gran pérdida económica</li> <li>• Capa muy delgada: Fuera de los rangos que pide el cliente, compromete la seguridad del túnel e involucra una nueva inversión de horas y materiales.</li> </ul>

### 7.2 Instalación de fierros con la medida



Un método bastante utilizado como guía es una marca mediante un elemento externo que generalmente son barras de fierro que se cortan de la medida del espesor que se requiere o a veces un centímetro menos. Este método es tradicionalmente utilizado como guía para poder lograr un espesor promedio que cumpla con los requerimientos de la obra.

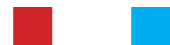


Figura 35: Uso de fierros para marcar espesor. Fotografía a solicitud de la autora.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite al operador tener un referente visual de que espesor debe proyectar.</li> <li>• Método económico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere inversión de tiempo para cortar las barras de fierro en cantidad al tamaño requerido, considerando los metros de túnel en el que se va a proyectar.</li> <li>• La visibilidad de estos elementos no es buena.</li> <li>• El color de las barras de fierro no contrasta con la roca</li> </ul>



### 7.3 Perforaciones al sustrato



Este método corresponde a una revisión posterior a las proyecciones de hormigón, que en la practica actual pueden ser de 1 mes hasta un año después. “Principalmente para poder respaldarse (...) pero también para poder medir desde el punto de vista de la calidad del recubrimiento”. (Adasme, comunicación personal, 2022).

Se perforan agujeros al sustrato o se extraen testigos, de esa manera se mide la profundidad de los agujeros. De acuerdo a la norma “EN 14488-6” que entrega un procedimiento para esta medición que recomienda perforar por lo menos cinco agujeros espaciados 600 y 50 mm, en dos

líneas de tres en ángulo recto. «La norma no describe ni define el área a analizar, la extensión de las pruebas o los requisitos respecto a los resultados» (ICH, 2018, p.95). El pequeño número de perforaciones realizadas combinado con el hecho que solo proporciona datos puntuales de un área en particular sugieren que este método es de un valor cuestionable.



Figura 36: Control de espesor por perforación. (ICH, 2018, p.78)

Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Método simple y fácil de realizar</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Procedimiento económico</li> </ul>

Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>La medición después de la proyección no evita sobre espesores</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los agujeros resultantes de la perforación se transforman en puntos de inicio de fisura y existe riesgo de desprendimiento de material</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La zona perforada puede no ser el punto donde se debe medir el espesor</li> </ul>

### 7.4 Escáner topográfico



Otro método para poder medir el espesor aplicado es utilizando un escáner topográfico o láser que escanea el área del túnel en el cual se requiere hacer la proyección antes y después de la proyección para visualizar la diferencia de espesor.



Figura 37: Estación robótica de escaneo. Extraída de Geocom.

Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se puede complementar bien con las tareas de proyección de shotcrete.</li> </ul>

Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo muestra valores antes y después de la proyección.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>No puede guiar al operador de los equipos de shotcrete en tiempo real.</li> </ul>



### 7.5 Escáner en el brazo de proyección

Una de las soluciones más avanzadas son las que poseen equipos de fabricación europea, un ejemplo de estos es el equipo Meyco de Atlas Copco modelo Potenza, posee un escáner en el brazo de proyección de hormigón permitiendo escanear antes y después de la proyección y confeccionar un perfil del área proyectada definiendo el área donde no se alcanza el espesor deseado. Este equipo corresponde a uno telecomandado. (ICH, 2018)

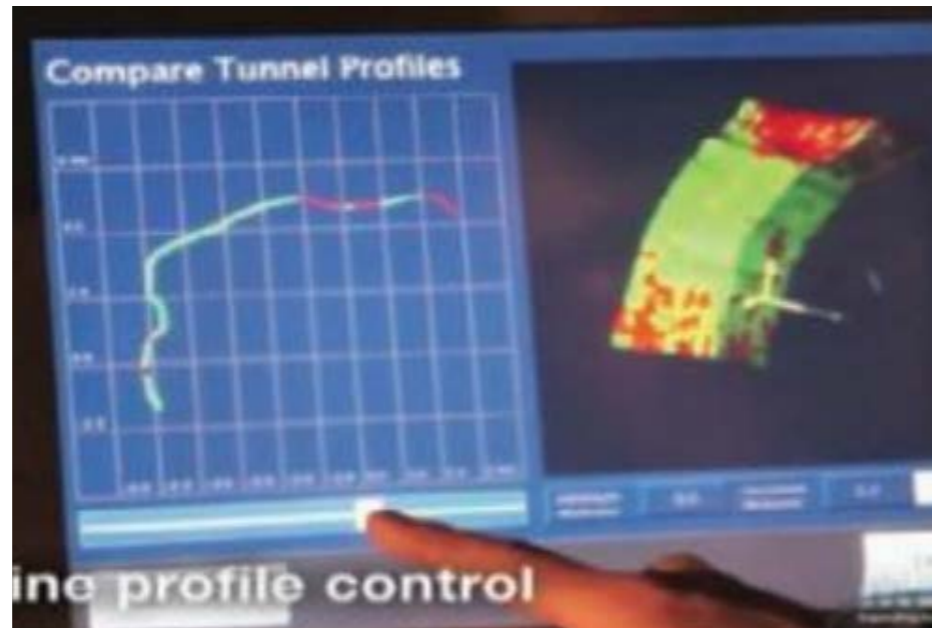


Figura 38: Escáner en el brazo de proyección.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se pueden obtener datos más representativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compleja mantención del equipo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede generar un mapa del espesor tomando datos antes y después de proyectar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si no se hace una correcta limpieza del equipo y del sensor, puede fallar y entregar valores equivocados.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El equipo muestra en sus pantallas una visualización del espesor que se requiere.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere un operador especializado</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo inicial del equipo multimillonario</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altos costos de mantenimiento</li> </ul>

### 7.6 “Calibradores”

Este método es un producto y funciona enterrando varias unidades de este en una capa de concreto fresco. La colocación se realiza mediante un escantillón, el cual permite introducir el calibrador a la matriz del concreto recién lanzado, debido a la geometría de la superficie de la pared de hastial, la colocación de los marcadores se hacen formando una cuadrícula de este modo se forma la malla de control de espesor o malla de calibración, así quedara descubierto las partes faltantes o en su defecto las áreas con exceso de shotcrete.



Figura 39: Calibradores de espesor de shotcrete.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Método económico .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Técnica interrumpe el proceso de rociado ya que primero se debe aplicar una capa y después realizar su colocación.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede generar un mapa del espesor tomando datos antes y después de proyectar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden mostrar bajos espesores pero no evitar sobre espesores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El equipo presenta buena visualidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgo de fraguado del hormigón entre la primera aplicación y el tiempo que demore instalar las puntas.</li> </ul>



## 7.7 Maquina automatizada

Existe un equipo de proyección robotizado que aplica hormigón pero que además instala puntas. Primero proyecta una capa de hormigón, después instala puntas en la primera capa de hormigón y posterior a la instalación automatizada, puede proyectar de nuevo.



Figura 40: Puntas de maquina automatizada. Facilitada por DPL Grout.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La actividad de instalación de estas puntas es automatizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al interrumpir la proyección de shotcrete, comienza el tiempo de fraguado del hormigón lo que trae inconvenientes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo puede realizar diferentes operaciones, como proyección e instalación de puntas en la superficie con hormigón fresco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita un operador especializado.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El elevado costo de este equipo y que no cualquier operador pueda utilizarlo, lo convierte en una solución que no es muy viable en termino de recursos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo del equipo 300 mil millones de dolares</li> </ul>





## 8. Mapa de productos

Los métodos expuestos en el estudio del estado del arte muestran los principales métodos ocupados en el escenario actual latinoamericano y se puede notar un contraste entre métodos más artesanales a otros muy avanzados tecnológicamente que pueden obtener datos más representativos pero a costos realmente altos que algunas empresas no están dispuestas a pagar debido a la importancia del factor económico y a que estos equipos son muy delicados y requieren cuidados especiales, de lo contrario, podrían fallar.

En este tipo de procesos siempre se busca la optimización de los recursos tanto económicamente, como en uso de tiempo y el personal requerido. Si el método no cumple con estos puntos y es muy engorroso, simplemente no se usará y se optará por métodos que sean más prácticos.

Mediante el uso de un eje X~Y se posicionan los métodos que corresponden a productos, como se muestra (Figura 41), existe un espacio en las coordenadas Económico - Eficiente, la mayor parte de soluciones eficientes se ubican en el cuadrante (Costoso, Eficiente). Por lo que se ve un desafío en desarrollar un producto que pueda responder a las necesidades de eficiencia y practicidad pero que al mismo tiempo no se deba invertir recursos de manera exagerada en la implementación de este.

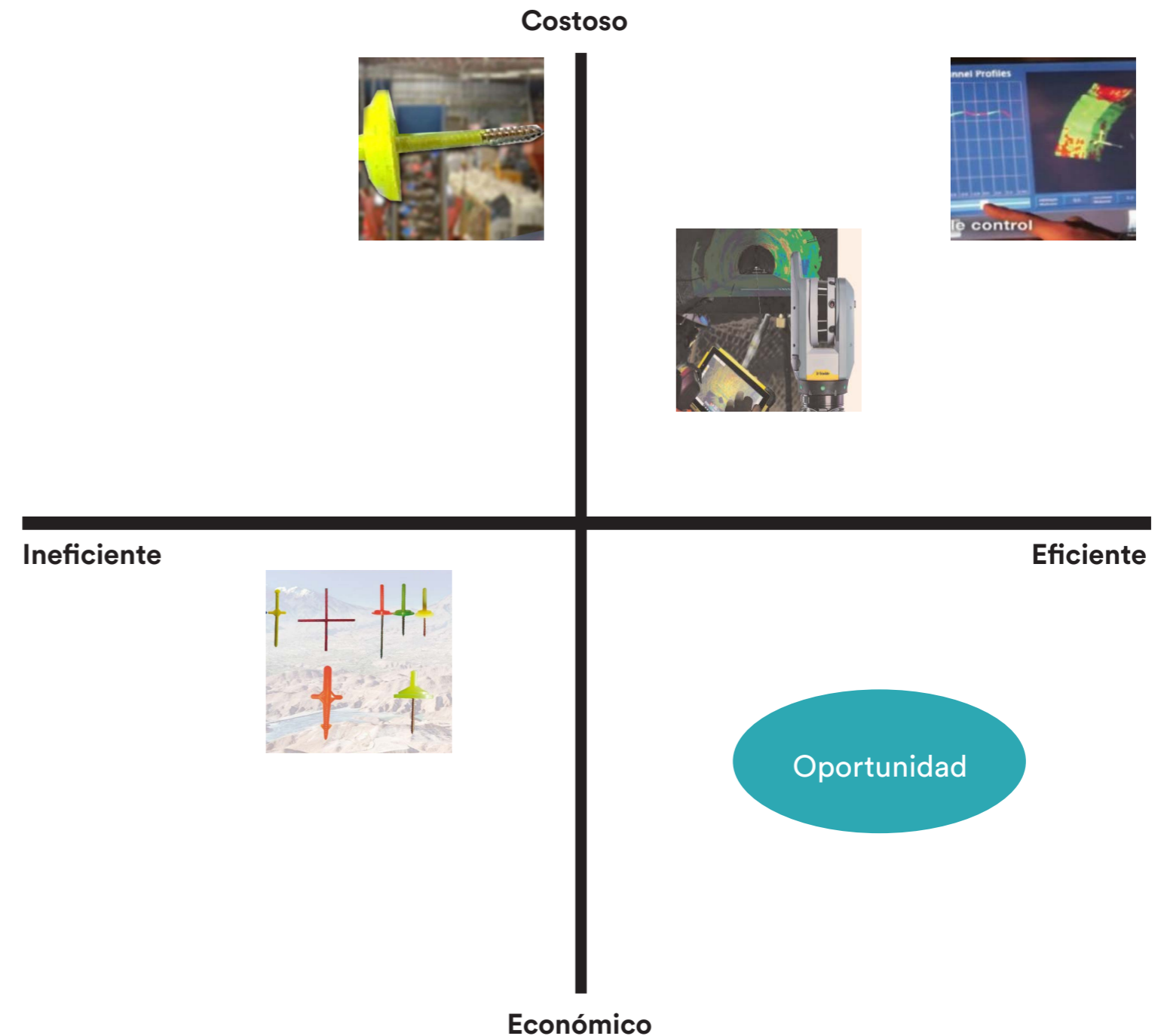


Figura 41: Mapa de productos. Elaboración propia.



A photograph showing two workers in full protective gear at a construction site. The worker on the left is wearing an orange protective suit with reflective stripes, a white helmet, and a respirator mask. The worker on the right is wearing a white protective suit, a white helmet, and a respirator mask. Both workers are holding large, flexible hoses. The background shows a construction site with a building under construction and a piece of heavy machinery. The overall scene is hazy, suggesting dust or mist.

# CAPÍTULO 4: DEFINIR

En este capítulo se utiliza parte de la información recopilada en el capítulo anterior y en el marco teórico para establecer parámetros e ir articulando la propuesta.

Lo primero que se define es la base teórica de la cual se basará la propuesta, es decir, de qué manera según profesionales de la fortificación se debe medir el espesor del hormigón y por qué. También se define el usuario y el cliente objetivo, utilizándose el recurso de arquetipo de usuario.

Una vez aclarada la teoría geotécnica en la cual se basará la propuesta y el usuario, se definen los parámetros principales de la propuesta y que elementos la compondrán. Se utilizan métodos como mapa mental para escribir ideas o conceptos y a partir de estas se presentan referentes formales y estéticos que serán útiles en el proceso de desarrollo de la propuesta.



# 1. Definición de la propuesta

## 1.1 Base teórica.

Para el desarrollo del proyecto se considera como base la teoría geotécnica que define los puntos claves en una excavación para contar el espesor mínimo de hormigón proyectado. Se establece dentro de las especificaciones técnicas para aplicar hormigón proyectado en túneles (Shotcrete), aplicar el espesor indicado, como un espesor mínimo entre puntas de roca, de piso a piso (toda la excavación a excepción del piso), lo que permite formar un arco que da estabilidad a la excavación. De acuerdo a la calidad geotécnica de la roca, se complementará esta fortificación con otros elementos de soporte. (Goldsack, comunicación personal, 2021).

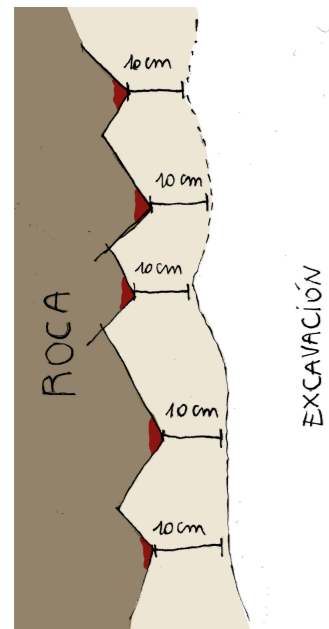


Figura 42: Puntas de roca y valles.  
Elaboración propia.

## 1.2 Definición de la propuesta

Existen diferentes factores a analizar con respecto a los métodos que se utilizan actualmente, costos y en que momento se entrega información del espesor. La norma actual que se utiliza para medir el espesor mediante perforaciones meses después de la proyección no permite medir el hormigón en tiempo real, no evita sobre-espesores y no se tiene conocimiento de donde se encuentran las puntas de roca por lo que estas mediciones pueden hacerse en sectores valle y entregar resultados no reales a la condición del espesor real desde las puntas de roca. Las máquinas que permiten escanear el túnel antes y después y proyectar shotcrete de manera automatizada existentes en el mercado requieren una alta utilización de recursos, tanto económicos, de operadores especializados y certificados además de mantenciones, repuestos y cuidado con su limpieza.

Esta opción muchas veces no es viable por los costos ya que la utilización de estas máquinas incrementa mucho el costo de la obra. Por otro lado las opciones que proyectan hormigón y después insertan puntas en este aun fresco, es riesgoso debido a que siempre la idea es proyectar rápido después de preparar el hormigón, algo que los pitoneros y operadores conocen bien debido a los tiempos de fraguado; si se deja esperar mucho el hormigón puede afectar en la adhesión de este a la roca, o que comience su proceso de endurecimiento provocando pérdidas de varios equipos. Además esta técnica entorpece el modo operatorio y la fluidez del trabajo.

Se da cuenta que no existe un método económico y práctico que permita al pitonero u operador tener noción del espesor que proyecta. y partir de esto nace la pregunta: ¿Cómo facilitar la medición del espesor en tiempo real con un método económico y que no interrumpa el modo de operar del pitonero?

Se propone entonces crear propuesta orientada a un marcador puesto en puntos claves a modo de visualizar un criterio de proyección desde antes de la actividad de rociado y por esto debería instalarse antes de la proyección de hormigón en la zona. La propuesta además debe poder aplicarse en dos tipos de superficie, según los trabajos que más se realizan: Proyección sobre roca y proyección sobre malla electrosoldada.



La propuesta tendrá dos variantes resultantes de marcador, ambas seguirán la misma lógica, el primer diseño será enfocado para superficie de roca, es decir, cuando los requerimientos de reforzamiento del túnel piden un espesor mínimo de shotcrete sobre la roca. El segundo diseño será para tipo de superficie malla, como se mencionó antes en las etapas de investigación, hay veces que el reforzamiento del túnel requiere instalar una malla electrosoldada en la roca y sobre esta va el rociado de shotcrete. Una vez diseñadas las propuestas para que el método sea completo, se debe solucionar la problemática de su instalación e lugares de difícil alcance, de lo contrario el método no podría usarse en los casos que el túnel tenga varios metros de alto. No podría usarse maquinaria de levante para su colocación debido a el gasto de recursos tanto en la necesidad de un operador y la maquina para poder instalar el método, no es lo que se busca con la propuesta.

Por ello se contempla el diseño de un implemento o utensilio que permita al usuario instalar el producto en lugares de difícil acceso y que como requerimiento este pueda ser usado sin la necesidad de algún operador especializado. La ideación del utensilio se toma como un proyecto a parte, por lo que, si bien se nombrará y se hará una pequeña exploración pre-eliminar, no se abordara en su totalidad debido a que el objetivo principal de este proyecto es trabajar las propuestas de marcadores para roca y malla.

### **1.2.1 Propuesta roca.**

La propuesta para roca tomará como punto inicial de medición las puntas de roca del túnel, según lo declarado por Goldsack, por esto el diseño debe colocarse en ese punto estratégico. Debido a la naturaleza de la superficie en la cual debe colocarse el marcador de espesor a diseñar, es importante el desarrollo de su base además de una correcta elección de adhesión a la roca, que preferentemente sea de rápida acción y fuerte.

### **1.2.2 Propuesta malla.**

Se propone diseñar una variante del producto, a modo de que la solución se pueda aplicar no solo en un tipo de diseño de fortificación. La idea principal de este sería que pueda instalarse en la malla encajándose, de esta manera se evitaría utilizar elementos extras para su adhesión, el punto de inicio para el comienzo de medición de espesor sería la propia malla.

### **1.2.3 Utensilio para su aplicación.**

El utensilio de aplicación debe ser una herramienta que cualquiera del equipo pueda usar para la instalación de el método, debe tener la posibilidad de adaptarse al contexto de altura de cada proyecto, debe ser simple y económica.



## 2. Mapa mental

Para evitar un pensamiento demasiado lineal se hace un mapa mental, «Se trata de una idea/ imagen central rodeada de ramificaciones con temas o ideas asociadas. A medida que van surgiendo ideas, se añaden subtemas a las ramificaciones.» (Milton & Rodgers, 2013, p.57).

Desde el concepto principal se sacan 4 ramificaciones que se refieren a 4 puntos considerados importantes para el desarrollo de la propuesta; visualidad, medición, adhesión e instalación. A partir de estos 4 puntos se van saliendo ramificaciones y conceptos asociados.

El punto de “Adhesión” se ramifica en 3, la adhesión de la propuesta a realizar a la roca del túnel, adhesión de la propuesta a la malla y adhesión del shotcrete a la propuesta. El modo de “Aplicación” considera que las propuestas podrían instalarse al alcance de la persona pero también a larga distancia considerando el factor túnel y altura del túnel, por lo que para esta última debería existir un implemento. El concepto “Visibilidad” se ramifica en posibles atributos que podría tener la propuesta para mejorar su visibilidad, esta parte por los tipos de color que podría tener, hasta morfologías, también atributos como refractante o fosforescente. El punto de “Medida” considera variables de cómo la propuesta puede marcar o indicar la medida que se requiere para el hormigón proyectado.

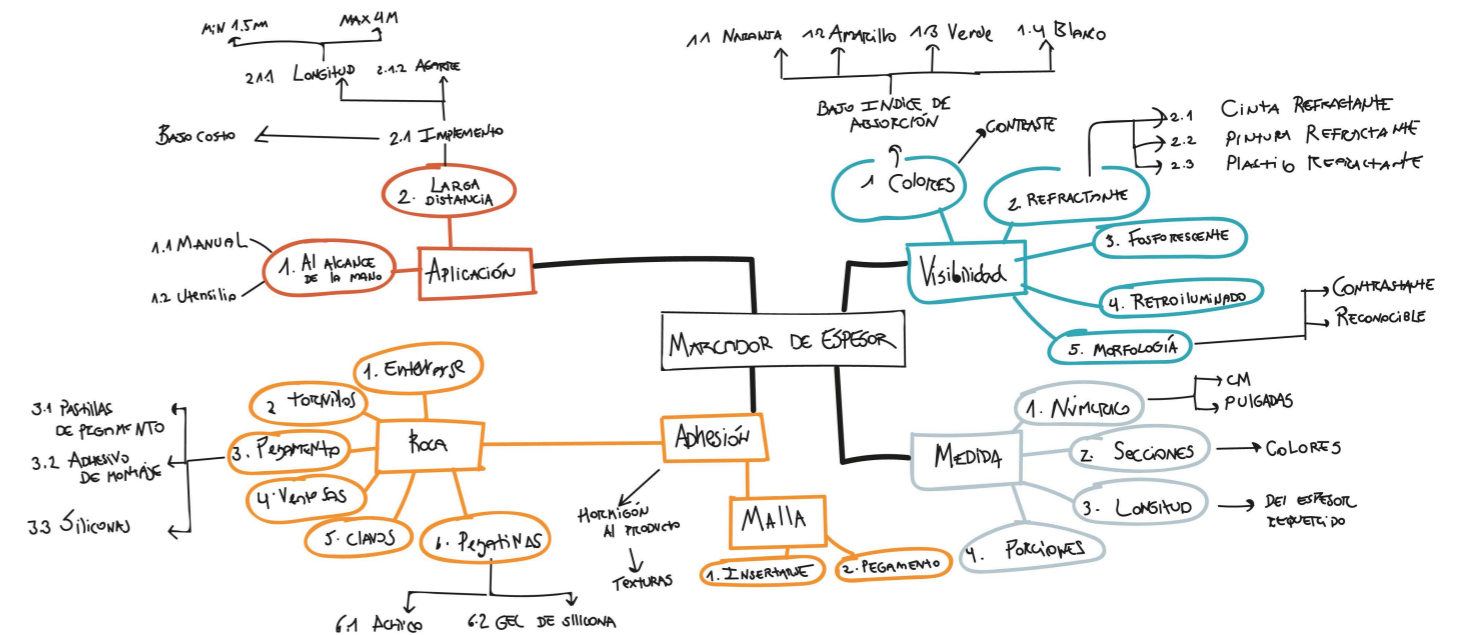


Figura 43: Mapa mental. Elaboración propia.



### 3. Referentes formales y estéticos

Para la búsqueda de referentes formales y estéticos se utiliza el mapa mental como base, ya que de este se pueden buscar los conceptos clave y realizar una búsqueda de productos que estén relacionados a estos.

#### 3.1 Referentes morfología y de medición

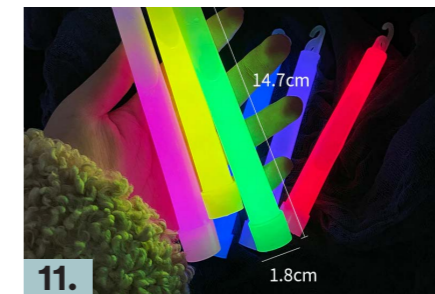
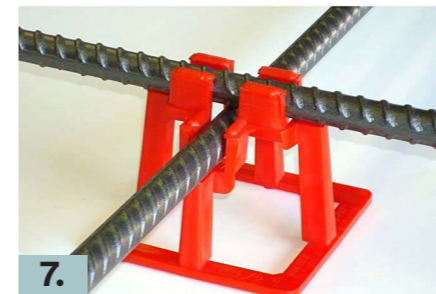
La búsqueda de productos que permiten marcar, medir o guiar con respecto a medidas arrojó algunos productos como objetos para la medición de neumáticos (1), delineador de ladrillos (2), sistema de nivelación de baldosas (3). Entre los productos que morfológicamente pueden ser un referente se encuentran; producto para tablas de surf (6), poste de trabajo pesado (4), objeto para medición de neumáticos (1), puntas de destornillador (5). Se considera también la morfología del producto (7) y (8) donde el producto número 7 corresponde a un sistema de soporte que dejan un espacio entre el suelo y una malla para verter hormigón. El número 8, es un sistema que permite dejar un espacio definido entre la superficie de la roca y la malla.

#### 3.2 Referentes con elementos de Visibilidad.

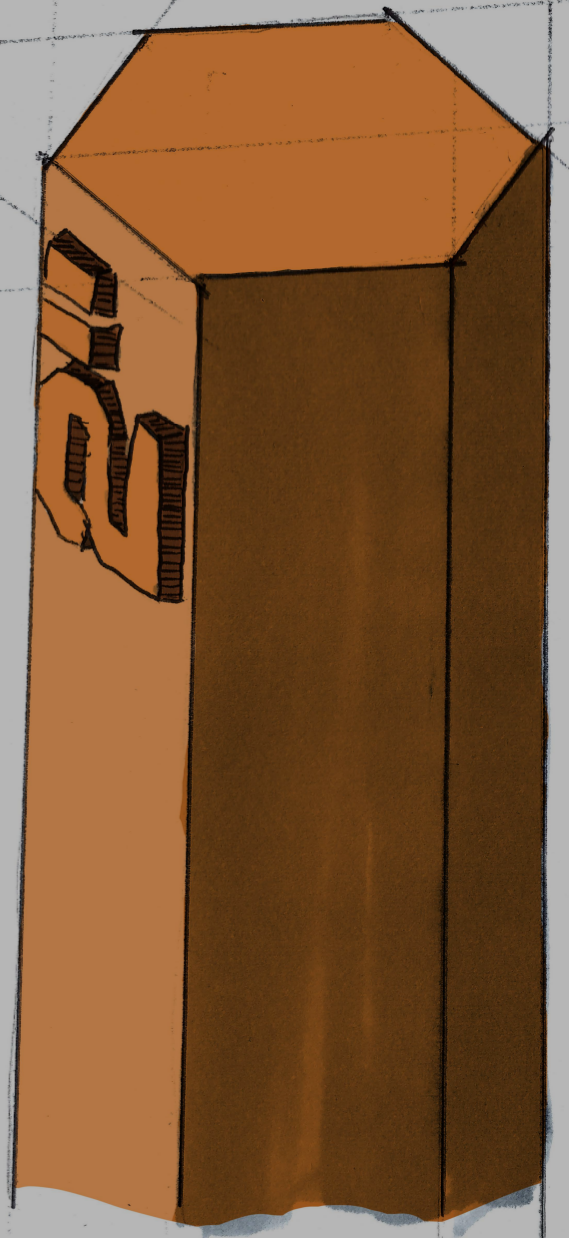
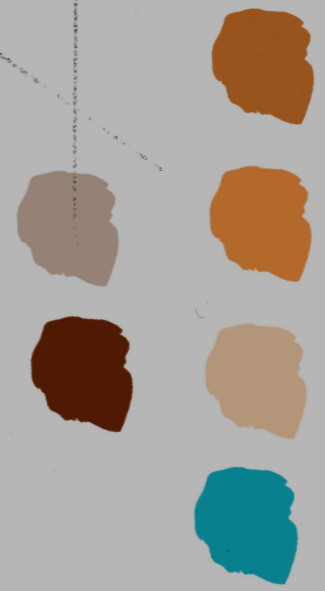
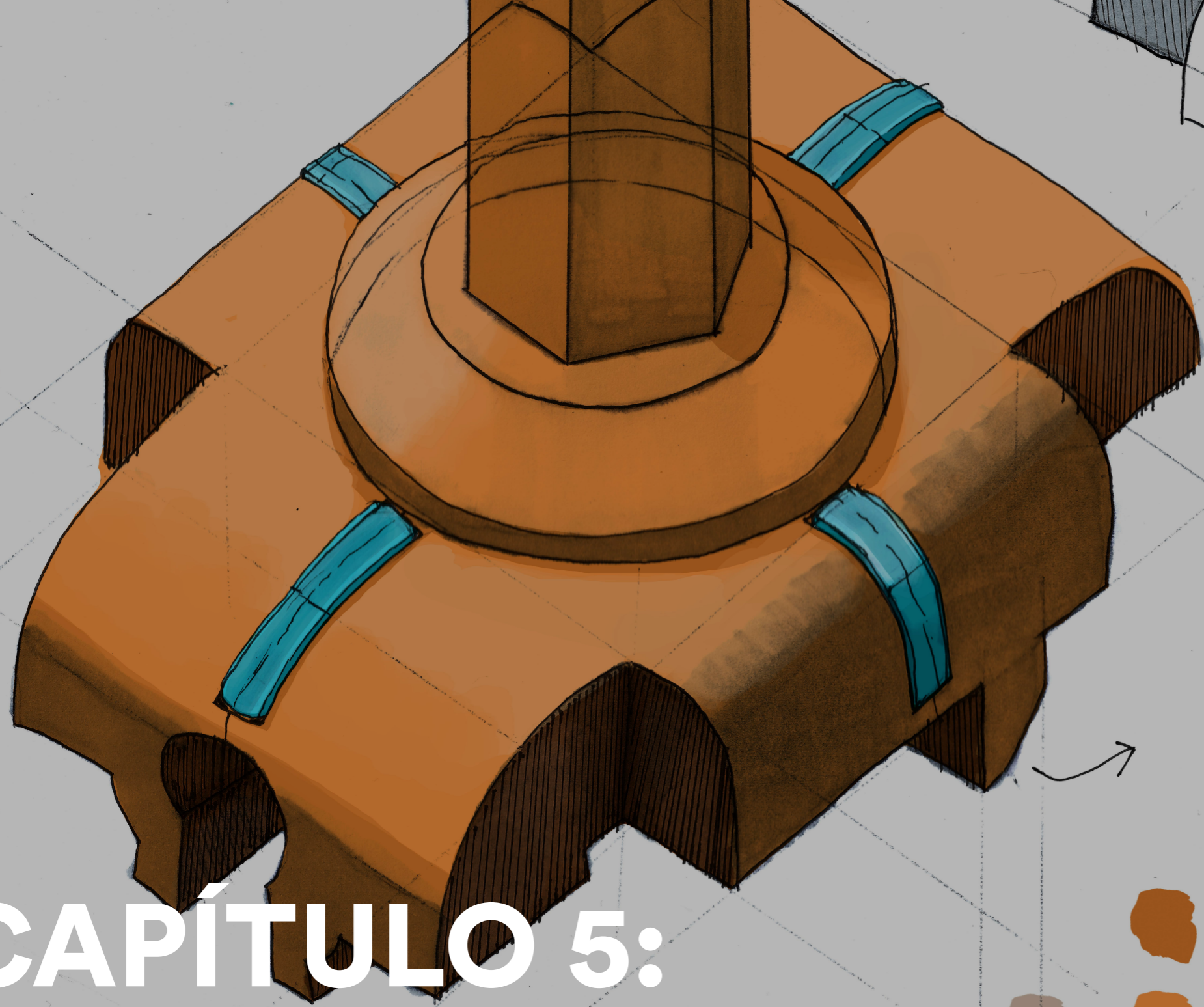
Se buscan referentes para el concepto de visibilidad para la propuesta. La búsqueda se guía por los conceptos y atributos escritos en el mapa mental. Se encuentran como referentes marcadores refractantes para buceo (10), barras luminosas para senderismo, militar, ciclismo y caza (11 y 12).

#### 3.3 Referentes objetos de aplicación

Se proponen elementos que se puedan manipular y permitan colocar o sostener algún elemento para después soltarlo (14 y 15). Se considera también el factor instalación a distancia, por lo que también se buscan referentes que dado su longitud permitan hacer tareas a metros de distancia (9 y 13).



# CAPÍTULO 5: DESARROLLAR



$z'' = 5,08 \text{ cm}$



En presente capítulo se relata el proceso de desarrollo de las propuestas de diseño. Para comenzar se definen los requerimientos y a partir de estos se trabaja tanto en dibujos exploratorios como en la generación de prototipos.

La idea de desarrollo de prototipos y sketching es que luego puedan ser testeados por usuarios clave, quienes al final del proceso puedan manifestar sus opiniones con respecto al producto y gracias a esto, obtener la suficiente información para generar una lista de problemáticas en torno a la propuesta inicial, que permita guiar que se debe mejorar o implementar en el siguiente proceso de diseño.



# 1. Requerimientos

Se establece una serie de requerimientos en las dimensiones; prácticos, indicativos, socio-culturales, sensoriales y económicos.

Los requerimientos ayudan a develar atributos que pueden ser integrados a las propuestas.

Requerimientos	
Prácticos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Que pueda marcar el espesor requerido para la obra</li> <li>2. Funcionar como guía en tiempo real</li> <li>3. Opción para superficie de roca y hormigón.</li> <li>4. Opción para colocación en malla.</li> <li>5. Base estable para su colocación.</li> <li>6. Resistencia a la fuerza de la proyección del concreto</li> <li>7. Resistencia a las temperaturas de fraguado del hormigón. (18-25° a 40°)</li> <li>8. Resistencia a la humedad.</li> <li>9. Adhesión firme a la superficie requerida.</li> <li>10. El concreto proyectado debe adherirse al marcador.</li> </ol>
Indicativos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Método que pueda demostrar cuando la tarea de proyección ha finalizado.</li> <li>2. Permitir al pitonero reconocer cuantas capas de hormigón le faltan para completar el espesor.</li> <li>3. Marcar los puntos claves para medir el espesor.</li> </ol>
Socio-culturales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No interferir con el ritmo normal de trabajo del equipo de proyección.</li> <li>2. No debe ser un método engorroso de aplicar ya que de lo contrario no se usaría.</li> <li>3. Método intuitivo.</li> <li>4. Cualquier operador puede hacer instalación y uso del producto.</li> </ol>
Sensoriales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Visibilidad en túnel con iluminación artificial.</li> <li>2. Permita visualizar el criterio de proyección.</li> <li>3. Colocación del método no debe perjudicar o herir la mano.</li> </ol>
Económico y legal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fabricación de múltiples unidades</li> <li>2. No debe ser más caro que los costos económicos de los sobre-espesores o bajos espesores.</li> <li>3. Debe poder fabricarse industrialmente.</li> <li>4. No debe perjudicar la fortificación del túnel y por tanto su seguridad.</li> </ol>

Figura 44: Requerimientos de la propuesta de marcador. Elaboración propia.



## 2. Exploración de adhesión a la roca

El adhesivo juega un papel importante en la colocación del marcador, ya que este será el medio de unión entre el sustrato (roca) y el aparato marcador. Una mala adhesión puede hacer que al comenzar el proceso de rociado, los marcadores se desprendan y caigan.

Como se requiere que la instalación tome el menor tiempo posible, acompañado de la necesidad de instalación en zonas de altura se descartan como método principal de adhesión realizar perforaciones, atornillar o la utilización de clavos para adherir el producto al sustrato. Pese a descartar esta opción como método principal de adhesión, se considera importante que la pieza tenga orificios para entregar al usuario la opción de elegir que le conviene más para cada tipo de contexto.

Considerando que la instalación debe ser lo menos engorrosa y rápida posible, se considera que la acción para la colocación del producto ideal es ubicarlo en un punto clave y que este se adhiera casi instantáneamente al sustrato. Para esto, la adhesión a seleccionar debe ser un pegamento o adhesivo.

### 2.1 Variables a considerar para la elección de un pegamento

**a) Superficie:** El adhesivo debe adherirse a una superficie irregular, porosa.

**b) Temperatura:** El hormigón proyectado aplicado a las paredes del túnel pasa por proceso de fraguado, donde su temperatura tiende a aumentar. El rango está entre los 18° a 40°

**c) Humedad:** La humedad dentro de espacios subterráneos es variable y depende de la ventilación del túnel. El hormigón también tiene grado de humedad. El adhesivo debe ser resistente a este factor.

**d) Peso:** El peso que ejerce el shotcrete es también es importante a la hora de definir un pegamento ya que este debe resistirlo al igual que el impacto al ser proyectado.

**e) Tiempo:** El tiempo que se demora en pegar también es de relevancia ya que los procesos de instalación deben ser dinámicos y de rapidez.



## 2.2 Exploración de adhesivos

A continuación se muestra parte de la exploración de pegamentos en diferentes formatos, tipo de materiales que los componen, diversas superficies en las que son útiles y los tiempos de fijación que poseen. Una de las opciones más adecuadas para el proyecto de acuerdo a sus especificaciones técnicas corresponde al adhesivo de montaje y al pellet multitask, (Figura 45) ambos pueden ser utilizados en superficies variadas y poseen resistencia. Las ventajas del pellet multitask son que viene en unidades porcionadas por igual y se vende en kilogramos, por lo que sería sencillo medir la cantidad de pegamento por aplicar no habiendo diferencias entre ningún marcador y su forma de obtenerse al por mayor sería más económica. Las ventajas del adhesivo de montaje es que no requiere uso de calor para su aplicación, además posee una alta fuerza de tracción y rapidez en sus tiempos de fijación.

	Nombre	Material	Superficies	Tiempo
	Masilla adhesiva	Caucho de polibutileno modificado	Actúa mejor en superficies lisas	Fijación rápida hasta 3 kilos
	WDA: Pellets	Polímero termoplástico	No especifica	Debe calentarse a 65°
	Cinta de montaje	Espuma EVA	Papel, madera, metal, vidrio, plástico y más.	Resistencia a altas temperaturas e impermeable.
	Velcro adhesivo	Nylon	Solo apto para superficies lisas	Después de 24 horas.
	Pegatinas de gel de silicona	Gel de silicona	Cristal, ladrillo, ceramica, acero inoxidable.	No especifica.
	Handimelt Pellet multitask traslucido	Polimeros termoplásticos (EVA)	Para pegado en diferentes tipos de sustrato	Requiere uso de calor. Buena flexibilidad y alta resistencia adhesiva
	Adhesivo de montaje	Adhesivo en base dispersión en disolventes orgánicos caucho de policloropreno modificado con cargas.	Resistencia a la humedad y temperaturas	En 10 segundos, pero llega a su máximo de fuerza a las 24h. Aprox. 75 kg/cm <sup>2</sup>

Figura 45: Exploración de adhesivos en el mercado. Elaboración propia.



### 3. Diseño marcador para roca

Se realizó una exploración mediante dibujo rápido de posibles morfologías. Para el diseño del marcador para base roca, se pensó en una base óptima; lo suficientemente estable pero sin necesidad de uso de tanto material. Para el diseño de la base según los requerimientos planteados, se debe pensar en la zona que hace contacto con el sustrato y la zona en la que el hormigón toca al marcador. En un comienzo surgieron ideas como utilizar una base que pudiera adaptarse a la irregularidad de la roca y se pensó en el uso de algún tipo de espuma que al ser colocada tomara la forma de la roca y se adhiriera, pero este tipo de ideas quedaron en el área conceptual, ya que una vez conociendo bien la actividad y comprendiendo la agresividad de la proyección de hormigón, se debía priorizar incorporar elementos al diseño que aseguraran su estabilidad.

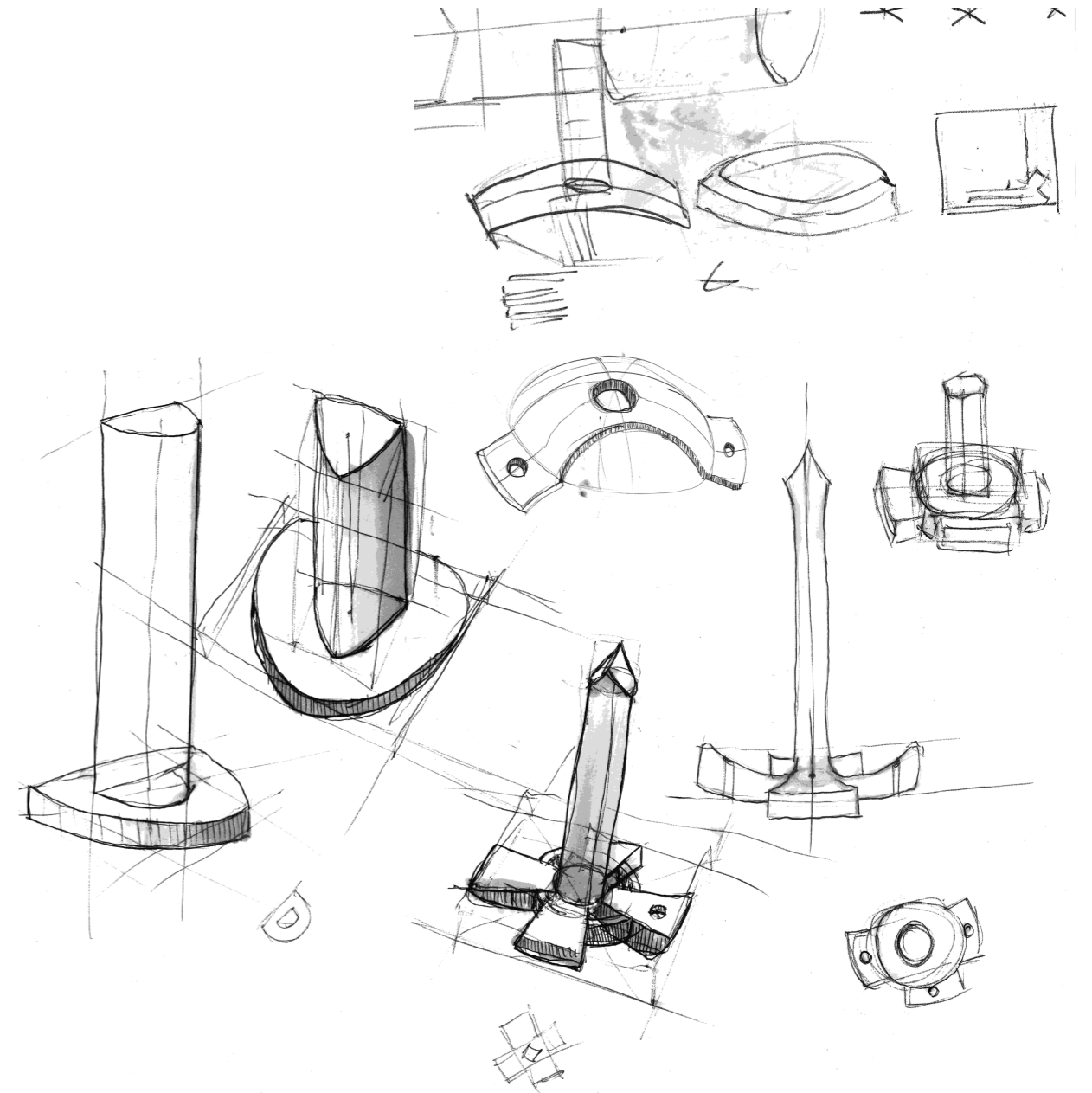


Figura 46: Exploración mediante dibujo. Elaboración propia.



Una vez avanzado el proceso de desarrollo de la propuesta se decide que la base se compondrá de proyecciones radiales que permitan que la superficie de contacto con la roca se disgregue en porciones menores que son más fáciles de adaptarse a la irregularidad de la roca, mejorando así el contacto de la base con el sustrato para con ello facilitar la adhesión.

Las tres proyecciones poseen también una perforación pasante que permite la fijación del producto como método secundario de adhesión mediante la inclusión de tornillos o clavos si se requiere.

Para este proyecto se tomarán los espesores de 5cm, 7cm y 10cm, debido a que suelen ser los más comunes requeridos en obras, para cumplir con estas medidas se define que la forma de marcar el espesor requerido será por un pilar central perpendicular a la base, la medida se toma desde el inicio de la base. La unión de la base al pilar se hace mediante una transición de un cuerpo de tronco cónico que mejora la estabilidad y resistencia, esto para que el pilar no se rompa. El pilar comprende, preferentemente, una sección transversal poligonal para aumentar su resistencia y rigidez; puede tener diferentes longitudes de acuerdo a los tipos de aplicación y puede llevar una marca en relieve que indica un determinado nivel antes de su cúspide.



Figura 47: Primer prototipo de la propuesta. Elaboración propia.



Figura 48: Dibujo de ranuras para la adhesión del pegamento. Elaboración propia.



El método de adhesión principal contempla un pegamento que iría puesto en la base. Al comienzo se piensa en una oquedad en la base que permita depositar el pegamento en ella pero finalmente es descartada debido a que en esa zona podría quedar una burbuja de aire atrapada resultando no tan conveniente. La segunda idea fue la realización de ranuras en la base en las que se pueda adherir el pegamento y escurrir por dichas ranuras una vez colocado en la superficie, dicha propuesta se dibuja y se prototipa mediante impresión 3D. La pieza resultante es analizada y los resultados del prototipo muestran que la textura quita gran parte de la superficie de contacto directa de la pieza con cualquier superficie en la que se coloque, debido a esto se simplifica el diseño a modo de poder tener una mayor superficie de contacto pero conservando ranuras para el pegamento. Se dejan 3 ranuras en la base, que permitan la localización del pegamento y que le permita escurrir.

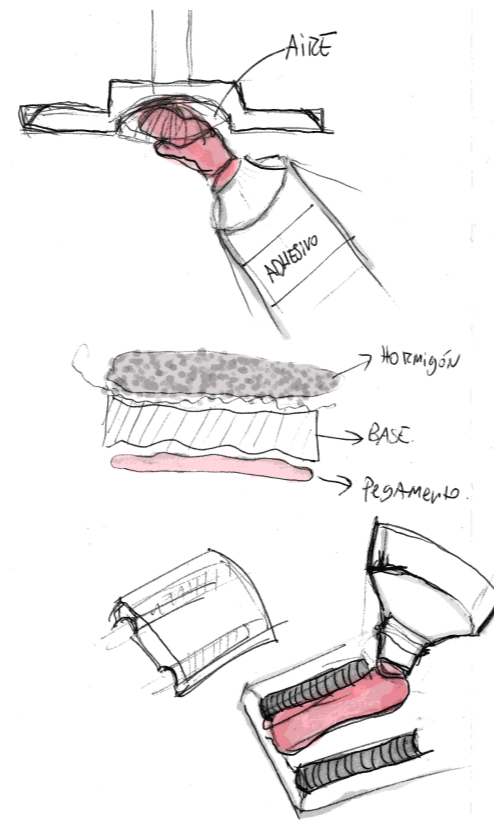


Figura 49: Bocetos de aplicación de pegamento en la base. Elaboración propia.

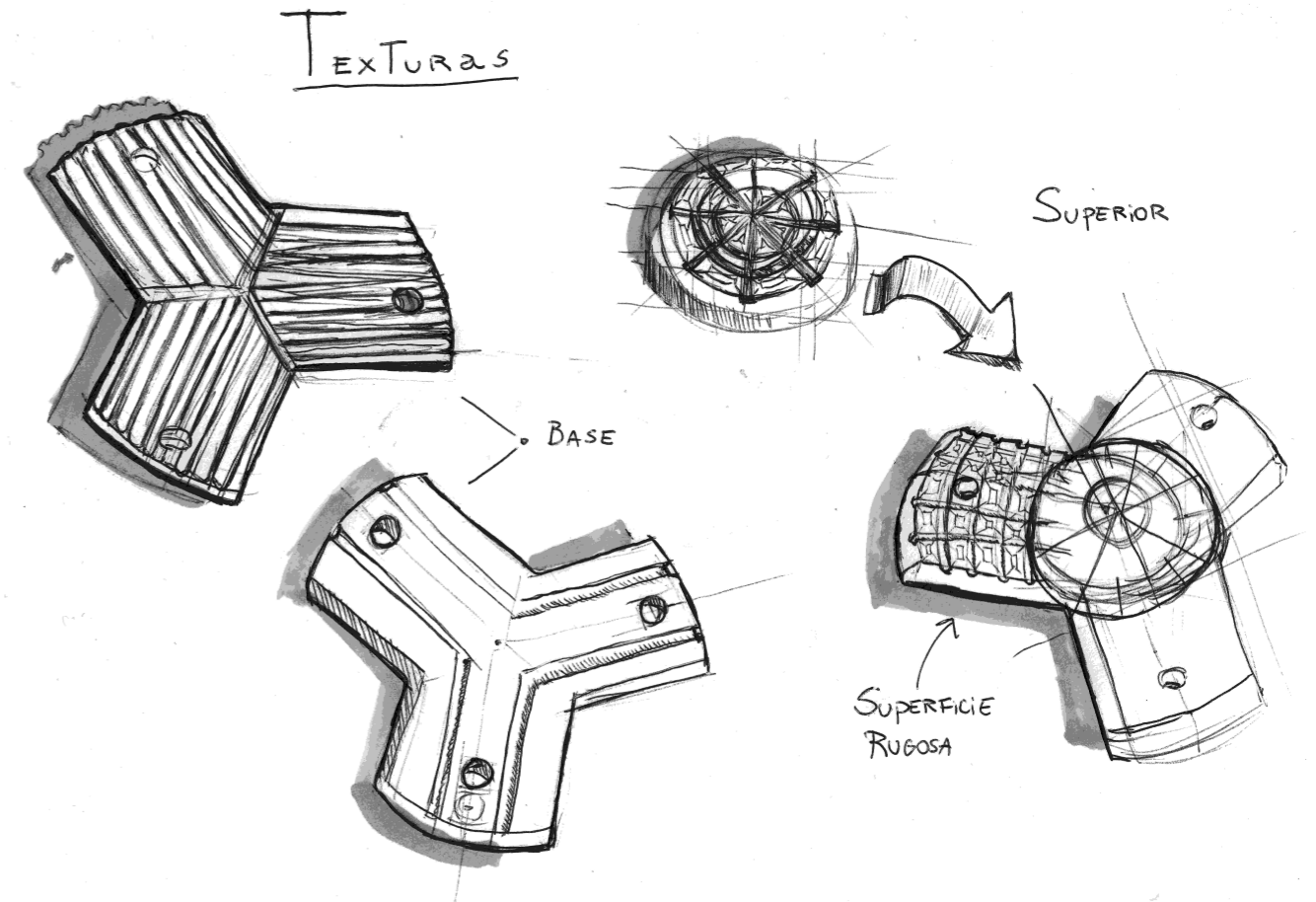


Figura 50: Bocetos de texturas para la base. Elaboración propia.



Figura 51: Primer prototipo experimental de la base. Elaboración propia.

Para la zona superior, se dibuja un patrón que permita dar rugosidad y textura, a modo de que el hormigón que toque la base en su superficie superior, se adhiera a esta y se integre al marcador, si el hormigón no se adhiere a los marcadores, sería un gran problema ya que perjudicaría las operaciones y no podría utilizarse el método.





Figura 52: Prototipo digital, secciones de color. Elaboración propia.

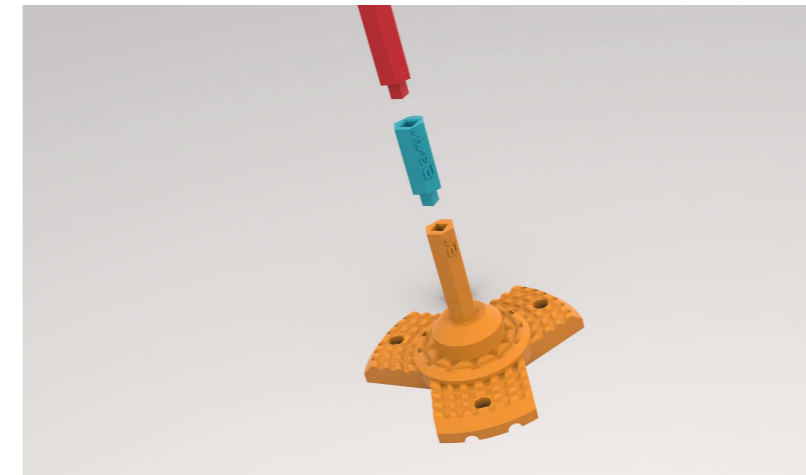


Figura 53: Prototipo digital, espesor ensamblable. Elaboración propia.

Se ve la opción de poder armar el espesor requerido mediante secciones diferenciadas por color, se realiza un prototipo digital de la propuesta y posteriormente uno físico. La idea inicial de esta propuesta es poder personalizar el espesor. Para el prototipo se consideran los espesores de 2 pulgadas, 7cm y 4 pulgadas.

Además, en un comienzo esta idea también iba enfocada a diferencial visualmente los espesores que se iban completando en el transcurso del rociado de hormigón, además en cuanto a su visibilidad, se propone que las secciones sean de material reflectante para cada color.



Figura 54: Propuesta de división por espesores. Elaboración propia.



Figura 55: Propuesta de división por espesores. Elaboración propia.





Se realizan prototipos para la última versión del diseño en 5 cm, 7cm y 10cm. La idea de que el espesor indicado vaya separado por secciones es descartada debido a dos razones: la primera es que el hormigón al ser proyectado taparía los colores y ya no tendría sentido la separación por colores para indicar en tiempo real como va el espesor. La segunda es que en términos de producción, se prefiere que las copias de inyección salgan en 1 pieza. Se fabrican prototipos para la última versión del diseño en 5 cm, 7cm y 10cm.

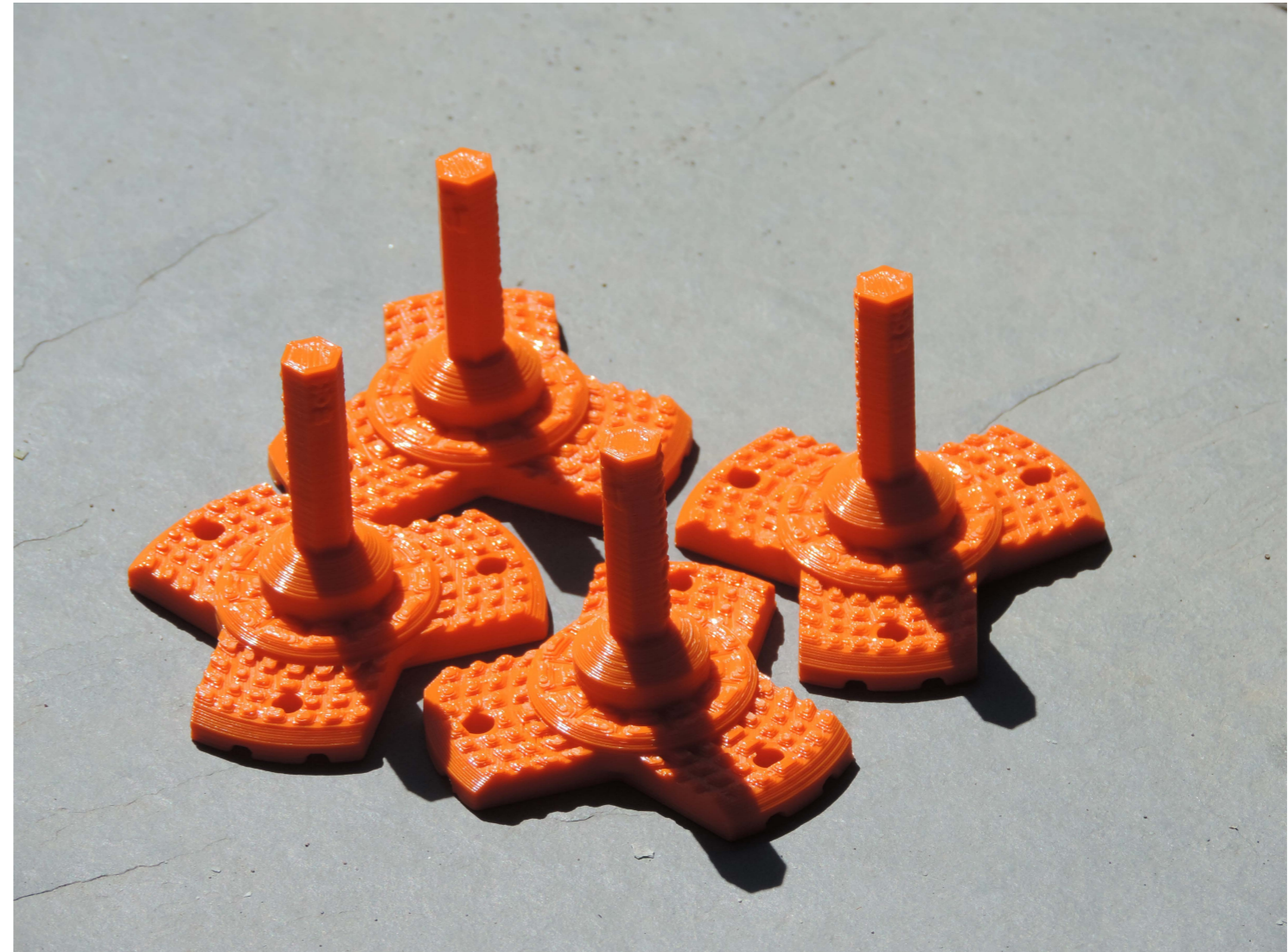


Figura 56: Prototipo realizado en impresión 3d versión 2 pulgadas de espesor. Elaboración propia.



## 4. Diseño marcador para malla

Se reciben cuadrados de malla electrosoldada de diferentes diámetros (Anexo 3). A partir de estos se exploran los puntos de contacto y cual es la zona en la que se puede trabajar para el desarrollo de un diseño que se inserte en esta, también se observa un referente entregado por la empresa (Figura 60), que su modo de uso es insertarse en la malla para tener un margen específico entre la colocación de la malla y la roca.

Se realiza un prototipo en cartón, como se observa en la figura 59, para entender mejor los puntos de contacto posibles en los que se podría trabajar para el agarre de la propuesta sobre la malla.



Figura 57: Unión de la malla electrosoldada. Elaboración propia.

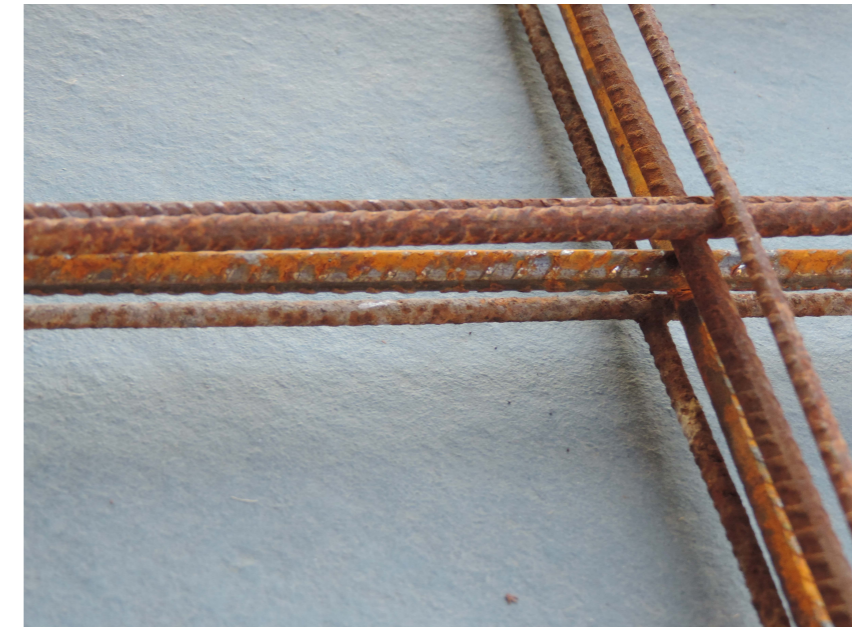


Figura 58: Mallas de diferentes diámetros. Elaboración propia.



Figura 59: Exploración en cartón de los puntos de contacto. Elaboración propia.



Figura 60: Referente inserto en malla. Elaboración propia.



Se realizan prototipos para definir la base del diseño el cual se debe insertar en la malla, cada diseño realizado en CAD es prototipado mediante impresión 3D, para después ser probado en un cuadrado de malla real de 4,2 mm de diámetro.

Lo que se busca inicialmente es lograr encontrar la forma correcta para lograr insertar el prototipo en la malla, después de 4 iteraciones se logra una forma en el agarre que puede insertarse en la malla de manera correcta sin romperse (Figura 64). Luego de desarrollar el prototipo D), se observa que este no se queda firme, si no que tiene un rango en el que rota y se desplaza a lo largo del fierro sin un tope, una vez observado esto, comienza el desafío de como lograr que se mantenga firme y no rote ni se mueva de la intersección.

A)

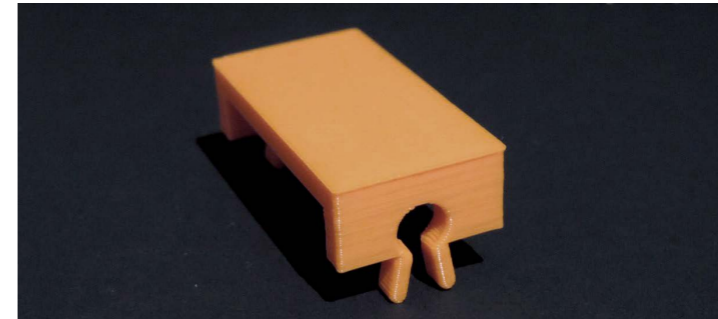


Figura 61: Primer prototipo de base. Elaboración propia.

B)

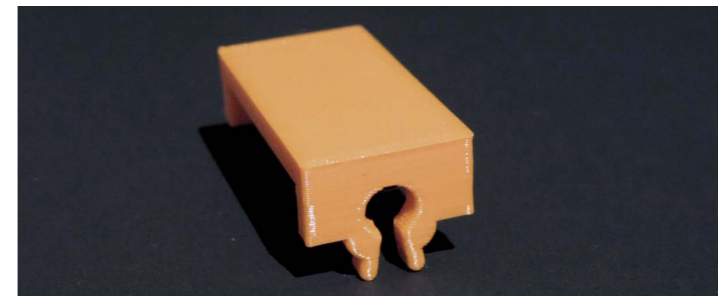


Figura 62: Segundo prototipo de base. Elaboración propia.

C)

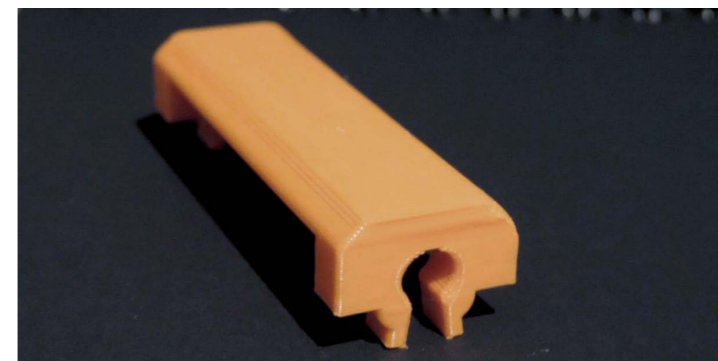


Figura 63: Tercer prototipo de base. Elaboración propia.

D)

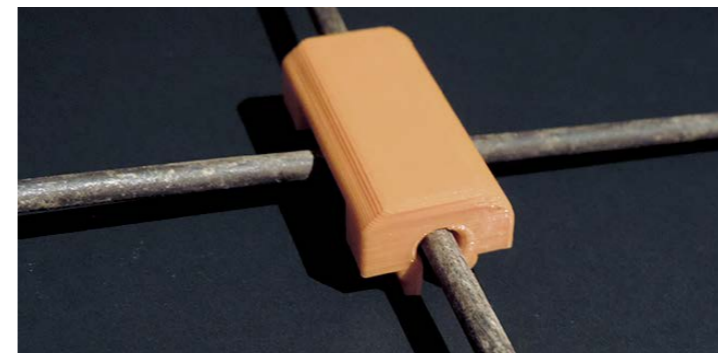


Figura 64: Cuarto prototipo de base que logra entrar en la malla. Elaboración propia.



Se continúan desarrollando versiones para la base después de la versión D). Se busca una forma de mantener fijo el prototipo, en la versión E) se intenta poner 4 topes y que en medio pase el hierro perpendicular, de esta manera el prototipo se quedaría fijo en la intersección y el hierro perpendicular quedaría entremedio de 4 topes. Al fabricar el prototipo se da cuenta de que esta versión no funciona, ya que al ser 2 y 2 paralelos, si la malla tiene algún grado de deformación o no esta en ángulo recto (ver figura 66), el tope que se encuentra estrictamente en ángulo recto no calza y se rompe. Gracias a la fabricación de este prototipo (E) se idea la forma de poder fijar el diseño considerando que muchas veces habrán mallas deformadas, para esto se pone un tope a cada extremo, como se muestra en la versión F) (ver figura 65) esta versión permitiría colocar el prototipo en la malla sin romperse pese al grado de deformación que tenga. Después de esta versión se hacen pruebas de como continuar el diseño de la base, según los espacios y formas, en la versión G) se amplía un poco más la base y para la versión H) se va definiendo la forma final además de ofrecer un grado mayor de compatibilidad con mallas sin angulo recto, ampliando el espacio entre ambos topes.

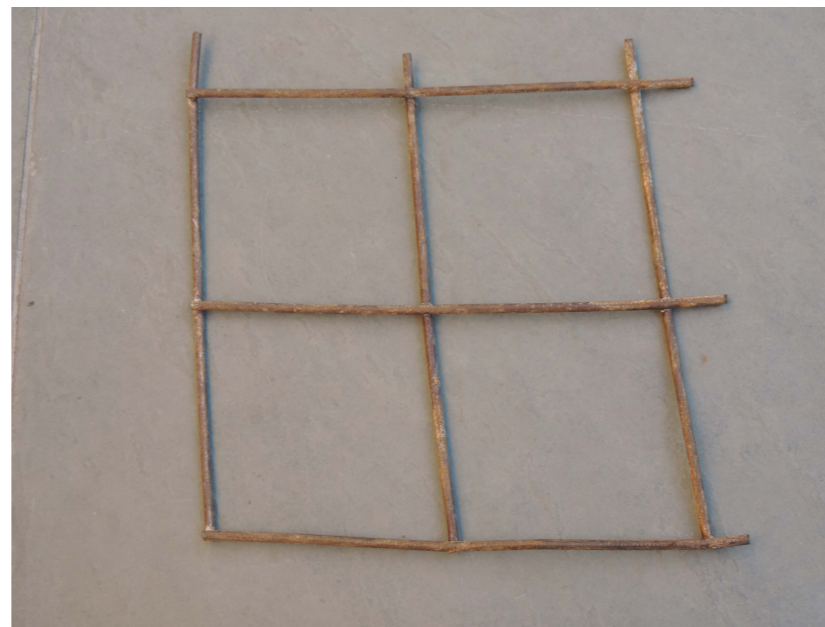


Figura 66: Malla con deformación. Elaboración propia.

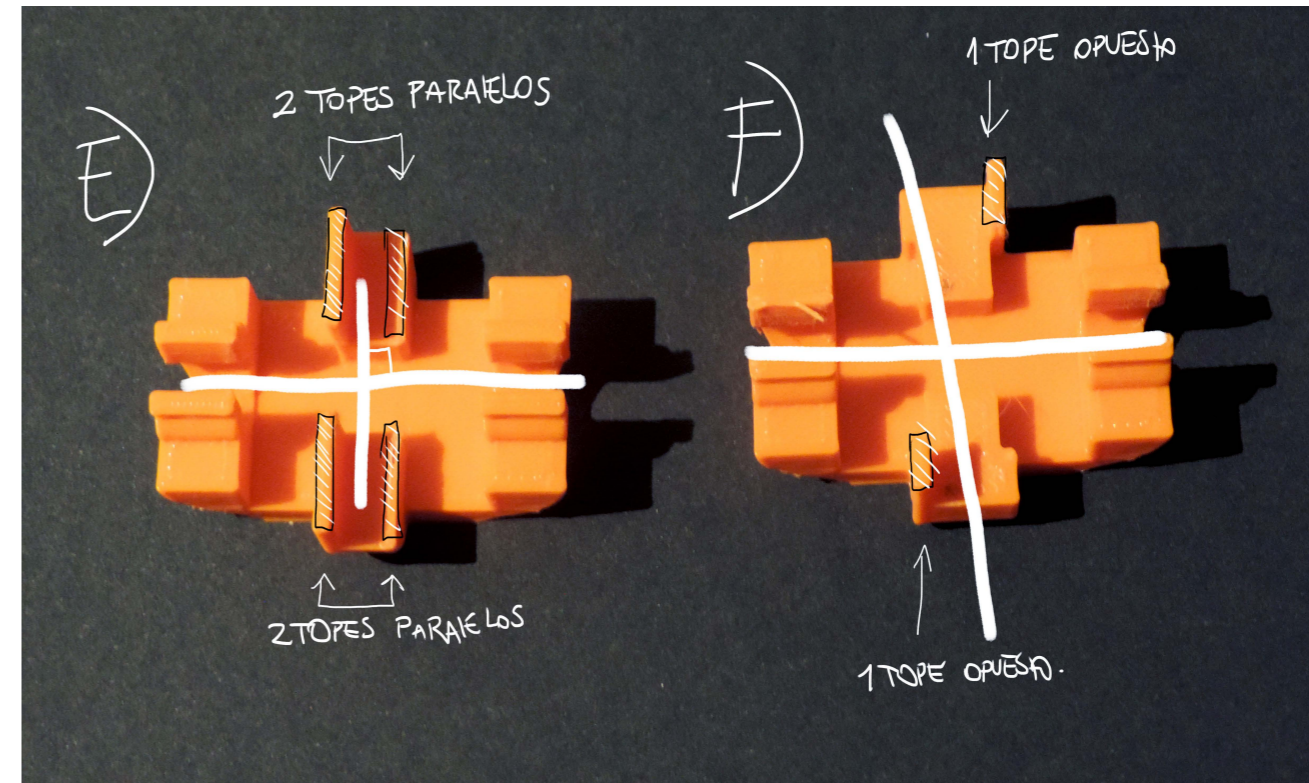


Figura 65: Esquema de los primeros topes para afirmar el prototipo. Elaboración propia.

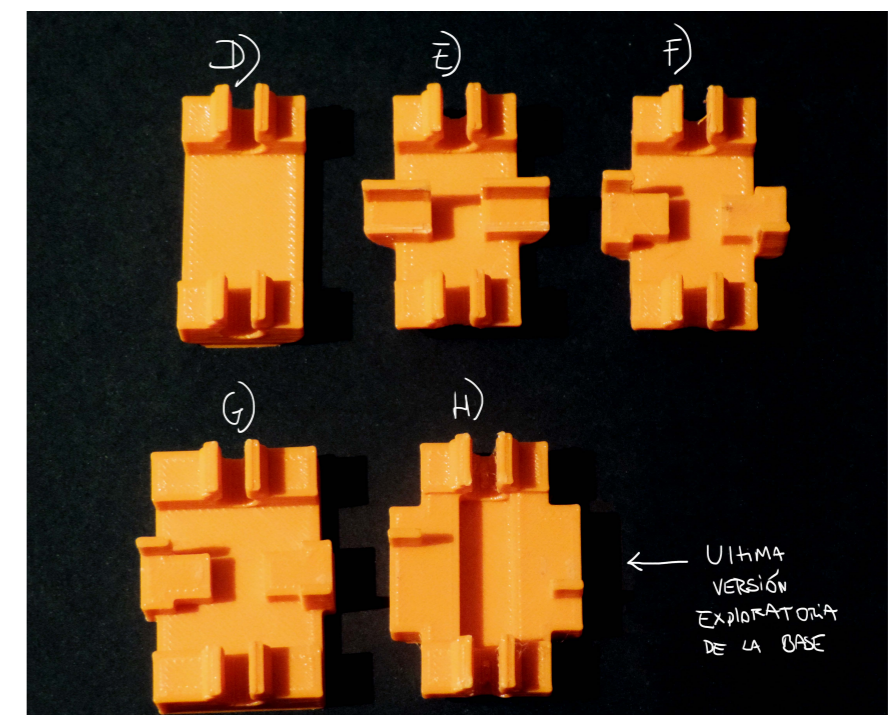
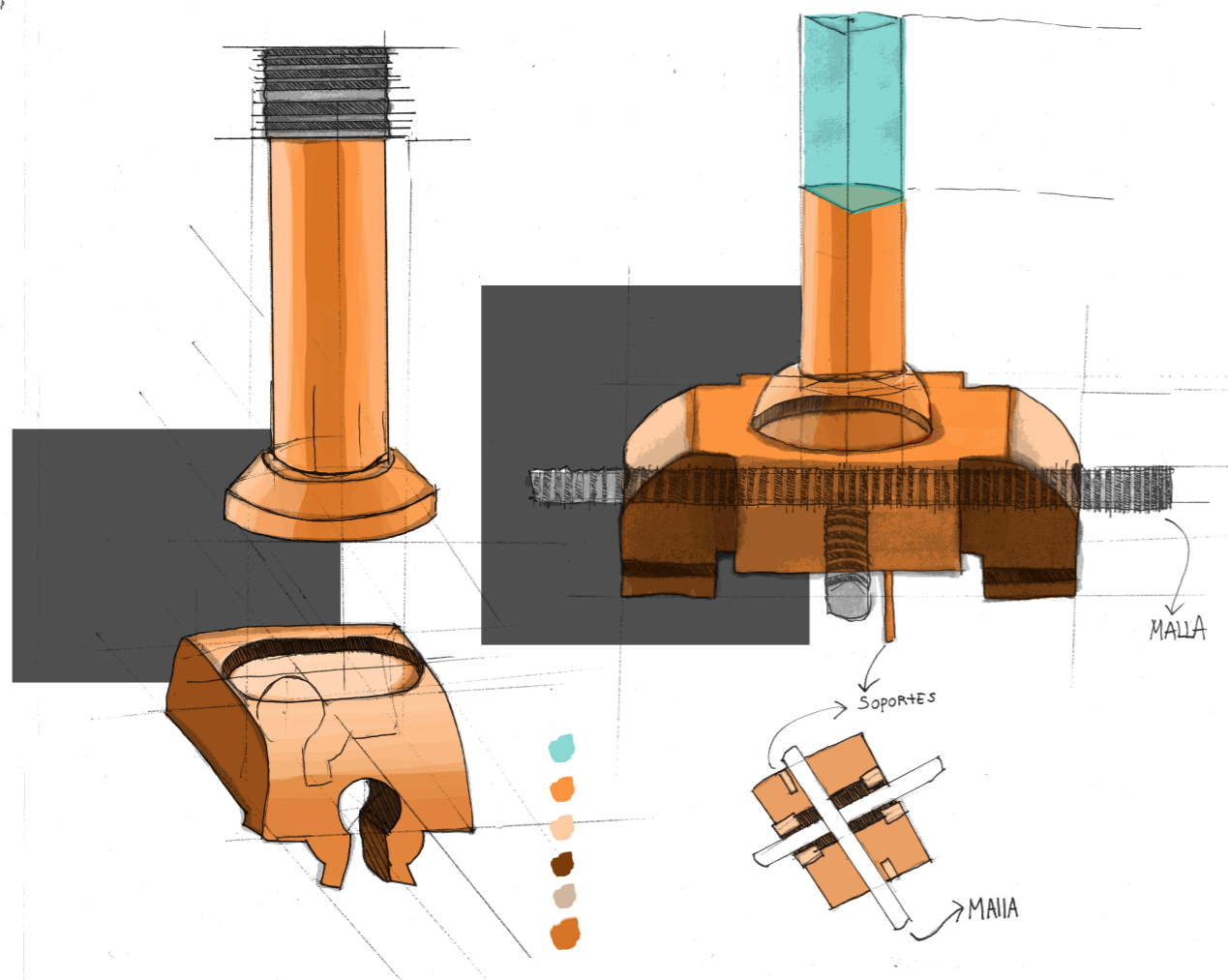


Figura 67: Versiones de base malla. Elaboración propia.



Figura 68: Sketch del diseño para malla. Elaboración propia.



En un comienzo se tenía en cuenta integrar a la parte superior de la base textura para la adherencia del concreto pero en el transcurso se descarta debido a la poca superficie de la base en comparación al diseño para roca. Una vez definida la base, se desarrolla la zona que como función debe marcar el espesor requerido, para esto se considera el mismo pilar del diseño para roca, adaptado a esta nueva versión para malla pensando en que ambas propuestas sean una familia de productos. Debido a que el método de prototipado rápido es mediante impresión 3D, la base y el pilar deben ser impresos por separado para que la impresión de la base y su estructura no tenga mayores problemas. Se diseña la pieza CAD del pilar y a la versión más reciente de la base se le hace una oquedad en la cual se pueda ensamblar y pegar la nueva pieza.

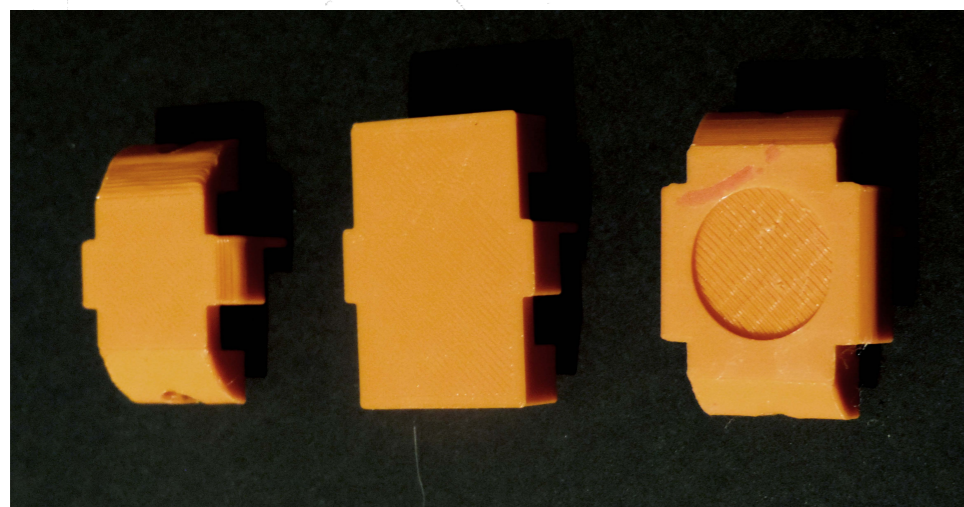


Figura 69: Evolución de la base vista desde arriba. Elaboración propia.



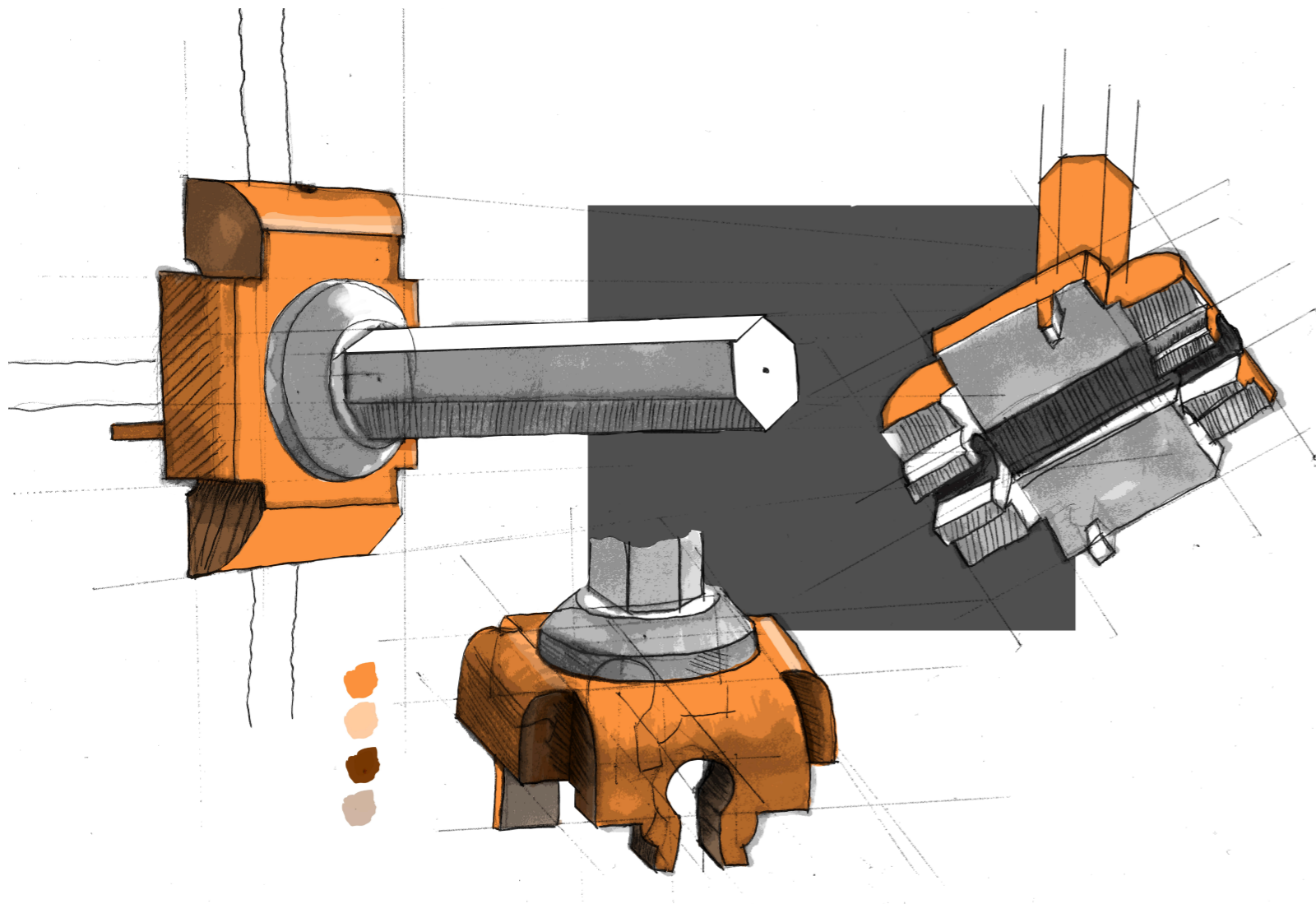


Figura 70: Sketch de visualización del producto vista isométrica. Elaboración propia.

Una vez listas ambas piezas, se unen y se prueba en la malla. Se observa que si bien queda estable y firme, cuesta más insertarlo y es incomodo en la mano ahora que el producto tiene el pilar incluido debido a que la superficie de contacto para aplicar la fuerza requerida es menor.

Dado este aspecto se toma la decisión de desarrollar un utensilio que mejore la condición de instalación para el usuario, tanto para mejorar la superficie a la cual aplicar fuerza como para mejorar la comodidad de la mano.

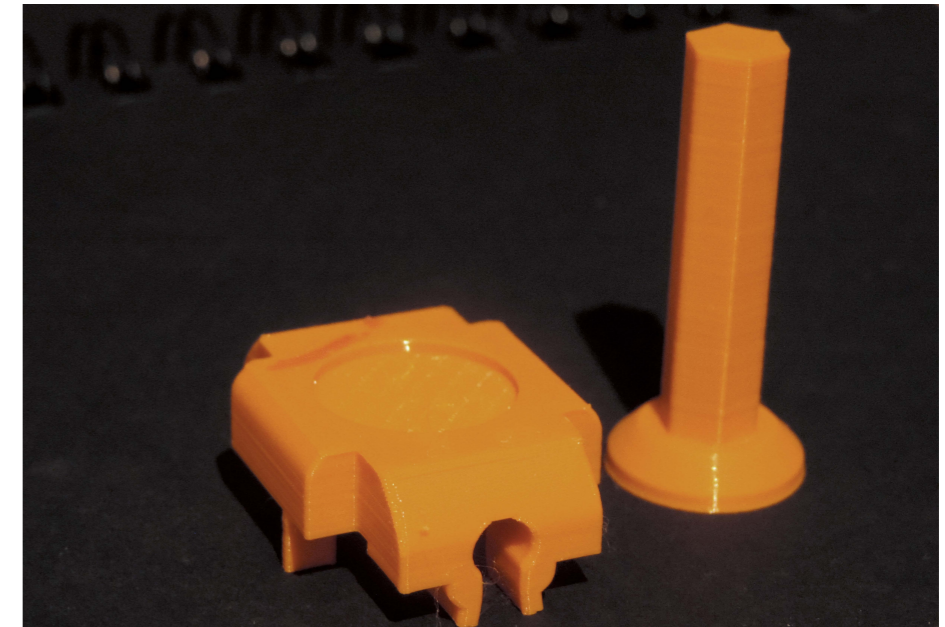


Figura 71: Piezas impresas para su unión. Elaboración propia.



Figura 72: Prototipo del diseño de marcador para malla insertado. Elaboración propia.



El utensilio debe distribuir la fuerza aplicada en la superficie de la base y al mismo tiempo proteger el pilar de la fuerza aplicada. Para esto se modela un utensilio que tome la forma achurada en la Figura 73 como base y en su interior un agujero ciego, es decir, no pasante de un diámetro y altura mayor al del tronco cónico y pilar del cuerpo principal. En la Figura 74 se muestra en una vista lateral la pieza transparente para visualizar su interior y exterior. El modo de uso sería colocando el utensilio sobre el producto y aplicando la fuerza sobre la superficie superior de la pieza, esta fuerza se puede hacer con las manos o golpeando con otro objeto. La Figura 75 muestra la posición del utensilio adecuada sobre el marcador.

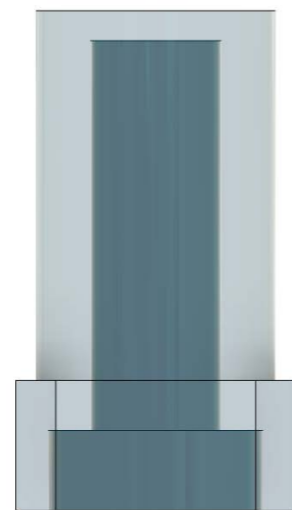


Figura 74: Vista lateral utensilio. Elaboración propia.

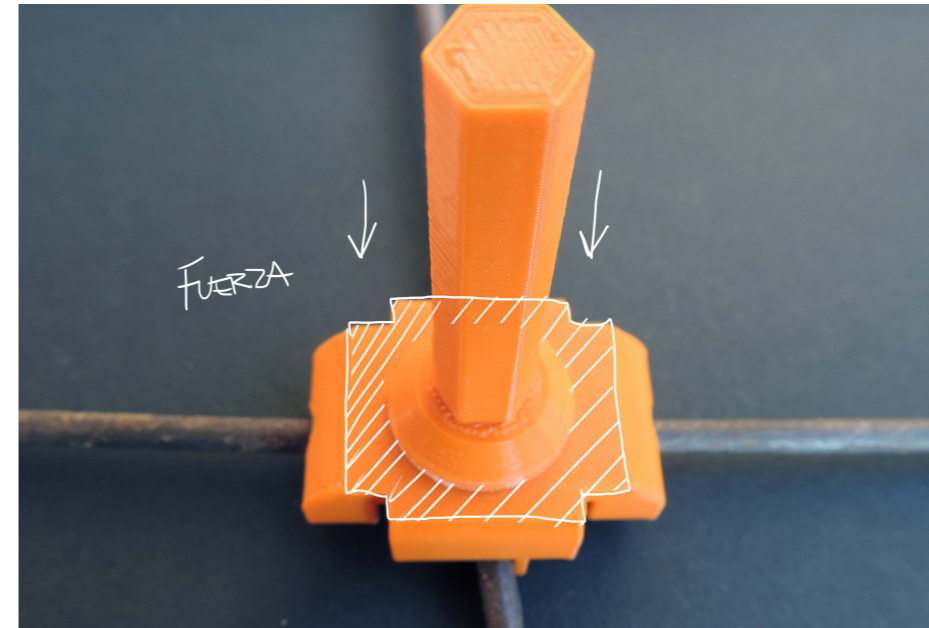


Figura 73: Zona donde se debe aplicar la fuerza. Elaboración propia.

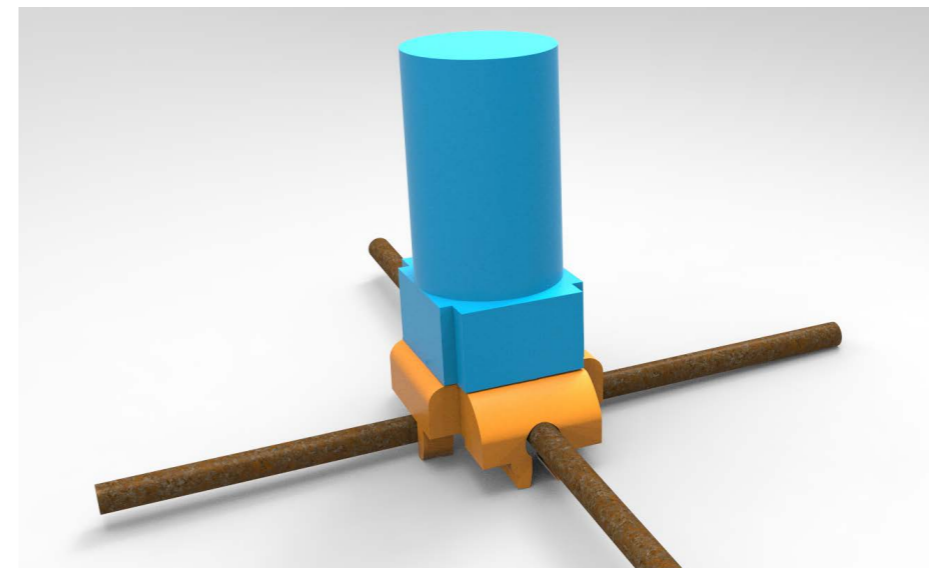


Figura 75: Render de posicionamiento de utensilio sobre el marcador. Elaboración propia.



## Renders de la propuesta



Figura 76: Visualización de la propuesta mediante render. Elaboración propia.

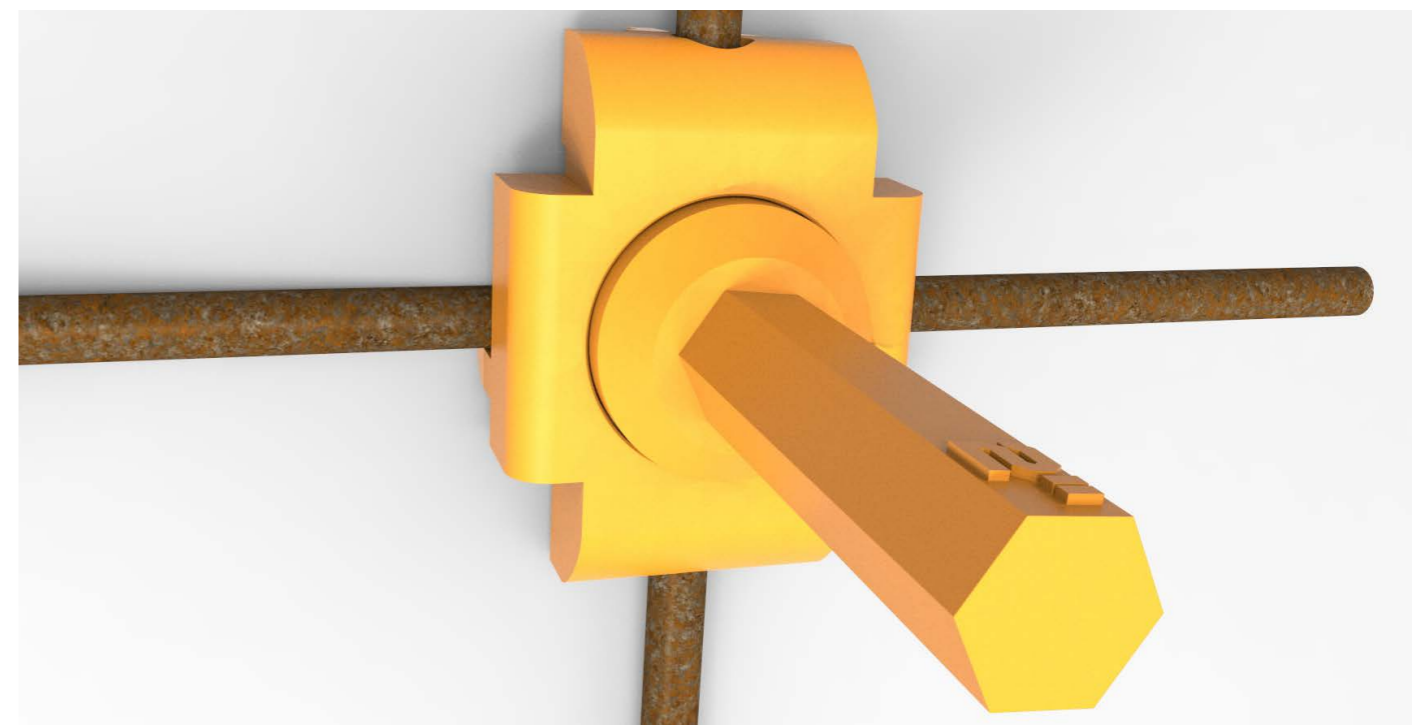


Figura 77: Visualización de la propuesta mediante render 2. Elaboración propia.







## 5. Metodología de ensayos con usuarios.



Los ensayos con usuarios constituyen un efectivo método experimental en el que un grupo prueba versiones de productos de forma controlada (...) una vez que los usuarios completan el ensayo, se les pregunta por las dificultades con las que se han encontrado o que han identificado al realizar las tareas. (Milton y Rodgers, 2013, p.122)



Se escoge este método en el proceso de desarrollo de diseño debido a la importancia de realizar pruebas con usuarios clave en la metodología de Doble Diamante para mejorar los productos y también para saber las opiniones y observar la interacción con los usuarios, ya que se entiende que en esta área es difícil la inserción de nuevos productos y más aún si afectan en algún porcentaje el modo de operar.

También se considera de mucha importancia la instancia en terreno donde se pueda probar el producto fuera de la teoría y lo conceptual, y que los propios usuarios puedan ver como funciona y comentar desde su experiencia que cosas mejorar o que cosas les agrada en el diseño.



## 5.1 Diseño del ensayo.

Para realizar el diseño del ensayo con usuarios se sigue la metodología de Milton & Rodgers (2013). Como primer paso se definen los objetivos del ensayo, es decir los problemas clave que se quieren analizar en el desarrollo de este.

Se define que el objetivo del ensayo es evaluar la usabilidad del producto creando un espacio donde se pueda testear tanto en las etapas de instalación y proyección, permitiendo observar la comprensión del artefacto por el usuario y su capacidad de cumplir la función para la que fue diseñado.

Ya definido el objetivo se diseña el ensayo considerando la cantidad de usuarios necesarios para probar el producto y la cantidad de productos que serán analizados.

Los productos a analizar son dos, marcadores para superficie roca y malla. El número de participantes es todo un equipo de proyección de shotcrete. (5 -8 personas aproximadamente) cada uno desarrolla actividades diferentes, pero quienes interactúan directamente con el producto serán ayudantes mineros u encargados, quienes instalan los marcadores y el pitonero, quien será el responsable de proyectar sobre ellos. Dichos participantes nunca han visto el producto ni interactuado con él.

Se redacta un plan de procedimiento en el que se detalla cómo se llevará a cabo el ensayo tanto en las tareas a realizar, preguntas a responder y en qué momento se responderán las preguntas.



## 5.2 Plan de procedimientos

Para llevar a cabo el ensayo con usuarios se hará una salida a terreno con equipo audiovisual a una prueba de lanzamiento de shotcrete. Se prepararan los prototipos para ser presentados a los asistentes de la obra y al equipo. La primera etapa del ensayo es la prueba de instalación, en el caso de la prueba en la malla, se deberá preparar un cajón de muestra con malla, debido a que el túnel a realizar las pruebas no tiene malla instalada. Los prototipos serán colocados a una altura accesible para su colocación de forma manual sin necesidad de un utensilio extensor, se busca observar si los usuarios comprenden como instalar el producto y averiguar si existe algún tipo de dificultad en la tarea, además de comprobar la adhesión efectiva y rápida del prototipo a la roca con el adhesivo seleccionado. Instrucciones para prototipo malla: La instalación debe realizarse en las intersecciones de la malla, aplicar un poco de presión en el prototipo sobre las intersecciones para ser insertado, se puede ayudar del utensilio facilitador.

Instrucciones para prototipo roca: Originalmente se debe colocar en las puntas de roca del túnel, pero para efectos de la prueba debe ser colocado entre 50-60 cm uno del otro. Se deben aplicar líneas de adhesivo de montaje sobre la base en las ranuras designadas y colocar en la roca, mantener presionado y esperar 5 segundos.

La observación será unos metros lejos de los usuarios, permitiéndoles trabajar con el producto sin interrumpir, a su vez también se hará un registro fotográfico de las acciones. Una vez terminada esta etapa habrá algún acercamiento a los usuarios para recibir retroalimentación o algún tipo de comentario u opinión del producto. El objetivo de esta etapa es entregar información de la comprensión del artefacto para su instalación y dificultades asociadas a la actividad.

Preguntas generales a responder después de esta etapa:

- 1) ¿El modo de instalación es comprensible para el usuario?
- 2) ¿La instalación del producto resulta difícil?
- 3) ¿Existieron complicaciones en esta etapa?

Terminada esta fase, se dará inicio a la segunda etapa del ensayo que corresponde a la experiencia con el producto en la proyección de hormigón. Una vez instalados los prototipos el supervisor de la obra señalará al pitonero el lugar a rociar hormigón. El pitonero visualizará los prototipos y de acuerdo a ellos hará la proyección de hormigón en malla y en la pared del túnel, esta parte es esencial para observar y responder preguntas acerca de la utilidad del producto:

- 1) ¿El producto instalado logra mantenerse puesto a pesar de la fuerza del rociado sobre ellos?
- 2) ¿El marcador permite mostrar durante el rociado que zonas aún necesitan capas de hormigón?
- 3) ¿Cómo se comporta el producto al entrar en contacto con el hormigón?
- 4) ¿El equipo logra diferenciar cuando ha terminado la operación por el espesor señalado por el producto?

Se hará registro de vídeo de la operación y una vez finalizada se recuperaran comentarios finales de quienes participaron en la tarea además de observar la zona post proyección del hormigón.



### 5.3 Entorno de las pruebas.

El entorno para realizar las pruebas de los prototipos fue un espacio especial destinado para pruebas de shotcrete con toda la maquinaria necesaria, trabajadores especializados y todos los procedimientos de seguridad. Normalmente en los ensayos de shotcrete, las proyecciones se hacen sobre cajones de muestra y dentro de un túnel falso. Los cajones que son rociados son marcados por cada tipo de fórmula de shotcrete usada, (Figura 78), estos se llevan a laboratorio para ser analizados posteriormente.



Figura 78: Cajones muestras de shotcrete. Foto a solicitud de la autora.

Para este ensayo con usuarios lo que se busca es probar los dos productos en desarrollo por usuarios que desarrollan estas actividades a diario, se usará la pared del túnel falso y cajones con malla como las superficies a instalar los prototipos, de esta manera se podrá ensayar la instalación, pero además comprobar la practicidad, resistencia al rociado y utilidad de ambas propuestas en desarrollo.



Figura 79: Túnel falso, lugar a realizar las pruebas de shotcrete. Elaboración propia.



## 5.4 Prototipos pruebas con usuarios

Para la prueba se preparan prototipos en varias unidades ya que el producto debe cubrir una zona para funcionar. Los prototipos utilizados para la prueba tanto para roca y para malla fueron de 2 pulgadas de espesor, se elige esta medida ya que es uno de los espesores que más se usa en obras según lo señalado por la empresa, además es una medida que permitirá probar el producto sin utilizar cantidades excesivas de hormigón, como podría ser en el caso de prototipos de 4 pulgadas.

Se llevaron para esta prueba una suma de 30 prototipos fabricados mediante tecnología FDM, con un relleno de 100% simulando como sería una pieza realizada mediante inyección, el material utilizado para estos prototipos fue PLA. También se anexa un utensilio para facilitar la aplicación de los prototipos en la malla.

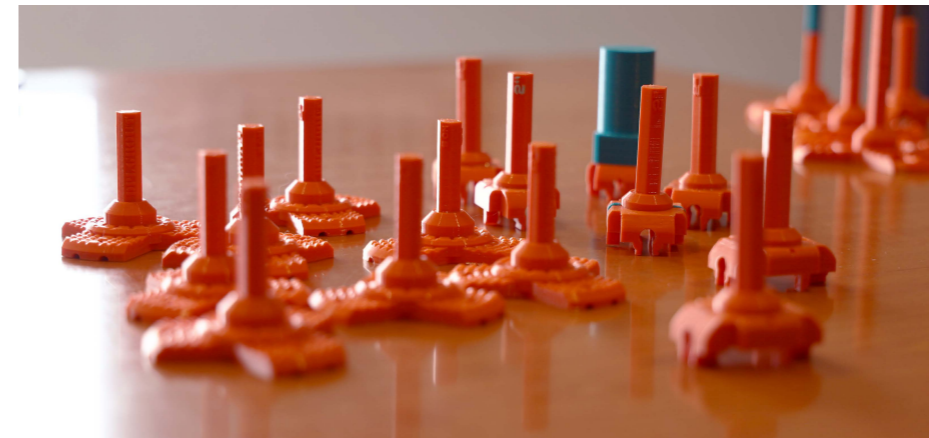


Figura 80 Y 81. Prototipos para la prueba. Foto sacada a solicitud de la autora.





## 6. Ensayos con usuarios malla

### 6.1 Preparación de la superficie a colocar

Para poder realizar la prueba del prototipo que se inserta en malla, se tuvo que preparar un cajón de pruebas e instalar un recorte de malla Acma de 4,2 mm de diámetro. Los encargados de preparar el cajón fueron trabajadores de DPL GROUT que tienen experiencia preparando cajones para pruebas de shotcrete y cuentan con las herramientas necesarias.



Figura 82: Preparación de cajón para shotcrete con malla Acma. Foto a solicitud de la autora.



Figura 83: Cajón para prueba de shotcrete con malla. Foto a solicitud de la autora.



## 6.2 Instalación

### 6.2.1 Actividad / descripción

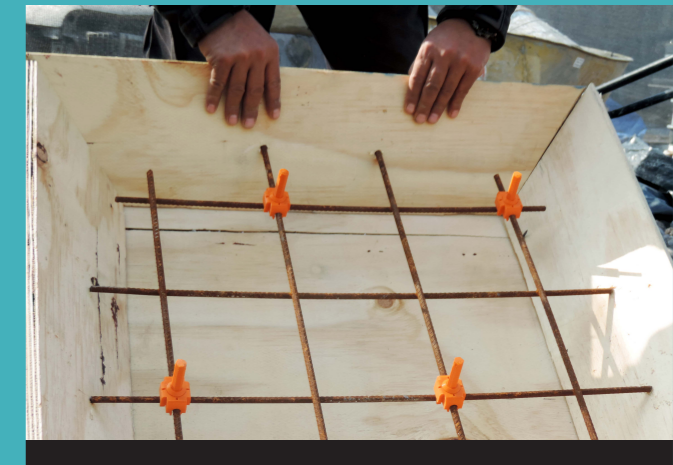
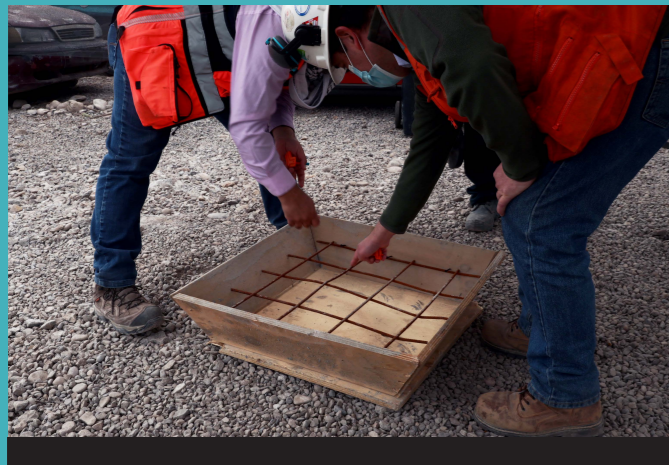
Se presenta el producto a los trabajadores y se dan breves indicaciones. Se explica a los asistentes que el producto para malla puede insertarse en esta sin el uso de pegamentos en las intersecciones de la malla.

Posterior a las instrucciones se da la tarea de instalación a uno de los usuarios presentes. La observación de la actividad se hace desde unos metros sin interrumpir ni entrometerse en el ejercicio que hace el usuario.

Al usuario se le da la opción de usar un utensilio que permite distribuir mejor la fuerza aplicada en el producto si es que lo requiere para facilitar la inserción del producto

Finaliza exitosamente la instalación de los prototipos en la malla y queda lista para la prueba de shotcrete

### 6.2.2 Registro fotográfico



### 6.2.3 Observaciones de la tarea

Los usuarios se dan unos minutos para analizar el producto en sus manos y los puntos donde insertarlos en la malla.

Se observa que el usuario comprende rápidamente como instalar el producto en las intersecciones de la malla como se aprecia en la imagen.

En la instalación de un prototipo, uno de sus topes se rompe, dicho prototipo se descarta.

La instalación completa de este cajón con malla se realizó en un par de minutos.





### **6.3. Preguntas a responder después de la instalación**

Terminada la etapa de instalación de este producto se responden las preguntas planteadas en el plan de procedimientos del ensayo de acuerdo a lo observado y lo conversado con los usuarios posterior al ensayo.

#### **6.3.1 ¿El modo de instalación es comprensible para el usuario?**

Después de presentar el producto a los usuarios y ya teniéndolo en sus manos aseguran que comprenden cómo funciona el diseño del agarre en la malla, además los usuarios elegidos para hacer la prueba de instalación demoraron pocos minutos en insertarlos todos en algunas de las intersecciones de la malla.

#### **6.3.2 ¿La instalación del producto resulta difícil?**

Para la instalación de este prototipo se requiere la aplicación de fuerza en su base para poder insertarse, lo que puede incrementar su nivel de complejidad, es por esto que se entrega un utensilio que permite aplicar fuerza con un mejor punto de apoyo. El usuario asegura que no se le dificultó el proceso.

#### **6.3.3 ¿Existieron complicaciones en esta etapa?**

Uno de los prototipos no resistió una fuerza mal aplicada y una de sus partes se rompió dejándolo inutilizable, este de descarta.

#### **6.3.4 Conclusiones de esta etapa.**

Se concluye que el diseño del prototipo es un poco delicado para la fuerza y el tipo de instalación en la que se involucra, se debe trabajar en una opción más resistente para el contexto y las variables que se presenten.



## 6.4. Proyección

### 6.4.1 Actividad / descripción

El jefe de turno le indica al pitonero que la próxima zona a proyectar es el cajón de malla con los marcadores.

El pitonero se posiciona en la maquina de levante con ayuda de los operadores de maquinas para quedar en la altura perfecta para la proyección sobre la malla.

El pitonero comienza la proyección sobre el cajón con malla, el cajón se rellena de hormigón para la prueba.

Finaliza la proyección sobre el cajón y el pitonero desmonta la pistola para su limpieza.

### 6.4.2 Registro fotográfico



### 6.4.3 Observaciones de la tarea

Se posiciona y le hace una seña al capataz para mostrarle que hará la proyección donde se indica.

Mediante señas se comunica con los operadores de la maquina de levante para posicionarse antes del rociado.

Al comenzar la proyección se ve la fuerza con la que impacta el chorro de hormigón a los prototipos. Los prototipos insertos en la malla quedan inmóviles ante la fuerza del rociado

El capataz visualiza y le hace señas al pitonero para indicar que esta listo. El cajón es llenado sin complicaciones y los prototipos quedan fijos en su posición.



## 6.5. Preguntas a responder después de la proyección

Terminada la etapa de proyección del cajón con malla se pueden responder las preguntas planteadas en el plan de procedimientos

### 6.5.1 ¿El prototipo instalado logra mantenerse puesto a pesar de la fuerza del rociado?

Los prototipos insertados en la malla resultan inmóviles antes y durante la proyección, uno de los factores más importantes a considerar para este diseño era que pudiera instalarse sin uso de adhesivos extra y que se mantuviera firme durante la proyección.

### 6.5.2 ¿Cómo se comporta el producto al entrar en contacto con el hormigón?

Lo que primero se observa es como al pasar capas de hormigón proyectado sobre los prototipos el color de estos es tapado por el gris del propio hormigón. Con respecto al diseño y la morfología, resisten bien la fuerza del hormigón proyectado sobre ellos, su agarre es sólido, no se ven afectados por el chorro disparado, no se observa que tiemblen o se salgan de su posición cuando se aplica el chorro de hormigón.

### 6.5.3 ¿El marcador permite mostrar durante el rociado que zonas aún necesitan capas de hormigón?

Pese a que el hormigón tapa el color de los prototipos, estos aún se divisan por morfología y extensiones que sobresalen, por desgracia la prueba sobre cajón no permite monitorear una zona más extensa ya que se utiliza un cuadrado de malla.

### 6.5.4 ¿El equipo logra diferenciar cuando ha terminado la operación por el espesor señalado en el producto?

Se observó como se vuelve notorio una vez que los prototipos fueron tapados completamente, tanto el pitonero como el supervisor de la obra se dieron cuenta de esto y dan la señal para dejar de proyectar hormigón por las mangueras.





## 7. Ensayos con usuarios Roca

### 7.1 Preparación de la prueba

La instalación de estos prototipos como se mencionó anteriormente se hace dentro del túnel falso, para este será necesario utilizar pegamento que permita la adhesión entre estos y el sustrato. El pegamento seleccionado para la prueba es un adhesivo de montaje de acción inmediata, se utiliza el mismo pegamento pero en dos envases diferentes, el formato “Cartucho” requiere la pistola para su aplicación y el formato “Blíster” puede utilizar de manera libre con la mano.

Descripción	Adhesivo en base de dispersión en disolventes orgánicos
Material	Caucho de policloropreno modificado con cargas
Densidad (kg/l)	Aprox. 1,18
Fuerza de Tracción (24hrs)	Aprox. 75 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia	Resistencia a la humedad y temperaturas de -20 a 110 °C



Figura 84: Adhesivo formato “Blíster”. Elaboración propia.



Figura 85: Adhesivo formato “Cartucho”. Elaboración propia.



## 7.2 Instalación

### 7.2.1 Actividad / descripción

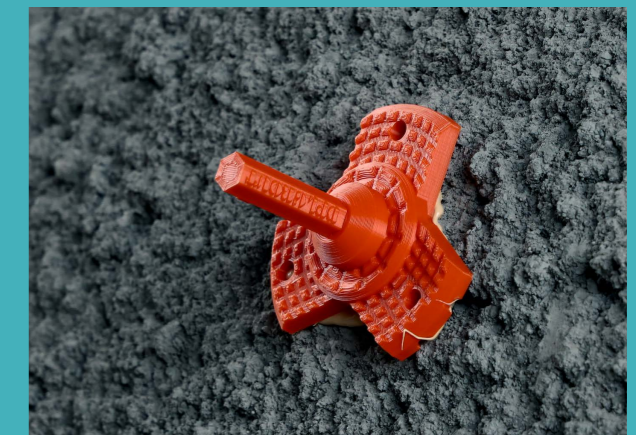
Se entregan a los usuarios los prototipos, el pegamento de montaje y la pistola para la aplicación de este. Se explica que el pegamento debe aplicarse en la base del prototipo y al colocarse debe mantenerse por unos segundos.

Después de la entrega del material, los usuarios se dirigen a la pared del túnel artificial para la colocación de los prototipos.

Entre cada uno de los marcadores se dejan entre 50 y 60 cm aproximadamente.

La instalación de estos prototipos en un tramo de 2x3 metros con usuarios sin experiencia previa demoró al rededor de 7 minutos.

### 7.2.2 Registro fotográfico



### 7.2.3 Observaciones de la tarea

Se observa que el formato de adhesivo que requiere utilización de la pistola, requiere mayor fuerza en la mano para su aplicación

Entre 3 participantes se organizan las tareas, lo que permite colocar de forma eficiente y rápida los prototipos.

La actividad se desarrolla mientras se espera por la llegada de un camión con hormigón, por lo que este procedimiento no causa demoras al equipo de proyección.

Se observa que el prototipo queda firme tras unos minutos después de su colocación. Durante el tiempo post instalación ninguno se despegó.



### 7.3. Preguntas a responder después de la instalación

Posterior a esta etapa se pueden responder las preguntas planteadas en el plan de procedimientos.

#### 7.3.1 ¿El modo de instalación es comprensible para el usuario?

La instalación de este prototipo fue simple e intuitiva, según los usuarios mediante comunicación interpersonal, no quedan dudas de como se debe colocar.

#### 7.3.2 ¿La instalación del producto resulta difícil?

Se observó la existencia de un grado mayor de dificultad en el uso del pegamento sobre superficie de hormigón debido a su alta porosidad en comparación a una superficie de roca que tiende a ser más lisa. Pese a esto, el procedimiento de colocación de los marcadores no fue complicado, si bien se tuvo que usar una porción de pegamento más abundante, esto no afectó en el procedimiento de instalación.

#### 7.3.3 ¿Existieron complicaciones en esta etapa?

Se usó un tipo de pegamento pero en envases diferentes, el envase tipo cartucho que requería la pistola exigía mucha fuerza en la mano, lo que provocaba un nivel de cansancio en el usuario. Por otro lado, el pegamento en formato blíster fue muy sencillo de usar pero contenía menos producto que el formato cartucho.

#### 7.3.4 Conclusiones de la etapa.

En términos generales, esta etapa resultó rápida y sin complicaciones mayores, una de las ventajas observadas fue que la instalación de estos prototipos se realizó mientras se esperaba por la llegada de un camión con hormigón, por lo que en ningún momento se interfirió con las actividades principales de proyección para poder colocar el prototipo.



## 7.4. Proyección

### 7.4.1 Actividad / descripción

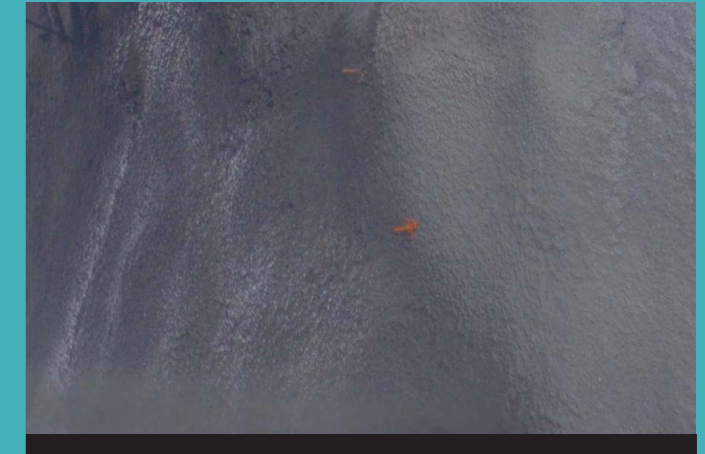
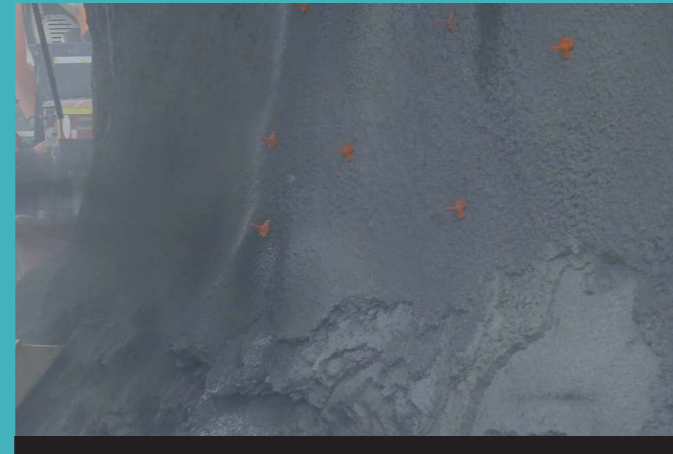
El equipo se prepara para realizar la proyección. El pitonero debe observar la zona a proyectar marcada por los prototipos y proyectar el hormigón de el espesor que indican los marcadores.

Después de preparar la mezcla, la pistola y las mangueras, comienza la proyección sobre los marcadores para roca.

El pitonero realiza la proyección por la zona con movimientos circulares y se da por terminado cuando marcadores son completamente tapados.

La actividad es observada por varias personas entre ellas operadores, especialistas, supervisores, invitados.

### 7.4.2 Registro fotográfico



### 7.4.3 Observaciones de la tarea

El jefe de turno de la obra muestra al pitonero la zona a rociar según los marcadores instalados.

Al pasar el chorro de hormigón cerca de los marcadores estos pierden su color.  
Ninguno de los prototipos puestos en la pared del túnel se cae y resisten bien el proyección de hormigón.

El jefe de turno que supervisa la proyección también puede ayudar al pitonero a indicarle con señas cuando ha terminado la operación.

Tanto el jefe de turno como el pitonero se guían por los marcadores. La vista del pitonero de estos es frontal y la del jefe de turno es lateral





## 7.5. Preguntas a responder después de la proyección

Una vez ya finalizada la prueba se da el espacio para realizar anotaciones de lo observado y compartir con los usuarios sobre su experiencia en esta etapa.

### 7.5.1 ¿El prototipo instalado logra mantenerse puesto a pesar de la fuerza del rociado sobre ellos?

Los prototipos pegados en la pared del túnel falso sobre superficie porosa de hormigón, quedan inmóviles ante la fuerza del rociado. Se observó la existencia de un grado mayor de dificultad en el uso del pegamento sobre superficie de hormigón debido a su alta porosidad en comparación a una superficie de roca que tiende a ser más lisa.

### 7.5.2 ¿Como se comporta el producto al entrar en contacto con el hormigón?

Lo que primero se observa es como al pasar capas de hormigón proyectado sobre los prototipos: el color de estos es tapado por el gris del propio hormigón y se visualizan los pilares centrales sobresalientes indicando el nivel de hormigón aplicado en esa zona. Con respecto al diseño y la morfología del prototipo, se observa que resisten bien la fuerza aplicada por la pistola de hormigón, ninguno se rompe.

### 7.5.3 ¿El marcador permite mostrar durante el rociado que zonas aún necesitan capas de hormigón?

Pese a que el hormigón tapa el color de los prototipos, estos aun se divisan por sus extensiones que sobresalen, además gracias al trabajo en equipo, la visión de estos es desde el pitonero pero también del capataz o jefe de obra, que supervisa y puede monitorear desde otra vista los marcadores.

### 7.5.4 ¿El equipo logra diferenciar cuando ha terminado la operación por el espesor señalado por el prototipo?

Durante la prueba se observó como al llegar al espesor marcado por los prototipos el capataz confirma mediante señas al pitonero que el espesor de la proyección esta listo, en este momento el pitonero para la proyección sobre la zona.





## 8. Resultados del ensayo

### 8.1. Lista de problemas

El resultado del ensayo es la obtención de una lista de problemas que son clasificados por orden de gravedad de acuerdo a lo observado durante el ensayo y la opinión de los usuarios, el análisis de estos datos determinara de que forma pueden ser usados para el proceso de diseño con el objetivo de mejorar el producto.

	A)	B)
Visibilidad del producto en el túnel	2	2
Adhesión	4	5
Control de calidad, verificar que fueron puestos	3	3
Utensilio para su colocación en lugares inaccesibles	1	4
Durabilidad durante la instalación y proyección.	5	1

Figura 86: Orden de problemas. Elaboración propia.

Se realiza una tabla que muestra las principales problemáticas existentes en relación al producto y la enumeración de estas de 1 a 5 por orden de gravedad considerando 1 como de mucha urgencia y 5 como una problemática que estaría muy cercana a estar resuelta según la información recopilada en la observación y opiniones de los usuarios durante la prueba.

Las problemáticas giran en torno a la visibilidad del producto, la adhesión a la superficie, el control de calidad que ha sido una problemática propuesta por los usuarios, la necesidad de un utensilio para facilitar la colocación de los marcadores en lugares donde no pudiera alcanzarse por altura, que también fue una problemática propuesta por los usuarios que ya se había contemplado como parte del proyecto y la durabilidad de los marcadores mientras se instalan y se proyecta sobre estos. El orden de las problemáticas se hace por separado, tanto para el diseño A (roca), como el diseño B (malla) debido a que en cada uno hay urgencias diferentes según lo que se puede observar (Figura 86).



## 8.2 Utensilio para la colocación

El desarrollo de un medio para la colocación de producto ya había sido planteada en el proyecto y en este punto es reafirmada por los usuarios, la necesidad de un implemento que ayude la instalación en lugares de difícil alcance. Durante las entrevistas y la comunicación interpersonal con los usuarios y afectados se da a entender que termina siendo muy rentable que exista este utensilio ya que no se necesitarían maquinas, operadores especializados ni recursos adicionales para utilizar el producto. La importancia a parte de su utilidad radica en que cualquier operador sin experiencia podría usarlo lo que resulta beneficioso económicamente y a nivel de ahorro de recursos, algo que se busca constantemente en estos rubros. Entendiéndose que cualquier trabajador lo puede utilizar, la instalación podría ser en cualquier momento antes de la proyección, ahorrándose tiempo y no retrasando las operaciones de proyección.

## 8.3 Durabilidad

Es importante que cada unidad del producto sea resistente y no se rompa si se encaja mal, ya que esto al final termina siendo una pérdida. En el ensayo se pudo presenciar como uno de los prototipos se rompe por ser mal encajado.

## 8.4 Visualidad del producto en el túnel

Esta es una problemática desde el inicio del proyecto ya que por medio de la visualidad es como se propone que el equipo identifique cuando finalizar la proyección de hormigón. En las entrevistas posteriores al ensayo, se reafirma que los pitoneos son muy visuales, capaces de imitar los espesores que visualizan, por lo que la visualización de los marcadores antes del rociado es importante para ellos igualmente. La prueba se hizo en un túnel artificial al que le podía llegar luz natural lo que mejoraba la visibilidad de los prototipos, pero dentro de un túnel existen otras condiciones de luz, por esto la visibilidad de los prototipos es una problemática a considerar. También se debe pensar en que una vez empieza la proyección el color del marcador cambia a gris por el propio hormigón, lo que también afectaría en cierto punto en la visibilidad.

## 8.5 Control de calidad

Ésta problemática es propuesta por los usuarios, al sentir la necesidad de que finalizada la proyección sobre los prototipos, estos quedan 100% tapados, y para este tipo de rubros se requiere mostrar el control de calidad a sus clientes demostrando que realmente utilizaron un método para trabajar el espesor requerido.

## 8.6 Adhesión

El adhesivo a utilizar solo afecta al diseño de marcador para roca. Durante el ensayo se pudo observar como el adhesivo utilizado permitió que el producto quedara firme durante la instalación y en la proyección del hormigón. Sin embargo se toma en cuenta que aún así podría optimizarse el uso de pegamento considerando que para proyectar varios metros de túnel, se requerirían varias unidades del producto, lo que implicaría que cada uno de estos debe pegarse con dicho adhesivo.

Durante el proceso se pudo observar como usuarios sin conocer ni haber visto el producto antes del ensayo pudieron implementarlo en una de sus rutinas de proyección de shotcrete.



## 8.7 Conclusiones

En general los comentarios sobre ambos diseños fueron positivos, además se mostró interés por el producto no solo por los participantes de las pruebas si no también de asistentes que observaban la actividad quienes en distintas ocasiones se acercaban a conversar. Se logra evaluar la usabilidad del producto tanto en su proceso de instalación como también en su función de marcar un espesor determinado. Dado esto se cumple el objetivo principal del ensayo. Considerando las problemáticas prioritarias y los comentarios de los usuarios clave se hacen algunas modificaciones en los diseños.



## 9. Modificaciones en el diseño.

### 9.1 Diseño para malla

Con respecto al diseño B, es decir, el diseño para superficie malla, se hacen pequeños cambios en su base, esto debido a que uno de los prototipos en el ensayo se rompió mientras se instalaba. Se modifica la forma y grosor de sus topes, se decide cambiar a una forma que permita que una vez se este instalando y se ha posicionado no correctamente, la propia morfología del tope permita redireccionar a la posición correcta, esto se logra mediante una curvatura en la arista externa del tope a modo de que la malla se deslice a la zona correcta, además se modifican sus medidas para lograr que sea un tope más resistente.

Además de estos ajustes se propone un indicador visual para hacer coincidir el producto con la malla, este indicará cual es el punto medio de la base del marcador, así reduciría la probabilidad de encajarlo de manera incorrecta y que se rompa. Considerando que estas guías sería tapadas si es que se hace uso del utensilio para mejorar la superficie de apoyo al aplicar la fuerza, se puede hacer que esta marca visual sobresalga y pueda encajarse en el utensilio y continuar en este.

Existen dos propuestas para la guía visual en la base, la primera es mediante unas oquedades justo en los puntos donde se debe hacer coincidir con la malla, y la otra es mediante uso de color contrastante en los puntos medios.

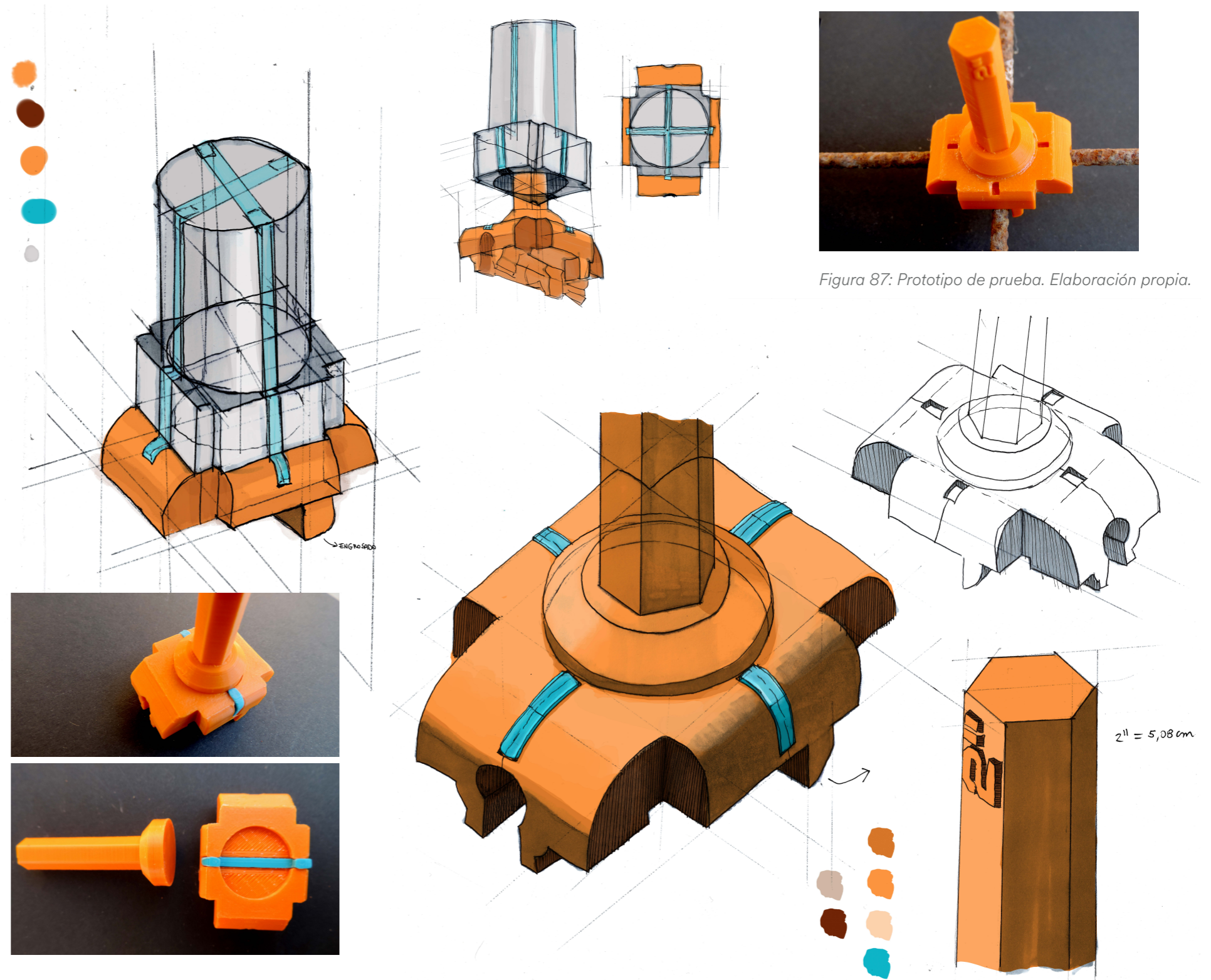


Figura 87: Prototipo de prueba. Elaboración propia.

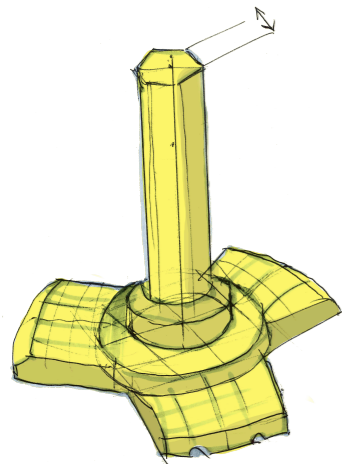
Figura 88: Prototipo de prueba. Elaboración propia.

Figura 89: Bocetos. Elaboración propia.



## 9.2 Visualidad del producto

Color: Dado que las pruebas se hicieron con luz natural, no se pudo evaluar la visibilidad dentro de un túnel real sin embargo los usuarios clave hicieron comentarios sobre el color de los prototipos, señalando que el color naranja que se estaba ocupando podría cambiarse por un color más brillante y más contrastante con el hormigón. De acuerdo a estas observaciones se hace lección de un nuevo color para los siguientes prototipos, un color amarillo flúor.



prototipos, un color amarillo flúor.

Morfología: A modo de observación personal se decide aumentar el grosor del pilar transversal a la base, a modo de mejorar la visibilidad desde su vista superior y su vista isométrica. Esto se aplica en ambos diseños.

Figura 90: Bocetos. Elaboración propia.

## 9.3 Control de calidad

Una de las inquietudes manifestadas fue que el producto después de aplicarse el hormigón, no dejaba ningún rastro visible de que realmente fue utilizado, lo que no permitiría asegurarlo a los clientes que realmente se usaron métodos para el control del espesor.

Se proponen 3 alternativas para poder manejar este tema:

a) Colocar una zona con metal en su extremo, que posterior a la proyección se pueda verificar si están instalados pasando un sensor que capte el metal. Esta opción no funcionaría si es que hay una malla de metal instalada.

b) Colocar una extensión delgada tipo antena en los marcadores que sobresalga del hormigón ya proyectado. Esta opción permitiría ver sobresaliendo del hormigón estas extensiones tipo alambre pero considerando que los marcadores se producirían en varias cantidades, el almacenamiento y transporte de estos con estas antenas podría ser complejo y poco manejable también en las manos de los operadores, además dependiendo del largo podrían engancharse en el uniforme u otras partes.

c) Añadir una prolongación del mismo material del marcador en una unidad medible con un cuerpo más delgado y con diferente forma a modo de contraste con el cuerpo principal, ya que el espesor se tiende a medir en pulgadas, podría usarse 1 pulgada sobresaliente del marcador con un color que se diferencie del cuerpo principal del cual se debe tomar referencia para la proyección. Esta opción podría hacer que el pitonero proyecte una pulgada más de espesor del requerido si es que no se fija en el cambio de figura que indica que ha acabado.

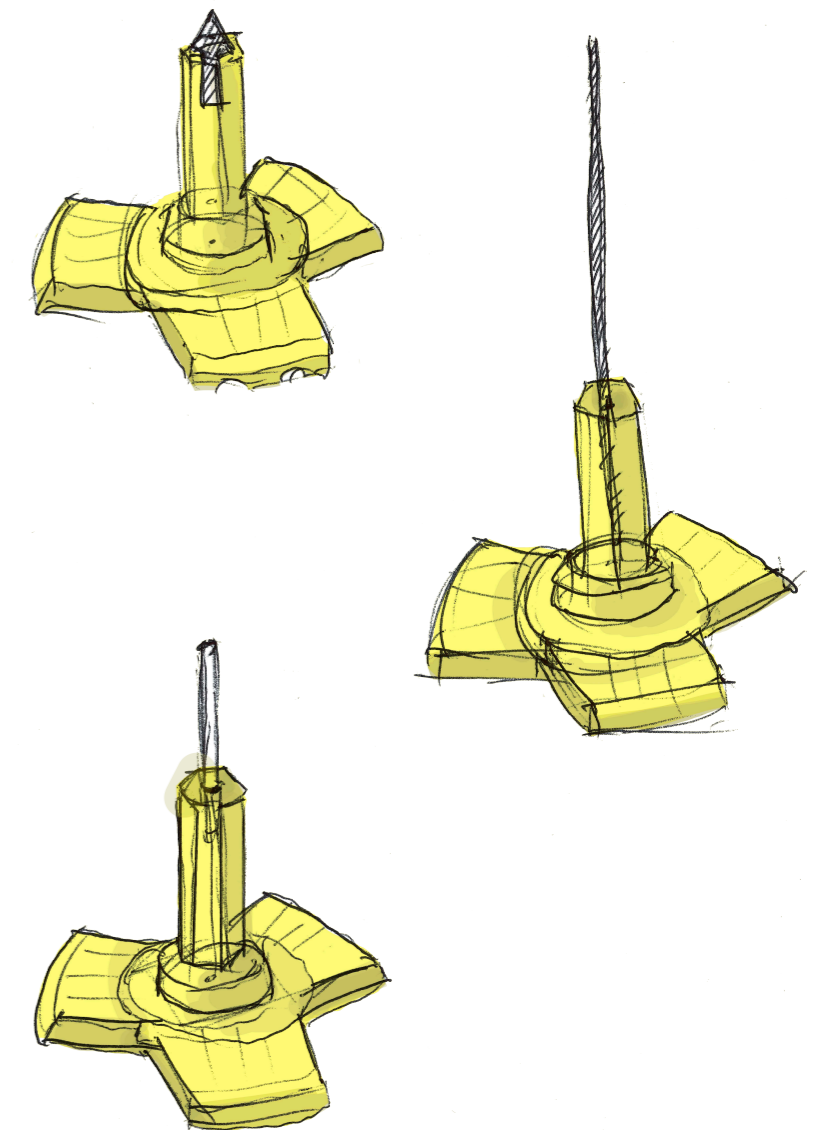


Figura 91: Bocetos. Elaboración propia.



## 10. Diseño conceptual implemento

Si bien la necesidad de un implemento facilitador de colocación a distancia fue considerado una de las problemáticas, se toma como un proyecto a parte, debido a su complejidad y largo desarrollo, aún así, a continuación se preparan algunas aproximaciones, e ideas iniciales para este proyecto.

### 10.1 Requerimientos

Para el desarrollo del diseño del implemento para la colocación de los marcadores a distancia se hace una tabla de requerimientos y atributos con el fin de definir los aspectos básicos necesarios en la consideración de su diseño.

	Requerimientos	Atributos	Atributos 2
Prácticos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Largo ajustable</li> <li>2. Ángulo ajustable en mínimo 180° por la curvatura del túnel</li> <li>3. Tipo de agarre de los prototipos</li> <li>4. Transportable</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 y 4. Extensión Telescópica</li> <li>2. Punto en la zona cercana al agarre del prototipo que permita rotar y ajustarse al ángulo en el que se encuentre la roca..</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 y 4. Extensión Telescópica ajustable a tamaños desde 1 metro hasta 3-4 metros.               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Adapte al ángulo de la roca mediante el uso de equilibrio y la gravedad.</li> <li>2.2 Adapte al ángulo de la roca de forma manual ajustando la inclinación requerida y fijandola para proceder a la instalación.</li> </ol> </li> </ol>
Indicativos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Facilitar la visión del punto a colocar el producto.</li> <li>2. Interfaz identificable</li> <li>3. Indicación en el producto del modo de uso si se requiere.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proyección de luz en la roca que muestre el punto donde se colocara el producto.</li> <li>2. Uso de 2 a 3 colores asociados a partes del producto.</li> <li>3. Pictogramas que indiquen modo de uso en las secciones donde el usuario debe actuar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Luz tipo laser a modo de marcador o led de colores contrastantes a la superficie para iluminar directamente el área a colocar el producto.</li> <li>2. Distinción por colores: partes de interacción con el usuario directa, partes que no son los puntos clave de funcionamiento.</li> </ol>
Socio-culturales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puede utilizarse sin la necesidad de operadores especializados</li> <li>2. Estética acorde a productos tipo herramientas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño simple mediante morfologías ya conocidas por el usuario.</li> <li>2. Uso de colores y materiales relacionados al área de productos de herramientas de trabajo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Colores como negro, amarillo, naranja, rojo.</li> </ol>
Sensoriales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Liviano</li> <li>2. Agarrarse con las dos manos</li> <li>3. Hapticidad en la zona del agarre del usuario.</li> <li>4. Empuñadura antideslizante</li> <li>5. De fácil limpieza.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 y 5. Materiales livianos y vacios por dentro como: Tuvos de PVC, aluminio, fibra de carbono.</li> <li>4 y 3. Materiales como goma o caucho para la zona del agarre con las manos.</li> <li>5. Considerar superficies planas sin texturas para evitar espacios donde se pueda acumular suciedad.</li> </ol>	
Económico y legal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sin uso de motor.</li> <li>2. Costo muy reducido en comparación a máquinas con la misma función.</li> <li>3. Durable.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Materiales de calidad</li> <li>1. y 2. Si requiere el uso de energía, debe ser de bajo consumo y usarse una alimentación de tipo pilas o baterías.</li> </ol>	

Figura 92: Tabla de requerimientos y atributos. Elaboración propia.





10.2 Moodboard

Figura 93: Moodboard inspiracional. Elaboración propia.



### 10.3 Bocetos exploratorios

Una vez ya definidos los requerimientos y la realización del moodboard de inspiración, comienza una exploración conceptual mediante bocetos tomando como base los requerimientos y como referencia el moodboard a modo de lluvia de ideas.

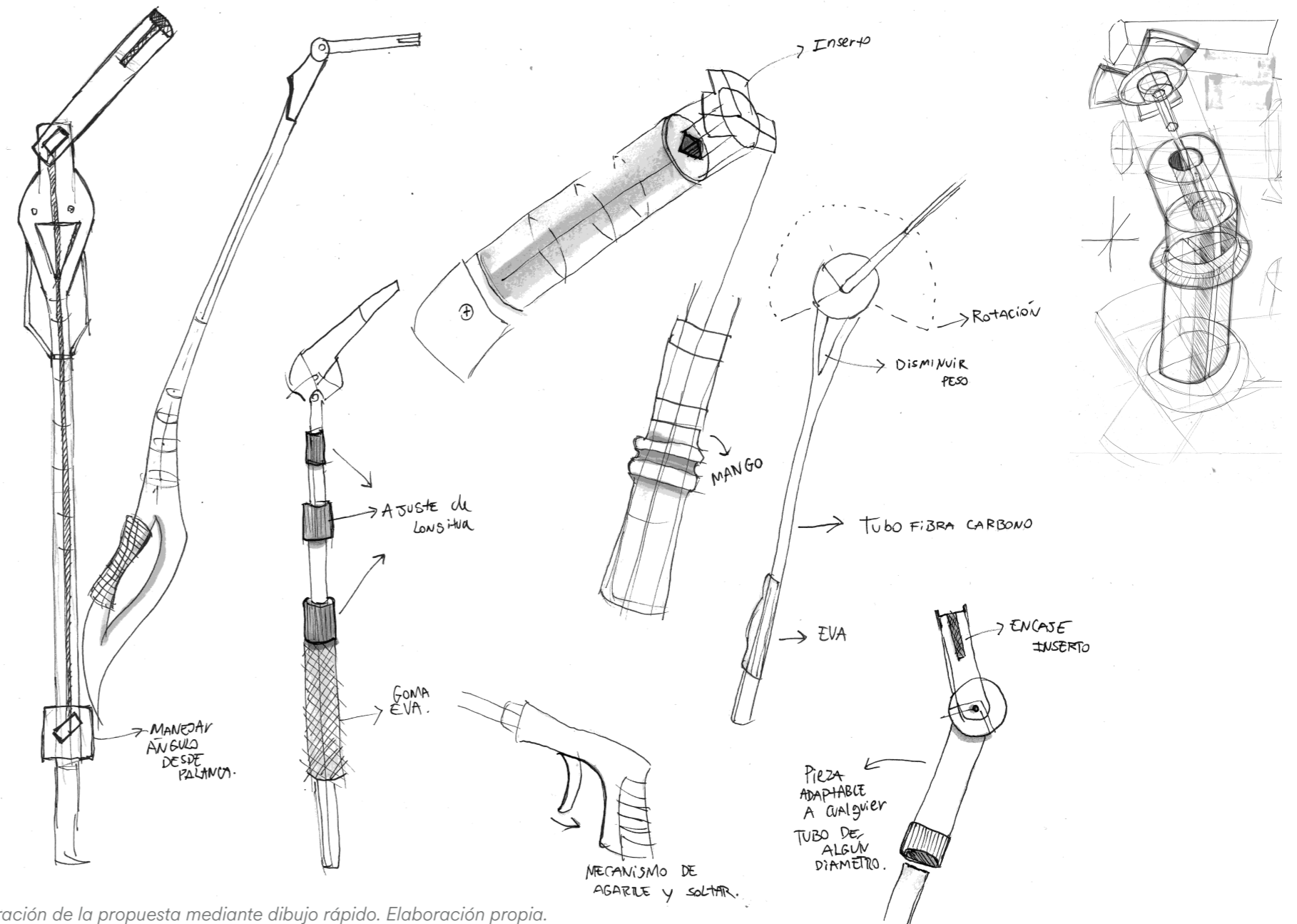


Figura 94: Exploración de la propuesta mediante dibujo rápido. Elaboración propia.



#### 10.4 Consideraciones de diseño del largo

Uno de los requerimientos más importantes para poder alcanzar lugares de difícil acceso es que tenga el largo necesario sobre 2-3-4 metros como valor inicial, considerando la variedad de túneles y sus diferentes alturas, es importante que este largo pueda ajustarse según las necesidades del usuario.

Para esto se planea utilizar extensión telescópica, la cual permite customizar el largo y mejorar las condiciones de transportabilidad del implemento.

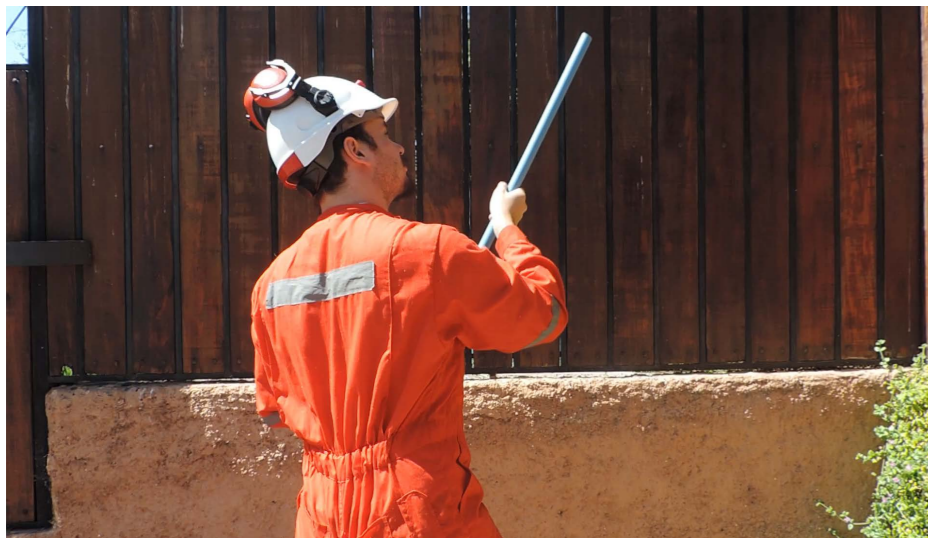


Figura 95: Imagen de persona en posición de agarre de un implemento extenso simulando actividad de colocación. Elaboración propia.

Se realizan pruebas de agarre de un implemento largo tubular y la posición de las manos sobre este imitando la acción de colocar los marcadores, gracias a esto se da un margen de un metro de largo destinado al agarre del usuario, posterior a este se define que comenzaran las extensiones telescópicas.

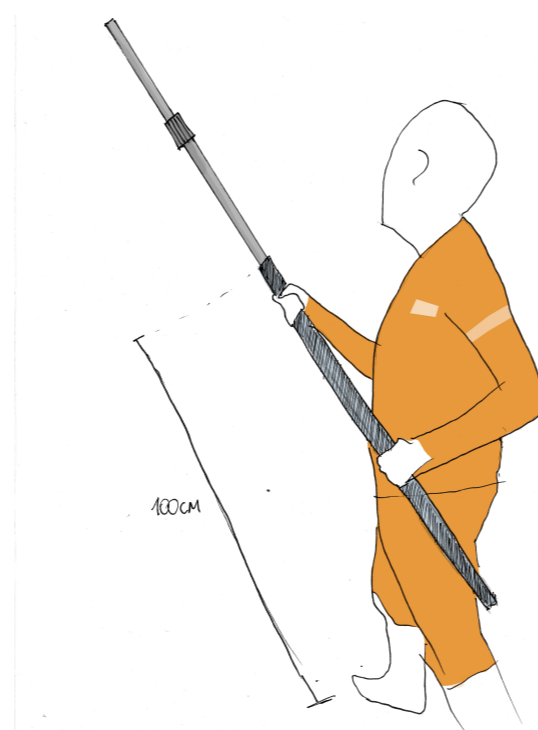


Figura 96: Dibujo de la posición y el agarre del implemento por el usuario. Elaboración propia.

#### 10.5 Consideraciones de diseño para el agarre

El agarre para el usuario debe ser cómodo y antideslizante, para definir bien el diseño de la empuñadura, se exploran morfologías mediante dibujo y prototipos enfocados, los cuales según Ulric y Eppinger (2013), realizan uno o pocos de los atributos del producto, en este caso, para explorar la forma del agarre. En la Figura 97, se observa una espuma modelada a modo exploratorio en búsqueda de morfologías hápticas para el agarre.



Figura 97: Prototipo de primera aproximación a la morfología de la zona de agarre. Elaboración propia.



A modo de simular la extensión telescópica se utiliza un tubo de pvc, además como se observa en la Figura 98 se agregan 2 botones que contemplan la opción de poder accionar algún atributo a distancia, tales como los planteados en la tabla de requerimientos y atributos, donde se muestra la opción de uso de láser para marcar la posición en la que se colocaría el marcador en la roca, o leds que permitan iluminar el área donde se colocaría el marcador, también podría ser utilizado para el agarre del marcador.

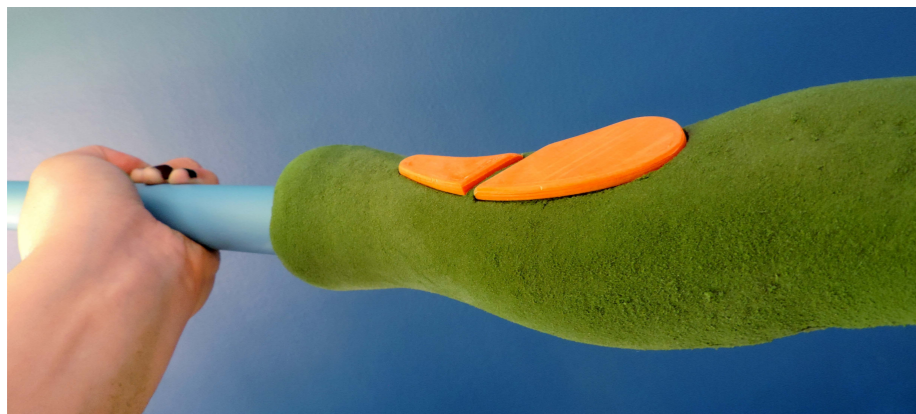


Figura 98: Prototipo enfocado realizado en espuma. Elaboración propia.

### 10.6 Propuestas de ángulo ajustable

Para que el implemento permita colocar marcadores en las paredes y techo del túnel, se sugiere que el extremo superior debe ajustarse a los ángulos que el usuario requiera, para lograr esto se colocan dos propuestas en los atributos que podría tener el producto. La primera propuesta consiste en trabajar con un punto clave que permita rotar una pieza cilíndrica en el eje Y, esta pieza cilíndrica sería la sección donde se colocarían los marcadores, la idea es que al extremo opuesto se incorpore el peso necesario para que el extremo donde se posicionaría el marcador siempre quede arriba. A modo de explicación de la propuesta se realiza un prototipo rápido utilizando un tubo de pvc y modelando una pieza CAD para conectar la sección que rota con el tubo principal. Para el eje de rotación se utiliza un perno y una tuerca. El tipo de agarre considerado en esta propuesta es simplemente por gravedad, es decir el marcador colocado se mantiene en su posición por que el extremo en el que se sitúa siempre quedara inclinado hacia arriba.



Figura 99: Prototipo de la pieza que rota. Elaboración propia.

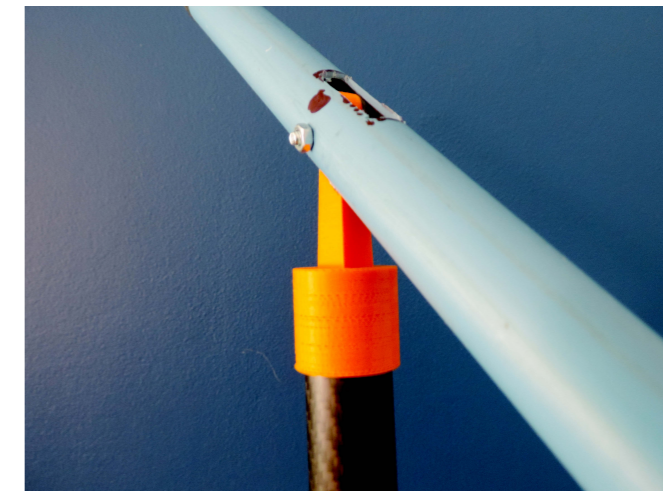


Figura 100: Detalle del punto de rotación. Elaboración propia.



Debido a la fácil fabricación del mecanismo, también se probó esta manera de conseguir el ángulo correcto con usuarios. Se utiliza como elemento principal largo una pértiga minera. A continuación se presenta una compilación de imágenes de la aplicación de la propuesta.

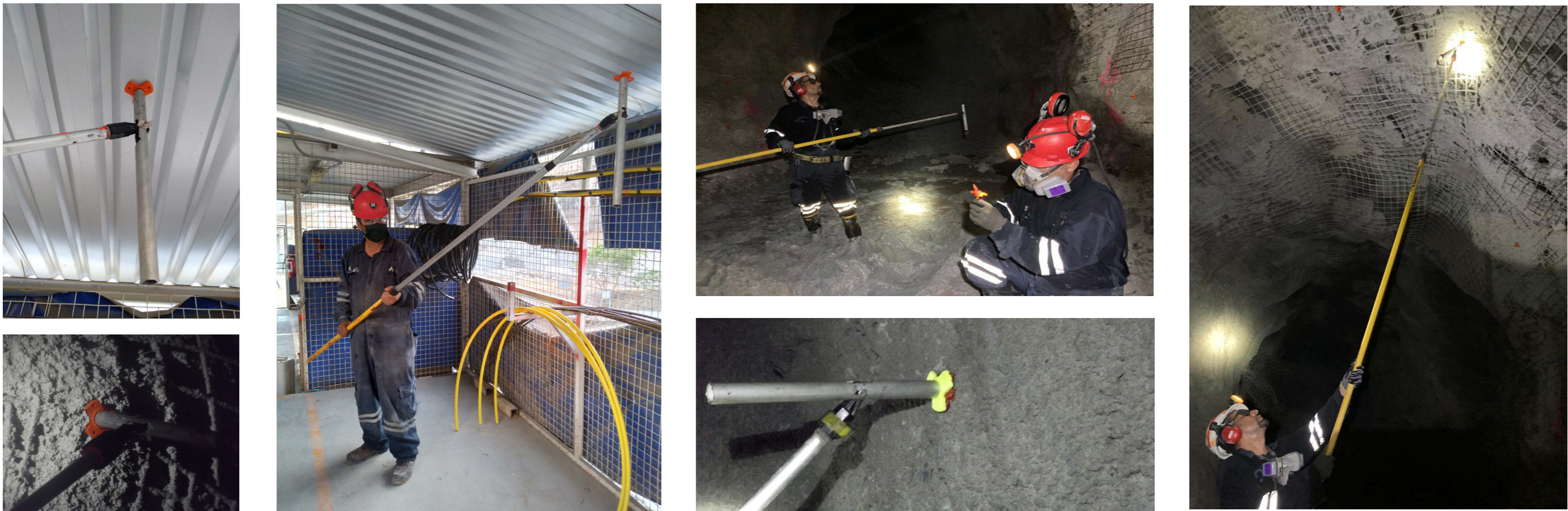


Figura 101: Compilación de imágenes de pruebas de uso de la primera propuesta. Elaboración propia.



La segunda propuesta es un mecanismo que permita definir y fijar manualmente el ángulo deseado, y posteriormente instalar los marcadores. Como se puede observar en la figura 102, consiste en un cuerpo tipo esfera conectado a la sección destinada al agarre del marcador, este cuerpo tipo esfera está sujeto por una pieza que ejerce presión sobre ella si se gira hacia un lado mientras que si la pieza se gira para el lado contrario, se puede cambiar la dirección y el ángulo libremente. Para que el marcador se pueda mantener en el artefacto, se ven dos posibilidades, la primera contempla que el agujero en el cual se coloque el marcador se adapte a la forma de su pilar con una material de goma o caucho antideslizante. La segunda opción es que el artefacto pueda sujetar el marcador con un botón de acción cercano al agarre del usuario, para esto debería implementarse un mecanismo que trabe el pilar del marcador y que con una pequeña acción quede libre para cuando ya es colocado en el sustrato.

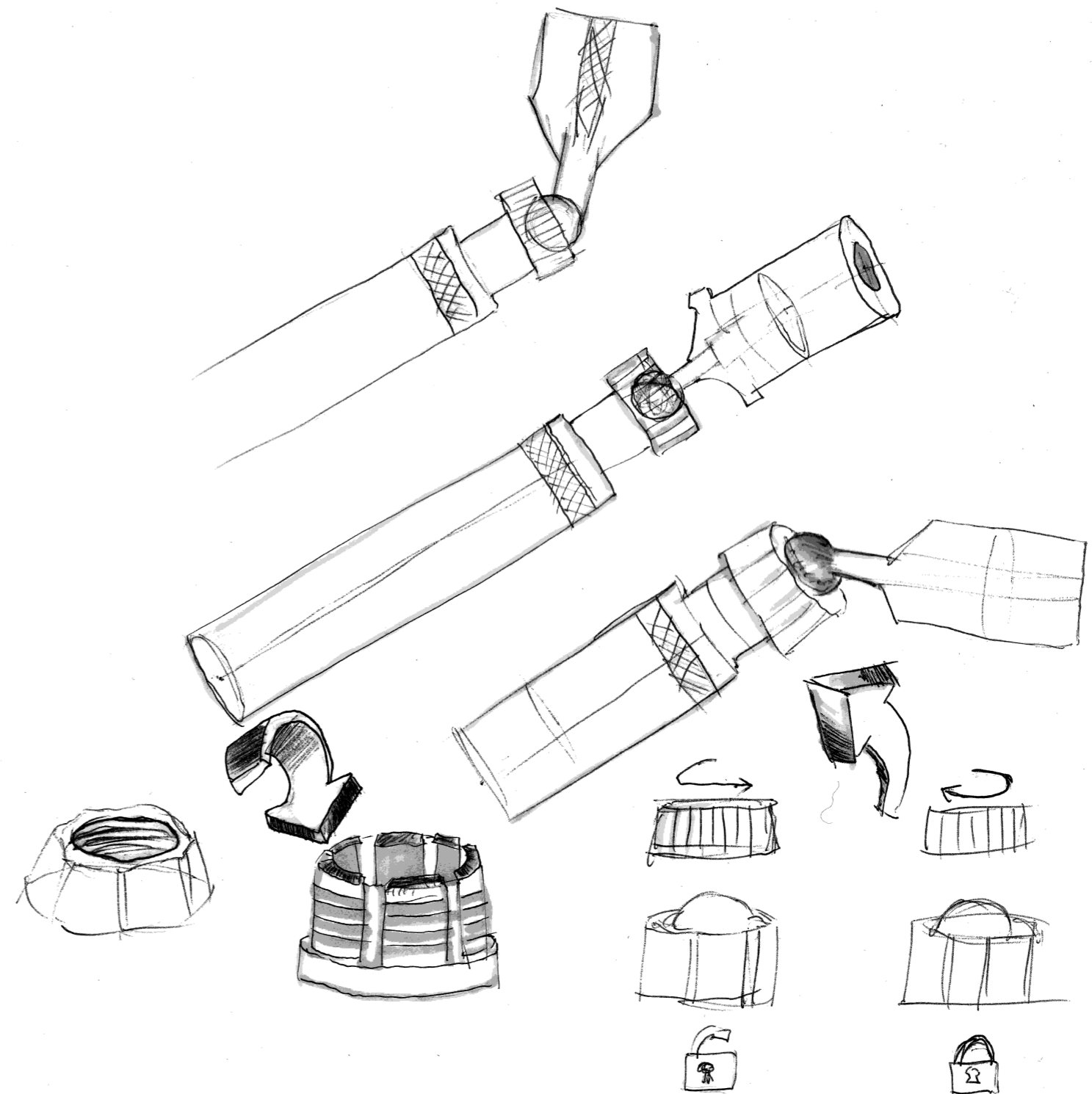


Figura 102: Sketching propuesta. Elaboración propia.



### 10.7 Visión de la zona a instalar el producto

Como una mejora visual e indicativa de la zona a colocar el producto, se propone por medio de la utilización de luz, proyectar puntos estratégicos que indiquen al operador la posición en la que iría puesto el marcador, esto puede mejorar la condición visual de la colocación en lugares muy altos. En las imágenes de las pruebas de uso del utensilio, se puede ver una luz dirigida justo en el punto donde el operador colocaba el marcador a distancia, lo que indica que existe la necesidad de esa iluminación directa, la cual también podría ser considerada como un atributo para mejorar la visibilidad.

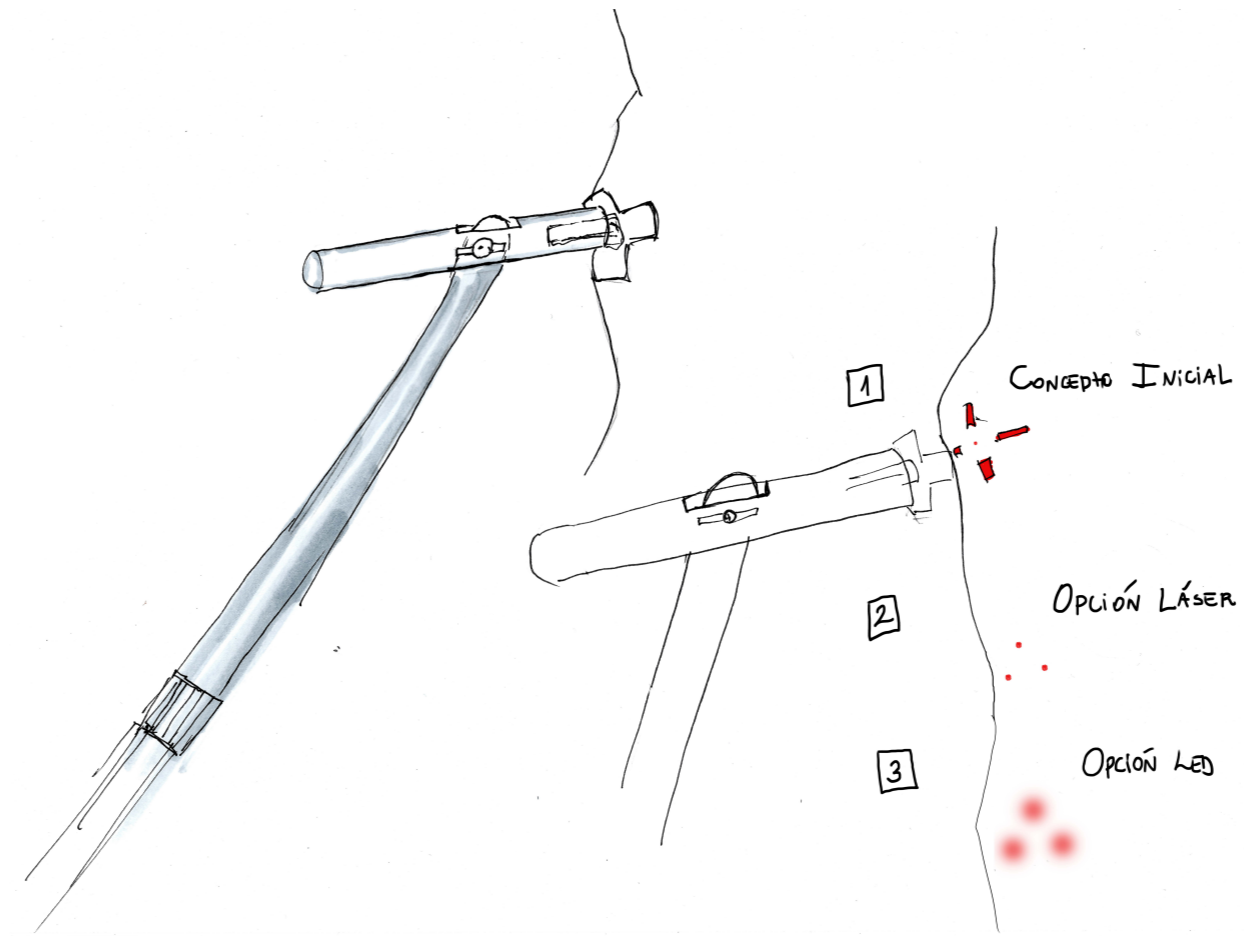


Figura 103: Boceto de opciones para indicar posicionamiento de marcador e iluminación. Elaboración propia.



A close-up photograph of a person wearing an orange high-visibility safety vest over a dark blue long-sleeved shirt. The person is holding a red and silver ballpoint pen and is writing on a white checklist. The checklist has several rows of text and columns of circles, some of which are marked with an 'X'. The person's left hand is resting on the checklist. The background is slightly blurred, showing more of the safety vest and the person's torso.

# CAPÍTULO 6: ENTREGA



En esta fase del proceso se preparó material para mostrar la propuesta con el fin de visualizar diferentes espesores aplicados al producto, partes del producto, modo de aplicación y cotas generales para su fabricación.

También en este capítulo se abarca la validación del producto utilizando métodos como pruebas con usuarios, encuestas de diferencial semántico, y entrevistas.

Para finalizar el capítulo se muestra el plan para su fabricación, registros fotográficos de las matrices en acero y los primeros ejemplares de prueba resultantes de la inyección.



# 1. Entrega

## 1.1 Render propuesta para roca.

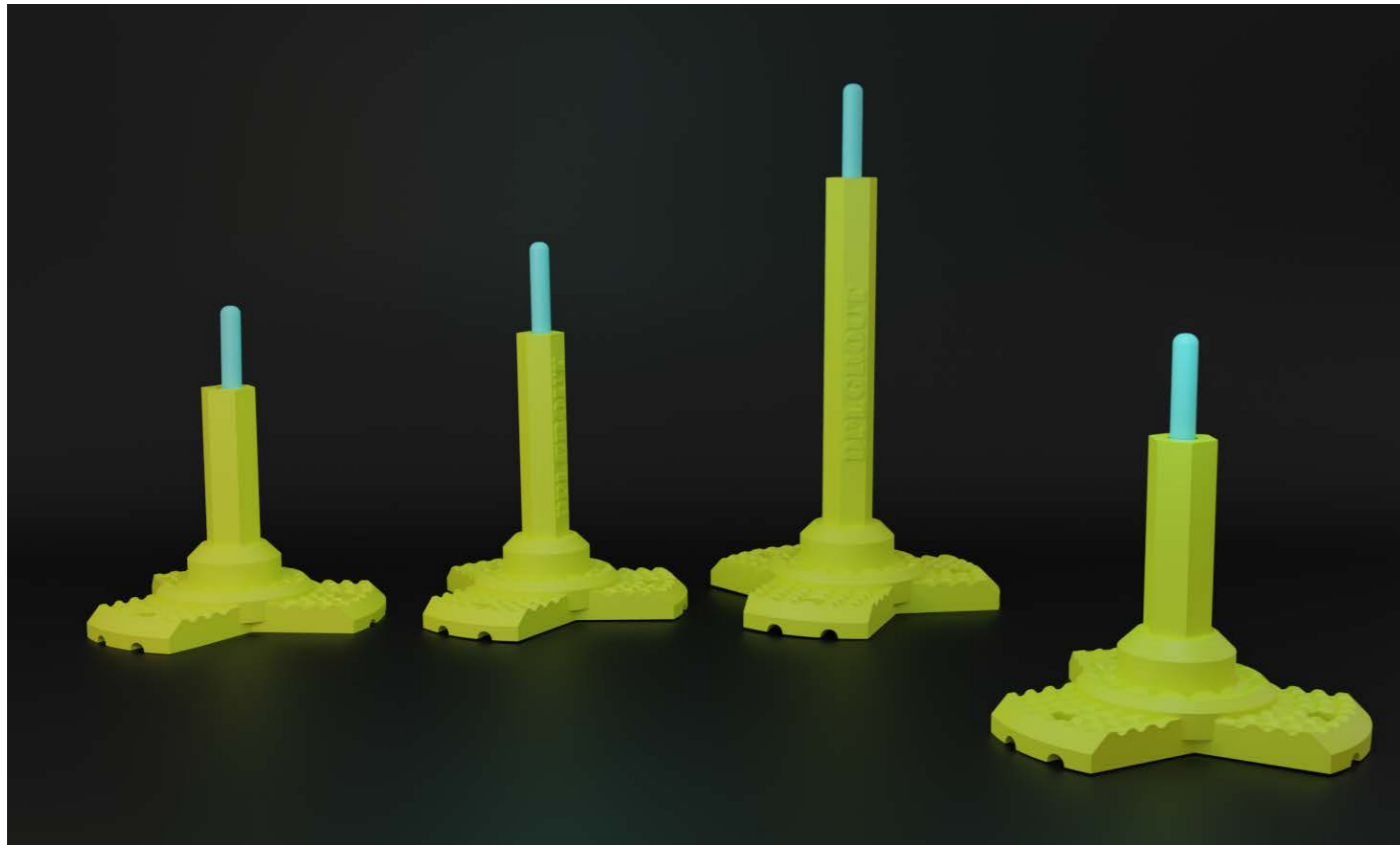


Figura 104: Visualización de diversos espesores en propuesta para roca.. Elaboración propia.

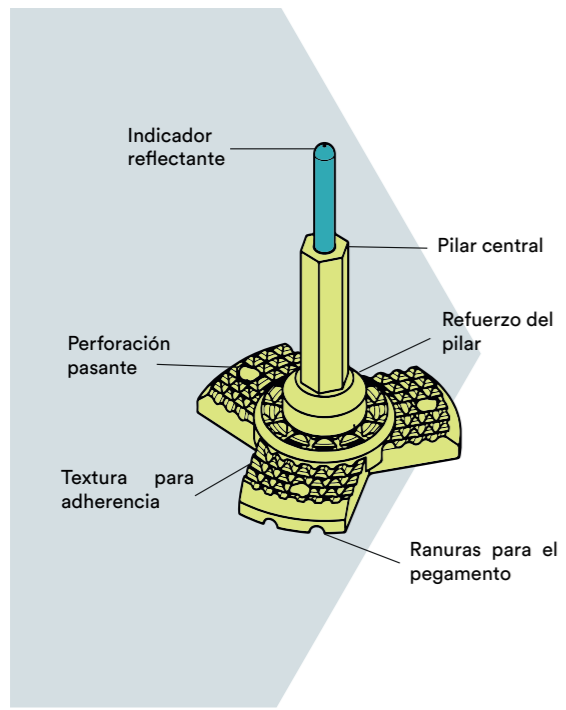
## 1.2 Render propuesta para colocar en malla.



Figura 105: Visualización de diversos espesores en propuesta para malla. Elaboración propia.



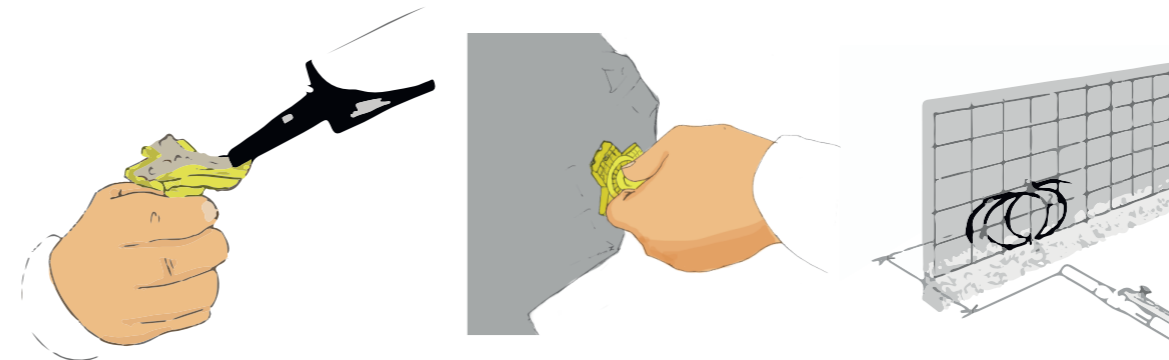
### 1.3 Modo de aplicación.



Esta versión fue diseñada pensando en su colocación sobre **roca** o superficie de hormigón, posee una base estable la que permite que su adhesión sea firme. Puede ser colocado mediante clavos o adhesivo de montaje.

Esta hecho de un copolimero de polipropileno (PP), lo que le entrega dureza y resistencia. Su color principal es un amarillo fluor, el cual dentro del túnel es muy visible con el tipo de iluminación existente. Posee un indicador que permite localizar las puntas de roca post proyección y demostrar el control de calidad.

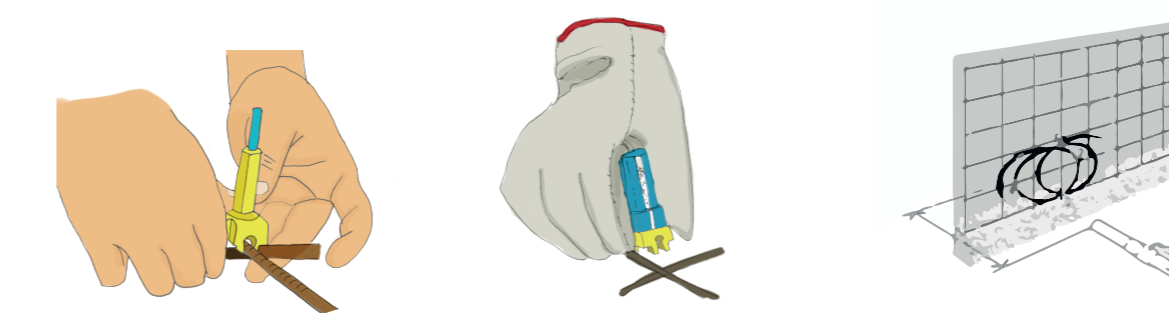
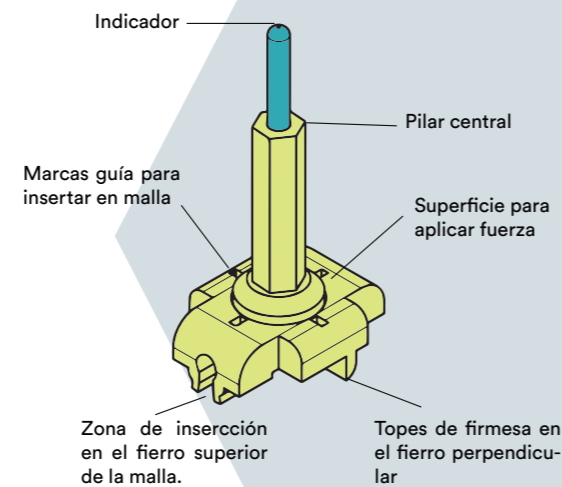
### MODO DE USO



- 1 Añadir pegamento de montaje en su base guiándose por las ranuras marcadas.
- 2 Colocar en puntas de roca, mantener oír un par de segundos. Espaciar entre 60-70 cm aprox.
- 3 Proyectar el hormigón mediante movimientos circulares, terminar cuando la figura hexagonal desaparezca.

Esta versión fue diseñada pensando en su inserción en la **malla electrosoldada** que se utiliza muchas veces para la fortificación, esto quiere decir que no necesita pegamento ni elementos extra para adherirse.

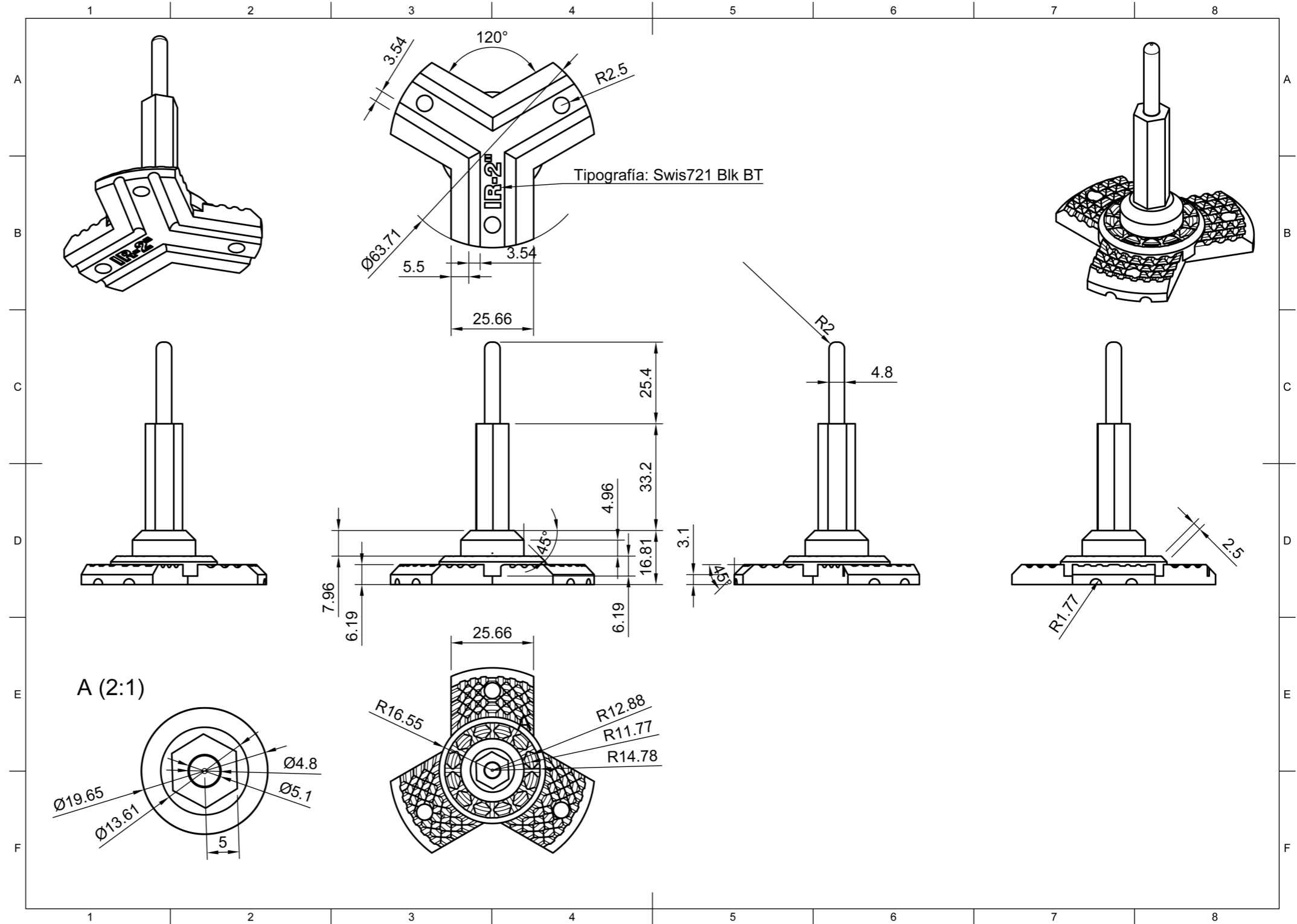
Se debe colocar en las intersecciones de la malla y funciona sobre mallas dobladas, además su diseño puede adaptarse a cualquier diámetro requerido. Al igual que la versión anterior, posee un indicador de control de calidad.



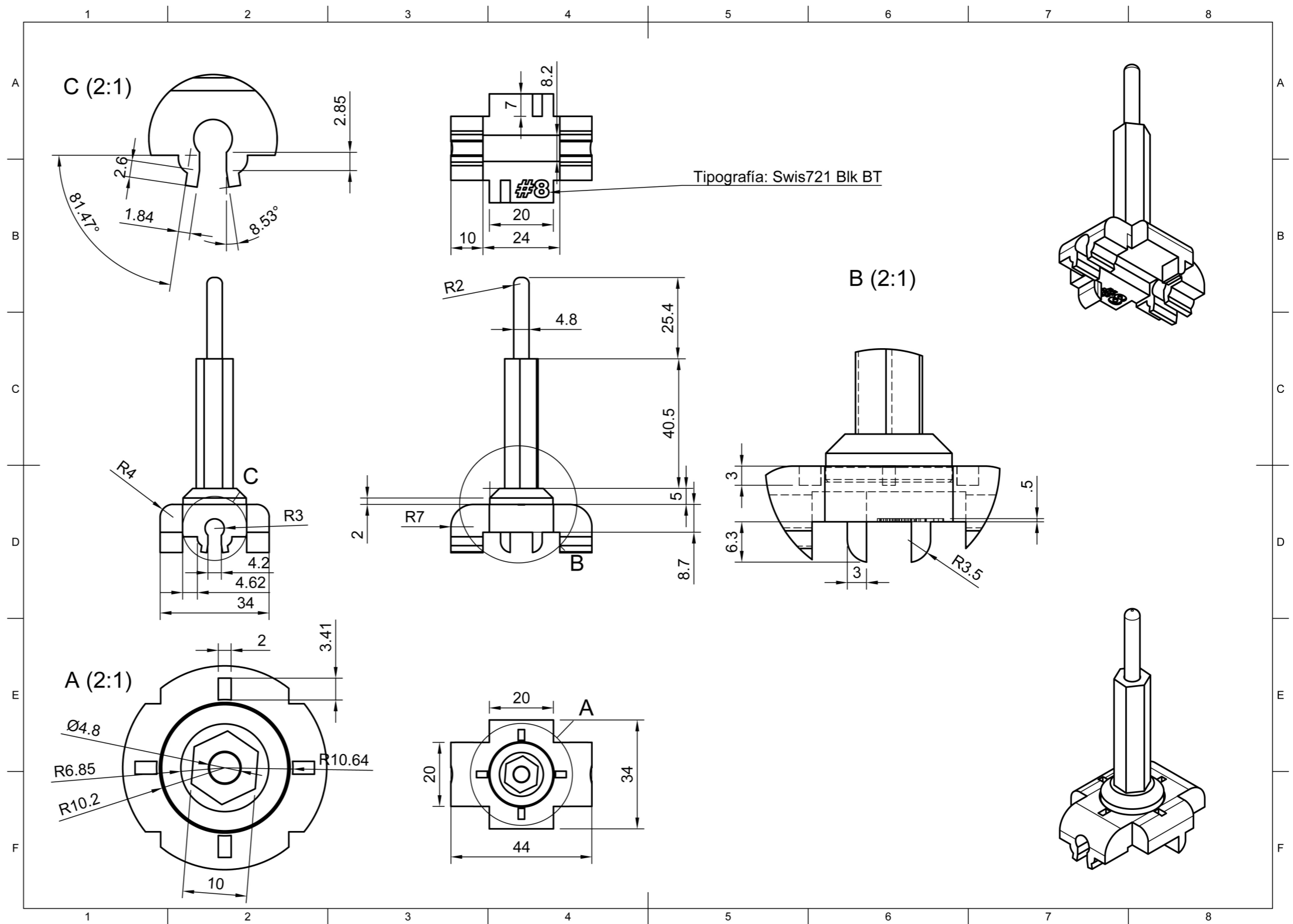
- 1 Posicionar en la intersección de la malla
- 2 También se puede utilizar un pequeño utensilio para mejorar la distribución de la fuerza de encaje.
- 3 Proyectar el hormigón mediante movimientos circulares, terminar cuando la figura hexagonal desaparezca.



Cotas generales (roca).



Cotas generales (malla).



## 2. Validación con usuarios.

### 2.1 Instalación

La primera instancia de validación del producto es en una prueba de shotcrete. Al igual que en los ensayos con usuarios, se entregan los prototipos a nuevos participantes y se programan las actividades de instalación y de proyección. Si bien el color final definido es un amarillo flúor, la mayoría de estos prototipos se realiza en el color antiguo debido al tiempo acotado entre una prueba y otra considerando los tiempos de obtención del material de color amarillo flúor para el prototipado.

A diferencia de la primera instancia de prueba de colocación del diseño en malla, esta vez tuvo resultados muy positivos, el nuevo participante los colocó de manera muy rápida y fluida, ningún prototipo se rompió y el usuario notaba rápidamente cuando estaban instalados correctamente ya que quedaban muy firmes en su posición al calzar con el fierro de la malla.



Figura 106: Cajón con marcadores instalados. Elaboración propia.

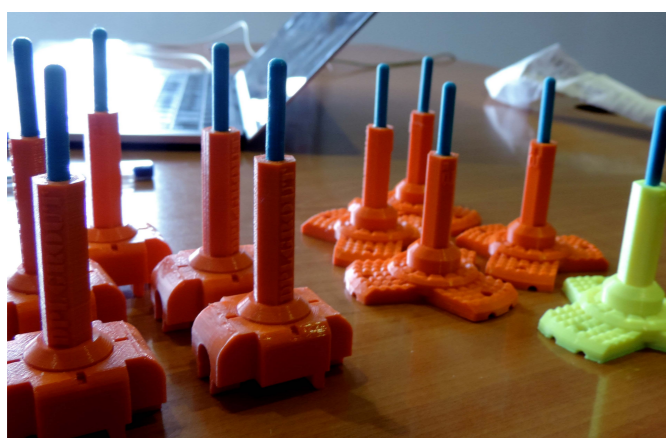


Figura 107: Prototipos para la prueba. Elaboración propia.



Figura 108: Visualización de la zona a instalar. Elaboración propia.

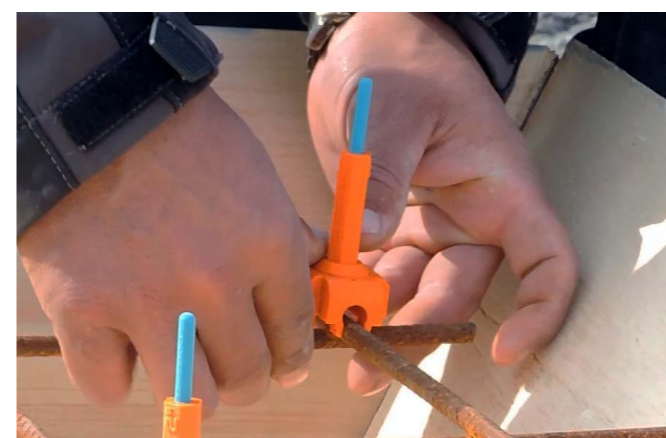


Figura 109: Inserción del prototipo. Elaboración propia.



Figura 110: Prototipos instalados. Elaboración propia.



La instalación del diseño para superficie roca también fue una operación que se realizó de forma fluida, los participantes colocaron todos los prototipos en la pared del túnel falso en un transcurso de tiempo de pocos minutos, se designaron las tareas de colocación de pegamento y colocación del prototipo.



Figura 111: Usuario colocando prototipos. Elaboración propia.

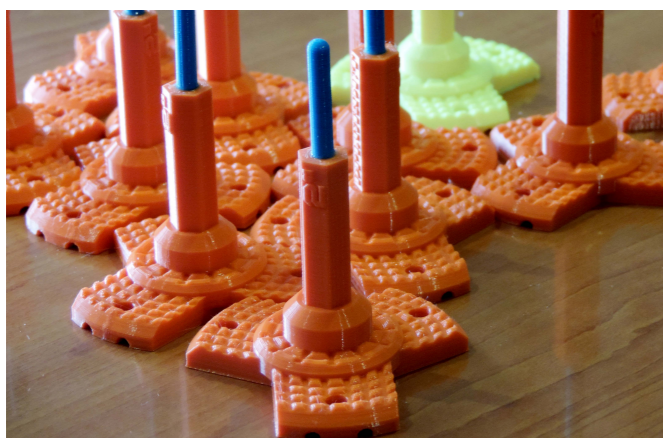


Figura 112: Prototipos. Elaboración propia.



Figura 113: Colocación de pegamento. Elaboración propia.



Figura 114: Colocación del prototipo en la pared túnel falso. Elaboración propia.



Figura 115: Prototipo instalado. Elaboración propia.



## 2.2 Proyección

La prueba de proyección se realiza igualmente con un pitonero que no había realizado la actividad de rociar el producto antes, primero comienza con el cajón de prototipos de malla, y posterior a este continua con el diseño para roca. El pitonero visualiza los prototipos y se le explica que las puntas de color turquesa deben quedar sobresaliendo a modo de indicador de que realmente se utilizaron y de localización, se entiende que en una instancia real, estas puntas sobresalientes permitirán indicar donde están las puntas de roca y demostrar que se utilizó el producto.

El pitonero comprende bien la utilidad del producto y proyecta guiándose por este, proyecta hasta que desaparece el pilar principal. Posterior a la proyección se revisa si han quedado los indicadores de control de calidad, o si de lo contrario han sido tapados completamente. En la figura 119 y 120 se observa tanto en malla como en roca quedan las puntas color turquesa, las cuales permitirían demostrar a los clientes que se ha utilizado un método para controlar el espesor.



Figura 116: Proyección en malla. Elaboración propia.



Figura 117: Proyección en malla. Elaboración propia.



Figura 118: Proyección en pared de túnel falso. Elaboración propia.



Figura 119: Indicadores de control de calidad malla. Elaboración propia.



Figura 120: Indicadores de control de calidad pared. Elaboración propia.





### 2.3 Otras instancias para validación

La segunda instancia de validación se refiere a la preparación de prototipos lo más fiel posible a el producto final, es decir, considerando color, forma y tamaños. Estos prototipos son enviados a diferentes lugares donde se trabaja con shotcrete, la idea fue que pudieran probarse y a su vez que los usuarios puedan responder una encuesta de diferencial semántico.

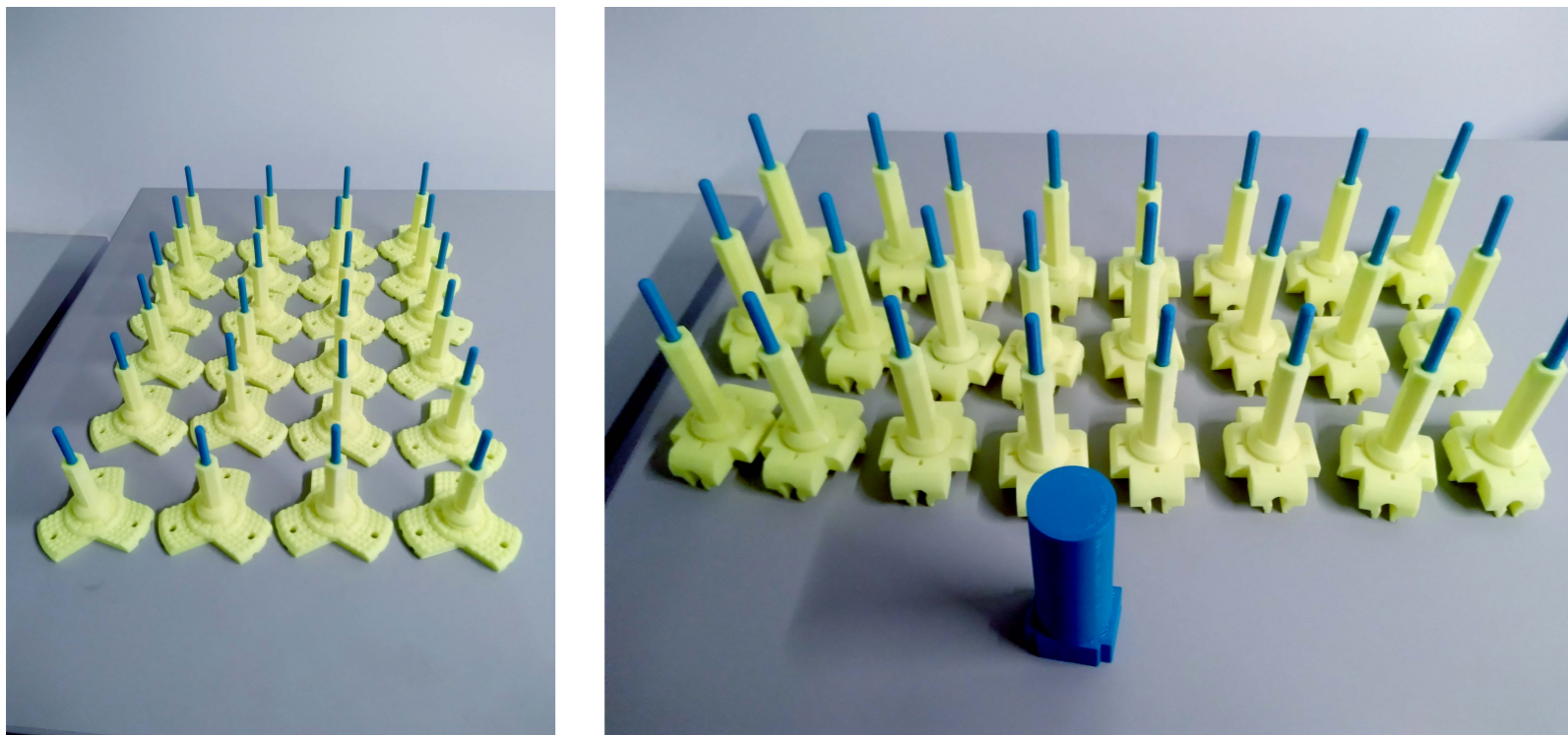


Figura 121 y 122: Prototipos color amarillo flúor para validación.

### 2.4 Fotografías de prototipos en uso.

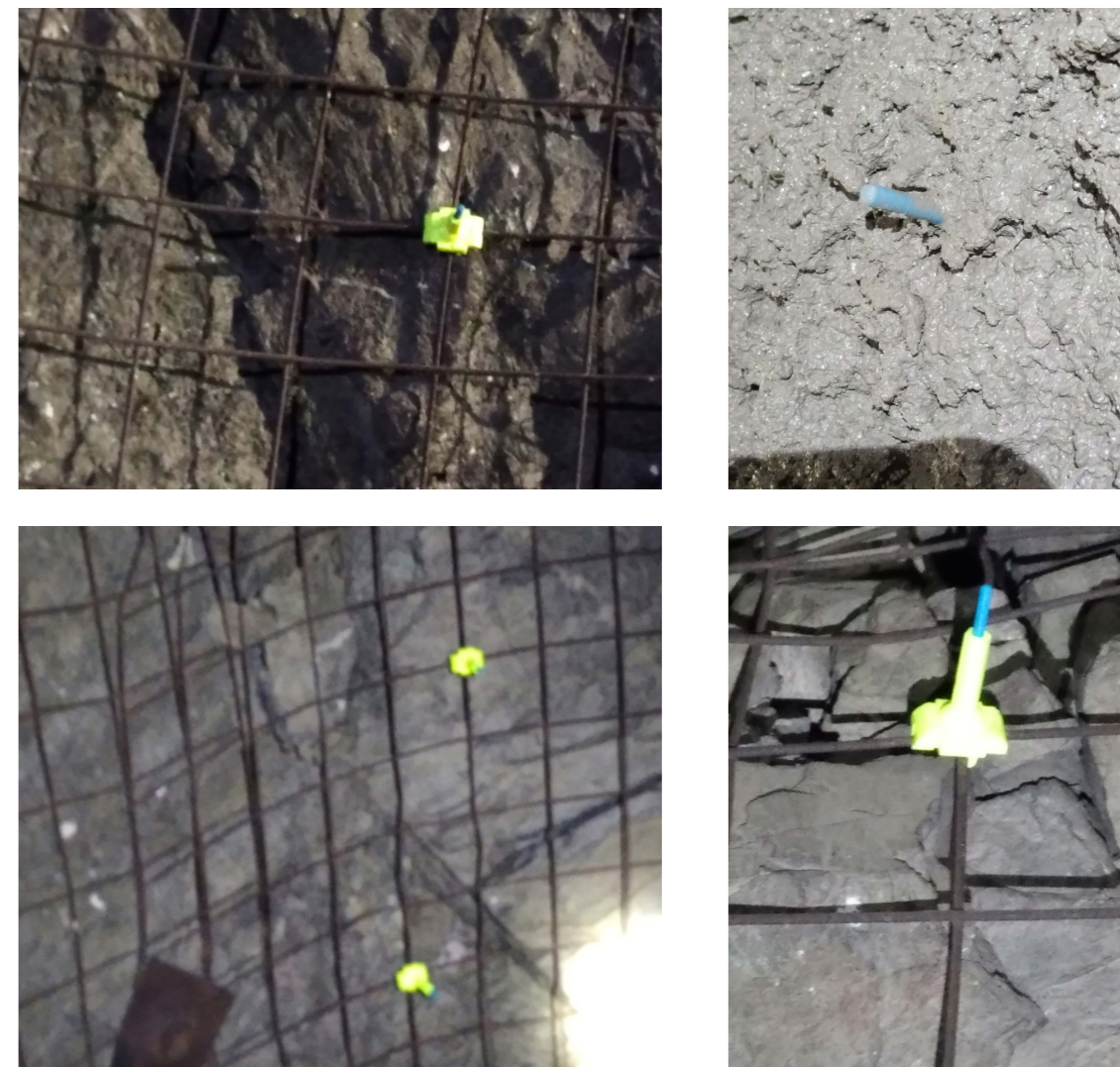


Figura 123, 124, 125, 126: Prototipos en uso en túnel sobre malla. Elaboración propia.



En las imágenes se observan las primeras copias de la fabricación por inyección, en uso. Fueron utilizadas en una mina ubicada al norte de Chile. Como se observa, están colocados directamente sobre la roca para indicar un espesor de 2”.

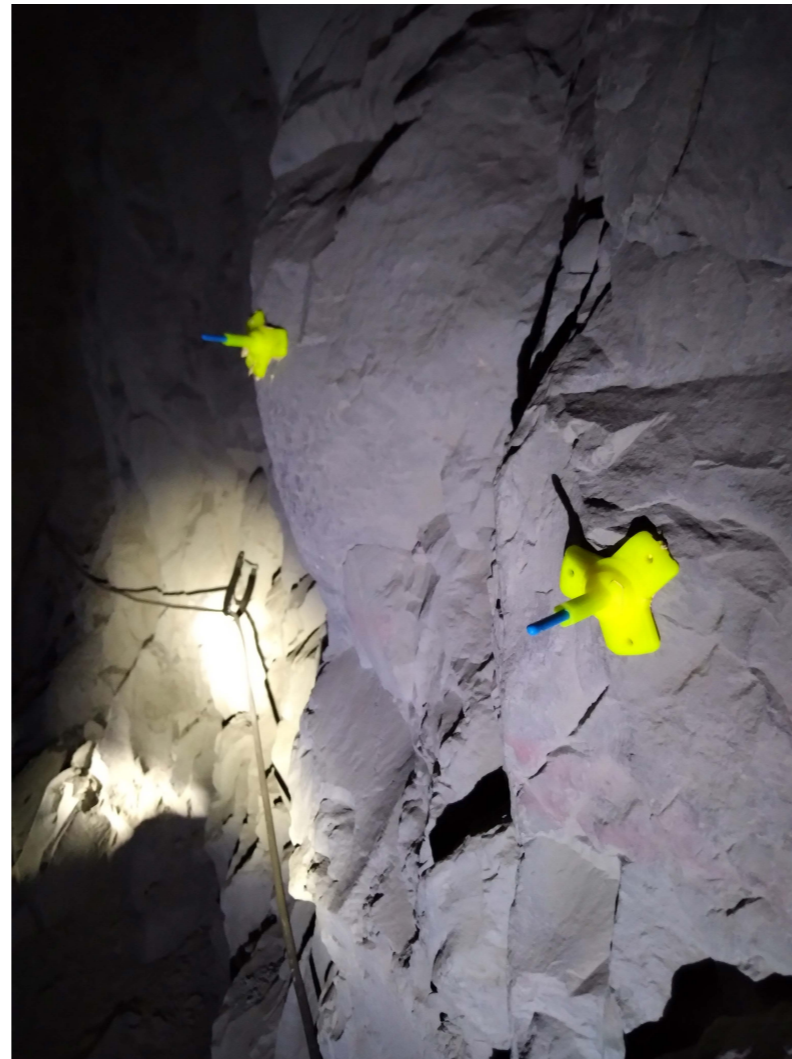


Figura 127, 128 y 129: Primeras copias del producto fabricado en inyección en uso. Imágenes a solicitud de la autora.



## 2.5 Entrevistas.

### 1) Daniel Parra.

“Este elemento es de fundamental utilidad en el proceso de fortificación tanto de los túneles, taludes o sustratos donde se este aplicando el shotcrete porque ahora podemos conseguir un elemento que nos permita optimizar el recurso, los materiales y además que el cliente pueda comprobar que el espesor de shotcrete que pidió en el proyecto es el que esta colocado, ahora no hay diferencias que en algún minuto pueden ser discutibles donde el cliente diga: “El espesor de shotcrete no se aplicó”. Con este elemento nosotros vamos a tener una herramienta que nos va a permitir homologar ese proceso.”

### 2) Eric Adasme.

“El sistema a mi me gusta, o sea, yo creo que es bastante bueno, creo que siempre los sistemas se pueden ir mejorando un poco en la medida de que tu vas obteniendo mucho más experiencia empírica de la propia pieza que estas diseñando.”



### 3. Diferencial semántico

#### 3.1 Metodología

Para todos los usuarios quienes participaron en las pruebas anteriormente mencionadas, se presenta una encuesta de tipo diferencial semántico con el fin de comprender la percepción de los usuarios clave sobre el producto desarrollado, presentándose conceptos opuestos clave como productivo-improductivo, seguro-inseguro, eficiente-ineficiente, entre otros.

Para la construcción del diferencial semántico, se utilizaron como referencia dos documentos, uno es el modelo conceptual propuesto por Aros (2009) donde se realiza una búsqueda de estudios previos en el tema para seleccionar pares de adjetivos polares en la evaluación de objetos de diseño, además se consideran las dimensiones estético-formal, indicativo-instrumental y simbólico. El segundo documento revisado fue la publicación de Mondragón et al., (2006) que es un estudio piloto basado en la semántica de producto para determinar la aplicabilidad de las técnicas de diseño emocional a las máquinas de herramientas. Pese a que es entendible que las decisiones de que tipo de máquinas o herramientas comprar son “racionales” y basadas en especificaciones técnicas, el estudio aporta resultados «que hacen razonable proponer estudios posteriores que deberán determinar en que medida los gestores, los ingenieros y los operarios están o no están también influenciados por las percepciones semánticas que

se ha demostrado que tienen» (Mondragón et al., 2006, p.13) Este se toma como referente primario ya que su perfil de usuario es muy similar al de este proyecto.

Se consideraron para esta encuesta grupos de personas familiarizadas con el área del reforzamiento de túneles con shotcrete.

1. Operarios, pitonero, supervisores, jefes de turno
2. Ingenieros civiles, especialistas en terreno, geólogos.
3. Gente con experiencia en el reforzamiento de shotcrete



Figura 130: Usuario respondiendo diferencial semántico. Elaboración propia.

DIMENSIÓN ESTÉTICO - FORMAL	DIMENSIÓN INDICATIVA - INSTRUMENTAL	DIMENSIÓN SIMBÓLICO - SOCIAL	ADJETIVOS	ESCALA PARA EVALUAR	ADJETIVOS
Atracción: FEO / BONITO	Valor educativo: INÚTIL / ÚTIL	Convenciones sociales en relación del valor de cambio: BARATO / COSTOSO	FEO	-3 -2 -1 0 1 2 3	Bonito
Según su movimiento aparente: DINÁMICO / ESTÁTICO	Confort: SEGURO / PELIGROSO	Temporalidad: ACTUAL / ANTICUADO	Dinámico	-3 -2 -1 0 1 2 3	Estático
Valor cromático. Tonos: FRÍO / CÁLIDO	Estabilidad: RESISTENTE / FRÁGIL	Contexto de uso: FORMAL / INFORMAL	Cálido	-3 -2 -1 0 1 2 3	Frío
Composición de la Forma: ANGULOSO / REDONDEADO	Valor lúdico: DIVERTIDO / ABURRIDO	Identidad visual. Accesibilidad: VULGAR / SELECTO	Vistoso	-3 -2 -1 0 1 2 3	Redondeado
Valor cromático. Intensidad: VISTOSO / DISCRETO	Movilidad: INALTERABLE / TRANSFORMABLE	rango etario: INFANTIL / MADURO	Tosco	-3 -2 -1 0 1 2 3	Discreto
Forma: TOSCO / DELICADO	Lenguaje de la interfaz: SIMPLE / COMPLEJO	Interés por el aprendizaje: Interesante / Irrelevante	Voluminoso	-3 -2 -1 0 1 2 3	Delicado
Dimensionalidad espacial: VOLUMINOSO / LIGERO	Ergonomía (antropométrica-cognitiva): MANEJABLE / INMANEJABLE	Género del producto: MASCULINO / FEMENINO	Armónico	-3 -2 -1 0 1 2 3	Desequilibrado
Ordenamiento espacial: ARMÓNICO / DESEQUILIBRADO	Vida útil: DURABLE / TRANSITORIO	Novedad: INSÓLITO / HABITUAL	Inútil	-3 -2 -1 0 1 2 3	Útil
			Seguro	-3 -2 -1 0 1 2 3	Peligroso
			Resistente	-3 -2 -1 0 1 2 3	Frágil
			Divertido	-3 -2 -1 0 1 2 3	Aburrido
			Inalterable	-3 -2 -1 0 1 2 3	Transformable
			Simple	-3 -2 -1 0 1 2 3	Complicado
			Manejable	-3 -2 -1 0 1 2 3	Inmanejable
			Duradero	-3 -2 -1 0 1 2 3	Transitorio
			Barato	-3 -2 -1 0 1 2 3	Costoso
			Reciente	-3 -2 -1 0 1 2 3	Anticuado
			Formal	-3 -2 -1 0 1 2 3	Informal
			Selecto	-3 -2 -1 0 1 2 3	Vulgar
			Infantil	-3 -2 -1 0 1 2 3	Maduro
			Interesante	-3 -2 -1 0 1 2 3	Irrelevante
			Masculino	-3 -2 -1 0 1 2 3	Femenino
			Insólito	-3 -2 -1 0 1 2 3	Habitual

Figura 131: Descriptores utilizados y forma diferencial. (Aros, 2009)

		3	2	1	0	1	2	3	
D1	Alta tecnología	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tradicional
D2	Inteligente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limitado
D3	Fácil de manejar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Difícil de manejar
D4	Fácil de limpiar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Difícil de limpiar
D5	Accesible	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inaccesible
D6	Robusto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ligero
D7	Compacto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inconsistente
D8	Sencillo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Complejo
D9	Eficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ineficiente
D10	Flexible	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido
D11	Fiable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inseguro
D12	Confortable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Incómodo
D13	Potente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Débil
D14	Estable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inestable
D15	De alta calidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	De baja calidad
D16	Seguro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Peligroso
D17	Duradero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Efímero
D18	Silencioso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ruidoso

Figura 132: Descriptores y adjetivos. (Mondragón, 2006)



### 3.2 Resultados

El proceso se realizó de manera presencial a un total de 30 personas de diferentes empresas, a las cuales se les hizo entrega de la encuesta en formato papel (revisar anexos) y tuvieron que marcar en el espacio que consideraba más apropiado entre conceptos opuestos, definiendo cual era el que mejor se asociaba con el producto según su percepción, se les hace saber que no hay respuestas incorrectas.

Se calcula el promedio para cada par tomando los números marcados por los encuestados, en los cuales los conceptos puestos hacia la izquierda se toman como números negativos para poder diferenciar en números entre las respuestas marcadas a la derecha e izquierda del número 0.

Como se observa en la Figura 133, los resultados con más alto puntaje son para los conceptos “Ligero” y “Eficiente” ambos con un puntaje de 1,8 del máximo que es 2.0, a estos conceptos les sigue “Industrial” y “Claro” con un puntaje de 1,73 y 1,7 de 2.0.

En general los resultados de la encuesta son positivos, ya que según estos la mayoría de los encuestados señalan que sienten confianza hacia el producto, que es claro y seguro, al mismo tiempo que eficiente, productivo.

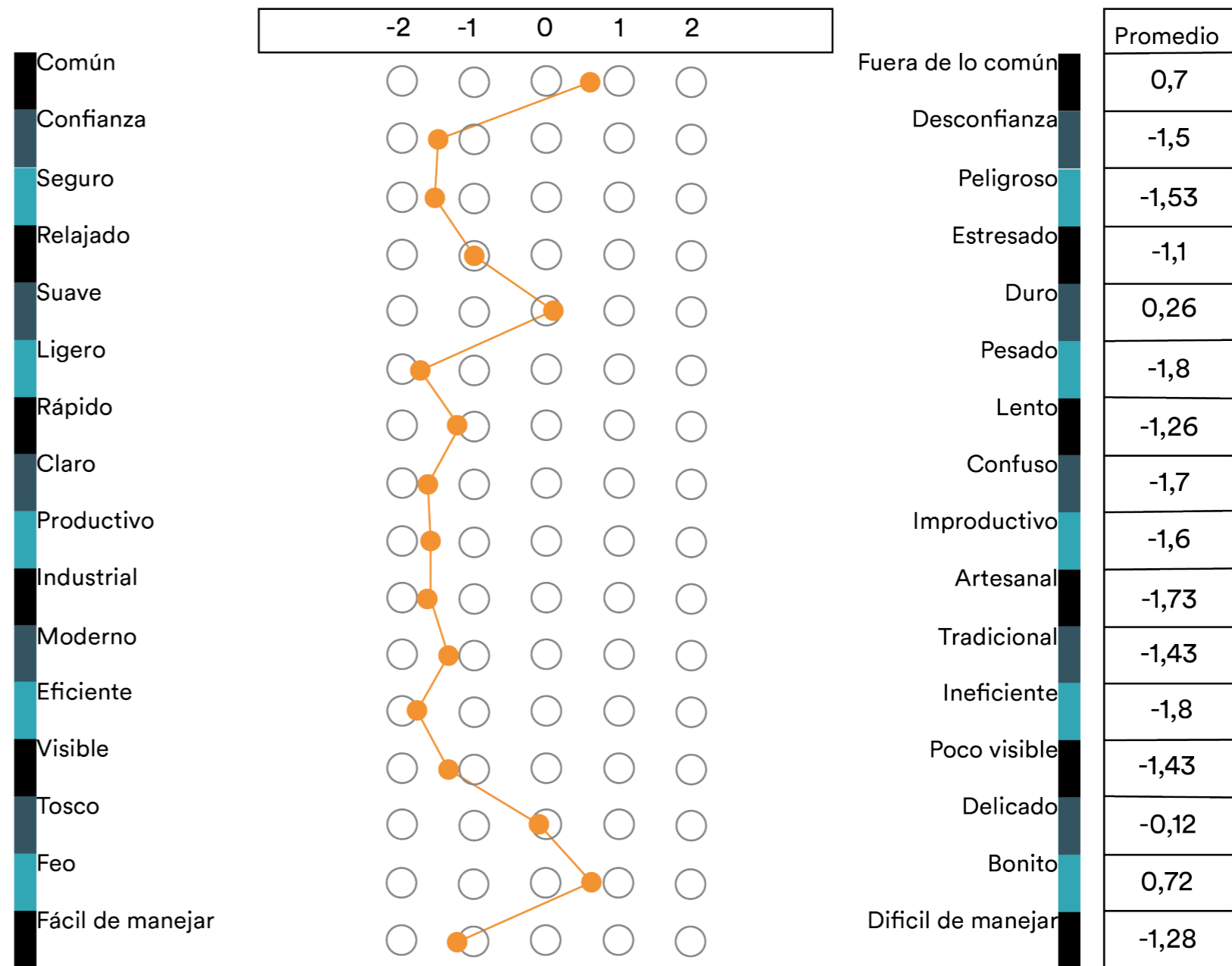


Figura 133: Resultados diferencial semántico. Elaboración propia.



## 4. Fabricación

### 4.1 Matriz

El material para la fabricación de los marcadores es un copolímero de polipropileno (PP), es un material duro y resistente, aguanta altas temperaturas y es compatible con el proceso de inyección de plástico. Las matrices se harán de un acero especial llamado SAE 1045, « es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación» (Cía. General de Aceros, 2022). La matriz permitiría hacer entre 200 a 400 mil piezas. Como punto de inicio para la fabricación de la propuesta se comienza con el diseño para roca de espesor de 2". Para esto se entrega un prototipo físico como referencia junto a los planos.

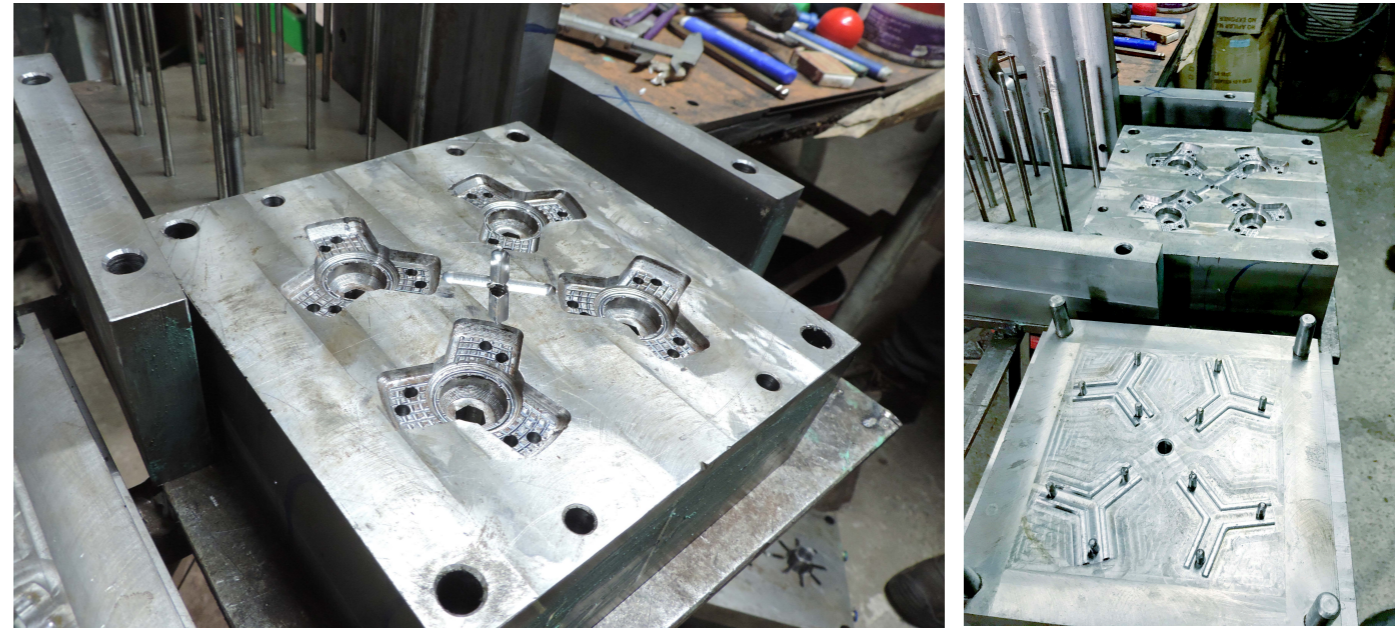


Figura 134 y 135: Matriz de producto para roca. Elaboración propia.



## 4.2 Copias

El cuerpo principal y las puntas de control de calidad se inyectan por separado y posteriormente se unen a presión. Las primeras muestras de prueba son inyectadas en plástico blanco y puntas naranja (Figura 136).

El producto pesa menos que los prototipos realizados en tecnología FDM, rodea los 15,55 gramos mientras que los prototipos realizados en PLA pesaban aprox. 23 gramos. Posterior a las copias de prueba y ajustes para el modo de fabricación, se comienza la producción de 1000 copias en los colores originales, amarillo flúor y turquesa.



Figura 136: Primeras pruebas inyectadas. Elaboración propia.



Figura 137: Piezas en color amarillo. Elaboración propia.



Figura 138: Peso del marcador en PP. Elaboración propia.



Figura 139: Primeras pruebas de inyección en puntas. Elaboración propia.

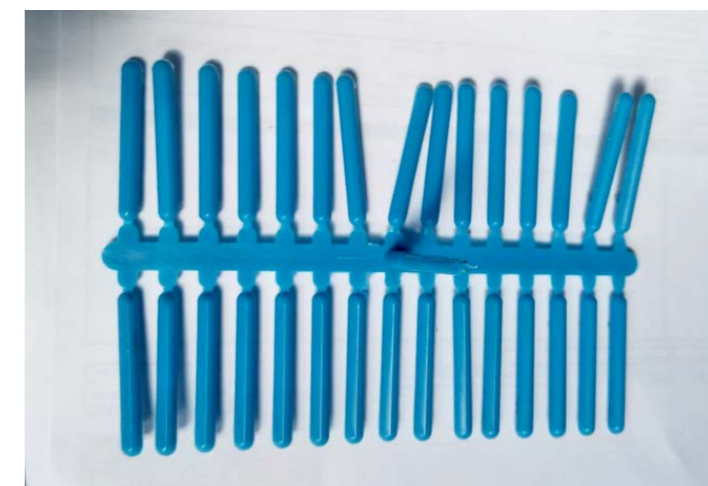


Figura 140: Puntas turquesa. Elaboración propia.



## 5. Costos de producción

### 5.1 Costos matriz

	Descripción	Valor
<b>Matriz para roca</b>	Matriz de soporte base de 3 proyecciones radiales de 50mm de alto. - 6 cavidades - Botación automática - Refrigeración completa	1.980.000 + IVA
<b>Matriz para malla</b>	Matriz para soporte con base anclaje en malla de diametro 4,2mm y 50mm de alto. - Botacion completa automatica - Refrigeracion completa	1.980.000 + IVA
<b>Matriz para indicadores</b>	Matriz indicadores de 1 pulgada - 12 cavidades - Botación automática	1.180.000 + IVA

Figura 141: Tabla de costos matrices. Elaboración propia.

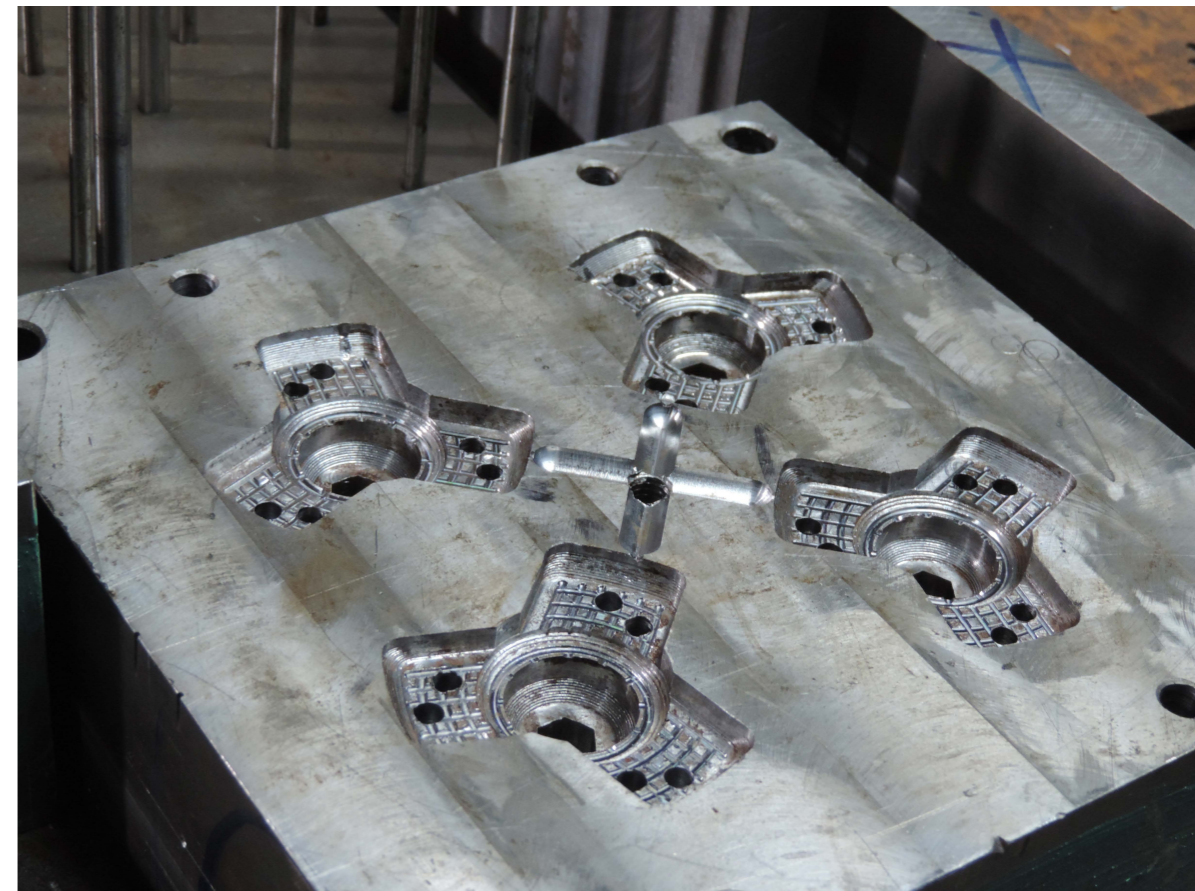


Figura 142: Fotografía matriz. Elaboración propia.





## 5.2 Costos marcador roca



Propuesta de marcador de espesor de shotcrete para roca

### Características

Tamaño	Base: 63 mm Altura: 75 mm
Colores	Cuerpo: Amarillo fluor Punta: Turquesa reflectante
Peso	15,55 gramos

### Costos

Matriz	1.980.000 + IVA
Costo matriz	22,75 CLP
Inyección	278,3 CLP
Ensamble	15 CLP
Sumatoria	316,05 CLP

Figura 143: Primeras pruebas de inyección en puntas. Elaboración propia.

## 5.3 Costos marcador malla



Propuesta de marcador de espesor de shotcrete para malla

### Características

Tamaño	Base: 44 mm x 34 mm Altura: 78 mm
Colores	Cuerpo: Amarillo fluor Punta: Turquesa reflectante
Peso	No especificado

### Costos

Matriz	1.980.000 + IVA
Costo matriz	22,75 CLP
Inyección	286,5 CLP
Ensamble	15 CLP
Sumatoria	324,25 CLP

Figura 144: Primeras pruebas de inyección en puntas. Elaboración propia.



## Conclusiones

Este proyecto, tuvo como objetivo principal la propuesta de un sistema que permita monitorear, reconocer, marcar y registrar visualmente el espesor requerido por el pitonero y el equipo de trabajo, mientras se desarrolla la tarea de proyección de hormigón en túneles. Cabe recalcar que durante el proceso se tuvieron en cuenta los conceptos de eficiencia y económico. Por lo tanto el propósito de este proyecto se cumplió, ya que se desarrolló una propuesta económica y además eficiente, según las respuestas del diferencial semántico realizado a usuarios clave.

Se analizaron los actores que constituyen el proceso de proyección de shotcrete para reconocer las actividades específicas de cada uno, esto permitió obtener información del escenario actual desde la experiencia de quienes trabajan en el rubro e identificar las interacciones del operador encargado de proyectar shotcrete con el entorno y el modo operatorio para realizar esta actividad. Este análisis entregó información relevante para proceso de definición y desarrollo del proyecto, pudiendo ofrecer una propuesta que considere el contexto de trabajo del usuario y que no entorpezca el modo de operar de quien proyecta el hormigón.

Se definieron los requerimientos iniciales a partir de la teoría y levantamiento de información para desarrollar una propuesta estratégica preliminar, se utilizó la información obtenida en el proceso anterior además de fuentes bibliográficas y el estado del arte. Como resultado se definió una propuesta que siga la misma lógica pero que pueda ser utilizada en dos superficies diferentes según los requerimientos del túnel, también se consideró el diseño de un utensilio que facilite la implementación de la propuesta a lugares de difícil acceso.

Se desarrollaron las propuestas iniciales mediante sketching y prototipado rápido para luego ser testeados con usuarios directos, este proceso permitió experimentar, probar y evaluar partes específicas o generales del diseño, experimentando iteraciones en su morfología, color, textura y tamaños. Los ensayos con usuarios entregaron información con respecto a la usabilidad de la propuesta.

Se analizaron los resultados de los testeos iniciales para plantear mejoras al sistema propuesto, esto se realizó mediante una tabla de problemáticas en relación a la versión del producto que fue testada, las problemáticas encontradas se enumeraron por orden de gravedad. Esto permitió guiar la etapa de rediseño según los puntos más urgentes manifestados por los usuarios y también según la observación propia de los ensayos mientras se efectuaban

Se implementó un proceso de marcha blanca en el proyecto, con inicio de la fabricación del producto para validar el proyecto desde su proceso de productivo hasta la utilización in situ, los resultados de las primeras copias fabricadas muestran la viabilidad de su producción en masa mediante inyección de plástico. Las primeras copias se entregaron a empresas con proyectos en desarrollo de fortificación con shotcrete, como resultado de esto el producto fue instalado dentro de túneles reales y sobre el sustrato.



## Proyecciones

Se proyecta la continuación del desarrollo y mejoramiento del sistema una vez se obtengan más datos y se puedan hacer mediciones de su efectividad en túneles reales. También se proyecta el desarrollo de un proyecto de diseño para el implemento de colocación.

Una vez ya desarrollado un prototipo integral de las propuestas para el implemento de colocación, existen dos caminos, el primero involucra mejorar la primera versión con el objetivo de que se pueda aumentar el número de marcadores que pueda sujetar, mejorando la eficiencia de la instalación a distancia. El segundo camino es comenzar el proceso de diseño para el desarrollo de un implemento que permita instalar los marcadores de malla, cuyo modo de aplicación es diferente al marcador para roca ya que se requiere una pequeña fuerza en su base para que quede insertado. Las primeras ideas para esta versión, están orientadas al uso de un mecanismo que aplique esta fuerza de manera rápida sin la necesidad de alimentar con energía eléctrica o combustible el aparato. Debido al gran trabajo que requiere la ideación e implementación del mecanismo, esta propuesta en términos económicos requiere un mayor presupuesto, y el producto resultante tendría costos un poco más elevados a la primera versión de implemento, aún así el incremento de los costos en comparación a los costos económicos de otros productos en el mercado para funciones parecidas, esta muy por debajo, por lo que aún con ese

incremento seguiría siendo una opción económica y viable. Al mismo tiempo, se proyecta el inicio de fabricación industrial de la versión para malla con un marcador para espesor de hormigón de 2 pulgadas según la demanda y compatible con mallas de 4,2 de diámetro.

Después de el periodo de marcha blanca, donde se habrán utilizado las primeras copias de los marcadores, se espera que continúe la fabricación industrial para las versiones de 7cm, y 4" para ambas versiones (malla y roca), además de compatibilidad de la base de producto malla, para los diferentes diámetros de mallas a utilizar que se pueden observar en el anexo 3.

En cuanto a la comunicación del proyecto, se toma en cuenta los comentarios de los usuarios quienes respondieron la encuesta (ver anexo 4) y se propone trabajar en propuestas de comunicación del proyecto. Esto podría integrar vídeos tutoriales como instructivos del modo de aplicación y especificación de las zonas correctas para su colocación tanto en contexto roca como malla además de los vídeos tutoriales, se piensa realizar demostraciones a público, donde se utilice el producto, a modo de que los participantes puedan ver el proceso en vivo y en directo y despejar cualquier tipo de dudas.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Shotcrete Association (2021). Nozzleman-In-Training Program Overview.
- Ageldones, J. (2017). Procedimiento despacho de concreto lanzado: Shotcrete vía húmeda .
- Aros, M. y Aros, N. (2009). El diferencial semántico para la disciplina del diseño una herramienta para la evaluación de productos. [Discurso principal]. XIII Congreso Internacional de ingeniería de proyectos, Badagoz, España.
- Aura Ingeniería. (14 mayo de 2020). 07 Proyección de Shotcrete – AURA. [Archivo de Vídeo] Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=n6gDi78Uw3M&list=LL&index=67>
- Bernardo, G. & Guida, Antonella & Mecca, Ippolita. (2015). Advancements in shotcrete technology. 591-602. 10.2495/STR150491.
- Cía. General de Aceros. (4 diciembre de 2022). ACERO AISI / SAE 1045. Cía. General de Aceros. [https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-1045/#:~:text=SAE%201045%20es%20un%20acero,los%20aceros%20de%20baja%20aleaci%C3%B3n.&text=Es%20ampliamente%20utilizado%20en%20la,\(productos%20forjados%20y%20estampados\)](https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-1045/#:~:text=SAE%201045%20es%20un%20acero,los%20aceros%20de%20baja%20aleaci%C3%B3n.&text=Es%20ampliamente%20utilizado%20en%20la,(productos%20forjados%20y%20estampados)).
- Colchico. (2014). Monitoreo de la Pequeña y Mediana Minería Chilena. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Med%20Min%2028%2010%202014.pdf>
- Cortés, O. (21 de octubre 2022). Osvaldo Cortés, gte. Proyecto Línea 7 de Metro de Santiago: “No hay otra alternativa para túneles que el shotcrete”. Hormigón al día. <https://hormigonaldia.ich.cl/entrevista/osvaldo-cortes-gte-proyecto-linea-7-de-metro-de-santiago-no-hay-otra-alternativa-para-tuneles-que-el-shotcrete/>.
- Design Council. (2005). The design process: What is the Double Diamond model? <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond>
- EMB Construcción. (2019). Hormigón proyectado en Chile, avances concretos. EMB Construcción, edición Mayo 2019. <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=4347&edi=196&xit=hormigon-proyectado-en-chile-avances-concretos>
- Estratos. (2 diciembre 2022). Shotcrete hormigón proyectado. Estratos fundaciones. <http://www.estratos-fundaciones.cl/index.php?pgn=shotcrete&tll=Shotcrete%20%28Hormig%C3%B3n%20Proyectado%29>
- Escapes Mendoza. (25 de octubre 2022). Accidentes mineros se han reducido un 75%. Escapes Mendoza. <http://www.escapesmendoza.cl/blog/accidentes-mineros-se-han-reducido-un-75/>.
- Fernández, A. (5 de abril de 2021). Recorrido por obras clave: Cómo avanza Chile en la construcción bajo tierra. Diario Financiero.
- García-Acosta, Gabriel. (2002). La ergonomía desde la visión sistémica.
- Haskat, C. (2018). ACI Nozzleman Certification— Why, Who, When, an How. [https://shotcrete.org/wp-content/uploads/2020/01/2018Win\\_Haskat.pdf](https://shotcrete.org/wp-content/uploads/2020/01/2018Win_Haskat.pdf)
- Hoek, E. (2001). Rock Engineering. [Archivo PDF]. <https://pdfslide.net/documents/2001-rock-engineering-courses-notes-by-evert-hoek.html?page=1>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2018). Guía Chilena del Hormigón Proyectado. [https://issuu.com/ich\\_mkt/docs/guia\\_shotcrete\\_segunda\\_edicion](https://issuu.com/ich_mkt/docs/guia_shotcrete_segunda_edicion)
- Ministerio de minería [MinMinería]. Artículo 33. 2002 (Chile).
- Mondragón, S., Vergara, M. y Company, P. (Julio de 2006). Diferencial semántico: Una herramienta al servicio del diseño emocional de máquinas herramientas. [Discurso principal]. XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Castelló, España.
- Morgan, D. (October 17-19, 2005). Advances in Shotcrete Technology for Infrastructure Rehabilitation. [Conference session]. 22nd Biennial Conference, Institute of Australia, Melbourne, Australia.
- Putzmeister. (11 de agosto de 2021). ¿Cuanto material se ahorra gracias a una buena formación?. Best Support Underground. <https://bestsupportunderground.com/formacion-shotcrete-simulador/>
- Putzmeister. (8 septiembre de 2021). ¿Cuáles son los principales componentes de un equipo robotizado para shotcrete via húmeda?. Best Support Underground. <https://bestsupportunderground.com/equipo-robotizado-shotcrete/>
- Rey, A. (1997). Sostenimiento con Hormigón Proyectado. López Jimeno (Ed.), Manual De Túneles y Obras Subterráneas. Vol 1. LÓPEZ JIMENO.
- Rodgers, P. A., & Milton, A. (2013). Research methods for product design. Laurence King Publishing.
- Seymour, B., Martín, L, Clark., Steoan, M., Jacksha, R., Pakalnis, R ., Roworth, M. y Caceres. C. (2010) A practical method of measuring shotcrete adhesion strength. <https://www.cdc.gov/niosh/mining%5C/UserFiles/works/pdfs/apmom.pdf>



- SERNAGEOMIN. (2018). Guía N°5 de operación para la pequeña minería.
- SERNAGEOMIN. (2020). Estadísticas de accidentabilidad industria extractiva minera año 2020: Reporte al 31 de diciembre de 2020. [https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/04/Accidentabilidad\\_Minera\\_2020.pdf](https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/04/Accidentabilidad_Minera_2020.pdf)
- SERNAGEOMIN. (2021). Estadísticas de accidentabilidad industria extractiva minera año 2021: Reporte al 31 de diciembre de 2021. <https://www.sernageomin.cl/pdf/Accidentabilidad-Minera-Nacional-2021.pdf>
- Silva, R. (2019). Ergonomía y factores humanos: Análisis sistémico y modo operatorio [presentación de diapositivas]. Power Point.
- Sociedad Nacional de minería [Sonami]. (2014). Caracterización de la pequeña y mediana minería en Chile. <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/07/01.-Importancia-de-la-pequena-y-mediana-mineria-Chile-VP1.pdf>
- Ulrich, K. T y Eppinger, S. D. (2013). Diseño y desarrollo de productos. McGRAW-HILL
- Van Sint Jan, M. (5 de abril de 2021). Los desafíos que se presentan en torno al capital humano / Entrevistado por Constanza Garín. Diario financiero.



# ANEXO 1



Figura 145: Eric Adasme, entrevista. Elaboración propia.

## Entrevista **Eric Adasme Fuentes**

### Parte 1: Introducción al contexto

*Profesión: Ingeniería civil en minas*

*Experiencia: 22 - 23 años en el área de construcción de túneles y 15 años dedicado a la construcción de túneles y hormigones proyectados en distintas fases.*

### **Cuéntame un poco sobre tu experiencia en el rubro**

Yo llevo más de 20 años en el área de la construcción industrial propiamente tal 22, 23 años, y 15 años dedicándome a la construcción de túneles y hormigones proyectados en distintas fases. Antiguamente se proyectaba hormigones proyectados pero vía seca, después semi húmedas, y después mutó técnicamente a lo que nosotros conocemos como hormigones proyectados húmedos. Acá en la empresa soy el administrador de contrato en lo que es mantención y reparación de túneles y también hacemos licitaciones y estudios de proyectos relacionados con obras industriales, así que hormigón proyectado siempre tenemos en esta empresa en lo que es la colocación la proyección con paquetes de sostenimientos

completos. El hormigón proyectado es un elemento que se complementa con el sostenimiento tanto en taludes hoy en día en cielos abiertos y en túneles en el área subterránea, el hormigón proyectado muchas veces es un complemento, se complementa de malla, se complementa de perno, por tanto es un paquete que pertenece a lo que mucha gente le dice, paquete estructural de sostenimiento



### **¿Cuánta experiencia tienen sus pitoneros?**

Nosotros tenemos pitoneros acá de, Felipe el que tiro hoy, tiene aproximadamente unos 8 años de pitonero, el empezó conmigo a trabajar como maestro en proyectos metro y después fue aprendiendo, la mayoría de estos pitoneros se forman en terreno entonces ellos van mutando desde un trabajo a otro y después se van especializando en estas áreas como principalmente el pitonero que es la proyección del hormigón de manera manual que también es un área que hoy en día va quedando un poco de lado con los equipos mecanizados pero si, yo creo que hay que tener, hoy día la vida útil de un pitonero debe andar en el orden de los 12 – 15 años porque su desgaste físico es mucho mas rápido que el de un maestro común y corriente.

### **¿Requieren tener mucha fuerza para realizar la tarea?**

Los pitoneros dicen que no tiene que tener fuerza, si no que es técnica pero si tu quieres calcular el peso, considera en línea generales y puede que este equivocado con los valores pero 1 metro cúbico de shotcrete debe pesar del orden de las 3 toneladas, claro eso es hormigón en movimiento, pero yo he visto pitoneros tirar 60 metros cúbicos en un túnel, o sea 60 cubos x 3 son 180 toneladas que pasan por el o sea su estructura física tiene que soportar un manejo, a pesar de que son hormigones en movimiento y manipular 180 toneladas en 12 horas, entonces el desgaste físico es alto, es interesante uno se pone a analizar el tipo de trabajo específico de los pitoneros, es un trabajo muy intenso en donde ellos requieren una gran concentración, tienen una estructura física bastante grande, son todos gruesos y si el pitonero es alto, mucho mejor, porque puede lograr

alturas que una persona baja no puede y lo otro tiene que tener un buen nivel de concentración y una buena técnica, hay pitoneros que tienen buena técnica y hay pitoneros que les falta todavía y que en el transcurso del tiempo van logrando no cansarse tanto.



## ¿Que habilidades debe tener un pitonero?

Muchos maestros no se atreven a proyectar hormigón de manera manual porque principalmente el desgaste es muy alto y no tienen el nivel de concentración que tiene un pitonero, es interesante la figura del pitonero.

Los pitoneros generalmente salen de los grupos, es una persona que se anima a realizar la actividad y en la medida del tiempo va adquiriendo cierta formación técnica porque se tiene que preocupar de la docilidad del hormigón sea la requerida para poder el trabajarlo, un hormigón muy seco no te sirve, un hormigón muy fluido tampoco, tienen que manejar conceptos de dosis de relaciones de acelerante con hormigón, manejar distancias de proyección, se habla generalmente entre 1-2 metros es la distancia optima para poder proyectar desde la salida del pitón hasta la superficie que proyecta. Todas esas variables el pitonero tiene que ir las manejando en una unidad dinámica de trabajo porque el pitonero no es estático, se tiene que ir moviendo, el sube, baja, pesca el culebrón con las mangueras y lo mueve, tiene que subir en una estructura, tiene que bajar de estructuras, ponerse arnés y todo eso lo tiene que hacer también pensando en que el hormigón no se le pase el tiempo, los hormigones tienen vida útil, hoy día los hormigones tienen lapsus de trabajo, tu puedes pedir un hormigón con retardo que te pueda durar en obra 2 horas pero al momento de entrar en ciclo de producción y de

proyección, el hormigón rápidamente puede bajar su cono por tanto el operador se puede tapar, puede tapar el equipo, puede generar un daño mayor de perder tubería, perder culebrones, perder equipo. Por tanto el tiene mucha presión encima del punto de vista de lo que tiene que lograr hacer con el hormigón que es proyectarlo, pero además no se tiene que tapar, no tiene que perder el culebrón, no tiene que perder el hormigón, no tiene que generar nidos, no tiene que generar sobra, que nosotros le llamamos cuando el hormigón esta muy seco y no es lo suficientemente fluido para lograr hacer un elemento monolitico entre la armadura y el hormigón. Entonces tienen muchas cosas que ir pensando en el momento del trabajo, no es un trabajo que el coloque y saque de manera mecánica, es un trabajo que tiene varias variables en el momento de la ejecución y los buenos pitoneros logran hacer eso

### ¿Cómo se miden los espesores actualmente?

Actualmente tienes dos formas para poder medir, una que es una medición estimada que generalmente te lo da la experiencia, el pitonero que es la persona encargada de realizar la proyección en terreno y generalmente es al ojo, no hay un número ni un elemento que te permita definir un espesor y hoy día en equipos modernos hay medidores láser que son equipos computarizados que se programan y tu le das el espesor, inconvenientes de eso es que el estimado puede que te falte o te sobre,

entonces quedar con una capa muy delgada o con una capa muy gruesa y estas fuera de los rangos de lo que te pide el cliente generalmente. En el área automatizada hay que ser muy cuidadoso con la mantención del equipo posterior a las proyecciones Porque como son sensores laser, por tanto si tu no tienes el cuidado con la limpieza del sensor al final el equipo no tiende a funcionar bien tampoco y puede dar espesores mayores o menores. Lo que tradicionalmente se hace es marcar mediante un elemento externo y que generalmente se usaba que eran barras de fierro que se cortan medio centímetro o 1 centímetro menos del espesor requerido y que se usa como guía para poder lograr un espesor promedio que cumpla requerimientos eso seria lo que hoy se usa y lo que hoy día actualmente esta en uso en la industria.

### ¿Cómo funciona el método de perforaciones?

Generalmente las empresas cuando presentan técnica y especificaciones establecen una revisión de los espesores posteriores a las proyecciones y eso generalmente se hace 1 mes, 2 meses, 3 meses, 6 meses después de la proyección, no es automático, ¿para que? Principalmente para poder respaldarse. Entonces los testigos verifican: espesores, resistencia y otros datos de laboratorio propiamente de la calidad del producto terminado. Ahora que pasa cuando no se logran los espesores, tienes que volver a hacer la tarea y poder cargar de nuevo y poder lograr los espesores.





**¿Qué ocurre si después de esperar meses para realizar las perforaciones para comprobar los espesores, demuestran que no se logro el espesor?**

A mi me ha tocado marcar espesores y estar 30 días después dándole los espesores que corresponden, o sea estamos hablando de una inversión en horas y materiales importante y generalmente es al final de los proyectos en donde ya los plazos no son los mismos, está la presión por entregar los proyectos, por tanto si hay una inversión que uno no estima mucho cuando los espesores son muy deficientes. Ahora en líneas generales los proyectos grandes y las especificaciones te dan un margen, te dicen mas menos un centímetro, o sea tu puedes estar un centímetro mas o uno menos, por tanto si tu espesor es de 20 centímetros, tu puedes estar en 19 o en 21 y estas cumpliendo, pero si estas en 18, 17 o en 15, estas obligado a proyectar una capa de 2 o 3 cm, eso pasa siempre. Principalmente porque los definidores de espesores en tema práctico, no hay una metodología y un sistema tan avanzado para poder medir espesores y los equipos que lo hacen son muy caros, por tanto muchas empresas no te lo piden, un equipo de alta tecnología no te lo van a pedir porque son costos muy altos. Cuando son proyectos muy grandes te lo piden y te lo exigen , pero cuando son proyectos pequeños o medianos ellos te piden un espesor definido y ahí es donde entra todo el sistema de medir los espesores posterior a la proyección pero eso puede ser una semana

después, un mes después, un año después y eso pasa, hasta el día de hoy todavía pasa, eso es así.

**Parte 2: Sobre el producto**

**¿Cuáles son sus apreciaciones del producto?**

El sistema a mi me gusta, o sea, yo creo que es bastante bueno, creo que siempre los sistemas se pueden ir mejorando un poco en la medida de que tu vas obteniendo mucho más experiencia empírica de la propia pieza que estas diseñando. Por ejemplo, dentro de la proyección tenga una sujeción tal que al momento de la proyección no salga disparado y no se voltee o se gire, que no se caiga porque el impacto es tan alto que si la pieza no queda bien asegurada al final te va a traer un problema porque el pitonero se guía. Los pitoneros trabajan de manera visual, aunque usted no lo crea el pitonero una vez que ve el marcador y una vez que identifica el punto donde tiene que llegar, el visualmente va trabajando sobre ese espesor , por tanto, si el marcador se llegara a mover que vimos que no sucedió, el tiene una muy buena referencia para poder completar la capa, entonces, esas son experiencias que puede ir sacando de las pruebas y de los diseños y de estas pruebas empíricas. principalmente cuando uno diseña algo trabaja sobre ciertas teorías pero por ejemplo en la sujeción es super importante, el espesor es super importante, la visual que logra el pitonero frente al color por ejemplo, si fuera

de color gris no te serviría porque automáticamente no se ve, entonces ese tipo de detalles que puede que al principio no sean tan importantes tu lo ves en terreno y son súper interesantes y súper importantes de poder tener en cuenta en la colocación misma. Una cosa muy importante para nosotros del punto de vista de la obra, es que no sea un atraso del ciclo, es decir, que tu no inviertas mucho tiempo en la instalación de los elementos por tanto si es un sistema práctico, fácil de instalar, y que al momento de la colocación el dispositivo se mantiene fijo es un ahorro de tiempo del punto de vista de logra los espesores diseñados, estas dentro de los plazos, entonces eso son los parámetros que hay que tener muchas veces cuando empiezas a evaluar de manera en terreno empiezas a evaluar estos dispositivos, porque muchas veces a nosotros nos interesa que el dispositivo funcione pero también tiene mucho que ver con los tiempos que nosotros tenemos que invertir par poder habilitar un dispositivo, si el dispositivo es muy aparatoso genera mucho retraso porque su colocación tiene mucha tarea, mucha actividad y tienes que destinar muchos recursos para eso, generalmente los dispositivos no se usan, entonces ese es uno de los grandes factores también para poder usarlo. Pero es interesante hoy día funcionó muy bien, y funciono en dos áreas en las cuales de manera practica es lo que nosotros siempre usamos



**¿Que observaciones tiene sobre el producto posterior a lo visto en las pruebas?**

El color, yo creo que el color es super importante porque en esta condición hoy día estuviste muy cerca a lo que nosotros realmente hacemos en túneles, pero considera que dentro de los túneles la luz es artificial y hoy día tenias una gran ayuda porque estas en un ambiente iluminado entre comillas, la misma luz natural te ayuda en la condición de iluminación y en la visual. En los túneles de repente trabajas en túneles con agua en condiciones de humedad sobre el 90%, con temperaturas sobre los 30 grados y eso te dificulta mucho la visual, por tanto si tu puedes mejorar la visual también es muy bueno y siempre tratar de trabajar en los contrastes con los hormigones, tu te diste cuenta que el hormigón que tu ves normalmente es un gris claro, pero acá era un gris oscuro porque esta con presencia de agua, es un hormigón fresco, por tanto te opaca muy rápido la estructura y queda todo un elemento de un solo color, después cuando el hormigón empieza a fraguar, libera el agua y genera este color grisáceo que nosotros conocemos habitualmente pero en su colocación el hormigón es mucho más oscuro. Por tanto mientras puedas contrastar, mucho mejor. El color del medidor de espesor con el color del hormigón, eso mejora la condición visual, si tienes menos luz también te va ayudar eso,

**¿Como cree que será la visualidad del producto para los operadores?**

Lo que pasa es que si el pitonero logra encontrar el marcador de espesor, el ya lo tiene identificado mentalmente, porque ellos están mecanizados de esa manera. Tu tienes que mostrarle el punto por cual ellos se tienen que medir, incluso ellos lo pueden hacer con un alambre, con un pedazo de fierro y ellos mentalmente y mecánicamente los pitoneros con experiencia ya lo tienen tomado como parte de su trabajo pero si tu les puedes ayudar en un sentido de que se pueda identificar un poco mejor con un color que contraste un poco más, mejora la condición. La condición actual sirve, si sirve, la adherencia que hoy día vimos que funciona súper bien por ejemplo con el tipo de pegamento, la selección del tipo de pegamento es súper interesante pensando en que las presiones son tan altas que si el pegamento no es suficiente en cantidad y en calidad te va a sacar el medidor, instruir al operador por ejemplo, previo a la proyección también es una forma de mejorar la condición y de que el marcador sirva y lo otro que el pitonero en este caso pueda identificar de mejor manera los sectores en donde el se tiene que guiar para poder lograr los espesores que se le están indicando

**¿Cómo crees que se seria la introducción del sistema al mercado?**

Ningún producto es fácil de introducir en el mercado, sobre todo cuando son productos nuevos. Lo que si los productos deben introducirse en mi opinión, de manera que se puedan incluir en la secuencia natural de trabajo y que no te quiten mucho tiempo. Si tu puedes lograr eso, se puede introducir en el mercado y pueden ser usados de manera masiva. La fibra por ejemplo es un accesorio que se usa en los hormigones, existe hace mucho tiempo y cuando existe reticencia de los diseñadores por ejemplo a usarla es un elemento que muchas veces no se ocupa, no se considera, pero cuando el cliente por ejemplo lo solicita tu estas obligado a aprender a trabajar con ese elemento peor también todos sabemos que trabajar con un hormigón con fibra tiene un tratamiento y un tiempo de proyección que es más lento que la proyección del hormigón sin fibra y eso requiere una experiencia, requiere que el personal entienda que los tiempos son distintos pero que al final no te tiene que producir un retraso en el ciclo general y en los plazos totales que te dan, si eso se logra los elementos siempre pueden ser participes y de uso común



**¿Usted cree que si se aplicara esta metodología mejoraría el escenario actual?**

Yo creo que podrías disminuir los porcentajes de bajo espesor, yo creo que te puede ayudar mucho en disminuir la cantidad de puntos en los cuales tu deberías rehacer trabajos para poder completar los espesores, ninguno de los métodos de hoy día existentes asegura, ni si quiera los sistemas automáticos te garantizan 100% que vayas a cumplir los espesores requeridos, ninguno, pero lo que si pueden hacer es minimizar el punto. Si tu tienes en una longitud de 100 metros de túnel y sin medidas de espesores, sin equipo, sin ningún sistema que te permita ir controlando, tu podrías tener un 50% de túnel con bajo espesor. Con un sistema de marcación de espesores eso tu lo puedes disminuir en un 10-15% por lo que tus tareas de rehacer trabajos posteriores a la faena principal disminuyen en tiempo por lo que ya al final del proyecto no vas a estar tan apurado ni apretado tratando de cumplir el requerimiento que te esta pidiendo el cliente



# ANEXO 2

## Construcción de la encuesta de diferencia semántico



### Marcadores de shotcrete DPL Grout

Encuesta de percepción

Poner una x en el espacio que considere más apropiado entre los siguientes conceptos, no hay respuestas incorrectas.

Común	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Fuera de lo común
	2	1	0	1	2	
Confianza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Desconfianza
	2	1	0	1	2	
Seguro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Peligroso
	2	1	0	1	2	
Relajado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Estresado
	2	1	0	1	2	
Suave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Duro
	2	1	0	1	2	
Ligero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Pesado
	2	1	0	1	2	
Rápido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Lento
	2	1	0	1	2	
Claro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Confuso
	2	1	0	1	2	

Productivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Improductivo
	2	1	0	1	2	
Industrial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Artesanal
	2	1	0	1	2	
Moderno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tradicional
	2	1	0	1	2	
Eficiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ineficiente
	2	1	0	1	2	
Visible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Poco visible
	2	1	0	1	2	
Tosco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Delicado
	2	1	0	1	2	
Feo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bonito
	2	1	0	1	2	
Facil de manejar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Dificil de manejar
	2	1	0	1	2	

### Observaciones

Cualquier tipo de comentario, aporte, pregunta, experiencia con el producto.

Figura 146: Encuesta para los usuarios. Elaboración propia.



# ANEXO 3

## Catalogo de mallas ACMA.

**Mallas sin economía de borde** (Medida 2,6 x 5,0 metros)

Tipo de Malla	Distancia entre barras (mm)		Diámetro de barras (mm)		Sección de acero (cm2/m)		Peso (Kg)	
	Long.	Transv.	Long	Transv.	Long.	Transv.	malla	Kg/m2
	dp	ds	Øp	Øs	ap	as		
<b>MALLAS STOCK TIPO "C"</b>								
C139	100	100	4,2	4,2	1,39	1,39	28,34	2,18
C188	150	150	6,0	6,0	1,88	1,88	39,03	3,00
C196	100	100	5,0	5,0	1,96	1,96	40,04	3,08
C257	150	150	7,0	7,0	2,57	2,57	53,10	4,08
<b>MALLAS ESTÁNDAR "C"</b>								
C111	150	150	4,6	4,6	1,11	1,11	22,86	1,76
C131	150	150	5,0	5,0	1,31	1,31	27,07	2,08
C158	150	150	5,5	5,5	1,58	1,58	32,87	2,53
C166	100	100	4,6	4,6	1,66	1,66	33,80	2,60
C221	150	150	6,5	6,5	2,21	2,21	45,71	3,52
C295	150	150	7,5	7,5	2,95	2,95	61,00	4,69
C335	150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	69,44	5,34
C378	150	150	8,5	8,5	3,78	3,78	78,23	6,02
C443	150	150	9,2	9,2	4,43	4,43	91,77	7,06
C503	100	100	8,0	8,0	5,03	5,03	102,70	7,90
C567	100	100	8,5	8,5	5,67	5,67	115,70	8,90
C665	100	100	9,2	9,2	6,65	6,65	135,72	10,44
<b>MALLAS ESTÁNDAR "R"</b>								
R158	150	250	5,5	4,2	1,58	0,56	22,50	1,73
R188	150	250	6,0	4,2	1,88	0,56	25,65	1,97
R221	150	250	6,5	4,2	2,21	0,56	29,07	2,24
R257	150	250	7,0	4,2	2,57	0,56	32,85	2,53



**Mallas con economía de borde** (Medida 2,6 x 5,0 metros)

Tipo de Malla	Distancia entre barras (mm)		Diámetro de barras (mm)		Sección de acero (cm2/m)		Peso (Kg)	
	Long.	Transv.	Long/EB	Transv.	Long.	Transv.	malla	Kg/m2
	dp	ds	Øp	Øs	ap	as		
<b>MALLAS STOCK TIPO "C" y "R"</b>								
C92C	150	150	4,2/4,0	4,2	0,92	0,92	18,76	1,44
R92C	150	250	4,2/4,0	4,2	0,92	0,56	15,28	1,18
C188C	150	150	6,0/4,2	6,0	1,88	1,88	34,51	2,65
<b>MALLAS ESTÁNDAR "C"</b>								
C131C	150	150	5,0/4,0	5,0	1,31	1,31	24,87	1,91
C158C	150	150	5,5/4,0	5,5	1,58	1,58	29,35	2,26
C221C	150	150	6,5/4,6	6,5	2,21	2,21	40,51	3,12
C257C	150	150	7,0/5,0	7,0	2,57	2,57	47,17	3,63
C378C	150	150	8,5/6,0	8,5	3,78	3,78	69,31	5,33



### Características

Todos los productos Electrosoldados ACMA son fabricados con acero de alta resistencia AT56 - 50H:  
 A : Acero  
 T : Trefilado/Laminado  
 56: 5.600 kg/cm2 (límite de ruptura)  
 50: 5.000 kg/cm2 (límite de fluencia)  
 H : Hormigón

### Cumplimiento de Normas

#### Condiciones de uso en el hormigón armado:

- ✓ NCh 1174 Of 77. Esta norma establece las condiciones de uso del alambre de acero, liso o con entalladuras, en forma de barras rectas de grado AT56-50H según NCh1173 para ser empleado en el hormigón armado.
- ✓ NCh 219 Of 77. Establece las condiciones de uso de las mallas soldadas de alambre de acero de alta resistencia, que se fabrican según NCh218, para ser empleadas en el hormigón armado.

#### Especificaciones:

- ✓ NCh 1173 Of 77. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los alambres de acero, lisos o con entalladuras, de grado único AT56-50H, que se usan en el hormigón armado.
- ✓ NCh 218 Of 77. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las mallas de acero de alta resistencia, para su uso en hormigón armado
- ✓ Uniones Electrosoldadas: Soldadura por fusión eléctrica, es decir, sin aporte de material, permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad.
- ✓ Sello de Marca: Todos nuestros productos electrosoldados tienen el sello ACMA grabado en las barras. Búsquelo como garantía de calidad.
- ✓ Productos Stock: tienen medidas y pesos conocidos, además están disponibles para entrega inmediata. Cada producto Stock tiene una etiqueta individual con sus características.

#### Servicios

- ✓ Departamento Técnico. Nuestro Departamento Técnico evalúa y desarrolla alternativas de solución para proyectos especiales.
- ✓ Asistencia Técnica. Profesionales calificados visitan permanentemente las obras para guiar y apoyar a los clientes en la implementación de las soluciones Acma.
- ✓ Apoyo a Distribuidores. Apoyamos permanentemente a nuestros distribuidores a través de charlas de capacitación, consejos técnicos y material publicitario.
- ✓ Acma fabrica mallas, pilares y cadenas de dimensiones y cuantías especiales para su proyecto.

### Mallas de acero de alta resistencia con certificación CESMEC



### Sección y peso del acero AT 56-50 H

Diámetro mm	Sección cm2	Peso Kg/m
4.0	0.126	0.099
4.2	0.139	0.109
4.6	0.166	0.130
5.0	0.196	0.154
5.5	0.238	0.187
6.0	0.283	0.222
6.5	0.332	0.260
7.0	0.385	0.302
7.5	0.442	0.347
8.0	0.503	0.395
8.5	0.567	0.445
9.2	0.665	0.522
10.0	0.785	0.617

**Pilares Electrosoldados**

Tipo de Pilar	Medida y Peso		Diám. barras		Sec. elemento	
	Largo m	Peso Kg	Long/ mm	Estribo mm	Pilar cm	Concre. cm
<b>PILARES LINEA 920: Alambre longitudinal de 9,20 mm</b>						
<b>PILARES STOCK</b>						
PI1515	3,40	8,36	9,20	4,20	12-12	15-15
PI1520	3,40	8,59	9,20	4,20	12-17	15-20
PI1530	3,40	9,05	9,20	4,20	12-27	15-30
<b>PILARES ESTÁNDAR</b>						
PE1515	3,00	7,46	9,20	4,20	12-12	15-15
PI1414	3,40	8,27	9,20	4,20	11-11	14-14
PI2020	3,40	8,82	9,20	4,20	17-17	20-20
<b>PILARES LINEA 800: Alambre longitudinal de 8,00 mm</b>						
<b>PILARES STOCK</b>						
Pe250	2,50	4,97	8,00	4,20	12-12	15-15
Pe300	3,00	5,94	8,00	4,20	12-12	15-15
Pe340	3,40	6,63	8,00	4,20	12-12	15-15
<b>PILARES ESTÁNDAR</b>						
Pe280	2,80	5,56	8,00	4,20	12-12	15-15
Pe320	3,20	6,32	8,00	4,20	12-12	15-15

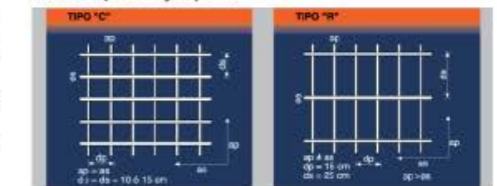
**Cadenas Electrosoldadas de Stock**

Tipo de Cadena	Medida y Peso		Diám. barras		Sec. elemento	
	Largo m	Peso Kg	Long/ mm	Trabas mm	Cadena cm	Concre. cm
<b>CADENA STOCK</b>						
CA1520	4,50	11,45	9,20	4,20	12-17	15-20
CA1525	4,50	11,77	9,20	4,20	12-22	15-25
CA1530	4,50	12,09	9,20	4,20	12-27	15-30
CA2030	4,50	12,40	9,20	4,20	17-27	20-30
Ce1520	4,50	9,16	8,00	4,20	12-17	15-20
<b>PILARES ESTÁNDAR</b>						
CA1420	4,50	11,39	9,20	4,20	11-17	14-20

**Escalera Electrosoldada de Stock**

Detalle de Escalera	Medida y Peso		Diám. barras		Dist. entre barras	
	Largo m	Peso Kg	Long/ mm	Estribo mm	Long/ mm	Estribo mm
ESCALE	5,00	1,35	4,20	4,20	8,50	30,00

#### Mallas Tipo "C" y Tipo "R"



Stock: entrega inmediata  
 Estándar: fabricación a pedido  
 dp: distancia entre barras principales  
 ds: distancia entre barras secundarias  
 Øp: diámetro de barra principal o longitudinal  
 Øs: diámetro de barra secundaria o transversal  
 ap: armadura principal  
 as: armadura secundaria o repartición  
 Espacio entre los estribos para pilares y cadenas es de 15 cm



Figura 147: Catalogo mallas marca Acma que se utilizan en fortificación de túneles.



## ANEXO 4

### Comentarios de usuarios que respondieron la encuesta.

- 1) “Tener un pegamento especial para fijar al terreno. Contara con dispositivo especial para colocar en lugares poco accesibles (techos con malla).”
- 2) “Me parece un poco más practica la idea de presentar una versión que se adhiera a la malla.”
- 3) “Bien formado para obrar minero en lo que se refiere a continuar proceso de rociado en minas (excelente).
- 4) ”Sería buena idea comenzar a utilizar el producto, para realizar pruebas de eficiencia y costos.”
- 5) “Se ve como algo novedoso y practico, aún no lo he probado pero parece ser de gran ayuda para el control de calidad.”
- 6) “Creo que es una buena herramienta para empezar a implementar en las unidades”
- 7) “Hay que tomar en cuenta que en ocasiones se ocupa zarpeo primario y podría ser riesgoso colocarlo.”
- 8) “Crear instructivos o vídeos tutoriales de instalación, además de especificar las formas correctas de instalación y lugares óptimos.”
- 9) “Necesitaría ver una demostración en esta mina y hacer pruebas para convencerme de usarlo”.
- 10) “Excelente producto, fácil uso, podría ser de madera su construcción.”
- 11) “Es un aparato productivo y eficaz”
- 12) “Asegurar que la pieza quede fija a la roca y que esta se vea al realizar el zarpeo.”
- 13) “Debería ser de un material renovable o reciclado por la alta contaminación”.
- 14) “Es bueno para mejorar los espesores requeridos por el cliente”.
- 15) “Será interesante probarlos”
- 16) “Excelente ayuda visual para los viejitos del zarpeo”
- 17) “Nos gustaría probarlo para controlar los espesores del concreto lanzado”
- 18) “El color de la punta podría ser más claro o fosforescente”
- 19) “Puntas de plástico sobresalientes podrían producir corte”
- 20) “Tamaño adecuado, color fácil de identificar. Sugencia, base flexible para adaptarse a las superficies y las rugosidades.”
- 21) “Fácil de manipular y novedoso para la operación”.
- 22) “Elemento practico muy fácil de instalar”



## ANEXO 5

Fotografías y render.



Figura 148, 149, 150: Fotografía de la primera versión del diseño para roca en pruebas de uso utilizando silicona roja y clavos como unión al sustrato. A solicitud de la autora.



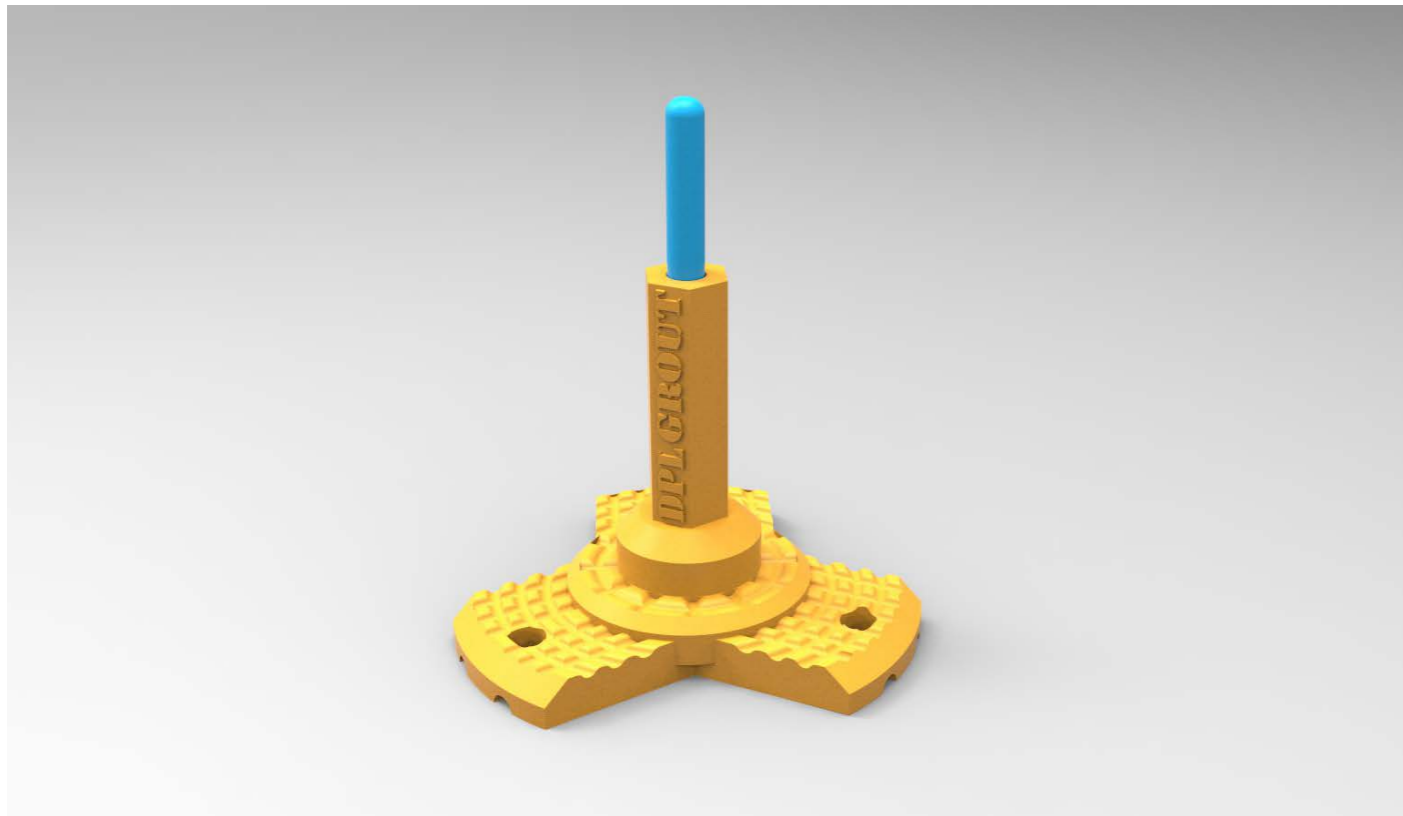


Figura 151 y 152: Render de visualización de la propuesta para control de calidad. Elaboración propia.







Figura 153: Fotografía 1 Producto fabricado en inyección. Elaboración propia.



Figura 154: Fotografía 2 Producto fabricado en inyección. Elaboración propia.

