

“SOLUCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE TRABAJADORES A LOS PELIGROS PRESENTES EN EL MANEJO Y MANIPULACIÓN DE TAPAS DE REDES DE SERVICIOS”

código 242- 2019

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales (2019) de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.



Ejecutores: DIP Think

Junio 2020

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Contexto y problemática	2
1.2. Equipo.....	3
1.3. Metodología	4
1.4. Síntesis de las etapas anteriores	5
2. IDEACIÓN Y CREACIÓN DE PROTOTIPOS.....	6
2.1. El desafío de levantar y mover la tapa.....	6
2.2. El desafío de los sistemas de enganche	8
2.3. Proceso de Prototipado.....	11
2.3.1. Prototipo Herramienta Palanca	16
2.3.2. Prototipo Herramienta Gata Hidráulica	20
2.3.3. Prototipo Chuzo 2.0.....	22
3. CONCLUSIONES Y PASOS SIGUIENTES.....	32
3.1.- Conclusiones.....	32
3.2.- Pasos Siguietes	32
4. BIBLIOGRAFÍA.....	35

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y problemática

La planificación, desarrollo y renovación urbana en nuestro país es acompañada en forma integral por los servicios básicos de agua, energía y comunicaciones propios de la urbanización. La planificación y diseño de la infraestructura urbana de estos servicios se ha desarrollado ampliamente en forma subterránea, lo que implica la construcción de pozos de registro o cámaras de inspección que permiten el acceso desde la superficie a diversas instalaciones subterráneas de servicios públicos tales como: tuberías de sistemas de alcantarillado o de agua potable, redes de distribución de energía eléctrica, teléfonos o gas, entre otros.

Estas cámaras de inspección cumplen dos funciones:

- Facilitar el acceso para realizar tareas de inspección, mantenimiento y reparación de la infraestructura subterránea.
- En el caso del alcantarillado, permitir la ventilación de las redes, evitando la acumulación de gases tóxicos y potencialmente explosivos.

El ingreso a las cámaras está protegido por una tapa de registro, construida en acero dúctil, hormigón o plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) con pesos que llegan hasta un máximo de 120 kg. La realidad en Chile es que no existe un estándar de tapa de registro, por el contrario, existen un gran número de diseños diferentes con distintas características de peso, geometría y materialidad.

El Problema a Resolver

Dadas las características de peso y geometría de las tapas, los operadores encargados de manipularlas en tareas de apertura y cierre se exponen a trastornos músculo esqueléticos asociados al manejo manual de grandes cargas y a accidentes como golpes y cortes generados por las herramientas utilizadas durante su manejo. De acuerdo con la estadística entregada por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), durante el año 2017 se registraron 171 ingresos de trabajadores por lesiones asociadas a sobreesfuerzo por el manejo de tapas de las cámaras de registro, que generaron 6.198 días de trabajo perdidos (equivalente a 16,9 años).

Como referencia, la empresa Aguas Andinas opera 41.000 tapas de registro sólo en la Región Metropolitana, con una dotación de 480 trabajadores propios y 650 contratistas directos expuestos a estas lesiones.

Dado que esta estadística sólo comprende las empresas afiliadas a la ACHS, con un 49% de los trabajadores afiliados (estadística del 2015, Fuente: SUSES), y que esta problemática es transversal a otras empresas de servicios en Santiago y regiones en el rubro de la electricidad, gas y telecomunicaciones

entre otras, esta se visualiza como una problemática relevante a nivel país tanto para las empresas que realizan estas actividades como para los trabajadores expuestos.

En la mayoría de los casos, el manejo de las cámaras de registro requiere de la utilización de herramientas o dispositivos que faciliten su apertura y manipulación. Adicionalmente, dado el peso o la adherencia de la tapa al suelo, se puede necesitar la participación de varios trabajadores para poder abrirlas o del uso de técnicas de alto riesgo para la salud desarrolladas por los mismos trabajadores, generando esfuerzos que superan ampliamente los niveles establecidos por el *National Institute for Occupational Safety and Health* de Estados Unidos o NIOSH (Fuente: Manual de Recomendaciones Ergonómicas para Técnicos de Redes, ACHS).

Es aquí donde se identifica el problema a resolver, que consiste en crear una solución, única y transversal, que facilite la apertura de cámaras de registro, impactando positivamente en la seguridad y salud de los trabajadores involucrados y generando valor para otros objetivos relevantes de la operación.

1.2. Equipo

El desafío de innovación se abordó con el siguiente equipo multidisciplinario:

DIP Think



José Luis Sáez

Ingeniero Civil Mecánico, UC
Magíster en Innovación, UAI

Patricio Vargas

Ingeniero Civil Industrial, UC
Magíster en Innovación, UAI

Más D



Natalia Oviedo

Diseñadora Integral UC
Magister en Diseño Avanzado UC

Daniel Foncea

Diseñador Industrial Uch

Mauricio Flores

Ingeniero Mecánico USACH
Magíster en Ciencias de la Ingeniería UC

1.3. Metodología

La metodología utilizada, se denomina “Design Thinking” y se sustenta en las etapas que se describen a continuación:

1. **Investigar:** Etapa en la que se estudian e investigan tendencias (sociales, tecnológicas, comerciales, etc), estadísticas, patentes, casos de éxito, otras industrias. Esta información resulta relevante como antecedentes y referentes de etapas posteriores.
2. **Descubrir.** Etapa en la cual se busca una comprensión profunda del usuario (interno y externo), a través de técnicas de investigación cualitativa (entrevistas y observación) en terreno. Esta etapa permite obtener información acerca de elementos, necesidades y problemáticas que están implícitas y que revelan en el acercamiento cercano al usuario y a sus interacciones.
3. **Idear:** Etapa en la cual, a partir de la consolidación de la información obtenida en etapas anteriores se logra un entendimiento integral de la problemática, en el que no sólo se identifica el problema original sino que también se logra visualizar otras necesidades y/o problemáticas complementarias. Este entendimiento permite a su vez avanzar hacia la generación de múltiples ideas de solución al desafío planteado, las cuales se ordenan y jerarquizan según los criterios de evaluación definidos. Como resultado se obtiene un concepto validado que se seguirá perfeccionando en la siguiente etapa.
4. **Prototipar.** Etapa en la cual las soluciones conceptuales obtenidas en etapas anteriores se llevan a soluciones concretas a través de prototipos que serán probados en testeos de terreno. El testeo mencionado permitirá identificar oportunidades de mejora para pulir la solución propuesta, la que se irá ajustando en cada iteración de mejora. Como resultado se obtendrá una propuesta formal de solución al desafío planteado .
5. **Pilotear:** En esta etapa se generan pilotos de implementación que permiten generar ajustes a la solución en su ambiente real de implementación y uso. Los ajustes deberán ser incorporados en la solución para su implementación final.
6. **Implementar:** A partir de los aprendizajes anteriores y las mejoras realizadas a las soluciones, se implementa la solución que resuelve el desafío.

1.4. Síntesis de las etapas anteriores

En la etapa anterior de este proyecto, se abordaron las etapas de Investigar, Descubrir e Idear.

En dichas etapas se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Estudio del contexto de la organización y la problemática
- 2) Estudio de antecedentes nacionales e internacionales
- 3) Búsqueda de tendencias (*trendwatching*)
- 4) Estudio de referentes
- 5) Construcción de la solución del futuro y sus atributos.

El contexto de la problemática se abordó desde una mirada amplia considerando tanto el proceso de distribución y recolección de agua operado por Aguas Andinas como también los problemas asociados a seguridad y salud operacional en relación con la operación de cámaras de registro. Estas etapas realizadas resultaron en la propuesta de soluciones para las dos problemáticas fundamentales del desafío de innovación:

- Cómo desagripar la tapa de las cámaras de registro: desarrollo de un elemento “desagripador” basado en la generación de vibraciones que permiten soltar las tapas de los residuos solidificados ubicados en el espacio entre el borde de la tapa y el anillo de la cámara.
- Cómo levantar y movilizar la tapa de las cámaras de registro: desarrollo de una herramienta que permita desencajar la tapa de la cámara de registro y luego movilizarla, dejando destapada la cámara para ser utilizada por los operadores.

Dada la existencia de herramienta referenciales y soluciones existentes, se decidió abordar primero la problemática de levantar y movilizar las tapas de las cámaras. El detalle de las etapas anteriores se encuentra en el documento “Soluciones para la reducción de la exposición de trabajadores a los peligros presentes en el manejo y manipulación de Tapas de Redes de Servicios”, código 216-2018, publicado en la página web de la Superintendencia de Seguridad Social (SUSESOS).

2. IDEACIÓN Y CREACIÓN DE PROTOTIPOS

2.1. El desafío de levantar y mover la tapa

Existen diversos principios que se han usado por el hombre para facilitar la tarea de levantar peso. En esta línea, aparecen los sistemas “Potenciadores” que logran amplificar la capacidad humana para tareas como las analizadas. Los sistemas potenciadores pueden ser mecánicos, hidráulicos, eléctricos y neumáticos.

Para poder incorporar alguno de estos sistemas en las labores bajo análisis, se debe tener en consideración que, el chuzo (la herramienta que se usa actualmente para desarrollar el trabajo bajo análisis) está lejos de ser lo óptimo desde varios puntos de vista, desde lo ergonómico hasta lo funcional. Sin embargo, también presenta atributos muy importantes como son su simplicidad estructural (inexistencia de piezas), su facilidad de transporte y relativo bajo peso, características que contribuyen a su popularidad en la operación.

Por este motivo, la solución propuesta deberá presentar estos atributos u otros distintos que puedan competir con los de la herramienta actual. En esta línea, entre los potenciadores mencionados, los mecánicos podrían presentar mayor simpleza de funcionamiento que los hidráulicos.

El principio de las poleas permite amplificar una fuerza al transmitirse por un sistema de ruedas con ranuras. En el siguiente esquema se observa que teniendo una cuerda con un extremo fijo a un soporte, que pasa a través de una polea, permite levantar un cuerpo ejerciendo la mitad de la fuerza correspondiente al peso del cuerpo. Siguiendo el mismo principio, la incorporación de más poleas a un sistema permite seguir reduciendo la fuerza necesaria para levantar un peso determinado; es usual ver estos sistemas en operaciones de carga y descarga portuaria y en operaciones de construcción.



Imagen 1: Ejemplo de sistemas de poleas

El uso de sistemas de poleas permitiría reducir considerablemente el esfuerzo que debieran ejercer los trabajadores para poder levantar el peso de las tapas de cámaras de registro, sin embargo, cada polea

implica la incorporación de una serie de piezas para su funcionamiento, por lo que su construcción podría ser compleja al compararla con una herramienta como el chuzo que usan actualmente.

El principio de “Palanca” se basa fundamentalmente en la interacción de cuatro elementos, un peso o “resistencia” a levantar (R), una fuerza (P) que se utilizará para levantar la resistencia, una barra u objeto que levanta la carga y un elemento que se utiliza como punto de apoyo. La fuerza “P” necesaria para levantar la resistencia “R” dependerá de la ubicación del punto de apoyo, en relación con la resistencia y la fuerza aplicada, que en esta figura corresponden a las distancias a y b.

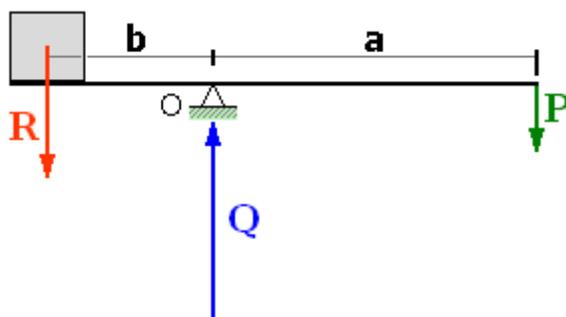


Imagen 2: Esquema de Fuerzas tipo Palanca

La ecuación que define la interacción de estos elementos es la siguiente: $R \times b = P \times a$

El principio de la palanca resulta interesante no sólo porque es similar al que actualmente ejecutan los trabajadores al realizar la tarea de apertura de tapas, sino también por su simpleza, atributo que resulta muy relevante de considerar para tareas realizadas en terreno donde se busca adicionalmente la eficiencia operativa.

La revisión de patentes permitió identificar una gran variedad de herramientas para la apertura de cámaras de registro, con diferentes configuraciones basadas en el principio de la palanca; junto con ello las patentes plantean varios principios interesantes para los distintos desafíos asociados a la herramienta de apertura de tapas, que vale la pena revisar para considerar en una solución posterior.

Aunque la mayoría de las patentes asociadas a levantar tapas de cámaras de registro, revisadas en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos, presentan configuraciones de palancas con extremidad superior, existen también unas palancas basadas en extremidad inferior. Estudios del “*International Journal of Industrial Ergonomics*” sugieren preferir herramientas basadas en la lógica de palanca de larga distancia, en vez de otras basadas en el levantamiento de la carga (como algunas herramientas magnéticas), puesto que prueban que el esfuerzo realizado por la espalda de los trabajadores es menor en las primeras. Otro

estudio, del *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* confirma que una herramienta tipo palanca permite reducir el esfuerzo realizado por brazos y espalda para remover las tapas de las cámaras.

La investigación de herramientas también permitió encontrar la denominada “*Camlift Tool*”, que presenta características muy similares a las de algunas patentes encontradas y a los estudios mencionados. Esta herramienta tiene un soporte de pie, corto y curvo que permite ejecutar una palanca con la fuerza de brazos y pie. El soporte corto de pie facilita el giro, sin embargo, se pueden probar mejoras alargando dicho soporte para reducir la fuerza requerida por los brazos, haciendo palanca al aplicar el peso del cuerpo con el pie sobre el soporte de pie extendido.



Imagen 3: Herramienta “Camlift Tool”. Fuente: <http://camlifttool.com/index.html>

La utilización de herramientas como las descritas, son más eficientes que otras similares desde el punto de vista del esfuerzo que realizan los trabajadores, por lo tanto, permitirían una reducción de su exposición a los peligros asociados a las tareas analizadas, haciendo que estas tareas resulten más inclusivas.

2.2. El desafío de los sistemas de enganche

Otra de las problemáticas presentes en la labor de apertura de cámaras de registro es la dificultad de enganchar la herramienta que permita levantar la tapa de la cámara. La revisión de patentes muestra distintas e interesantes configuraciones, basadas en ganchos, sistemas con giro u otros, que implican también una configuración especial del agujero de la tapa, por lo que cualquier sistema de enganche debe estar pensado para el agujero que exista en las tapas a abordar.

El agujero de las tapas de concreto tiene la configuración de un tubo de 30 a 38 mm de diámetro por 100 mm de profundidad, por este motivo, para la tarea bajo análisis, se requiere algún elemento que sea capaz ingresar por el angosto espacio existente, generar algún enganche con la tapa y luego ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso de la tapa o más bien la fracción de peso correspondiente. Si la tapa se abre mediante una palanca, existen puntos de apoyo del peso.

Otro elemento interesante de considerar es que la pieza de enganche podría tener una articulación que permita movimiento o giro, como se muestra en las figuras de la patente 4.662.607, del siguiente esquema (ver fig. 8 en la imagen). En el ejemplo de la patente mencionada, la articulación permite generar una palanca que levanta sólo una parte de la tapa y por tanto sólo una parte del peso de ella. Esta configuración resulta más eficiente puesto que permitiría ejecutar menos fuerza al levantar menos peso, por lo que resultaría más inclusiva permitiendo que cualquier persona realice la labor independiente de sus características físicas.

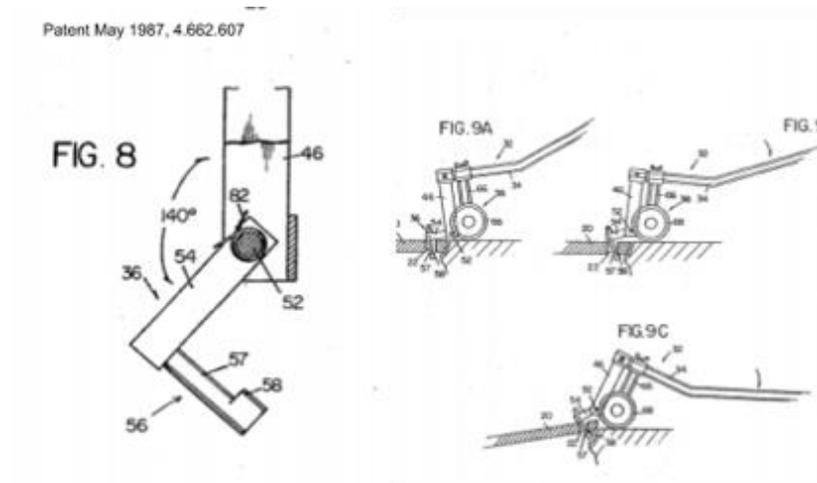


Imagen 4: Patentes para apertura de tapas de cámaras de registro. Articulación de Sistemas de Enganche

Fuente: United States Patents and Trademark Office

Para el caso de las tapas dúctil que presentan agujeros ovalados, soluciones como la de la patente 4.826.388 (siguiente figura), resuelven la necesidad puesto que permite ingresar la pieza de enganche a la tapa cuando está en posición paralela al largo del óvalo y engancharse girando la posición de la pieza hasta dejarla en posición perpendicular al largo del óvalo.

U.S. Patent May 2, 1989 Sheet 1 of 8 4,826,388

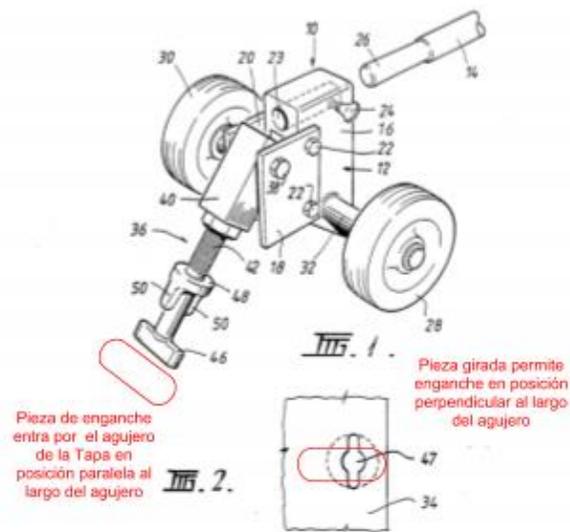


Imagen 5: Patentes para apertura de tapas de cámaras de registro. Sistemas de Enganche útiles para agujeros ovalados. Fuente: *United States Patents and Trademark Office*

Los acercamientos de solución basados en configuraciones mecánicas como las mencionadas, aunque podrían resolver el desafío del enganche, sólo apuntan a algunos de los atributos relevantes mencionados, como eficiente e inclusivo, pero requerirían algunos elementos más sofisticados para poder incorporar el resto de los atributos. La incorporación de sensores de peso o fuerza en los sistemas de enganche podría servir para dar información a los trabajadores acerca del esfuerzo que están realizando al ejecutar las tareas bajo análisis, haciendo que estas herramientas incorporaran también los atributos “Visualizable” e “Informado”.

2.3. Proceso de Prototipado

Dado el proceso de investigación e ideación de las etapas anteriores, el primer acercamiento de solución para la problemática de levantar la tapa y movilizarla, se basa en los principios relacionados con la herramienta “Camlift Tool” que se menciona en el informe de la etapa anterior.



Imagen 6: Primer acercamiento de solución, tipo “Camlift Tool”.



Imagen 7: Visita a terreno de las bodegas de insumos de Aguas Andinas.

El proceso de prototipado comenzó con una serie de actividades que se describen a continuación:

- Se realizó visita a terreno para ver tipos de tapas y analizar su operación
- Se tomaron medidas de las dimensiones de las tapas
- Se recopilaron las fichas técnicas de los proveedores de tapas de hierro dúctil que posee Aguas Andinas
- Se recopilaron las fichas técnicas de los proveedores de tapas de hormigón que posee Aguas Andinas
- Se recopiló información técnica, normas chilenas, entre otros documentos
- Se identificó que los elementos críticos a diseñar, que van a estar sometidos a mayor esfuerzo, son el enganche y el brazo que soporta el peso de la tapa.
- Se realizó un análisis simple de fuerzas involucradas en el ejercicio de palanca
- Se realizaron una serie de bosquejos y prototipos, que permiten visualizar distintas soluciones preliminares

Luego de discutir distintos conceptos y bosquejos de soluciones preliminares, se realizaron modelos en formato 3D con los materiales y perfiles a utilizar para los tres principios preliminares seleccionados; los diseños digitales preliminares fueron discutidos con el ergónomo de ACHS para poder incorporar elementos relevantes desde la seguridad y salud ocupacional. De las revisiones realizadas, buscando minimizar la complejidad, se decide avanzar en el desarrollo de las herramientas basadas en el principio de palanca y el principio hidráulico.

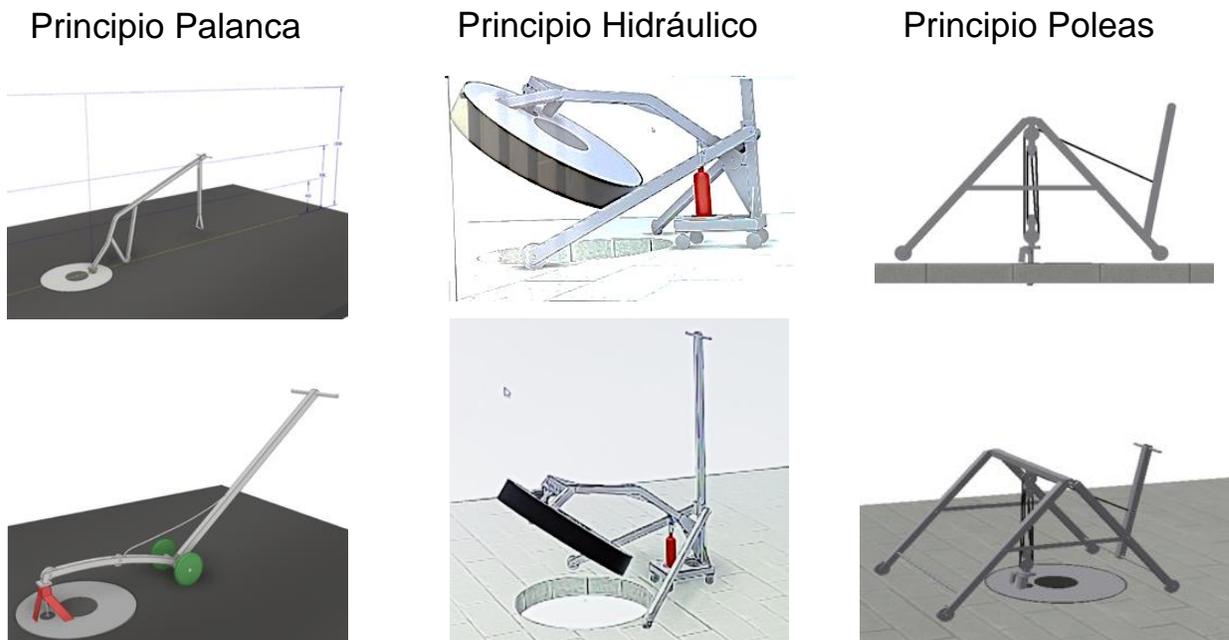


Imagen 8: Diseño digital de propuestas de herramienta bajo tres principios preliminares

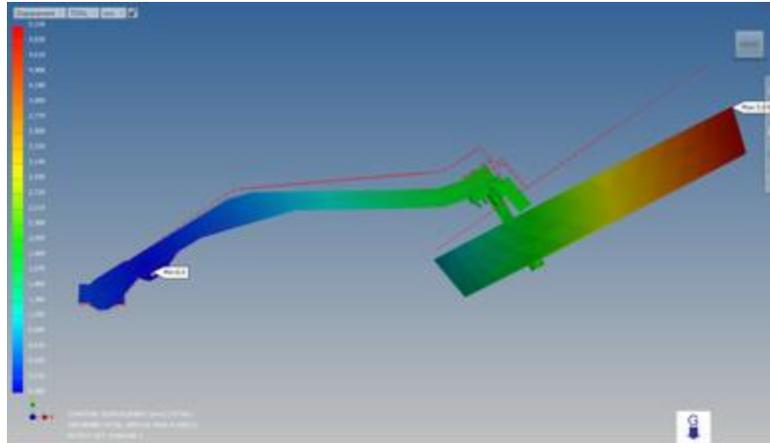


Imagen 9: Análisis de elementos finitos de partes críticas, brazo y enganche.

Uno de los elementos relevantes del desafío de levantar la tapa se relaciona con el sistema de enganche; para ello se realizaron varios bosquejos de enganche. En primera instancia, el foco será el diseño del enganche para tapas de hormigón, que representa el mayor porcentaje de casos de tapas y el más crítico en términos de resistencia a los esfuerzos sometidos. Junto con lo anterior se realizó análisis de elementos finitos a las zonas críticas de la herramienta y del enganche.



Imagen 10: Bosquejo digital y prototipo construido del sistema de enganche

A partir de lo anterior se definen los diseños que pasan a la fase de fabricación de prototipos, los que fueron posteriormente presentados al jefe de seguridad de Aguas Andinas y al especialista de ACHS en temas de ergonomía para su análisis y discusión antes de realizar pruebas internas en terreno.



Imagen 11: Presentación y análisis preliminar de los prototipos.

Luego de la fabricación de los prototipos y de la revisión mencionada, se realizaron pruebas internas en terreno, para testear el funcionamiento de las herramientas y enganches. Estas pruebas apuntaron a identificar de manera temprana posibles fallas de diseño o de funcionalidad de las herramientas, antes de llevarlas a ser testeadas por operadores de Aguas Andinas.



Imagen 12: Testeo herramienta principio palanca.



Imagen 13: Testeo herramienta hidráulica.

En la prueba de terreno se detectaron problemas con el sistema de enganche para ambas herramientas, lo que fue revisado y corregido, ejecutando prototipos del agujero de la tapa. Estos ajustes fueron probados en terreno con una tapa real y se verificó que al levantarla, efectivamente la pestaña del enganche estaba realizando su función.

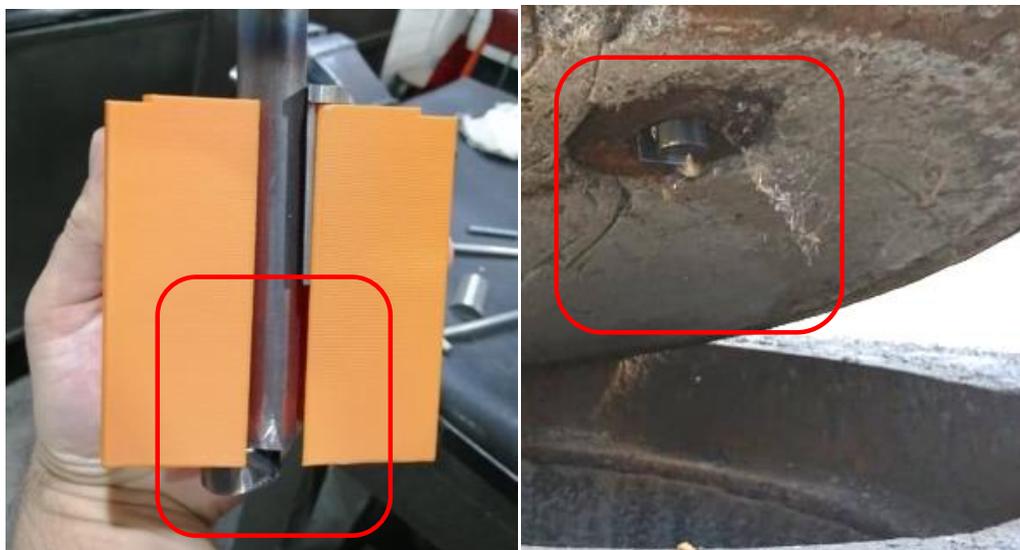


Imagen 14: Imagen izquierda: Prueba de diseño de enganche (pestaña) en prototipo de agujero de tapa.
Imagen derecha: Prueba del diseño de enganche en tapa real.

2.3.1. Prototipo Herramienta Palanca

En las pruebas internas se observó que el prototipo “Palanca” presenta los siguientes elementos a mejorar:

- Los fierros que permiten el plegado de la herramienta resultan peligrosos para su manejo manual y agregan peso a la herramienta
- En la manipulación de la herramienta, dada su longitud, el brazo tiende a doblarse lo que le quita resistencia
- El pedal que permite levantar la tapa resulta muy alto, lo que dificulta su manejo
- El punto de palanca (sufridera) requiere de un terreno muy duro para poder cumplir su labor, es posible que tenga problemas en terrenos blandos
- El giro de la herramienta, que permite movilizar la tapa y despejar la cámara para trabajar en ella, requiere de un terreno liso para su correcto funcionamiento. Esto restringiría su uso en terrenos irregulares complejos

Previo al testeo con operadores de terreno se cambian los fierros que permiten el plegado, por cables que reducen el peso de la herramienta.



Imagen 15: Pruebas internas previa al testeo con operadores de terreno.



Imagen 16: Pruebas internas y ajustes previos al testeo con operadores de terreno.

Posteriormente a las pruebas internas de terreno y a los ajustes realizados para corregir los hallazgos identificados, se llevó a terreno la herramienta Palanca, para ser probada con operadores.

La prueba con operadores de terreno evidenció que la herramienta era compleja de operar en espacios pequeños y en terrenos irregulares; en particular el piso con superficie de tierra generó dificultades pues el punto de palanca se hundió e hizo perder altura a la herramienta y también a la tapa, dificultando el despeje de la cámara.



Imagen 17: Testeo en terreno de la herramienta principio palanca con operadores de empresa ANAM

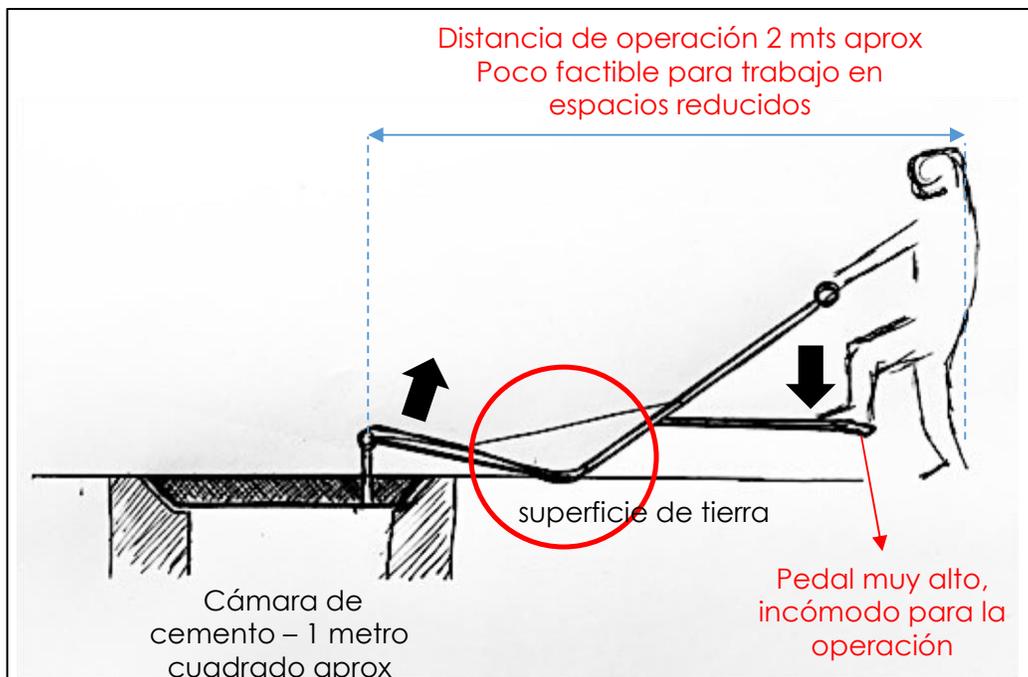


Imagen 18: Observaciones Post testeo de terreno en empresa ANAM

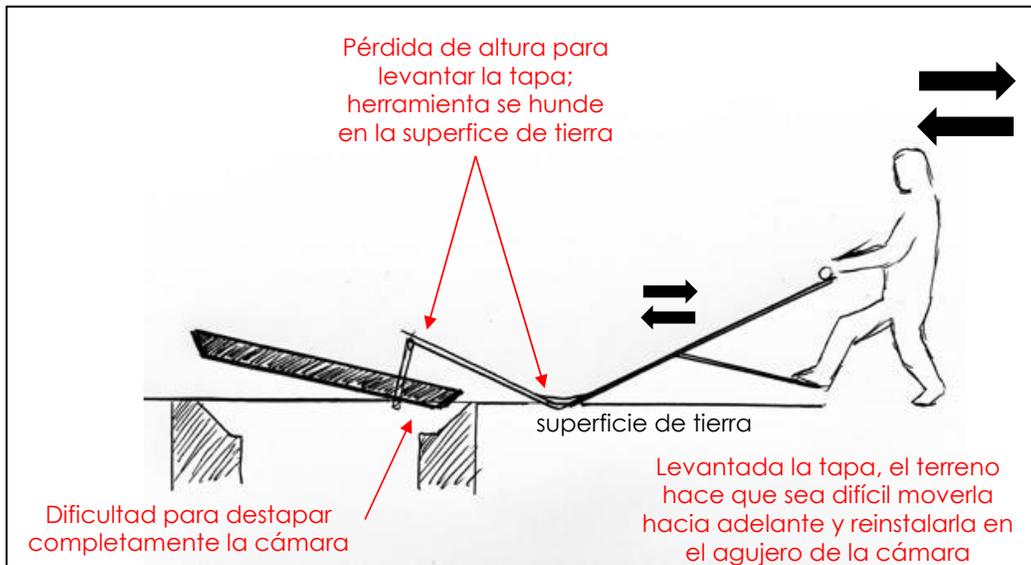


Imagen 19: Observaciones Post testeo de terreno en empresa ANAM

En terreno se verifica también el problema de la altura del pedal y del largo de la herramienta, que la haría utilizable sólo en lugares con un amplio espacio de trabajo. Esta característica resulta crítica pues la herramienta utilizada actualmente (el chuzo), dada su verticalidad, permite ser utilizada en un espacio muy reducido. La herramienta requiere ajustes significativos, por lo que parece conveniente buscar otras alternativas; por lo anterior el desarrollo de esta herramienta queda detenido para probar el otro prototipo desarrollado.

Insights obtenidos de la prueba de terreno con la Herramienta Palanca:

- El operador tiene una “técnica” con la que parece no requerir levantar el peso
- El operador logra mover la tapa al movilizar el centro de masas de ésta, haciendo pivote en sus bordes

Dado lo anterior se revelan dos preguntas fundamentales: ¿Cómo facilitamos la tarea de desencajar la tapa, reduciendo el esfuerzo del operador? ¿Cómo facilitar la palanca?. Preliminarmente, se observan los siguientes abordajes posibles:

- Aumentar la superficie de contacto para aumentar el torque
- Potenciar la palanca con apoyo del cuerpo

2.3.2. Prototipo Herramienta Gata Hidráulica

Por otra parte, las pruebas internas realizadas para la herramienta Gata Hidráulica también evidenciaron elementos a mejorar, en particular:

- Unión entre la gata y el brazo de izaje requiere ser reforzado
- Brazo de izaje presentó un pliegue de esfuerzo, por lo que se debe reforzar su resistencia
- Brazos de soporte tendieron a torcerse debido al peso ejercido por la tapa, a la forma de sus ruedas y a los soportes de la unión de los brazos con la estructura.

Luego de los testeos realizados, estos arrojaron como resultado que se requieren las mejoras en la estructura del prototipo con sistema hidráulico, que se mencionan en el punto anterior, las que fueron incorporadas para ser testeadas con los operadores de terreno.

Imagen 20: identificación de mejoras en Herramienta Gata Hidráulica

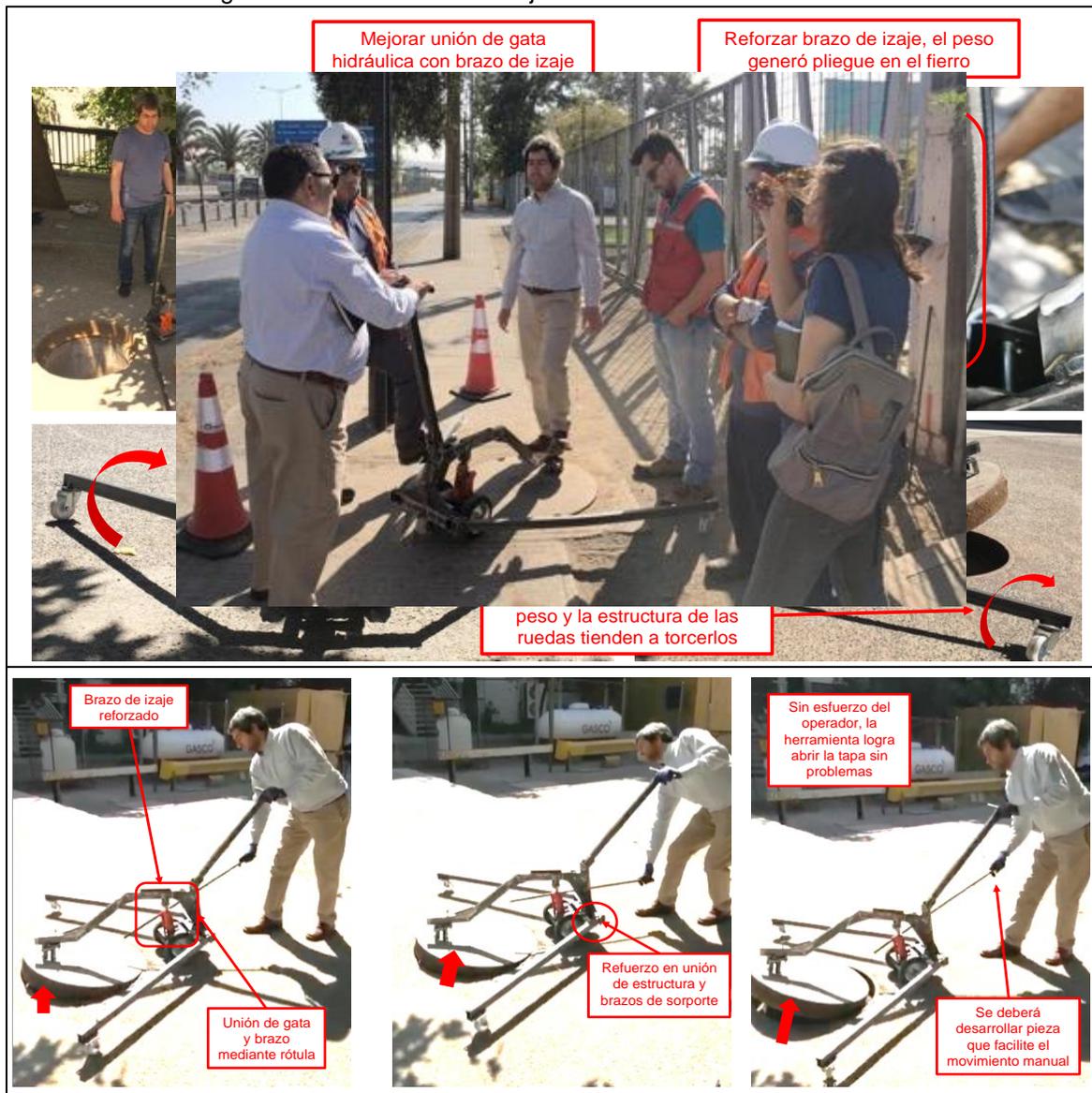


Imagen 21: Pruebas de los prototipos en terreno con la empresa ANAM

La herramienta Gata Hidráulica fue llevada también a terreno para ser probada por los operadores de la filial de Aguas Andinas (ANAM) y estas pruebas evidenciaron las siguientes oportunidades de mejora:

- En escenarios de tierra, el peso de la herramienta sumado al peso de la tapa, genera que todo el sistema tienda a hundirse, perdiendo la altura necesaria para poder retirar la tapa desde la cámara.
- Terrenos irregulares hacen que sea complejo movilizar el sistema herramienta-tapa, dificultando su operación
- Aunque en la tarea de levantar la tapa la herramienta Gata Hidráulica lo resuelve sin problemas y sin ningún esfuerzo físico por parte de los operadores, resulta un proceso operativamente muy lento en comparación con el desempeño del chuzo tradicional
- La operación de la gata hidráulica implica levantar la tapa y operar en la cámara mientras se mantiene el peso en alto; lo anterior resulta complejo dada el peligro potencial de tener un peso de 120 kg en el aire. Para poder resolver esta situación, la tapa debiera ser levantada para despejar la cámara y luego ser bajada para evitar mantener ese peso en alto. Esta secuencia debiera repetirse de manera inversa para cerrar la cámara. Aunque esta operación resulta adecuada desde el punto de vista de seguridad y salud en el trabajo, resulta poco factible operativamente puesto que aumenta considerablemente el tiempo de operación en comparación con el trabajo realizado con el chuzo.



Imagen 22: Análisis de pruebas de prototipos en terreno

2.3.3. Prototipo Chuzo 2.0

Los testeos de terreno con la herramienta Palanca y la Herramienta Gata Hidráulica permiten identificar los siguientes insights:

- La verticalidad del chuzo permite trabajar en espacios muy reducidos, los operadores están acostumbrados a ese atributo y resulta muy relevante para la operación
- La diversidad de superficies existentes hacen que no sea recomendable usar un pivote de palanca en terreno pues es factible que al hundirse en superficies de tierra, se pierda altura y se haga más difícil levantar la tapa
- La rapidez con que se logra desencajar una tapa (no más de 10 segundos) resulta muy relevante en términos operativos, por lo que cualquier solución deberá considerar este importante atributo
- Los operadores tienen una “técnica” que les permite movilizar la tapa con facilidad, logrando movilizar, sin gran esfuerzo físico, el centro de masas de la tapa pivoteando en sus bordes; resulta relevante considerar este atributo
- Para trabajar sobre una tapa desagripada, el esfuerzo físico más grande se ejecuta al intentar desencajar la tapa del agujero de la cámara, por lo que resulta importante focalizar los esfuerzos en facilitar esta tarea

Los puntos anteriores, hacen replantearse los prototipos desarrollados y sus complejidades, para pensar en diseñar un tercer prototipo muy simple que idealmente mantenga los atributos del chuzo y que se focalice en la problemática del “desencaje”, utilizando el peso del cuerpo de manera de evitar lesiones en brazos y espalda. A continuación se presentan un bosquejo del nuevo prototipo denominado Chuzo 2.0. Para facilitar el desencaje y el torque se incorporó en el diseño un soporte cónico que aumenta la superficie de contacto del chuzo y la tapa y permite facilitar la palanca en cualquier dirección en que se ejecute la fuerza. Otro elemento incorporado en el diseño, consiste en un pedal que debiera facilitar el torque al apoyar el peso del cuerpo del operador; por último también se incluyó un pequeño ángulo en la parte superior de la herramienta que apunta a acercar la herramienta al operador cuando éste ejecute la tarea.

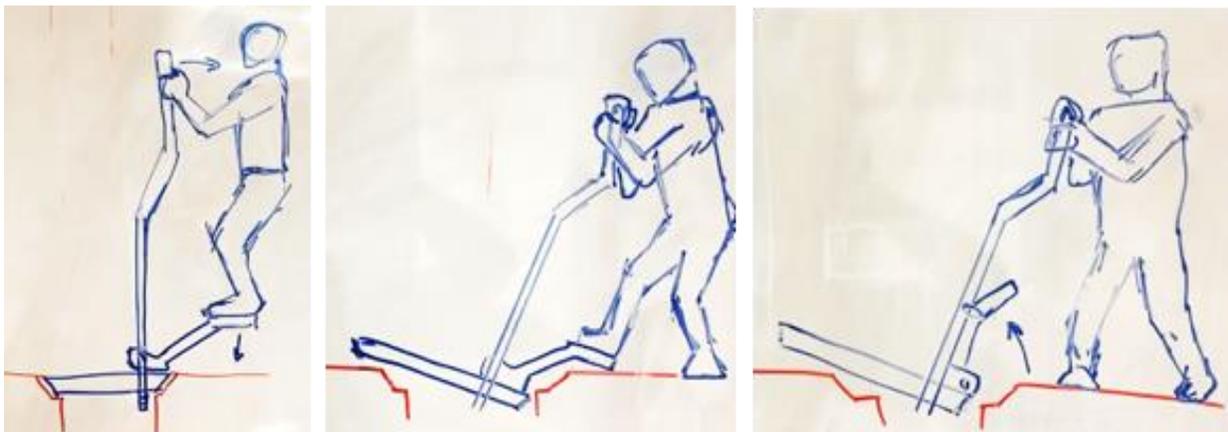


Imagen 23: Diseño conceptual de herramienta Chuzo 2.0



Imagen 24: Prototipo digital y real del Chuzo 2.0

Primer Testeo de Terreno

Fabricado el Chuzo 2.0 se realizan pruebas internas, operando la herramienta sobre tapas desagripadas, las que muestran lo siguiente:

- La herramienta permite abrir una tapa sin gran esfuerzo (desencaje) por parte de operadores inexpertos
- Pedal móvil no obstaculiza la operación del desencaje
- Requiere ajustes de diseño en zona de agarre manual
- Quedan dudas acerca del ángulo correcto del mango
- Quedan dudas acerca del largo correcto del pedal
- La herramienta permite movilizar la tapa de manera similar a cómo se hace con el chuzo tradicional
- La base circular genera más contacto con la superficie de la tapa y adicionalmente evita que la herramienta caiga por el agujero de la tapa



Imagen 25: Pruebas de desencaje de tapas y de agarre manual, sobre tapas desagripadas.



Imagen

26:

Pruebas de manipulación de tapas, sobre tapas desagripadas.

Las pruebas internas realizadas permiten observar que el funcionamiento de la herramienta, parece ser similar al del chuzo tradicional.

Segundo Testeo de Terreno

Para seguir con el proceso de testeo, se llevó la herramienta para ser probada por los operadores de ANAM y las pruebas en terreno entregaron las siguientes observaciones y oportunidades de mejora:

- El pedal no genera valor pues no resulta útil para los operadores; tampoco resulta un obstáculo, sin embargo no ayuda en el desenganche de la tapa
- La herramienta es usada tal como el chuzo tradicional y logra desenganchar las tapas sin problemas, además de lograr movilizarla sin dificultades para los operadores
- El soporte inferior ayuda a evitar que la herramienta caiga por el agujero de la tapa y reduce la fuerza que deben ejercer los operadores para sostener la herramienta
- El soporte inferior facilita el ejercicio de palanca
- La altura de la herramienta, evita que en su operación, el operario se golpee su cara
- Es recomendable ejecutar mejoras en la parte que será utilizada como soporte manual (parte superior)
- Los operadores utilizan la herramienta en distintas direcciones, no necesariamente en la dirección del ángulo



Imagen 27: Operadores probando desenganchar y movilizar la tapa con Chuzo 2.0

Observaciones de Ergonomía Posteriores al Terreno

La revisión con el ergónomo de ACHS, posterior al testeo de terreno, arrojó varios aspectos de mejora ergonómica, los que se describen a continuación:

- Se sugiere un diseño que movilice a las personas a ejercer un esfuerzo frontal a la herramienta (el esfuerzo cruzado realizado por los operadores no resulta recomendable para la espalda)
- El diseño debe permitir que el operador tome la herramienta con ambas manos y se desplace hacia atrás ejecutando la fuerza de arrastre con el cuerpo para lograr el desenganche de la tapa; lo ideal es que el operador ejecute la fuerza en una posición semi sentado para proteger la espalda (similar a ejercicios de gimnasio para fortalecer espalda)
- Se sugiere que el mango permita a los usuarios ejercer la fuerza con los puños de manera horizontal, permitiendo que la herramienta gire sin dañar las muñecas del operador. También resulta recomendable que el mango permita distintas formas de agarre de la mano

- Dado que el desencaje de la tapa requiere de una fuerza de torque que movilice 120 kilos, esto genera un movimiento brusco que requiere ser bien controlado por el operador; si el movimiento no es lo suficientemente controlado, el chuzo tenderá a moverse rápidamente hacia su cuerpo. Dado lo anterior resulta recomendable un “amortiguador” que evite el movimiento brusco descrito y que detenga la caída del chuzo



Imagen 28: Análisis de movimientos y sugerencias de ergónomo, en prueba de terreno

Diseño Conceptual incorporando Observaciones de Terreno y Ergonomía

Posterior a la prueba de terreno con el ergónomo, el equipo de innovación realizó varios bosquejos que incorporan las observaciones indicadas y el feedback obtenido con los testeos ejecutados con la empresa ANAM. En la siguiente imagen (izquierda) se observan los bosquejos para la manilla de la herramienta, la que permitiría distintos tipos de agarre para la mano, en los distintos usos de la herramienta. Junto con lo anterior se observa en la imagen (derecha) la presencia de un elemento que guía el recorrido de la herramienta luego de desencajar la tapa y amortigua el movimiento brusco descrito en los puntos anteriores.

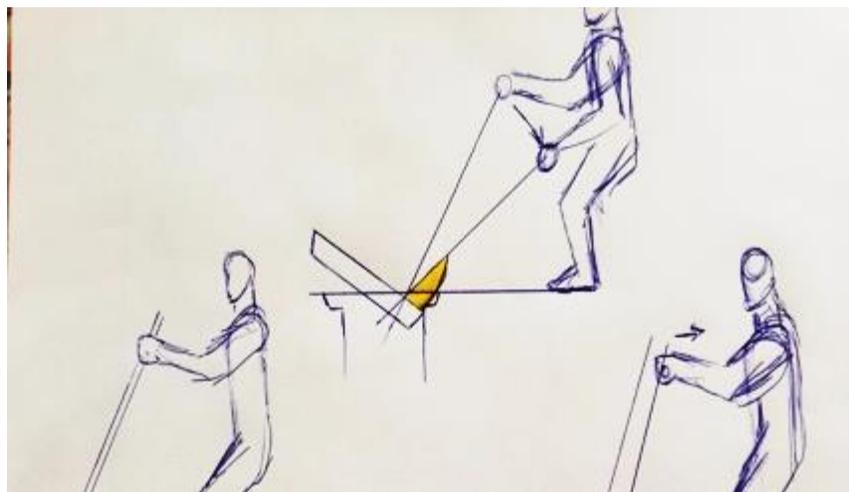
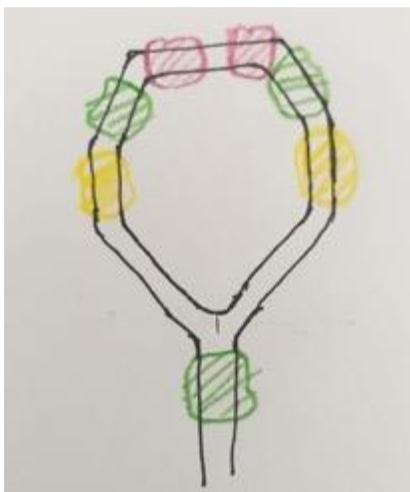


Imagen 29: Bosquejos de manilla (izquierda) y de funcionalidad de la herramienta durante el desencaje de la tapa (derecha)

Junto con lo anterior, el análisis de movimientos realizado por el equipo permitió identificar la necesidad de incorporar elementos que faciliten el movimiento tipo palanca que hace el operador al movilizar la tapa, independiente de la dirección en que este movimiento se realiza. En la imagen siguiente se observa que, con el fin de movilizar la tapa, los operadores ejecutan en movimiento de palanca en cualquier dirección; para facilitar aquello se requiere reforzar la base de la herramienta con elementos perpendiculares a la barra vertical.



Imagen 30: Análisis de movimientos durante el desplazamiento de la tapa por parte de los operadores



Imagen 31: Bosquejos de funcionalidad de la herramienta con ajustes incorporados

Diseños Digitales y Fabricación de Prototipo Real

Finalmente, después de haber incorporado todos los ajustes, se presenta el nuevo diseño de herramienta que será construida y probada en terreno.

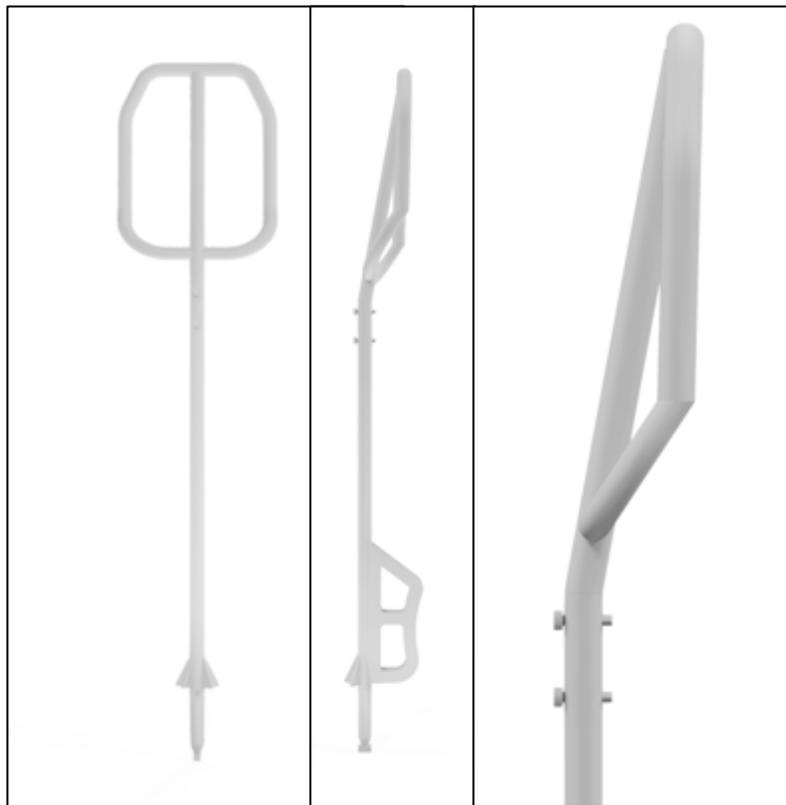


Imagen 32: Diseño Prototipo Chuzo 2.0

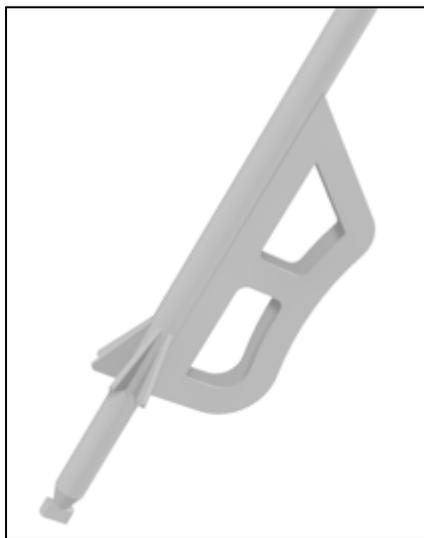


Imagen 33: Vista detalle de parte inferior de prototipo Chuzo 2.0, con amortiguador y refuerzo para palanca



Imagen 34: Vista de herramienta Chuzo 2.0, Desencajando la tapa de hormigón

Resuelto el diseño digital se avanzó hacia la construcción del prototipo real de la herramienta que incorpora los elementos indicados en los planos digitales, como se muestra en las siguientes imágenes. Junto con lo anterior, con el objetivo de lograr mayor visibilidad para su uso diario y nocturno se pintó de color amarillo.



Imagen 35: Proceso de

fabricación Chuzo 2.0

Pruebas de Terreno con Prototipo Final

Ejecutadas las pruebas de terreno con el prototipo final, se puede percibir que la herramienta posee un peso adecuado para su transporte y manipulación manual; el mango permite su manipulación para distintas posturas de la mano, adaptándose a las inclinaciones naturales de la muñeca. Junto con ello, el diseño induce la posición sugerida por el ergónomo para su manipulación segura y la protección de la espalda, evitando el movimiento asimétrico que se utiliza al manipular el chuzo original.



Imagen 36: Pruebas de terreno con prototipo final y ángulos de manipulación

Como se muestra en la secuencia de las siguientes imágenes, el Chuzo 2.0 logra desencajar sin problemas la tapa de la cámara y permite fácilmente su manipulación para los giros que usualmente ejecutan los operadores al movilizar las tapas al abrir y cerrar las cámaras. Se observa que al desencajar la tapa la herramienta nunca se acerca a la cara del operador, lo que lo protege de los golpes que suelen tener los operadores del chuzo original.



Imagen 37: Secuencia de destapado de tapas con prototipo final

Por último se observa que el amortiguador de la parte baja del chuzo, logra evitar que la herramienta se vaya de golpe hacia el cuerpo del operador al desencajar la tapa. Junto con ello, los topes triangulares de la parte baja evitan que el chuzo caiga por el agujero de la tapa, evitando la fuerza que ejerce el operador para mantener sujeto el chuzo original.

3. CONCLUSIONES Y PASOS SIGUIENTES

3.1.- Conclusiones

La herramienta Chuzo 2.0 diseñada por el equipo de innovación logra resolver el desafío de levantar y movilizar las tapas, de mejor manera y más segura que el chuzo actual pues incorpora todos los elementos de mejora en términos de diseño orientado al usuario y de ergonomía obtenidos desde las pruebas de terreno. Junto con lo anterior este diseño presenta los atributos operativos de la herramienta original, a diferencia de los primeros prototipos construidos que aunque lograban resolver de buena manera el desafío de seguridad, presentaron obstáculos para su operación. Como se observó en las pruebas de terreno y se discutió con los mismos operadores, los atributos operativos de la herramienta resultan muy relevantes pues son críticos para asegurar su adopción por parte de los usuarios; parte del trabajo de los operadores de terreno es resolver emergencias operativas en las que el tiempo es un elemento clave pues una buena gestión del tiempo les permite abordar la emergencia siguiente y cubrir la demanda de servicio de los clientes. El Chuzo 2.0 tiene elementos estructurales muy similares a la herramienta original lo que también facilita la adopción de los usuarios pues los principios utilizados para su operación son los mismos que usan actualmente y por lo tanto no se observan barreras iniciales de uso y/o aprendizaje. Para poder seguir avanzando hacia la implementación de la herramienta, se seguirán ejecutando pruebas de terreno con distintos tipos usuarios, de manera de poder incorporar más elementos que la perfeccionen y aseguren su uso.

3.2.- Pasos Siguietes

Como se planteó en fases anteriores del proyecto, la propuesta que resuelve de mejor manera los desafíos abordados es el “Kit Operativo” compuesto por una herramienta vibradora para desagripar tapas, que llamaremos “Desagripador”, sumado a la herramienta que permite levantar la tapa y sacarla del agujero para luego destapar la cámara y permitir el trabajo de los operadores en ella.

Abordado el desafío de generar una herramienta con un diseño ergonómico, que permite levantar la tapa de las cámaras desagripadas, reduciendo la exposición de los trabajadores, se deberá pasar a resolver el desafío del **“agripamiento”**, que también genera exposiciones en los operadores de redes de servicios. **Como se planteó en la etapa anterior, se observa de manera preliminar que la problemática del desagripado se debiera enfrentar a través de algún elemento transmita una vibración lo suficientemente potente, de manera que logre eliminar las adherencias sólidas existentes entre la tapa y el anillo de la cámara, para permitir su levantamiento posterior.** Es posible que en el desarrollo de prototipos para ello se encuentren otros acercamientos interesantes y efectivos.

> Kit Operativo

- Herramienta para levantar las tapas (Desafío 2019)
- Herramienta vibradora “desagripador” (Desafío a resolver en 2020)

Los elementos del Kit Operativo apuntan a una solución táctica inmediata, dirigida a la problemática específica de la apertura y cierre de las cámaras de registro, facilitando la operación y reduciendo la exposición de los operadores a los peligros de estas tareas.

Adicional a lo mencionado, en una mirada más estratégica se observa la importancia de resolver otros aspectos relevantes; del estudio realizado en la fase anterior se desprenden una serie de desarrollos independientes y complementarios:

> Otros Desafíos Relevantes Complementarios

- Desarrollo de un sistema de información que optimice la gestión operativa
- Tapa de cámara modular
- Nuevos materiales sustentables para las tapas de cámara
- Tapa de cámara con apertura electrónica sin contacto
- Aplicación para el control de apertura y recolección de datos
- Capacitaciones de procesos técnico/operativos
- Kit de inducción

Los Desafíos Complementarios, que plantean un sistema de información y una nueva tapa, apuntan al mediano plazo y resultan estratégicos pues generarán un cambio de paradigma en la manera en que se desarrollan actualmente las tareas operativas bajo análisis, lo que podría reducir radicalmente la necesidad de apertura de las cámaras. Para esta solución, es recomendable fabricar una serie de prototipos e implementar un piloto a escala reducida antes de entrar una etapa de implementación masiva con su consecuente inversión.

Los dos grupos de desafíos apuntan a objetivos distintos pero complementarios, por lo que se pueden desarrollar de manera traslapada, partiendo con la implementación del Kit de herramientas que facilitan la apertura y cierre de las tapas, para luego, de manera gradual ir implementando la segunda propuesta de solución.

Cabe destacar que, aunque el desarrollo de sistemas de información que optimicen (y agilicen) la gestión operativa es un desarrollo de la segunda propuesta de solución, puede desarrollarse de manera independiente a la nueva tapa, puesto que hoy existen herramientas y sistemas tecnológicos que permiten configurar y luego alimentar una potente base de datos con información operativa actualizada. El uso actual de celulares (masivo) y las aplicaciones existentes permiten fácilmente geolocalizar cámaras, categorizarlas según sean de agua potable o aguas servidas, tipo de tapas, estado, etc., a través de los operadores de terreno, quienes pueden obtener y almacenar dicha información relevante y muy útil para los sistemas de Aguas Andinas. Dada la frecuencia de la operación de terreno, sería factible que en poco tiempo (1 año, por ejemplo), se lograra obtener un volumen importante de información operativa crítica.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Mutua de Seguridad Cámara Chilena de la Construcción. Material para el Control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo de Manual de Carga.
- Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). Recomendaciones Ergonómicas para Técnicos de Redes.
- Ministerio del Trabajo y Previsión Social, Gobierno de Chile. Guía Técnica para la Evaluación y Control de Riesgos Asociados al Manejo y Manipulación de Carga.
- Instituto Nacional de Normalización (1980). Norma Chilena Oficial NCh1623.Of80. Cámaras de inspección prefabricadas para redes públicas de alcantarillado - Requisitos. Chile: Diario Oficial N° 30.625.
- Instituto Nacional de Normalización (1980). Norma Chilena Oficial NCh1676.Of79. Cámaras de inspección prefabricadas para redes públicas de alcantarillado - Lozas - Ensayos de carga. Chile: Diario Oficial N° 30.625.
- Instituto Nacional de Normalización (1998). Norma Chilena Oficial NCh691.Of98. Agua potable - Conducción, regulación y distribución. Chile: Diario Oficial N° 36.198.
- Instituto Nacional de Normalización (1999). Norma Chilena Oficial NCh1105.Of1999. Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales - Diseño y cálculo de redes. Chile: Diario Oficial N° 36.453.
- Instituto Nacional de Normalización (2000). Norma Chilena Oficial NCh2080.Of2000. Tapas y anillos para cámaras de válvulas de agua potable y para cámaras de inspección de alcantarillado público. Chile: Diario Oficial N° 36.649.
- http://www.siss.gob.cl/586/articles-11093_ppt2.pdf
- Chien-Chi Chang*, Michelle M. Robertson, Raymond W. McGorry (2003), Investigating the effect of tool design in a utility cover removal operation; International Journal of Industrial Ergonomics 32 (pp. 81–92).
- Amy Stone, Debra Usher, Richard Marklin, Patricia Seeley & Janice W. Yager; Case Study for Underground Workers at an Electric Utility: How a Research Institution, University, and Industry Collaboration Improved Occupational Health Through Ergonomics; Journal of Occupational and Environmental Hygiene.
- McGill, D., King, W. (1991). Mecánica para Ingeniería y sus Aplicaciones. Estática. México: Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. de C.V.