

Informe Final Proyecto

“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

Autores

Patricio Vargas Campos

José Luis Sáez Celaya

Fecha

Enero 2019

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2016 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica (FUCYT-ACHS), con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales

ANTECEDENTES DEL INNOVADOR

Patricio Vargas Campos

- Ingeniero Civil de Industrias PUC
- Magister en innovación UAI

Ingeniero Civil Industrial UC, Magister en Innovación UAI, con sólida experiencia en posiciones ejecutivas en áreas de desarrollo e implementación de productos y servicios, rediseño de procesos y gestión de la innovación. Comprobados logros en diseño e implementación de nuevos servicios para clientes, en mejoramiento de procesos y en la gestión simultánea de proyectos. Fuerte orientación a resultados, basado en análisis, innovación y mejora continua con mirada estratégica. Alta capacidad de adaptarse a distintos escenarios y culturas organizacionales, con habilidad para trabajar y liderar equipos multiáreas y multidisciplinarios.

Actualmente se desempeña como líder de Oficina de Proyectos DIP Think: dedicada a asesorar empresas en las temáticas de Estrategia y Desarrollo, Innovación y Procesos, desde el análisis y el diseño hasta la implementación.

www.diphthink.cl

- Planificación, dirección y ejecución de Proyectos de Innovación
- Análisis y Diseño de Propuesta de Valor y Modelos de Negocios
- Análisis y Optimización de Procesos
- Diseño de Planes de Implementación y Seguimiento

ANTECEDENTES DEL EQUIPO DE TRABAJO

Patricio Vargas C

Ingeniero Civil de Industrias PUC

Magister en Innovación UAI

- Asesor Independiente en temáticas de Desarrollo, Innovación y Procesos
- Once años de experiencia en la industria de las mutualidades y la seguridad y salud ocupacional .
- Experiencia en diseño e implementación de mejoramiento de procesos
- Último cargo: Subgerente de Metodologías Preventivas ACHS

José Luis Sáez C

Ingeniero Civil de Mecánico PUC

Magister en Innovación UAI

- Siete años de experiencia en diseño y desarrollo de productos en industria de manufactura (desde la investigación al lanzamiento)
- Último Cargo: Subgerente de Planificación y Desarrollo, Orizon S.A.

Paula Wuth I

Ingeniera Comercial PUC

Diseñadora Integral PUC

- Profesora Escuela de Diseño PUC
- Jefe de programa “Diseño para Innovar: Metodología de diseño para el desarrollo de proyectos estratégicos”; Escuela de Diseño PUC

Sebastián Negrete M

Diseñador Integral PUC

- Investigador del laboratorio de Innovación Pública
- Profesor Adjunto programa “Diseño para Innovar: Metodología de diseño para el desarrollo de proyectos estratégicos”; Escuela de Diseño PUC
- DiLab Design System Thinking Lab, Escuela de Ingeniería PUC

RESUMEN EJECUTIVO

Contexto: Las cámaras de registro permiten el acceso, desde la superficie, a instalaciones subterráneas de servicios públicos. El ingreso a ellas está protegido por una tapa de registro, construida con hierro fundido, hormigón o plástico reforzado con vidrio con un peso máximo de 120 kg. La realidad en Chile es que no existe una tapa de registro estándar.

Problema: Dadas la características de las tapas, los operadores encargados de su manipulación se exponen a trastornos músculo esqueléticos asociados al manejo manual de carga y a accidentes como golpes y cortes, que generan muchos días perdidos.

Existen varias empresas de servicios que operan estas cámaras en Santiago y regiones, por lo que esta resulta una problemática país relevante.

El objetivo del proyecto consiste en crear un sistema de apertura de cámaras de registros que minimice la exposición de los trabajadores a los peligros y agentes de riesgo descritos.

Resultados: La investigación bibliográfica y de terreno permitió definir una propuesta de solución que considera:
Diseño de una herramienta que facilite la apertura de las cámaras de registro en sus estado actual
Diseño de una tapa modular con un sistema de apertura digital que minimiza la exposición de los trabajadores.

Índice de Contenidos

1. Introducción.....	5
1.1. CONTEXTO, PROBLEMÁTICA, USUARIOS Y MASA CRÍTICA	6
1.2. VISIÓN SISTÉMICA DE LA PROBLEMÁTICA	7
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	8
1.4. SÍNTESIS DE LAS ETAPAS 1 Y 2 DEL PROYECTO	10
1.5. EXPLICACIÓN DEL ORDEN GENERAL DEL INFORME	12
1.6. EQUIPO	12
2. Sesión participativa - Ideación.....	13
2.1. SOBRE EL DISEÑO PARTICIPATIVO Y EL OBJETIVO DE LA SESIÓN	14
2.2. PROGRAMACIÓN DE LA SESIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	14
2.3. PARTICIPANTES DE LA SESIÓN	19
2.4. EJECUCIÓN DE LA SESIÓN	19
2.5. SISTEMATIZACIÓN Y RESULTADOS.....	20
3. Introducción a Propuestas Conceptuales (Resultados)	25
3.1. INTRODUCCIÓN A PROPUESTAS CONCEPTUALES.....	26
3.2. ATRIBUTOS DE LA PROPUESTA	27
4. Propuesta Conceptual 1: Kit Operativo	29
4.1. INTERACCIONES CRÍTICAS A RESOLVER	30
4.2. CRITERIOS Y CONTEXTO	35
4.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA, EXPERIENCIAS RELEVANTES Y DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN	36
4.4. VIAJE DEL USUARIO IDEAL CON INTERACCIONES ESPERADAS.....	55
5. Propuesta Conceptual 2: Sistema Tapa Digital	56
5.1. INTERACCIONES CRÍTICAS A RESOLVER	57
5.2. CONTEXTO LOCAL, REVISIÓN DE LA LITERATURA Y EXPERIENCIAS RELEVANTES	57
5.3. DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN	59
5.4. VIAJE DEL USUARIO IDEAL CON INTERACCIONES ESPERADAS.....	62
6. Conclusiones y Recomendaciones	65
6.1. VISIÓN SISTÉMICA.....	66
6.2. DESARROLLO Y MAPA DE RUTA (O ETAPAS DE DISEÑO DE LA INNOVACIÓN).....	66
6.3. VISIÓN DE FUTURO	68
Bibliografía.....	69
Anexos	71
ANEXO 1: CÁLCULO EQUILIBRIO ESTÁTICO CASO CHUZO TAPA.....	72
ANEXO 2: CÁLCULO EQUILIBRIO ESTÁTICO CASO HERRAMIENTA TAPA	78



1. Introducción

1.1. CONTEXTO, PROBLEMÁTICA, USUARIOS Y MASA CRÍTICA

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 de peso. 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 las ACHS, con un 49% de los trabajadores afiliados (estadística del 2015, Fuente: SUSESO), y que esta problemática es transversal a otras empresas de servicios en Santiago y regiones en el rubro de la electricidad, el gas y las 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. VISIÓN SISTÉMICA DE LA PROBLEMÁTICA

El enfoque metodológico del proyecto se plantea desde la convergencia entre el Diseño de Servicio y el Diseño de Productos en el marco de la Innovación guiada por Diseño (*Design-Driven Innovation*). Esta última, se sustenta en los significados que las personas entregan a los distintos elementos, contextos, interacciones, entre otros.

Apunta a entender los desafíos desde una lógica sistémica donde los productos (o tangibles) viven dentro de un sistema orquestado y los servicios se materializan en productos exquisitos.

Lo anterior, se conoce como Sistema Producto-Servicio (SPS) o *Product Service System* (Negrete S. & Wuth, P., 2018).

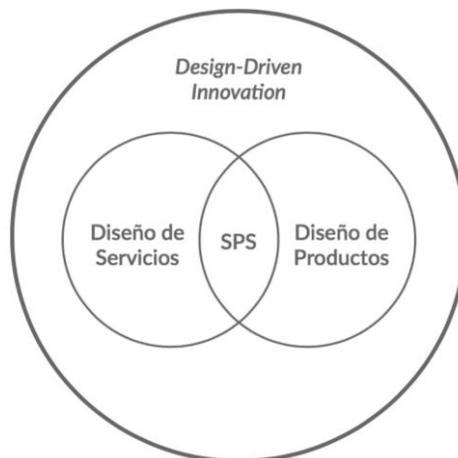


Figura 1: Aproximación metodológica "Diseño para Innovar"
(Fuente: "Metodología Diseño para Innovar" - Negrete, S. & Wuth, P., 2018.)

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología utilizada, se denomina “Diseño para Innovar” (Negrete, S. & Wuth, P, 2018) y se sustenta en 6 pilares que se describen a continuación:

1. Centrado en las personas. Se considera a las personas como el centro del proyecto, lo que incluye tanto a quien usa como a quien provee el servicio.
2. Diseño participativo. Se realizan sesiones de co-creación y/o validación con distintos actores, utilizando técnicas e instrumentos que facilitan la dinámica, por ejemplo, el prototipado.
3. Uso del proceso de prototipado. Los prototipos se utilizan durante todo el proyecto como un medio para investigar, evaluar y comunicar los distintos componentes, optimizando los recursos y disminuyendo riesgos.
4. Integral e interdisciplinario. Se trabaja con un equipo formado por personas con distintas especialidades para potenciar el resultado y facilitar la implementación, al combinar conocimiento específico en una mirada conjunta.
5. Visión sistémica. Se considera tanto la orquestación de los distintos puntos de contacto que componen el servicio, como el ecosistema de actores involucrados y el contexto en el cual se inserta la nueva experiencia.
6. Mirada de futuro. El desarrollo de innovación requiere la incorporación de ejercicios especulativos en el proceso, donde se pueda proyectar el escenario futuro de la solución.

La metodología “Diseño para Innovar” (Negrete, S. & Wuth, P., 2018) se estructura en 4 etapas que se abordan de manera consecutiva e iterativa, lo que permite: avanzar en el desarrollo del proyecto, alimentar continuamente una etapa con otra y contar con instancias de traslape que potencian las sinergias a lo largo del proceso. Cada etapa presenta procesos divergentes y convergentes.

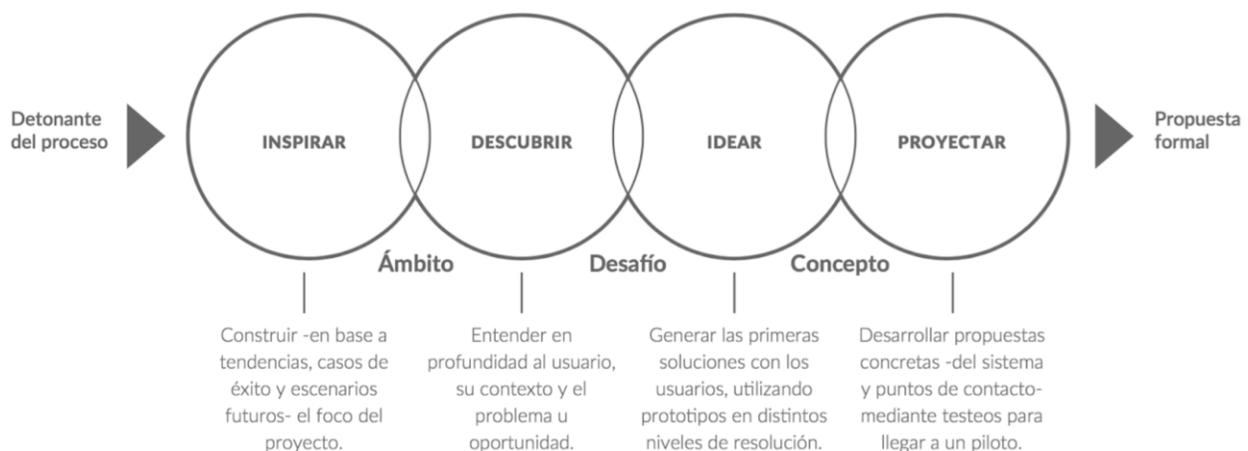


Figura 2: Metodología “Diseño para Innovar” (Fuente: “Metodología Diseño para Innovar” - Negrete, S. & Wuth, P., 2018.)

A continuación, se describen las cuatro etapas de la metodología:

1. Inspirar. Etapa en la cual se busca reconocer el potencial que existe en torno al encargo planteado e ir más allá de las mejoras puntuales que se podrían realizar a la situación actual. Se revisa la información existente de la organización en estudio, se investigan tendencias y referentes junto con antecedentes nacionales e internacionales y se utiliza la etnografía¹. Al cruzar las distintas capas de información resultantes, se construirán pre-perfiles de usuarios y -junto con actores clave y con técnicas de prototipado rápido- el servicio del futuro que permitirá recoger atributos para ser utilizados durante el proceso de ideación. Como resultado de la etapa se obtiene la definición de un Ámbito de intervención en el cual se enmarcará el desarrollo del proyecto.
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). Tras sistematizar la información, el equipo creará perfiles de usuarios y mapas de viaje de la situación actual que considera brechas y las emociones asociadas a cada momento del viaje, junto con identificar a los actores claves que se relacionan con los usuarios principales. Lo anterior, se validará en sesiones de co-creación con actores clave. Como resultado de la etapa se obtiene la definición del Desafío de diseño, representado en la pregunta que guiará el proceso de ideación.
3. Idear. Etapa en la cual se busca la generación de múltiples ideas de solución al desafío planteado, las cuales se ordenan y jerarquizan. Se utilizan las técnicas del pensamiento visual y prototipado rápido en función de construir, idealmente con usuarios y actores clave, una primera propuesta que se testea y valida con ellos mismos, con el propósito de hacerlos partes del proceso para lograr pertenencia y facilitar la futura implementación. Como resultado se obtiene un Concepto validado que se seguirá perfeccionando en la siguiente etapa.
4. Proyectar. Etapa en la cual se busca la transformación del concepto en soluciones concretas. Por un lado, se realizará una bajada clara en relación a las actividades involucradas, los puntos de contacto, sistemas y procedimientos con el propósito de entender la forma en que la organización responderá a la propuesta; por otro lado, se desarrollarán prototipos de los soportes considerados más relevantes por los usuarios (internos y externos). Como resultado se obtendrá una propuesta formal, que consiste en una visualización concreta y clara del sistema, junto con la descripción de sus puntos de contacto y la forma en que se articulan unos con otros, logrando la propuesta que será piloteada e implementada.

¹ Netnografía: La netnografía es una metodología de investigación cualitativa que adapta técnicas de investigación etnográfica al estudio de culturas y comunidades emergentes (Kozinets, R)

1.4. SÍNTESIS DE LAS ETAPAS 1 Y 2 DEL PROYECTO

La primera parte del presente proyecto -y su correspondiente informe- consideró las dos etapas de la metodología “Diseño para Innovar”: Inspirar y Descubrir.

En la primera etapa se realizó:

- 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.

> **Análisis de antecedentes**

La identificación y análisis de antecedentes permite reconocer el estado del arte y las soluciones existentes en el contexto local e internacional. A nivel internacional, dada la variedad de tapas, también se encontró una variedad de herramientas y soluciones para levantar y mover las tapas, algunas de ellas utilizan la fuerza en forma directa, otras se basan en el concepto de palanca y otras en sistemas más complejos (mecánicos, hidráulicos, neumáticos o magnéticos) que ayudan a realizar esta labor con menor esfuerzo. Se pudo apreciar que, en su mayoría, las herramientas utilizan la palanca como mecanismo para minimizar el esfuerzo al levantar peso dado su simpleza. Las herramientas más sofisticadas permiten el cambio de ciertos accesorios para ajustarse a distintos tipos de tapa, resultando en una operación más segura. Sin embargo, en estas últimas, el uso de los accesorios para cada caso y su instalación o el ajuste de piezas móviles hace que la labor sea más lenta. En Chile, se identificó que, a pesar de la diversidad de tapas existentes en cuanto a estructura, peso, y sistemas de enganche, actualmente la única herramienta validada por los operadores para la apertura de cámaras de inspección es el chuzo principalmente por su versatilidad y velocidad. Existen otro tipo de herramientas “hechizas”, como el gancho con garfio en J o el gancho con cabeza de martillo para las tapas metálicas con orificios ovalados, pero que no están homologadas.

> **Búsqueda de tendencias**

La búsqueda de tendencias o *trendwatching* entrega las bases para definir la dirección en la cual se desarrollará la innovación tanto en el marco de un proyecto como a nivel de planificación estratégica. En este caso, se realizó desde una aproximación global identificando macro-tendencias que podrían afectar e influenciar el proyecto tanto hoy como en el futuro. Las tendencias se sintetizan en cuatro grupos:

- 1) Relación entre máquinas y personas de manera inteligente

Se relaciona con la coexistencia cada vez más común de las personas con las máquinas y cómo se define el rol que debe cumplir cada cual en un sistema. Considera tendencias como: comunicación *machine to machine*, *internet of things*, *intelligent things* y máquinas en búsqueda de significado.

2) Sustentabilidad integral

Hace referencia a la sustentabilidad entendida en sus tres aspectos; económico, social y medioambiental. Considera tendencias como: bienestar y sustentabilidad. Es hoy considerado como un mínimo, o punto de partida para cualquier cosa.

3) Diseño para todos

Corresponde a considerar la inclusión como un aspecto clave en el desarrollo de cualquier solución, desde la diversidad de países que hoy convergen en Chile hasta la diversidad en las capacidades de las personas y su aproximación sensorial. Considera tendencias como: fronteras desdibujadas, accesibilidad universal e igualdad de género.

4) Nueva mirada del aprendizaje

Se relaciona con entender que la educación de los distintos actores involucrados es relevante, entendiendo actores tanto a los operadores como también a la comunidad. En el primer caso, considera la temática de las capacitaciones y la necesidad de cambiar su significado para volverlas más efectivas y eficientes. En el segundo caso, se considera un nuevo rol de la comunidad dentro del sistema, una comunidad educada en torno al tema y que aporta desde el aprendizaje y la transferencia de conocimientos. Por último, se relaciona con el aprendizaje continuo.

> Estudio de referentes

El estudio de referentes, es decir, los casos de éxito en otros sectores o industrias que podrían inspirar y alimentar el proceso de desarrollo, se abordaron desde los productos y procesos. El análisis de los referentes de productos se resume en los siguientes temas: 1) Potenciar capacidades mecánicas mediante, por ejemplo, el uso de exoesqueletos, lo que permite centrarse en aumentar las capacidades del ser humano para que pueda tolerar las cargas a las cuales está expuesto; 2) Potenciar capacidades de forma remota permite que usuarios simultáneamente -y de manera rápida- vean lo que sucede y generen reportes de las condiciones del terreno; 3) Medidor en tiempo real de fuerza ejercida o de condiciones físicas, lo cual puede ser relevante como un medio preventivo para que los operarios no realicen esfuerzos excesivos que puedan traducirse en lesiones; 4) Asistentes robóticos con los cuales no solo evita lesiones sino que permite al operario concentrarse en lo que es realmente importante.

1.5. EXPLICACIÓN DEL ORDEN GENERAL DEL INFORME

El informe se estructura en 6 secciones que dan cuenta de los insumos generados en la etapa del proyecto denominada “Idear”. Considera desde el desarrollo de los primeros caminos de solución puesto a pruebas en una sesión participativa hasta las propuestas conceptuales.

La primera sección corresponde a la presente introducción; la segunda sección considera la planificación, ejecución y sistematización de la segunda sesión participativa; la tercera sección introduce las propuestas conceptuales y entrega el contexto sobre el cual se desarrollan las propuestas conceptuales; la cuarta sección y la quinta sección expone de manera detallada las propuestas conceptuales que dan respuesta al desafío planteado; por último, se cierra el informe con las conclusiones, recomendaciones y próximos pasos.

1.6. EQUIPO

> DIP Think

Patricio Vargas

Ingeniero Civil Industrial, UC.

Magíster en Innovación, UAI.

José Luis Sáez

Ingeniero Civil Mecánico, UC.

Magíster en Innovación, UAI.

> Excepto

Sebastián Negrete

Diseñador UC.

Magíster en Diseño de Transporte, Scuola Politecnica di Design SPD, Italia.

Paula Wuth

Ingeniera Comercial UC.

Diseñadora UC.

Manuela Sáenz

Diseñadora UC.

Magíster en Architectural Management and Design.

Vanessa Blasco

Asistente Ingeniería y Diseño.

Pablo Rodríguez

Asistente Ingeniería y Diseño.



2. Sesión participativa - Ideación

2.1. SOBRE EL DISEÑO PARTICIPATIVO Y EL OBJETIVO DE LA SESIÓN

El Diseño Participativo es un enfoque del diseño que intenta involucrar, activamente y durante todo el proceso de desarrollo, a los actores que se ven influenciados por el proyecto, con el propósito de garantizar que la solución propuesta satisfaga realmente sus necesidades. Por actores se entiende: usuarios, expertos, tomadores de decisiones, colaboradores, comunidades, organizaciones privadas o gubernamentales y ONG's, entre muchos otros, quienes poseen necesidades e intereses diversos en torno al proyecto. La participación en diseño no es una variable dicotómica o binaria entre la existencia y la inexistencia de la participación, sino que corresponde a una escala que engloba los diversos niveles de involucramiento de los distintos actores en relación con la profundidad y la periodicidad de sus intervenciones. Este enfoque permite que las propuestas sean significativas para las diversas partes y sean exitosas en la práctica, generando un sentido de pertenencia con el proyecto que gatillará un aumento del compromiso y la implementación de la propuesta. Una característica clave del diseño participativo es el uso de artefactos físicos como herramientas de pensamiento (o plantillas) a lo largo del proceso de desarrollo, lo cual facilita las dinámicas e incentiva el trabajo en equipos conformados con personas que provienen de diversas disciplinas y/o se relacionan de manera distinta con el proyecto.

La segunda sesión participativa tuvo por objetivo la co-creación y priorización de posibles soluciones al desafío planteado mediante la convergencia y el trabajo conjunto de distintas áreas dentro de la organización.

2.2. PROGRAMACIÓN DE LA SESIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

La segunda sesión participativa “De la situación actual al Nuevo Desafío” consideró una introducción y tres actividades, y tuvo una duración total de dos horas. La introducción buscó que todos los participantes tuviesen la misma información sobre el proyecto -y su estado de avance- junto con explicarles la lógica del diseño participativo y la razón por la cual fueron convocados a esta instancia.

La primera actividad consistió en validar -con los mismos actores relevantes y futuros usuarios de la nueva solución- si el desafío de innovación planteado a partir de la información obtenida del estudio de usuarios y su contexto les parecía relevante y si les hacía sentido con lo que realizan diariamente en su trabajo. Para esto, se utilizó el instrumento (plantilla) denominado “Validación del Desafío” que propone un desafío inicial y espacio para ser intervenido.

¿CÓMO PODRÍAMOS GENERAR UNA LÓGICA DE TRABAJO EN TORNO AL **ESFUERZO INTELIGENTE** QUE PERMITA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE APERTURA Y CIERRE DE LAS CÁMARAS DE INSPECCIÓN?



The image shows a template for a challenge validation activity. It consists of three vertical columns of horizontal lines, intended for participants to write their responses or ideas. The lines are evenly spaced and extend across the width of each column.

Imagen - plantilla “validación del desafío” utilizada en la sesión. Fuente: elaboración propia

La segunda actividad consistió en validar -de manera individual- el viaje ideal de la nueva propuesta de solución. Para esto se utilizó el instrumento “Mapa de Viaje Ideal” incorporando un componente lúdico que se evidenció en la construcción de un “Mapa de viaje del usuario” simplificado (tipo tablero) con espacio para comentarios. Así, se relató el viaje ideal mientras los participantes anotaron sus comentarios en el *canvas* entregado a cada uno de ellos.

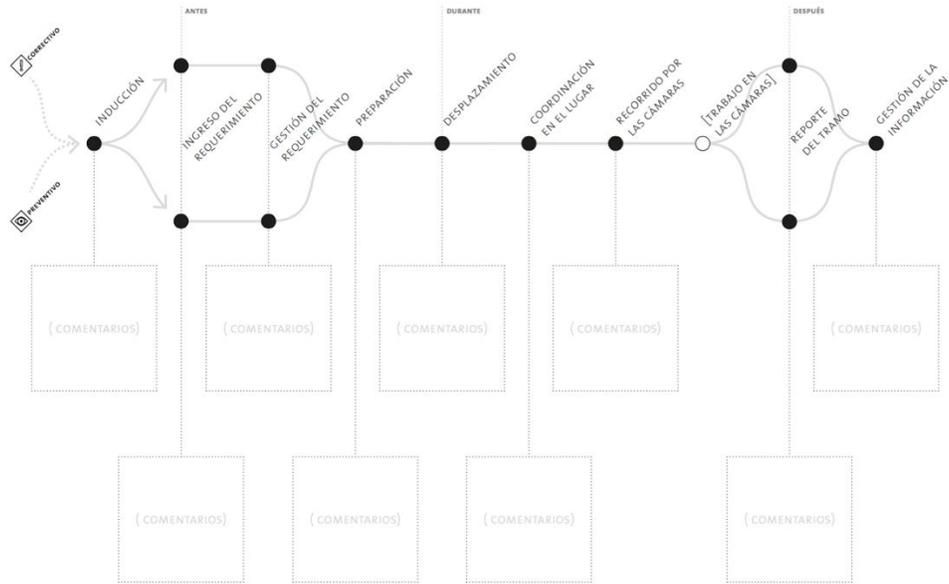


Imagen - plantilla “mapa de viaje ideal” utilizada en la sesión. Fuente: elaboración propia

La tercera actividad consistió validar -en equipos de actores relevantes y futuros usuarios de la nueva solución- las soluciones enfocadas propuestas por el equipo de desarrollo del proyecto. Se comenzó por la primera parte de la actividad que buscó validar el flujo de interacciones asociados a la apertura de las tapas de registro utilizando la infografía que se muestra a continuación, en la cual se indica las distintas acciones realizadas por los operadores.

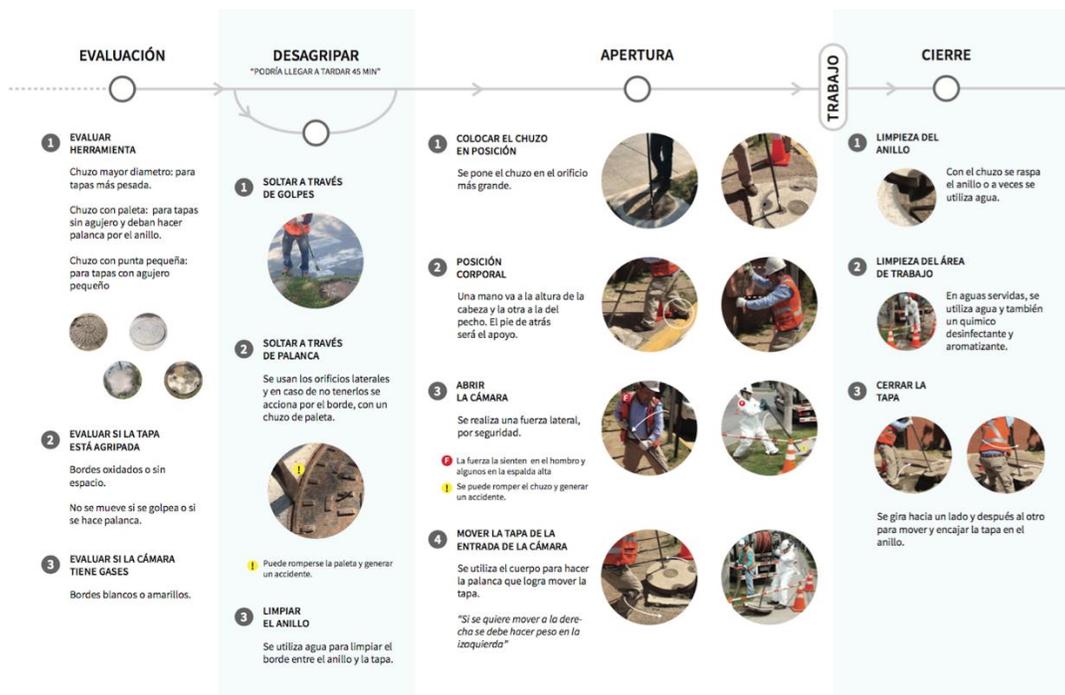


Imagen - infografía "flujo de interacciones apertura de tapas". Fuente: elaboración propia

Luego, se continuó con la segunda parte de esta actividad que consistió en validar las tres soluciones enfocadas, desarrolladas por el equipo que está ejecutando el proyecto a partir de la información que surgió de la primera sesión participativa. Los tres caminos de solución plantean propuestas distintas en relación con la cantidad de componentes y sus funciones dentro del sistema. A continuación, se detallan las soluciones que fueron puestas a prueba por los participantes de la sesión:

Alternativa 01. Sistema de apertura con el pie	
Herramienta	<ul style="list-style-type: none"> Herramienta basada en el principio de palanca o pivoteo, aplicando fuerza con el pie. Mide el esfuerzo a partir de la deformación de la herramienta al hacer la palanca. Envía información de esfuerzo a la pulsera del operador. La herramienta debiera usar el principio de la palanca. Posee un sistema hidráulico para reducir el esfuerzo físico. Cuenta con una rueda en la parte inferior que facilita el arrastre de la tapa luego de haber abierto la cámara.
Pulsera	<ul style="list-style-type: none"> Registra indicadores de salud del operario (pulsaciones, presión arterial, temperatura corporal).

- Registra magnitud del esfuerzo con colores (Rojo, Amarillo, Verde).
- Emite alerta de sonido si existe sobre esfuerzo o si los indicadores de salud son críticos.
- Notifica a jefatura problemas de salud.

Alternativa 02 - Sistema de apertura con el brazo

Herramienta

- Basada en el chuzo, rescatando su versatilidad.
- Zona de apoyo para la mano con mejoras ergonómicas para mayor comodidad y mejorar el agarre con distintos materiales o texturas.
- Protección de goma en la parte superior, actúa como segunda zona de agarre y protege la cara del operador ante posibles golpes.
- Protecciones en color de alta visibilidad.
- Marcas para orientar el agarre de distintos tamaños de personas.
- Extensible para aumentar el torque.
- Capacidad de iluminar la zona de trabajo o zona de peligro.
- Indicador de esfuerzo mediante LEDS en la herramienta.

Alternativa 03 - Sistema de apertura magnética

Tapa

- Tapa con electroimán y sello de goma.
- El electroimán genera succión, por lo que hace que no haya agripamiento e impide el paso de agua y tierra.
- Reduce el peso de la tapa al ser imposible de robar independiente del peso.
- Limita las aperturas realizadas por terceros.

App Aguas Andinas

- Única manera de desactivar electroimán.
- Impide el robo de tapas.
- Evita que boten desechos, disminuyendo la cantidad de apertura de tapas.

- Se genera gran cantidad de datos (dónde, cuándo, por qué, trabajo realizado, duración de la apertura, entre otros.).
- Los datos permiten generar predicciones a través de sistemas de *machine-learning*. La aplicación podría sugerir otras tapas para revisar, basado en situaciones anteriores similares.

Herramienta

- La tapa liviana permite ser levantada fácilmente por el operador con una herramienta simple como un gancho.

2.3. PARTICIPANTES DE LA SESIÓN

La convocatoria de los participantes de la sesión buscó congregar a personas de distintas áreas (por ejemplo: aguas servidas, agua potable, seguridad y salud ocupacional) y con diversos niveles en relación con la toma de decisiones dentro de la organización (desde jefaturas hasta operadores). Esto permitió tener una visión integral hacia la problemática, oportunidades y nueva solución que se está desarrollando. La instancia convocó a 10 personas, quienes se dividieron en dos grupos para desarrollar las actividades durante 2 horas. Cada mesa estaba compuesta por 5 personas de Aguas Andinas o ACHS. La dinámica consideró la relatoría de 2 facilitadores globales del equipo consultor y se utilizaron técnicas e instrumentos propios del diseño participativo y relacionados con las propuestas de solución desarrolladas.

2.4. EJECUCIÓN DE LA SESIÓN

Se desarrollaron las actividades de la sesión de acuerdo con el programa. A continuación, se exponen imágenes que muestran la dinámica y las didácticas que se experimentaron durante la sesión participativa. Posteriormente se explicarán los resultados de la sesión participativa.



Imagen - compilación de imágenes de la sesión participativa 02. Fuente: elaboración propia

2.5. SISTEMATIZACIÓN Y RESULTADOS

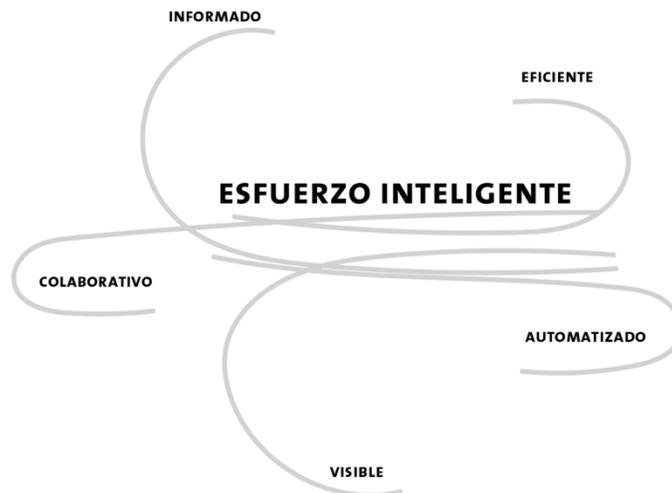


Figura 38: Formulación del desafío. (Fuente: elaboración propia)

>Desafío

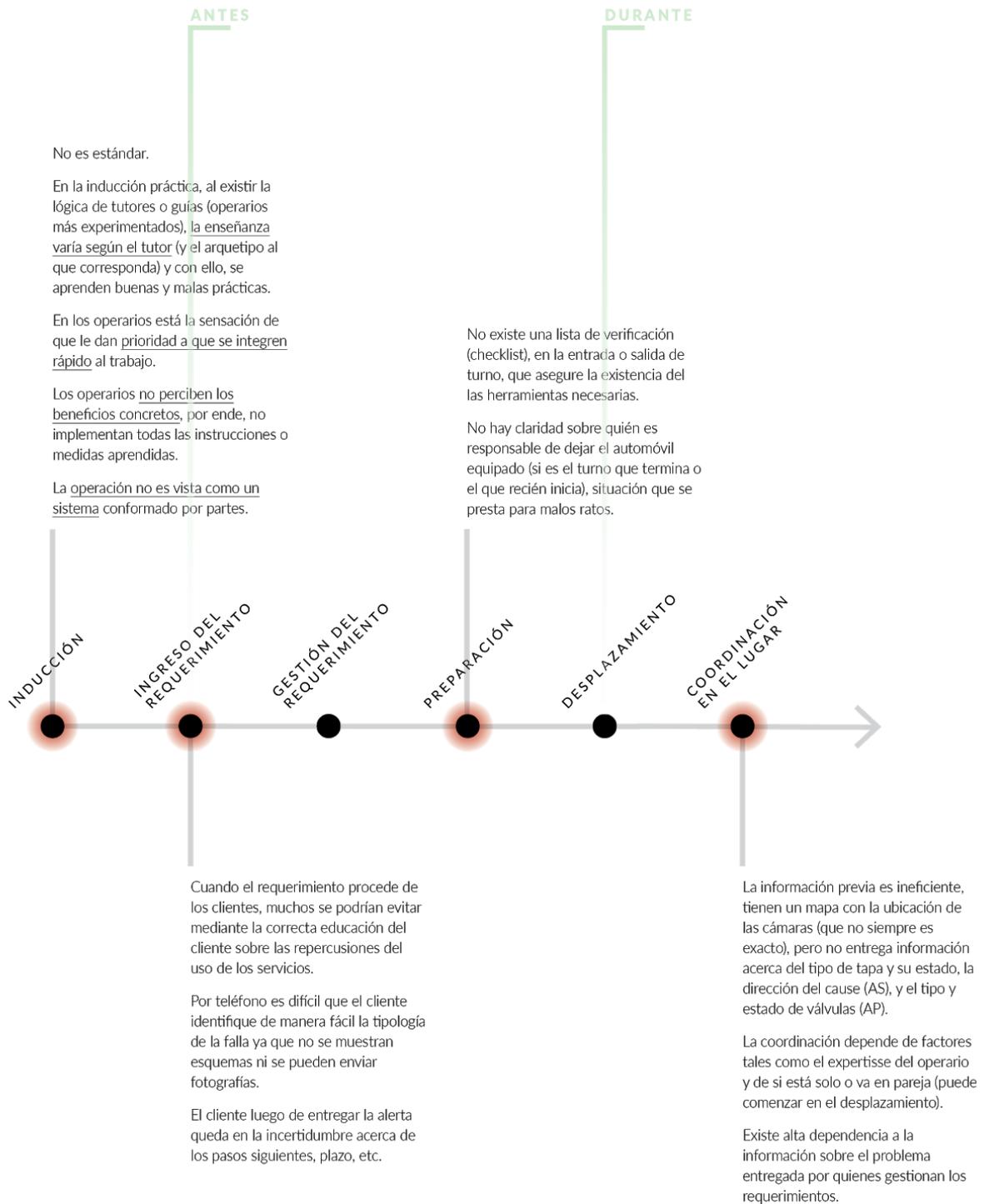
El desafío inicialmente planteado que incorpora los atributos definidos la sesión anterior: “¿Cómo podríamos lograr una lógica de trabajo en torno al esfuerzo inteligente que permita mejorar la seguridad en la operación de apertura y cierre de las cámaras de inspección?” fue complementado y repensado por los participantes de la sesión. Analizando los resultados (anexo) se identificaron los siguientes hallazgos y patrones:

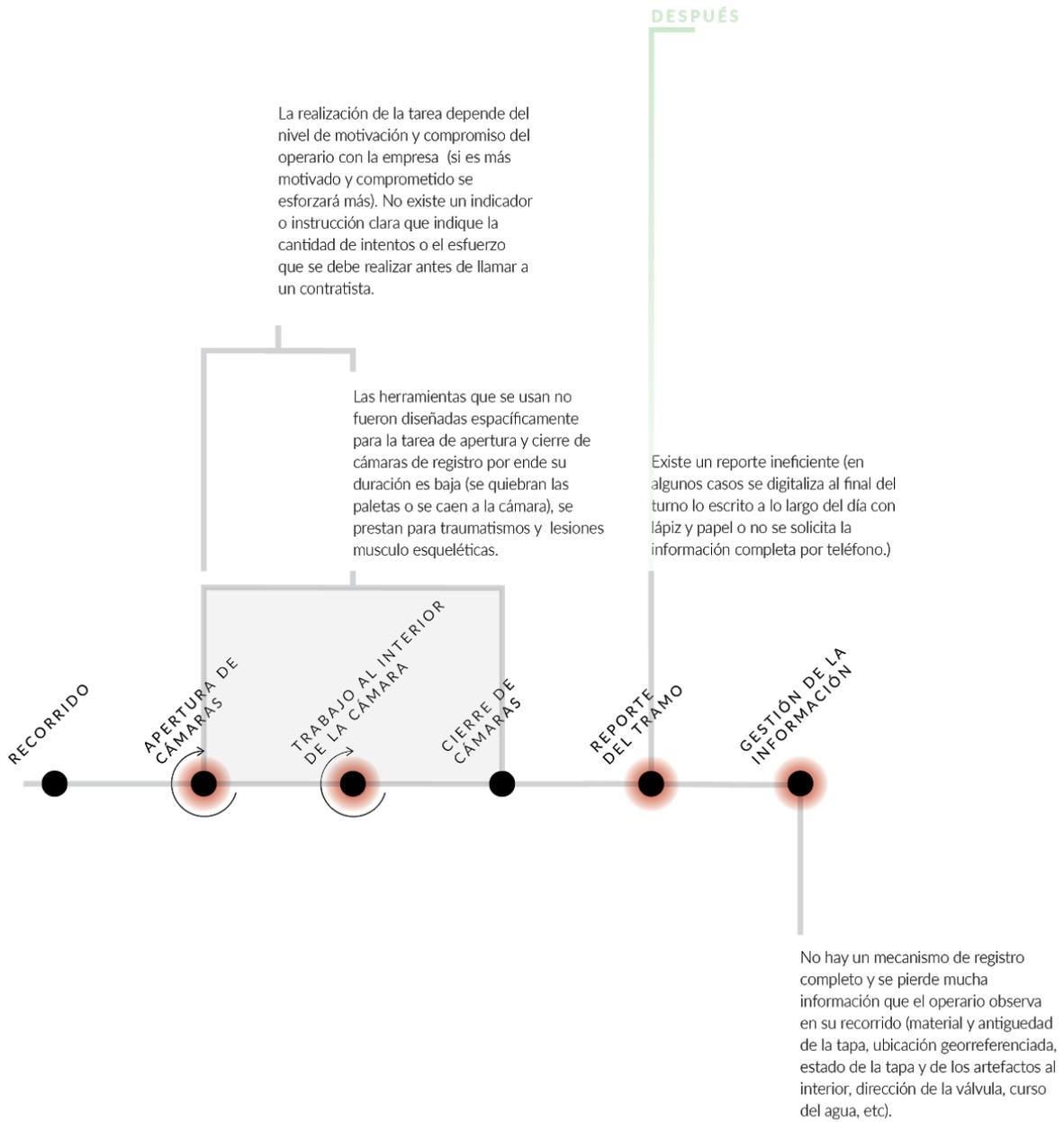
- La importancia de las capacitaciones en la operación y la homologación de estas.
- La relevancia de la información previa sobre el terreno para hacer más eficiente el trabajo de lo que se realiza actualmente.
- El uso de herramientas como un elemento de apoyo que facilita el trabajo en terreno y permite sustituir o disminuir el esfuerzo físico.
- La diversidad de tapas como un elemento que complejiza la labor en terreno.

> Viaje ideal

Al analizar el viaje ideal, salieron a relucir varias observaciones que pulieron el viaje del operador y que fueron incorporadas en el viaje descrito a continuación. Algunas observaciones importantes son que las etapas de *desplazamiento* y de *coordinación en el lugar* muchas veces se fusionan, ya que dependiendo de la experiencia y conocimiento que tenga el operario sobre el terreno y de si es uno o son dos operarios, la coordinación inicia en el trayecto. Otra observación clave es la gran importancia que le dieron los participantes al último punto del viaje, la gestión de información, porque a pesar de que en la actualidad tiene poca importancia, mencionaron que hoy mucha información se pierde debido a la nula sistematización, llegando al nivel de que en ocasiones se ven obligados a contratar a operadores jubilados para prestar consultorías y entregar la información que fueron recopilando a lo largo de los años.

Dadas estas dos observaciones, podemos concluir que la información juega un rol sumamente importante.





> Soluciones enfocadas

Al validar las soluciones enfocadas, se encontraron tres nuevos atributos que se agregaron a los mencionados al comienzo de esta sección. Así, el set de atributos que guió el proceso de ideación -junto con el desafío- fue el siguiente:

- Informado
- Eficiente
- Automatizado
- Visualizable
- Colaborativo
- Resistente
- Seguro
- Liviano

Considerando lo anterior, se desarrollaron las propuestas que se explican en las próximas secciones.



3. Introducción a Propuestas Conceptuales (Resultados)

3.1. INTRODUCCIÓN A PROPUESTAS CONCEPTUALES

Se definieron dos propuestas con distintos niveles de complejidad que buscan contribuir a la optimización del proceso de manejo de las cámaras de registro. La primera es un conjunto de herramientas que brindan una solución táctica inmediata y temporal, enfocada en la problemática específica de la apertura y cierre de las cámaras de registro. Su implementación es de baja complejidad, y si bien esta propuesta cumple con mejorar la situación, esta no resuelve el problema de fondo. Por otro lado, el segundo camino es una solución estratégica integral, basada en una nueva propuesta de tapa, compuesta por un sistema de información que responde a varios puntos de quiebre observados en el viaje de usuario y que busca entregar una solución sistémica a largo plazo y con el potencial de escalar aún más en nuevas direcciones.

El motivo de que sean dos propuestas es que, si bien la segunda provee una solución estratégica y definitiva, su implementación dado el contexto actual, será más lenta. Por un lado, requiere una inversión mayor ya que a futuro, se deberían actualizar la totalidad de las más de 40.000 tapas que opera Aguas Andinas. Por otro parte, requiere de un proceso de I+D más largo, que involucra tanto el desarrollo de la tapa misma, como el de la aplicación (sistema de información) que la maneja. Como aspecto positivo, esta tecnología podría incluso llegar a ser “exportable” a otras empresas que se enfrentan al desafío del manejo de las tapas de cámara de registro como las de telecomunicaciones y la electricidad.

Las propuestas de solución que se plantean responden tanto a los atributos relevantes obtenidos en las instancias de validación de los desafíos (Informado, colaborativo, visualizable, eficiente, automatizado, sustentable, inclusivo) como a los obtenidos en las instancias colaborativas de ideación ya descritas. En estas últimas se plantean los conceptos de:

> Seguridad

Asociado a evitar sobreesfuerzos y a preferir el uso de palancas realizadas con las extremidades inferiores,

> Liviano

Asociado a la necesidad de desagripar las tapas sin exposición de los trabajadores.

> Resistencia

Asociado a las materialidades y características físicas de las herramientas a usar, como el chuzo.

En el desarrollo de las propuestas de solución que se presentan a continuación se observará la existencia de los conceptos mencionados.

3.2. ATRIBUTOS DE LA PROPUESTA

A continuación, se describen los atributos, según lo significados asignados por el equipo.

> Informado

Mayor cantidad y calidad de información en todo momento. Esto no solo alude al momento de realizar el trabajo en terreno, sino que también en la generación de datos que permita tanto monitorear, prevenir y anticiparse a distintos eventos como también educar a los usuarios y comunidades en relación con la temática del agua.

> Colaborativo

La colaboración puede darse tanto entre los operarios que acuden a terreno, tal como lo realizan hoy cuando entre dos trabajadores toman decisiones y giran la llave para abrir o cerrar una llave en agua potable, como también entre otros actores con el fin de combinar esfuerzos para optimizar el resultado.

> Visualizable

Considera los distintos elementos que ayuden a hacer evidente la información que hoy no existe tales cómo encontrar una tapa que no está en el mapa, indicaciones sobre qué hay dentro, tipo de herramienta necesaria, sentido de apertura, etc. Este concepto también involucra aspectos de seguridad; evitar accidentes al visibilizar herramientas y tapas (o las faltas de estas), visibilizar acciones o esfuerzos realizados no solo para los trabajadores, sino que también para la comunidad facilitando la comprensión y fomentando la accesibilidad universal.

>Eficiente

Dado que se busca tener el suministro de agua detenido la menor cantidad de tiempo posible, se busca reducir el tiempo de la realización del trabajo, la necesidad de desplazarse por una ciudad y la espera entre un equipo y otro. Además, considera el uso de recursos de manera integrada; por ejemplo, si un operador encontró una cámara que estaba en un lugar complicado para acceder, otros operadores deberían poder acceder a dicha información.

> Automatizado

Corresponde a la aplicación de tecnología, aunque no necesariamente se hable sobre robots. Considera elementos que, a través de la digitalización, automatización, o controles a distancia, puedan evitar el trabajo físico o las idas a terreno. Además, se considera la relación humano-robot y la definición del rol que debiese cumplir cada uno dentro de un sistema, es decir, cómo se complementan. Adicionalmente, en el contexto actual existen dos atributos que se deben considerar en el desarrollo de proyectos: sustentable y accesible.

> Sustentable

Aborda tanto los aspectos medioambiental, económico y social de manera integrada para dar respuesta a los desafíos. Considera que se puede sostener a lo largo del tiempo sin agotar sus recursos o perjudicar el medio ambiente o las comunidades.

> Inclusivo

La accesibilidad universal y el diseño para todos se vuelven clave al momento de diseñar soluciones que deben estar disponibles en un contexto donde la diversidad se vive desde distintas aristas: idiomas, cultura, capacidades, aproximaciones sensoriales, entre otras.



4. Propuesta Conceptual 1: Kit Operativo

4.1. INTERACCIONES CRÍTICAS A RESOLVER

Actualmente la tarea de apertura de cámaras de registro presenta diversas características que la hacen ser una labor muy poco segura y eficiente; el peso de las tapas, la diversidad de configuraciones y el problema de adherencia de la tapa al suelo, (agripamiento) por la acumulación de tierra y otros residuos en el espacio existente entre el borde de la tapa y el anillo, agregan mayor dificultad a la labor. A continuación, se revisará brevemente y de manera secuencial la tarea de apertura y cierre de las cámaras de registro que definen ciertas interacciones críticas a abordar para el diseño de una(s) herramienta(s) que faciliten dicha tarea.

El siguiente esquema muestra la secuencia lógica que sigue la tarea de apertura de cámaras:

- Evaluar las herramientas a utilizar según las condiciones de la tapa a abordar
- Desagripar la tapa con golpes o palancas
- Abrir la tapa con la herramienta que se haya elegido para ello
- Mover la tapa
- Ejecutar el trabajo que corresponda al interior de la cámara
- Cerrar la cámara, moviendo la tapa hacia el agujero de la cámara



Secuencia de apertura de tapas de cámara de registro

Para poder diseñar una herramienta que optimice la tarea de apertura y cierre de las tapas, nos enfocaremos en analizar aquellas actividades que resultan críticas en el proceso global para luego buscar soluciones para ellas. En este caso las actividades críticas que queremos resolver son dos: “desagripar” la tapa de cámara de registro y destapar y mover la tapa.

> “Desagripar” la tapa

Independiente del tipo de tapa (acero dúctil, concreto u otras) el espacio existente entre tapa y el anillo de la cámara permite que se acumule material y residuos. La tierra, en conjunto con el agua de lluvia o riego se mezclan para luego solidificarse, formando un elemento que genera la adherencia de la tapa al piso, lo que los trabajadores denominan “agripamiento”. Por ello, actualmente la labor de apertura de las cámaras se inicia golpeando las tapas con el chuzo para lograr reducir o eliminar la adherencia de la tapa a la cámara. Otra forma de lograr lo anterior es introduciendo la punta plana del chuzo en algún espacio existente entre el borde de la tapa y el anillo de la cámara para generar movimientos que permitan destruir el material que genera la adherencia. Por último, existen otro tipo de maquinarias, como el *hydro jet*, que se utiliza para deshacer el material acumulado inyectando agua a presión en el borde de la tapa.

La adherencia de la tapa es un problema relevante ya que puede constituir un importante generador de lesiones musculo esqueléticas o accidentes ya que obliga al trabajador a aplicar una gran cantidad de fuerza para intentar soltar la tapa. Dado que no existe ningún elemento que guíe o indique al trabajador hasta qué punto debe esforzarse, éste puede ejecutar una fuerza excesiva provocándose una lesión. Por otra parte, el problema del “agripamiento” genera importantes demoras en las labores operativas, además de un impacto económico, tanto por la reposición de herramientas dañadas como por la destrucción de las tapas. Esta última solución se utiliza cuando la adherencia es tan severa que la única forma de abrir la cámara es destruyendo la tapa, tarea que se encarga a terceros.

Cabe destacar que la utilización del chuzo para esta tarea es el principal factor que reduce la vida útil del mismo. En particular, la punta del chuzo sufre un gran deterioro entre cada golpe o cuando se introduce en el borde, contribuyendo a la alta rotación de la herramienta. En promedio, esta última tiene una duración aproximada de un mes de uso.



Trabajador golpeando tapa dúctil para “desagripar” la tapa

> Destapar la cámara

Resuelto el problema de adherencia de la tapa, corresponde pasar a la tarea de destapar la cámara; esta labor es resuelta por los trabajadores a través de un mecanismo de palanca ejecutado con el chuzo, que requiere de una serie de movimientos y posiciones específicas, como se observa en el siguiente esquema.



Puntos de contacto en los que se distribuye el peso de la tapa al ser descajada del agujero de la cámara (flechas en rojo)

En el caso de la apertura mediante palanca, existe un importante esfuerzo físico ejercido por las extremidades superiores del cuerpo, en particular (según comentaron los operadores de terreno) focalizado en el hombro y espalda, que permiten desencajar la tapa del orificio en el que se encuentra. Cabe destacar que, al lograr desencajar la tapa, el peso de esta se distribuye en tres puntos, dos de ellos correspondientes a los puntos de apoyo de la tapa en el agujero y el tercero corresponde al soporte de peso brindado por el chuzo.

En las tapas de acero dúctil, se observó que, luego de haber desagripado la tapa, su apertura se realiza fundamentalmente con los dedos, levantándose horizontalmente. Dicha labor implica levantar la totalidad del peso de la tapa, lo que en términos físico es menos eficiente que ejecutar la palanca mencionada en el caso anterior, pues esta se basa en desplazar el peso que luego queda distribuido en los tres puntos mencionados. El levantamiento con los dedos implica la posibilidad de lesionarse o cortarse, puesto que los agujeros del metal podrían presentar bordes afilados (por eso el operador suele usar guantes); junto con ello la espalda también se expone a un esfuerzo importante en una posición poco segura para dicha labor.



Apertura de tapa dúctil con las manos

> Mover la tapa (para apertura y cierre de la cámara)

Destapada la cámara, es necesario mover la tapa para permitir que el trabajador pueda acceder a lo que está en el interior, ya sea sólo para observar (en el caso de estancamientos de aguas servidas) o para manipular elementos en su interior (como en el caso de las válvulas de agua potable existentes). Actualmente la tapa es desplazada a través de una serie de movimientos de pivoteo circular sobre alguno de sus bordes, movimientos que son guiados por el trabajador a través del chuzo utilizando sus brazos y el peso de su cuerpo para movilizar la tapa; esta actividad es realizada tanto para la apertura de las cámaras como también para el cierre de ellas.



Movimiento de la tapa para apertura y cierre de la cámara

4.2. CRITERIOS Y CONTEXTO

Como se describe en el punto anterior, el desafío del diseño de la herramienta de apertura presenta varios problemas a resolver, que además se enmarcan en distintos niveles de complejidad. En la parte operativa y de terreno, interactúan las personas con los equipos y las instalaciones, las que a su vez son el punto de contacto con la comunidad que las utiliza. Junto con ello existe la dimensión de la gestión de personas, asociada a la capacitación y el aprendizaje, las dinámicas de trabajo y los perfiles y roles profesionales. Por último, está la dimensión de la gestión de operaciones y el aseguramiento de estándares operativos.



Esquema de las dimensiones de complejidad en la que está inserto el desafío del diseño de la herramienta

En relación con el foco operativo del desafío a resolver, se debe tener en cuenta que toda solución debe ser orientada al usuario, debe ser fácil de transportar y guardar (considerar tamaño y peso), simple para usar e instalar con la mínima instrucción posible. Junto con ello la solución debe resolver el desafío de mejor manera que el chuzo que, aunque es muy básico y no fue diseñado para esa tarea, es muy versátil y simple; junto a lo anterior, las personas que trabajan en la operación están acostumbradas a la herramienta actual puesto que llevan un tiempo considerable utilizándose para las labores bajo análisis, de esa manera esto también será un factor o elemento que superar.

El trabajo colaborativo con las áreas de la operación permitió identificar y validar criterios o atributos claves para el desarrollo de soluciones: Informado, Colaborativo, Visualizable, Eficiente, Automatizado, Sustentable e Inclusivo. En los puntos siguientes se revisarán distintos acercamientos de solución para los problemas identificados considerando la presencia de los atributos mencionados.

4.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA, EXPERIENCIAS RELEVANTES Y DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN

Una vez analizadas las actividades críticas o problemas a resolver, determinados los atributos que deben tener las soluciones y el contexto en que éstas van a ser utilizadas, se procede a desarrollar una propuesta conceptual de solución, siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Búsqueda y selección de antecedentes, referentes y principios que hayan podido solucionar las actividades críticas.
- 2) Desarrollo de soluciones conceptuales para cada actividad crítica.
- 3) Desarrollo de una propuesta integrada que solucione el problema en todas sus dimensiones.

> Antecedentes, Referentes y Principios.

1) El desafío de “desagripar”

El “desagripado” de la tapa mediante golpes con distintas herramientas se ha probado operativamente, pero está lejos de ser una buena solución, ya que no reduce la exposición de los trabajadores a las vibraciones generadas por la transmisión del golpe a través de las herramientas utilizadas para ello.

Un concepto para resolver este problema es el generar una vibración controlada sobre la superficie de la tapa a través de un aparato que se instale en la tapa, pero que no se encuentre en contacto con el trabajador. Al hacer vibrar la tapa mecánicamente y generar movimientos de la tapa en diferentes direcciones, se debería deshacer el material solidificado entre el borde de la tapa y el anillo de la cámara al generar vibraciones al igual como se hace actualmente con golpes.

Una referencia interesante para considerar es el efecto que lograría una vibro-compactadora portátil como las que se utilizan en la construcción, aplicada a una tapa, pues su fuerte vibración generaría un movimiento tal que podría permitir desagriparla. Otro ejemplo de herramienta vibratoria es la lijadora eléctrica que a través de una vibración logra lijar maderas u otros materiales.



Ejemplos de utilización de vibración

La vibración generada por este tipo de maquinarias sobre los trabajadores que las utilizan puede provocar efectos dañinos en su salud, por lo tanto, la utilización del principio de vibración debiera ser aplicado sin necesidad de que el trabajador la dirija manualmente durante la realización de la tarea.

La referencia de la lijadora resulta interesante pues es un elemento pequeño, portátil, muy fácil de transportar; una máquina como esta resulta útil pues además permite tener un criterio objetivo acerca del nivel de energía (o fuerza vibratoria) aplicada. Si utilizando el vibrador, que emite una fuerza determinada, la tapa no se puede abrir, entonces corresponde pasar al nivel siguiente que es destruir la tapa. Ya no dependerá del criterio o el esfuerzo realizado por el operario en terreno.



Ejemplo de la configuración de un motor vibratorio. Presenta un peso que, al estar desplazado del centro de masas del objeto, al girar provoca un movimiento del objeto.

Otro elemento de utilidad a considerar es la incorporación de un temporizador con un tiempo máximo de aplicación de la vibración predefinido. Si luego de aplicar la vibración a máxima capacidad de la máquina por un tiempo definido, no se logra soltar la tapa, implicaría que objetivamente no es factible abrirla con dicho instrumento por lo que se debe derivar la apertura de ella a los contratistas definidos.

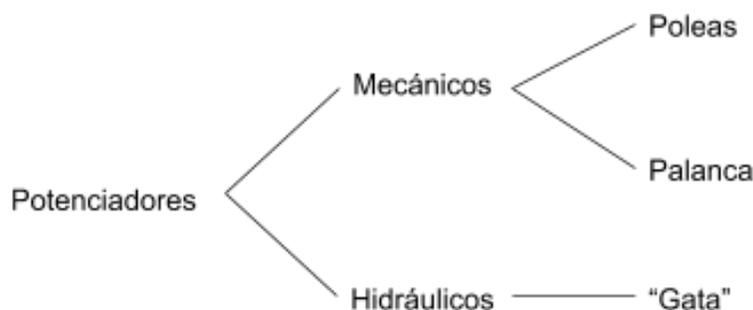
Cabe destacar podría resultar muy útil la identificación de la frecuencia natural de las tapas de las cámaras de registro para que, aplicando una vibración que coincida con ella, se logre una resonancia que amplifique la vibración de la tapa y facilite la tarea de desagripamiento. Existen diversos ejemplos en los que la aplicación de una fuerza que genera una vibración coincidente con la frecuencia natural de un objeto logra provocar una resonancia tal que amplifica considerablemente la vibración; en algunos casos dicha amplificación es capaz de destruir un objeto (desde una copa de cristal, hasta un puente o un helicóptero). Un ejemplo simple de este fenómeno es el movimiento que se logra al balancearse en un columpio; el movimiento de las piernas en una frecuencia particular logra amplificar la oscilación de este generando más impulso. Lograr una resonancia en la línea de los ejemplos descritos, pero aplicado al caso de las tapas agripadas, apunta a optimizar y hacer más eficiente la energía utilizada, de manera que, con poca energía, se provoque una vibración tal en la tapa que permita rápidamente desagriparla.

El uso de una herramienta que utilice la vibración regulada permitiría contar con una unidad de medida objetiva acerca de la energía o la fuerza aplicada para soltar las tapas, lo que a la vez evitaría la exposición de los trabajadores a los esfuerzos excesivos al realizar la tarea, permitiendo que cualquier persona (independiente de su fuerza o condición física) pueda realizarla. Dado lo anterior, una solución como esta sería coherente con los atributos anteriormente mencionados; visualizable, eficiente, sustentable, automatizado e inclusivo.

2) El desafío de levantar y mover la tapa

Solucionar el agripamiento de la tapa resuelve la primera parte del problema, sin embargo, es necesario complementar esta nueva herramienta, con otra que permita levantar y manipular la tapa de cámara de registro.

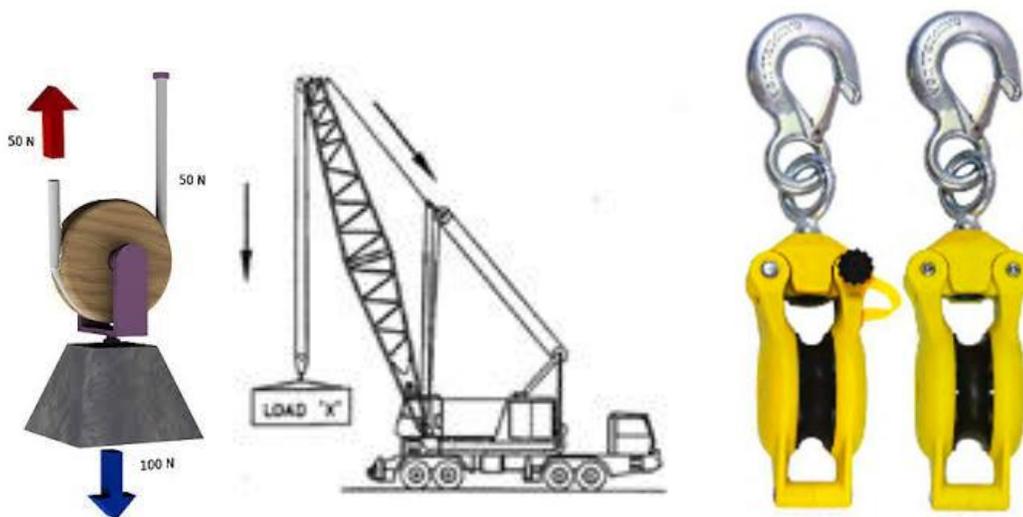
Existen diversos principios que se han usado por el hombre para facilitar la tarea de levantar peso. En esta línea, aparecen los sistemas "Potenciadores" que logran amplificar la capacidad humana para tareas como las analizadas. Como se indica en la figura, los sistemas potenciadores pueden ser mecánicos,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



Para poder incorporar alguno de estos sistemas en las labores bajo análisis, se debe tener en consideración que, el chuzo 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.

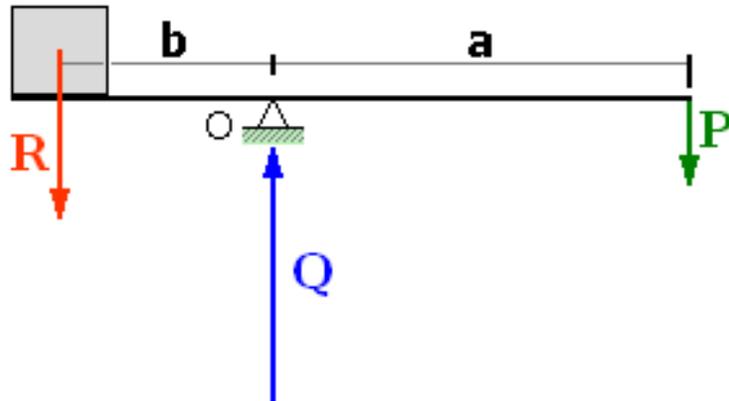
El principio de las poleas permite amplificar una fuerza al transmitirse por un sistema de ruedas con ranuras. En el siguiente esquema se observa que teniendo una cuerda con un extremo fijo a un soporte, que pasa a través de una polea, permite levantar un cuerpo ejerciendo la mitad de la fuerza correspondiente 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.



Ejemplos 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 un poco 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.



La ecuación que define la interacción de estos elementos es la siguiente:

$$R \times b = P \times a$$

Para el caso bajo análisis, las tapas de las cámaras de registro tienen pesos que varían entre los 25 kg (tapas de Acero Dúctil) y los 120 kg tapas de concreto; suponiendo que el punto de apoyo esté a 0,5 m de distancia de la tapa a levantar, la distancia a la que tendría que pararse una persona de 80 kg para lograr levantar la tapa (sin estar agripada) se podría definir mediante la siguiente ecuación:

$$b = 0,5 \text{ m}$$

$$R = 120 \text{ kg}$$

$$P = 80 \text{ kg}$$

$$a = ?$$

$$120 \text{ [kg]} \times 0,5 \text{ [m]} = a \times 80 \text{ [kg]}$$

$$a = 120 \times 0,5 / 80 = 0,75 \text{ [m]}$$

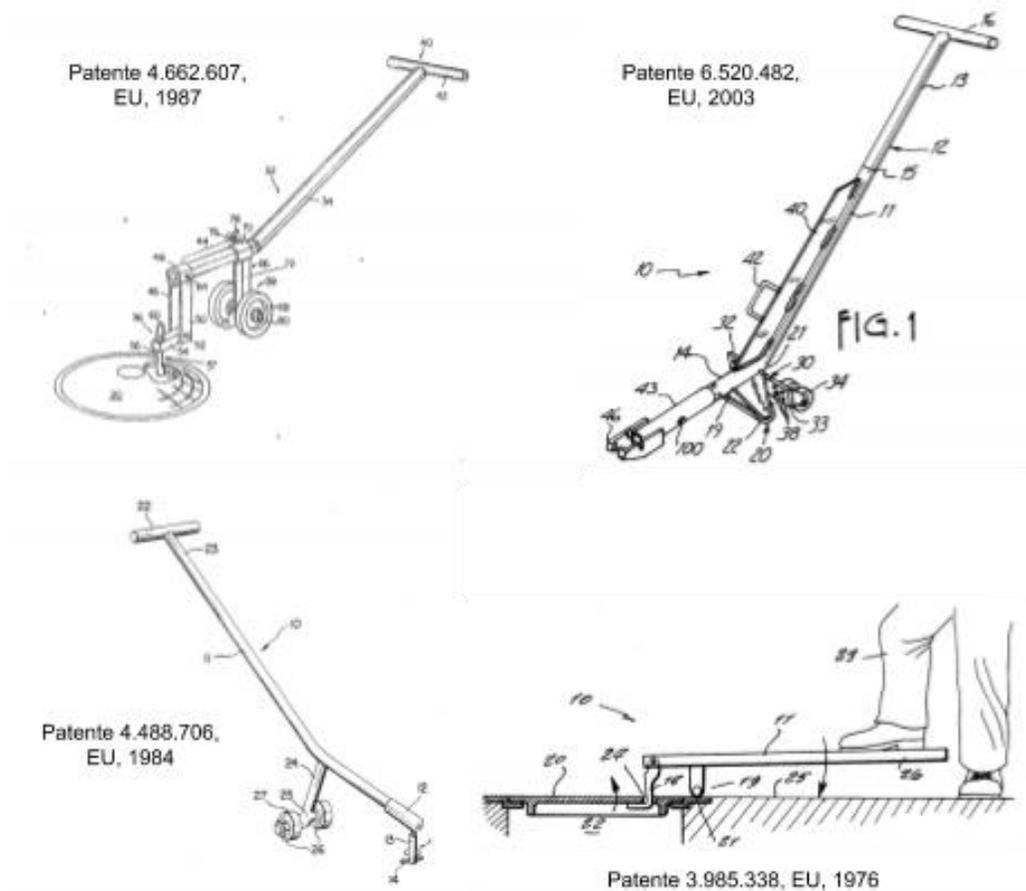
$$a = 0,75 \text{ [m]}$$

Esto implica que una fuerza de 80 kg (que podría corresponder al peso de un adulto en Chile), ubicada a una distancia de 0,75 m de un punto de apoyo, sería capaz de levantar una resistencia de 120 kg ubicada a 0,5 m de distancia del punto de apoyo; este escenario resulta bastante factible de configurar en una situación real.

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.



Patentes para apertura de tapas de cámaras de registro.

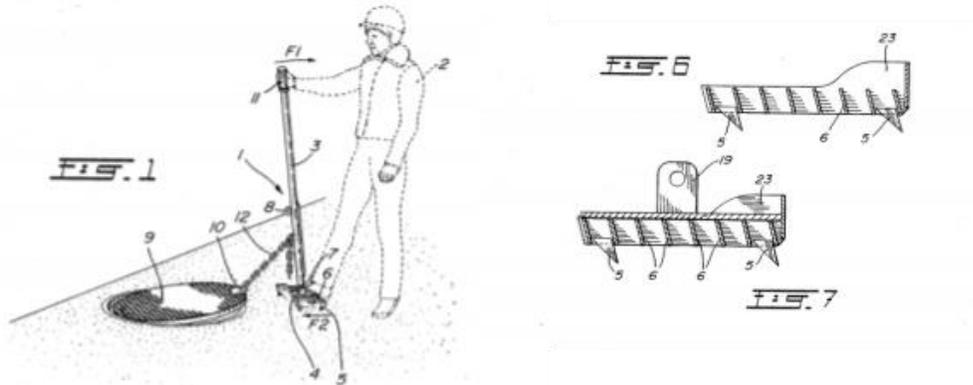
Fuente: United States Patents and Trademark Office

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.

Cabe destacar que existen estudios del *"International Journal of Industrial Ergonomics"* que 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, como la que se presenta en la imagen siguiente, permite reducir el esfuerzo realizado por brazos y espalda para remover las tapas de las cámaras.

Por otra parte, la patente 4.512.554 (EU, 1985) muestra un diseño interesante que es coherente con lo que plantean los estudios citados, puesto que la herramienta es suficientemente larga para evitar que el trabajador deba agacharse para levantar la tapa (reduciendo el esfuerzo en la espalda) y el soporte de pie genera adherencia al piso para facilitar el pivoteo y el arrastre de la carga.

U.S. Patent Apr. 23, 1985 Sheet 1 of 3 4,512,554



Patentes para apertura de tapas de cámaras de registro. Patente con soporte de pie.

Fuente: United States Patents and Trademark Office

La investigación de herramientas también permitió encontrar la denominada “Camlift Tool”, que presenta características muy similares a las de la patente 4.512.554 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.

Otra característica interesante de esta herramienta se relaciona con la cadena que utiliza, puesto que además de resultar un objeto muy resistente para arrastrar el peso involucrado, su configuración permite enganchar distintos eslabones y el ajustar la distancia a la que el trabajador se ubica para realizar la tarea; realizar la tarea alejándose del agujero de la cámara hace que el trabajador quede menos expuesto al peligro de caerse en él y menos expuesto a la emanación de gases provenientes de la cámara.



Herramienta "Camlift Tool". Fuente: <http://camlifttool.com/index.html>

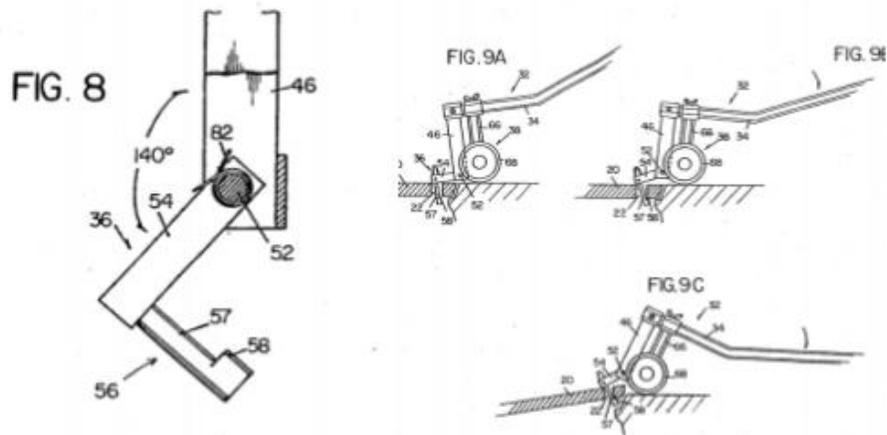
La utilización de herramientas como las descritas, son más eficientes que otras similares desde el punto de vista del esfuerzo que realizan los trabajadores, por lo tanto, permitirían una reducción de su exposición a los peligros asociados a las tareas analizadas, haciendo que estas tareas resulten más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

3) 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.

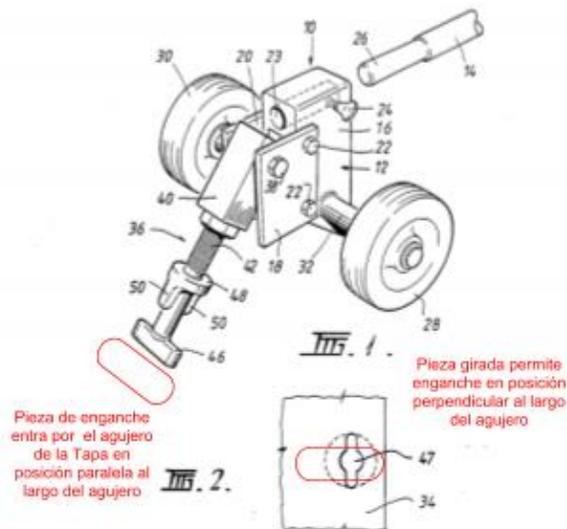
Otro elemento interesante de considerar es que la pieza de enganche podría tener una articulación que permita movimiento o giro, como se muestra en las figuras de la patente 4.662.607, del siguiente esquema (ver fig. 8 en la imagen). En el ejemplo de la patente mencionada, la articulación permite generar 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.



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.



Patentes para apertura de tapas de cámaras de registro. Sistemas de Enganche útiles para agujeros ovalados.

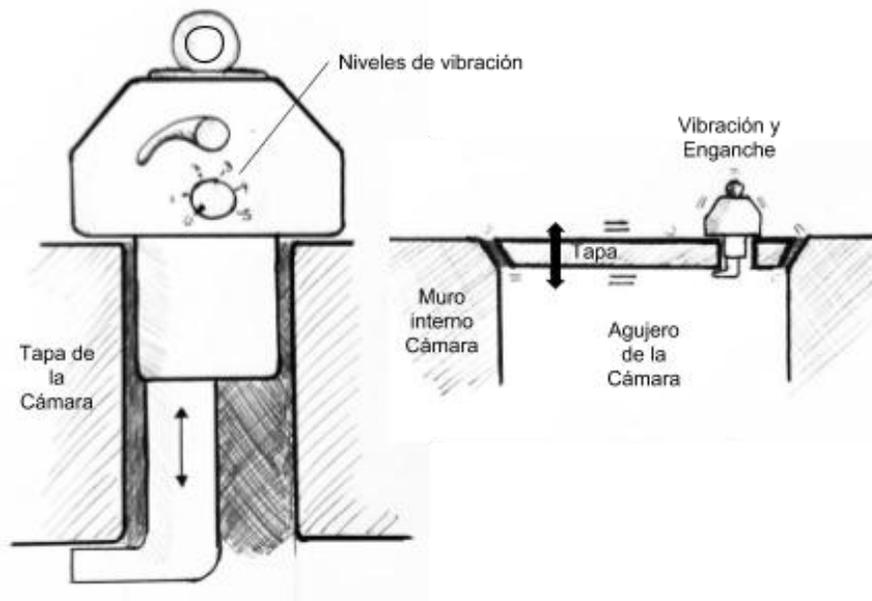
Fuente: United States Patents and Trademark Office

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”.

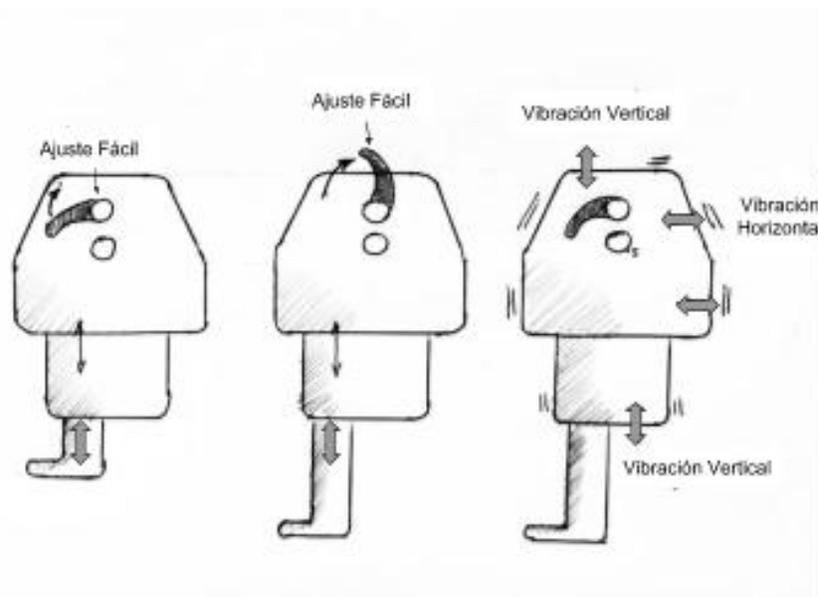
> Conceptos de soluciones para cada actividad crítica

1) El “Desagripador”

A partir de la referencia de motores vibratorios se propone esta herramienta, que mezcla un sistema de enganche dirigido a las tapas de concreto con un motor vibrador. El sistema consiste en una cabeza que incluye el motor vibrador y un vástago en forma de gancho que se introduce en la perforación de la tapa. Una vez insertado el gancho, este se ajusta con el fin de que el motor quede fijo a la tapa. Una vez instalado en la tapa, el desagripador podrá ser encendido para hacerla vibrar, removiendo los sedimentos que la atascan y por consiguiente evitando el esfuerzo físico del trabajador.



Diseño conceptual del sistema de enganche, con ajuste fácil y ajuste de vibración para el desagripado.



Diseño conceptual del sistema de enganche, con ajuste fácil inspirado en el de las bicicletas.

El motor genera vibraciones que permitirá eliminar y/o reducir el agripamiento para facilitar la apertura de las cámaras con la herramienta descrita en el punto anterior. En instancias preliminares se podrían establecer distintos niveles de vibración para poder tener claridad de cuál de ellos es el adecuado para desagripar una tapa optimizando la energía destinada a ello. Es probable que dadas las distintas configuraciones de tapas y materiales que las componen, las frecuencias naturales de cada una de ellas sean distintas, por lo que, en vez de definir frecuencias estándar de vibración, podría ser adecuado permitir regular la vibración para identificar cuál de ellas resuelve el problema del agripamiento de mejor manera.

El desagripador se deberá alimentar de baterías recargables al igual como funciona hoy un taladro eléctrico. Su recarga puede ser realizada desde sistemas eléctricos domiciliarios o en este caso, desde el sistema eléctrico del vehículo.

Resuelto el desafío del agripamiento, la parte superior del “Desagripador” presenta un anillo que permite enganchar la cadena de la herramienta de palanca, para que el operador logre desenganchar la tapa y realizar las tareas requeridas.

2) La Herramienta para levantar y mover

Respecto a la herramienta de apertura, esta sería una versión mejorada de la mezcla de la patente 4.512.554, la sugerida por el *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* y el *Camlift Tool*. Las mejoras propuestas para la herramienta se relacionan con el mejoramiento de la mecánica de la palanca de pie; al alargar ese elemento se busca reducir la fuerza ejercida por los brazos pues para poder movilizar la tapa, se sumaría la fuerza de palanca ejercida por el pie a través del peso del cuerpo del trabajador. Este ajuste debe probarse puesto que el formato corto facilita el movimiento tipo pivote/giro que presenta la “*CamliftTool*” en su versión original. Es probable que, aún alargando el pedal, se requiera mantener la forma curva original para facilitar el giro.

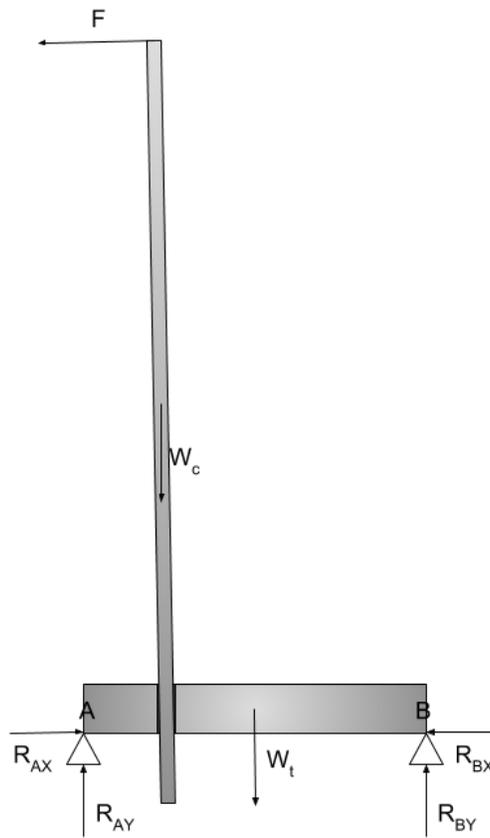


Ejemplo de uso de *Camlift Tool* (1) y ejemplo de ajuste propuesto para palanca de pie (2)

Como se menciona en puntos anteriores la cadena conectada a la herramienta permite mantenerse alejado del agujero (tanto al abrir como al cerrar la cámara) alejándose del peligro de caída y de exposición a gases tóxicos que emanen de la cámara. Los eslabones de la cadena permiten también ajustar la distancia a la que el trabajador se instalará para ejecutar la tarea. La “*Camlift Tool*” original tiene ganchos que se insertan en las perforaciones de las tapas.

Para evaluar preliminarmente esta propuesta, se realizó un cálculo comparativo entre el chuzo y la herramienta, a través de un análisis estático usando modelos simplificados.

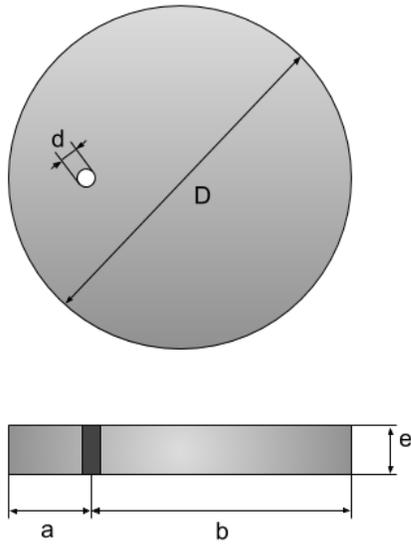
Para analizar la mecánica del chuzo se utilizó el siguiente modelo:



Donde:

- F : Fuerza ejercida por el operador.
- R_{AX} ; Reacción horizontal en el punto A.
- R_{AY} ; Reacción vertical en el punto A.
- R_{BX} ; Reacción horizontal en el punto B.
- R_{BY} ; Reacción vertical en el punto B.
- W_t : Peso de la tapa.
- W_c : Peso del chuzo.

Y las características dimensionales de los elementos en análisis son:



- D : Diámetro de la tapa.
- e : Espesor de la tapa.
- d : Diámetro de la perforación
- a : Distancia desde el punto A de la tapa al eje de la perforación.
- b : Distancia desde el punto B de la tapa al eje de la perforación.



- L : Largo del chuzo.
- c : Diámetro del chuzo.

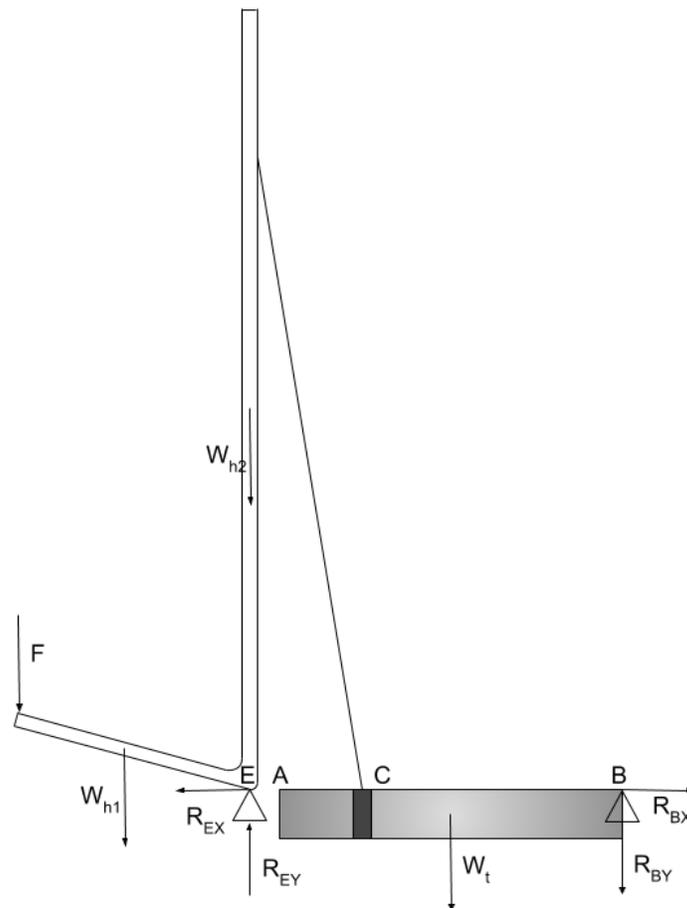
Para este análisis estático se considera el instante en que la tapa empieza a levantarse, pivoteando en el punto A, por lo que las reacciones en el punto B son nulas ($R_{Bx}=R_{By}=0$), ya que la tapa deja de apoyarse en ese punto.

Tomado como valores dimensionales para el chuzo y la tapa los presentes en el mercado y en la referencia de diseño de la norma NCh 2080 respectivamente, tenemos que:

- W_t : 120 kg.
- W_c : 15 kg.
- D : 700 mm.
- e : 100 mm.
- d : 30 mm.
- a : 145,5 mm.
- b : 554,5 mm.
- L : 1750 mm.
- c : 28,575 mm.

Así, dio como resultado que la fuerza requerida por el operador para empezar a levantar la tapa con las extremidades superiores debería ser de 30 kgf.

Para analizar la mecánica de la herramienta se utilizó el siguiente modelo:

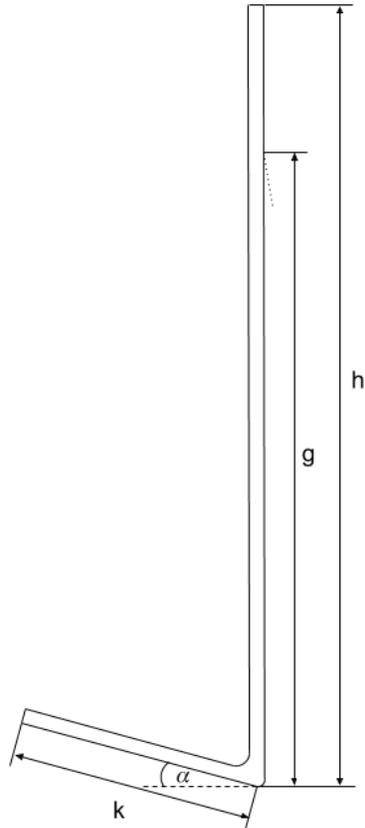


Donde:

- F : Fuerza ejercida por el operador con el pie.
- R_{AX} ; Reacción horizontal en el punto A.
- R_{AY} ; Reacción vertical en el punto A.
- R_{BX} ; Reacción horizontal en el punto B.
- R_{BY} ; Reacción vertical en el punto B.
- R_{EX} ; Reacción horizontal en el punto E.
- R_{EY} ; Reacción vertical en el punto E.
- W_t : Peso de la tapa.
- W_{h1} : Peso del brazo palanca pie de la herramienta.

- W_{h2} : Peso del brazo palanca mano de la herramienta.

Y las características dimensionales de la herramienta son:



- h: Altura brazo palanca mano.
- g: Altura conexión con elemento de enganche.
- k: Largo brazo palanca pie.
- α : Ángulo de inclinación brazo palanca pie

Para este análisis estático se considera el instante en que la tapa empieza a levantarse, pivoteando en el punto B, por lo que las reacciones en el punto A son nulas ($R_{Ax}=R_{Ay}=0$), ya que la tapa deja de apoyarse en ese punto.

Tomado como valores dimensionales para la tapa los mismos que en el caso anterior y para la herramienta los valores propuestos en este diseño conceptual, tenemos que:

- W_t : 120 kg.
- W_{h1} : 15 kg.
- W_{h2} : 5 kg.
- D : 700 mm.
- e : 100 mm.
- d : 30 mm.
- a : 145,5 mm.
- b : 554,5 mm.
- h : 1750 mm.
- g : 1300 mm.
- k : 500 mm.
- α : 15°.

Así, este análisis dio como resultado que la fuerza requerida por el operador para empezar a levantar la tapa con las extremidades inferiores es de 25 kgf.

Los resultados de este análisis nos indican que la herramienta propuesta posee ventajas sobre el chuzo, tanto en la fuerza necesaria para levantar la tapa, como en la mecánica para realizar este trabajo, cambiando la fuerza de brazos, hombros y espalda por la fuerza ejercida por las piernas (la extremidad más fuerte), lo que genera una disminución de la exposición a trastornos musculoesqueléticos.

> Propuesta de Solución Consolidada

Kit Operativo: Enganche Desagripador + Herramienta

Dados los distintos problemas mencionados en los puntos anteriores y los acercamientos de solución descritos, la propuesta que resuelve de mejor manera los desafíos existentes es el “Kit Operativo” compuesto por una herramienta vibradora para desagripar tapas, que llamaremos “Desagripador”, que además cumple la función de ser el gancho donde se conecta la herramienta a la tapa, más la herramienta de apertura con palanca tipo *CamliftTool*.



Kit operativo de la propuesta 1 en acción.

4.4. VIAJE DEL USUARIO IDEAL CON INTERACCIONES ESPERADAS

Según la propuesta de solución “Kit Operativo”: consistente en una herramienta tipo “*camlift tool*” y el “Desagripador”, el viaje ideal del usuario presentaría la siguiente secuencia:

1. Operador de terreno se dirige a abrir una cámara tras un llamado.
2. Ubicada la cámara a intervenir, el operador identifica el tipo de tapa.

> El vehículo de Aguas Andinas lleva en su interior la herramienta de palanca y el desagripador con la batería cargada.

3. Inicia la secuencia de apertura y cierre:
 - Se acerca a la tapa.
 - Inserta el desagripador.
 - Ajusta el gancho de manera que quede aferrado a la tapa.
 - Enciende el desagripador, generando vibraciones que sueltan la tapa. Una vez suelta apaga la vibración
 - Si el desagripador no logra soltar la tapa en su máxima potencia (medida cuantificable), el operador podrá pedir asistencia para destruir la tapa dando por finalizados sus intentos por abrir la tapa manualmente.
 - Conecta la cadena de la herramienta a la parte superior del desagripador.
 - Se ubica en una posición segura, lejos del agujero, y ejerciendo una fuerza de pie y brazos, ejecuta una palanca que permite desencajar la tapa del agujero en el que está, abriendo la cámara.
 - Mediante movimientos de palanca con la herramienta enganchada al desagripador y tapa, la arrastra fuera la cámara.
 - Desarrolla las tareas encargadas, para desarrollar en su interior.
 - De la misma manera que en la apertura, arrastra la tapa hasta instalarla en el agujero y cerrar la cámara.

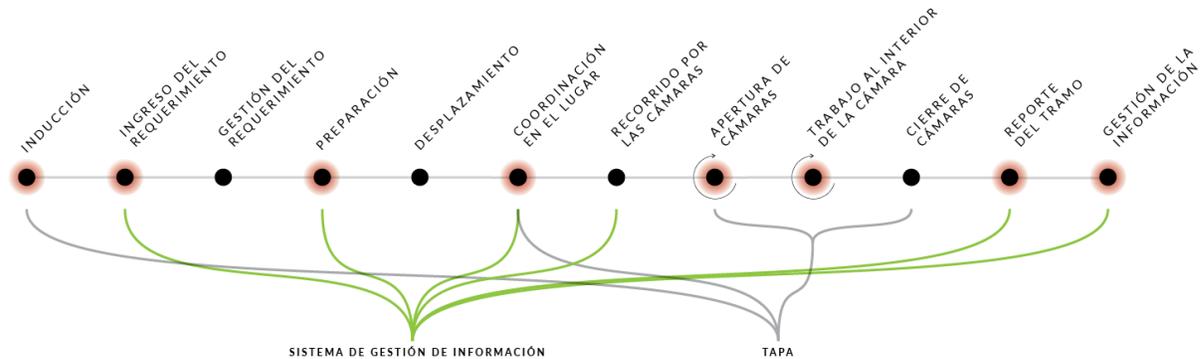
Dado el diseño de la herramienta de palanca y la vibración generada por el desagripador, esta secuencia de trabajo debiera resultar mucho más eficiente y segura que la original, tanto desde el punto de vista del tiempo destinado a las tareas operativas en las cámaras como desde el punto de vista de la exposición de los trabajadores a los peligros involucrados en ellas.



5. Propuesta Conceptual 2: Sistema Tapa Digital

5.1. INTERACCIONES CRÍTICAS A RESOLVER

Tal como se menciona detalladamente en la sección anterior, la actual tarea de apertura de cámaras de registro presenta una serie de interacciones críticas que no se logran resolver con una simple herramienta. Aun cuando una nueva versión de esta logre solucionar algunos problemas que genera la utilización del chuzo para la apertura de las tapas de cámara, no resolverá la gran mayoría de las situaciones de conflicto.



Interacciones críticas en el viaje de usuario que viven los operadores de tapas de cámara de registro.

Por este motivo, se hace necesario incorporar una solución diferente, con cambios que van más allá de la simple incorporación de una herramienta mejor, que nunca logrará hacer cambios significativos en el total de interacciones que debe enfrentar un operador en su labor.

5.2. CONTEXTO LOCAL, REVISIÓN DE LA LITERATURA Y EXPERIENCIAS RELEVANTES

En la actualidad algunos de los mayores problemas relacionados a la manipulación de las tapas de cámaras de registro se asocian a agentes externos a la operación de Aguas Andinas. Entre ellos, las distintas formas de manipulación de terceros no autorizados, ya sea para introducir elementos prohibidos en el alcantarillado o para derechamente robar las tapas para hacer uso de su material destaca como uno de los principales problemas que condicionan la operación.

> Peso de la tapa

El peso de las tapas de cámara de registro hoy suele estar en el rango de 80 a 120 kg de peso, dependiendo de si está construida en hormigón o acero y de las cargas que deba tolerar. El peso de la tapa también cumple un segundo rol, que es dificultar la manipulación de terceros y en particular los robos, sin embargo, es un método poco eficiente para cumplir con este objetivo. Por otro lado, el gran peso somete a los trabajadores de Aguas Andinas a grandes esfuerzos físicos e incrementa la posibilidad de lesiones durante su manipulación. Utilizando materiales más avanzados, como el FRP (plástico reforzado con fibra)

es posible encontrar en el mercado tapas de cámara que cumplen con las normativas chilenas desde aproximadamente 20 kg de peso.

> Tecnología actual

Existen en el mercado soluciones de tapas inteligentes, capaces de aportar grandes cantidades de datos a la operación, como las que se han instalado en algunas ciudades norteamericanas. Sin embargo, el modelo actual de tapa inteligente conlleva dos aspectos críticos que pueden impedir su aplicación en el contexto local. Por un lado, se encuentra el manejo de datos. Las llamadas “tapas inteligentes” cuentan con sensores y transmisión de datos en tiempo real, lo que es fantástico siempre y cuando se cuente con un sistema de redes capaz de recibir y procesar toda esa información. Esto evidentemente implica la adopción de un sistema informático complejo y la creación de una red apropiada.



Izquierda: Tapa de cámara con sensores en NY, EEUU. Derecha: Tapa japonesa con tecnología Fujitsu para detectar inundaciones. Ambas con baterías.

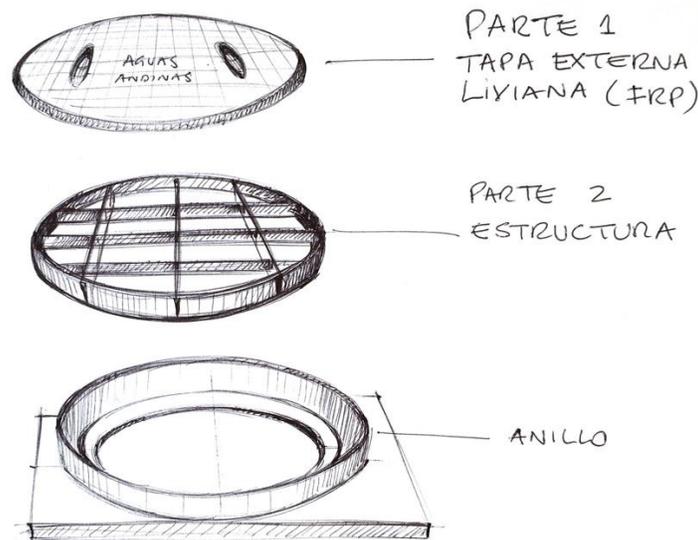
En segundo lugar, aparece otro ítem crítico. Las baterías. Para poder medir y enviar información constantemente, estas tapas deben estar conectadas (*online*), lo que implica que deben contar con una fuente de energía. Las tapas inteligentes se energizan por medio de baterías, las que duran entre 1 y 5 años según su especificación y uso. Las baterías, por un lado, son un elemento altamente valorado, lo que transformaría a la tapa inteligente en un objeto altamente deseable para delincuentes. Por otro lado, surge un tremendo problema de operación y logística. 40,000 tapas inteligentes significarán 40,000 baterías que deben estar en constante observación y reposición aproximadamente 1 vez por año, siendo esto poco práctico, de alto costo y poco sustentable. Otra alternativa puede ser la energización de las tapas por medio de la red eléctrica, sin embargo, esta opción involucra un alto costo asociado a la creación de una red eléctrica inexistente.

5.3. DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN

> Construcción modular

La propuesta de una nueva tapa de cámara de registro ataca los problemas detectados desde dos aristas diferentes. La primera consiste en enfrentar el problema del peso de la tapa. Al pensar en una tapa inteligente, con sensores, baterías, cerraduras, o cualquier otro módulo electrónico, es inevitable agregar peso a la tapa. Si bien, como ya se ha mencionado anteriormente, existen materiales que sin duda cuentan con una relación de peso/resistencias superiores a la del hormigón o el acero, quisimos abordar el problema de una forma conceptualmente diferente, independiente del material con el que se fabrique.

Por este motivo se propone una filosofía de construcción modular, donde la tapa en sí pueda ser desarmada en dos partes; una tapa exterior y una segunda pieza estructural que al trabajar en conjunto hacen la tapa y obtienen la resistencia necesaria demandadas por las cargas a las cuales se debe someter. Esto permite dos cosas, por un lado, dividir el peso total de la tapa en dos componentes que individualmente se transforman en objetos más manejables. Por otro lado, también hace posible que, para algunas tareas, no sea necesario sacar la segunda parte y solo sea suficiente con retirar la primera capa.



Concepto de tapa de cámara de registro modular de dos partes para dividir el peso total en porciones menores.

Esta misma puede incorporar en su diseño un par de hendiduras que cumplan la función de manillas. Al ser solamente la mitad (aproximadamente) del peso total de la tapa de cámara, esta debiese ser más manipulable, cumpliendo idealmente con que la capa externa pese menos de 20 kg, lo que facilita su manipulación y reduciría drásticamente el riesgo de lesiones. Por su parte, el incorporar manilla alejadas

del perímetro de la tapa, también se hace cargo del riesgo existente en relación con el atrape de dedos tanto al levantar como al colocar la tapa.

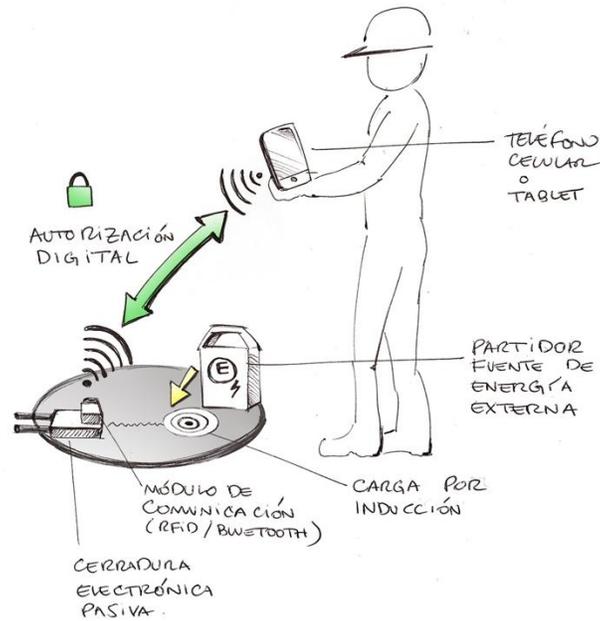
En cuanto a los materiales, este concepto de tapa modular podría fabricarse en diversos materiales, siendo evidente la familia del FRP (plástico reforzado con fibra) lo ideal, tanto por su relación peso / resistencia, como la facilidad que entrega al equipo para crear geometrías complejas al tratarse de materiales compuestos. Dentro de estos materiales, lo más común es la utilización de resina reforzada con fibra de vidrio, sin embargo, queda abierta la posibilidad de experimentar con otros compuestos más sustentables utilizando material reciclado. Entre ellos, destaca la utilización de tereftalato de polietileno, más conocido como PET, el plástico con el cual se fabrican la gran mayoría de las botellas de bebidas como refuerzo en lugar de la fibra de vidrio. Consideramos que esta exploración se podría transformar en un proyecto independiente que se puede articular en conjunto con otras unidades de la Universidad Católica que pueden aportar desde la química, la mecánica y la nanotecnología.

> Energización externa

El segundo concepto clave para este concepto trata sobre cómo energizar la tapa para lograr tener una tapa inteligente, sin tener la necesidad de que la tapa cuente con una batería en su interior o se encuentre energizada por una red eléctrica. Para esto, se opta por una tapa pasiva sin fuente de energía, que se activa mediante una fuente de energía externa que debe ser portada por el operador de Aguas Andinas. La batería externa, sólo otorgará energía a la tapa cuando esta sea manipulada, y lo hará mediante un sistema de carga por inducción, lo que implica que no habrá una conexión física entre la batería y la tapa. Esto debido a que la utilización de cables y conectores no solo complica la operación, sino que también genera un potencial punto de falla considerando la ubicación y el contexto en el que se desempeñan las tapas. El sistema de carga por inducción, por el contrario, funciona a partir de bobinas, una deberá estar ubicada en la tapa y la otra en el cargador (batería) que porta el operario, las que en conjunto crean un campo magnético para transferir la energía. Sólo basta que el operador ubique el cargador en lugar indicado en la tapa que determine la ubicación de la bobina.

> Bloqueo electrónico

Al ser una tapa liviana, esta se transforma en un objeto más fácil de manipular tanto para el personal de Aguas Andinas como para terceros. Esto obliga a que la tapa deba contar con un sistema de bloqueo o cerradura que impida que esta pueda ser abierta en cualquier momento. Se propone el uso de una cerradura eléctrica, motorizada o magnética, que solamente pueda ser accionada de forma remota por el trabajador desde un teléfono móvil u otro aparato similar que entregue la autorización digital a esta acción mediante tecnologías de transmisión de datos como *bluetooth* o *RFID*

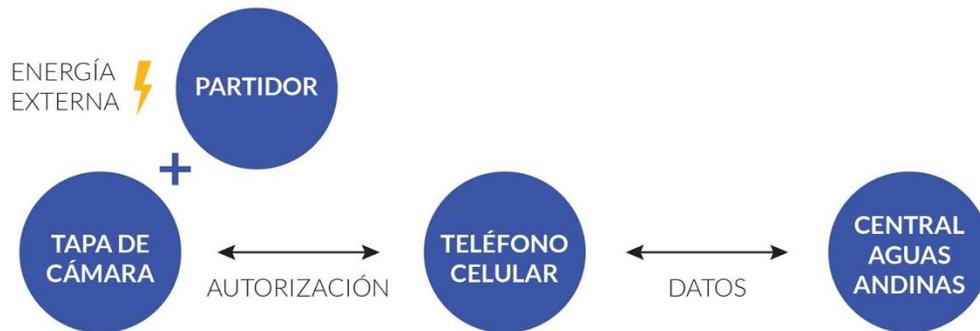


Concepto de tapa de cámara de registro con bloqueo electrónico sin contacto. El trabajador energiza la tapa con una batería externa, posteriormente con un teléfono móvil, desbloquea la cerradura para realizar la apertura de la cerradura.

Para abrir la tapa, el operador deberá primero energizarla con el cargador externo, para posteriormente desbloquearla con su teléfono, el que compartirá un código con la cerradura ubicada en la tapa para permitir su apertura. Si un desconocido llegará a poder energizar la tapa de alguna forma, igualmente no podría accionar la cerradura al no contar con la autorización, o “candado digital” que entregue la autorización que permita abrirla. Por otro lado, al no contar con energía, la cerradura permanecerá siempre cerrada evitando la manipulación de las tapas por parte de terceros.

El cargador externo por su parte podría ser recargado fácilmente en los mismos vehículos en que se transportan los operarios, manteniendo siempre una fuente de energía cargada, en condiciones para realizar los trabajos.

> Medio de comunicación y obtención de datos



El concepto funciona utilizando el teléfono móvil como articulador, tanto para autorizar la apertura de la cerradura digitalmente como para transmitir datos a una central utilizando las redes locales.

El utilizar un teléfono o *tablet*, con conexión GPRS (internet) trae consigo sus propios beneficios. Por un lado, se evita que Aguas Andinas deba contar con su propia red para el manejo de las tapas al utilizar un sistema existente y común. Basta con el desarrollo de una aplicación simple para poder autorizar la apertura de una cerradura. Por otro lado, el utilizar este sistema de apertura con autorización digital, es una puerta de entrada a la obtención de datos de las tapas de cámara de registro. Sin necesidad de contar con ningún sensor adicional, este sistema podría registrar automáticamente:

- Persona que realizó la apertura
- Horario de apertura
- Duración de la apertura
- Horario de cierre

Adicionalmente, mediante una aplicación, el operario podría agregar información sobre la tarea realizada, el estado de distintos componentes, herramientas utilizadas, entre otros datos. Esta información, no solo permite tener un registro, sino que mediante el uso de *machine learning* el sistema podría a futuro incluso sugerir acciones a realizar tomando como referencia casos similares, reduciendo así el tiempo de respuesta y solución a problemas.

5.4. VIAJE DEL USUARIO IDEAL CON INTERACCIONES ESPERADAS

Esta segunda propuesta de solución “Sistema Tapa Digital” consta de tres componentes esenciales; la nueva tapa modular, la fuente de energía externa y el sistema de comunicación de datos.

Su operación sería la siguiente:

Para abrir la tapa, el operador deberá primero energizarla con el cargador externo, para posteriormente desbloquearla con su teléfono, el que compartirá un código con la cerradura ubicada en la tapa para

permitir su apertura. Si un desconocido llegará a poder energizar la tapa de alguna forma, igualmente no podría accionar la cerradura al no contar con la autorización, o “candado digital” que entregue la autorización que permita abrirla. Por otro lado, al no contar con energía, la cerradura permanecerá siempre cerrada evitando la manipulación de las tapas por parte de terceros.

1. Operador de terreno se dirige a abrir una cámara tras visualizar en una aplicación en su teléfono móvil o *Tablet* la nueva orden de trabajo y su ubicación georreferenciada.
2. Tras ubicar la tapa, el operador desciende del vehículo portando consigo el teléfono y el “energizador” (batería) previamente cargado.

> El vehículo de Aguas Andinas lleva en su interior un cargador para mantener la batería con carga suficiente en todo momento.

3. Llega a la tapa de cámara y ubica el “energizador” en el lugar indicado gráficamente en la tapa para realizar la carga por inducción.
4. Tras “activar” la tapa con energía, utiliza la aplicación en su teléfono para autorizar la apertura de la tapa, abriendo el “candado digital”.
5. En su pantalla aparece un “ok” o “*check verde*” que indica la autorización con lo que procede a apretar el botón de “apertura” que envía una señal del teléfono a la tapa que inicia la apertura de la cerradura electrónica.

> En ese momento la aplicación comienza a recolectar y enviar datos. Automáticamente queda registrado quien es el usuario que abrió la tapa, a que hora lo hizo, cuanto tiempo estuvo abierta, entre otros datos que alimentaran una base de datos de operación.

6. El trabajador mueve el “energizador” de encima de la tapa
7. Posteriormente, utilizando las hendiduras incorporadas levanta la capa superior de la tapa fácilmente para acceder a la cámara de registro. Al ser modular esta es suficientemente liviana (>20kg) para levantarla con las manos
8. A través de la segunda capa estructural el operario realiza las tareas de inspección o reparación. Solo si es necesario, remueve la segunda capa.
9. Repite el proceso de manera inversa para cerrar la tapa, energizando nuevamente la tapa e utilizando su teléfono para accionar la cerradura.
10. Para realizar el cierre, la aplicación hará que el operador revise una serie de parámetros relacionados a la tapa a través de un menú simple en el que solo deba seleccionar opciones (funcionamiento similar al del menú de un iPhone). De esta forma podrá informar sobre el trabajo realizado, el estado de distintos componentes, herramientas requeridas, sentido de giro de la válvula, entre otros parámetros que permitan posteriormente optimizar y reducir posteriores visitas.

De esta forma, con esta solución se da un paso gigante hacia el futuro, donde se utilizan los datos como una fuente de información fundamental para optimizar la operación, se reduce el esfuerzo físico y las actividades manuales respondiendo a todos los atributos mencionados anteriormente como clave para una solución al manejo de tapas de cámara de registro:

- Inclusivo
- Sustentable
- Automatizado
- Eficiente
- Visualizable
- Colaborativo
- Informado
- Seguro
- Resistente
- Liviano



6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. VISIÓN SISTÉMICA

Si bien el desafío planteado originalmente correspondía al desarrollo de una nueva herramienta para la manipulación de las tapas de cámara de registro tanto de agua potable como de agua servida, se hace evidente tras el estudio la necesidad de aproximarse a este desafío con una visión sistémica al contemplar todas las interacciones que afectan al operador de Aguas Andinas.

Cambiar o modificar solamente la herramienta utilizada podría no tener efectos positivos en la operación o en la reducción de accidentes, si es que no se realizan otros cambios, como lo son las mejoras en las capacitaciones y en la gestión del conocimiento de los operarios que actúan en terreno y la optimización de la gestión de la información operativa relevante.

Se hace evidente también que el problema de fondo no es la herramienta, sino la tapa de cámara de registro, cuya operación se ve dificultada principalmente por dos factores; la gran diversidad de tapas existentes y su alto peso, que puede llegar hasta los 120 kg. Por este motivo, el cambiar la tapa por una más liviana, reduce de inmediato los requerimientos tanto en la herramienta como en la persona que realiza la acción.

6.2. DESARROLLO Y MAPA DE RUTA (O ETAPAS DE DISEÑO DE LA INNOVACIÓN)

Si bien el desafío planteado originalmente correspondía al desarrollo de una nueva herramienta para la manipulación de las tapas de cámara de registro tanto de agua potable como de agua servida, se hace evidente.

Del estudio realizado se desprenden una serie de desarrollos independientes y complementarios para los objetivos del proyecto:

> Propuesta de Solución I

1. Herramienta vibradora “desagripador”
2. Herramienta para levantar las tapas

> Propuesta de Solución II

3. Desarrollo de un sistema de información que optimice la gestión operativa
4. Tapa de cámara modular
5. Nuevos materiales sustentables para las tapas de cámara
6. Tapa de cámara con apertura electrónica sin contacto
7. Aplicación para el control de apertura y recolección de datos

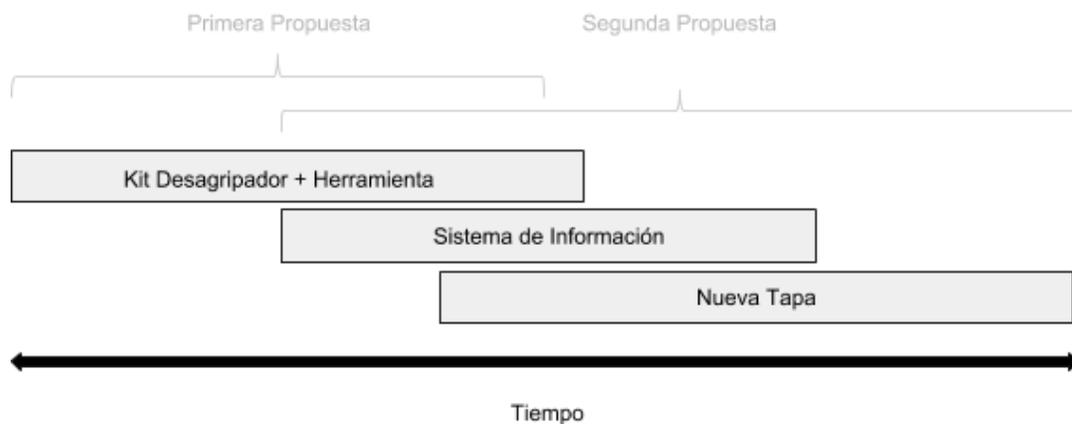
> Desarrollos complementarios

8. Capacitaciones de procesos técnico/operativos
9. Kit de inducción

Los primeros 7 desarrollos mencionados están más cerca de los desafíos planteados originalmente por Aguas Andinas y se ordenaron de manera tal que ayuden a resolver las necesidades de corto y mediano plazo. Los desarrollos 8 y 9 son elementos relevantes y complementarios, sin embargo, no están directamente en el marco del objetivo inicial.

Para definir un “Mapa de Ruta” se puede pensar en resolver los desafíos teniendo en consideración los distintos alcances y factibilidad de implementación. Los elementos de la primera propuesta de solución, el Kit Operativo consistente en el “Desagripador” y la herramienta, brindan una solución táctica inmediata, dirigida a la problemática específica de la apertura y cierre de las cámaras de registro. Esta solución permitirá facilitar la tarea operativa actual de la apertura y cierre de tapas, que aún en su carácter temporal y de corto plazo reducirá la exposición de los operadores a los peligros de las tareas bajo análisis, mientras se desarrolla una solución de largo plazo.

Por otra parte, la segunda solución, que plantea un sistema de información y una nueva tapa, se observa como una propuesta estratégica de mediano plazo; estratégica pues generará un cambio de paradigma en la manera en que se desarrollan actualmente las tareas operativas bajo análisis 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.



Como las dos propuestas apuntan a objetivos distintos pero complementarios, ambas se pueden desarrollar de manera traslapada, es decir, iniciar 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 las herramientas y los sistemas tecnológicos que permitirían configurar y luego alimentar una potente base de datos con información operativa actualizada. El uso actual de celulares (masivo) y las aplicaciones existentes podrían permitir fácilmente geolocalizar cámaras, categorizarlas según sean de agua potable o aguas servidas, tipo de tapas, estado, etc., aprovechando que, en cada operación

de terreno, los operarios obtengan y almacenen 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.

6.3. VISIÓN DE FUTURO

El desarrollo de una tapa inteligente abre la puerta al mundo del *big data* y la automatización de una manera simple, pero escalable, al utilizar un teléfono móvil y las redes existentes como medio de comunicación. En un principio, se puede controlar solamente el acceso, apertura y cierre de la cámara, de forma digital para dar paso de forma gradual a la incorporación de una mayor cantidad de información a medida que esta pueda ser aprovechada por la empresa. Mediante el uso de aplicaciones especialmente desarrolladas, se hace posible generar un registro, que permita contener la información que hoy queda exclusivamente en las personas y su experiencia. De esta manera, el trabajo de los diferentes equipos se hará muchísimo más eficiente, al contar con una fuente de información que permita anticiparse y construir a partir de los datos levantados en visitas anteriores, esto aún, sin considerar incluir sensores para lo que puede ser una etapa aún más avanzada.

Con mayor manejo de datos, hoy ya es posible utilizar sistemas de *machine learning*, que podrán anticipar problemas y sugerir acciones, basándose en casos similares ya detectados anteriormente. Por este motivo, el desarrollo de una primera versión de tapa de cámara inteligente y el desarrollo de un piloto correspondiente se presentan como oportunidad para dar un primer paso hacia el futuro de la gestión de la operación. A futuro, esta misma apertura digital podría ser fácilmente controlada completamente a distancia, acercándose cada vez más a la automatización total.

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.
- Samhan, G. Cámaras de inspección públicas, domiciliarias y separadores de aceites y grasas. Reglamentación y Requisitos. Recuperado de
- http://www.siss.gob.cl/586/articles-11093_ppt2.pdf
- Global Water Partnership (2011). Documento de Perspectiva. Hacia una gestión de aguas urbanas. Estocolmo
- Banco Mundial (2012). Gestión Integral de Aguas Urbanas. Síntesis. Washington: Banco Mundial.
- Clegg, M., Asenjo, J.(2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias. Prólogo (pp 15) México: IANAS y UNESCO.
- Jiménez, B. (2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias. Aguas Urbanas en las Américas (pp 16-18) México: IANAS y UNESCO.
- Galizia, J. (2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias. El Agua en las Regiones Urbanas (pp 19-20) México: IANAS y UNESCO.
- Vammen, K. (2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias. Un rápido vistazo a (pp 21-25) México: IANAS y UNESCO.
- McPhee, J., Gironás, J., Fernández, B., Pastén, P., Vargas, J., Vega, A., y Vicuña, S. (2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias.

Seguridad hídrica en ciudades de Chile: avances y desafíos pendientes (pp 152-173) México: IANAS y UNESCO.

- Loucks, D., van Beek, E. (2017). Water Resource Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models, and Applications. Urban Water Systems (pp. 527-567) doi: 10.1007/978-3-319-44234-1_12
- Diseño de Servicios UC. (2017). Creando valor a través del Diseño de Servicios. Santiago.
- Stickdorn, M. y Schneider, J. (2016). *This is service design thinking*. Amsterdam: BIS publishers.
- 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.



Anexos

ANEXO 1: CÁLCULO EQUILIBRIO ESTÁTICO CASO CHUZO TAPA

Para realizar un análisis estático del caso en que la tapa se levanta con un chuzo, se utilizó el siguiente modelo.

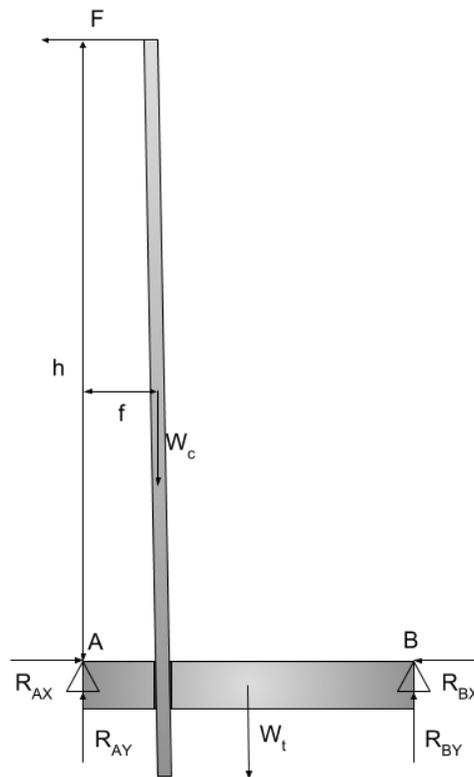


Diagrama del modelo para el análisis estático del caso chuzo tapa.

Donde:

- F : Fuerza ejercida por el operador.
- R_{AX} ; Reacción horizontal en el punto A.
- R_{AY} ; Reacción vertical en el punto A.
- R_{BX} ; Reacción horizontal en el punto B.
- R_{BY} ; Reacción vertical en el punto B.
- W_t : Peso de la tapa.
- W_c : Peso del chuzo.
- h : Distancia vertical desde el punto de aplicación de la fuerza al punto A.
- f : Distancia horizontal desde el centro de gravedad del chuzo al punto A.

Para este caso se analiza el instante en que la tapa empieza a levantarse producto de de una fuerza F , pivoteando sobre el punto A.

Para poder realizar este análisis primero describimos y asignamos ciertas variables que describen las características dimensionales de los elementos del sistema, y así también poder determinar h y f en función de éstas.

> Características Dimensionales Tapa

La tapa posee las siguientes características dimensionales.

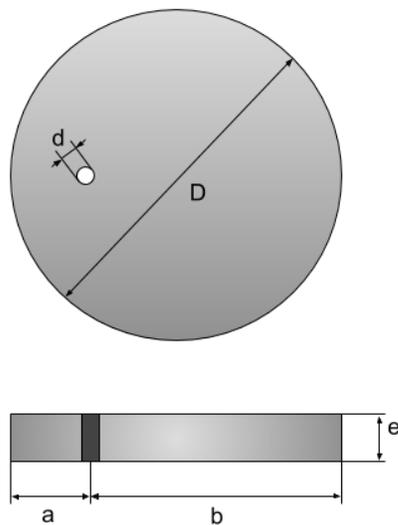


Diagrama tapa

Donde:

- D: Diámetro de la tapa.
- e: Espesor de la tapa.
- d: Diámetro de la perforación
- a: Distancia desde el punto A de la tapa al eje de la perforación.
- b: Distancia desde el punto B de la tapa al eje de la perforación.

> Características Dimensionales Chuzo

En el caso del chuzo tenemos las siguientes características dimensionales.

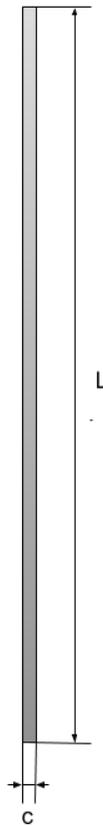


Diagrama chuzo

Donde:

- L: Largo del chuzo.
- c: Diámetro del chuzo.

> Características Dimensionales Puntos de contacto Chuzo-Tapa

También es necesario determinar cómo interactúan y se posiciona el chuzo con la tapa dadas las características anteriormente descritas.

Así, realizando un acercamiento a la zona de apoyo del chuzo con la tapa, tenemos las siguientes variables dimensionales.

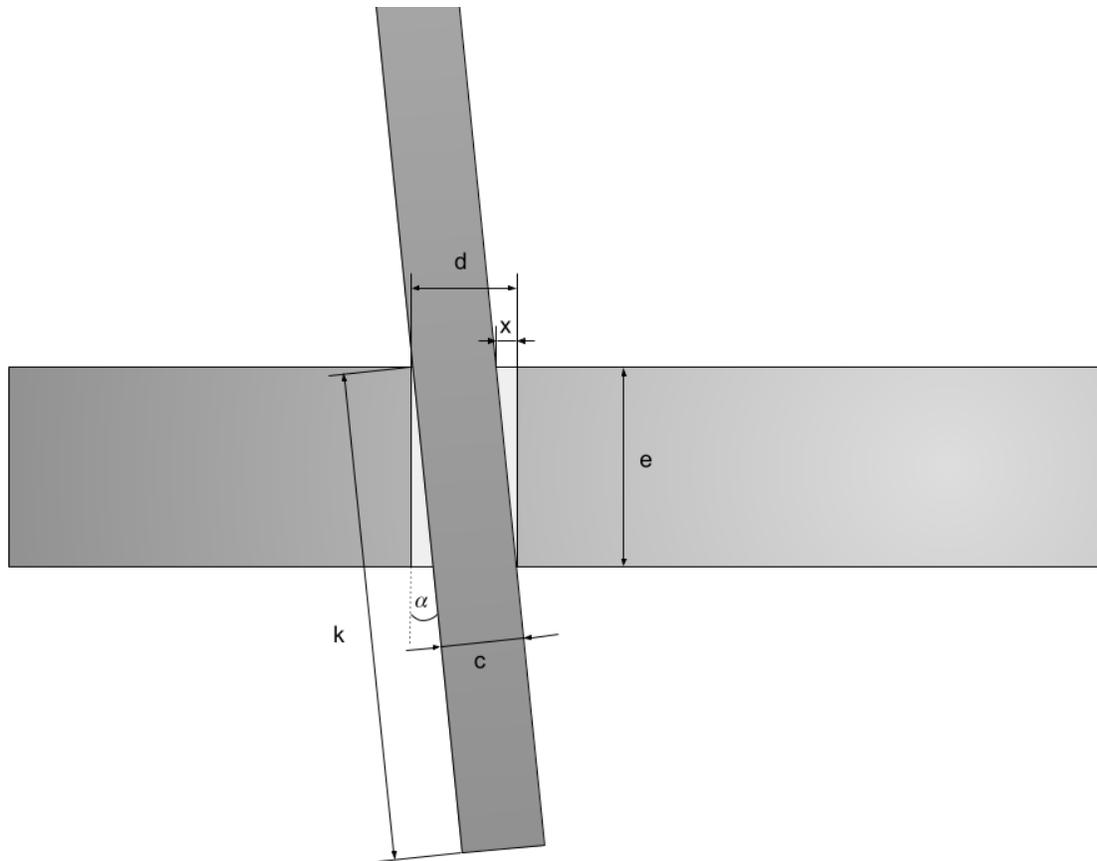


Diagrama zona de apoyo chuzo-tapa

Donde:

- k : Distancia del chuzo que pasa a través de la tapa
- α : Ángulo de inclinación del chuzo, tomado desde el eje vertical.
- x : Distancia máxima entre el borde del chuzo y el borde de la perforación de la tapa.

Ahora bien, para este análisis nos interesa determinar el ángulo de inclinación del chuzo con respecto al eje vertical, en función de las características dimensionales del chuzo y la tapa.

Así, analizando la zona de contacto entre estos dos elementos tenemos que:

$$(i) \quad x = e \cdot \tan \alpha$$

$$(ii) \quad (d - x) \cdot \cos \alpha = c$$

De la ecuación (ii) tenemos que:

$$\cos \alpha = \frac{c}{(d - x)} \quad (1)$$

Desarrollando la ecuación (i), y reemplazando el resultado (1), tenemos que:

$$\sin \alpha = \frac{x}{e} \cdot \frac{c}{(d-x)} \quad (2)$$

Además, por identidad trigonométrica sabemos que:

$$(iii) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

Reemplazando los resultados (1) y (2) en esta ecuación, obtenemos la siguiente ecuación de segundo orden:

$$\left[\frac{x}{e} \cdot \frac{c}{(d-x)} \right]^2 + \left[\frac{c}{(d-x)} \right]^2 = 1$$

Desarrollando y ordenando podemos presentar la ecuación de la forma $ax^2 + bx + c = 0$.

$$\left[\left(\frac{c}{e} \right)^2 - 1 \right] x^2 + 2dx + c^2 - d^2 = 0$$

Utilizando la solución para este tipo de ecuaciones, sabemos que las soluciones para x son:

$$x = \frac{-2d \pm \sqrt{(2d)^2 - 4 \left[\left(\frac{c}{e} \right)^2 - 1 \right] (c^2 - d^2)}}{2 \left[\left(\frac{c}{e} \right)^2 - 1 \right]} \quad (3)$$

Además, de la ecuación (i) sabemos que:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x}{e} \quad (4)$$

Por lo que podemos obtener el ángulo de inclinación α , en relación a las características dimensionales del sistema.

Así, podemos despejar las siguientes variables dimensionales del sistema:

$$h = (L - k) \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

$$f = a - \frac{d}{2} - \left(\frac{L}{2} - k \right) \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

> Análisis Estático Sistema Chuzo-Tapa

Volviendo al diagrama del modelo chuzo tapa, y considerando para este análisis estático el instante en que la tapa empieza a levantarse, pivoteando en el punto A; instante en que las reacciones en el punto B son nulas ($R_{Bx}=R_{By}=0$), ya que la tapa deja de apoyarse en ese punto; tenemos las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerzas en el eje horizontal y vertical, y de momento en el punto A para ese instante:

$$\begin{aligned} (iii) \quad \sum F_x &= 0 \Rightarrow R_{AX} - F = 0 \\ (iv) \quad \sum F_y &= 0 \Rightarrow R_{AY} - W_c - W_t = 0 \\ (v) \quad \sum M_A &= 0 \Rightarrow F \cdot h - W_c \cdot f - W_t \cdot \frac{D}{2} = 0 \end{aligned}$$

Así, despejando F de la ecuación (iii) tenemos que:

$$\Rightarrow F = \frac{W_c \cdot f + W_t \cdot \frac{D}{2}}{h} \quad (7)$$

Obteniendo las características dimensionales de los elementos del sistema de la norma chilena NCh 2080 para la tapa, de especificaciones técnicas de chuzos presentes en el mercado para el chuzo, y suponiendo que el chuzo se inserta una profundidad de 300 mm, tenemos los siguientes valores para las distintas variables dimensionales y físicas del sistema:

- W_t : 120 kg.
- W_c : 15 kg.
- D: 700 mm.
- e: 100 mm.
- d: 30 mm.
- a: 145,5 mm.
- b: 554,5 mm.
- L: 1750 mm.
- c: 28,575 mm.
- k: 300 mm.

Evaluando los resultados obtenidos de las ecuaciones, obtenemos que la fuerza requerida para empezar a levantar la tapa sería de 30,23 kgf.

ANEXO 2: CÁLCULO EQUILIBRIO ESTÁTICO CASO HERRAMIENTA TAPA

Para realizar un análisis estático del caso en que la tapa se levanta con la herramienta propuesta, se utilizó el siguiente modelo.

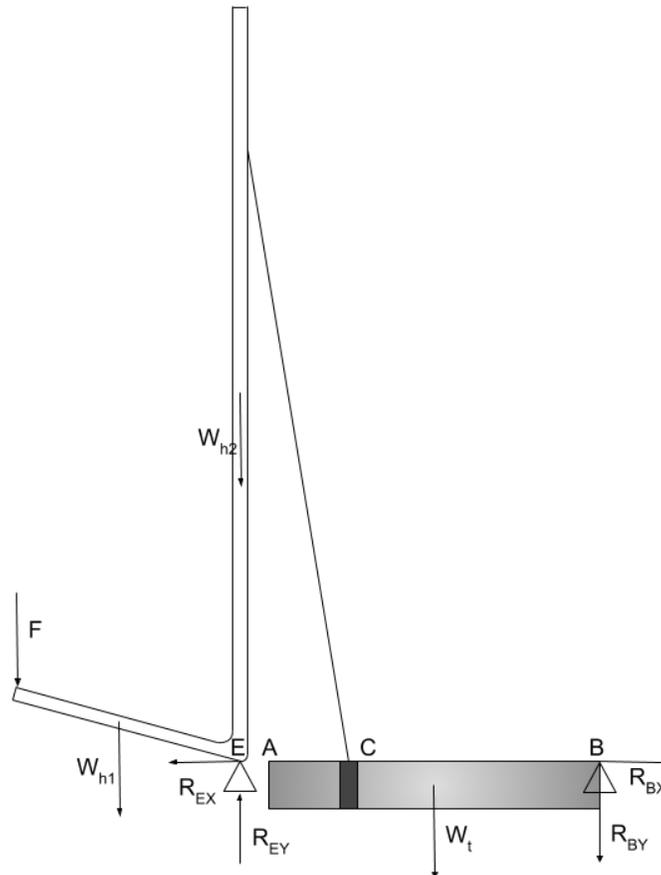


Diagrama del modelo para el análisis estático del caso herramienta tapa.

Donde:

- F : Fuerza ejercida por el operador con el pie.
- R_{AX} ; Reacción horizontal en el punto A.
- R_{AY} ; Reacción vertical en el punto A.
- R_{BX} ; Reacción horizontal en el punto B.
- R_{BY} ; Reacción vertical en el punto B.
- R_{EX} ; Reacción horizontal en el punto E.
- R_{EY} ; Reacción vertical en el punto E.
- W_t : Peso de la tapa.
- W_{h1} : Peso del brazo palanca pie de la herramienta.
- W_{h2} : Peso del brazo palanca mano de la herramienta.

- j: Largo del segmento \overline{AE}

> Características Dimensionales Herramienta

La herramienta propuesta posee las siguientes características dimensionales.

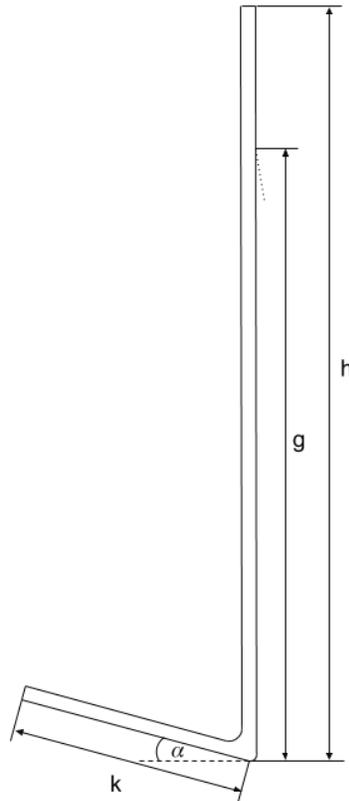


Diagrama estructura herramienta propuesta

Donde:

- h: Altura brazo palanca mano.
- g: Altura conexión con elemento de enganche.
- k: Largo brazo palanca pie.
- α : Ángulo de inclinación brazo palanca pie

> Análisis Estático Sistema Herramienta-Tapa

Para este análisis estático se considera el instante en que la tapa empieza a levantarse, pivoteando en el punto B, instante en que las reacciones en el punto A son nulas ($R_{AX}=R_{AY}=0$), ya que la tapa deja

de apoyarse en ese punto; obteniendo las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerzas en el eje horizontal y vertical, y de momento en los puntos E y B para ese instante:

$$(i) \sum F_x = 0 \Rightarrow R_{BX} - R_{EX} = 0$$

$$(ii) \sum F_y = 0 \Rightarrow R_{EY} - R_{BY} - W_{h1} - W_{h2} - W_t - F = 0$$

$$(iii) \sum M_E = 0 \Rightarrow F \cdot k \cdot \cos \alpha + W_{h1} \cdot \frac{k}{2} \cdot \cos \alpha - W_t \cdot \left(j + \frac{D}{2}\right) - R_{BY} \cdot (j + D) = 0$$

$$(iv) \sum M_B = 0$$

$$\Rightarrow F \cdot (k \cdot \cos \alpha + j + D) + W_{h1} \cdot \left(\frac{k}{2} \cdot \cos \alpha + j + D\right) - R_{EY} \cdot (j + D) + W_{h2} \cdot (j + D) + W_t \cdot \frac{D}{2} = 0$$

Despejando R_{BY} de la ecuación (iii), tenemos que:

$$\Rightarrow R_{BY} = \frac{F \cdot k \cdot \cos \alpha + W_{h1} \cdot \frac{k}{2} \cdot \cos \alpha - W_t \cdot \left(j + \frac{D}{2}\right)}{(j + D)} \quad (1)$$

Ahora bien, realizando el análisis estático de cuerpo libre para la tapa, obtenemos las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerzas en el eje horizontal y vertical, y de momento en el punto B para ese instante:

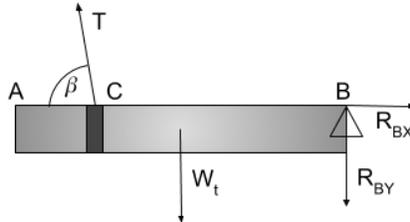


Diagrama cuerpo libre tapa

$$(v) \sum F_x = 0 \Rightarrow R_{BX} - T \cdot \cos \beta = 0$$

$$(vi) \sum F_y = 0 \Rightarrow T \cdot \sin \beta - R_{BY} - W_t = 0$$

$$(vii) \sum M_C = 0 \Rightarrow -T \cdot \sin \beta \cdot b + W_t \cdot \frac{D}{2} = 0$$

Donde T es la tensión que posee el enganche al levantar la tapa.

Despejando T de la ecuación (vii), tenemos que:

$$\Rightarrow T = \frac{W_t \cdot \frac{D}{2}}{\sin \beta \cdot b} \quad (2)$$

Reemplazando T en la ecuación (vi), obtenemos:

$$\Rightarrow R_{BY} = W_t \cdot \frac{D}{2b} - W_t \quad (3)$$

Igualando los resultados (1) y (3), despejamos la fuerza F, dando como resultado que:

$$\Rightarrow F = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{W_t \cdot D}{k \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{j}{b} + \frac{D}{b} - 1 \right) - W_{h1} \right] \quad (4)$$

Tomado como valores dimensionales y físicos para la tapa los mismos que en el caso anterior, y para la herramienta los propuestos en este diseño conceptual, tenemos que:

- W_t : 120 kg.
- W_{h1} : 15 kg.
- W_{h2} : 5 kg.
- D: 700 mm.
- e: 100 mm.
- d: 30 mm.
- a: 145,5 mm.
- b: 554,5 mm.
- h: 1750 mm.
- g: 1300 mm.
- k: 500 mm.
- α : 15°.
- j: 60 mm.

Evaluando los resultados obtenidos, este análisis dio como resultado que la fuerza requerida por el operador para empezar a levantar la tapa con las extremidades inferiores sería de 24,73 kgf.