



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE PASILLOS Y RAMPA DE TRABAJO PARA UN SISTEMA DE
LIMPIEZA DE PRESAS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ULISES NARANJO VÁZQUEZ

TUTOR PRINCIPAL:
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. AGOSTO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

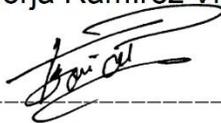
JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. López Parra Marcelo
Secretario: Dr. Ramírez Reivich Alejandro Cuauhtémoc
1 er. Vocal: Dr. Borja Ramírez Vicente
2 do. Vocal: Dra. Corona Lira María Del Pilar
3 er. Vocal: Dra. Corona Lira María Del Pilar

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Borja Ramírez Vicente



FIRMA

DEDICATORIA

Esta tesis va dirigida a todos aquellos que me han acompañado a lo largo de este viaje: mi familia, amigos y conocidos.

Gracias por ser compañía, pilar y guía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, al Posgrado de Ingeniería y al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica por proporcionarme los medios y recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto de investigación.

A mi asesor de tesis, el Dr. Vicente Borja por aceptarme como parte del centro y brindarme todos sus consejos, conocimientos y su guía para aplicarlos en el proyecto desarrollado y en la vida ingenieril.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) le agradezco la beca otorgada durante la maestría.

Y finalmente, agradezco a todos los integrantes del centro de diseño con los que se realizó en conjunto el proyecto y al Dr. Cuauhtémoc Reivich y la Dra. Pilar Corona con los que estuvimos trabajando estrechamente durante todo el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

La CDMX cuenta con una gran cantidad de presas que sirven para regular y conducir el agua pluvial. Sin embargo, el aumento de la mancha urbana y los establecimientos irregulares han ocasionado que en estos cuerpos se descarguen aguas residuales de origen urbano proveniente de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana.

En un trabajo en conjunto de la Facultad de Ingeniería con SACMEX (organismo desconcentrado encargado de operar, mantener y construir la infraestructura hidráulica de la CDMX y área metropolitana) se desarrolla un sistema con la capacidad de extraer basura y azolve de las presas.

El presente trabajo consta de una descripción del proceso de desarrollo de un sistema de recolección de residuos en cuerpos de agua en la Ciudad de México. El desarrollo del mecanismo consta de las etapas de identificación de necesidades por parte de los usuarios y personas relacionadas, búsqueda de información y tecnologías análogas, generación de conceptos utilizando herramientas de diseño basadas en la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger hasta la parte de diseño conceptual en fase final para su producción.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
TABLA DE CONTENIDO	6
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Sistema Hídrico	8
1.2 El sistema de presas en CDMX	11
1.3 Organización de la tesis	11
2. ANTECEDENTES	13
2.1 Situación de las presas	13
2.2 Soluciones actuales	14
2.3 Patentes	20
3. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	22
3.1 Objetivo de la tesis	22
3.2 Alcances	22
3.3 Proceso	23
3.4 Equipo de trabajo	24
4. PROYECTO SACMEX-UNAM	26
4.1 SACMEX	26
4.2 Sistema “Todo en Uno”	35
5. DESARROLLO DE SISTEMA DE SUPERVISIÓN DEPLEGABLE	47
5.1 Desarrollo conceptual pasillos desplegados	47
5.2 Análisis de esfuerzos del sistema desplegable	63

5.3 Diseño a detalle del sistema de pasillos plegables.....	71
6. DESARROLLO DE RAMPA DE TRABAJO	79
6.1 Trayectoria del sistema de extracción.....	79
6.2 Desarrollo conceptual rampa de trabajo	85
6.3 Análisis de esfuerzos de la rampa de trabajo	95
6.4 Diseño a detalle de la rampa de trabajo	100
CONCLUSIONES	103
REFERENCIAS.....	105
ANEXOS	108
ANEXO A. Características de presas de estudio en la Ciudad de México.....	108
ANEXO B. Método de Elemento Finito (FEM).....	110
ANEXO C. Tabla de resultados análisis FEM	114
ANEXO D. Planos generales del sistema de pasillos de circulación y rampa de trabajo	115

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Sistema Hídrico

1.1.1 Cuerpo de Agua

Un cuerpo de agua puede ser cualquier extensión que contenga agua, ya sea terrestre (ríos y lagos) como a nivel subsuelo (acuíferos y ríos subterráneos). Tanto artificiales (presas) como naturales.

Una cuenca se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia, nieve o deshielo escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal, y por ésta hacia un punto común de salida. Este puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa [1].

Las cuencas del país han sido organizadas en 37 Regiones hidrológicas, áreas que por su relieve y escurrimiento superficial presentan características similares en su drenaje, que a su vez han sido organizadas en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) para su gestión.



*Ilustración 1. Regiones y cuencas de la Ciudad de México.
Recuperado de: Riquelme, 2004.*

La Ciudad de México está incluida en la RHA XIII y le corresponden las regiones mostradas en la ilustración 1. Cuenta con dos lagos artificiales y uno natural, sin embargo, ninguno se utiliza como medio para obtener agua potable, siendo necesarios sistemas de transporte sumamente complejos como el caso del Sistema Cutzamala [2].

1.1.2 Red hidráulica en la Ciudad de México

México dispone de una gran red hidráulica debido a su orografía, sin embargo, la Ciudad de México al estar en una región céntrica tiene recursos naturales limitados, aunado a la actividad de tipo comercial que se lleva a cabo, hace este recurso sea utilizado para abastecer hogares, negocios e industrias manufactureras de baja escala.

La CDMX cuenta con una gran cantidad de presas que sirven para regular y conducir el agua pluvial. Sin embargo, el aumento de la mancha urbana y los establecimientos irregulares han ocasionado que en estos cuerpos se descarguen aguas residuales de origen urbano proveniente de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana [2] dificultando que las presas realicen adecuadamente la tarea por la que fueron diseñadas.

En la ilustración 2 se muestra diagrama realizado por SACMEX [3] sobre el drenaje general en la ciudad. Para este trabajo resulta de mayor interés observar el flujo de las presas y la ubicación de estas, así como los puntos de conexión que las unen entre sí y con el resto de las instalaciones. En capítulos posteriores se explicará brevemente las características de las presas necesarias para realizar un parámetro estandarizado a tomar en cuenta para el producto a desarrollar.

1.2 El sistema de presas en CDMX

Debido a las a diversas condiciones (geográficas, históricas, económicas, etc.) se ha propiciado que la Ciudad de México concentre el 45% de la actividad industrial del país y que albergue el 20% de población del país. Esto aunado al rápido crecimiento de la población en la zona metropolitana caracterizada por la expansión de áreas urbanas residenciales y asentamientos no planificados ha llevado a un suministro diario de los servicios de agua, drenaje y saneamiento de 8.85 millones de habitantes, creando la necesidad del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), un organismo público encargado de que dichas tareas se realice de forma adecuada y futuros proyectos [3].

SACMEX es la empresa pública proveedora de servicios de agua más grande del país, y además cuenta con una red de alcantarillado y tratamiento de aguas para poder suministrar agua a toda la ciudad. Es un órgano desconcentrado, dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [4] y tiene como objetivo: *prestar los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización. Operar, mantener y construir la infraestructura hidráulica; explotar, usar, aprovechar las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y la calidad para contribuir al desarrollo integral sustentable de la Ciudad.*

1.3 Organización de la tesis

El capítulo número dos de la tesis ubica al lector en el contexto del problema para entender a grandes rasgos de dónde nace la iniciativa del “Todo en Uno”, así como ver directamente el problema que se está atacando. Se hace un breve espacio para mostrar una breve descripción del estado actual de las presas y se hace énfasis en porqué una solución de menor complejidad es difícil de llevar a cabo. Así mismo se mencionan algunos conceptos importantes sobre el tema de los sistemas hídricos y fundamentos básicos de elemento finito que servirán como base para los análisis que se realizaron al sistema.

El capítulo tres muestra los objetivos del trabajo, los alcances personales que se plantearon como parte del equipo de diseño, el equipo que realizó con el que se realizó el desarrollo. Finalmente se hace una descripción del proceso de desarrollo del que se tomó base para realizar actividades de creación de ideas, bosquejos y selección de opciones.

El capítulo cuatro propone la definición del proyecto SACMEX-UNAM en el que se describe a detalle el estado actual de las presas de la Ciudad de México, la morfología, las medidas características para dimensionar el mecanismo a diseñar y el proceso de limpieza. También se hace hincapié en el análisis que se realizó a las cuadrillas para identificar las necesidades con base en los usuarios a los que estaba destinado el diseño y su posterior conversión a especificaciones que el mecanismo debe cumplir.

En el mismo capítulo se ahonda en el análisis comparativo con tecnologías similares alrededor del mundo, cómo se han realizado las soluciones y las patentes que han salido de ahí para comprobar de primera mano que cualquier avance que se realice no se haya realizado de forma previa. Finalmente se describe el proceso de desarrollo conceptual del mecanismo de recolección “Todo en Uno”, desde dónde empiezan a surgir las ideas hasta la fase final del desarrollo conceptual, el cual consta en definir cuántos subsistemas tendrá y qué actividades principales llevará a cabo cada uno.

En el capítulo cinco se comenta el desarrollo a nivel ingeniería del sistema del desarrollo de supervisión desplegable, un subsistema del mecanismo que ayuda a los usuarios a transportarse a lo largo de todo el resto de subsistema. Para este proceso de desarrollo se generan diversas ideas para realizar el despliegue, sin embargo, con una matriz de Pugh se logra seleccionar una combinación para realizar el trabajo de forma adecuada. Así mismo se muestran algunos prototipos de funcionalidad limitada para realizar toma de decisiones rápidas sin la necesidad de tener un prototipo a gran escala. En el mismo capítulo se muestra el análisis de esfuerzos para validar que la opción era físicamente factible y se enlistan algunos diseños a nivel detalle.

En el último capítulo, de la misma manera se aborda el proceso de desarrollo de los pasillos plegables, análisis de elemento finito y los diseños a nivel detalle que quedan pendientes. Sin embargo, cabe destacar que en la primera parte de este capítulo se centra en la trayectoria que se tuvo que encontrar para que uno de los subsistemas del “Todo en Uno” pueda realizar sus funciones, para ello se tuvieron que hacer análisis dimensionales del mecanismo y las normas de transporte para delimitar las posiciones de guardado de todos los subsistemas que componen el sistema.

2. ANTECEDENTES

2.1 Situación de las presas

El sistema de presas, ríos y cajas de control del interceptor poniente de SACMEX consta de 17 presas repartidas en la zona poniente de la Ciudad de México [6], las cuales se enlistan a continuación:

1. Tacubaya
2. A de Becerra
3. C de Becerra
4. Tarango
5. Mixcoac
6. Anzaldo
7. San Joaquín
8. Texcalatlaco
9. Las flores
10. La mina
11. Tequilasco
12. Pilares
13. Ruiz Cortines
14. Dolores
15. Tecamachalco

Para conocer el estado y condiciones en las que se encontraban las presas de primera mano, el equipo de desarrollo realizó visitas a estos lugares, reportando y entendiendo los diversos problemas particulares que presentaban cada una de ellas.

Debido a lo anterior, se decidió realizar un análisis que mostrara las condiciones ambientales en las que se encontraban cada una de estas presas, haciendo hincapié en el problema de contaminación.

En la ilustración 3, se muestran algunos ejemplos de estos cuerpos de agua, siendo: a) Tacubaya, b) A de Becerra, c) C de Becerra y d) Tarango.



Ilustración 3. Estado actual de las presas a) Tacubaya, b) A de Becerra, c) C de Becerra, d) Tarango

Como se puede observar todas las presas están visiblemente contaminadas con residuos de todo tipo, dificultando el funcionamiento principal para el que fueron construidas. SACMEX como empresa pública, es la encargada de sanear periódicamente las presas para intentar mitigar el daño ocasionado por los residuos depositados en los cuerpos de agua, sin embargo, actualmente se hace manualmente con operarios que deben regular el nivel de agua de la presa para adentrarse y retirar los desechos. Más adelante se ahondará en el proceso de saneamiento investigado por el equipo de desarrollo para comprender mejor la operación de la empresa, la frecuencia y el tipo de cuadrilla que lo realiza para entender al usuario que utilizará el producto a desarrollar.

2.2 Soluciones actuales

Para comenzar a realizar conceptos iniciales y propuestas de solución. Para ello, se realizaron búsqueda de patentes y soluciones existentes en el mercado actual con el afán de entender

conceptos generales del tipo de solución, qué problema atienden, cómo se aplicaron, materiales empleados, etc. A continuación, se presentan soluciones representativas.

Barrera o Basura (B.O.B) [7]

Este de la Bahía de Panamá

Iniciativa de limpieza de la cuenca del manglar de la desembocadura del río Matías Hernández, Panamá. Desarrollada por la asociación Marea Verde que consiste en una barrera flotante de 16 pulgadas de diámetro que no permite el paso de basura flotante hacia el mar. Se complementa con una serie de talleres de educación y sensibilización ambiental, jornadas comunitarias para la recolección de basura y el manejo y reciclaje de residuos. En 2018 una cuadrilla de seis personas recolectó cerca de 300 toneladas de basura, principalmente botellas de PET y unicel (EPS) sin embargo, también se puede llegar a recoger sanitarios, neveras, lavadoras, colchones, piezas de carro, llantas, zapatos, juguetes, entre otros. El manejo de los residuos se hace por medio de una empresa recicladora o en su defecto, son reubicados hacia los rellenos sanitarios, aunque se ha explorado la posibilidad de triturar los desechos y utilizarlos en la industria constructiva [7].



Ilustración 4. a) Instalación del dispositivo B.O.B. b) Contención de basura flotante por dispositivo modificado
Recuperado de: <http://bit.ly/2GTQk5Z> el 21 de enero, 2022

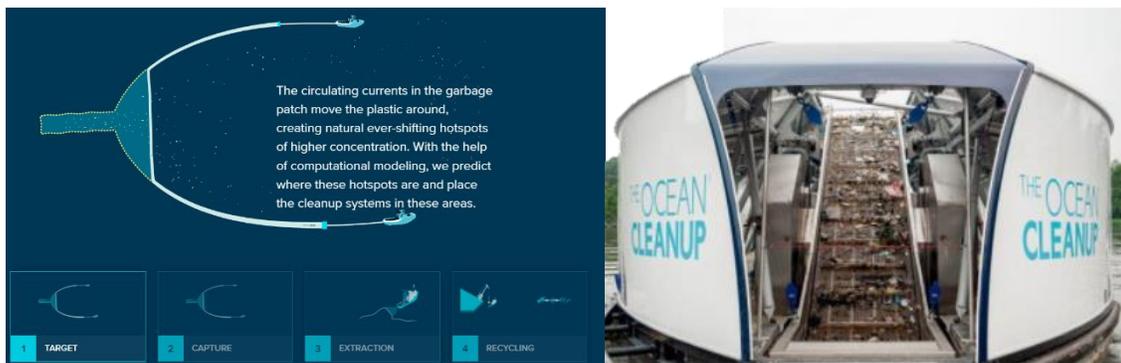
The Ocean Cleanup Project [8]

Isla de Basura en el Pacífico

La iniciativa para limpieza pasiva del mar por parte de la fundación *Sea Save*. Consiste en crear una costa artificial para captar y acumular la basura flotante para su posterior extracción por medio de una embarcación.

El proyecto ha logrado hacer la recolección de residuos a lo largo de 1,000 ríos logrando recolectar al menos el 80% de los plásticos flotantes.

La iniciativa consta, además de una segunda fase que consiste en crear barreras artificiales en las desembocaduras de los ríos y ahí ser recogida por una embarcación interceptora capaz de extraer hasta 50.000 kg de basura diarios en condiciones normales. El método de recolección es la aplicación de modelos computacionales para predecir el flujo del agua en ciertas zonas de acumulación natural para atrapar los residuos flotantes [8].



a)

b)



c)

Ilustración 5. a) Funcionamiento de The Ocean CleanUp. b) Mecanismo pasivo de recolección en el océano c) Dispositivo interceptor de basura en ríos

Recuperado de: <https://bit.ly/3reEBXA> el 21 de enero, 2022

Mr. Trashwheel [9]

Cuerpos de agua de Baltimore

Propuesta para recolección de basura impulsada por *Waterfront Partnership, Healthy Harbor* y *Clearwater Mills*. Utilizando una barrera de contención y el cauce natural del río se dirige la basura hacia un interceptor fijo. Es capaz de recolectar hasta 38,000 lbs de basura diarias y es alimentado por celdas solares. La basura recolectada se incinera para generar electricidad. La mayor cantidad de basura recolectada son botellas de PET, contenedores de unicef, colillas de cigarro y bolsas de plástico [9].



Ilustración 6. Dispositivo interceptor Mr. Trashwheel
Recuperado de: <http://bit.ly/2QquA5Q> el 22 de enero, 2022

Redes de recolección Bandalog

Sistema de captación en Australia

En la ciudad de Kwinana (Australia) se ha implementado una solución de bajo costo para reducir la descarga de residuos en los sistemas de drenaje [10].

Dicha solución es la instalación de redes en las salidas de los sistemas de drenaje haciendo que todos los residuos sólidos se acumulen lentamente. El objetivo de la propuesta es la remoción de residuos de gran tamaño que provienen de las zonas residenciales se mezclen con las aguas por captación pluvial y contaminen la reserva Henley. Entre 2018 y 2019 se hicieron once recolecciones por cada una de las redes instaladas. Tomando a dos hombres

por cada red realizar la recolección aproximadamente cuatro horas. Durante las recolecciones se lograron obtener 1,690 [kg] de residuos [11].

Una observación importante es que el hecho de colocar una red en cada una de las salidas de los drenajes permite que los residuos puedan ser posteriormente tratados en una planta de reciclaje para que lo que se ha recolectado en las redes pueda ser separado, reciclado y algunos casos se pueda utilizar como compostaje. Es una solución que puede aplicarse de forma local en zonas residenciales con apoyo del gobierno y tratarse desde la fuente de generación de residuos en vez de esperar a que se mezcle con el agua de captación y llegue a las presas. No obstante, lograr un programa de tal magnitud requeriría una gran inversión de dinero, operarios y centros de reciclaje.



*Ilustración 7. Redes de recolección en la ciudad de Kwinana
Recuperado de: <https://bit.ly/2MazBkp> el 01 de marzo, 2023*

Venta de maquinaria de limpieza [12]

En la actualidad ya existe una gran cantidad de empresas que han realizado trabajos de construcción de botes de limpieza de cuerpos de agua (océanos, ríos o lagos) debido a que la remoción de objetos fuera de estos es una tarea que se ha realizado a lo largo del tiempo

como la pesca o en el caso de China que se acostumbra a cosechar directamente de los cuerpos de agua (ilustración 8) han buscado formas de automatizar el proceso mediante el uso de maquinaria que pueda ejercer grandes cantidades de energía en cosechar una gran área con poco personal y tiempo.

El mercado de China e Inglaterra contempla una gran cantidad de maquinaria que está disponible para importar dichos sistemas de recolección.



*Ilustración 8. Agricultora cosechando castaña en la ciudad de Huai'an
Recuperado de: <https://bit.ly/41vt1rv> el 01 de marzo, 2023*

Además de las soluciones previamente mencionadas que tienen un éxito realizando las tareas para las que fueron planeadas, se realizó una investigación sobre las patentes para categorizar cada una de las invenciones existentes y así mismo, hallar investigaciones relacionadas al concepto a desarrollar y los diversos enfoques que se llevan a cabo.

2.3 Patentes

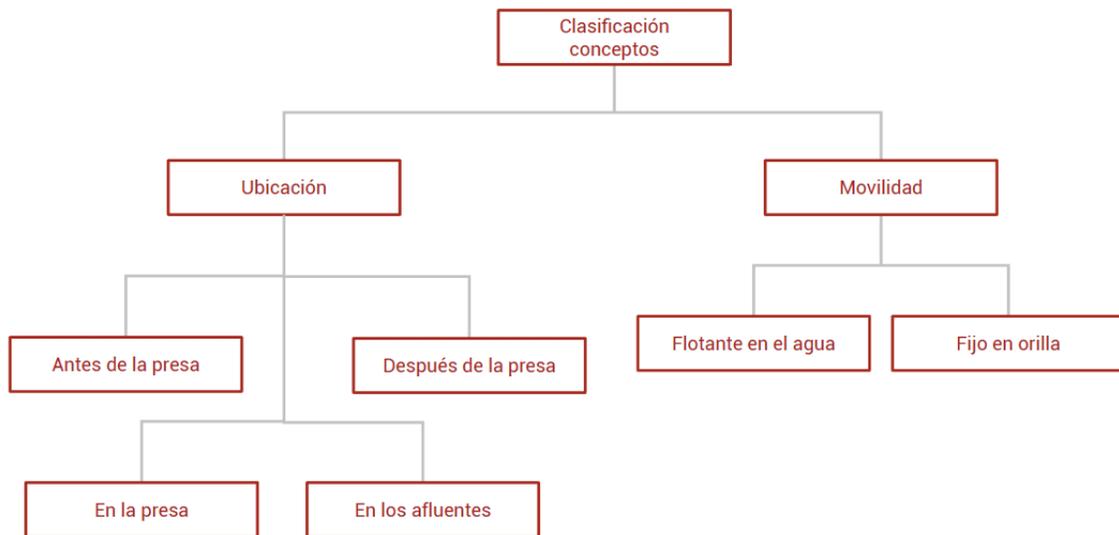
A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la búsqueda realizada en Google patents, Espacenet, Patentscope, Lens.org, Google y Youtube. Así mismo, se definió un periodo de búsqueda de 29 años (1990-2019) y posterior a una primera búsqueda. Se excluyeron patentes de origen chino, japonés, coreano y ruso, debido a las limitantes en los sistemas de traducción y lo limitado que se encuentra la información de los documentos provenientes de estos países.

Tabla 1. Clasificación de patentes encontradas según el sistema IPC (International Patent Classification)

Clasificación	Descripción	Número de patentes
E02B15	Inventos para limpiar o mantener limpia la superficie del agua a cielo abierto, pueden ser barcos o sistemas fijos en el agua	12
B63B35	Buques o barcos equipados para el envío de materiales, con adaptaciones especiales como ventilación, calefacción, refrigeración o con subestructuras flotantes como soportes de dragas o máquinas de desplazamiento del suelo	7
E04H4	Edificios o estructuras para fines particulares relacionadas con agua como: sistemas de separación de residuos, de tratamiento de agua o bombas que producen oleaje en sistemas de agua	2
B65F1	Inventos relacionadas con la colecta o eliminación de desechos domésticos o similares, estos pueden incluir la desinfección desintegración, transporte y separación de desperdicios, así como su transformación posterior	2
G01C21	Sistemas para la medición de distancias, niveles, rotaciones o relacionados con la navegación, fotometría o videogrametría	1
Otras	-	10

Los desarrollos encontrados y los casos de estudio se clasifican en 2 categorías clasificadas en función de la ubicación en la que se encuentran (antes de la presa, después de ella, en la presa o en los afluentes) y de si tienen movilidad o no (ilustración 9).

- Los desarrollos móviles tipo lancha o bote para recoger basura superficial en sistemas a cielo abierto funcionan con gasolina, energía fotovoltaica o eléctrica a partir de baterías y, en su mayoría, son implementados en aguas de al menos un metro de profundidad o bien en aguas oceánicas.
- Los desarrollos fijos que funcionan a partir del filtrado del agua mediante algún sistema de bombeo o solo con la corriente natural del agua.



*Ilustración 9. Diagrama de la clasificación de conceptos
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

De estos hallazgos de productos y patentes, se puede observar que es un problema mundial que se ha venido incrementando. Muchas soluciones han sido implementadas actualmente de forma satisfactoria mediante diferentes mecanismos. En el diagrama de clasificación (ilustración 9) se pueden catalogar todas las tecnologías halladas. Una vez teniendo el conocimiento de la situación del mercado y las potenciales ideas que se han patentado para situaciones similares, así como el contexto en el que se encuentra la CDMX, pudimos realizar diversas lluvias de ideas para generar propuestas.

3. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

3.1 Objetivo de la tesis

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo conceptual de una estructura desplegable de pasillos de circulación para un sistema funcional transportable que recolecte basura flotante en cuerpos de agua de la Ciudad de México.

Para realizar de manera exitosa dicho objetivo se plantea utilizar una metodología de diseño mecánico que pueda satisfacer las necesidades de los usuarios, por lo que se plantean los siguientes objetivos particulares:

- Recolectar necesidades y características de los usuarios para obtener los atributos de los pasillos
- Desarrollar conceptos básicos que muestren el funcionamiento base del mecanismo y crear matrices de selección
- Realizar modelos en programas de diseño asistido por computadora para obtener características físicas del modelo
- Crear prototipos de prueba para conocer el funcionamiento básico, las dimensiones y la interacción de cada mecanismo
- Realizar ingeniería de detalle para el ensamble de los pasillos
- Reportar el diseño conceptual del sistema “Todo en Uno”

3.2 Alcances

El alcance de la tesis es la descripción del proceso de desarrollo conceptual de un mecanismo de propósito especial. El proceso de diseño contempla la generación de conceptos, la selección y evolución conceptuales, el diseño final y su validación mediante prototipos de funcionalidad limitada.

De esta manera el alcance de la tesis se centrará en:

- Descripción del proyecto (contexto y empresa con la que se colaboró)
- Descripción de la evolución del proyecto
- Descripción del desarrollo del subsistema de “Pasillos de circulación”
- Descripción del desarrollo del subsistema de “Rampa de trabajo/mantenimiento”

3.3 Proceso

El proceso realizado para lograr el objetivo principal de la tesis se basó en las técnicas de diseño centrado en el usuario con las modificaciones pertinentes para desarrollar la tecnología requerida. Al inicio del proyecto el equipo de desarrollo se enfocó en detectar los usuarios reales que iba a tener el proyecto, los “dolores” ocasionados por realizar las actividades de la forma en que se realizan hoy en día, cómo es un día a día de un usuario final, qué tipo de usuarios están definidos, cuántos son y los horarios de trabajo. Con ello se realiza un mapa de empatía y de necesidades.

En la ilustración 10 se muestra el “Proceso de desarrollo de sistemas complejos” elaborado por Ulrich y Eppinger (2013) [14]. Este proceso se compagina directamente con el sistema “Todo en Uno”, ya que para realizar el diseño del sistema se tuvo que seccionar en subsistemas que requieren ser probados por separado para comprender los fenómenos que ocurren durante el funcionamiento y resolverlos de forma iterativa antes de integrarlos como un sistema unificado. Es por ello que, en un enfoque preliminar del desarrollo de concepto, se realizó una identificación de necesidades de los usuarios y la empresa encargada de realizar la limpieza de las presas (SACMEX) buscando entender cuántos subsistemas iba a requerir el producto, cuántas especificaciones se buscaban suplir de forma efectiva, cuáles se iban a descartar y cómo iban a interactuar los usuarios con todos los subsistemas.

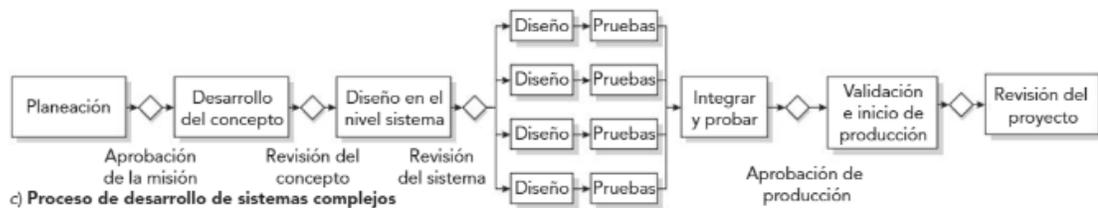


Ilustración 10. Fases genéricas de un desarrollo de producto.
Recuperada de: Desarrollo de productos, Ulrich y Eppinger [14]

En el siguiente capítulo se mostrará la planeación previa (generación inicial de conceptos y selección del concepto) al inicio del proceso de desarrollo, el cual tendrá un capítulo enfocado a cada subsistema.

La planeación previa se generó en conjunto con SACMEX, en donde se realizó una tabla de especificaciones basadas en necesidades tanto explícitas como percibidas por el equipo de diseño. Como parte de dicha planeación se utilizaron herramientas que sirven para empatizar

[15] con el usuario, entendiendo quiénes son, qué realizan y el contexto en el que se encuentran utilizando conceptos derivados del *design thinking* como mapas de ruta y de empatía.

Tomando como base las generalidades, características, especificaciones y dimensiones generales del producto que se desea brindar, se comienza el desarrollo del diseño, en el que se busca delimitar el alcance del proyecto, los subsistemas que va a contener (definiendo la función de cada uno de ellos, ya sea para una tarea principal o una secundaria) y hasta qué nivel de detalle se planea llevar a cabo cada uno.

Una vez realizada la segmentación del sistema en cada uno de los subsistemas y qué funciones realizará, se les va dando forma y cuerpo progresivamente, “poblando” cada uno con dimensiones generales, tipo de materiales, geometrías, mecanismos, restricciones e interacciones con los demás subsistemas para así ir dando cabida al tipo de proceso de manufactura que se realizará, en dónde se puede conseguir, y encontrar la tecnología adecuada para disminuir tiempos de diseño y fabricación. Es importante mencionar una vez más la importancia que tiene la prueba funcional de cada concepto desde su nacimiento para asegurar una correcta integración y la disminución de riesgo al momento de realizar un desarrollo conceptual.

3.4 Equipo de trabajo

Este trabajo se desarrolló por la Facultad de Ingeniería, UNAM: el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica. El equipo enfocado en el desarrollo descrito en este trabajo se encargó de los subsistemas “estructurales” del sistema. Es decir, todos los mecanismos que soportan cargas: La estructura que contiene todos los subsistemas, el sistema de elevación, los pasillos plegables, las rampas de guardado y trabajo y el acomodamiento espacial de cada uno de los subsistemas. Las funciones del equipo se muestran a continuación:

- Vicente Borja Ramírez
 - Líder del equipo. Encargado de brindar apoyo y asesoría en cada etapa del desarrollo, así como dar pauta sobre los avances del proyecto.

- Alejandra Carmona Insunza
 - Diseñadora Industrial líder. Encargada de organizar las actividades del equipo, aportar ideas a nivel conceptual y dar detalles a nivel estético sobre todo el sistema.
- Laura Elena Castañeda Dávila
 - Diseñadora Industrial. Encargada del desarrollo conceptual en las primeras fases, aportación de ideas a nivel conceptual y validación con prototipos no funcionales.
- Manuel Herrera López
 - Diseñador mecánico. Encargado del desarrollo conceptual del subsistema de pasillos plegables, rampa de guardado y sistema de elevación. Aportación de ideas a nivel conceptual, desarrollo conceptual, prototipos de funcionalidad limitada para validación y detalles de ingeniería.
- Ulises Naranjo Vázquez
 - Diseñador mecánico. Encargado del desarrollo conceptual del subsistema de pasillos plegables y rampa de trabajo. Aportación de ideas a nivel conceptual, desarrollo conceptual, prototipos de funcionalidad limitada para validación y detalles de ingeniería.

4. PROYECTO SACMEX-UNAM

4.1 SACMEX

4.1.1 Presas

Como se mencionó anteriormente, SACMEX cuenta con 17 presas enlistadas en el capítulo 2, donde se muestra una inspección visual sobre el estado de cuatro presas concretas. En el ANEXO A. Características de presas de estudio en la Ciudad de México. Se muestran las presas analizadas en el estudio, la ubicación, la situación registrada en cuanto a la cantidad de azolve en cada una de ellas y el tipo de afluente para analizar las diversas opciones de solución que existen.

Debido a la variabilidad de la construcción en cada una de las presas en las que se realizó el trabajo de extracción de residuos, como parte de un requerimiento por parte del UNAM se definió que se requería al menos una plataforma que de acceso a un transporte terrestre en el cual se pueda trabajar por encima del nivel del agua y que tenga el espacio suficiente para retirar los residuos y colocarlos para su respectivo tratamiento como la plancha de secado de la que dispone la presa de Tacubaya. Se observó que tiene una plancha de secado que permite a los operarios colocar todo el material que se saca de la presa para retirar la humedad y cumple con los requisitos dimensionales para un posible mecanismo de extracción. En las ilustraciones 5 y 6 se muestran dos representaciones de las presas de SACMEX, la primera ilustración muestra las cuatro características comunes que tienen las presas a las que se les ha realizado una visita de campo:

1. Corona: Parte superior de la estructura de la represa.
2. Cortina: Es la estructura en el conjunto, también llamada represa.
3. Compuerta o rejilla: Parte que se encarga de regular el caudal de agua que atraviesa la presa.
4. Vaso de agua: Es la zona de mayor concentración de basura y sedimento. Es la zona en la que SACMEX realiza el trabajo de limpieza al bajar el nivel del agua.

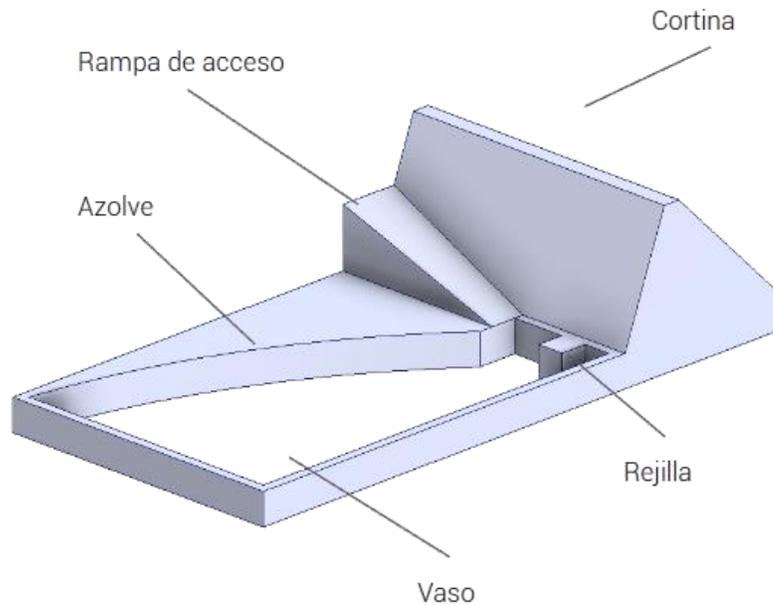


Ilustración 11. Modelo sólido de la presa de Tacubaya sin plancha de secado
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

Mientras en la ilustración 12 se muestra un diagrama de la presa de Tacubaya con la plataforma de secado mencionada anteriormente la cual además de servir como una plataforma de apoyo, logra retener residuos flotantes en toda la periferia.

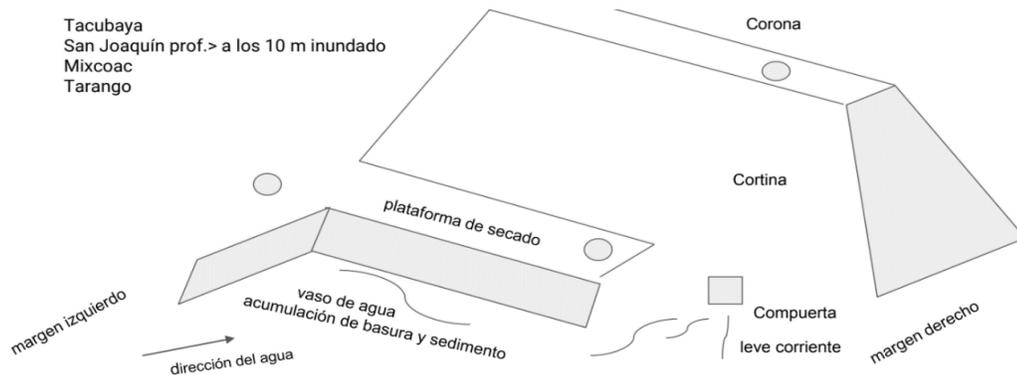


Ilustración 12. Geometría observada en algunas de las presas visitadas en temporada de secas, el punto de apoyo es la plataforma de secado
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

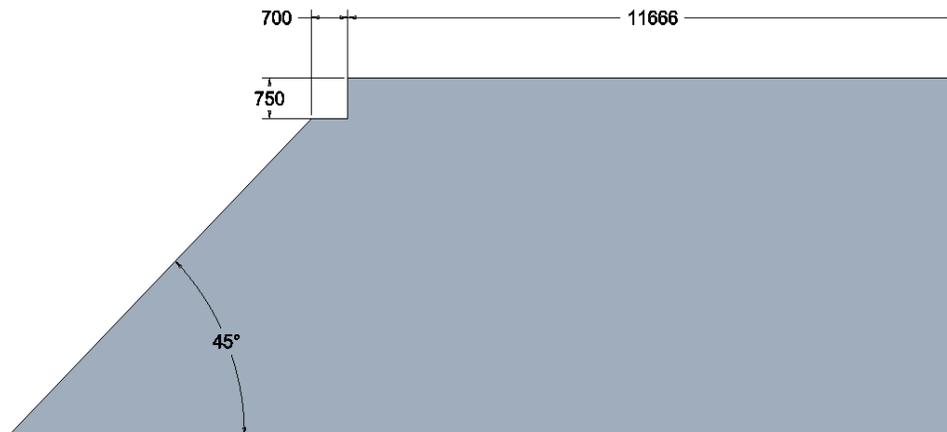
La ilustración 13 consta de una fotografía de la plancha de secado de la presa de Tacubaya. Una vez que se realiza el análisis morfológico de las presas y con las consecuentes visitas, se obtuvieron cotas de planos generales para el cálculo de las dimensiones generales y a partir

de los datos recabados se realizó un modelo sólido con ayuda de un software de diseño. Estas características dimensionales se utilizaron para definir algunas especificaciones del “Todo en Uno”.



Ilustración 13. Camión de SACMEX en plancha de secado de la presa Tacubaya

En la ilustración 14 se muestran longitudes características obtenidas de las visitas a la presa de Tacubaya en conjunto con planos proporcionados por la empresa. Las medidas que conllevan alguna clase de restricción sobre el sistema a desarrollar son: el espacio requerido para descansar el camión, la altura del desnivel de la plancha, la distancia de voladizo que se



*Ilustración 14. Dimensiones generales de la plancha de secado de la presa Tacubaya
Elaboración personal a partir de visitas de campo*

requiere para alcanzar la presa, el ángulo de inclinación que tiene la plancha al tocar el agua y el nivel de agua que se puede tener.

4.1.2. Limpieza de presas

Una de las funciones de SACMEX es la sanitización y mantenimiento de las presas en la ciudad. En la Ciudad de México se contempla una meta de limpieza de 4,541 km de redes trabajadas, de las cuales se tiene ejecutado el 52% que representa 2,361 km y los trabajos de desazolve realizados para nueve presas, cinco lagunas y cinco ríos representan un total de 697,393 m³ de azolve, de los cuales el 75.7% [16].

El tiempo en el que se realiza la limpieza de azolve comúnmente es de febrero a mayo (temporada seca- caliente), logrando remover máximo 20,000 m³ de azolve, cuando esta cantidad aumenta el tiempo que toma realizar la limpieza es mayor a cuatro meses.

El proceso para llevar a cabo la limpieza (ilustración 15) se comienza deshidratando la presa un mes antes de la extracción de azolve. Durante este proceso de resecar, se drena y se desvía el agua al cerrar las compuertas. Posteriormente con la ayuda de un topógrafo de SACMEX, se realizan secciones de 20 m² en la presa.



Ilustración 15. Proceso de limpieza de la presa por método de deshidratación
Ilustración recuperada de: <https://bit.ly/429EH3> el 29 de mayo, 2023.

Después de seccionar la presa, se selecciona el punto más bajo del cauce para tener mejor y fácil acceso al cuerpo de agua. Una vez ubicado, se hace uso de un material con una alta absorción denominado tepetate¹ para trazar un camino en el que puedan pasar camiones y maquinaria pesada que permitan hacer remoción del azolve, residuos flotantes, etc.

En la ilustración 16 se muestra la presa de San Lucas durante el proceso de saneamiento [17], en ella se puede observar la trayectoria que se genera con el tepetate, un camión de carga y una máquina de excavación hidráulica realizando la remoción de azolve y demás residuos. Es importante resaltar que en la ilustración se puede esclarecer el tamaño real de una presa y la cantidad de material que se debe utilizar para realizar la trayectoria de tepetate, así como la cantidad de basura que se llega a remover por cada transporte.



*Ilustración 16. Presa San Lucas durante su proceso de saneamiento en 2019
Recuperado de: <https://bit.ly/3ZisCGN> el 23 de febrero, 2023*

Como se menciona en párrafos anteriores, el proceso de saneamiento puede llevarse a cabo durante casi 4 meses, utilizando aproximadamente 40 camiones de 16, 19, 28, 34, y 40 metros

¹ El tepetate es un tipo de suelo volcánico que se encuentra en el centro de México, utilizado usualmente en el área de la construcción por sus propiedades de absorción y aislación [18].

que durante todo el día se realicen al menos tres viajes haciendo un total de 120 viajes al día según información recabada por SACMEX [16].

Aunque la principal función de las presas es la contención y regulación de agua pluvial, el aumento de la mancha urbana y los establecimientos irregulares han ocasionado que en estos cuerpos se descarguen aguas residuales de origen urbano proveniente de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana [16] elevando los costos de mantenimiento y dificultando toda la operación necesaria para llevar a cabo la limpieza (materia prima, personal, tiempo, etc). El gobierno de la ciudad de México ha llevado a cabo campañas de concienciación y leyes de sustentabilidad para disminuir la cantidad y tipo de residuos que se desechan de forma irresponsable en todos los cuerpos de agua de la ciudad (como “El resto es... ¡Disfrutar!” [19]), no obstante, sigue siendo un problema el cual aún no tiene una solución definitiva.

Un factor extra a la complejidad de la operación es la precipitación debido a la variabilidad en los acontecimientos de aumento significativo de flujo que circula en los caudales; lo que puede provocar riesgo en las presas y sus alrededores.



Ilustración 17. Desemboque de la presa C de Becerra

Algunas ocasiones al rebasar los 12 m del vaso regulador permitido de agua se puede llegar a desbordar la barra de contención, sumándole a esto los residuos sólidos urbanos que

desembocan llega a ser perjudicial para la sociedad. La formación de sedimentos es un problema a la hora del mantenimiento de las presas debido a que condicionan su funcionamiento hidráulico.

La acumulación excesiva de residuos sólidos conlleva no solo a un problema sanitario en toda la región en la que se encuentra y el aumento de costo de mantenimiento, sino que a su vez provoca que las rejillas o compuertas que dan acceso al resto de presas se vean obstaculizados (ilustración 17) las cuales en función de la cantidad de residuos puede requerir que se realicen tareas de limpieza más complicadas y con materiales más peligrosos.

4.1.3 Mapa de actores e interés

El mapa de actores es una herramienta del *design thinking* que permite identificar las personas, entidades y administraciones que intervienen dentro de un sistema. A su vez, para realizar el mapa, se requiere tener un contexto de cómo es que se relaciona cada una de las partes. En el caso del proyecto, se realizó un mapa de actores e interés para establecer un orden claro en las necesidades relativas al usuario y las necesidades identificadas por las entidades que se encargan del mismo.

El mapa de actores e interés se realizó con información que se fue recabando con el pasar de las visitas de campo que realizaba el equipo.

1. **Jefatura de Gobierno.** Generar un caso de éxito de gestión de residuos y manejo de agua.
2. **Alcaldías/ Gobiernos Municipales.** Atender las problemáticas de residuos y manejo de agua.
3. **Secretaría de Obras y Servicios.** La gestión de los residuos sólidos urbanos.
4. **Sectei.** Un proyecto exitoso de desarrollo y transferencia tecnológica.
5. **Estación de transferencia de residuos sólidos urbanos.** Busca que los residuos lleguen clasificados y en condiciones de ser procesados.
6. **SACMEX.** Un sistema que ayude a la recolección de residuos en presas.
7. **Cuadrilla de trabajo.** Busca que el sistema ayude a facilitar su trabajo.
8. **Vecinos zona popular (Becerras, Tacubaya).** Buscan la seguridad de la recolección de los residuos y evitar el riesgo de deslaves.

9. **Vecinos zonas exclusivas** (Anzaldo, San Joaquín). Buscan un lugar que no emita olores desagradables.
10. **UNAM**. Diseñar una solución que puede ser adoptada para el manejo de residuos y el manejo del agua.
11. **Medios de comunicación**. Difundir la información sobre temas de interés como el manejo de los residuos y el agua.

4.1.4 Análisis cualitativo a cuadrillas

Para realizar un primer acercamiento a la situación de SACMEX en la actualidad y todo el entorno contextual en el que se encuentra sumergido, se realizaron diversas actividades para profundizar a detalle en diversos aspectos que pueden mejorar la comprensión de la situación.

Con base en el mapa de actores desarrollado anteriormente, se observa que el actor directo que estará en contacto con el sistema es la cuadrilla de trabajo. El sistema busca ayudar a la recolección que ellos realizan en las presas, por lo que el enfoque de las necesidades estará enfocado en dos vertientes: intentar producir una experiencia mejor en el proceso de saneamiento de presas con respecto al actual e intentar cumplir con los tiempos actuales, optimizando la cantidad de residuos recolectados.

En primera instancia se realizaron entrevistas a los usuarios para conocer la edad, género y tiempo trabajando en la presa para obtener rasgos característicos de los usuarios. A su vez se realizaron preguntas sobre las actividades en las que se encuentran involucrados, el tipo de capacitación que requieren, la maquinaria que utilizan (en caso de utilizar), los procesos que cada usuario lleva a cabo para realizar su trabajo específico y los problemas a los que se pueden enfrentar en sus actividades cotidianas. Aunadas a las preguntas anteriores, también se realizaron preguntas abiertas cualitativas sobre la forma en que se identifica con su trabajo y la satisfacción que obtiene con cada uno de los servicios que se le brindan en su trabajo.

Se obtuvieron tres tipos de resultados²:

- I. Ficha de persona: describe características del entrevistado y de sus actividades, los procesos que realiza y los problemas que enfrenta.

² Para mayor detalle de los resultados obtenidos revisar los resultados obtenidos e información adicional, visitar el reporte final emitido por la UNAM y SECTEI [13].

II. Mapa de empatía: el entrevistado habla de su sentir, pensar, motivaciones, problemas, además de qué ve y qué escucha en torno a la presa.

III. Gráfica de satisfacción: el usuario califica cualitativamente las actividades y tareas que se realizan en el día a día para conocer la perspectiva de los usuarios y empatizar con ellos.

Como se muestra en la ilustración 18, la ficha de persona y el análisis de cuadrilla nos muestra que el equipo se compone de un promedio de cinco personas: un chofer, un supervisor y tres operarios, los cuales se encargan de realizar las tareas de limpieza. Las acciones principales de la cuadrilla de forma física son arrastrar, cargar/palear y acumular con el fin de realizar la limpieza. A su vez, se comenta que el rango de edad en el que se encuentran es de 25 a 50 años y tienen una jornada laboral de 8 horas y una de descanso.

De las 8 horas que se encuentran laborando, una se dedica completamente a la puesta y remoción de equipo de seguridad y una hora más para los traslados. De la misma manera se realizó una breve investigación para conocer el tiempo de traslado entre cada presa. En la ilustración 18 se muestra un esquema de los descubrimientos descritos previamente, es importante resaltar que esta información se utiliza más adelante para definir especificaciones del producto.

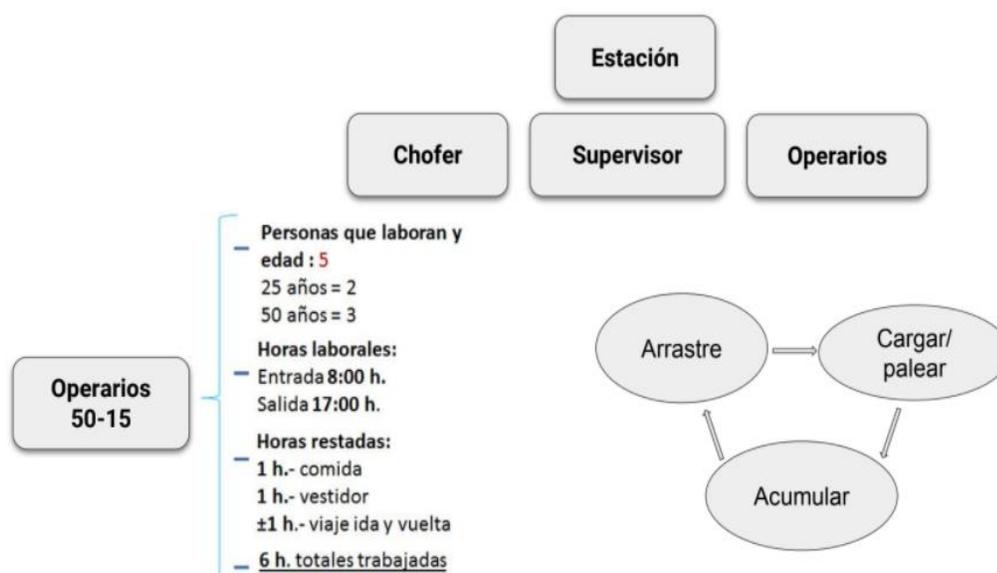


Ilustración 18. Composición de cuadrillas de limpieza de SACMEX
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

4.2 Sistema “Todo en Uno”

4.2.1 Necesidades y especificaciones

A partir de los datos previamente recabados, se comenzaron las primeras iteraciones del desarrollo del diseño del sistema “Todo en Uno”. Los primeros pasos realizados fueron entrevistas con los usuarios y juntas con SACMEX para conocer las características específicas que buscaban en el producto. Del análisis cualitativo, las juntas con la organización y las necesidades percibidas se obtuvo una tabla de necesidades mostrada a continuación. La enlista un conjunto de necesidades propuestas por los ingenieros de SACMEX, SECTEI y CDMIT.

Tabla 2. Tabla de necesidades elaborada por SACMEX, SECTEI y CDMIT

No.	Necesidad
1	El sistema funciona sobre el agua
2	Debe recolectar de 300 kg a 500 kg de residuos sólidos en cuerpos de agua
3	Debe tener una autonomía desde 40 a 60 minutos
4	Debe llevar a dos operadores (200 Kg)
5	Debe ser operado por dos elementos de la cuadrilla
6	Debe ser transportable
7	Debe tener manual de operación
8	Debe tener manual de mantenimiento
9	Se debe acoplar a la infraestructura de SACMEX
10	Debe contar con un sistema de telemetría
11	Debe ser de lavado sencillo
12	Los residuos extraídos deben ponerse a secar
13	Los residuos deben clasificarse de acuerdo con la ley de residuos sólidos de la CDMX
14	Debe moverse a través del lodo
17	Los residuos extraídos deben colocarse en una plataforma para su clasificación y secado
18	Debe soportar las condiciones químicas del agua
19	Debe ser resistente a objetos punzocortantes presentes en los residuos recolectados
20	Que sea de fácil mantenimiento
21	Debe superar la fuerza de la corriente del agua
22	Debe detener su operación en caso de un escenario especial
23	No es necesario que opere cuando está lloviendo
24	Será operado por personal actual de SACMEX
25	Podrá operar en diversas presas de la Cuenca de la CDMX
26	Tendrá una larga vida útil

27	Tendrá partes y componentes fáciles de conseguir
28	Su costo será adecuado
29	Contará con sistemas de seguridad para operarios y externos
30	Tendrá un bajo consumo de energía
31	Preferentemente usará la energía solar como fuente de energía
32	Tendrá bajos impactos relacionados con la sustentabilidad
33	Podrá operar en cualquier estación del año
34	Alguno de sus sistema o partes será susceptible de ser patentado
35	Debe recoger residuos de menor densidad que la del agua

Como parte del desarrollo, un diseño requiere un espacio y capacidad delimitado, acotado adecuadamente con las necesidades que se planean cubrir. Es por ello que, después de una identificación de necesidades se obtiene una consecuente tabla de especificaciones. Esta tabla ayuda a entender los alcances que cubrirá el sistema, así como comenzar a planificar ideas y buscar tecnologías análogas.

Tabla 3. Tabla de especificaciones

Tabla de especificaciones						
No.	Número de requerimiento	Métrica	Valor ideal	Valor mínimo	Valor máximo	Comentario
1	1,15	Profundidad mínima de operación	1 m	0.5 m		
2	2, 3	Masa de basura flotante extraída por el sistema por hora		300 kg	500 kg	
3	2, 3, 32	Densidad del material recolectado		0.2 g/m3	0.6 g/m3	Considerando densidad de madera y PET
4	4	Periodo de trabajo continuo		8 hrs		
5	4	Potencia consumida	kW/h	kW/h	kW/h	Por definir
6	5, 6, 10	Número de personas para operación			8 personas	
7	7, 10	Número de vehículos de apoyo		1 vehículo		
8	8	Número de manuales de operación		1 manual		
9	9	Número de manuales de mantenimiento		1 manual		

10	10	Número de elementos de infraestructura adicional para funcionar		1 elemento de infraestructura		Rampas, pasarelas, etc.
11	14	Dimensiones del dispositivo en el transporte			3.5 m. x 2.2 m x 4.1 m	
12	15	pH de operación del dispositivo		4	10	
13		Número de operaciones de mantenimiento por año			2 operaciones	
14		Tiempo de despliegue		15 min	30 min	
14		Personas requeridas para el despliegue		1 persona	Toda la cuadrilla	
14		Peso de cada módulo de pasillo		50 kg	100 kg	
14		Tiempo de limpieza		10 min	20 min	

4.2.2 Desarrollo Conceptual “Todo en Uno”

En este apartado se muestran los hallazgos obtenidos con toda la investigación reportada y el proceso que se llevó a cabo para dar forma al desarrollo del concepto global.

Debido a la complejidad del proceso de limpieza de presas descrito anteriormente, el objetivo principal del mecanismo a desarrollar es la de facilitar el proceso que se realiza actualmente de forma manual por los trabajadores de SACMEX y hacerlo semiautomático para que el usuario tenga el menor contacto físico con los residuos y el agua de la presa en general, mejorando el bienestar de los operarios, la seguridad y a su vez, optimizando los procesos reduciendo el tiempo de recolección con la misma cantidad de personas en la cuadrilla.

Para desarrollar el concepto de forma global se hizo uso de un diagrama funcional para entender las tareas que se buscan llevar a cabo y las posibles divisiones en subsistemas que se pueden tener. Un diagrama de bloque funcional presenta las funciones que debe desempeñar un producto o sistema, expresadas con un verbo y un sustantivo o complemento. También puede incluir los flujos de materiales, energía e información. Estos diagramas presentan la estructura funcional de un producto o sistema independientemente de los medios o elementos que desempeña cada función. De esta forma, se pueden plantear distintos medios para desempeñar la misma función, lo que deriva en distintos conceptos de solución.

Por otro lado, las funciones generales que se obtengan pueden ser posteriormente divididas en funciones particulares o subfunciones dependiendo del nivel de detalle que se requiera o desee.

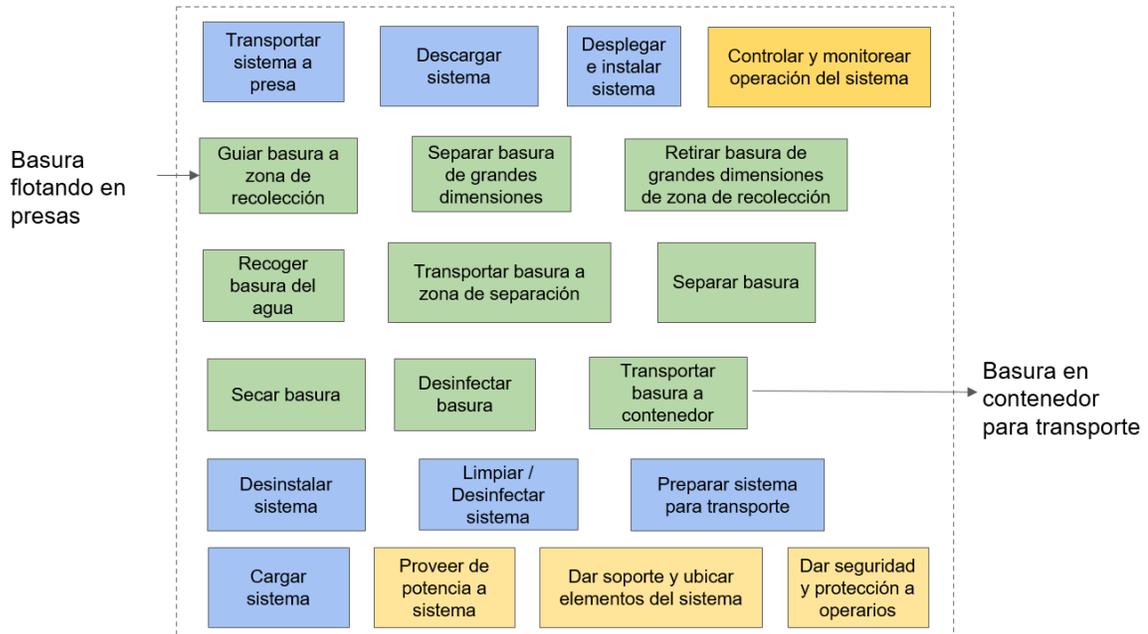


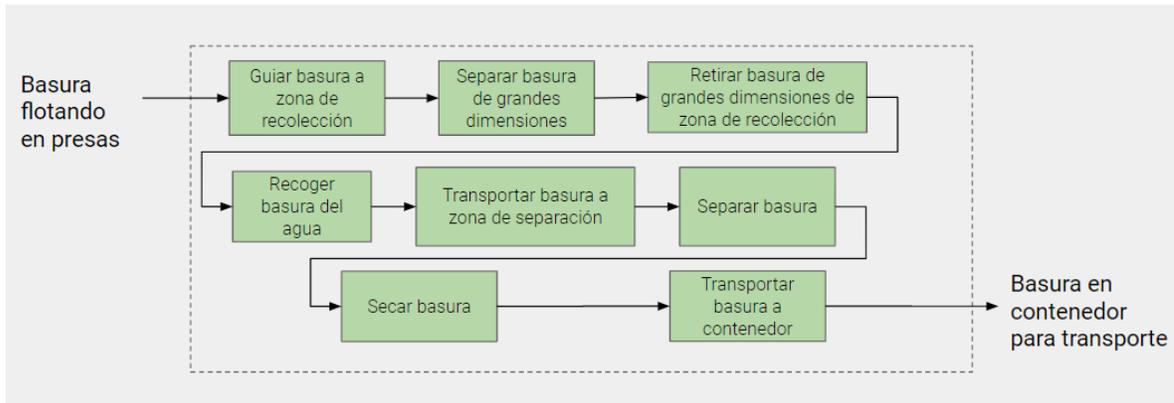
Ilustración 19. Diagrama de bloques funcionales
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

En este caso particular, el concepto base que se obtiene de SACMEX es la descripción del proceso de limpieza que se tiene actualmente, siendo la tarea del Centro de Diseño el de identificar cada una de las funciones que el producto debe realizar como parte de sus tareas principales. En las ilustraciones 19,20 y 21 se presentan bloques distintos detalles de las funciones a desempeñar. En la ilustración 19 se utiliza un código de colores para indicar las funciones esenciales del concepto (verde), las relacionadas con la instalación y transporte (azul) y las de control, potencia y soporte (amarillo).

A continuación, se enlistan las tareas principales identificadas junto a una ilustración con las posibles tareas fundamentales con las que debe cumplir el mecanismo de propósito especial:

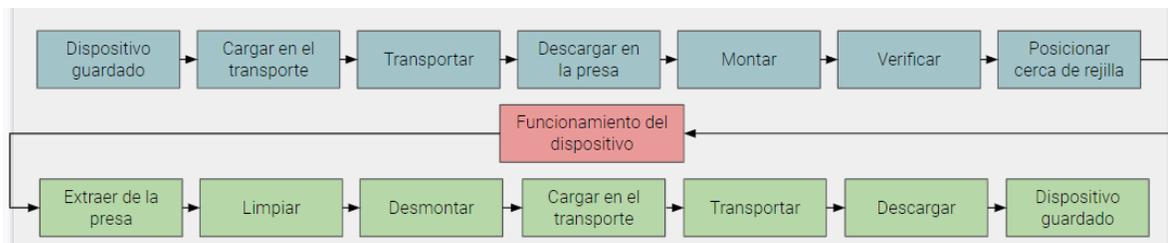
- Guiar basura a zona de recolección
- Separar basura de grandes dimensiones
- Retirar basura de grandes dimensiones de zona de recolección
- Recoger basura del agua

- Transportar basura a zona de separación
- Separar basura
- Secar basura
- Transportar basura a contenedor



*Ilustración 20. Bloque funcional de la limpieza de presas
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

Por lo que el dispositivo a diseñar debe realizar esas tareas y a su vez, cumplir con la tabla de especificaciones obtenida, haciendo que lo que la propuesta de valor sea la extracción de la basura con un dispositivo que pueda trasportar el sistema a cada una de las presas. La ilustración 21 muestra un diagrama de las actividades identificadas como mínimas deseables para lograr el desarrollo conceptual.



*Ilustración 21. Actividades deseables en el dispositivo a desarrollar.
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

Cabe destacar que parte importante del desarrollo del concepto es obtener la versatilidad de cubrir las diversas presas encargadas de SACMEX, así como la posibilidad de permitir que los operarios puedan realizar tareas de supervisión y separación de los residuos sin la necesidad de sumergir parte de su cuerpo en ninguna parte de la operación. Así mismo, como se había mencionado anteriormente, la presa base con la que se realiza el análisis de necesidades para el funcionamiento del dispositivo es que tenga una rampa de acceso, una

estructura de soporte fijo y un sistema de montaje y carga para tener una movilidad eficaz en cada uno de los puntos de extracción de residuos.

Una vez realizado el análisis del medio donde se realizará la operación de la limpieza, el tipo de cuerpo de agua que se utilizará (presa), la conexión entre cada cuerpo de agua y algunos casos de éxito que existen en el mercado se comienza a proponer opciones de solución para obtener un concepto preliminar del producto.

Prosiguiendo con la metodología de diseño base, se realizó un análisis de la situación actual en la que se encuentra la tecnología de recolectores y se realizaron diversas lluvias de ideas durante distintas sesiones en las que participó todo el equipo de trabajo (ilustración 22).

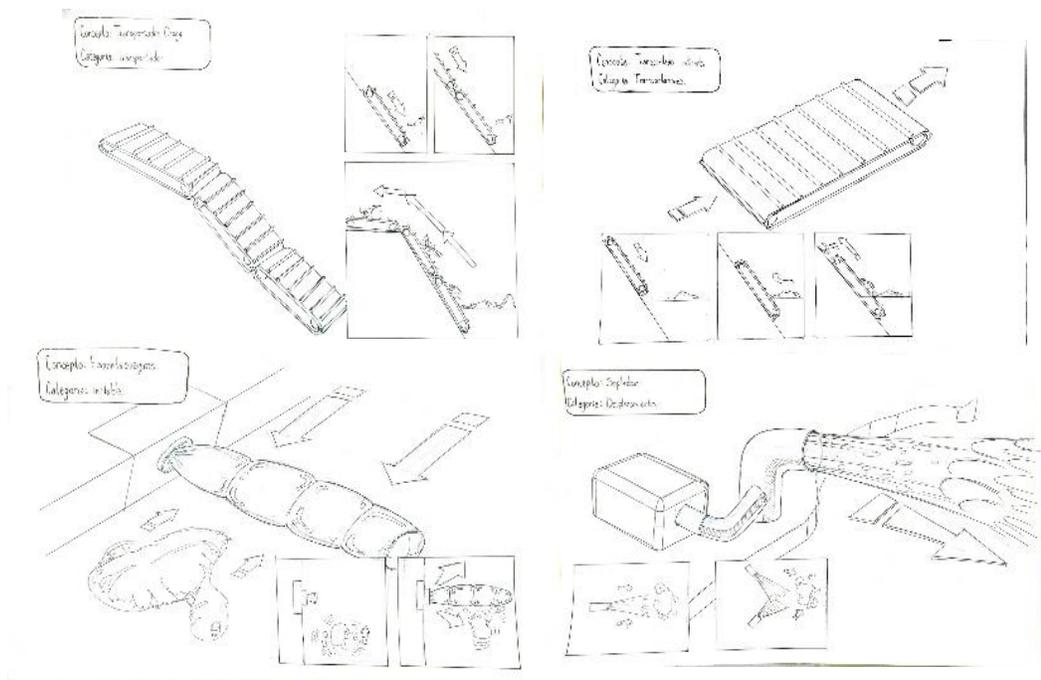


Ilustración 22. Ejemplos de opciones en lluvia de ideas en la lluvia de ideas para formas de extracción de residuos
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

Parte importante de la metodología fue la importancia de la lluvia de ideas en el desarrollo de un concepto, siendo cualquier idea válida, incluso las más disruptivas. Esto es una consideración para resaltar debido a que después de realizar la lluvia de ideas se debe hacer un filtrado considerando ponderaciones basadas en las necesidades que se buscan cubrir y los requerimientos del usuario.

Tomando como base la información sobre la tecnología que se recolectó. Se definió que la tarea primordial a realizar es definir el tipo de extracción y la herramienta principal que se

requiere. Utilizando el diagrama de la ilustración 9 se seleccionó como ubicación del sistema la presa y la movilidad se fijó en la orilla de la presa. En la ilustración 22 se aprecian algunas de las opciones a las que se llegaron con las sesiones de lluvia de ideas. Para la parte de la tecnología de extracción, se definieron cuatro categorías:

- Transportadores
- Sistemas de desplazamiento
- Tubos
- Redes

La Tabla 4. Selección de conceptos de extracción que se muestra a continuación es denominada Matriz de Pugh y es usualmente utilizada en procesos de desarrollo de productos ya que permite evaluar las opciones solución con criterios “cuantificables” y para seleccionar el que más se adecúe a lo que busca obtener el equipo de desarrollo.

Tabla 4. Selección de conceptos de extracción

Categoría	Alternativa	Evaluación	Criterios de evaluación												Suma		
			Gasto volumétrico	Confiable	Portabilidad	Costo	Costo de operación	Mantenimiento	Complejidad operacional	Robusto	Simplicidad	Intercambiabilidad	Ecológico	Larga vida útil		Sustentable	
Transportadores	Inclinado	Ok	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Transportadores	Oruga	Ok	1	1	1					1	1		1		1	1	8
Transportadores	Vertical	Combinar	1	1	1			1	1	1	1	1	1		1	1	10
Transportadores	Rueda de la fortuna	Combinar	1	1			1	1	1	1	1	1		1	1		10
Transportadores	Canastilla	No								1	1				1	1	4
Desplazamiento	Soplador	Combinar								1		1				1	3
Desplazamiento	Bomba	No								1		1				1	3
Infable	Espantasuegras	Combinar	1	1	1			1	1	1	1	1				1	9
Infable	Sombrilla invertida	Ok	1	1	1			1	1	1	1	1				1	9
Tubos	Tubo oruga	Combinar	1	1				1	1		1	1		1	1		8
Tubos	Tubo griper	No	1	1						1		1		1	1		6
Red	Pescador	No	1		1	1					1	1		1	1		7
Red	Afluente	No	1	1	1		1	1	1		1						7

En la matriz se observa que los transportadores toman una ventaja considerable con respecto a los demás sistemas de extracción debido a bajo costo de operación, mantenimiento, costo general y vida útil. Por lo que el concepto elegido para comenzar la iteración de conceptos es la extracción con cangilones en una posición inclinada.

No obstante, a todas las conclusiones e ideas a las que se ha llegado, es importante resaltar las necesidades que son requisito y suponen restricciones: “El sistema debe ser transportable” y “El sistema debe acoplarse a diversas presas de la Cuenca de la Ciudad de México”. Es decir, que el sistema de extracción (en este caso el de extractor con cangilones) debe tener un mecanismo asociado que permita cumplir con dichas características.

De esta forma el concepto se concretiza a la propuesta de valor: *la extracción inclinada con un transportador que pueda ser transportable y se pueda acoplar a diversas presas.*

No obstante, para aterrizar el concepto de la propuesta de valor se requieren sistemas secundarios que ayuden a realizar la tarea principal. Tecnología similar se ha encontrado en la búsqueda de casos de estudio, por lo que el equipo de desarrollo acordó que el sistema de extracción debe incluir un depósito, un compactador, un transportador/separador, un extractor y un dispositivo capaz de realizar un empuje hacia la unidad de extracción. Todos estos sistemas cumplen a su vez, con los bloques funcionales que el equipo definió en etapas anteriores.

A continuación, se muestra un esquema inicial sobre el funcionamiento de los subsistemas. En esta primera iteración el equipo se enfocó únicamente en representar la propuesta de valor: la extracción inclinada en una “línea de producción”. En esta representación cada usuario del sistema tiene una tarea que realizar por cada uno de los subsistemas de acoplamiento.

Siguiendo con la tabla de necesidades identificadas entre SACMEX y el Centro de Diseño, una de las partes fundamentales del diseño era que el sistema pudiera ir sobre el agua para recoger la mayoría de los residuos flotantes. Debido y a la premisa de que no toda la basura se encuentra en la orilla de las presas, se añade un subsistema extra al sistema de extracción. Un bote controlado de forma remota que tenga la potencia suficiente para mover ligeras cantidades de residuo de la presa al sistema de extracción.

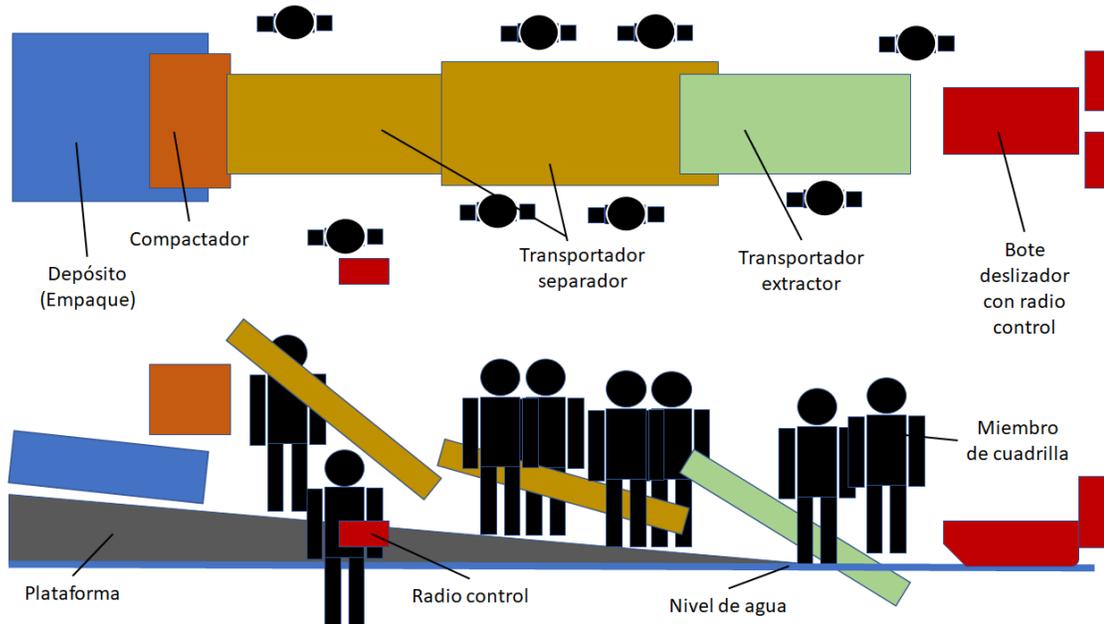


Ilustración 23. Esquema básico de funcionamiento de recolección
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

En una segunda opción generada (ilustración 24), se muestran diferentes configuraciones que cumplen el mismo propósito: un mejor acomodo de la cuadrilla conforme al número adecuado, roles para cada uno de los integrantes, posición ergonómica para realizar su trabajo y en vez de utilizar un sistema de navegación acuático, se sustituye por un sistema de boyas que permite generar la fuerza necesaria para recoger los residuos.

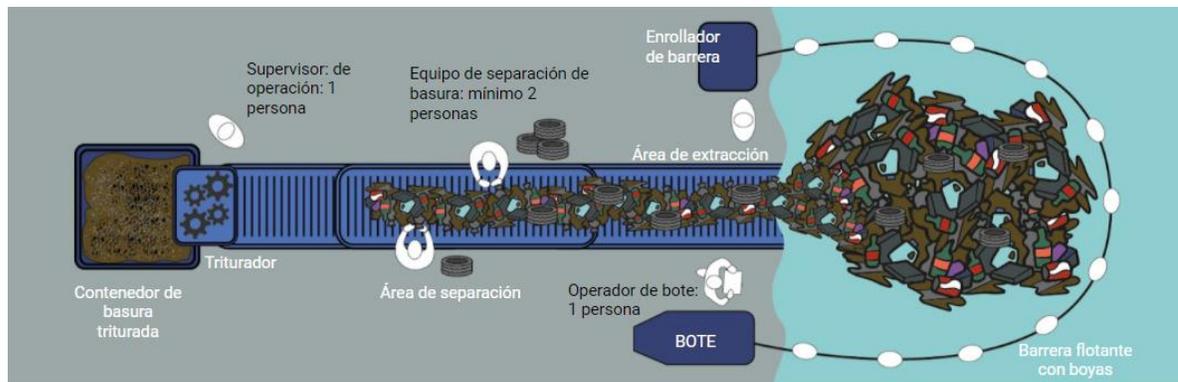


Ilustración 24. Segunda iteración del sistema de recolección
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

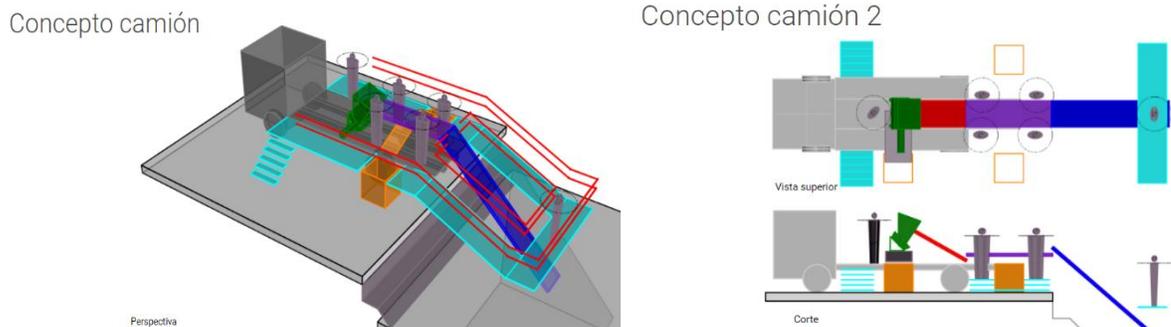
En la iteración inicial de generación de conceptos no se consideraban características fundamentales para el sistema de extracción: la movilidad y la geometría de las presas. A

partir de la definición del sistema de extracción, las funciones que debe cumplir el sistema, así como cada uno de los subsistemas y la forma de trabajo que se busca obtener, en la siguiente iteración se agregan los conceptos restantes: un sistema adaptativo que pueda ser desmontable.

Para lograr dichas características se determina en conjunto con SACMEX el uso de un camión que transporte el sistema de extracción, el cual pueda desplegarse en función de la presa siempre y cuando tenga una plataforma en la que haya espacio suficiente para realizar las tareas de extracción y secado.

Debido a que todos los subsistemas colaterales que se incluyen en el producto global irán dentro de un camión que se puede transportar a lo largo de toda la ciudad, el producto comienza a denominarse “Todo en Uno”.

La siguiente ilustración muestra una de las iteraciones en las que contempla un sistema plegable.



*Ilustración 25. Bocetos de ideas iniciales para la iteración “Todo en Uno”
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

La diferencia principal entre los conceptos es la distribución de los subsistemas y la ubicación de los operadores en la plataforma. Además del camión, se agregaron una serie de circulaciones para alargar la plataforma de trabajo y unos pasillos de circulación que permiten supervisar la correcta operación del sistema de extracción y así mismo observar cualquier anomalía que pueda presentarse, como residuos sólidos de demasiado tamaño u objetos pesados. Consecuentemente se agregaron barandales alrededor del sistema para cumplir con las normas de seguridad correspondientes a trabajos de altura. En esta iteración se

complementa la trituración de la basura final para reducir tamaño y controlar el transporte hacia un centro de transferencia.



Ilustración 26. Flujo de trabajo del sistema "Todo en Uno"
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

Con esta nueva configuración se modifican las actividades deseadas (ilustración 26) para el sistema de extracción y mejora la funcionalidad del producto inicial. A continuación, se muestra un modelo para entender la nueva configuración y distribución de los operadores.

La realización del modelo ayuda a entender la distribución propuesta de los usuarios en el camión, el espacio entre pasillos para que una persona pueda caminar cómodamente y sea apta para realizar esfuerzos, la necesidad de un techo para soportar cualquier clima en el que se encuentren, las dimensiones del separador y triturador y el cantiléver con el que se planea trabajar.

Concepto camión

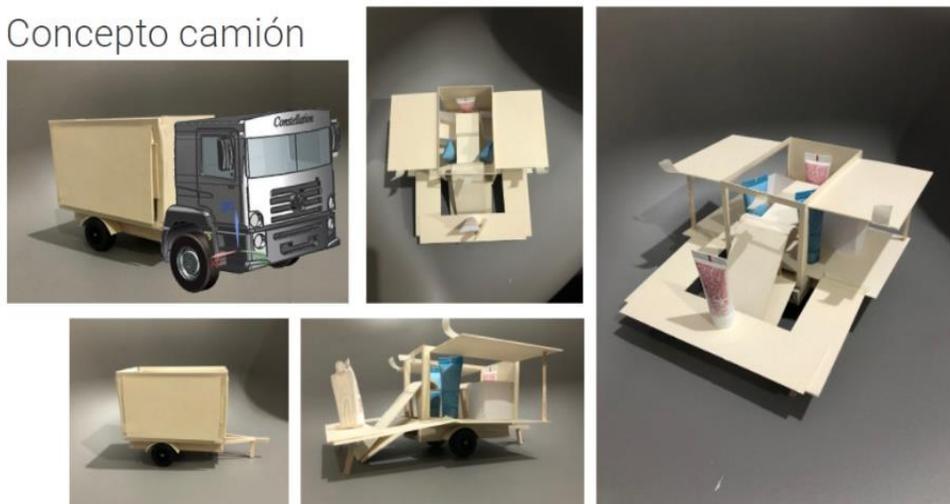
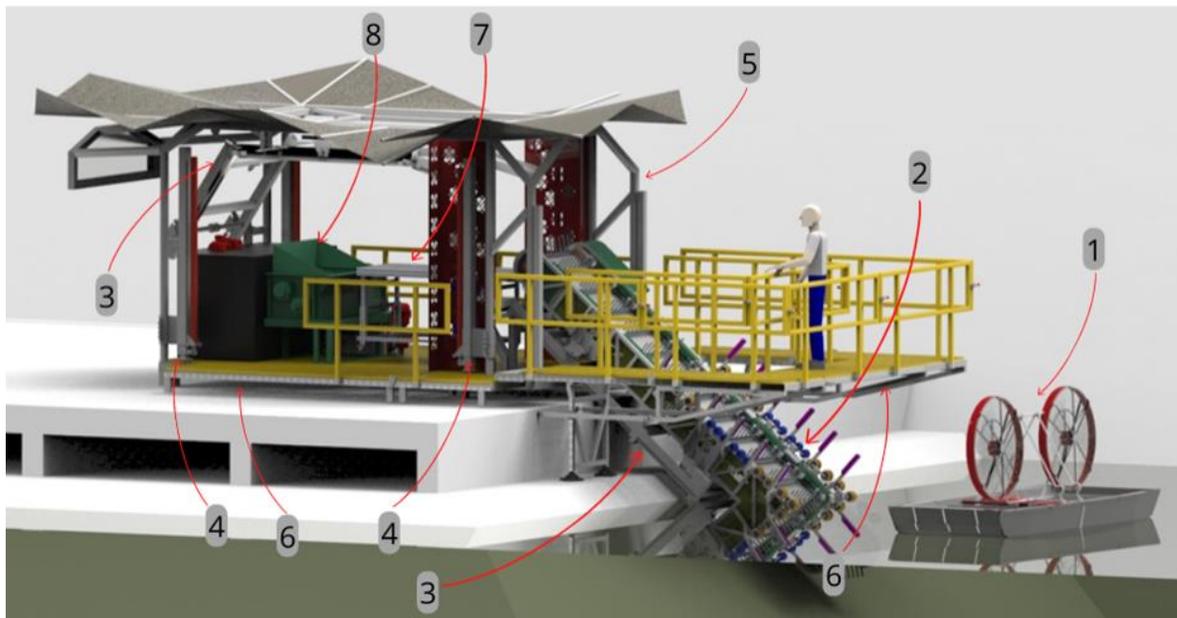


Ilustración 27. Prototipo conceptual del sistema "Todo en uno"
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

El modelo realizado, como se mencionó con el método utilizado para el desarrollo del concepto funge como base para entender y validar la idea propuesta. En este caso al ser una comprobación geométrica y dimensional, únicamente se realizó con materiales rígidos que no proveen funcionalidad mecánica.

Después de la realización y validación del modelo, se optó por desarrollar este sistema. Finalmente, el concepto desarrollado “Todo en Uno” cuenta con los siguientes subsistemas mostrados en la ilustración 28:

1. Sistema de desplazamiento de residuos “bote”
2. Extractor de cangilones
3. Rampas de guardado y trabajo
4. Subsistema de elevación
5. Estructura principal
6. Circulaciones de supervisión
7. Banda de separación
8. Procesador de residuos



*Ilustración 28. Concepto fase final sistema "Todo en Uno"
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

5. DESARROLLO DE SISTEMA DE SUPERVISIÓN DEPLEGABLE

5.1 Desarrollo conceptual pasillos desplegados

En el capítulo de necesidades y especificaciones del sistema “Todo en Uno” se muestran tablas generadas para obtener el concepto del producto. Dichas tablas las realizaron SACMEX y el CDMIT con el afán de obtener los alcances y limitantes del concepto.

Entre las necesidades más relevantes para la elaboración de los pasillos y circulaciones se resaltan que el sistema sea transportable. Haciendo que todo mecanismo que se diseñe debe guardarse en el mismo espacio en el que se transporta inicialmente, aportando las limitantes espaciales (los pasillos únicamente pueden tener una longitud máxima igual al espacio de transporte o deben ser mecanismos plegables).

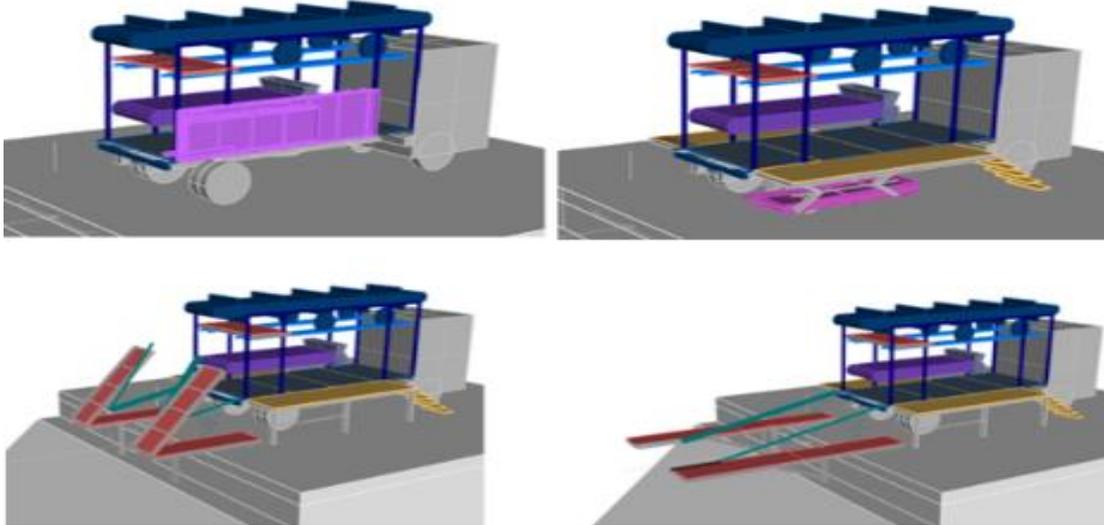
Otras necesidades que marcan una pauta en el diseño son: la separación de basura, la operación semiautomática y la especificación de soportar hasta 5 operadores en el pasillo de supervisión. Debido al concepto “Todo en Uno”, el pasillo de supervisión estará lo más cerca del cuerpo de agua para que los operarios puedan remover manualmente algún residuo que no pueda ser extraído con la maquinaria planteada (extractor), haciendo que el pasillo de supervisión se encuentre entre dos estructuras que deben ser capaces de soportar el peso de todos los operarios (equivalente a 500 kg) en un voladizo de alrededor de 4 metros y medio.

Así mismo, este sistema debe tener mecanismos simples que puedan desplegarse entre una y dos personas máximas para no afectar el tiempo efectivo de trabajo de cada uno de los operarios.

Con la concepción del “Todo en Uno” se realizó una primera iteración para resolver todas las condiciones del diseño.

El diseño original (ilustración 29) muestra el primer modelo sobre una posible solución conceptual. En la ilustración se observa el proceso de despliegue de los pasillos. Son circulaciones laterales que vienen integradas en la plataforma inferior del camión las cuales pueden girar 180 grados. Los pasillos de circulación vienen sujetos por la parte inferior, de tal forma que cuando se acomodan las circulaciones, los pasillos pueden bajar. Así mismo,

los pasillos deben tener unas rodajas para circular sobre la plataforma de secado. Finalmente se desdoblán en voladizo sobre el agua de la presa y se sujetan a la estructura principal del camión con alguna pieza metálica.



*Ilustración 29. Mecanismo de despliegue "original" de los pasillos de circulación
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

Analizando la configuración original, se realizaron consideraciones iniciales para realizar nuevos diseños sobre la idea base y así encontrar soluciones a partes no resueltas.

Algunas de las consideraciones más destacables fueron:

- Las rodajas de los pasillos deben ser evitadas debido a que la plataforma de secado tendrá residuos sólidos que dificultarán el arrastre de los pasillos
- El voladizo al que estarán sujetos los pasillos es considerable debido a que puede llegar a tener 5 operarios y el pasillo tendrá al menos 6 metros de largo
- El sistema de pasillos tendrá un peso considerable, por lo que tanto la bajada del sistema como el transporte hacia la plataforma puede complicarse al momento de realizarse físicamente
- Las rodajas deben tener un mecanismo que permita que los pasillos reposen sobre el suelo para que no se cree un punto crítico sobre la unión entre ambos sistemas
- El mecanismo desplegable debe tener barandales para cumplir con las normas de seguridad para trabajos en altura debido a que el voladizo de los pasillos está directamente sobre el agua

A partir de las observaciones y las necesidades planteadas al inicio del capítulo se hizo una lluvia de ideas para complementar la idea original.

A continuación, se presentan conceptos propuestos con una breve descripción de las características principales de cada diseño.

Despliegue en A

Los pasillos se montan sobre puertas traseras en la caja del camión; tras abrir las puertas, los pasillos se despliegan con un polipasto en tres movimientos, como se muestra en la ilustración 30.

Este concepto incluye una idea que se conserva hasta el desarrollo final del despliegue, un punto de apoyo en el marco del camión para transferir la carga desde la punta de los pasillos hasta las uniones entre estos dos elementos y es una parte que requiere atención para diseñar una bisagra lo suficientemente robusta para soportar la carga esperada y el momento generado por el apoyo de los operarios en la punta de los pasillos.

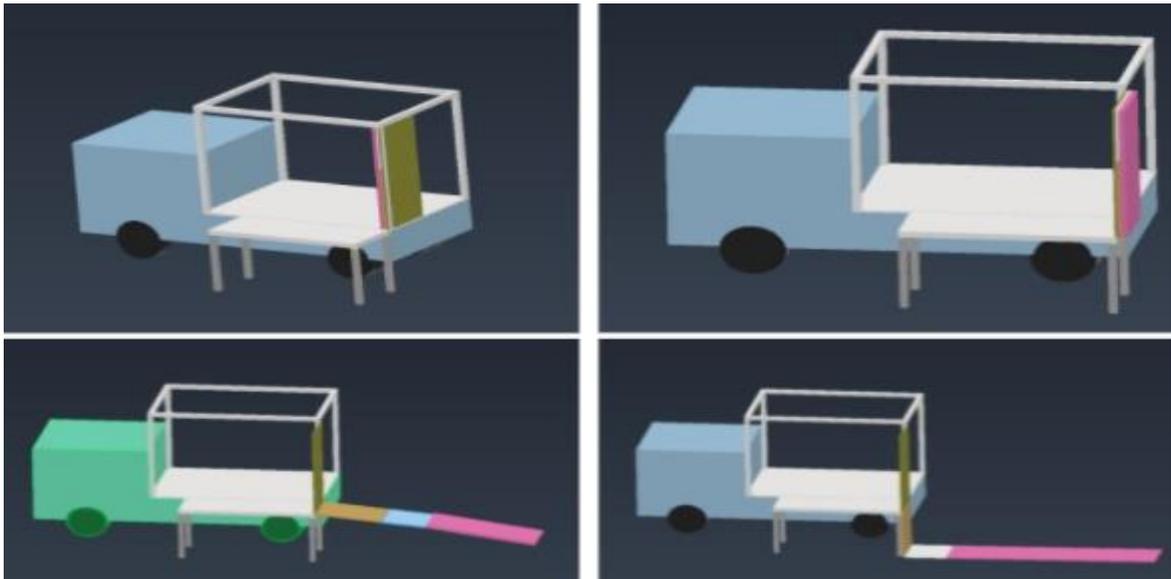


Ilustración 30. Secuencia de despliegue en A (de izquierda a derecha)

Puerta de camión

El conjunto está configurado como una puerta de camión, que, a través de una bisagra de dos grados de libertad, se desmonta y extiende con ayuda del polipasto.

En esta idea se plantea la opción de un mecanismo elevador semiautomático que sirva de conexión entre la plataforma del camión y la plataforma de secado, lo cual permite reducir el

tiempo de despliegue necesario y la cantidad de operarios que se requiere para realizar la operación es de uno.

Puerta de camión 2

Se utiliza la puerta trasera de la caja del camión como soporte y se despliega una pata hidráulica; se anclan los pasillos a esta pata por medio de un pasador y se despliegan manualmente.

Un concepto que surge con esta iteración es la separación completa entre los dos pasillos de circulación y unirlos mediante un pasador manual. El cambio de la separación entre los pasillos y el mecanismo de despliegue permite que entre dos operarios se pueda realizar toda la maniobra y se distribuyan los pesos de cada parte en viajes cortos. Simplifica el uso de mecanismos complejos y los reemplaza por pasadores y pivotes.

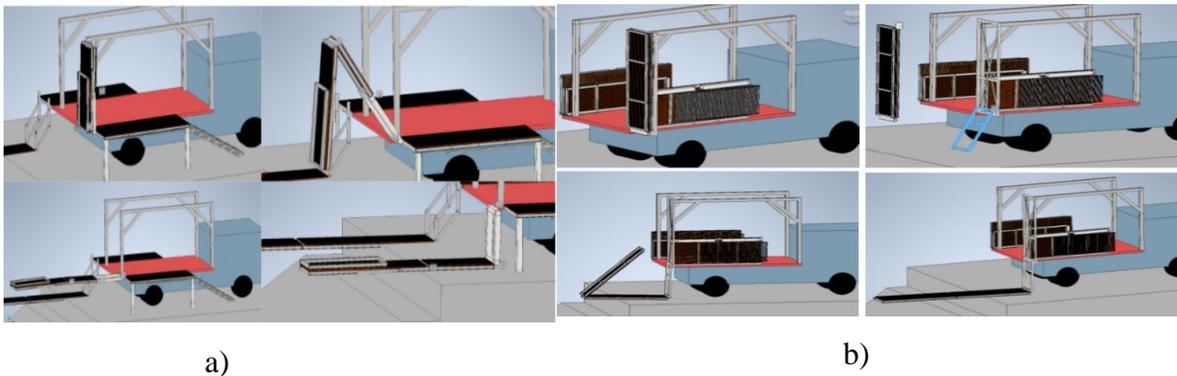


Ilustración 31. a) Secuencia de despliegue puerta de camión. b) Secuencia de despliegue de "Puerta de camión 2" visto de izquierda a derecha

Pasillos móviles

La propuesta de pasillos móviles utiliza características propuestas en el concepto original, modificando la forma principal de los pasillos, haciendo que tenga unas ruedas de mayor diámetro que el espesor de los pasillos para venir en la parte inferior del sistema de circulación, los cuales, al abrirse en su posición final, tenga unos rieles que permitan movilizar todos los pasillos sin necesidad de cargar directamente el sistema desplegable. A su vez tiene la posibilidad de frenar todo el sistema con el propio sistema, empotrando las llantas en un freno propuesto en las patas de las circulaciones.

Pasillo sobre circulación

Una propuesta similar a puerta de camión 2, el sistema de pasillos es un conjunto de paneles separados cuyas uniones se realizan mediante el anclaje entre sí. No obstante, la diferencia radica en la disminución de piezas independientes, consiguiendo anclar el mecanismo directamente en el sistema de circulación.

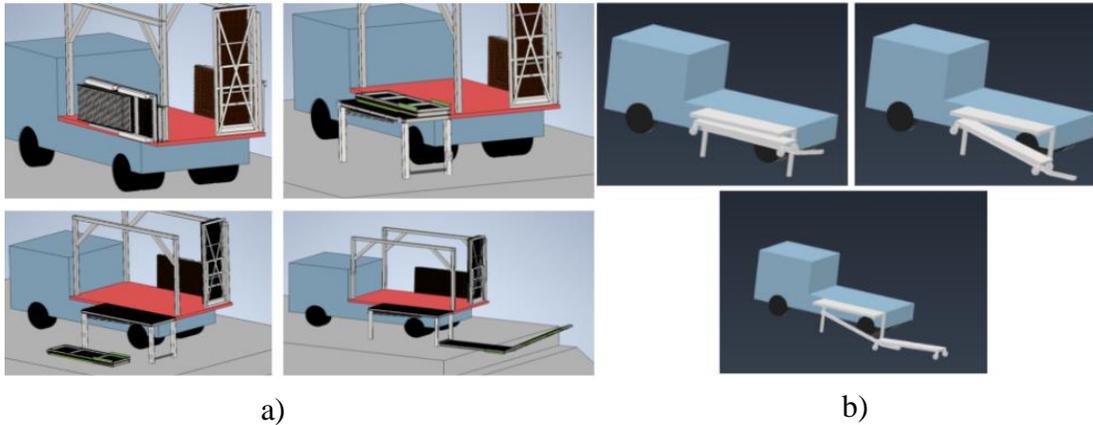


Ilustración 32. a) Pasillo sobre circulación b) Pasillos móviles

Puente automatizado

Finalmente, se realizó un boceto inicial sobre un mecanismo más complejo a los anteriores. Un sistema que funcionara completamente sin la intervención humana más que para realizar la acción de encendido/apagado, un sistema completamente automático.

Se lograron realizar bocetos conceptuales, sin embargo, idear un sistema más concreto sobre esta idea requería del entendimiento sobre sistemas completamente plegables y qué tan difícil puede llegar a ser realizar dobleces en estructuras que sean lo suficientemente robustas.

En la ilustración 33 se puede observar un boceto inicial sobre un mecanismo de barras que permita realizar el descenso con ayuda de cables tensores en los costados de los pasillos. El movimiento se realizaría en tres partes: la apertura de las “puertas traseras” del camión que traen los pasillos, el descenso de estos y el despliegue automático.

Esta opción se consideró en las fases finales debido a las ventajas que presenta respecto al resto de opciones: los operarios no tendrían que realizar ningún esfuerzo físico, reducción en el tiempo de despliegue al hacerlo de forma simultánea y la consecuente reducción de la cantidad de personas requeridas para realizarlo.

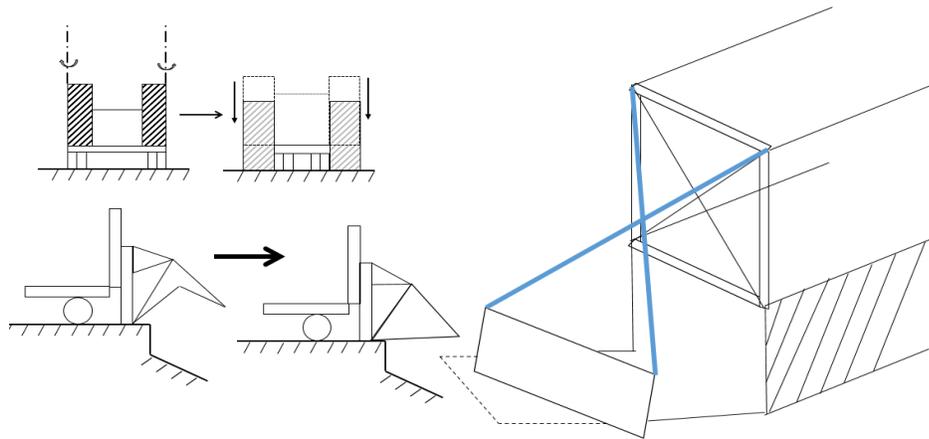


Ilustración 33. Boceto de mecanismo de despliegue automático

En la ilustración 34 se muestran algunas ideas conceptuales o ya usados en la actualidad. Uno de los más aplicables es la unidad M60 Armored Vehicle Launched Bridge (AVLB) que contiene un puente plegable utilizado con fines bélicos, el cual permite conectar dos extremos con puntos fijos y estables [20] y una idea completamente conceptual sobre un puente plegable de cuatro secciones.

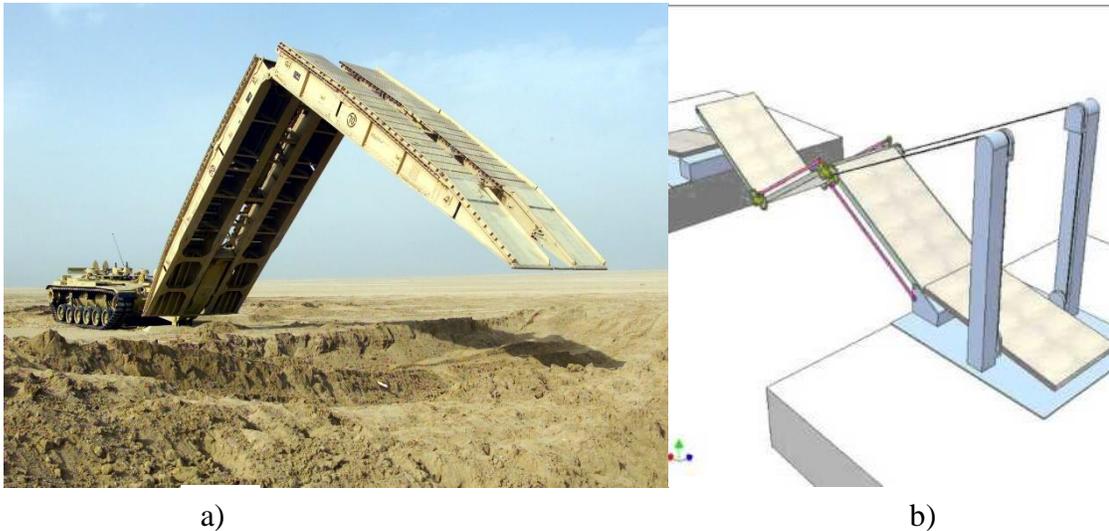


Ilustración 34. a) M60 AVLB [20] b) Modelo de puente plegable con cuatro secciones y dos tensores [21]

No obstante, el concepto de repliegue mostrado requiere de un sistema de engranes que limitan el movimiento entre las secciones y se encuentra en total exposición al medioambiente, haciendo que las uniones tengan un factor que haga que en un corto periodo

se deban realizar mantenimientos a las piezas. Finalmente se logró obtener un concepto que permite ser viable para los fines que se buscan: un sistema de cuatro secciones desplegadas mediante gravedad y tensores anclados a la parte fija. Este concepto, debido a que todos los puntos de rotación se realizan con pivotes y bisagras la exposición al medioambiente perjudica en menor medida.

En las siguientes ilustraciones se muestran el concepto original [22] y un diseño conceptual análogo con un sistema de tres barras implementado en el sistema de despliegue.



*Ilustración 35. Diseño conceptual de un puente plegable [22].
Video de YouTube*

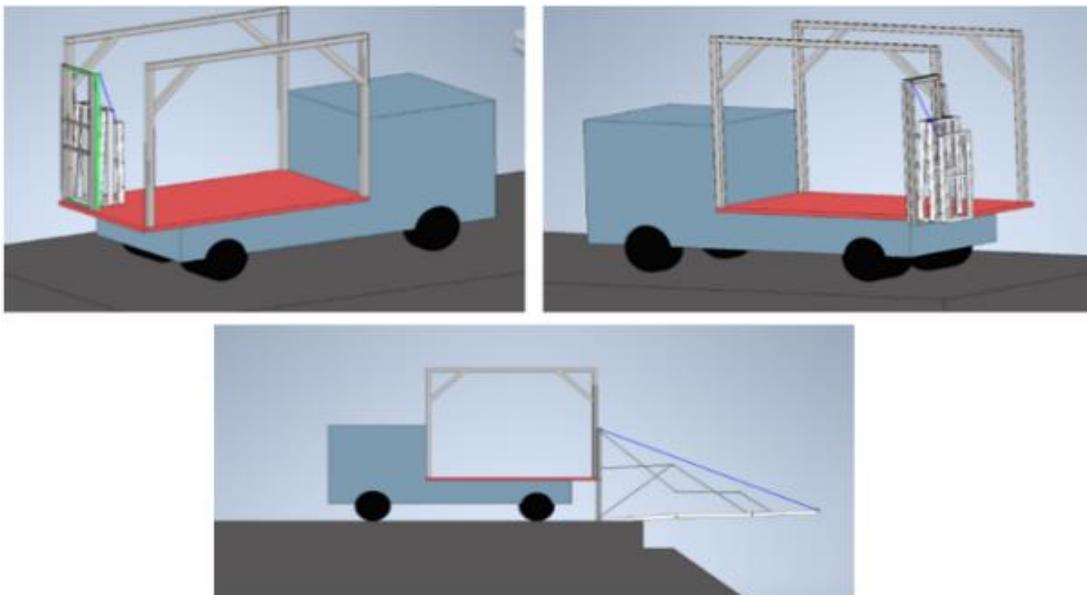


Ilustración 36. Mecanismo de barras con tres secciones para despliegue automático

Una vez recabando todas las ideas, siguiendo la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger [14], se decidió realizar un cuadro morfológico que nos permitiera entender las funciones que se requerían, cómo se cumplían con cada sistema diseñado y qué características eran críticas para elegir un diseño.

<div style="text-align: right;">Solución</div> <div style="text-align: left;">Función</div>	Anclar al camión	Guardar pasillos	Desplegar pasillos	Soportar 4.5 m de voladizo Con soporte triangular inferior
A original				
B Despliegue en A				
C Puerta de camión				
D Pasillos móviles				
E Puerta de camión 2				
F Pasillo sobre circulación				
G puente automatizado				

Ilustración 37. Cuadro morfológico para las soluciones del despliegue de los pasillos de circulación

En la ilustración 37 se muestra el cuadro, el cual consta de las siguientes funciones identificadas:

- Anclar al camión
- Guardar pasillos
- Despliegue de pasillos
- Soporte estructural del voladizo de 4.5 m

La última función está marcada con rojo debido a que es la restricción con mayor complejidad, siendo la que marque pauta para tener restricciones una vez que se seleccione la mejor opción.

Una vez realizado el cuadro morfológico, se pudo observar y elegir las mejores soluciones para cada una de las funciones, no obstante, el criterio para seleccionar la mejor solución en esta etapa sigue siendo sumamente arbitrario, por lo que el siguiente filtro utilizado fue una matriz de selección.

La matriz de selección consta de criterios de selección elegidos por los diseñadores en donde se muestren las características más importantes que deben tener los diferentes conceptos. La matriz clásica únicamente debe tener datos codificados (-, 0, +) ya que, para realizar la comparación, se requiere de una idea base con la cual se debe comparar cada uno de los conceptos generados. Finalmente se hace un balance entre los resultados y el que tenga una mejor calificación es el concepto seleccionado.

No obstante, este tipo de matriz es únicamente una herramienta de diseño, por lo que en la utilizada en el proyecto se modificó la base principal y se añadieron criterios que tienen datos continuos, haciendo que la comparación se pueda realizar con el concepto original, pero al mismo tiempo se pueda visualizar el valor de cada uno de los criterios.

En la Tabla 5. Tabla de selección se muestran los criterios de selección. El único rubro que no está completo es el de mantenimiento debido a que el nivel de los diseños actuales no permitía valorar de forma significativa qué sistema requeriría mayor o menor mantenimiento.

De los ejercicios anteriores se decidió que utilizar un sistema de guardado similar al mostrado en despliegue en A debido a que permite tener una función de puerta desplegable y no reduce

En la ilustración 38 se puede observar el prototipo realizado. La idea del concepto consiste en un mecanismo de tres barras, el cuál únicamente sirve como guía del despliegue para poner los pasillos en su posición y evitar que una carga en el extremo genere que los pasillos tiendan a unirse.

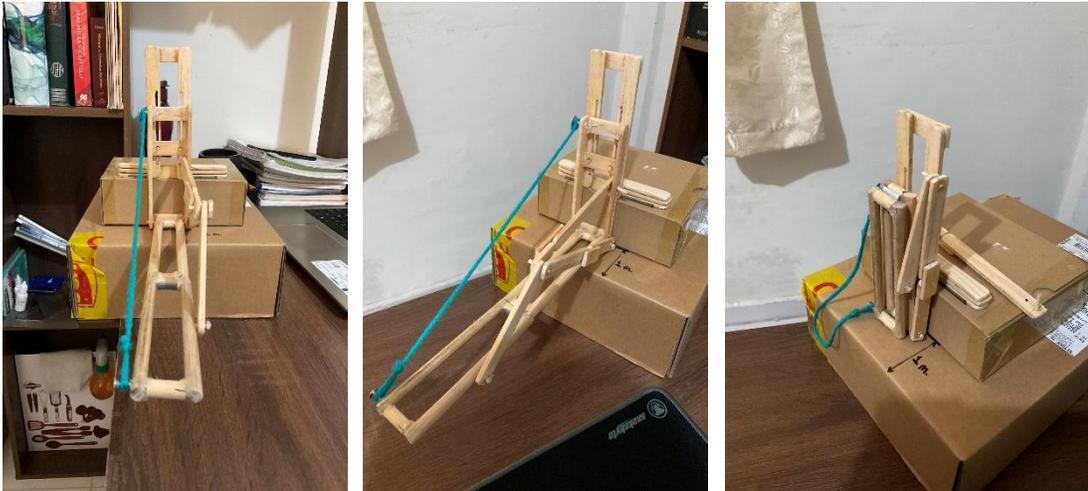


Ilustración 38. Desarrollo de prototipo rápido de funcionalidad limitada del concepto "puente automatizado"

Dicho mecanismo se encontraría en la parte interna de los pasillos para que el contacto con los usuarios sea mínimo y mediante un polipasto (en el caso del prototipo únicamente es una cuerda) se realizaría de esta primera iteración física arrojó diversas observaciones sobre el mecanismo:

- Se genera una fuerza de torsión en la estructura debido a el cable tensor únicamente se encuentra en un lado y el resto de la estructura es una guía
- Pese a tener la estructura guía que soporta el esfuerzo generado en el extremo, la tendencia de los pasillos a subir del lado opuesta es mayor a la fuerza ejercida por la guía
- La altura de todos los mecanismos a utilizar, el tamaño de los pasillos está determinada por la altura máxima permisible descrita en la NOM-012-SCT-2-2017 [23], la cual determina la altura máxima para vehículos de propósito especial, esto es una limitante vital debido a que cualquier altura que sobrepase este límite debe ser reducida. En la ilustración 38 se muestra el mecanismo plegado, en esa posición se alcanza a observar que para que sea físicamente posible la unión como se había planteado en el modelo 3D, la primera barra que unía el mecanismo con el anclaje

debe ser mayor a la altura de los pasillos, haciendo que el diseño sea inviable como se había planteado inicialmente.

- Así mismo, el mecanismo funciona de forma esperada, sin embargo, el esfuerzo de torsión y el voladizo hacen que la estructura se mueva tanto vertical como horizontalmente

En esta fase del diseño, una solución que se había dado al problema del movimiento vertical era la colocación de perfiles huecos anclados hacia el suelo de tal forma que sirvieran para transmitir el movimiento directamente de los pasillos al piso sin tener que pasar por el punto de unión (ilustración 39). Esta solución era constante para cada uno de los conceptos desarrollados, sin embargo, con las observaciones obtenidas, se dedujo una estructura unida a los pasillos de tal forma que se despliegue conforme, se coloque automáticamente. Esta unión reduciría los tiempos de colocar una pieza extra, además de que el concepto original no se había desarrollado completamente debido a la complejidad del proceso realizado por los operarios.



Ilustración 40. Pasillos con perfiles en ángulos anclados al suelo

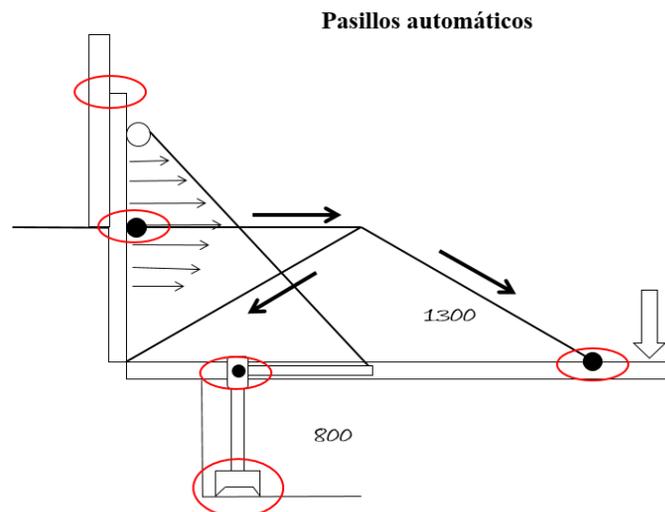


Ilustración 39. Pasillos automáticos 2

De esta manera se plantea un sistema de soporte que permite trasladar los esfuerzos generados en la estructura al talud de la estructura en la presa.

En el boceto (ilustración 40) se observa dicho soporte principal que estará apoyando en la plancha de secado. Se observa una distribución de cargas aproximada y se señalan algunos puntos clave identificados para poder solventar la creación de este diseño:

1. La unión entre el bastidor que fungirá de puerta y la estructura donde se comienza a desplegar el mecanismo
2. Los anclajes de las barras de despliegue y del tensor
3. Las reacciones y dirección generada por la carga en voladizo
4. La unión entre el apoyo principal y los pasillos
5. El apoyo directo sobre la plancha de secado y su posible variación de altura

Esta propuesta modifica la forma de apertura de tal forma que ahora se realiza un despliegue sobre sí misma. Al momento de realizar un primer modelo sólido en un software de computadora, se observó que el voladizo sigue siendo un tema relevante. Debido a esto, se realizó una primera idea para transmitir las cargas al piso tanto a la pared de la plancha de secado como al piso con afán de no tener reacciones relevantes sobre los bastidores de los pasillos. En la ilustración 41 se muestran los pasillos con una estructura inferior que realiza dicha tarea de transmisión.

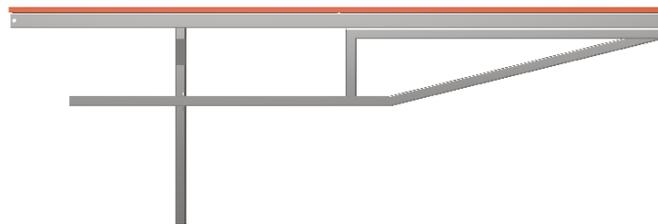


Ilustración 41. Pasillos con primer boceto de estructura inferior

La nueva configuración de la estructura inferior consiste en un apoyo principal unido por una barra al centro, el cual tiene los perfiles verticales hacia el centro. Un “triángulo” que soporta la segunda parte del pasillo directamente, el cual permite transmitir las cargas de la parte externa del voladizo a la unión entre pasillos y finalmente dos perfiles rectangulares que

conectan directamente con la pared de la plancha de secado, haciendo que la carga generada en el triángulo estructural pueda reposar directamente.

Se optó por un suelo en los bastidores de los pasillos de un compuesto de un polímero reforzado con fibra de vidrio (PRF) debido a sus propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos axiales y su bajo peso, el cual debe mantenerse al mínimo para que los operarios puedan maniobrar las estructuras. Así mismo, se modifica la maniobra teórica en la que se despliegan los pasillos para prescindir del mecanismo de barras y realizar un despliegue semi-automático utilizando polipastos como se muestra a continuación.

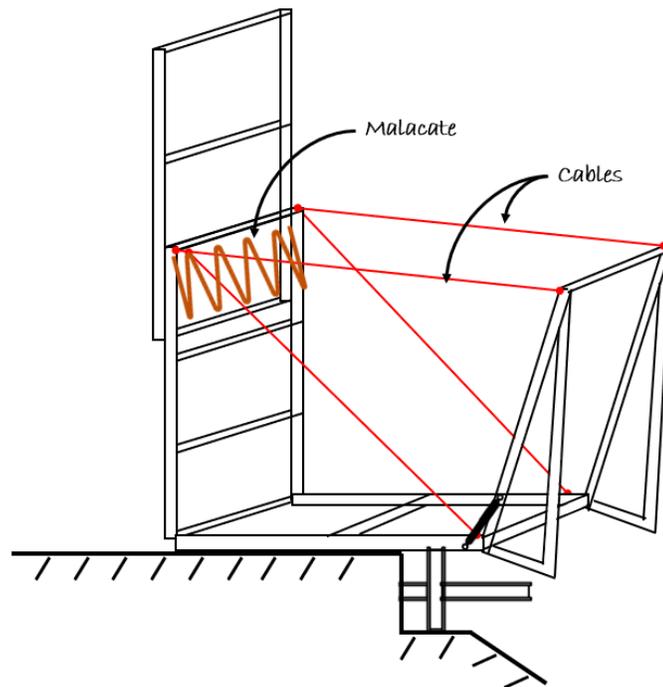


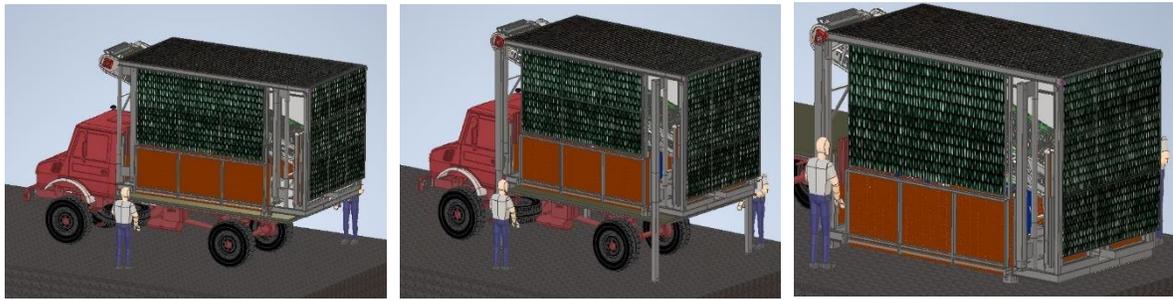
Ilustración 42. Mecanismo de despliegue semiautomático

En este mecanismo de despliegue ya se contempla la separación de la estructura inferior en la estructura triangular, la cual estará unida al bastidor externo de los pasillos y el apoyo principal que se encontrará en la parte interna de la estructura.

Finalmente, la última iteración que modificó el subsistema de los pasillos desplegados fue un cambio a nivel sistema. En las versiones anteriores el sistema "Todo en Uno" quedaba sobre el camión, de tal forma que el sistema entero era soportado por la suspensión del camión, mientras la nueva propuesta contempla un sistema de elevación, creando una separación entre el camión y el sistema "Todo en Uno" cada vez que es utilizado. De esta manera las vibraciones del sistema son amortiguadas por la misma plancha de secado,

aumentado la robustez del sistema. Por la parte del sistema de despliegue, este cambio supone un recorte de distancia entre la posición final de las plataformas de supervisión y su posición de guardado.

- El camión se posiciona en su lugar de despliegue y el mecanismo de elevación realiza el descenso del sistema “Todo en Uno”.



0

1

2

Los toldos y de los pasillos de circulación se despliegan. Así como el giro de 90 grados de los pasillos de supervisión utilizando la función “Despliegue en A”.

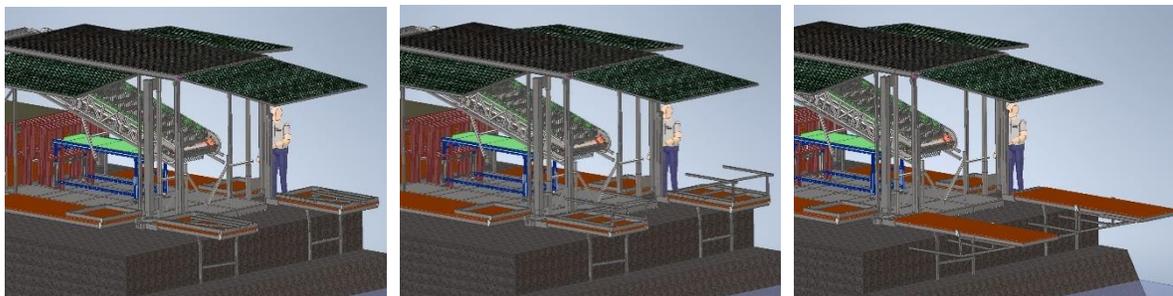


3

4

5

Se levanta el apoyo principal de los pasillos de supervisión, se comienza a armar la estructura inferior y se colocan en su posición de trabajo.

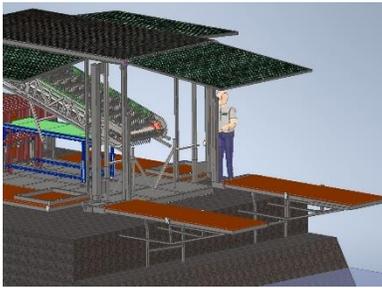


6

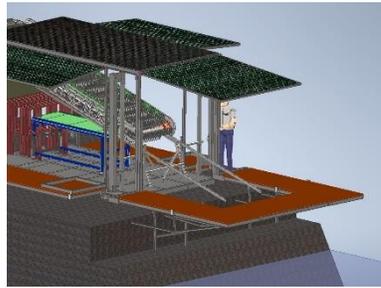
7

8

Una vez en posición de trabajo, se coloca la plataforma de supervisión y se instala la rampa de trabajo.



9



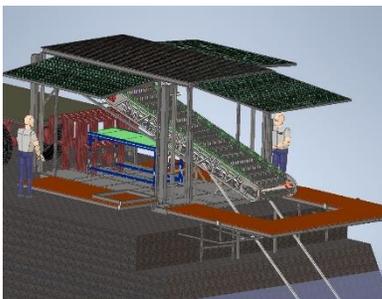
10



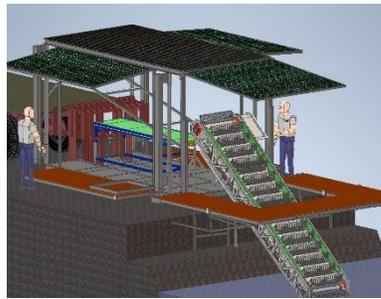
11

El transportador comienza su trayectoria de descenso y termina en su posición de trabajo.

La rampa de guardado se coloca en su posición de trabajo.



12



13



14

Se despliega un “puente” que une los pasillos de circulación con los de supervisión y se colocan los barandales de forma manual



15



16



17

Ilustración 43. Secuencia de despliegue del “Todo en Uno”

En la configuración final del sistema de despliegue, se realiza una separación entre el sistema de despliegue de los pasillos de supervisión y los pasillos de circulación (la parte que se extenderá en los costados del camión).

Los pasillos de circulación vuelven a la idea original de ir sobre los laterales de la estructura unidos mediante una bisagra y únicamente utilizar las patas de las circulaciones como apoyos junto a unas estructuras que permitan unir las circulaciones con los pasillos de supervisión. En la ilustración 44 se muestra la posición inicial y final del despliegue de las circulaciones en su configuración final.

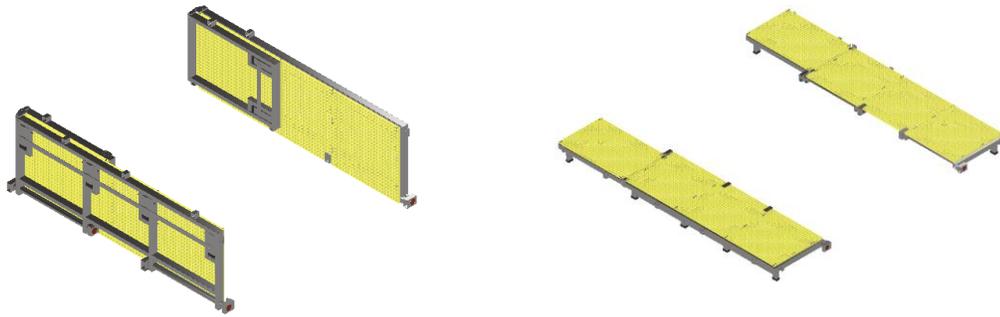


Ilustración 44. Sistema de despliegue de los pasillos de circulación

La modificación de la altura entre las iteraciones iniciales y la final únicamente afecta en el despliegue para la omisión del paso de bajar los pasillos desde su posición inicial, haciendo que el despliegue se realice de forma más sencilla.

5.2 Análisis de esfuerzos del sistema desplegable

Como se menciona en el ANEXO B. Método de Elemento Finito (FEM), el ambiente de trabajo en el que se realizarán las actividades de limpieza es completamente al aire libre y la parte de los pasillos voladizos estará directamente en la parte superior de agua que contiene todo tipo de agentes corrosivos, el material que se plantea utilizar es acero inoxidable.

En una primera iteración se desarrollaron los conceptos utilizando una herramienta de diseño desarrollada por el Instituto Americano del Acero para Construcción [24] para obtener dimensiones de diversos perfiles que se utilizan comercialmente. Para realizar cálculos de pesos, resistencias y cotizaciones se propuso un acero genérico de la base de datos de Inventor [25].

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero empleado para realizar el análisis de elemento finito

	Acero Inoxidable [25]
Densidad (g/cm ³)	8.00
Módulo de Young (GPa)	193.00
Módulo de Poisson	0.30
Esfuerzo de cedencia (Mpa)	250.00
Esfuerzo Último (Mpa)	540.00

Una vez teniendo la estructura que se utilizará de forma conceptual se realizaron pruebas de análisis por elemento finito (ver anexo C).

Análisis de elemento finito a los pasillos de supervisión

El primer paso para realizar un análisis de elemento finito en los pasillos de supervisión es realizar esquema de cálculo. En el caso del programa que asiste en la realización del análisis, la discretización del sistema estructural se realiza con la generación de un sólido continuo rígido, el cual tiene nodos en cada una de las uniones entre los elementos que conforman el pasillo. En los casos en los que las uniones no se realizan directamente y quedan dos nodos contiguos, se unifican mediante uniones rígidas. Las uniones rígidas son aquellas que su deformación no tiene una influencia apreciable en las leyes de esfuerzos globales de la estructura ni en la deformabilidad general de la misma [26].

En las siguientes imágenes se muestra el esquema discretizado de los pasillos y un ejemplo de las uniones rígidas.

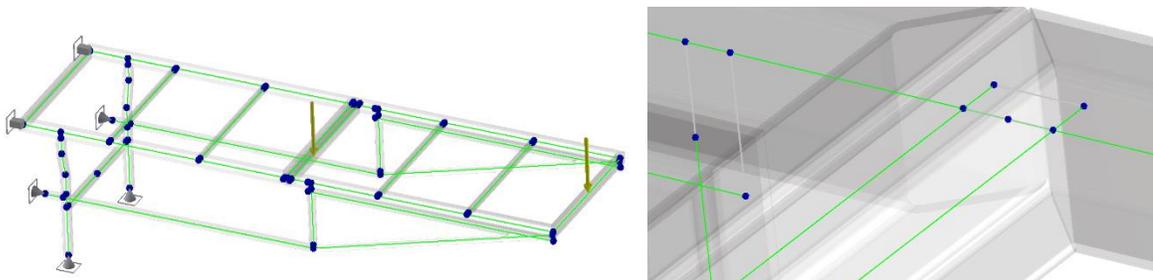


Ilustración 45. Método de alambre utilizado para realizar análisis por elemento finito y uniones rígidas en el pasillo de supervisión

Con el fin de obtener resultados sobreestimados de la carga que tendrán que soportar los pasillos de supervisión, se realizaron análisis estáticos con condiciones que el sistema no tendrá que soportar en un uso diario.

Las condiciones que se deben tomar en cuenta al realizar el análisis son:

- Se utiliza una carga equivalente a 5 hombres de 100 kg en un único punto de apoyo en el centro
- La carga de 5 hombres (máximo) está contemplada para todo el pasillo de circulación, no obstante la simulación se realiza para un único apoyo
- Debido a las uniones rígidas realizadas por el programa de análisis, se idealiza la dirección de los esfuerzos en una única dirección hacia los puntos de apoyo
- La aplicación de cargas es únicamente estática, no considera cargas cíclicas ni fatiga
- No se consideran cargas extremas para caso de nieve ni esfuerzos ocasionados por viento
- Las cargas que se consideraron son la suposición de cargas muertas y vivas
- Se idealiza un contacto del 100% entre todas las patas del sistema y la presa
- En todos los análisis se utilizan las mismas cargas: la carga equivalente de los usuarios y el peso propio de la estructura

El objetivo principal de los análisis realizados es obtener el perfil óptimo para soportar la carga supuesta en las condiciones anteriores, así como el calibre para obtener factores de seguridad mayores a 1.67 para miembros estructurales a tensión del manual de construcción para acero [27].

Las dimensiones generales y características de la estructura se enlistan a continuación:

- Longitud de pasillos individuales de 1,600 [mm] x 900 [mm] con costillas cada 500 [mm]
- Marco de soporte triangular con una altura de 400.8 [mm] y una longitud de 1,174.859 [mm]
- Barra de unión de 1,600 [mm]
- Barra de soporte de 755 [mm] de longitud x 900 [mm] en sus caras exteriores.

- Material utilizado para la simulación: acero dulce genérico de la base de datos de Inventor con una densidad de 7.85 g/cm^3
- Esfuerzo de fluencia: 207 Mpa

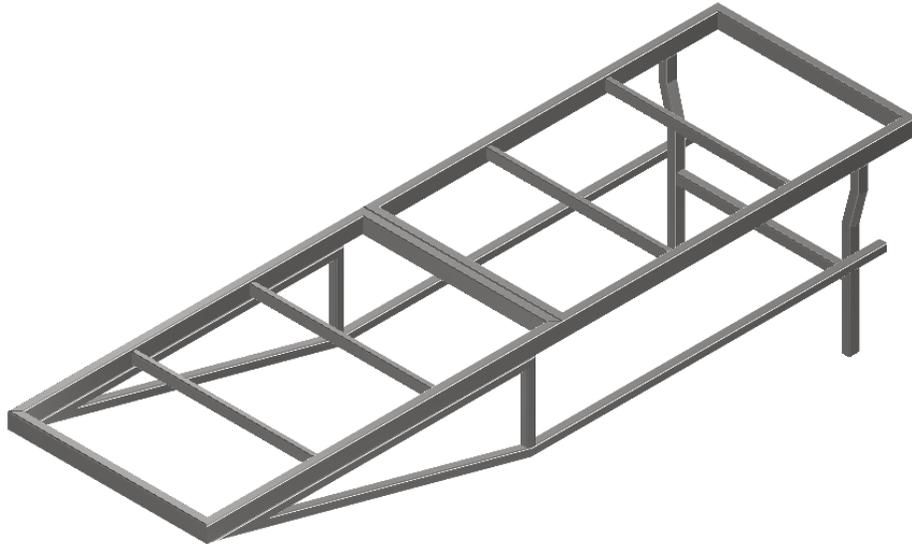


Ilustración 46. Estructura inferior analizada

Como se ha comentado anteriormente, los puntos de fijación que se empotrarán de forma ideal son aquellos que están en contacto directo con la plancha de secado. Para simular los cuatro puntos de apoyo en la plancha, se consideró un apoyo simple (pinned) debido a que las estructuras que van debajo de los pasillos únicamente se despliegan en su posición final sin ningún tipo de restricción de posición (Nodos 1, 4, 32 y 40). Mientras los nodos 45 y 58 tienen una restricción de fijación (sin grados de libertad) ya que se espera que el mecanismo que soporta los pasillos sea capaz de soportar el peso de las personas que estén sobre el pasillo sin perturbaciones.

Una vez planteadas las condiciones de simulación se realizaron 7 iteraciones y debido a que la geometría afecta directamente al esfuerzo soportado debido a las distancias entre el centro de masa, se utilizaron perfiles huecos cuadrados y rectangulares para observar la variación entre cada uno de ellos. Así mismo se fue aumentando de forma arbitraria basada en los perfiles comerciales que tienen los proveedores del proyecto. Es importante considerar que toda la estructura de los pasillos de supervisión será manipulada de forma semi-manual por

los usuarios finales, por lo que se debe considerar el peso de la estructura al momento de seleccionar el perfil a utilizar.

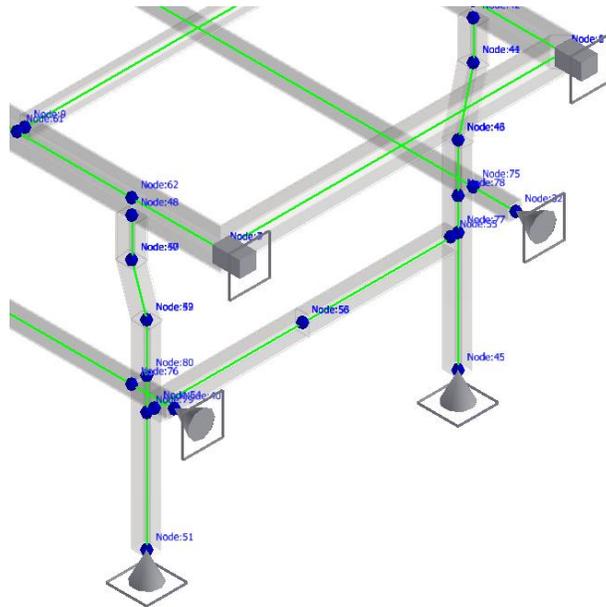


Ilustración 47. Nodos en los puntos de fijación de la estructura inferior

A continuación, se muestra una tabla de resultados para el análisis de cada iteración. Para ver más a detalle los resultados se muestra la tabla completa en el ANEXO B. TABLA DE RESULTADOS FEM.

Tabla 7. Resultados de análisis de perfiles para estructuras inferiores

Iteración	Perfil (Pasillos)	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo normal máximo [Mpa]	Esfuerzo cortante máximo [MPa]	Peso total [kg]	F.S.
A	AISC 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8	40.59	520.4	106.6	64.959	No cumple
B	AISC 2 x 2 x 1/8	8.209	129.7	24.42	109.88	1.59
C	AISC 2 x 2 x 1/8	6.346	117.9	54.18	109.88	1.75
D	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	3.459	7.793	15.26	139.99	2.8
E	AISC 3 x 1 ½ x 1/8	11.69	174.4	20.73	99.82	1.18
F	AISC 3 x 1 ½ x 1/8	8.953	149.6	14.08	99.82	1.7
G	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	6.625	106.9	10.73	112.631	1.93
Final	AISC 3 x 2 x 1/8	5.913	119	5.15	138.102	1.78

Tomando en consideración la condición que viene en el manual de construcción para estructuras de acero [27] de obtener un factor de seguridad superior a 1.69, las iteraciones B, C, D y G cumplen con las condiciones necesarias para ser candidatos aptos, siendo “D” la

opción con mejor resistencia a las condiciones impuestas sin embargo las combinaciones “F” y “G” muestran el comportamiento de cambios de sección en partes específicas de la estructura, haciendo que el peso total se reduzca más de 20 [kg].

De esta manera la selección inicial del perfil fue la opción que contiene una combinación de perfiles rectangulares en el marco de los pasillos y en la estructura inferior de $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 1/8$, mientras que en el apoyo principal se proponen de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1/8$.

En la tabla 7 se muestra una iteración extra denominada “Final” que muestra la configuración final de la estructura seleccionada, esto se realizó debido a la falta de disponibilidad de los materiales iniciales con los cuales se realizó una comparación con las iteraciones anteriores, resultando tener un factor de seguridad mucho menor a la opción D y con un peso similar, esto debido a que se realizaron modificaciones finales en la posición del apoyo principal de la estructura inferior.

A continuación, se muestran los resultados de la iteración final para la estructura de los pasillos de supervisión.

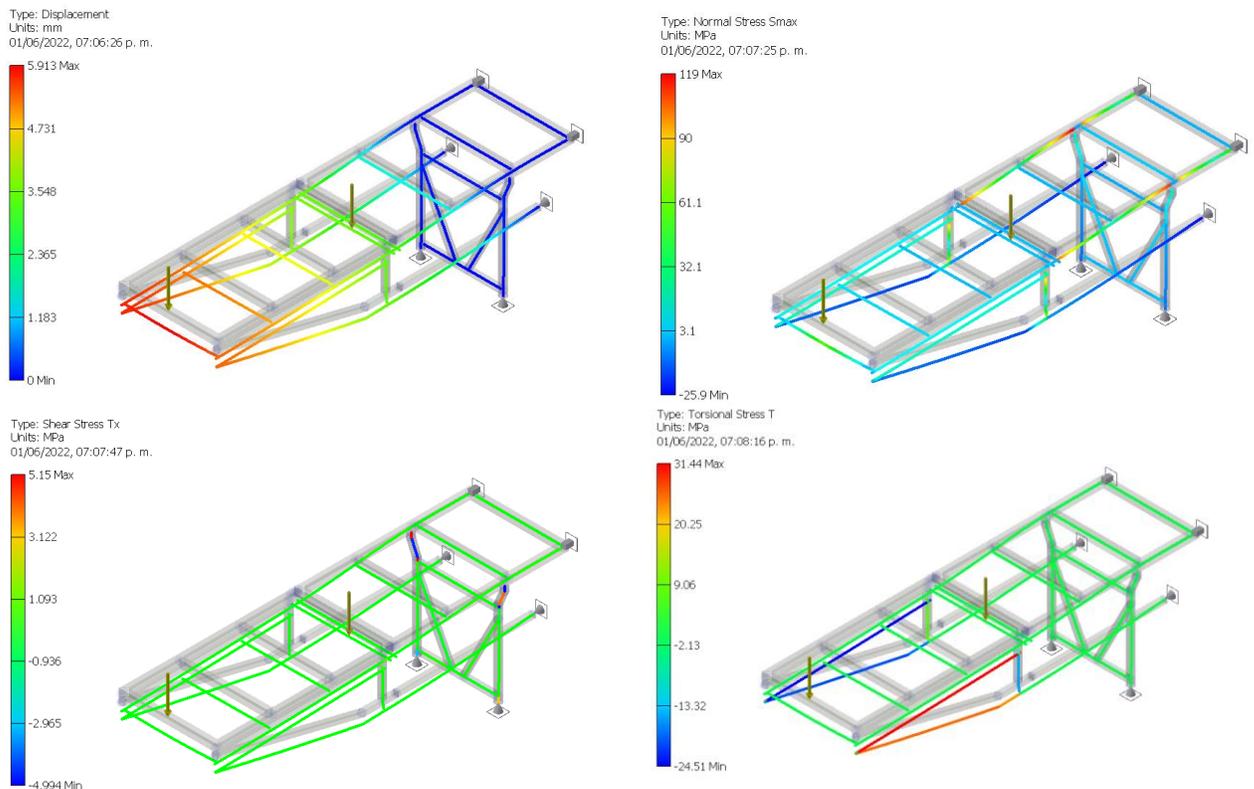


Ilustración 48. Resultados de la iteración final del análisis por elemento finito para la estructura de pasillos de supervisión

Análisis de elemento finito a los pasillos de circulación

De forma análoga al análisis anterior, el primer paso para realizar el análisis de elementos es realizar una discretización de los pasillos de circulación. En la siguiente ilustración se muestra la discretización de la estructura, la distribución de las fuerzas que soportará y las restricciones que le son brindadas al sistema.

En este caso las cargas vivas se distribuyeron en dos puntos realizando la simulación de la cuadrilla trabajando en cada una de las posiciones que se plantean y la gravedad representa las cargas muertas (es decir el peso propio del sistema).

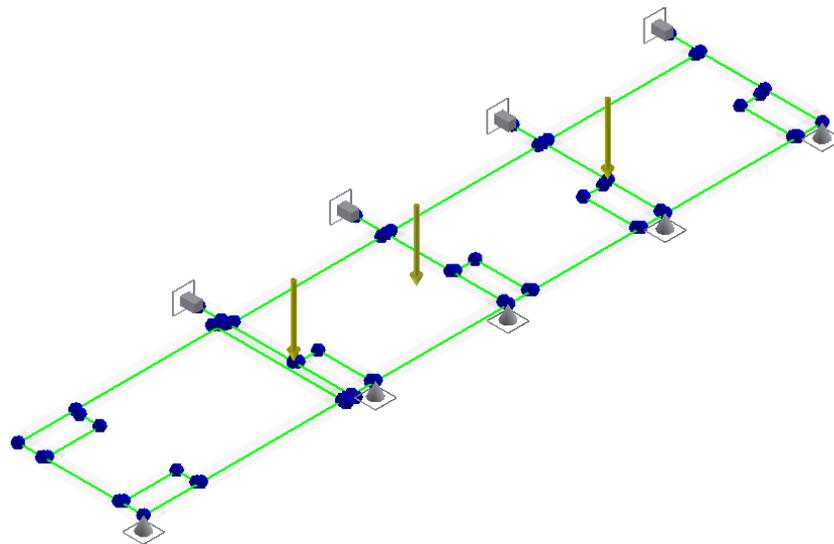


Ilustración 49. Método de alambre utilizado para realizar análisis por elemento finito y uniones rígidas en el pasillo de circulación

Para realizar el análisis se hicieron diversas suposiciones que simplifican la simulación:

- Se utiliza una carga equivalente a 5 hombres de 100 kg en dos puntos de apoyo
- Debido a las uniones rígidas realizadas por el programa de análisis, se idealiza la dirección de los esfuerzos en una única dirección hacia los puntos de apoyo
- La aplicación de cargas es únicamente estática, no considera cargas cíclicas ni fatiga
- No se consideran cargas extremas para caso de nieve ni esfuerzos ocasionados por viento
- Las cargas que se consideraron son la suposición de cargas muertas y vivas
- Se idealiza un contacto del 100% entre todas las patas del sistema y la presa

- En todos los análisis se utilizan las mismas cargas: la carga equivalente de los usuarios y el peso propio de la estructura

Debido al análisis realizado anteriormente y la consecuente cotización para los pasillos de supervisión, el objetivo del análisis de los pasillos de circulación no es la de obtener un perfil óptimo, sino la de corroborar que los elementos estructurales empleados en el sistema de supervisión sirvan de la misma manera en el sistema de circulación. Debido a las suposiciones iniciales, la premisa es que aguantará de mejor manera por no estar en voladizo y tener más puntos de apoyo, sin embargo, se realiza una única iteración para comprobar el estado de la premisa.

La circulación por analizar (ilustración 50) es un marco estructural de 2,750 [mm] x 750 [mm] con costillas cada 900 [mm]

Cuenta con rectángulos internos de 380 [mm] x 191 [mm] en los que van las patas del marco mediante ejes que permiten rotarlos 90°.

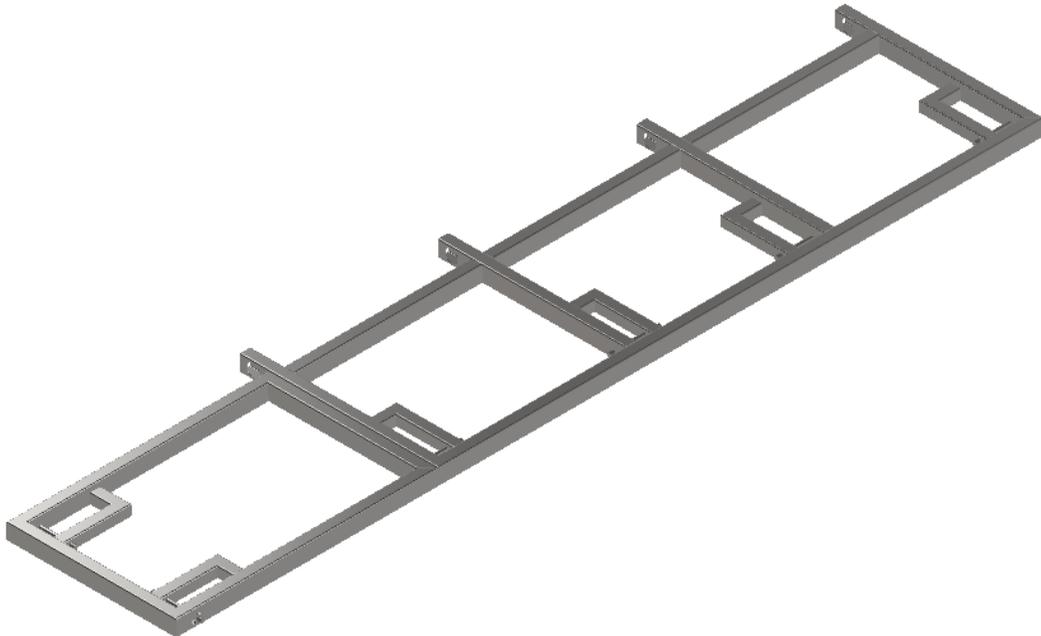


Ilustración 50. Marco estructural del pasillo de circulación

Los apoyos considerados para el análisis se dividen en dos: apoyos empotrados en el costado de la estructura (ilustración 50) y apoyos simples en los nodos que se encuentran alrededor

de los rectángulos internos de la estructura (lugar en el que se encontrarán los apoyos con el suelo). El resultado de esta única iteración se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resultados de análisis de perfiles para circulaciones

Iteración	Perfil (Pasillos)	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo normal máximo [Mpa]	Esfuerzo cortante máximo [MPa]	Peso total [kg]	F.S.
Circulación	AISC 3 x 2 x 1/8	0.1494	28.75	0.5	85.975	7.16

Mientras los resultados gráficos se muestran en la ilustración 51.

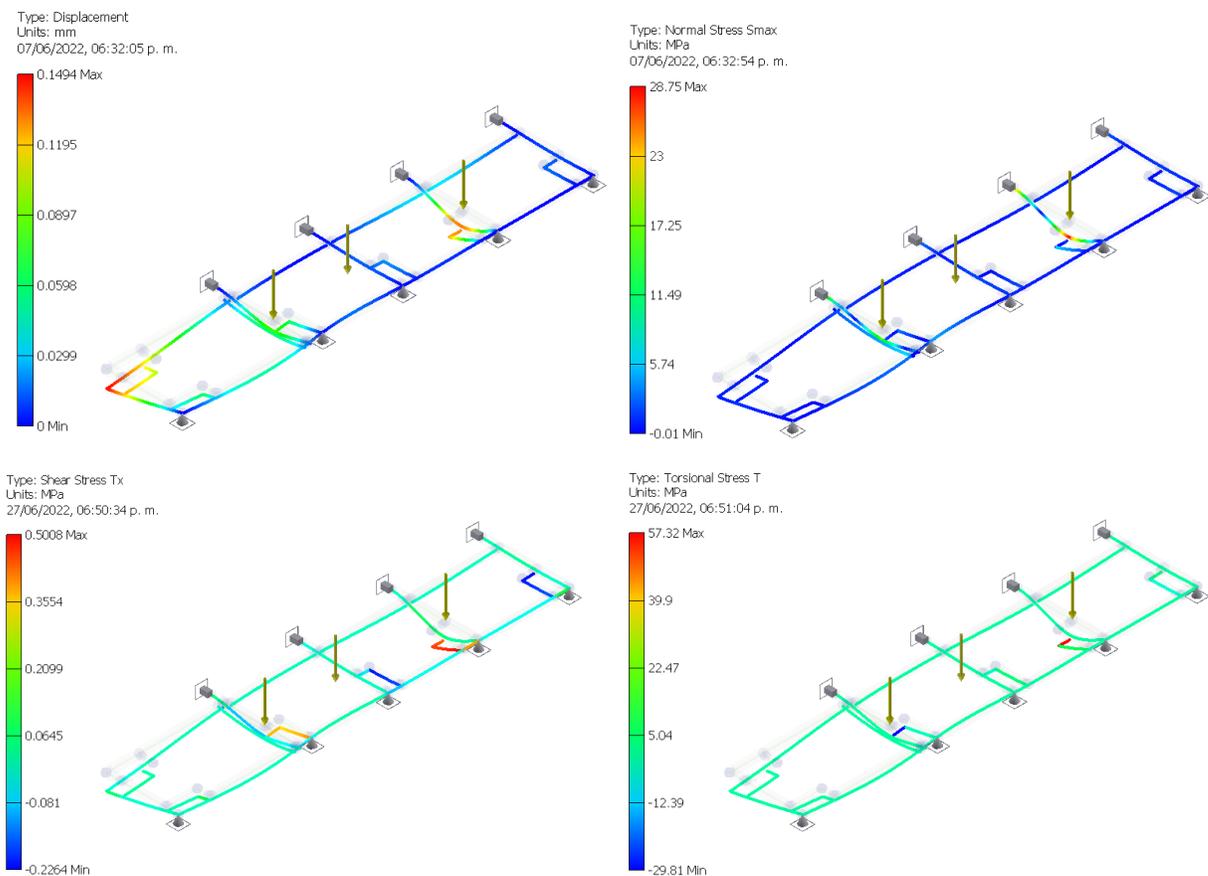


Ilustración 51. Resultados de la iteración final del análisis por elemento finito para la estructura de pasillos de supervisión

5.3 Diseño a detalle del sistema de pasillos plegables

Una vez finalizado el análisis y con la selección de los materiales, se debe realizar la ingeniería final de los pasillos.

Plataforma de supervisión

La plataforma de supervisión es un marco metálico que tiene como objetivo principal la unión de los pasillos de supervisión y el aporte de masa en los mismos y a su vez, permite a los usuarios tener un circuito cerrado en cada una de las partes del camión y se pueda llegar a ambos lados de la estructura sin necesidad de bajar de la plataforma. Así mismo es un punto clave ya que el usuario que se dedicará a revisar la basura que entra al sistema se colocará allí. Además, es el punto más lejano a los lugares de apoyo de la estructura, no obstante, con la sobreestimación de carga en las uniones se asume el peso extra en cada una de las estructuras inferiores.

En la siguiente ilustración se muestra la configuración final de dicho marco estructural junto con sus dimensiones generales y su posición final en el ensamble. El diseño toma como base la premisa de que tendrá que ser transportado y colocado de forma manual por al menos dos usuarios finales, por lo que tiene puntos de apoyos con tubos redondos en puntos clave en función de cómo será transportado: Cuatro agarraderas en los costados del marco estructural para manipular de forma externa la posición del marco al momento de reposarlo en su posición final, dos tubos redondos verticales para levantar la estructura desde su posición final y realizar maniobras de empuje o arrastre sin necesidad de levantarlo y finalmente dos tubos horizontales en la parte central de la estructura para levantar con una mano la estructura y que una sola persona pueda manipular todo el marco. Así mismo es importante recalcar que se utilizó aluminio como material de esta estructura debido a que está diseñada para soportar a una única persona en todo momento y al mismo tiempo disminuir su peso (20 [kg]).

Finalmente, la unión con las estructuras inferiores se realiza con un perfil en C que embona con el perfil rectangular en sus dimensiones y se delimita por los 875 [mm] de la estructura, de tal forma que la unión tiene un ligero juego para que los operarios únicamente lo pongan de forma aproximada y no se requiera una exactitud en el ensamble.

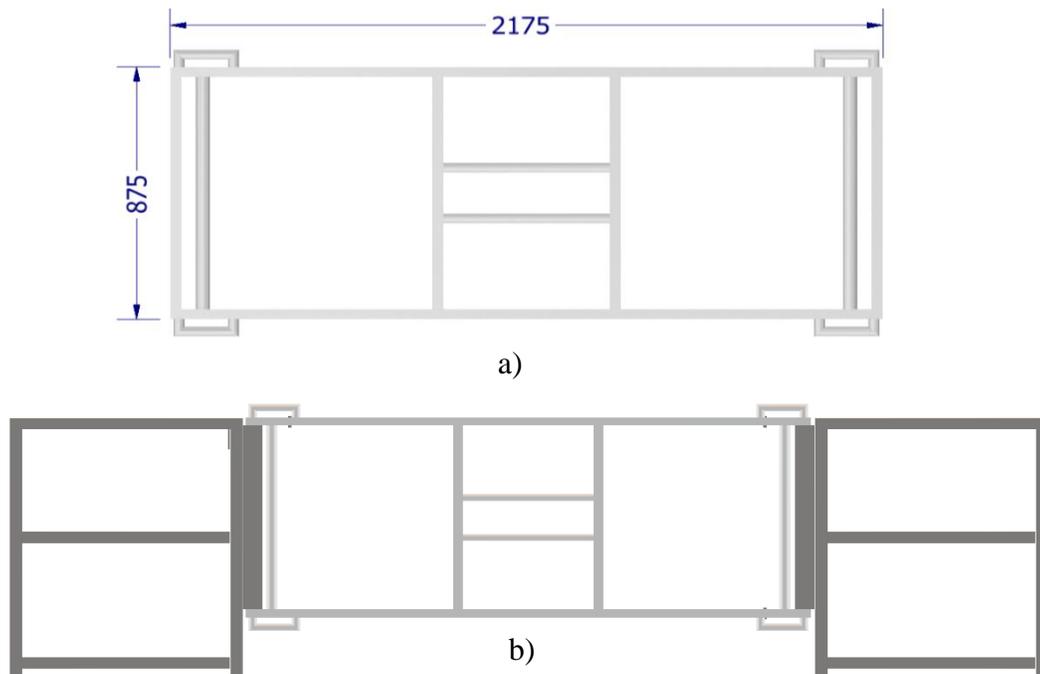


Ilustración 52. a) Plataforma de supervisión b) Vista inferior de la posición final de la plataforma de supervisión
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]

5.3.1 Rejillas

Siguiendo con los detalles finales que no corresponden a un requerimiento técnico específico, se realizaron diversas cotizaciones de los pisos en todos los marcos que lo requieran (estructura principal, circulaciones, pasillos y plataforma). Sin embargo, con el afán de no aumentar el peso de las estructuras con una rejilla y barandales metálicos se decidió utilizar un material mucho más ligero, aunque con menor resistencia mecánica debido a que ninguna de estas estructuras estará sometido a esfuerzos de gran magnitud. De esta manera se explora el mercado de las estructuras de polímero reforzado con resinas de vidrio. En esta gama de materiales únicamente se encuentran de forma comercial dos tipos de rejilla, las de tipo pultruidas y las moldeadas. La diferencia radica en su proceso de manufactura y las dimensiones a las que se puede adaptar cada uno. Debido a que la carga que tiene que soportar la rejilla no tiene una influencia directa con el proceso de selección, únicamente se evaluó el costo y la adaptabilidad de cada una de las rejillas.

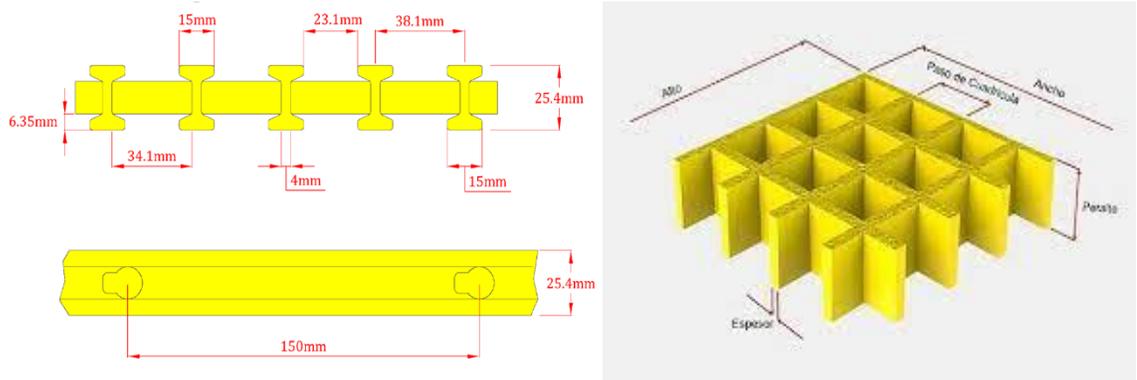


Ilustración 53. Rejilla pultruida (izquierda) y moldeada (izquierda).
 Recuperadas de: Rejiglass y <https://bit.ly/3NjdNI9> el 07 de junio, 2022.

No obstante, se debía cubrir otra condición para el buen funcionamiento de las rejillas, un acabado anti derrapante debido a que estarán expuestas directamente a todo tipo de residuos orgánicos haciendo que la plataforma sea una superficie insegura.

Debido a que son las únicas que tienen este tipo de acabado superficial, se determinó el uso de las rejillas moldeadas. El peso de cada módulo de rejilla de 3 x 10 [ft] es de 32 [kg], un peso reducido para una rejilla de dichas dimensiones, pero debe ser tomado en cuenta para la cantidad de personas que deben realizar el despliegue (siendo dos personas de cada lado del pasillo para reducir el peso que deben manejar). Dichas rejillas cumplen con la norma ASTM F-1092 contra la propagación de flama y resistencia a la corrosión.

Para realizar la cotización con el proveedor únicamente fue necesario realizar una estimación de cuántos módulos se requerían y las dimensiones generales/cortes que llevarían para calcular el costo de la manufactura extra.

Con el afán de no perder rigidez o generar zonas con concentraciones de esfuerzos, los bastidores estructurales de los pasillos/circulaciones no se barrenaron en ningún punto, sin embargo, la unión de las rejillas se hace mediante tornillería y el soldarla haría que cada que se rompa o sufra un desperfecto tenga que desarmarse toda la estructura.

Debido a esto, se colocaron placas en 8 puntos acotados en la ilustración 54 de tal forma que se puedan atornillar en estas piezas sin dañar ni modificar la estructura principal.

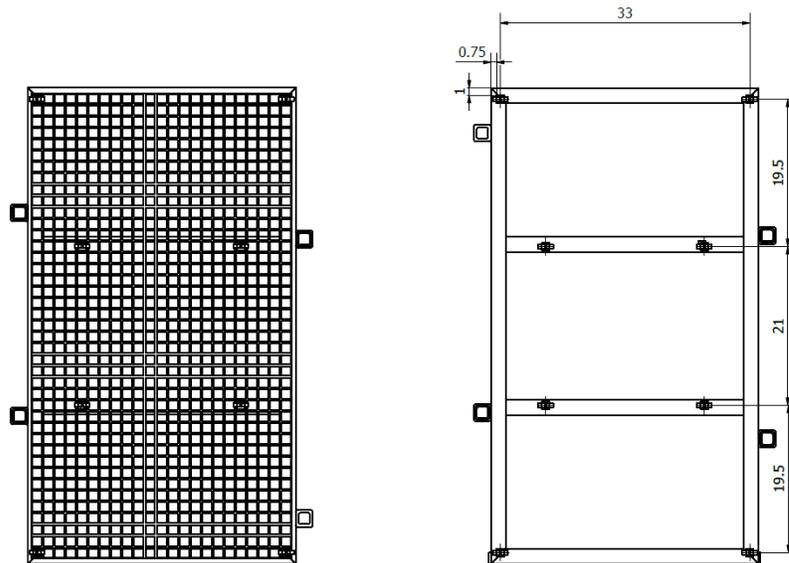


Ilustración 54. Anclaje de rejillas a bastidores de pasillos de supervisión

5.3.2 Barandales

Los barandales del sistema fueron contemplados desde la concepción del sistema de supervisión (ilustración 55) con el afán de proporcionar protección a los usuarios del sistema, aunado a que la NOM-009-STPS-2011 [28] contempla como trabajo de altura cualquier actividad de mantenimiento, limpieza, operación, etc. que se realice a alturas mayores a 1.80 m sobre el nivel de referencia (en este caso, el agua).

Dentro de la misma norma, en el apartado 9.1 se habla sobre andamios o estructuras para trabajos de altura, las cuales requieren barandales de al menos 90 cm de altura. Tomando como base la necesidad de barandales debido al tipo de trabajos que se realizarán y tomando en cuenta que el piso iba a ser de polímero reforzado con fibra de vidrio, se procedió a utilizar la norma ASTM F-1092 [29] la cual contempla los requisitos mínimos que debe tener un barandal de este tipo de material. A continuación, se muestra una imagen con las dimensiones con las que debe cumplir:

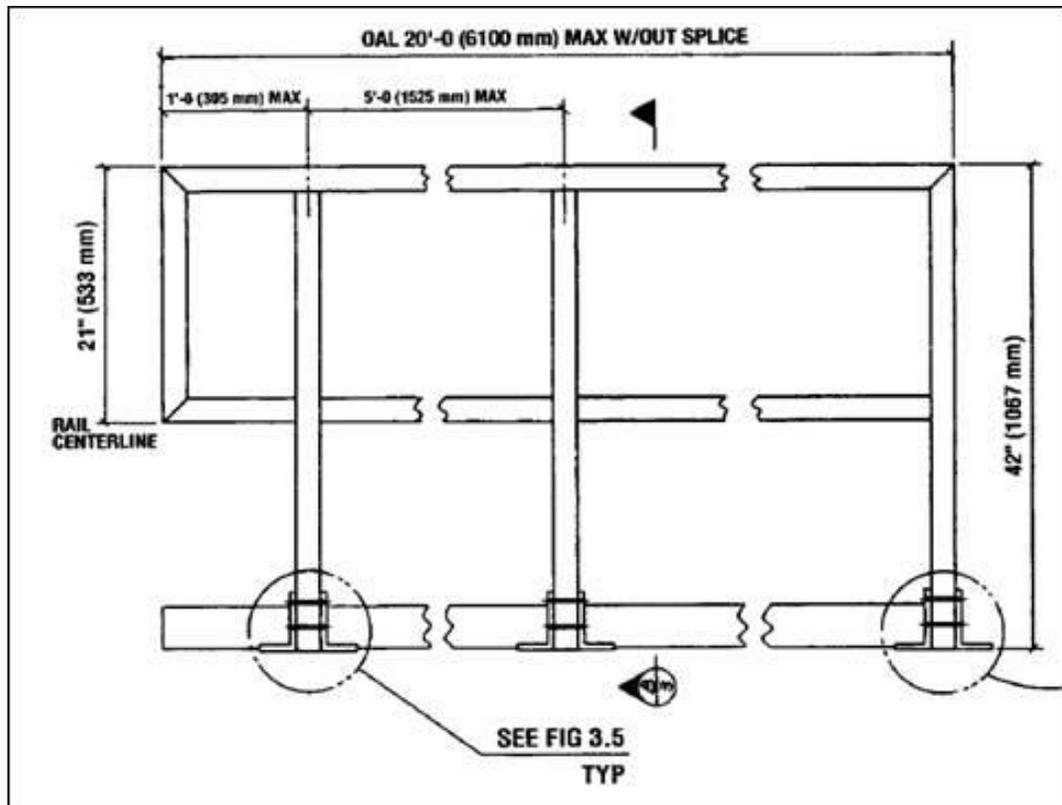


Ilustración 55. Dimensiones máximas disponibles para barandales de polímero reforzado
 Recuperada de la norma ASTM F-1092

La configuración mostrada en la ilustración 55 detalla las dimensiones máximas tolerables para los barandales de polímero reforzado para trabajos en altura.

Debido al requisito de transportabilidad, los barandales deben caber dentro de la estructura del camión, haciendo que se realicen tramos exteriores, interiores y para los bordes del pasillo de tal forma que los usuarios puedan acceder a la presa desde la parte trasera mientras trabaja el extractor y remover objetos que puedan dañar el mecanismo de extracción.

De esta manera se diseñaron 3 tipos de barandales, un barandal “corto” el cual se mencionó anteriormente y tiene la función de ser retirado con facilidad y tener un acceso casi inmediato hacia la presa y el extractor. Un barandal con dos puntos de apoyo y uno barandal con tres puntos de apoyo debido a su gran longitud y las medidas máximas permisibles.

Los barandales tienen un punto de apoyo similar al de la ilustración 55. A continuación, se muestra un corte de sección del apoyo. Dicho apoyo se fabricará con acero inoxidable para aumentar su resistencia a la corrosión y tendrá un draft con un ajuste en la parte inferior del

apoyo para que se inserte geométricamente la pata al apoyo y se ancle por la misma interferencia que se genera. No obstante, si el barandal se encuentra sujeto al apoyo de una persona recargada sobre el barandal y únicamente se consideran los anclajes en la base, los barandales no son capaces de resistir dicha carga debido a que se produce un momento desde la base hasta la parte superior del barandal, por lo que se requiere un apoyo extra para rigidizar cada uno de los barandales. Para realizar una propuesta adecuada, se realizó un análisis del tipo de falla que se puede producir en las condiciones de trabajo. Es importante resaltar que los barandales se planteaban utilizar como una barrera de seguridad, sin embargo, no se tiene contemplado que sea un punto de apoyo para reposar, no obstante, para autorizar la implementación de este material como se plantea se requiere que resistan una carga equivalente a la de un hombre apoyado completamente en el borde superior del barandal.

El análisis se consideraron dos escenarios bajo las mismas condiciones de carga, un barandal empotrado únicamente por la parte inferior de las patas (a) y otro que además de los apoyos inferiores tiene empotres en los costados (b) haciendo que el esfuerzo provocado por el momento generado se reduzca y se pueda rigidizar la estructura entera.

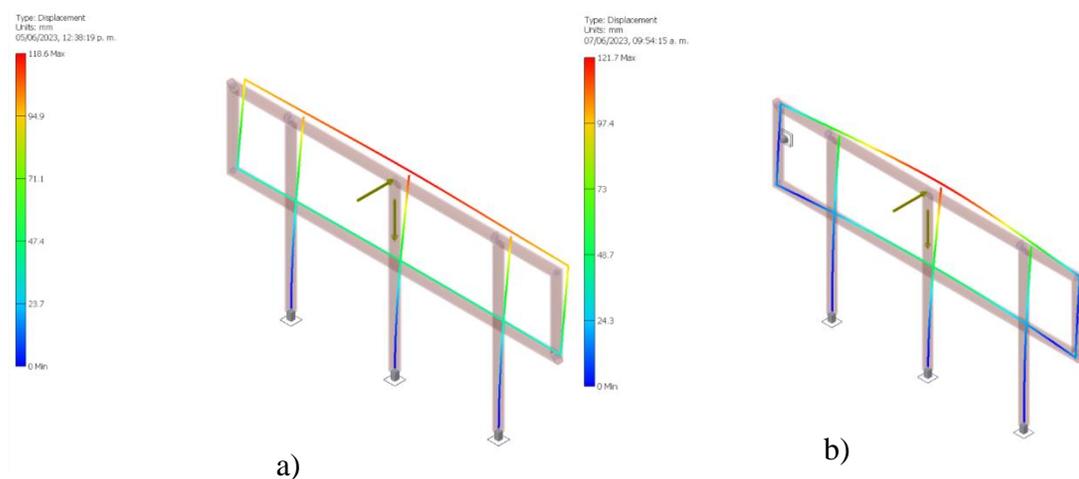


Ilustración 56. a) Análisis del barandal con empotre en los tres apoyos. B) Análisis del barandal con empotre en los tres apoyos y una restricción de un grado de libertad en dirección opuesta a la fuerza aplicada

Para lograr dicho empotre lateral entre los barandales se utilizaron unas abrazaderas de palanca tipo pestillo horizontal ajustables, haciendo que sin importar la distancia o el ángulo en que se coloquen el resto de las piezas se puede modificar la distancia a la que se encuentran entre sí.

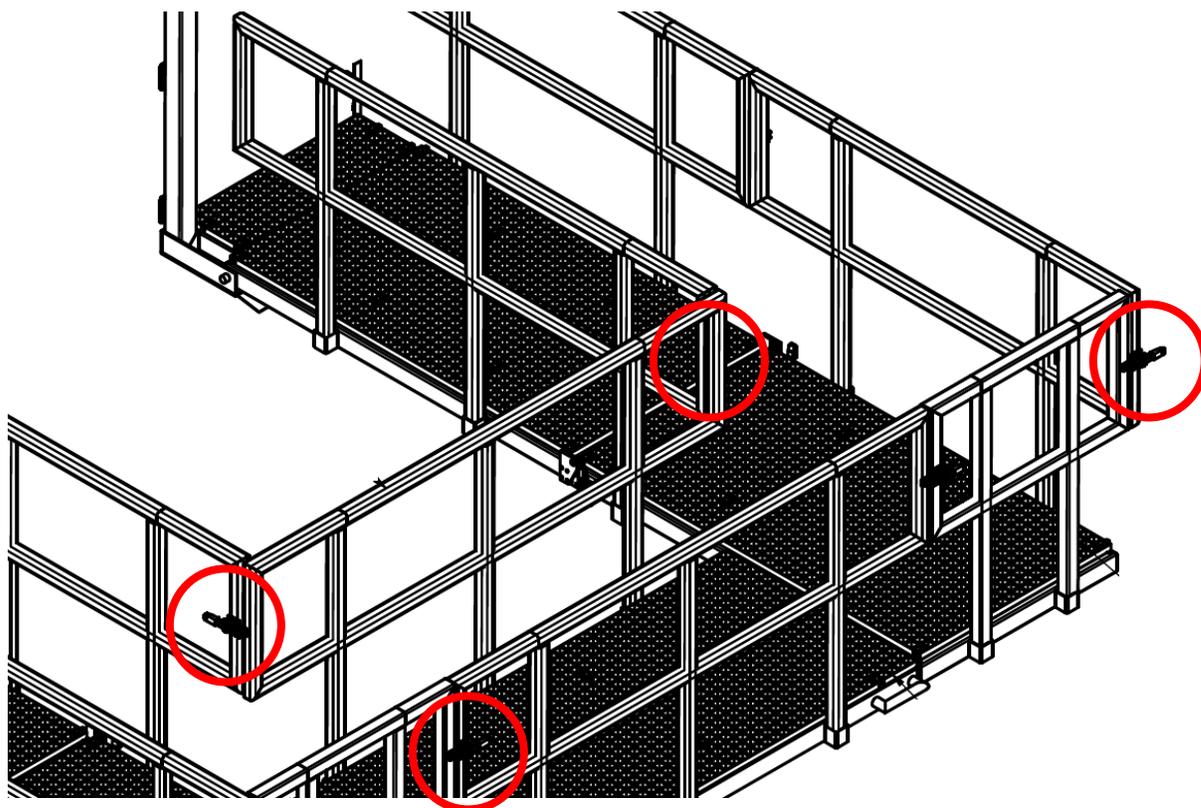


Ilustración 57. Unión entre barandales de polímero reforzado con fibra de vidrio

De manera análoga, no se realizó ningún barreno en los barandales debido a que el material requiere herramientas especiales para ser modificado y las distancias entre cada barandal depende en mayor medida de la manufactura, por lo que también se utilizó una unión con placas recortadas en los puntos donde se requiere utilizar los mecanismos de unión.

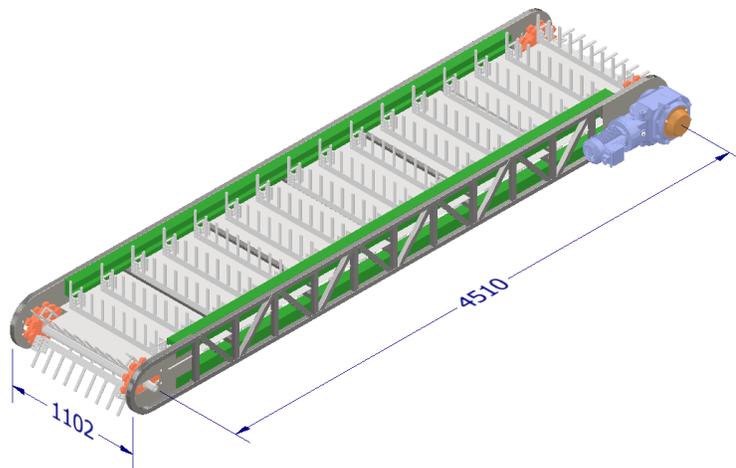
En el Anexo D se adjunta el plano general del sistema de circulaciones final y su correspondiente estructura inferior.

6. DESARROLLO DE RAMPA DE TRABAJO

6.1 Trayectoria del sistema de extracción

Una vez finalizado el diseño de los pasillos en una primera iteración, se prosigue a desarrollar el sistema de descenso del mecanismo de extracción. Es necesario mencionar en qué consiste dicho sistema en el momento en el que se comienza a detallar el sistema de descenso.

El extractor que se puede observar en la ilustración 58 consiste en una cadena de acero unida a unos cangilones que, mediante un motor, realizan ciclos de movimiento continuo. Los cangilones tienen una forma geométrica que permite la recolección de residuos flotantes en cuerpos de agua y están diseñados dimensionalmente para permitir el acceso de botellas de PET de hasta 3L. El movimiento que realizan los cangilones está definido por la posición de la cadena y las dimensiones de las catarinas. Así mismo, el mecanismo cuenta con un chasis externo que permite rigidizar el sistema mediante un arreglo de perfiles tubulares huecos y finalmente, tiene láminas de acero inoxidable en el centro para permitir que el flujo de los residuos líquidos que no puede capturar el sistema de extracción vuelva a la presa.



*Ilustración 58. Sistema de extracción
Elaboración recuperada del reporte final de la UNAM y SECTEI [13]*

Las dimensiones generales del extractor son de 1100 [mm] de ancho con 4500 [mm] de largo medidos desde el centro de los radios. Una vez teniendo la estructura principal determinada, se procede a analizar las formas en que se podía transportar. Cabe mencionar que el tema del traslado y trayectoria toman un peso importante en el mecanismo de funcionamiento debido a que únicamente el sistema mostrado en la ilustración 58 pesa más de una tonelada,

haciendo que el mecanismo de traslado requiera soportar un posible “esfuerzo súbito” provocado por un peso de tal magnitud, así como la buena selección de rodajas/ruedas que aseguren el buen funcionamiento durante la ejecución de la limpieza, resistentes a la corrosión, y finalmente que se puedan modificar con relativa facilidad en caso de requerir mantenimiento.

Para desarrollar la trayectoria del sistema, se realizó de forma paralela la sección de las ruedas, el mecanismo que se requiere para soportar el extractor y las posiciones en las cuales se debe encontrar el sistema cuando se encuentra en reposo y cuando está en operación.

En la ilustración 59 se presenta la trayectoria planteada inicialmente con la posición de las ruedas requeridas para que al momento de guardarse dentro de la estructura trasera no tenga interferencia con el habitáculo y en la posición de trabajo para que las ruedas no se mojen con el agua de la presa.

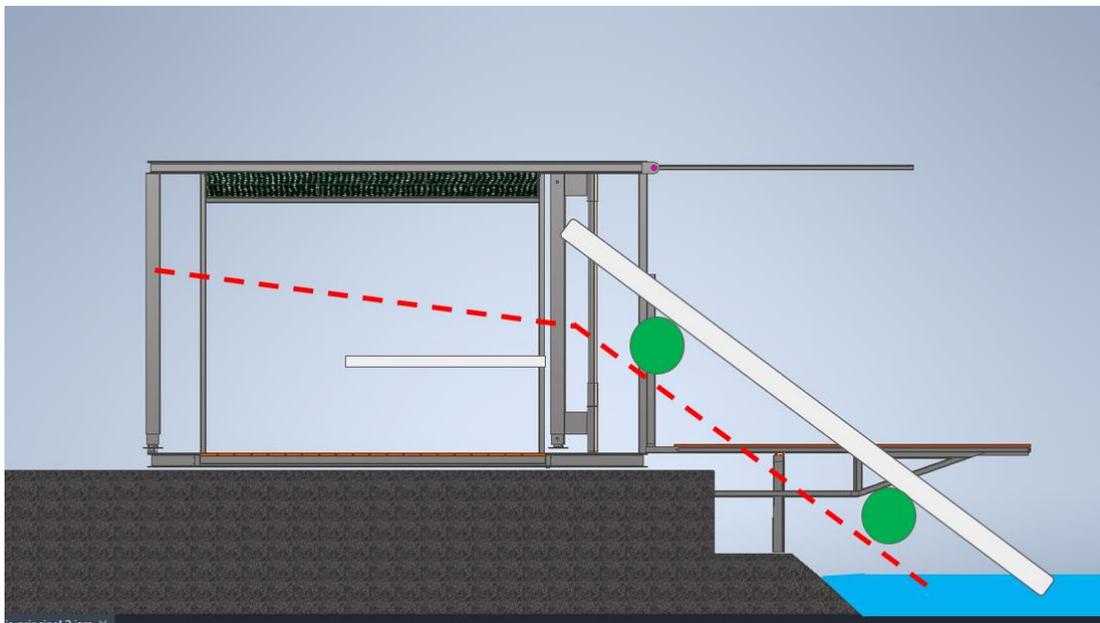


Ilustración 59. Trayectoria preliminar tomando como base la longitud del sistema de extracción

En la trayectoria preliminar se detectaron algunas inconsistencias que requirieron ser solucionadas:

- La trayectoria cambia el ángulo de dirección de forma abrupta
- Para realizar de forma adecuada la operación del sistema, se requiere que en la posición de trabajo se ancle de alguna forma al sistema

- En la posición de guardado se requiere limitar en todas las direcciones el movimiento, ya que en esta posición se transportará todo el sistema.
- Se deben modificar los ángulos de las trayectorias para que, al momento de realizar el cambio de dirección, el sistema de extracción no toque la parte superior del contenedor
- Verificar la altura de la posición final del extractor para cubrir las variaciones del agua de la presa

Las medidas y posiciones de las trayectorias quedan restringidas por la interacción entre todos los subsistemas, siendo los principales en consideración el sistema de separación (el cual consta de una banda transportadora que se encarga de separar el azolve de los residuos flotantes), el sistema de trituración (ilustración 60) y la posible planta eléctrica con la que se planea energizar todos los sistemas.

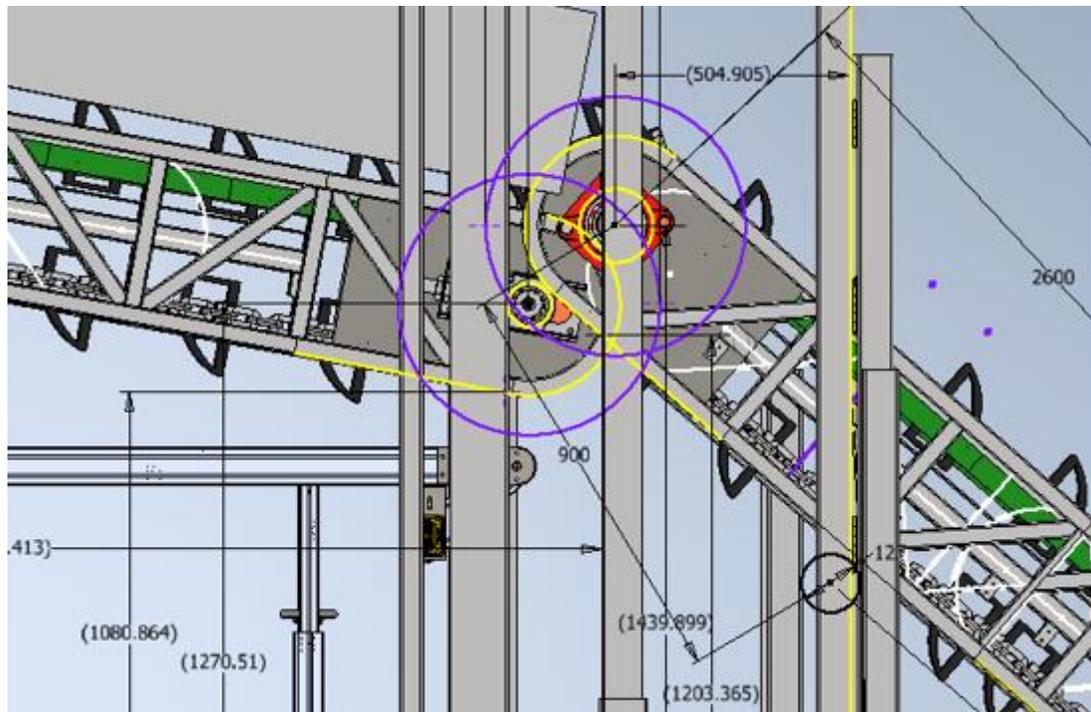


Ilustración 60. Intersección entre posición de guardado y posición de trabajo del sistema de extracción

Es importante resaltar la importancia que brinda el hacer un análisis de usuario, debido a que, como se mencionó en el cuarto capítulo, los operarios del sistema serán una cuadrilla de 5 de hombres de edad entre 25-50 años los cuales trabajan aproximadamente 6 horas de trabajo efectivas. Si tomamos como premisa que la banda de separación requiere de tenerlos de forma

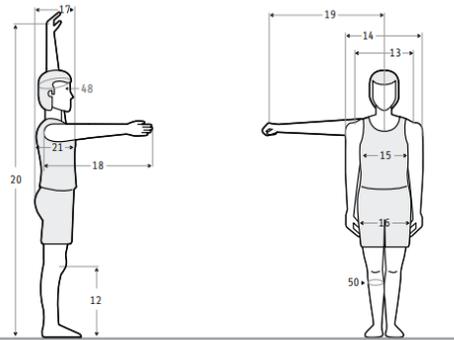
continúa clasificando los residuos, es importante que la altura de la banda se encuentre a una altura cómoda ergonómicamente.

En el artículo publicado por Chauran Ávila et al. (2007) denominado *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana* [30] se encuentra una tabla de proporciones para “Posición de pie. Trabajadores industriales. Sexo masculino de 18 a 65 años” en la que se puede hallar que el alcance máximo vertical que tienen (se muestra la posición en la siguiente figura) es de 2,042 [cm], mientras la extensión del brazo llega a los 748 [cm]. Con estas medidas se puede configurar la altura máxima que debe tener el habitáculo para que sea alcanzable para los usuarios sin necesidad de estirarse o hacer esfuerzos extra, ya sea para gabinetes, botones de emergencia/arranque e inclusive colocar la altura máxima para poner el techo con respecto a la altura promedio latinoamericana. Así mismo se obtiene el ancho de la banda de separación ideal (1 [m]) con un operario en cada lado de forma alternada para que no tengan que estirarse para alcanzar los residuos y exponerse a algún peligro por entrar en contacto con la banda.

Otras dimensiones que se consideraron fue la altura máxima promedio la cual alcanza los 1675 [cm] y la altura del codo con el brazo flexionado (1068 [cm]). Haciendo que la posición idónea para la banda de separación sea de 1 [m] de alto por 1 [m] de ancho. (ilustración 61)

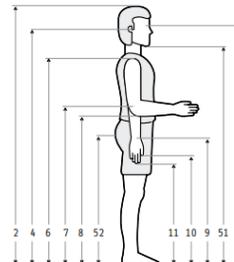
Finalmente, se debe considerar como restricción extra la altura en la que se encontrará el sistema de extracción en su posición de guardado debido a la medida máxima permitida para cualquier clase de vehículo que transita en las vías generales de comunicación de jurisdicción oficial es de 4.25 m [23]. En la ilustración 61 se muestran las dos posiciones que se utilizaron para tomar las referencias de las posiciones de los usuarios, a su vez se encuentran medidas varias partes del cuerpo, así como espesor de manos, tamaños, etc. que sirve para diseñar los barandales, pasamanos y cordones de emergencia.

**En posición de pie
Trabajadores industriales
Sexo masculino
18 a 65 años**



Dimensiones	18 - 65 años (n=396)					
	\bar{x}	D.E.	Percentiles			
			5	50	95	
12	Altura rodilla	478	28.76	434	476	526
13	Diámetro máx. bideltoides	478	41.17	422	472	544
14	Anchura máx. cuerpo	523	41.34	455	520	596
15	Diámetro transversal tórax	342	34.12	293	338	398
16	Diámetro bitrocantérico	342	22.69	310	341	387
17	Profundidad máx. cuerpo	275	37.45	219	272	323
18	Alcance brazo frontal	748	37.32	590	648	810
19	Alcance brazo lateral	709	81.50	581	738	818
20	Alcance máx. vertical	2042	113.57	1900	2043	2200
21	Profundidad tórax	238	28.32	196	235	287
48	Perímetro cabeza	569	18.13	540	568	596
50	Perímetro pantorrilla	365	33.78	315	362	420

**En posición de pie
Trabajadores industriales
Sexo masculino
18 a 65 años**



Dimensiones	18 - 65 años (n=396)					
	\bar{x}	D.E.	Percentiles			
			5	50	95	
1	Peso (Kg)	73	12.33	55.31	72.10	97.30
2	Estatura	1675	62.80	1576	1668	1780
3	Altura de ojos	1550	61.80	1447	1546	1651
4	Altura oído	1538	63.70	1439	1534	1635
6	Altura hombro	1380	58.49	1281	1377	1477
7	Altura codo	1068	55.02	988	1065	1145
8	Altura codo flexionado	969	40.81	906	969	1046
9	Altura muñeca	825	39.49	757	822	919
10	Altura nudillo	740	43.56	680	740	800
11	Altura dedo medio	639	35.31	584	638	697
33	Diámetro a-p cabeza	198	8.98	182	194	205
51	Altura mentón	1442	61.20	1337	1440	1544
52	Altura trocánter may.	873	44.61	810	872	940

*Ilustración 61. Tablas dimensionales antropométricas
Recuperadas de: Dimensiones antropométricas de población [30]*

En la ilustración 62 se muestran las alturas de los sistemas de extracción, separación y trituración. Considerando que la estructura que transporta el sistema “Todo en Uno” tiene una altura aproximada de 2.83 m y el vehículo que se plantea utilizar para el transporte perteneciente a SACMEX (UNIMOG 5000) mide 1.29 m lo cual produce un total de 4.12 m. Y a su vez, asumiendo que el techo del transporte queda en la posición horizontal se determina un umbral 100 cm aproximadamente para no exceder los límites permisibles.

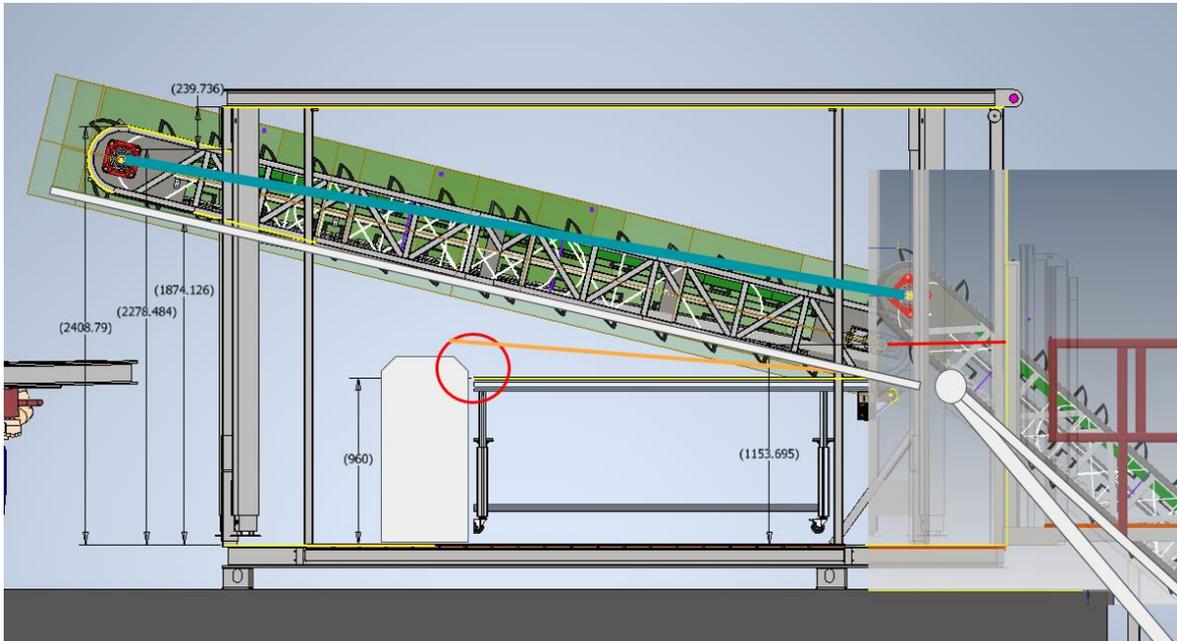


Ilustración 62. Alturas del sistema de extracción

A continuación, se muestra la trayectoria final que se obtiene con todas las observaciones realizadas.

En la ilustración 63 se muestran tres líneas punteadas. Las líneas punteadas de color rojo muestran la posición de la rampa de guardado en sus dos posiciones: la primera posición es cuando está inclinada en un solo ángulo completamente recta. En este momento es cuando estará cargando el extractor y esta posición cumple con dos tareas. El tener una posición de guardado al momento de que el camión se ponga en movimiento y el de conectar con la rampa de trabajo al momento realizar el movimiento del extractor hacia el cuerpo del agua.

Lado contrario es la segunda posición mostrada. En esta configuración, la rampa tiene un ángulo entre 0 y 45 grados con el afán de permitir a los usuarios hacer uso del espacio intermedio que hay en la estación de trabajo.

Mientras tanto, la rampa de guardado se muestra con la línea punteada de color amarillo. Esta rampa únicamente cuenta con una posición en el esquema debido a que se plantea que conceptualmente se pueda guardar mediante algún mecanismo y se adapte a la inclinación de la plancha de secado buscando ser paralela a esta en todo momento teniendo únicamente un rango de movimiento de 5 grados.

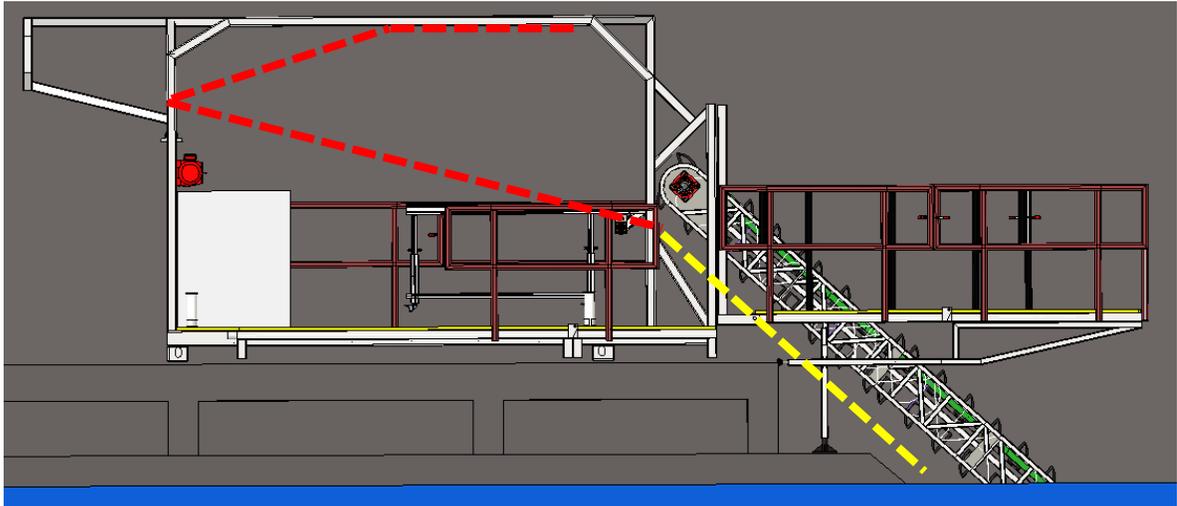


Ilustración 63. Trayectorias finales de la rampa de trabajo y la rampa de guardado

6.2 Desarrollo conceptual rampa de trabajo

Enfocando el presente trabajo únicamente en el desarrollo de la rampa de trabajo, se requiere definir la posición exacta en la que se busca posicionar el extractor en función de los requerimientos del sistema.

Antes de continuar con el desarrollo del concepto, es importante mencionar nuevamente que las presas de SACMEX pueden modificar la altura del nivel de agua en el cuerpo en caso de requerirse (como es el caso de la limpieza de estas comentada en el capítulo 2). El nivel en el que se puede mantener el nivel de la presa es a 50 [cm] con respecto a la plancha de secado (en caso de la presa de Tacubaya) y a 100 [cm]. Para fijar una posición de trabajo idónea, se adicionó una restricción geométrica sobre el extractor: el cambio de dirección en los cangilones debe darse debajo del menor nivel del agua para asegurar que el mecanismo haga un movimiento de agarre. Para realizar dicha restricción de manera adecuada, se establece

que la distancia aproximada entre el punto más lejano del cangilón y el nivel del agua de la presa debe ser de 55 [cm] (ilustración 64).

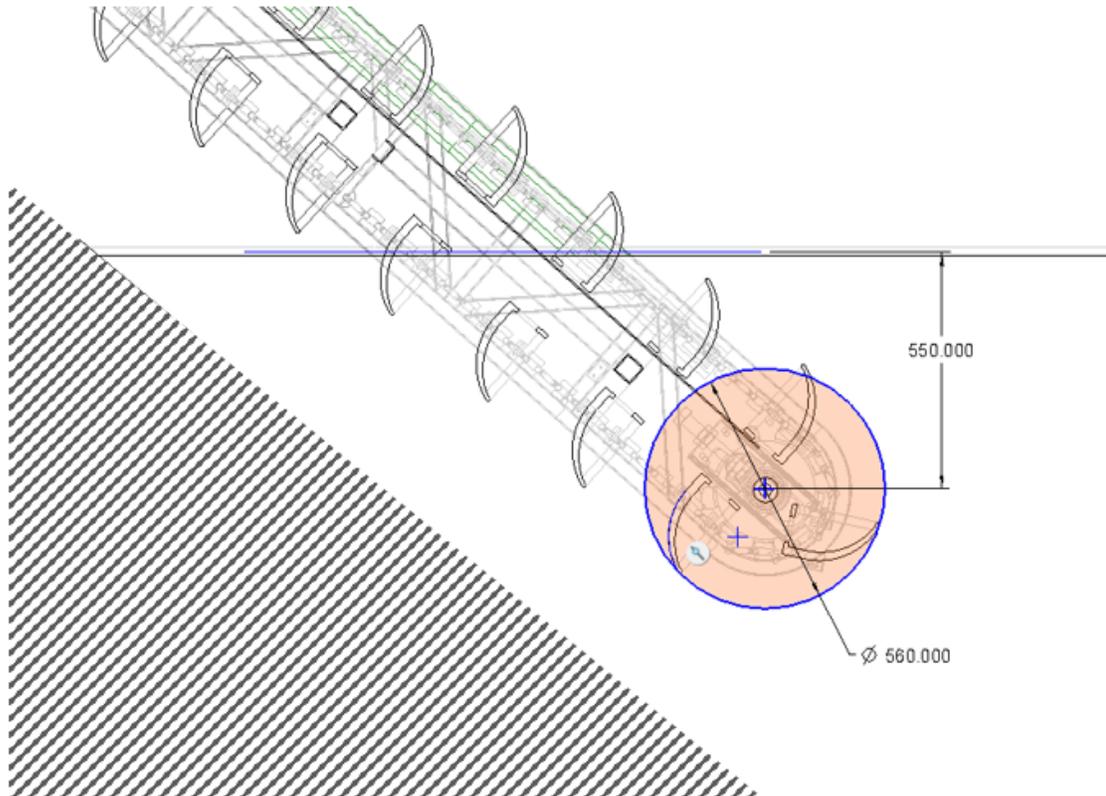


Ilustración 64. Restricción de posición de la rampa de trabajo sobre la plancha de secado

A partir de esta restricción de posición, con la definición del extractor y con la trayectoria esperada se comienza a trabajar en la rampa de trabajo.

Para realizar el diseño de los pasillos de circulación y el contenedor del mecanismo “Todo en Uno” ya se habían realizado tareas de cotización con proveedores e iteraciones de análisis de esfuerzo mecánico, por lo que en esta fase de desarrollo únicamente se generó un catálogo de selección de material y perfiles.

Además de las restricciones de diseño ya mencionadas, cabe agregar que las configuraciones que se buscaron fue la de tener materiales estructurales que además de dar soporte pudieran fungir como carriles para las ruedas del extractor. A continuación, se muestran las ocho combinaciones a las que se llegó en conjunto con el equipo de diseño.

En la ilustración se muestran dos conceptos diferentes. Realizar la manufactura a partir de la unión de placas de acero inoxidable de 3/16" para obtener las configuraciones de riel L-L, C-L y C-C y configuraciones con perfiles preexistentes.

Bajo la premisa de realizar los rieles únicamente con placa, se hace la hipótesis de que esas configuraciones soportan completamente el peso del extractor, mientras que las otras ideas parten de la premisa de que los perfiles no son suficientes para soportar el peso del extractor y para hacer que funcione, se requiere de un bastidor de refuerzo con diversos perfiles (refuerzo C, I y solera) y travesaños cada determinada longitud que ayude a aportar rigidez al bastidor, así como mejorar la torsión que puede generarse por un desbalance al momento de realizar el trabajo de extracción de residuos o algún mal acople entre alguna pata, tener un mecanismo que pueda soportar esfuerzos no previstos.

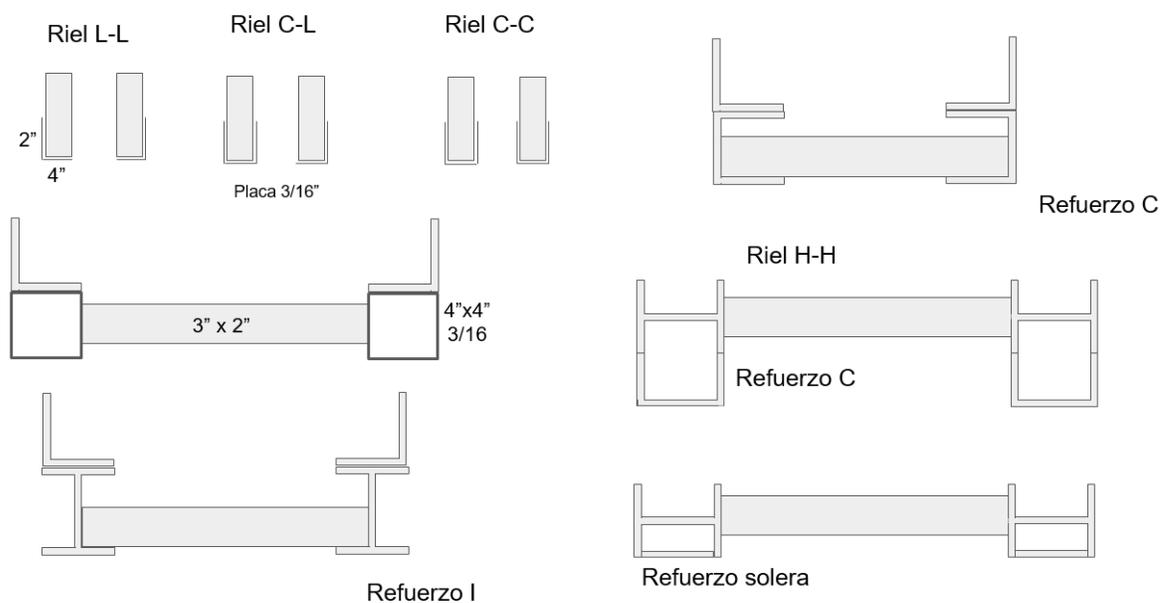


Ilustración 65. Opciones de perfiles para fabricar un carril para el sistema de extracción

En paralelo del desarrollo del sistema de rampas de trabajo, se realizaba la manufactura del sistema de extracción en el que se pudo observar el trabajo de soldadura que se llevaba a cabo, el cual era bastante bueno para temas de apariencia y unión, pero no estructuralmente. Es por ello que se descarta la idea de dar forma a los rieles de forma artesanal.

Con respecto al resto de las opciones (por parte del tema de cotizaciones y contacto con proveedores) se opta por la obtención de perfiles comerciales utilizados frecuentemente en

México para disminuir los costos. Al seleccionar el material de los perfiles, se busca un material que ofrezca la posibilidad de resistir las cargas que se esperan con un factor de seguridad propicio por lo que se define que se requieren perfiles cuadrados huecos de acero inoxidable HSS (*hollow structural sections*). Este tipo de material se utiliza comúnmente en construcción de naves industriales, por lo que emplearlo en este proyecto bajo la premisa de la carga que van a soportar es una opción altamente viable.

No obstante, una de las características deseadas es que el perfil pueda ser utilizado como un riel, por lo que de la lluvia de ideas de configuraciones a utilizar se terminan fusionando los rieles L-L con el refuerzo de perfiles cuadrados huecos. Es decir, se obtendrán los perfiles huecos mediante un proveedor y se soldarán al costado placas de acero que permitan restringir el movimiento del extractor.

Una vez con la definición del material con el que se planea realizar la rampa de trabajo, la delimitación del área de trabajo y las posiciones deseadas en las que se encontrarán tanto el extractor como las rampas, se debe considerar aún la situación de la ilustración 66 en la que ambas posiciones del extractor se encuentran desfasadas de las posiciones que se plantean debido a que la posición más lejana de la rampa de trabajo se encuentra sin definir así como la inclinación final de la rampa de guardado.

Para resolver esta problemática se proponen tres casos diferentes para modificar la altura de la posición de la rampa de trabajo sin afectar la posición de la rampa de guardado.

El primer caso consiste en un mecanismo que se pueda apoyar en la esquina de la plancha de concreto de tal forma que se pueda modificar sus dimensiones únicamente en dos grados de libertad (caso 1 ilustración 66). De esta forma, las cargas generadas por el extractor y la rampa de trabajo se transmiten directamente a la presa y los elementos estructurales de los pasillos no se encuentran bajo dichas cargas durante la operación de extracción. Es importante resaltar que, en este caso, el eje de rotación de la rampa de trabajo se encuentra en la unión entre las dos rampas por lo que el tipo de unión únicamente requiere ser de un grado de libertad y con la modificación de longitudes en el dispositivo permite cambiar únicamente el ángulo de la rampa de trabajo. Bajo dicha premisa, esta configuración permite el descenso del sistema de extracción con una trayectoria recta alineando ambas rampas y

utilizar el mecanismo para realizar el descenso y colocarlo en la posición de trabajo la cual puede variar en función del nivel del agua de la presa.

El caso número dos consiste en posicionar el eje de rotación sobre el soporte vertical de la rampa. Esto permitiría cambiar la longitud del soporte horizontal y a su vez el ángulo de la rampa. Sin embargo, en caso de no ser automatizado, el cambio de longitud horizontal tendría que llevarse a cabo manualmente por debajo del nivel del agua. Adicionalmente, este caso requiere de un elemento de unión para conectar ambas rampas que soporte el peso del sistema de extracción y transfiera las vibraciones mecánicas a la plancha de secado.

De forma análoga, el caso número tres cambia la posición del eje de rotación al extremo del soporte horizontal. No obstante, cualquier modificación que se le realice al eje de rotación generará cambios abruptos en la zona de la unión de las rampas. El elemento de unión para este caso estaría sometido a condiciones aún más extremas que en el resto de los casos.

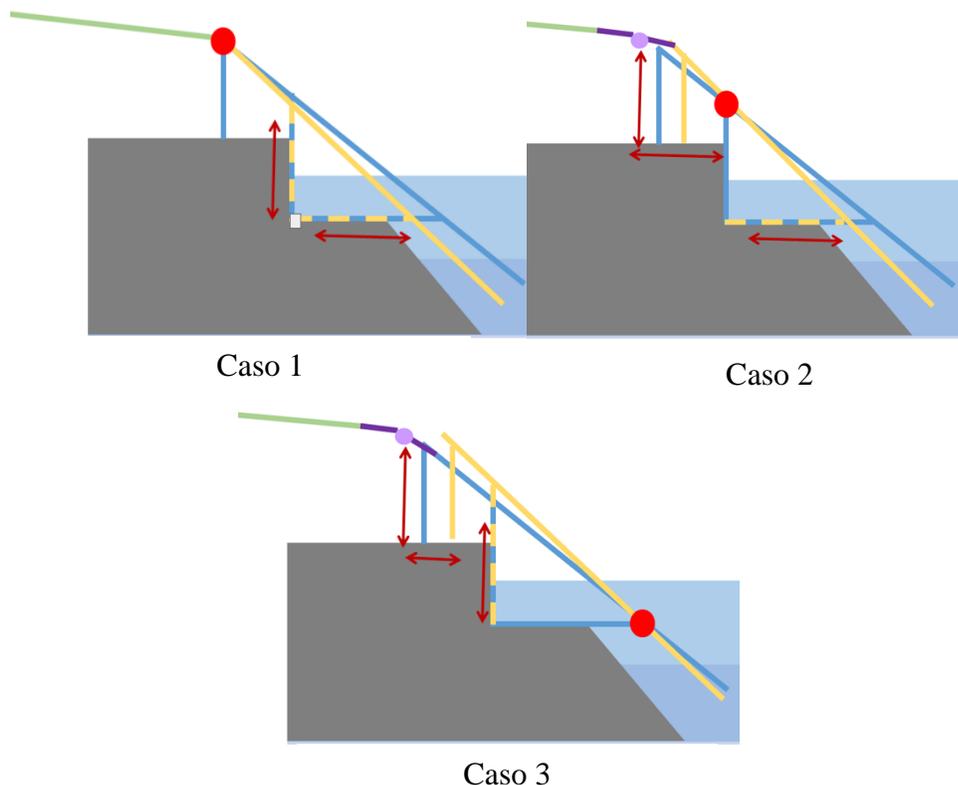


Ilustración 66. Casos de elevación para la posición de trabajo.

Teniendo en cuenta las características de cada una de las opciones, la más favorable es el número uno debido a la practicidad que aporta al desmontaje y en caso de ser logrado

mediante automatización haría que el operario únicamente deba posicionar el apoyo en la parte inferior de la rampa de trabajo. Además de reducir la complejidad de los materiales a emplear. Sin embargo, cabe resaltar que la única fuente de energía que tendrá el equipo es una fuente de capacidad limitada al espacio disponible, en caso de requerir mayor potencia se planea utilizar un vehículo externo que transporte únicamente la fuente, sin embargo, eso implicaría un costo mayor al planteado además de limitar la movilidad del dispositivo y el despliegue de este, por lo que en una primera instancia se busca utilizar la capacidad mínima permisible.

En la ilustración 67 se muestran algunas opciones vistas en el mercado, las cuales incluían rodajas con altura regulable de forma mecánica, rodajas con mecanismos de palanca, patines manuales y algunas patas realizadas con perfiles tubulares rectos que utilizan pasadores para modificar las alturas.

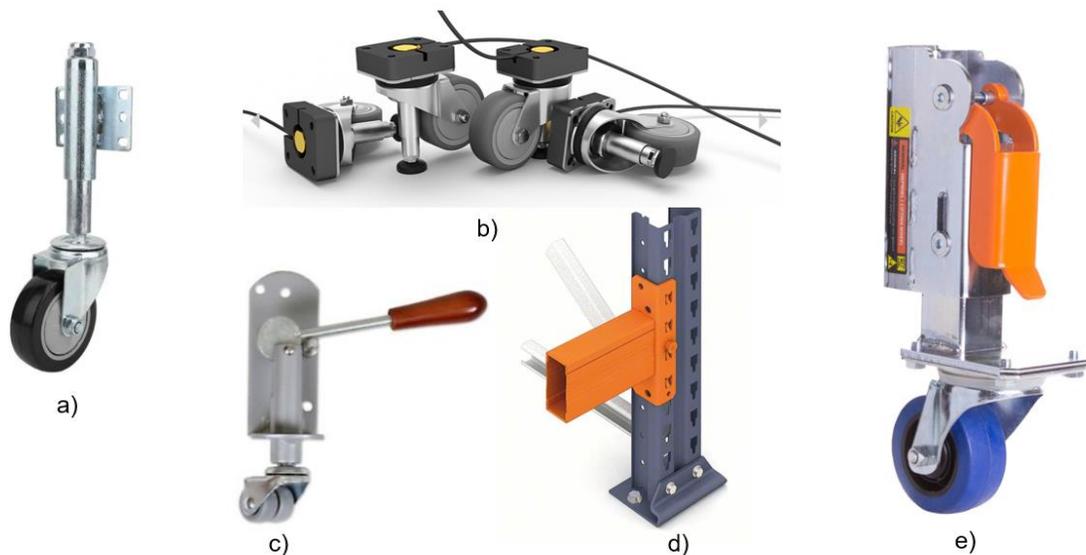


Ilustración 67. Reguladores de altura a) hidráulicos b) con actuador c) con palanca para activación mecánica d) manuales con perfiles embutidos e) neumáticos .

Recuperados de: <https://bit.ly/3Cu5HPP> el 14 de junio, 2023.

El principio de funcionamiento es el mismo en todas las variables modificando únicamente la fuente de energía de la que proviene, de este modo se decide que el mecanismo será completamente manual para evitar aumentar la complejidad al sistema y se realizará mediante patas regulables que no requieran una herramienta especializada.

En la ilustración 68 se muestran dos iteraciones realizadas antes de realizar el diseño final de la rampa de trabajo.

La primera iteración plasmó la idea seleccionada para la solución del desfase entre rampas con dos patas regulables que transmitan la carga que se genera con el extractor directamente a la plancha de secado. En la segunda iteración se remueve la pata horizontal al proponer dos apoyos fijos, uno que descansa directamente en la estructura del “Todo en Uno” y otra que descansa en la plancha de secado de tal forma que siempre quede paralela y el momento generado sea lo más cercano a cero para que el peso del extractor en la parte inferior sea transferido directamente a la plancha

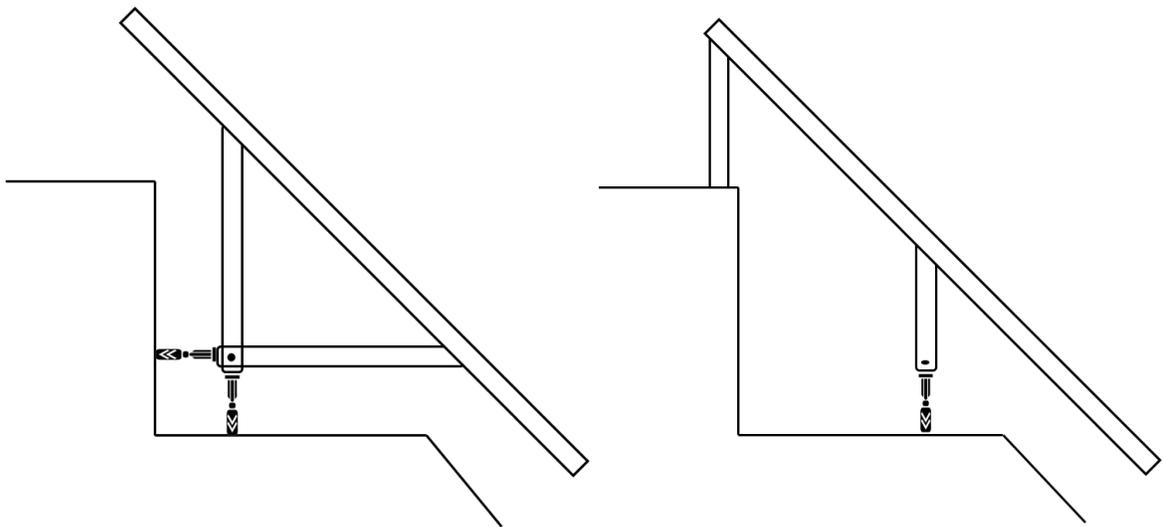


Ilustración 68. Propuestas de posición para los apoyos de la rampa de trabajo

Con la primera configuración mostrada, aunque no se tenga la definición de la altura del nivel de agua ni el punto de unión con la rampa de guardado se puede lograr posicionar como se desee de tal forma que es completamente compatible con cualquier variación en la plancha de secado de las presas de SACMEX. Sin embargo, planteando un posicionamiento de la rampa completamente manual, los niveladores deberán ajustarse cada una de las veces, así como agregar que las patas regulables serán las directrices de cuánto esfuerzo pueden cargar haciendo que los perfiles no sean el límite permisible.

En la segunda configuración se deja únicamente la pata de nivelación en una dirección, mientras la otra queda definida por la unión entre las rampas como el caso 3 (ilustración 69)

tomando como base que fijando la parte superior de la rampa y un ángulo se puede dar la posición deseada de cualquier rampa disminuyendo la cantidad de nivelaciones posibles.

En la siguiente ilustración se muestra una de las configuraciones mostrada ya con los perfiles seleccionados. Se puede observar que ya se encuentra en la plancha de secado. La parte superior tiene una estructura metálica que separa completamente la rampa del camión y contiene una barra redonda colocada con chumaceras para permitir el libre posicionamiento del sistema.

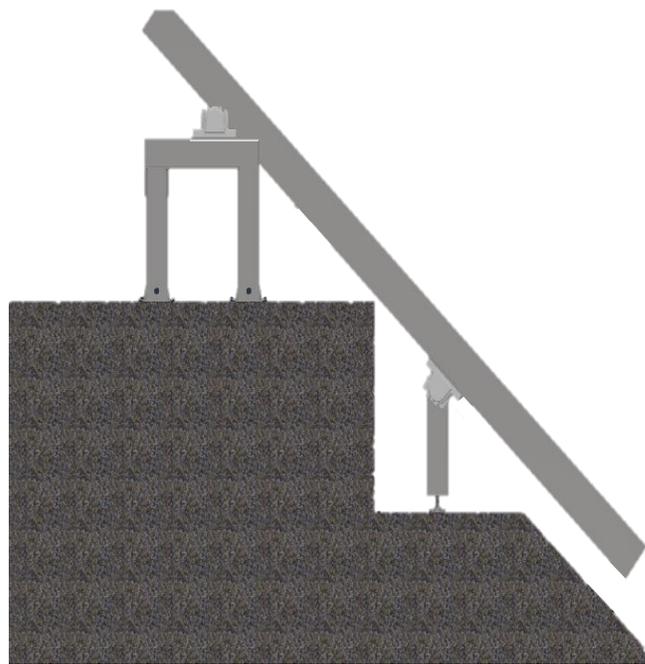


Ilustración 69. Propuesta con dos apoyos rampa en posición de trabajo

Una vez con el desarrollo en esta fase se consideraron algunas observaciones:

- Si la rampa de trabajo se encuentra separada del camión con una base externa se requiere un posicionador para alinear ambos sistemas
- La pata de apoyo contará con un voladizo que también sufrirá de vibraciones por el sistema de extracción
- El uso de chumaceras para giros angulares pequeños aumenta el costo sin aumentar una utilidad visible

- El sistema pesa 187 kg y abarca un espacio sumamente amplio, por lo que se generó una opción para hacer las rampas modulares que se acoplen para formar el tamaño final de la rampa

Con dichas consideraciones, en la estructura del camión se define la altura a la que llegará la rampa de guardado en conjunto con la interfaz entre ambas rampas, fijando la posición superior.

Para acoplar la rampa de guardado con la estructura se utiliza una barra redonda maciza y un perfil en C soldado al extremo que permita la rotación relativa entre los elementos (ilustración 70).

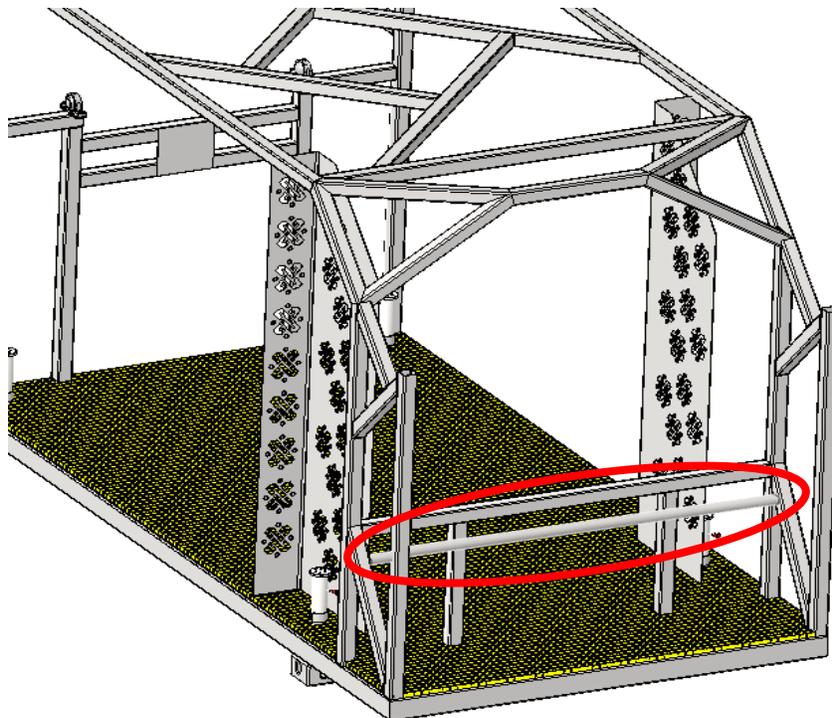


Ilustración 70. Barra redonda en estructura principal para anclaje de rampa de trabajo

En la iteración final se revisan todas las consideraciones mencionadas anteriormente. Con el complemento en la estructura del camión se resuelve la interfaz entre ambos subsistemas y se reduce una chumacera utilizando el perfil en C.

En la parte inferior de la rampa se opta por poner una pata plana en el extremo de la rampa con un ángulo de rotación similar a la que se utiliza en mecanismos de anclaje para anclar maquinaria pesada.

Debido al peso del sistema una vez realizando el modelo con los perfiles seleccionados, se concluye que es sumamente difícil mover dicha plataforma sin ayuda de un mecanismo externo, por lo que se opta en dividir la rampa en tres módulos, cada uno de aproximadamente 47 [kg] cada uno de tal forma que entre dos o tres operarios puedan realizar el posicionamiento de cada uno de ellos. De la misma manera se remueve el apoyo intermedio que se tenía contemplado en iteraciones anteriores ya que con el apoyo inferior apoyado directamente sobre la plataforma de secado se realizaba una sobre restricción de los grados de libertad de la rampa. A continuación (ilustración 71), se muestra el modelo de la rampa unida y cada uno de los módulos diseñados.

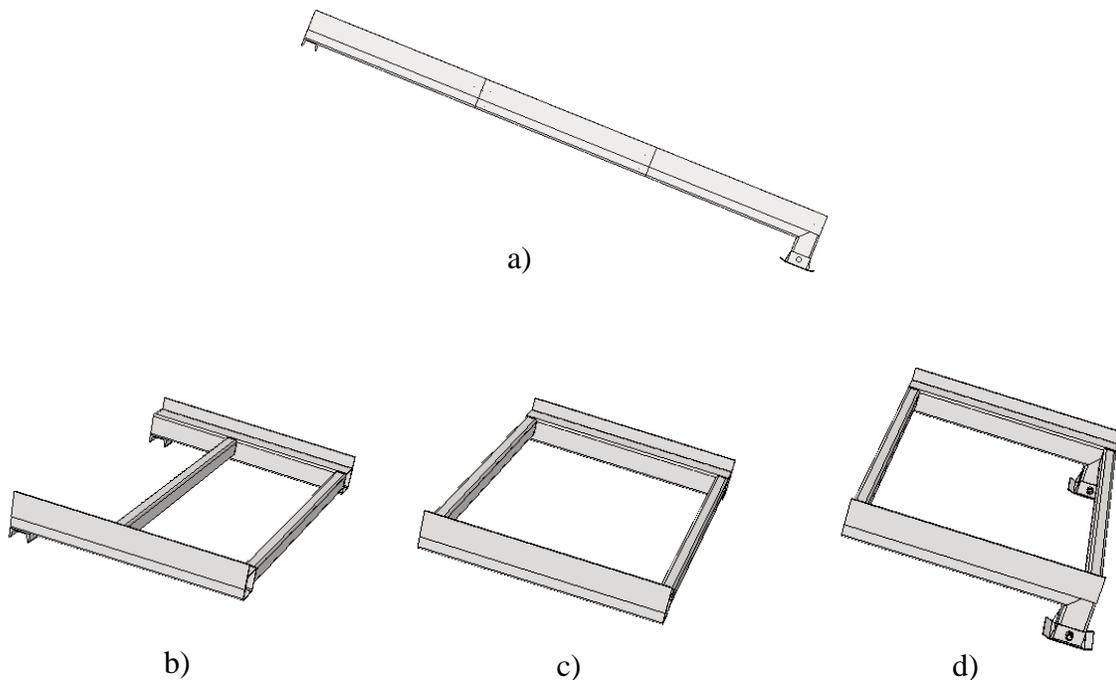


Ilustración 71. Módulos de la rampa de trabajo a) Rampa completa b) módulo 1 con perfiles en C que permiten anclaje b) módulo 2 c) módulo 3 con patas con un grado de libertad para permitir adaptación a suelos

Finalmente, los módulos cuentan con un travesaño en la parte superior e inferior para que cada módulo por separado tenga su propia rigidez. La parte b) tiene un desfase para permitir el libre paso del extractor, en el diseño de ingeniería a detalle se hablará sobre ese desarrollo y en qué afectaba al momento de ensamblarlo con la rampa de guardado. La parte b) consta únicamente de un bastidor rectangular que aporta una dimensión “x” a la rampa. En futuros

prototipos podría plantearse la opción de hacer que esta dimensión no sea fija de tal forma que el extractor pudiera tener más de una posición de trabajo en función de la altura de agua y tener mayor adaptabilidad a las presas. La parte c) contiene las extremidades con articulación para modificar el ángulo en función de la rampa tomando como base las patas que utilizan las grúas y maquinarias pesadas las cuales buscan manejar grandes pesos con la distribución del peso en una superficie plana y una articulación que permita el giro angular suficiente para que pueda acoplarse a superficies que no sean completamente planas en la siguiente ilustración se puede observar una vista a detalle.

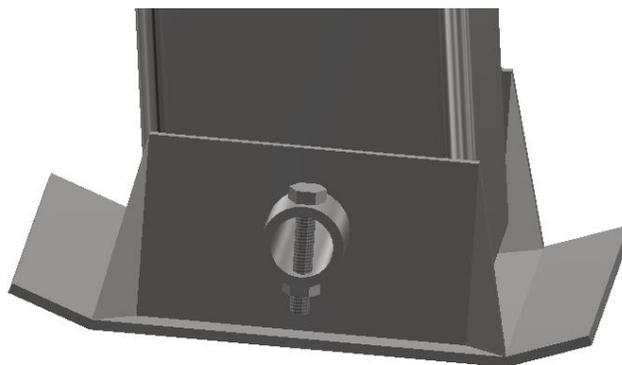


Ilustración 72. Pata con un grado de libertad que permite ajustarse a una inclinación de 5°.

6.3 Análisis de esfuerzos de la rampa de trabajo

Debido a que los perfiles que se seleccionaron durante el desarrollo del concepto fueron recolectados de análisis previamente hechos y se seleccionaron buscando robustecer el sistema, el análisis de esfuerzos para la rampa de trabajo únicamente sirve para validar que se tomaron en cuenta las premisas necesarias para realizar el diseño.

Para realizar el análisis se utilizaron las mismas características del acero inoxidable mostrado en la Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero empleado para realizar el análisis de elemento finito.

Algunas consideraciones para realizar el análisis de elemento finito en la estructura fueron las siguientes:

- Las uniones entre los módulos diseñados se suponen como una unión rígida

- El peso del extractor no estaba definido completamente debido a que aún se planteaba agregarle material para aumentar la rigidez de la estructura por lo que los análisis se realizaron con dos toneladas
- El esfuerzo aplicado en la estructura se contempla únicamente en un punto para hacer un punto más crítico
- La dirección de la fuerza ejercida por el extractor se simula perpendicular a la estructura cuando la posición real es de 45° . Esta suposición aumenta el momento generado por el extractor sobre las patas de apoyo
- No se analiza la pared del perfil en C que soporta parte del peso del extractor, suponiéndose como rígida
- El análisis se sobredimensionará considerando los casos en que el extractor se encuentre únicamente sobre dos puntos de apoyo debido a que las condiciones en las que se encuentran las presas o planchas no están bajo el control del equipo de desarrollo se agrega un factor de seguridad

En la definición se obtuvo que el ángulo al que iba a estar sometida la rampa de trabajo es de 45° , por lo que se obtiene que el peso que se transmite a la rampa de trabajo y la potencia mínima que se requería para desplazar el extractor. Para visualizarlo adecuadamente se realizó un diagrama de cuerpo libre (ilustración 73).

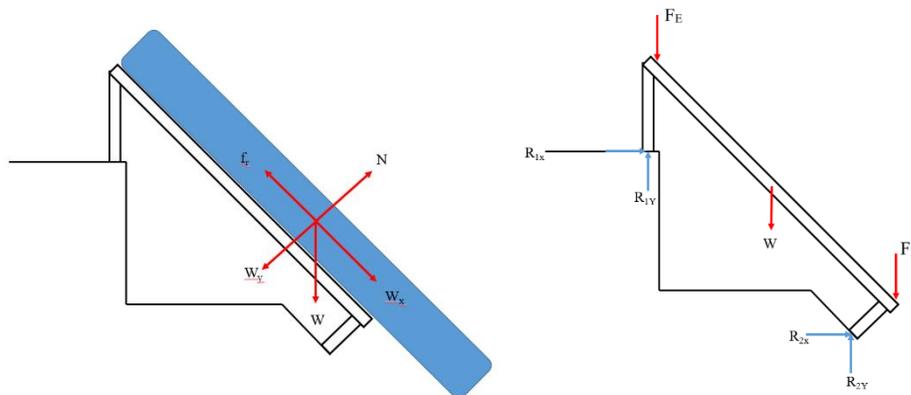


Ilustración 73. Diagrama de cuerpo libre de los apoyos del extractor a la rampa y de la rampa a los apoyos con la plancha de secado

La descomposición de las fuerzas del extractor en el diagrama muestra que el esfuerzo máximo debe controlarse en función de la distancia en la que estarán los puntos de

contacto entre el extractor y la rampa. Entre más alejados estén de los puntos de apoyo, mayores esfuerzos de corte se obtendrán.

Como se realizó con el análisis de los pasillos, el primer paso para realizar la simulación, se debe discretizar el sistema. De manera análoga, las uniones entre los módulos de las rampas se deben considerar rígidas para lograr realizar de forma exitosa el análisis.

Para lograrlo se modeló una rampa de trabajo sin la parte modular considerando únicamente los perfiles. A continuación, se muestra el modelo y la discretización.

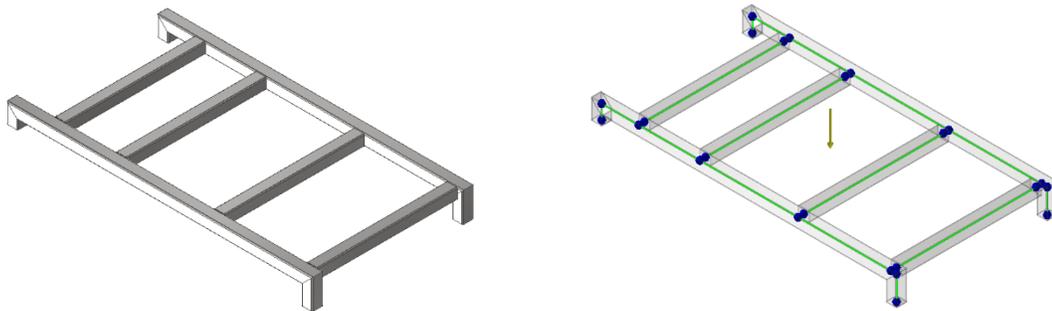


Ilustración 74. Discretización de los elementos de la rampa en el método de alambre

Las dimensiones generales y características de la rampa de trabajo se enlistan a continuación:

- Longitud total de la rampa de trabajo: 2,700 [mm]
- Anchura general: 1,379.52 [mm]
- Perfil soporte superior: Perfil tipo C 3x3"
- Altura apoyo inferior: 130 [mm]
- Perfiles largueros: Perfil tubular hueco cuadrado de 4x4" de un espesor de 3/16"
- Perfiles travesaños: Perfil tubular hueco rectangular de 3x2" de un espesor de 3/16"

Los puntos de fijación propuestos en el análisis son los mostrados en la ilustración 75 así como la posición de las fuerzas aplicadas. Debido a que los perfiles en estas simulaciones estaban previamente sobredimensionados entendiendo las fuerzas implicadas en el sistema, las iteraciones únicamente trataron de mostrar dos premisas:

1. Conforme la fuerza estaba a mayor distancia de los apoyos a la plancha de secado aumentaba el esfuerzo cortante, el cual es el esfuerzo crítico en este diseño

2. Hallar la condición crítica de funcionamiento de la rampa de trabajo

Una vez definidos los objetivos de las simulaciones, la fuerza ejercida en la rampa es de 2 toneladas. Considerando que al extractor se le agregan más dispositivos que mejoren su funcionamiento, el peso de los sólidos que puedan recolectarse y el esfuerzo generado por la propia extracción están siendo consideradas. De esta manera, en la ilustración 75 se muestran los cuatro puntos de apoyo del extractor en la rampa de trabajo. Cada uno de ellos tiene una fuerza de 5 [kN] y la iteración que se muestra es la número 2 (B) la cual tiene un offset de 15 [cm] con respecto a los apoyos correspondientes.

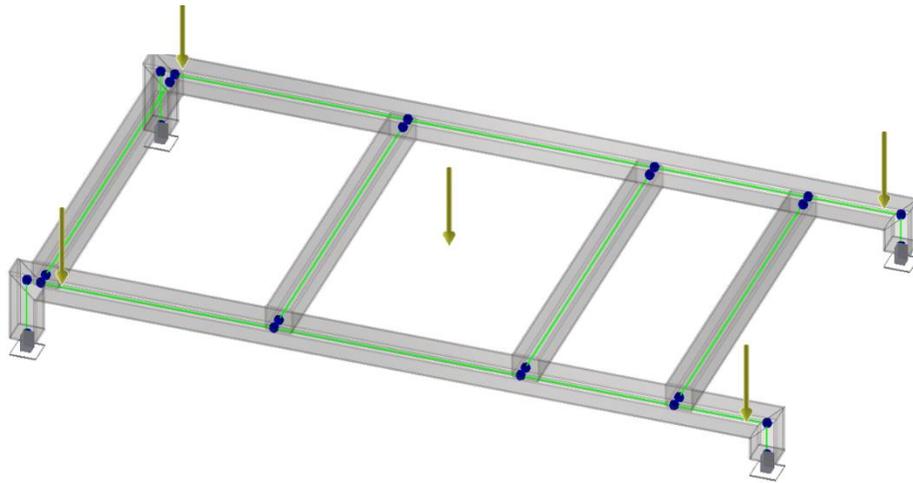


Ilustración 75. Puntos de apoyo, centro de gravedad y fuerzas aplicadas en la rampa de trabajo

Únicamente se consideran tres casos:

- A) El extractor está completamente alineado a los apoyos de la rampa
- B) El extractor tiene un ligero desfase con respecto a los apoyos de la rampa (15 cm de ambos lados)
- C) Todo el peso del extractor recae en la parte central de la rampa con únicamente dos apoyos

El resultado de este análisis se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de análisis FEM para rampa de trabajo

Iteración	Perfil (Rampa)	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo normal máximo [Mpa]	Esfuerzo cortante máximo [MPa]	Peso total [kg]	F.S.
A	AISC 4 x 4 x 3/16	0.1043	3.874	1.448	187	49.819
B	AISC 4 x 4 x 3/16	0.3526	21.03	8.506	187	9.177
C	AISC 4 x 4 x 3/16	2.373	60.41	16.03	187	3.191

Aunque los resultados del análisis de esfuerzos muestran factores de seguridad sumamente elevados se debe considerar que el modelo al que se le somete dicho análisis tiene uniones rígidas ideales entre cada uno de los módulos, así como una idealización sobre la interacción entre el extractor y la rampa de trabajo asumiendo una carga uniforme en las cuatro patas sin ningún movimiento ni vibración, sino fuerzas puramente estáticas.

En el caso A y B se comprueba únicamente la hipótesis por la que parte este análisis, conforme más alejadas están las cargas de los apoyos aumenta la carga debido al momento de fuerza que se genera, por lo que idealmente se requiere que las llantas del extractor estén lo más cercanas a los apoyos de la rampa.

Adicionalmente el caso C se realiza para conocer si la rampa es capaz de resistir el caso extremo en el que únicamente esté soportado todo el extractor en la distancia crítica de la rampa, el punto más alejado de ambas patas y únicamente con dos soportes de llanta en la estructura. Inclusive en este punto la rampa de forma idealizada tiene un factor de seguridad, por lo que los perfiles soportan completamente todo el peso, el único tema pendiente es la forma de asegurar la unión entre los módulos.

A continuación, se muestran los desplazamientos de los tres análisis.

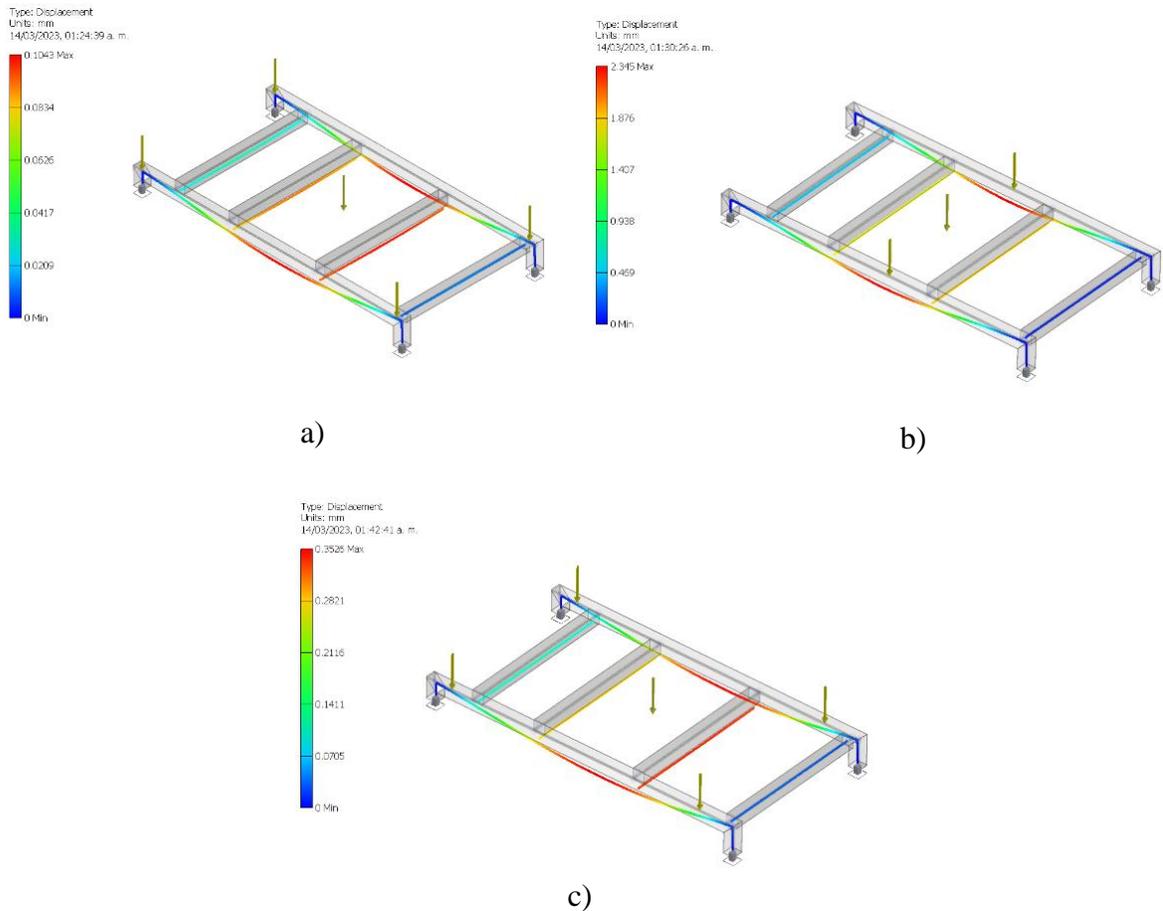


Ilustración 76. Resultados de la rampa de trabajo bajo tres condiciones: a) fuerzas concentradas a los puntos de apoyo b) fuerzas concentradas en el medio de la rampa c) fuerzas desfasadas a los puntos de apoyo

6.4 Diseño a detalle de la rampa de trabajo

6.4.1 Unión entre módulos

La unión entre módulos se pudo plantear de diversas maneras. Ya sea con mecanismos de unión de elementos como bisagras o el diseño desde cero. No obstante, deben considerarse dos variables para la toma de decisión

1. El peso de la rampa supera los 100 [kg]
2. El ensamble y desensamble de la rampa debe realizarse entre dos operarios o tres operarios para no aumentar el tiempo de despliegue del sistema
3. Deben tener un mecanismo de seguridad para evitar que la rampa se desacople

4. Adaptar la unión para que los módulos de la rampa puedan acoplarse al espacio disponible de la rampa

La última consideración que se menciona es la que se toma como parteaguas en la decisión debido al poco espacio disponible que queda para montar la rampa en la estructura del “Todo en Uno”.

Debido a la geometría del módulo número tres (ilustración 71 inciso d), se requería un espacio único. Por lo que se plantea la premisa de tener los módulos separados, de tal forma que dos personas puedan cargar cada uno de los módulos sin necesidad de requerir una herramienta de carga adicional y que se vaya construyendo conforme se posiciona.

Debido a que la rampa requiere tener una inclinación adaptativa angularmente, en el desarrollo de la rampa se planteó una barra que reciba la rampa en la estructura, siguiendo con ese método de ensamble, se propone la colocación de cada uno de los módulos a partir de la barra de tal forma que se pueda asegurar entre cada uno de forma sencilla para no repercutir en el tiempo de ensamble.

Para realizar el diseño de una unión rígida, se requiere la restricción total de los grados de libertad que se generan en la unión de dos piezas. De este modo, se proponen ángulos soldados en la parte interna de los perfiles de tal manera que funjan como un mecanismo de deslizamiento que limite cinco grados de libertad (ilustración 77), dejando únicamente disponible el deslizamiento entre los módulos.

La unión entre los módulos con las soleras busca que embonen con un ajuste que permita el deslizamiento libre para la inserción de las soleras en la contraparte y el mecanismo termina de empotrarse con una celda tipo hembra en la parte inferior que embona con otra celda tipo macho de la misma manera para evitar vibraciones entre los elementos que evitan el deslizamiento con un pasador que recorre ambas celdas. En la ilustración 78 se muestra el dispositivo y la secuencia de unión.

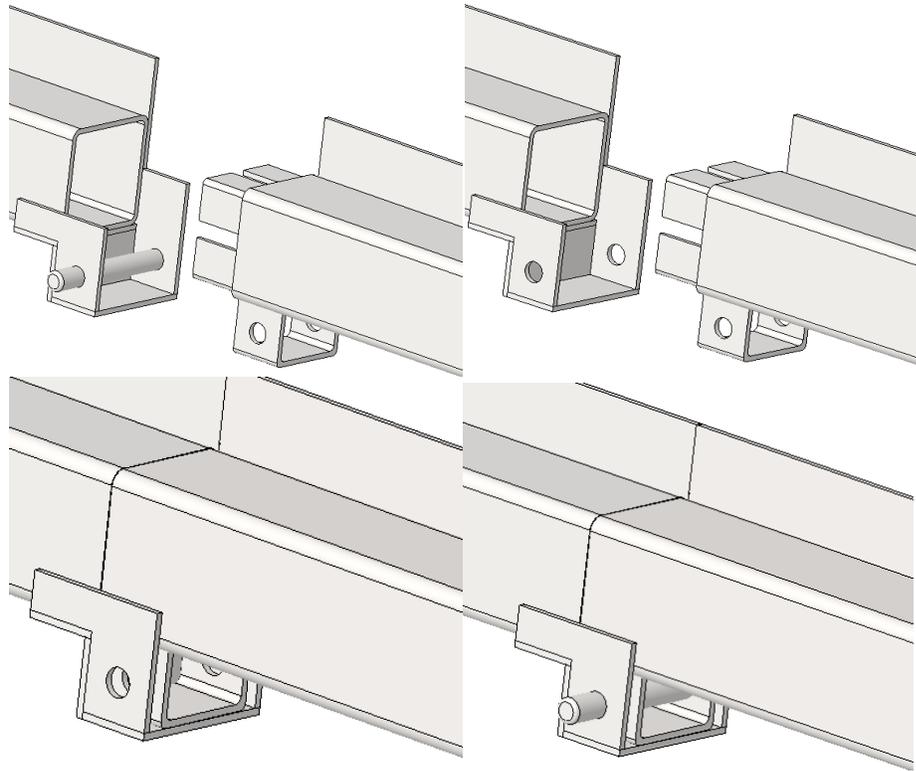


Ilustración 77. Módulos de rampa de trabajo. Secuencia de ensamble.

CONCLUSIONES

Tomando como base que el objetivo principal de la tesis era el desarrollo conceptual de una estructura desplegable de pasillos de circulación, se cumplió de manera exitosa. El concepto tanto de los pasillos como el de las rampas se reporta hasta su etapa final con detalles de ingeniería en espera de la realización de la manufactura.

Para acotar los temas, se plantearon objetivos secundarios que tienen como base la metodología de diseño centrado en el usuario (*design thinking*) así como de la metodología descrita por Ulrich y Eppinger. El primero de estos objetivos planteados consistió en la recolección de necesidades y características de los usuarios para obtener los atributos de los pasillos. Esto se realiza con el afán de observar no solo las actividades que realizan los operadores de SACMEX actualmente, sino para comprender realmente las necesidades intrínsecas del proceso que busca mejorarse. Los objetivos subsecuentes se realizan secuencial e iterativamente al momento de realizar el desarrollo de ingeniería planteado.

Es importante resaltar el punto anterior, ya que todas las intenciones de diseño se basan en la tabla de especificaciones del capítulo cuatro, si el equipo no logra captar de forma adecuada las necesidades de los usuarios, por más sofisticado que se realice una maquinaria, el usuario no la utilizará de la manera en que el equipo de diseño no será utilizado en la manera en que está planteada. Durante la fase de desarrollo conceptual, el equipo encargado del subsistema de los pasillos plegables y rampas de acceso pudo aportar diseños enfocados en cumplir tiempos de desarrollo, pesos de los módulos, número de elementos de infraestructura adicional, dimensiones del dispositivo en el transporte y personas requeridas para el despliegue ya que un diseño de una maquinaria de propósito especial también debe atender a la factibilidad física (basados en comprobaciones mediante prototipos) y la viabilidad económica para que en un futuro pueda pensarse en una manufactura con mayor grado de repetibilidad.

Bajo la experiencia del desarrollo del sistema, la realización de prototipos de funcionalidad limitada aporta no solo una referencia espacial sobre los conceptos, sino que también implica una comprensión más a detalle mecanismo y el cómo podría manufacturarse (materiales, procesos, herramientas, tiempos) de tal manera que el diseñador no deja de lado la parte de la manufactura, sino desde el diseño se comienza a tener un bosquejo de mano propia. Uno

de los puntos claves en los que se utilizó la técnica de prototipado rápido fue en detallar o descartar los sistemas de despliegue de los pasillos debido a que se pudo entender los puntos de pivote y los esfuerzos que iban a resultar en las bisagras.

Es importante resaltar, así mismo, la cantidad de iteraciones y reuniones que tuvo el equipo de trabajo al momento de realizar ideas y conceptos. Para poder tener una idea adecuada de un sistema de mayor complejidad, se requiere que cada uno de los integrantes del equipo vayan coordinados en cuanto al funcionamiento orgánico del sistema, la distribución espacial, las limitantes de costos y pesos, etc.

Finalmente, es importante resaltar que el desarrollo ingenieril de cualquier mecanismo ingenieril requiere una gran cantidad de iteraciones a nivel componente debido a que el nivel de incertidumbre que se genera con cada nuevo concepto se debe ir reduciendo hasta que sea deseable, factible y viable. En un sistema de mayor complejidad la iteración no es solo por cada componente sino, además, a nivel sistema. Haciendo que los desarrollos deban ser adaptativos a los cambios y limitantes que pueden darse en cada iteración.

Actualmente el equipo de desarrollo ya realizó la manufactura del sistema “Todo en Uno” en conjunto con un taller especializado, el diseño tanto de la rampa como de los pasillos se realizó como se planteó a lo largo de la tesis modificando únicamente elementos mínimos que para ajustarse con los detalles propios del cambio de diseño a manufactura. Es importante resaltar que este sistema es especializado para una tarea específica como se ha mencionado anteriormente, por lo que está diseñado para condiciones de operación específicas y producción a baja escala.

REFERENCIAS

- [1] AGUA. (2017). Cuerpos de agua. Recuperado de: <https://bit.ly/2NwM576> el 01 de mayo, 2021.
- [2] Jiménez C., B., J.C. Durán, J. M. Méndez C. *Calidad. (2010). El Agua en México: cauces y encauces*. AMC-Conagua. México.
- [3] SACMEX (2016). *Sistema de agua de la Ciudad de México. El gran reto del agua en la Ciudad de México: Pasado, presente y perspectivas de solución para una de las Ciudades más complejas del mundo*. 192 pp.
- [4] SACMEX (2014). *Agua para el futuro CDMX*, pp. 88-120
- [5] SACMEX. (2023). Acerca del SACMEX. Recuperado de: <https://bit.ly/441R8hE> el 14 de junio, 2023.
- [6] SACMEX. (Desconocido). Todo lo que debes saber sobre el SACMEX en la Ciudad de México. Recuperado de: <http://mi-sacmex.com.mx> el 01 de mayo, 2021.
- [7] MAREAVERDE. (2018). *Proyectos*. Recuperado de: <http://bit.ly/2GTQk5Z> el 21 de enero, 2022.
- [8] The Ocean CleanUp (2022). *Oceans*. Recuperado de: <https://bit.ly/3reEBXA> el 21 de enero, 2022.
- [9] Mr. Trash Wheel. (Desconocido). *Mr Trash Wheel: A proven solution to ocean plastics*. Recuperado de: <http://bit.ly/2OquA5O> el 22 de enero, 2022.
- [10] SURFERTODAY. (2018). *City of Kwinana collects 815 pounds of garbage using drainage nets*. Recuperado de: <https://bit.ly/2MazBkp> el 01 de marzo, 2023.
- [11] KWINANA CITY. (2023). *Drainage nets*. Recuperado de: <https://bit.ly/3KL52hM> el 01 de marzo, 2023.
- [12] Dragon. *Barco recolector de basura y algas*. Recuperado de: <https://bit.ly/3OKYd1L> el 29 de mayo, 2023.
- [13] CDMIT. *Desarrollo de sistema acuático para limpieza de basura en cuerpo de agua y represas de la ciudad de México*.
- [14] Karl T. Ulrich & Steven D. Eppinger. (2004). *Diseño y desarrollo de productos*. 5ª edición. McGraw-Hill
- [15] L. Kimbell. (2011) “*Rethinking design thinking: Part I*,” *Design Culture*. Recuperado de: <https://bit.ly/41khOd5> el 23 de febrero, 2023.

- [16] Sistema de Aguas de la Ciudad de México- SACMEX. (2019). *Cumbres de fondos de agua: no hay agua que perder*. Recuperado de: <https://bit.ly/36tuvF7> el 21 de enero, 2022.
- [17] SACMEX. (2019). *Saneamiento integral Presa San Lucas*. Recuperado de: <https://bit.ly/3ZisCGN> el 23 de febrero, 2023.
- [18] Prat, Ch., Ordaz Ch., Rugama, U. (2003) *Impacto de la roturación y del manejo agronómico de un tepetate sobre su estructura*. *Terra Latinoamericana*. Pp 109-115
- [19] SACMEX. (2017). *El reto es... ¡Disfruta!* Recuperado de: <https://bit.ly/3y3LZrn> el 27 de febrero, 2023.
- [20] Wallace, J. (2021). *Anniston Army Depot*. Recuperado de Anniston Army Depot el 25 de febrero, 2022.
- [21] thang10146. (2016). *Folding Bridge 1*. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8b4xKZv-pl0>
- [22] Wisdom Land. (2017). *Great Mobile Folding Bridge Structure - Engineering Solution*. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=jclpooFoAuk>
- [23] Secretaría de Gobernación. (2017). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-SCT-2-2017, SOBRE EL PESO Y DIMENSIONES MÁXIMAS CON LOS QUE PUEDEN CIRCULAR LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LAS VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN DE JURISDICCIÓN FEDERAL*.
- [24] American Institute of Steel Construction. (2022). *Structural Steel Dimensioning Tool*. Recuperado de: <https://bit.ly/3DdLUTV> el 03 de marzo, 2022.
- [25] Autodesk. (2022). *Biblioteca de materiales para Autodesk Inventor*. Recuperado de: <https://bit.ly/3tz7m2B> el 03 de marzo, 2022.
- [26] Llergo, R. (2017). *Análisis de uniones semirrígidas mediante el método de los elementos finitos*. Recuperado de: <https://bit.ly/3EyvQg9> el 20 de abril, 2022.
- [27] ASCE. (1990). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- [28] Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-STPS-2011, CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA REALIZAR TRABAJOS EN ALTURA*.
- [29] ASTM. (2019). *Standard Specification for Fiberglass*.

- [30] Avila-Chaurand, R. (2007) *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*. Recuperado de: <https://bit.ly/2RxPMYb> el 08 de febrero, 2023.
- [31] CONAGUA. (2020). *Presas principales (nacional)*. Recuperado de: <https://presas.conagua.gob.mx/inventario/> el 17 de enero, 2022.
- [32] Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & Shigley, J. E. (2011). *Shigley's mechanical engineering design*. New York: McGraw-Hill.
- [33] Pereiro, O. (2006). *Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225117945001.pdf> el 19 de abril, 2022.

ANEXOS

ANEXO A. Características de presas de estudio en la Ciudad de México

Recuperadas de: Presas principales, CONAGUA [31]

Presas	Coordenadas	Nombre de la corriente/afluente	Tipo de Corriente	Nivel de aguas máximas ordinarias [msnm]	Nivel de aguas mínimas de operación [msnm]	Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias [msnm]	Tirante aprox. De azolve [m]
Anzaldo	19° 19' 14.7" N 99° 13' 11.99" W	R. Magdalena y Arroyo Anzaldo/ Interceptor del poniente o R. Magdalena-Churubusco	Perenne	2,384.10	2,374.92	2,384.62	1.5
Texcalatlaco	19° 19' 55.1" N 99° 13' 35.69" W	R. Texcalatlaco/ Interceptor del poniente o R. Magdalena-Churubusco	Intermitente	2,398.42	2,388.06	2,399.47	2
Las Flores	19° 20' 39.8" N 99° 12' 34.49" W	R. Olivar de las Flores	-	2,323.92	0.00	2,324.04	1.1
La Mina	19° 20' 48.3" N 99° 12' 49.06" W	R. Tequilasco	-	2,335.15	2,333.00	2,336.15	1.2
Tequilasco	19° 20' 40.01" N 99° 13' 46.009" W	R. Tequilasco/ R. Tlanepantla o Lago de Texcoco	-	2,408.75	0.00	2,408.86	1
Pilares	19° 21' 17.05" N 99° 12' 15.019" W	R. Pilares	-	2,304.55	2,299.00	2,307.00	1
"A" de Becerra	19° 22' 51.2" N 99° 12' 22.1" W	R. Becerra	Intermitente	2,292.11	2,309.00	2,292.63	1.30
"B" de Becerra	19° 22' 56.7" N 99° 12' 38.7" W	R. Becerra	Intermitente	2,301.80	2,301.00	2,301.91	1.30
"C" de Becerra	19° 22' 2.4" N 99° 12' 10.999" W	R. Becerra Inter del Poniente o R. Piedad-Churubusco	Intermitente	2,326.14	2,318.74	2,326.84	1.40

Tarango	19° 21' 38.2" N 99° 12' 45.619" W	A. Barranca del Muerto/ R. Churubusco o Interceptor Poniente	Intermitente	2,332.51	2,316.85	2,332.77	1.20
Mixcoac	19° 21' 49.1" N 99° 14' 1.7" W	A. Mixcoac/ P Becerra, Inter Poniente o R. Magdalena-Churubusco	Intermitente (perenne)	2,425.72	2,409.28	2,427.44	1.70
Ruiz Cortines	19° 23' 48.7" N 99° 12' 14.659" W	R. Tacubaya/ Emisor Poniente	Intermitente (perenne)	2,295.22	2,290.72	2,295.22	2.00
Tacubaya	19° 23' 40" N 99° 12' 48.599" W	R. Tacubaya/ Inter Pon o Inter Centro Pon o R.Piedad Churubusco	Intermitente (perenne)	2,324.91	2,301.73	2,325.31	*
Dolores	19° 24' 57.6" N 99° 12' 27.9" W	R. Dolores	-	2,286.01	2,242.35	2,289.53	1.20
Barrilaco	19° 25' 8.4" N 99° 13' 11.799" W	R. Tecamachalco	Intermitente	2,316.62	0.00	2,320.49	1.00
Tecamachalco	19° 25' 40.97" N 99° 13' 22.13" W	R. Tecamachalco/ R Tlanepantla o Gran Canal del Desagüe	Intermitente	2,302.75	2,304.00	2,304.00	1.30
San Joaquín	19° 26' 2.57" N 99° 13' 34.709" W	R. San Joaquín	Perenne	2,300.67	0.00	2,304.67	1.70

ANEXO B. Método de Elemento Finito (FEM)

El método de análisis por elemento finito (FEM) nace en la década de 1940 con el trabajo de Hrennikoff, McHenry y Newmark, los cuales utilizaron arreglos de elementos lineales (vigas y varillas) para la solución de esfuerzos en sólidos continuos [32]. La forma de solución que brinda este tipo de análisis es lograr la división de un medio continuo en puntos conectados entre sí llamados “nodos”. De esta manera, las ecuaciones que rigen el comportamiento del medio continuo también regirán el del elemento haciendo que el sistema se transforme de un continuo con infinitos grados de libertad, a un sistema discreto con grados de libertad finitos cuyo comportamiento puede ser modelado por un sistema de ecuaciones algebraicas, ya sean lineales o no lineales [33].

Al iniciar el proceso de cálculo de una estructura, se debe realizar un *Esquema de Cálculo* [33]. Es decir, un modelo de cálculo idealizando la estructura para resolverla de forma simplificada. En la ilustración 78 se muestra un ejemplo de una viga empotrada.

Esto se realiza debido a que el método de elementos finitos supone un dominio discretizado en subdominios denominados elementos, de tal forma que el dominio total del estudio se aproxime al elemento continuo. De esta forma, los elementos quedan definidos por los puntos que los conectan entre sí (nodos) y sobre estos se realiza la observación para la salida de variables fundamentales (desplazamientos nodales). A partir de estas variables de salida se pueden calcular el resto de las variables de salida que sean de interés según el problema. Estos desplazamientos se definen en la dirección de los grados de libertad (*degree of freedom* DOF), debido a que los grados de libertad de un nodo son las variables que determinan el estado del nodo.

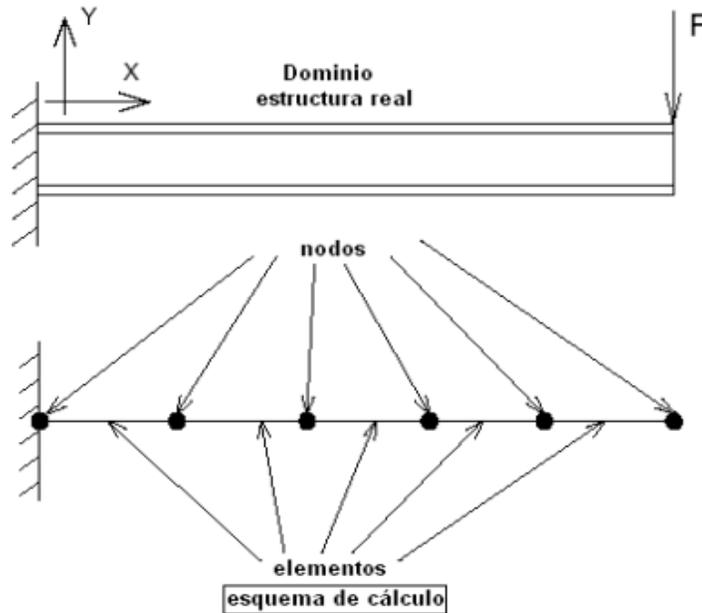


Ilustración 78. Esquema de cálculo de una viga en voladizo [33]

Debido a las condiciones iniciales (de contorno) en la que se encuentran los sistemas a analizar (empotres, sistema de fijación, fuerzas aplicadas), el sistema evoluciona a un estado final. En dicho estado, una vez conocidos los grados de libertad de cada nodo en el sistema se puede determinar cualquier otra variable del sistema como las fuerzas, tensiones, deformaciones, etc.

Los problemas de análisis estructural están gobernados por:

- Ecuaciones de equilibrio
- Relaciones de compatibilidad o relaciones deformaciones-desplazamientos
- Características del material o relaciones tensiones-deformaciones

Es por ello que para realizar un análisis adecuado se deben tener datos previos del material que se utilizará para el análisis, las condiciones de contorno y realizar una buena discretización del elemento, así como las simplificaciones adecuadas para realizar un análisis estructural (tipo de uniones, número de nodos, etc.)

El método de elemento finito determina la relación entre las cargas que actúan en todos los nodos de la estructura y los desplazamientos en cualquiera de ellos [33]. No obstante, es

importante resaltar que, para determinar esta relación, se requiere tener presente el concepto de rigidez.

Para generar un concepto, se parte desde el concepto base, la constante elástica del resorte, que es la medida cuantitativa de la rigidez de este y queda definida por Hooke como la constante [K] que requiere un resorte para enlazar la fuerza aplicada [F] con el desplazamiento realizado [d] en los resortes.

$$F = kd$$

Para el caso de elementos barra de armaduras como es el caso de estudio, la constante de rigidez se transforma en una matriz de rigidez, la cual sigue la forma de la ecuación de rigidez de Hooke, sin embargo, es necesario realizar algunos ajustes debido a que se analiza más de un nodo, en la siguiente ilustración se muestra el caso de un resorte con dos grados de libertad y una barra con las mismas condiciones.

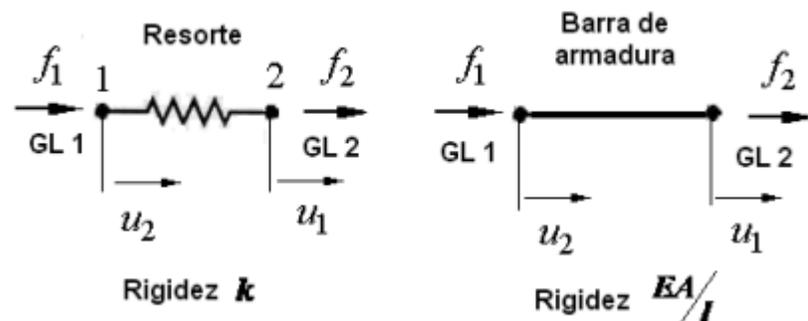


Ilustración 79. Comparación entre un elemento resorte y un elemento barra de armadura
Recuperado de: Aprendiendo sobre el método de elementos finitos [33]

Siguiendo los mismos principios de la rigidez para un resorte, se deben considerar las relaciones de esfuerzo y deformación unitaria:

$$\sigma = E\varepsilon \qquad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad \sigma = \frac{F}{A}$$

Utilizando estas tres relaciones se obtiene la ecuación que determina la deformación absoluta de la barra:

$$\Delta l = d = u_2 - u_1 = \frac{Fl}{EA}$$

donde $F = \frac{EA}{l} d$

Utilizando la analogía de un resorte simple $F = kd$, la matriz de rigidez de un elemento barra de una armadura queda definido en cada uno de los nodos por la relación $\frac{EA}{l}$ y queda determinado por la geometría de la sección, el tipo de material y la longitud de la sección.

Barra.	Resorte.
$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & -\frac{AE}{L} \\ -\frac{AE}{L} & \frac{AE}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$
$\{f\} = [k]^e \{u\}$	$\{f\} = [k]^e \{u\}$

*Ilustración 80. Relación entre las fuerzas y los desplazamientos nodales
Recuperado de: Aprendiendo sobre el método de elementos finitos [33]*

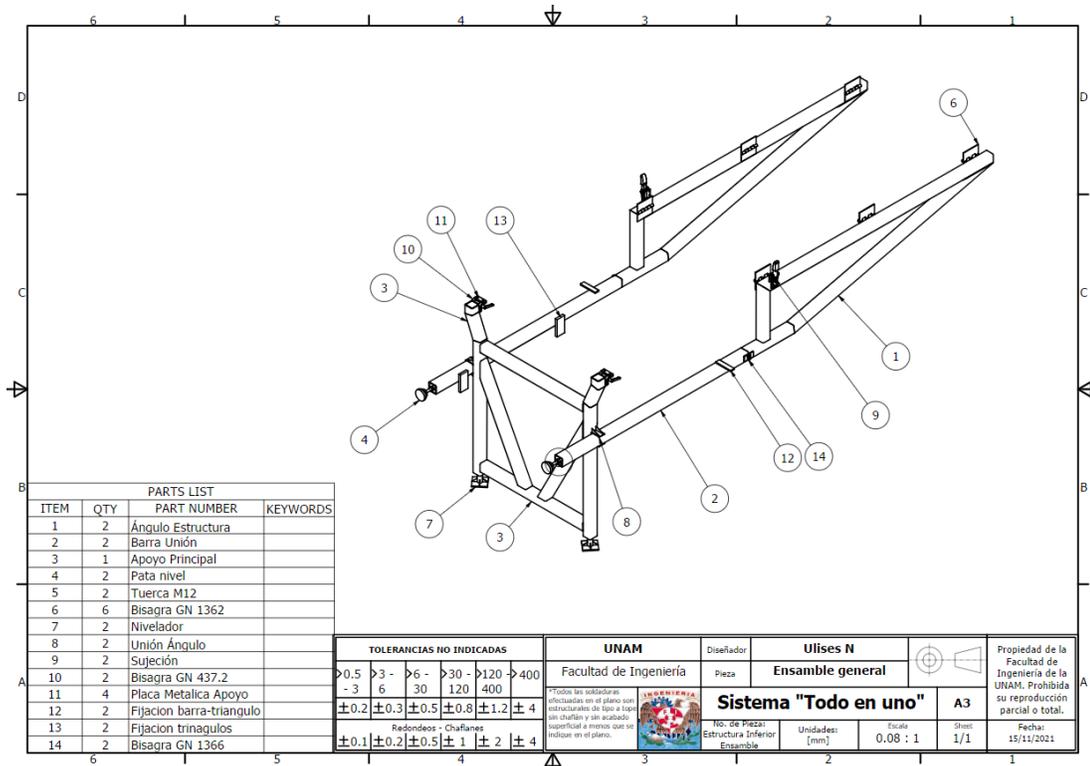
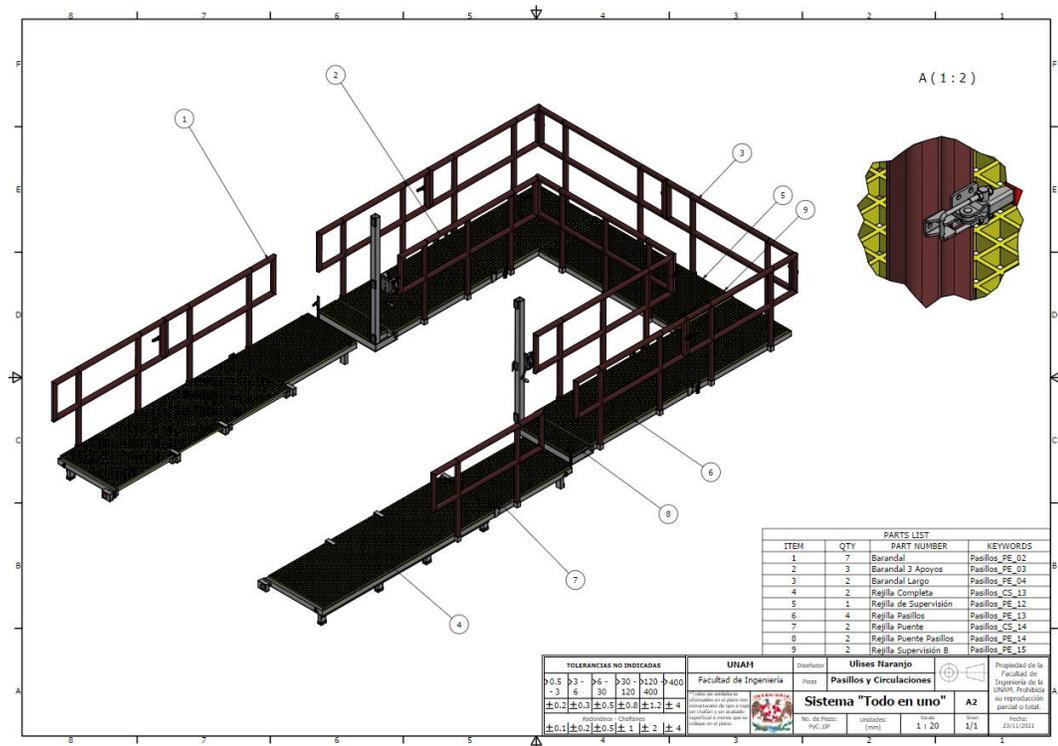
ANEXO C. Tabla de resultados análisis FEM

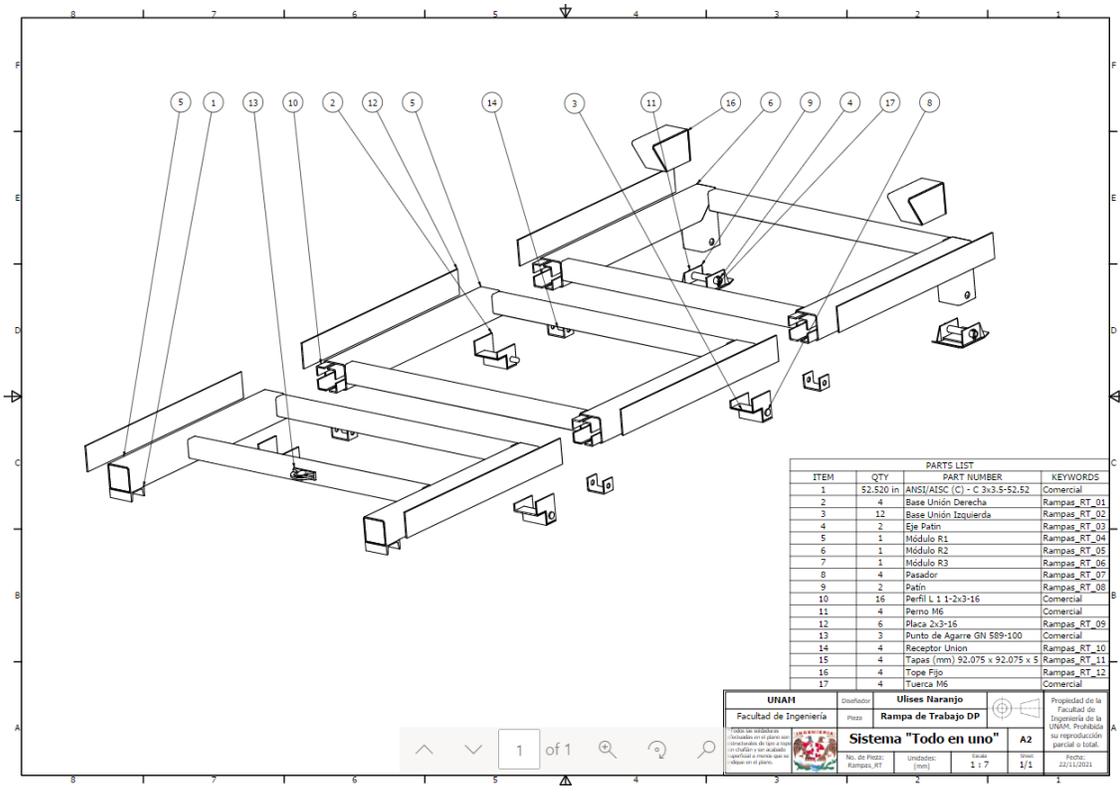
Iteración	Perfil (Pasillos)	Perfil (Apoyo Principal E.I.)	Perfil (Perfiles E.I.)	Material
A	AISC 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8	AISC 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8	AISC 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8	Acero Dulce
B	AISC 2 x 2 x 1/8	AISC 2 x 2 x 1/8	AISC 2 x 2 x 1/8	Acero Dulce
C	AISC 2 x 2 x 1/8	AISC 2 x 2 x 1/8	AISC 2 x 2 x 1/8	Acero Dulce
D	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	Acero Dulce
E	AISC 3 x 1 ½ x 1/8	AISC 2 x 1 ½ x 1/8	AISC 1 ½ x 1 ½ x 1/8	Acero Dulce
F	AISC 3 x 1 ½ x 1/8	AISC 2 x 1 ½ x 1/8	AISC 1 ½ x 1 ½ x 1/8	Acero Dulce
G	AISC 2 ½ x 2 ½ x 1/8	AISC 2 ½ x 1 ½ x 1/8	AISC 1 ½ x 1 ½ x 1/8	Acero Dulce

Iteración	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo normal máximo [Mpa]	Esfuerzo cortante máximo [MPa]	Esfuerzo de torsión [Mpa]	Peso total [kg]	F.S.
A	40.59	520.4	106.6	519	64.959	No cumple
B	8.209	129.7	24.42	227.5	109.88	1.59
C	6.346	117.9	54.18	147.7	109.88	1.75
D	3.459	7.793	15.26	86.71	139.99	2.8
E	11.69	174.4	20.73	29.85	99.82	1.18
F	8.953	149.6	14.08	30.09	99.82	1.7
G	6.625	106.9	10.73	102.4	112.631	1.93

Iteración	Notas
A	
B	El esfuerzo de torsión se incrementó debido a que el modelo de la estructura inferior no tenía ningún contacto rígido en la parte final
C	Se realizó el mismo experimento, pero con la estructura final teniendo una unión rígida con el extremo del pasillo en voladizo
D	
E	Apoyo principal a 200 mm con respecto al perfil unión
F	Apoyo principal a 550 mm con respecto al perfil unión
G	

ANEXO D. Planos generales del sistema de pasillos de circulación y rampa de trabajo





ITEM	QTY	PART NUMBER	KEYWORDS
1	52.520 in	ANSI/AISC (C) - C 3x3.5-52.52	Comercial
2	4	Base Unión Derecha	Rampas_RT_03
3	12	Base Unión Izquierda	Rampas_RT_02
4	2	Eje Patín	Rampas_RT_03
5	1	Módulo R1	Rampas_RT_04
6	1	Módulo R2	Rampas_RT_05
7	1	Módulo R3	Rampas_RT_06
8	4	Pasador	Rampas_RT_07
9	2	Patín	Rampas_RT_08
10	16	Perfil L 1-2x3-16	Comercial
11	4	Perno M6	Comercial
12	6	Placa 2x3-16	Rampas_RT_09
13	3	Punto de Agarre GN 589-100	Comercial
14	4	Receptor Unión	Rampas_RT_10
15	4	Tapes (mm) 92.075 x 92.075 x 5	Rampas_RT_11
16	4	Tope Eje	Rampas_RT_12
17	4	Tuerca M6	Comercial

UNAH	Universidad	Ulises Naranjo	Proyecto
Facultad de Ingeniería		Rampa de Trabajo DP	
<small> Todos los derechos reservados. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad. </small>		Sistema "Todo en uno"	Propiedad de la Facultad de Ingeniería de la UNAH. Prohibida su reproducción parcial o total.
<small> No. de Proyecto: Rampas_RT </small>		Unidades: 1 : 7	Hojas: 1/1
<small> Fecha: 22/10/2021 </small>			

^ v 1 of 1