



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

**DISEÑO MECÁNICO DE SUBSISTEMAS ESTRUCTURA, ELEVACIÓN Y RAMPAS, PARA
UN SISTEMA DE LIMPIEZA DE PRESAS “TODO EN UNO”**

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

PRESENTA:
MANUEL HERRERA LÓPEZ

TUTOR PRINCIPAL
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. JUNIO 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: Dra. Corona Lira María del Pilar.
Secretario: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.
1 er. Vocal: Dr. Borja Ramírez Vicente.
2 do. Vocal: Dr. Ávila Cedillo Javier Noé.
3 er. Vocal: M.I. Zamora García Diego Armando.

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

TUTOR DE TESIS:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ



FIRMA

(Segunda hoja)

“Somos como enanos a los hombros de gigantes. Podemos ver más, y más lejos que ellos, no por la agudeza de nuestra vista, ni por la altura de nuestro cuerpo, sino porque somos levantados por su altura”.

Bernardo de Chartes.

Agradecimientos

Se reconoce el financiamiento al trabajo presentado de la Secretaria de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECTEI), bajo el proyecto 175-2019, así como también, al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) por la ayuda brindada para el desarrollo de proyecto.

Investigación realizada gracias al apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Resumen

El aumento descontrolado de la población urbana y por consecuencia de los asentamientos irregulares, han incrementado los residuos que se depositan en las presas de la Ciudad de México y Área Metropolitana, desarrollando en gran medida el riesgo de inundaciones y taponamientos en estos cuerpos de agua.

Como parte de las acciones tomadas por el Gobierno de la Ciudad, se creó el proyecto SACMEX – UNAM, el cual consta del desarrollo de un sistema capaz de extraer la basura y azolve de las presas de la zona norponiente, llamado “Todo en Uno”.

El presente trabajo reporta el diseño mecánico de 3 de los 8 subsistemas que lo componen, siendo: “Estructura principal”, “Rampa de guardado” y “Elevadores”. Utilizando un proceso de diseño generado particularmente para esta aplicación, basado en la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger y tomando una filosofía del *Desing Thinking*.

Presentando entonces, el diseño mecánico completo de las partes, desde la creación del concepto, evaluación de propuestas, diseño de detalle y fabricación; culminando con el reporte de las primeras pruebas de funcionamiento.

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 5 |
| 1. Introducción..... | 11 |
| 2. Antecedentes | 13 |
| 2.1. Situación actual de las presas de estudio..... | 15 |
| 2.2. Condiciones ambientales en presas | 18 |
| 2.3. Estudio de vigilancia tecnologica | 21 |
| 3. Definición del proyecto | 26 |
| 3.1. Objetivos y alcances..... | 26 |
| 3.2. Proceso..... | 27 |
| 3.3. Equipo de trabajo..... | 29 |
| 3.4. Proyecto SACMEX-UNAM..... | 30 |
| 4. Diseño conceptual..... | 31 |
| 4.1. Sistema “TODO EN UNO” | 31 |
| 4.2. Desarrollo de estructura principal | 33 |
| 4.3. Desarrollo de rampas de guardado..... | 36 |
| 5. Prototipos rápidos | 44 |
| 5.1. Estructura principal | 45 |
| 5.2. Rampa de guardado | 47 |
| 6. Diseño de detalle..... | 49 |

| | |
|--|----|
| 6.1. Simulaciones hechas por FEA..... | 49 |
| 6.1.1. Estructura principal..... | 52 |
| 6.1.2. Rampas de guardado..... | 54 |
| 6.1.3. Elevadores | 58 |
| 7. Manufactura y ensamble | 64 |
| 8. Conclusiones y trabajo futuro | 69 |
| 9. Anexos..... | 71 |
| 9.1. Anexo 1. Tabla de especificaciones técnicas de presas del poniente de la CDMX | 71 |
| 9.2. Anexo 2. Tabla de especificaciones del Sistema “todo en uno” | 73 |
| 9.3. Anexo 3. Planos de manufactura | 76 |
| 9.3.1. Estructura principal..... | 76 |
| 9.3.2. Rampa de guardado..... | 78 |
| 9.3.3. Elevadores | 80 |
| 9.3.4. Dimensiones generales de Sistema “todo en uno | 83 |
| 10. Referencias | 84 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Sistema de presas, cajas de control y drenaje de la Ciudad de México [4]. Se señala en recuadros amarillos las presas a estudiar..... | 14 |
| Figura 2. Morfología general identificada en las presas. Elaboración obtenida a partir de las visitas de campo. | 16 |
| Figura 3. Estado actual de las presas de la Ciudad de México. a) Tacubaya, b) C de Becerra, c) Tarango, d) La mina. Créditos: C. Laura. | 18 |
| Figura 4. Personal de las cuadrillas de limpieza de SACMEX trabajando en presa Tacubaya..... | 20 |
| Figura 5. Ejemplos de patentes encontradas ordenadas en las categorías: A) Tipo lancha o bote [16]; B) Fijas [17]; C) Garras hidráulicas fijas [18]; D) Sistemas de captura en corriente constante [19]. | 22 |
| Figura 6. Sistemas análogos similares a la colecta de basura superficial en ríos o lagos. Elaboración propia. | 23 |
| Figura 7. Soluciones análogas encontradas. a) Bandalong litter trap [20]; b) The great pacific garbage patch [21]; c) Ocean cleanup [22]; d) Aquatic trash skimmer [23]. | 24 |
| Figura 8. Proceso de diseño para el "todo en uno" | 28 |
| Figura 9. Modelo CAD de sistema TODO EN UNO..... | 31 |
| Figura 10. Conceptos de solución generados para el "todo en uno". a) Transportador vertical; b) Canastilla; c) Espanta suegras; d) Sombrilla inversa; e) Camión 2; f) Camión 4..... | 32 |
| Figura 11. Vista general de primer propuesta de estructura principal..... | 34 |
| Figura 12. Iteraciones del diseño para estructura principal. | 35 |
| Figura 13. Vistas ortogonales e isométrica de estructura principal..... | 36 |
| Figura 14. Partes que componen a las rampas para extractor. a) Rampa de guardado; b) Rampa de trabajo..... | 37 |
| Figura 15. Evolución conceptual de la rampa de guardado..... | 38 |
| Figura 16. Posiciones de rampa de guardado. a) posición no retraída; b) posición retraída, área de trabajo despejada. | 39 |
| Figura 17. Vistas ortogonales e isométrica de rampa de guardado..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Presentación de propuestas para subsistema de elevación..... | 41 |
| Figura 19. Vistas ortogonales e isométrica de concepto final de elevadores | 43 |
| Figura 20. Fotografías tomadas a prototipo rápido escala 1:13 hecho por FDM... | 45 |
| Figura 21. Modelo completo de Sistema “Todo en Uno” hecho con FDM. | 46 |
| Figura 22. Modelo a escala 1:13 de rampa de guardado montada sobre estructura principal, hecha con FDM..... | 47 |
| Figura 23. Secuencia de replegado de rampa de guardado en modelo hecho por FDM..... | 48 |
| Figura 24. Parámetros iniciales para simulaciones. Análisis Estructural (Izquierda) y Análisis de Tensión (Derecha). | 50 |
| Figura 25. Propiedades físicas de Acero no aleado (equivalente A36) según Inventor®..... | 51 |
| Figura 26. a) Aplicación de cargas en estructura principal; b) Representación gráfica del modelo antes de ejecutar la simulación. | 52 |
| Figura 27. Resultados de esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura principal. a) deformación sufrida; b) esfuerzos máximos normales resultantes. ... | 53 |
| Figura 28. a) Aplicación de cargas en rampas de guardado; b) Representación gráfica del modelo antes de ejecutar el análisis. | 55 |
| Figura 29. a) Estado de fuerzas aplicado para simulación, resultante del DCL; b) Aplicación de fuerzas y restricciones en el software. | 56 |
| Figura 30. Resultados obtenidos del análisis de estructura de la rampa de guardado. a) Deformación sufrida en mm; b) Esfuerzos resultantes debido a la aplicación de cargas..... | 57 |
| Figura 31. Resultados de FEA aplicado a articulación de rampa de guardado. a) Deformación representada como desplazamientos; b) Esfuerzo equivalente de Von Mises..... | 58 |
| Figura 32. Elementos principales de elevadores..... | 59 |
| Figura 33. DCL para elevadores. Cada uno de estos comparten la mismas condiciones de carga mostradas..... | 60 |
| Figura 34. Resultados de análisis de tensión a guías de carga. a) Tensión de Von Mises; b) Deformación en mm..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 35. Estado de esfuerzos resultante de análisis. a) Esfuerzo de Von Mises; b) Deformación representada como desplazamientos. | 62 |
| Figura 36. Fotografías tomadas a la estructura principal fabricada, se señalan las uniones donde se realizaron ajustes. | 64 |
| Figura 37. Fotografías tomadas a rampa de guardado fabricada, se detalla al mecanismo de repliegue de la misma. | 65 |
| Figura 38. Detalle de Segmentos de apoyo agregados a rampa de guardado. | 66 |
| Figura 39. Detalle de ajuste de usillo con placa de montaje superior. | 66 |
| Figura 40. Funcionamiento de subsistema de elevación. a) Sistema en piso; b) Sistema elevado. | 67 |

Introducción

La Ciudad de México (CDMX) cuenta con un complejo sistema de drenaje formado principalmente por plantas de bombeo, tanques tormenta, sifones, lagunas de regulación y un sistema de 29 presas. Desde 2003, todo este sistema está regulado y administrado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) [1]. Particularmente, las presas juegan un papel muy importante dentro de las problemáticas que presenta el drenaje de la ciudad, debido a que representan la primer barrera natural contra las corrientes de agua pluvial, el depósito de residuos sólidos e inundaciones [2, 3].

Sin embargo, el aumento de la población ha ocasionado que estos cuerpos de agua se contaminen con residuos sólidos de origen urbano; ocasionando problemas importantes al sistema hídrico de la ciudad. En la actualidad, SACMEX es el organismo encargado de realizar las tareas periódicas de limpieza y saneamiento de las presas de la CDMX y el Área Metropolitana [4].

Como parte de las acciones tomadas por el Gobierno de la Ciudad, en 2019 se concibió al proyecto SACMEX-UNAM, el cual conlleva la integración de 8 subsistemas que en conjunto forman al sistema “Todo en uno”, el cual recolecta los desechos flotantes de las presas y es transportable. Patrocinado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI), SECTEI/175/2019; en la modalidad de saneamiento de aguas contaminadas en la CDMX [5].

Debido a la magnitud y complejidad del proyecto, la presente tesis reporta el diseño mecánico para generar a 3 de los 8 subsistemas, siendo estos “Estructura Principal”, “Subsistema de Elevación” y “Rampas de Guardado”.

El alcance buscado es brindar apoyo a las cuadrillas de limpieza que laboran en los cuerpos de agua, a través del desarrollo de un sistema que les permita extraer los residuos flotantes en las presas de una manera fácil, rápida y segura respecto a los métodos utilizados actualmente [6].

Es importante destacar que el mérito técnico de este trabajo recae en el diseño conceptual y selección de alternativas, para cada caso.

Para lograr concebir al sistema, se generó un proceso de diseño particular basado en la metodología de Ulrich y Eppinger; y tomando la filosofía del Design Thinking [7, 8], obteniendo entonces un plan de 8 etapas, culminando con la fabricación del producto. Se utilizó el software de diseño Inventor® junto con su módulo de análisis FEA, como herramienta principal de trabajo.

Para cada propuesta de solución, se realizaron diversas evaluaciones que permitieran conocer y predecir el comportamiento físico y mecánico de las partes, tales como análisis de resistencia mecánica FEA, prototipos rápidos y prototipos de función crítica.

Por último, se supervisó la etapa completa de manufactura del “Todo en uno” en la cual, se corrigieron detalles técnicos de manufactura y diseño de cada subsistema, así como las modificaciones pertinentes según la capacidad técnica del fabricante.

El primer capítulo de esta tesis aborda los antecedentes y el estado del arte generado para el proyecto, haciendo una distinción a las condiciones ambientales en las presas y a la vigilancia tecnológica. El capítulo 2 presenta los objetivos y alcances de este trabajo, así como el proceso de diseño generado, además, se muestra al proyecto SACMEX – UNAM por completo.

El capítulo 3, 4 y 5, muestra el diseño mecánico completo de los subsistemas de interés, abarcando desde el diseño conceptual, hasta las evaluaciones FEA. El capítulo 6 presenta algunas fotografías del sistema fabricado y se mencionan algunas notas hechas durante las primeras pruebas de funcionamiento.

Finalmente, en el capítulo 7 se concluye el trabajo hecho con una discusión sobre los objetivos y alcances logrados; se mencionan también, las perspectivas sugeridas para el proyecto.

Antecedentes

Los cuerpos de agua presentes en la Ciudad de México son producto de su orografía e hidrografía, así con de la intervención humana, con la elaboración de la infraestructura necesaria para la contención y drenaje de aguas superficiales [9].

En general, la orografía de la Ciudad de México y su zona metropolitana presenta alturas desde los 2 240 msnm en sus partes planas, con las delegaciones Cuauhtémoc, Iztacalco, Benito Juárez y los municipios de Nezahualcóyotl y Chalco, entre otros, hasta poco más de los 4 000 msnm. Se ubica en la parte sur de la sierra La Muerta, al oeste de la sierra Nevada, al norte de la sierra Ajusco – Chichinautzin y al este de la sierra Las Cruces; sin embargo dentro de la ciudad se encuentran sierras bajas y cerros aislados, de los cuales se puede mencionar la sierra de Santa Catarina, Sierra de Guadalupe, cerro de Chapultepec, cerro de la Estrella, entre otros [10].

Estas características orográficas, junto con la hidrografía influyen en el clima, así como en el régimen y aporte de los volúmenes de agua que llegan a los cuerpos receptores tanto en época de secas como de lluvias.

La red primaria del sistema de drenaje de la Ciudad de México está formada por 128 colectores de los cuales, 108 están ubicados dentro de la ciudad, mientras que 20 se localizan en el Estado de México. Además, la red está formada por 303 plantas de bombeo, 12 tanques tormenta, 22 sifones, 13 lagunas de regulación y un sistema de 29 presas de las cuales 17 fueron estudiadas. Desde 2003, todo este complejo sistema de drenaje está regulado y administrado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX); la figura 1 muestra su distribución geográfica [1, 3].

La función principal de las presas es la contención y regulación de agua pluvial principalmente, sin embargo, el aumento de la mancha urbana y el asentamiento de establecimientos irregulares, han ocasionado que en estos cuerpos de agua se descarguen residuos de origen urbano proveniente de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía de la ciudad en general [2, 11].

A través del SACMEX se sabe que el 50% de la cantidad de desechos que se encuentran en la red de drenaje se encuentra mezclado con “azolve”, que es un fango similar a la combinación de barro con aceite, formado por el acarreo de materia orgánica y su posterior descomposición. Entre 2017 y 2018 se retiraron 34 673 m³ [11].



Figura 1. Sistema de presas, cajas de control y drenaje de la Ciudad de México [4]. Se señala en recuadros amarillos las presas a estudiar.

SACMEX

A partir del 1 de enero de 2003 entró en funcionamiento el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), por decreto del jefe de Gobierno del Distrito Federal en aquel entonces, Lic. Andrés Manuel López Obrador, al fusionar la entonces

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). El Sistema de Aguas de la Ciudad de México está sectorizado en la Secretaría del Medio Ambiente y tiene por objetivo, con base en el Decreto por el cual se creó, prestar los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización [1].

SACMEX tiene por objetivo suministrar y distribuir los servicios de agua potable y drenaje a los habitantes del Ciudad de México con la cantidad, calidad y eficiencia necesaria, a través de acciones que contribuyan a la adecuada utilización de la infraestructura existente, y fomentar una cultura moderna de utilización que garantice el abasto razonable del recurso [4].

Además, SACMEX establece la coordinación con las instituciones y organismos precisos para desarrollar acciones conjuntas con los municipios y estados circundantes a la CDMX en materia hidráulica, además de planear, instrumentar y coordinar acciones que conduzcan a lograr el uso eficiente del agua en la ciudad.

Situación actual de las presas de estudio.

Para conocer el ambiente de aplicación del sistema que se pretende desarrollar, el equipo de trabajo realizó diversas visitas a las 17 presas mencionadas anteriormente, reportando y visualizando los aspectos particulares que presentaban cada una de ellas.

Debido lo anterior, se realizó un estudio que mostrara las condiciones ambientales en las que se encontraban cada cuerpo de agua, haciendo hincapié al problema de contaminación que presentan todos estos. En el siguiente apartado se describen brevemente los resultados obtenidos.

Con los aprendizajes obtenidos y teniendo en cuenta las características técnicas de cada sitio, se decidió que la aplicación del sistema de recolección de basura se realizara en las 11 presas que se enlistan a continuación:

1. A de Becerra
2. Anzaldo
3. C de Becerra
4. La mina
5. Las flores
6. Mixcoac
7. San Joaquín
8. Tacubaya
9. Tarango
10. Tequilasco
11. Texcalatlaco

Además, las observaciones hechas durante las visitas rebelaron un patrón general en la conformación civil de cada lugar, la cual se muestra en la figura 2.

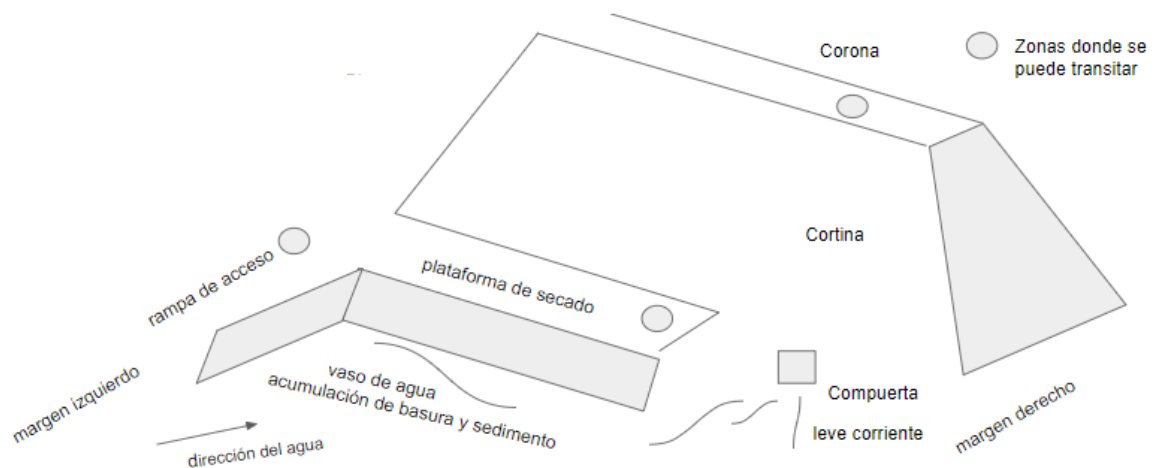


Figura 2. Morfología general identificada en las presas. Elaboración obtenida a partir de las visitas de campo.

Se puede concluir entonces, que los elementos esenciales para la aplicación del sistema son: la rampa de acceso, la plataforma de secado, el vaso de agua y la compuerta, situada detrás de una rejilla de retención de residuos; siendo estos dos últimos, los puntos donde se acumula la mayor cantidad de basura.

La plataforma de secado está ubicada al final de la rampa de acceso y es el lugar donde se pretende montar al sistema de recolección de basura, por lo que se necesita que se encuentre limpia y en óptimas condiciones. Es importante mencionar que, en algunas presas como “San Joaquín”, durante la temporada de lluvias dicha plataforma queda inundada, por lo que las actividades de limpieza se suspenden para salvaguardar la integridad de los operarios.

En algunos de los cuerpos de agua enlistados anteriormente, se cuenta únicamente con la compuerta y el vaso de agua, por lo cual es necesario su reacondicionamiento civil para ejecutar las operaciones de limpieza; para más detalles técnicos véase anexo 1. Dichas obras corren por cuenta del propio SACMEX.

En la figura 3 se muestran algunas fotografías tomadas a las presas en las cuales se distingue rápidamente el problema de invasión urbana y el taponamiento en las compuertas de entrada; todas las fotografías fueron tomadas por el equipo de trabajo en el periodo de noviembre de 2019 a septiembre de 2020.

La profundidad promedio de estos cuerpos de agua es de aproximadamente 5 m y requieren de entre 1 y 2 días para vaciarse por completo [3].

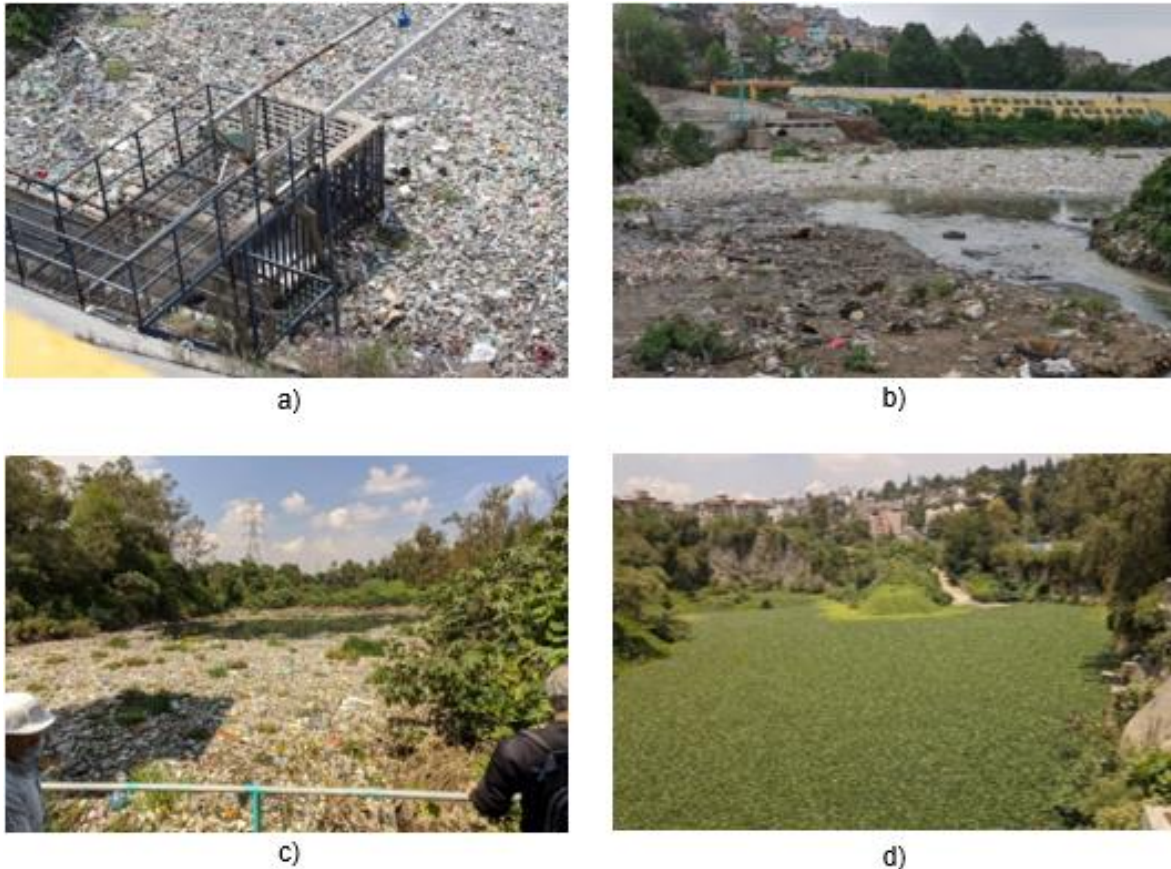


Figura 3. Estado actual de las presas de la Ciudad de México. a) Tacubaya, b) C de Becerra, c) Tarango, d) La mina. Créditos: C. Laura.

Condiciones ambientales en presas

Dentro de las actividades realizadas durante la etapa de visitas a los cuerpos de agua, se generó un estudio de condiciones ambientales, con el objetivo de entender el funcionamiento e importancia que tiene el preservar a estos espacios hídricos, además, con los resultados obtenidos se pueden conocer aspectos fundamentales, no visibles en una primer instancia, relacionados con la incorporación de un sistema de limpieza en este ambiente, siendo los más importantes los siguientes:

- Tipo de cuerpo de agua al que pertenecen.
- Orografía e hidrografía.
- Cuantificación y clasificación de la cantidad de residuos presentes.

- Operaciones actuales de limpieza y mantenimiento.
- Ambiente laboral en las cuadrillas de limpieza.
- Contexto social y cultural del entorno circundante.

Fueron varias las actividades realizadas por el subgrupo encargado de este estudio, como visitas periódicas a las presas, charlas y entrevistas con los operarios, búsqueda y recopilación de información en diferentes plataformas digitales públicas y de gobierno, análisis de datos y generación de reportes presentados a los principales actores de interés, entre otras.

Dentro de los principales resultados y hallazgos obtenidos de este trabajo, destacan los siguientes.

Se generó una caracterización de los principales residuos sólidos encontrados, basada en su dificultad de extracción del agua y de su peso en húmedo y seco. En la tabla 1 se muestran los residuos observados y sus características, acomodados de manera ascendente según su dificultad de remoción [6].

Tabla 1. Residuos sólidos observados en presas, con sus respectivos pesos en húmedo y seco. Elaboración propia.

| Residuo sólido | Peso seco aproximado | Peso húmedo aproximado |
|---|---|--|
| PET (botella de 600 ml) (vasos de 250 ml) | 1 unidad = 33.33 g 30 botellas = 1 Kg 1 unidad = 3.36 g 297 vasos = 1 Kg | Niveles mínimos de absorción oscilando entre 0.1 y 0.2 % en volumen [12]. Por tanto, es el mismo. |
| Unicel (vasos y platos) | 1 unidad = 1 g 1000 vasos = 1 Kg | Niveles mínimos de absorción oscilando entre el 1% y el 3% en volumen [13]. Por tanto, es el mismo. |
| Cubeta | 1.2 Kg | 1.2 Kg |
| Equipo de baño (inodoro de cerámica) | 22.9 Kg | 22.9 Kg |
| Colchón matrimonial estándar con resortes tipo Bonell (190 x 135 x 35 ± 5 cm) | 22.27 Kg | Arriba de 317 Kg |
| Maderas resinosas (pino y oyamel) | 520 Kg/m ³ [14] | Aumento del 25% al 50% dependiendo la madera [15]. |

Como se observa, la basura que se encuentra en estos cuerpos de agua es muy variada; siendo desde una botella plástica, hasta mobiliario domestico proveniente de la población aledaña. Además, como se muestra en la tabla anterior, el peso de algunos de estos residuos varia significativamente estando húmedos o secos. Debido a esto, se decidió utilizar como métrica para cuantificar la extracción el volumen aproximado de material sólido, debido a que el peso para este caso, no representa un parámetro confiable.

Se logró identificar también, las problemáticas relacionadas con el personal de limpieza de SACMEX, encargados de sacar la basura de estos espacios; tales como problemas de logística, trabajo de alto riesgo (suelo húmedo o inundado), vejez de la cuadrilla, evaporación de sustancias toxicas e insolación en el mes de mayo (30°C), falta de maquinaria en buen estado y de energía eléctrica en el lugar de trabajo, entre otras. La figura 4 muestra las condiciones laborales actuales de estas cuadrillas de limpieza.



Figura 4. Personal de las cuadrillas de limpieza de SACMEX trabajando en presa Tacubaya.

Del mismo modo, los cuerpos de agua presentan problemáticas peculiares, además de la contaminación evidente, que afectan de manera significativa el trabajo realizado en estos; como olores desagradables fuertes, desbordamiento de agua y/o azolve, fauna nociva y proliferación de la flora nativa e introducida. Además, es interesante destacar el papel social que participa activamente en estas problemáticas, ya que la cultura de la población circundante, las descargas de aguas negras provenientes de los asentamientos irregulares y la delincuencia, dificultan los trabajos de mantenimiento y saneamiento.

Estudio de vigilancia tecnologica

Para este estudio se realizó una búsqueda de sistemas análogos existentes y patentes registradas relacionadas con la extracción de basura. Para la búsqueda de patentes se definieron las siguientes ecuaciones de búsqueda:

1. (bote OR barco OR lancha) AND recoleccion AND (basura OR residuos).
2. Recoleccion AND basura AND (rio OR lago OR mar OR presa).
3. Anfibio AND (basura OR residuos) AND (recolectar OR remover).
4. ("basura" AND "recolectar" AND "rio") NOT "tratamiento".

Se utilizaron también las ecuaciones en inglés:

1. (ship OR boat OR vessel) AND (remove OR collect OR clean OR fishing) AND (debris OR trash OR garbage).
2. (remove OR collect OR clean) AND (trash OR debris OR garbage) AND (river OR sea OR lake OR dam).
3. Amphibious vehicle AND garbage collector.
4. ("garbage" AND "collection" AND "river") NOT "treatment".

Para la búsqueda de sistemas análogos se definieron las siguientes palabras clave:

- a) Recoleccion.
- b) Algas/Plantas acuaticas.
- c) Arandanos.

- d) Arroz.
- e) Campos inundables.

La búsqueda se realizó en las plataformas de Google Patents, Espacenet, Patentscope, Lens.org, Google, YouTube y Pinterest. Se definió un periodo de búsqueda de 32 años (1990-2022). Se excluyeron las patentes de origen Chino, Japonés, Coreano y Ruso, debido a las limitaciones en los sistemas de traducción y la poca información.

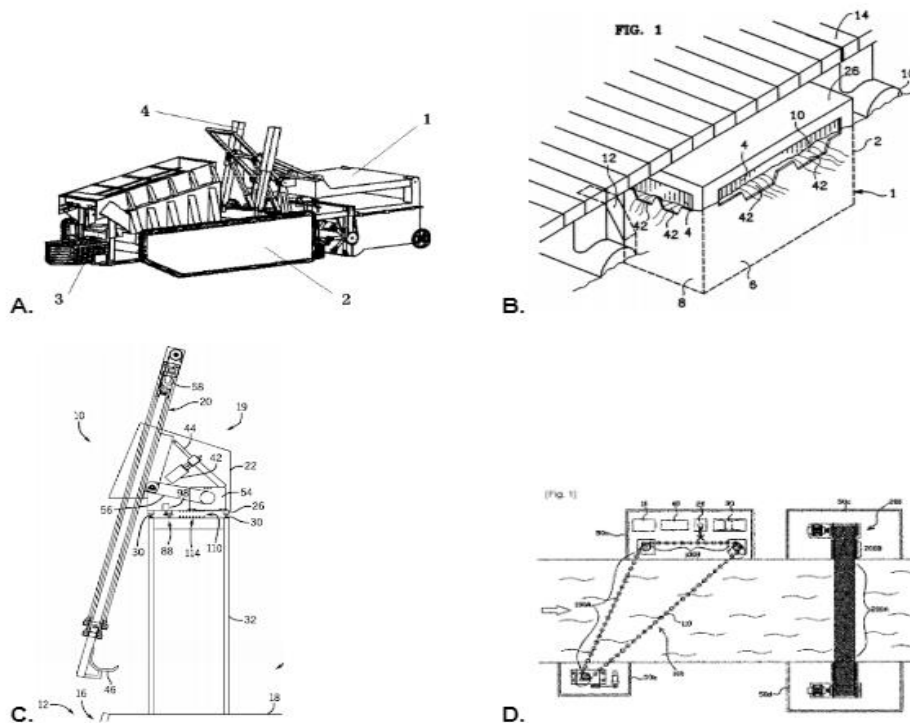


Figura 5. Ejemplos de patentes encontradas ordenadas en las categorías: A) Tipo lancha o bote [16]; B) Fijas [17]; C) Garras hidráulicas fijas [18]; D) Sistemas de captura en corriente constante [19].

Dentro de los resultados más relevantes del análisis se encontró que la mayoría de patentes provienen de China y Estados Unidos. Además, se clasificó a estos desarrollos en 4 categorías generales (figura 5); tipo lancha o bote, fijos, garras hidráulicas fijas y captura de basura presentes en cauces de corriente constante de agua [16–19].

Es importante señalar que el 90% de patentes encontradas fueron protegidas para un sitio o caso específico por personas físicas o empresas.

Para los resultados análogos, se encontró que estos atienden a tres campos principales, la cosecha en campos inundables, mecanismos para la separación de sedimentos finos en suspensiones y los sistemas de colecta de algas y plantas acuáticas en ríos, mares y lagos. Véase figura 6.



Figura 6. Sistemas análogos similares a la colecta de basura superficial en ríos o lagos. Elaboración propia.

Se distingue que las funciones principales que ejecutan estos dispositivos son la clasificación y arrastre de objetos por medio de filtros, peines y contenedores de almacenamiento. En la figura 7 se muestran algunos de los sistemas más relevantes encontrados en la búsqueda [20–23].

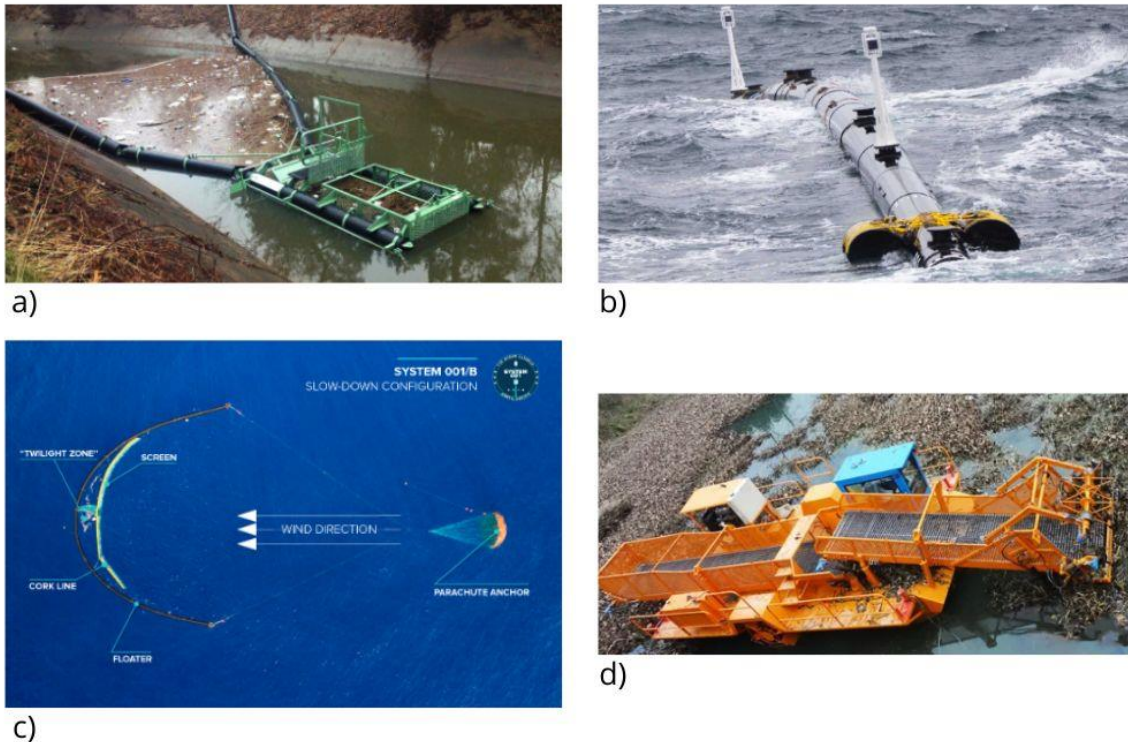


Figura 7. Soluciones análogas encontradas. a) *Bandalong litter trap* [20]; b) *The great pacific garbage patch* [21]; c) *Ocean cleanup* [22]; d) *Aquatic trash skimmer* [23].

Después de analizar la información recopilada se encontró que la mayoría de los desarrollos son invenciones móviles diseñados para arrastrar y levantar la basura superficial mediante filtros, garras hidráulicas, bandas, cadenas de transporte o redes de recolección. Además, más de la mitad se mueven mediante sistemas de hélices similares a un bote o barco.

Con lo anterior, se puede concluir que los estudios realizados tanto de condiciones ambientales como de vigilancia tecnológica, ayudan a conocer el contexto actual de aplicación del sistema que se pretende desarrollar; la búsqueda de patentes y soluciones análogas, permite vislumbrar el nivel tecnológico que se tiene actualmente en este sector. Debido a esto, se observa que no existe ningún sistema que cumpla con los requerimientos necesarios para la extracción de basura en las presas de la CDMX (en el siguiente capítulo se abordan los objetivos y alcances del proyecto) es por lo que, el proyecto llamado SACMEX-UNAM conlleva una innovación tecnológica en el sector de limpieza y saneamiento ambiental,

obteniendo entonces, un dispositivo adaptado a las particularidades de la ciudad, atendiendo directamente las problemáticas presentadas al principio de este capítulo y mejorando significativamente las condiciones laborales de las cuadrillas de limpieza de SACMEX.

Definición del proyecto

Objetivos y alcances

El proyecto SACMEX – UNAM, conlleva la integración de 8 subsistemas que en conjunto forman al sistema “Todo en Uno”, el cual cumple con la función de extraer la basura de las presas y ser transportable de un sitio a otro.

Debido a la magnitud y complejidad del proyecto, la presente tesis reporta el desarrollo realizado para generar a 3 de los 8 subsistemas que lo conforman, siendo estos “Estructura Principal”, “Subsistema de Elevación” y “Rampas de Guardado”.

Por lo tanto, para lograr el cometido anterior se plantearon los siguientes objetivos:

- **Diseño conceptual del sistema “Todo en Uno”.**
- **Diseño mecánico de una estructura principal para el *todo en uno*.**
- **Diseño mecánico de un dispositivo elevador para el *todo en uno*.**
- **Diseño mecánico de un elemento de guardado para el extractor.**

Es importante señalar que el mérito técnico de este trabajo recae en la creación, evaluación y selección de las distintas propuestas de solución para cada caso; centrándose en el diseño conceptual. Es por lo anterior, que se aborda de manera breve la generación de requerimientos y especificaciones, análisis de resistencia por elemento finito FEA (por sus siglas en inglés) y el prototipado rápido. En consecuencia, los alcances que contempla este escrito son:

- Presentación de las diferentes propuestas de solución para cada caso.
- Diseños conceptuales de cada subsistema.
- Modelos 3D de las propuestas finales utilizando el software de diseño Inventor®.

- Simulaciones y evaluaciones utilizando FEA de las partes críticas de cada subsistema.
- Planos de detalle.
- Reporte de manufactura y ensamble.
- Modificaciones hechas al diseño para cada etapa de manufactura.
- Presentación del primer prototipo del “Todo en uno”.
- Conclusiones y trabajo a futuro.

Proceso

Para cumplir con los objetivos presentados, fue necesario realizar diversas actividades orientadas principalmente al diseño y selección de las distintas propuestas de solución para cada subsistema; para ello, se generó un proceso de diseño específico, utilizando como base la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger [7] y adoptando una ideología tomada del *Desing Thinking* (Diseño centrado en el usuario) [8] lo cual permite obtener resultados efectivos para los usuarios finales, que para este caso, contempla a los miembros de la cuadrilla de limpieza de SACMEX.

Dicho lo anterior, en la figura 8 se muestra el proceso creado para la concepción del “todo en uno”. Este proceso consta de 8 fases, las cuales están siempre inmersas en un marco de retroalimentación continua. Esto quiere decir que la información y aprendizajes obtenidos en cada paso ayudan a complementar y enriquecer al producto final que, en algunos casos, consta de varias propuestas de solución. Además, es posible regresar en las fases del proceso cuantas veces sea necesario, hasta obtener un resultado satisfactorio.

A continuación, se enlistan las principales actividades realizadas durante las distintas fases del proceso.

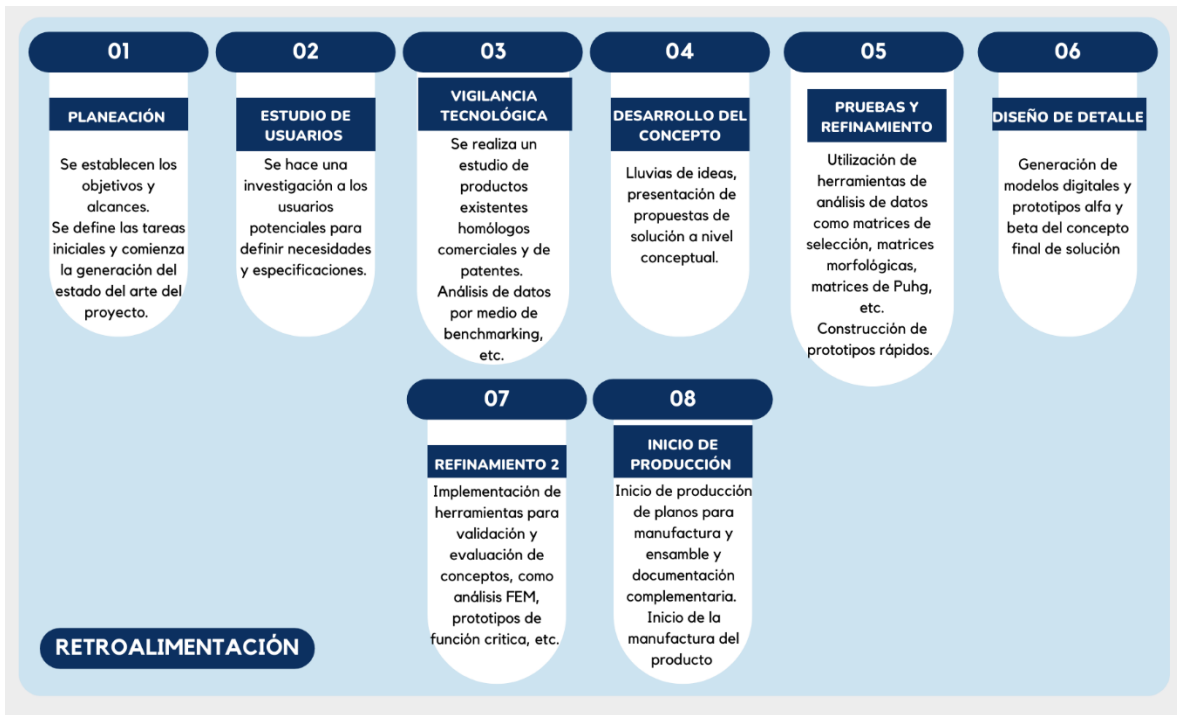


Figura 8. Proceso de diseño para el "todo en uno"

1. Interacciones y visitas a las cuadrillas de limpieza en las presas para generar información contextual sobre la situación actual del trabajo realizado en las mismas.
2. Visitas a las presas de estudio para recopilar información técnica.
3. Generación del estado del arte.
4. Desarrollo conceptual para cada subsistema.
5. Construcción de prototipos rápidos para validación de propuestas.
6. Análisis FEA de las partes críticas de cada propuesta.
7. Selección de materiales según resultados obtenidos por FEA.
8. Elaboración de la ingeniería de detalle.
9. Elaboración de planos para manufactura
10. Reunión con proveedores para obtener cotizaciones.
11. Cambios y actualizaciones necesarias para cada subsistema.

Cabe mencionar que las actividades mencionadas siempre se mantuvieron bajo un ciclo de iteraciones continuas, ya que la retroalimentación y aprendizajes obtenidos en cada etapa fue evolucionando y modificando a las distintas alternativas de solución.

Equipo de trabajo

La complejidad y magnitud del “todo en uno” demanda tener a un equipo de trabajo multidisciplinario, no solo para resolver las distintas problemáticas que se presentan, sino también para tener varios puntos de vista a la hora de tomar decisiones, lo cual enriquece de manera sustancial el debate de ideas que se presenta en cada etapa.

Para este caso, el equipo cuenta con 15 integrantes entre los que figuran diseñadores industriales, administradores e ingenieros del área mecánica, electrónica y mecatrónica.

Las personas encargadas de la generación de los 3 subsistemas abordados por esta tesis y que conforman al equipo de diseño mecánico llamado “come basura” son los siguientes:

- Dr. Vicente Borja Ramírez; Doctor en ingeniería y jefe el equipo “come basura”.
- Alejandra Carmona Insunza; Diseñadora Industrial.
- Isandra Danae Martínez Cortés; Ingeniera Mecánica.
- Laura Elena Castañeda Dávila; Diseñadora Industrial.
- Manuel Herrera López; Ingeniero Mecánico.
- Ulises Naranjo Vázquez; Ingeniero Mecánico.

Proyecto SACMEX-UNAM

Como se menciona en el capítulo anterior, el proyecto SACMEX-UNAM patrocinado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI), SECTEI/175/2019; en la modalidad de Saneamiento de aguas contaminadas en la ciudad de México, tiene como objetivo principal el siguiente.

Desarrollo de un sistema funcional que recolecte la basura flotante en cuerpos de agua de la Ciudad de México y que sea transportable.

Teniendo como responsables:

- Dr. Alejandro C Ramírez Reivich, responsable tecnológico del proyecto.
- Dra. María del Pilar Corona Lira, coordinadora del equipo de diseño de sistemas de monitoreo y control.
- Dr. Vicente Borja Ramírez, coordinador del equipo de diseño de sistemas mecánicos.

El alcance del proyecto es brindar apoyo a las cuadrillas de limpieza que laboran en los cuerpos de agua a través del desarrollo de un sistema que les permita extraer los residuos flotantes en las presas de una manera fácil, rápida y segura respecto a los métodos utilizados actualmente[6].

Además, se decidió agregar puntos que enriquecen las capacidades del sistema tales como, ser transportable para llegar a más cuerpos de agua dentro la ciudad, contar con un diseño robusto para su operación en entornos no controlados, tener la capacidad de procesar los desechos extraídos haciendo una separación manual de materiales reciclables y triturando la basura sobrante para facilitar su manejo y deposición posterior.

Teniendo en cuenta lo anterior, se concibió al sistema “Todo en uno”, el cual se describe en los capítulos siguientes.

Diseño conceptual

Sistema “TODO EN UNO”

El “todo en uno” cuenta con 8 subsistemas que le permiten ejecutar las tareas de recolección de una manera fácil y eficiente; todos estos elementos están diseñados bajo una configuración modular lo cual permite que el sistema tenga una baja probabilidad de falla y con ello, disminuir las interrupciones o paros durante la extracción.

En la figura 9 se ilustran a los subsistemas que conforman al “todo en uno”.

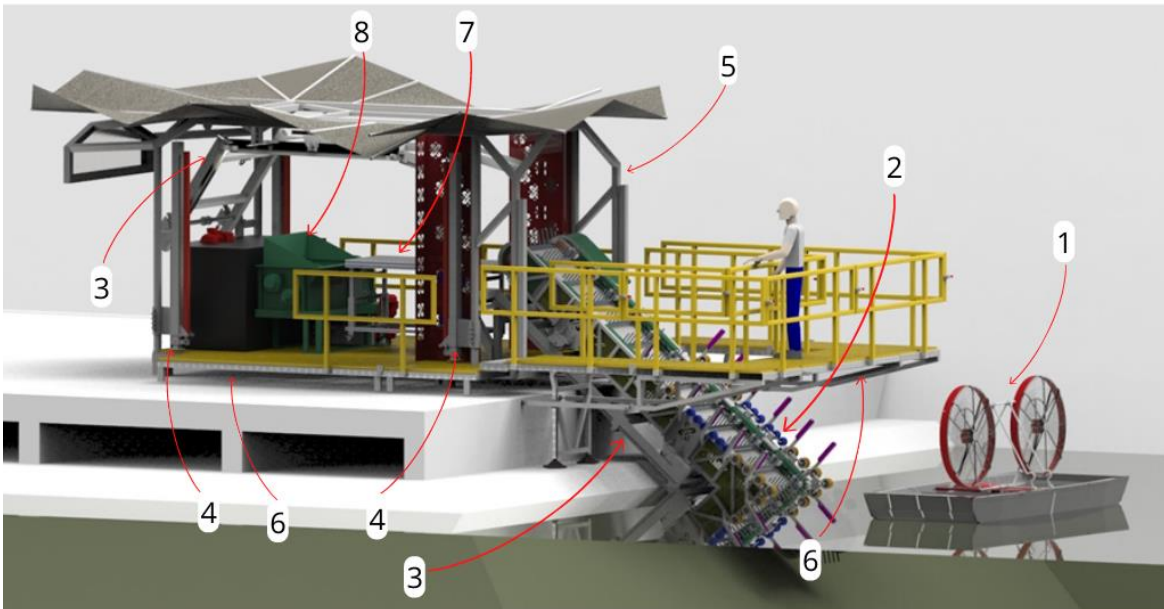


Figura 9. Modelo CAD de sistema TODO EN UNO.

1. Subsistema de desplazamiento de residuos, “bote”.
2. Subsistema de extracción de residuos, “extractor”.
3. Rampas para extractor, “rampas”
 - a. Rampa de guardado
 - b. Rampa de trabajo
4. Subsistema hidráulico de elevación, “Elevadores”.

5. Estructura de resguardo y montaje del conjunto, "estructura principal".
6. Subsistema de supervisión de extracción, "pasillos y plataforma de supervisión".
7. Subsistema de separación de residuos, "separador".
8. Subsistema de trituración de residuos, "triturador".

Para lograr obtener al sistema mostrado en la figura 9, se realizaron diversas iteraciones conceptuales hasta obtener una propuesta que cumpliera con los requerimientos y especificaciones establecidos (véase Anexo 2). Esta propuesta fue generada por el equipo de diseño, tomando en cuenta la información recopilada y utilizando el método de lluvia de ideas y matices de decisión, hasta convenir en un resultado óptimo. La figura 10 muestra algunas de las propuestas más interesantes planteadas por el equipo; se puede notar los diferentes enfoques y maneras de abordar la problemática planteada.

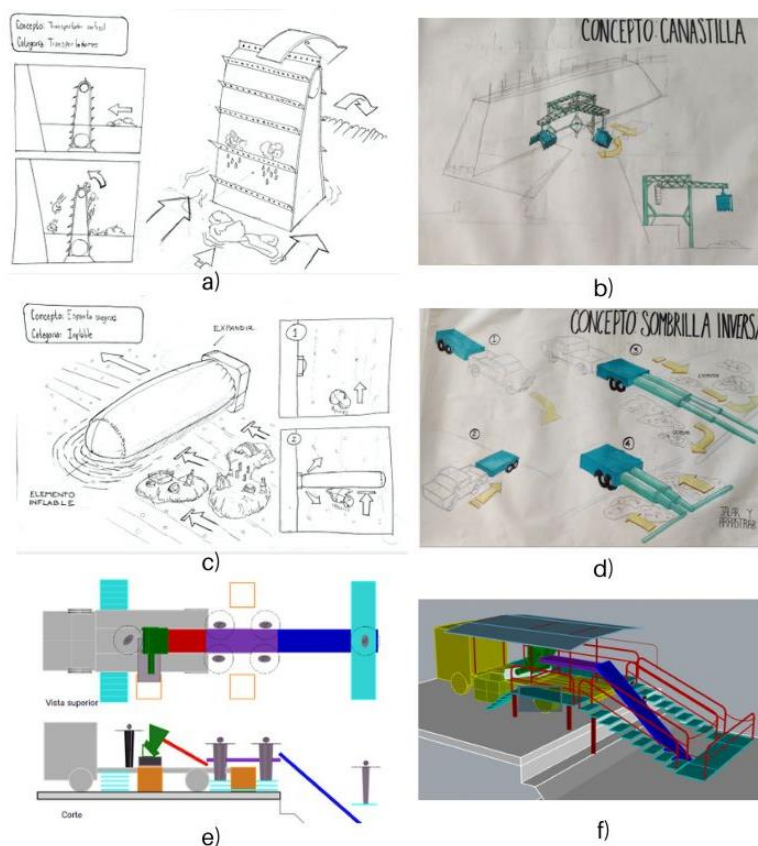


Figura 10. Conceptos de solución generados para el "todo en uno". a) Transportador vertical; b) Canastilla; c) Espanta suegras; d) Sombrilla inversa; e) Camión 2; f) Camión 4.

Como se observa en la figura anterior, es posible obtener un gran número de alternativas de solución, cada una con características particulares que la distinguen sobre las demás; aunque, es crucial en esta etapa no desviarse del objetivo principal, ya que se puede llegar a caer en entornos de ambigüedad y subjetividad de diseño.

La propuesta seleccionada para continuar con el proceso de diseño fue la llamada “Camión 4”. Dicha propuesta se dividió en 8 subsistemas, como ya se ha mencionado, hasta culminar con el primer prototipo del “todo en uno”, mostrado en la figura 9. A continuación se presenta en desarrollo de los 3 subsistemas que contempla esta tesis. Para más detalle sobre las dimensiones finales de los elementos véase los planos respectivos del anexo 3

Desarrollo de estructura principal

La estructura principal es el elemento donde se pretende almacenar a todas las partes que conforman al “todo en uno”, por lo tanto, es uno de los subsistemas más importantes y robustos que tiene el conjunto.

Dicho lo anterior, en primer instancia se desarrolló una estructura metálica hecha con perfiles de acero estructural capaz de soportar la carga del sistema; véase anexo 2 adoptando entonces una geometría elemental de prisma rectangular [24] como se muestra en la figura 11.

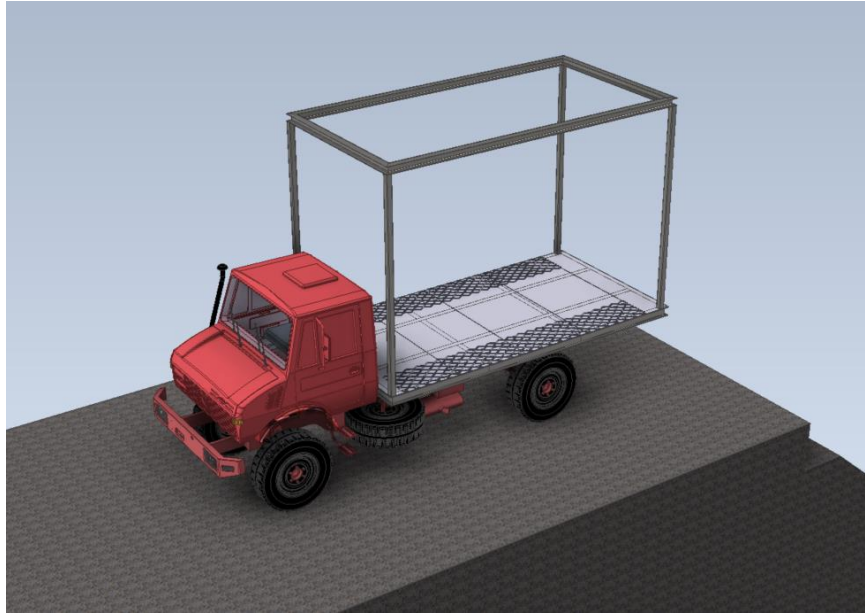


Figura 11. Vista general de primer propuesta de estructura principal.

Como se puede observar, la estructura es esbelta, conformada por perfiles huecos cuadrados de acero y vigas IPR en la parte superior. El piso se compone por lámina de acero antiderrapante y rejillas de metal desplegado, para brindar seguridad a los operarios.

Debido a que, en una primera instancia el conjunto estaría montado sobre un camión de manera permanente, la función principal de esta estructura era únicamente resguardar del medio a todos los elementos en su interior, sin necesidad de soportar carga extra más que el peso de la cubierta y algunos accesorios de seguridad y señalética.

Siguiendo con el proceso de diseño y debido a los cambios sufridos en la última versión del sistema, se crea la necesidad de agregar un mecanismo capaz de elevar y soportar al “todo en uno”, por lo tanto, se ejecutaron nuevas iteraciones de diseño, evaluando a cada una de ellas con las actividades particulares de la etapa 5 de nuestro proceso.

La figura 12 muestra un compilado con la evolución conceptual de la solución mostrada en la figura 11.

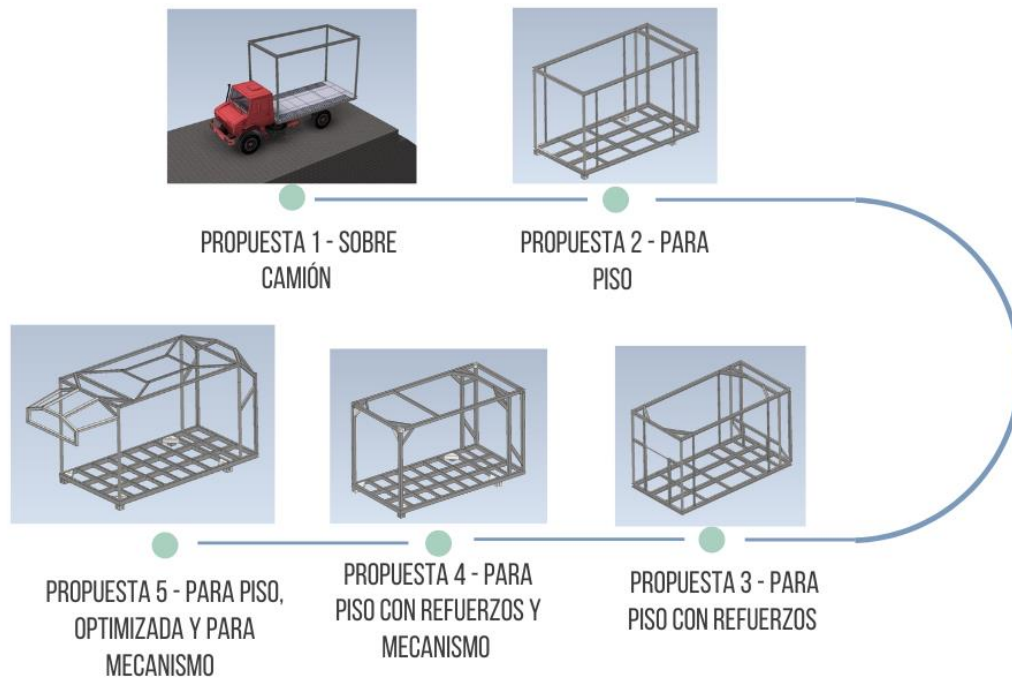


Figura 12. Iteraciones del diseño para estructura principal.

Como se puede observar, el desarrollo de la propuesta final para la estructura principal fue producto de un ejercicio de iteraciones de diseño, obteniendo entonces un resultado progresivo único, afectado por los requerimientos que surgieron debido a las interacciones con los demás subsistemas. Para resolver el problema de la relación peso–rigidez, se llevó a cabo una optimización topológica simple, utilizando un método heurístico [25], lo cual arrojó como resultado una estructura de aproximadamente 900 Kg.

En las imágenes de la figura 13 se muestran las vistas ortogonales del modelo final de este subsistema; se señala también a las partes principales que lo componen. En los capítulos siguientes se muestran las actividades hechas para evaluar y validar a esta propuesta.

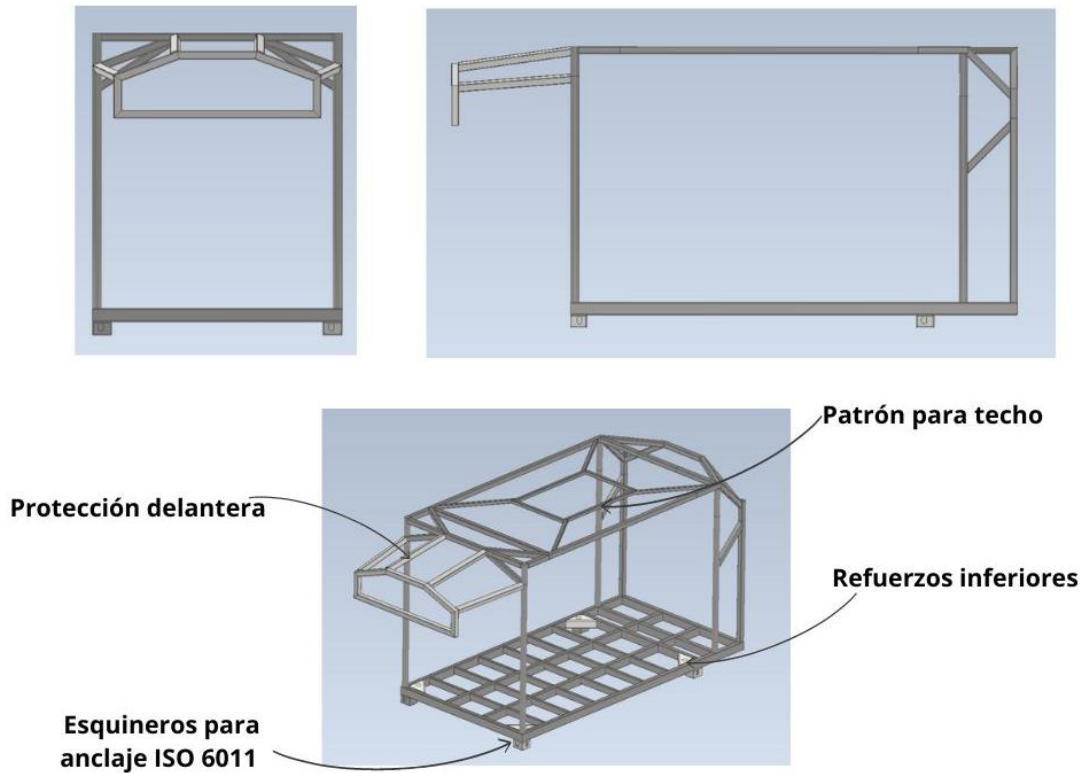


Figura 13. Vistas ortogonales e isométrica de estructura principal.

La estructura generada está conformada por perfiles de acero comercial A36 (según ASTM) y se une a la plataforma del camión por medio de esquineros ISO 1161. Esto garantiza un correcto anclaje para su transporte y rápida liberación en la estación de trabajo.

Desarrollo de rampas de guardado

El extractor de basura que se muestra en la figura 9 debe ser capaz de subir y bajar del conjunto “todo en uno” a través de unas ruedas montadas en la parte inferior del mismo. Esta acción permite a este transportador de cangilones acercarse al nivel del agua, sumergirse y empezar con la recolección de basura.

Para lograr el cometido anterior, se propuso el diseño de un par de rieles montados en la estructura principal por los cuales circula el extractor y permite su guardado

dentro de la misma. Estos rieles deben ser capaces de desplegarse a la hora del transporte y de replegarse al llegar a la presa, para no estorbar en las actividades de extracción.

Para agilizar el proceso de diseño se dividió a este subsistema en dos partes principales, obteniendo a los rieles montados en la estructura principal para almacenaje y transporte llamados “rampas de guardado” y los rieles para montar en la presa y posicionar al extractor llamados “rampa de trabajo”, véase figura 14. En consecuencia, este capítulo aborda únicamente el desarrollo de la rampa de guardado.

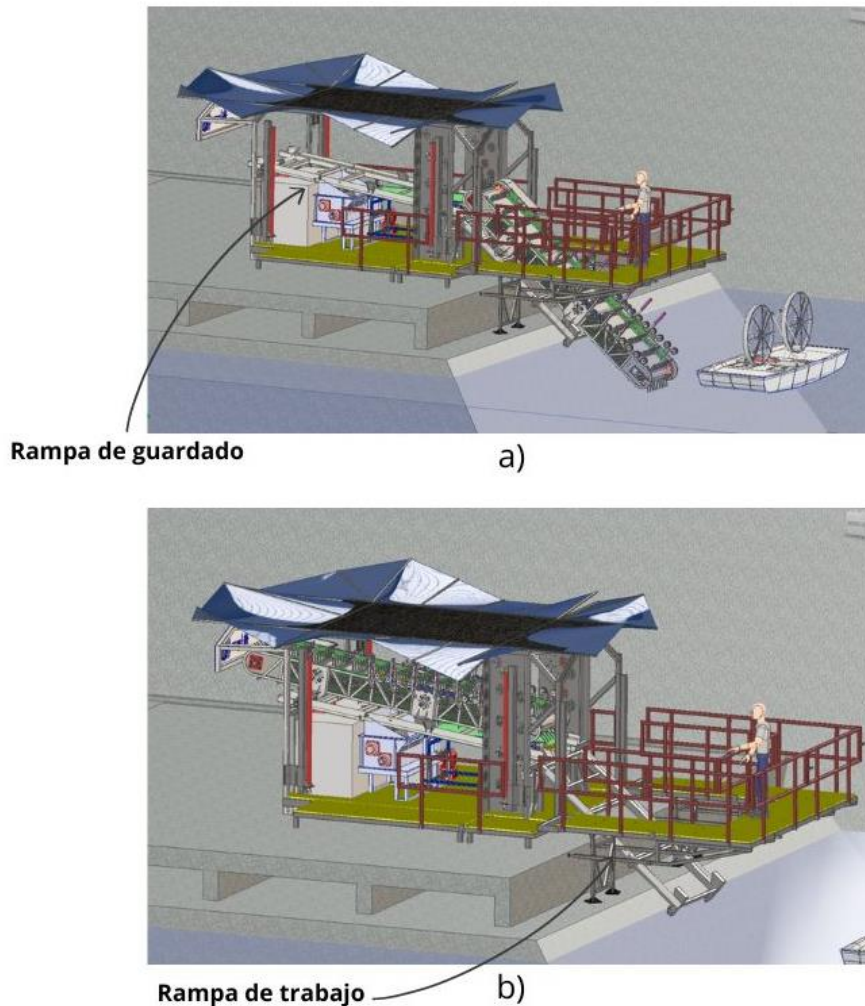


Figura 14. Partes que componen a las rampas para extractor. a) Rampa de guardado; b) Rampa de trabajo.

Al igual que con la estructura principal, el proceso de diseño fue una evolución y mejora de la propuesta seleccionada por el equipo de trabajo. En el capítulo siguiente se detallan las evaluaciones hechas al modelo final.

En la figura 15 se muestra el proceso seguido para concebir a esta solución; debido a que se tratan de bosquejos y figuras de trabajo, los demás elementos mostrados en ellas no corresponden con el estado final de los mismos.

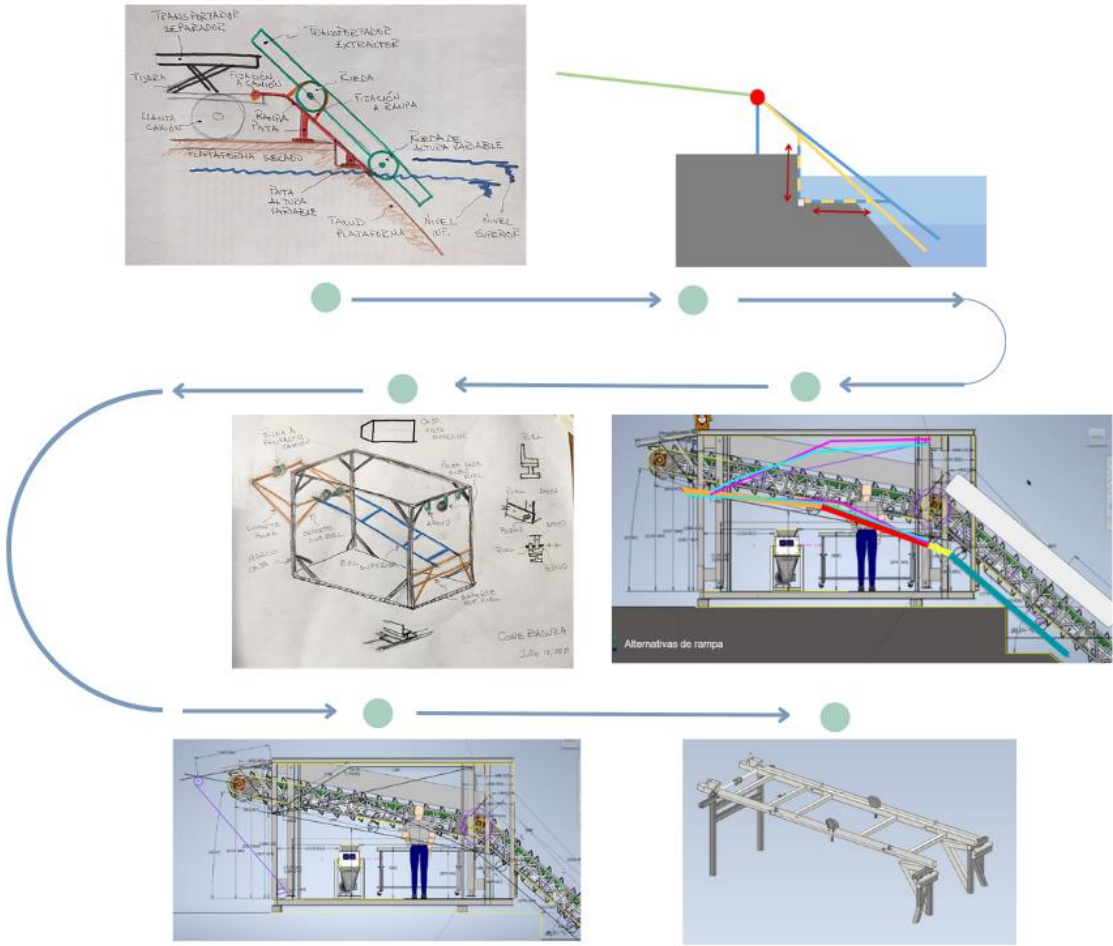


Figura 15. Evolución conceptual de la rampa de guardado.

Esta rampa de guardado consta de una estructura metálica dividida en tres secciones, capaz de soportar el peso del extractor en un plano inclinado de 10 grados respecto a la horizontal que, al mismo tiempo, permite replegarla en la parte superior, obteniendo un área de trabajo despejada tal como se muestra en la figura 16. Esta acción de movimiento es realizada gracias a un malacate eléctrico montado en la parte frontal del conjunto, que también cumple la función de subir y bajar al extractor de cangilones.

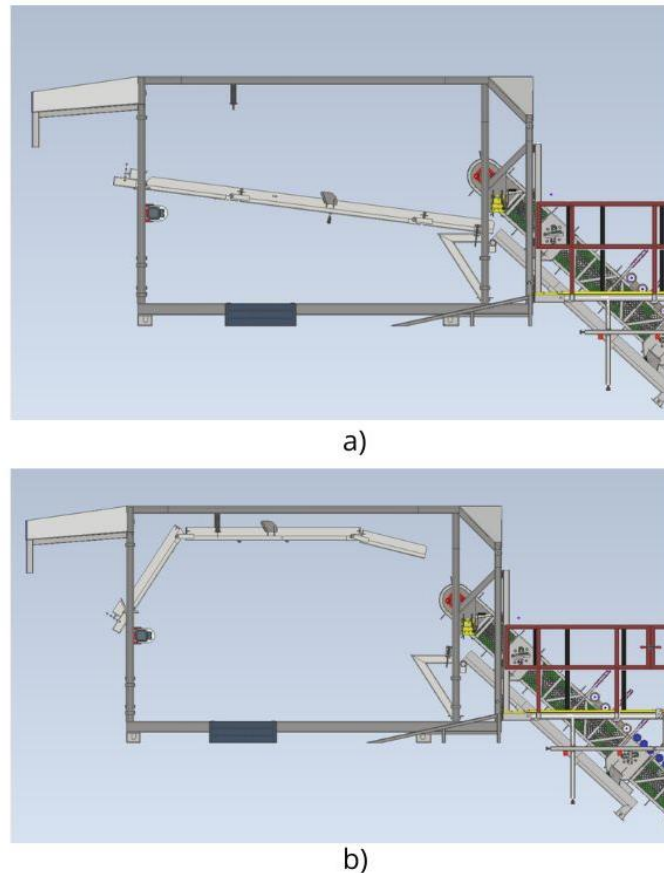


Figura 16. Posiciones de rampa de guardado. a) posición no retraída; b) posición retraída, área de trabajo despejada.

Además, este elemento cuenta con topes mecánicos que frenan el movimiento del extractor y que, a su vez, sirven para anclarlo a los carriles y asegurar su transporte sobre el camión. En la figura 17 se muestra con más detalle a esta estructura, señalando los elementos principales que la componen.

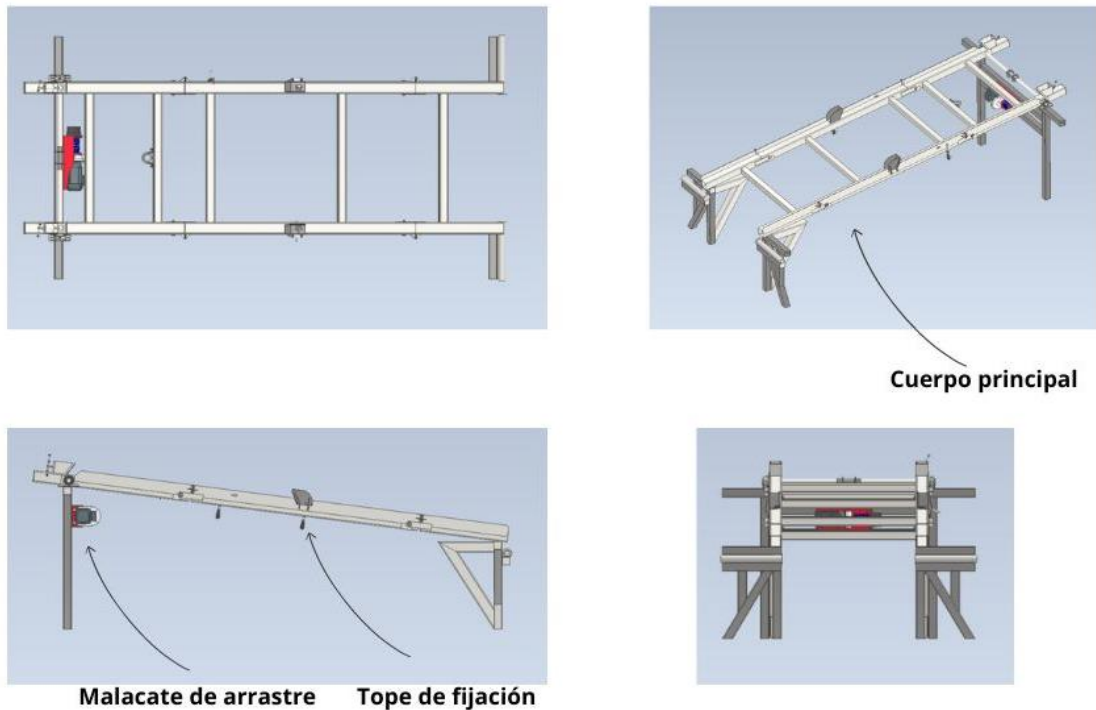


Figura 17. Vistas ortogonales e isométrica de rampa de guardado.

Desarrollo de elevadores

Los cambios sufridos al concepto inicial del “todo en uno” orillaron a la creación de una nueva necesidad en el sistema, en la cual se requiere subir y bajar de manera controlada al conjunto completo, con el objetivo de lograr un desmontaje del camión sin necesidad de equipos de maniobra y elevación extra.

La mayoría de los sistemas de elevación comerciales utilizan la potencia hidráulica para generar la fuerza necesaria para levantar objetos, ya sea por medio de cilindros hidráulicos, mecanismos de tornillo tuerca o poleas y cables [26].

Para este caso, se exploraron alternativas basadas en cilindros hidráulicos y mecanismos eléctricos de tornillo tuerca debido a la disponibilidad comercial que se tenía durante el desarrollo del proyecto.

Debido a que se desarrollaron varias propuestas de solución para este subsistema y la toma de decisiones se tornó compleja, se seleccionó al concepto final a través de una matriz de Pugh [27], la cual ayuda a elegir la solución óptima según los parámetros definidos.

A continuación, se presentan a los distintos conceptos de solución y posteriormente, se muestra los resultados obtenidos de la matriz. Para este ejercicio, el concepto de referencia fue el equipo con cilindro hidráulico (concepto A), ya que estos sistemas son los más utilizados en operaciones de levantamiento y se puede tratar como un dispositivo estándar.

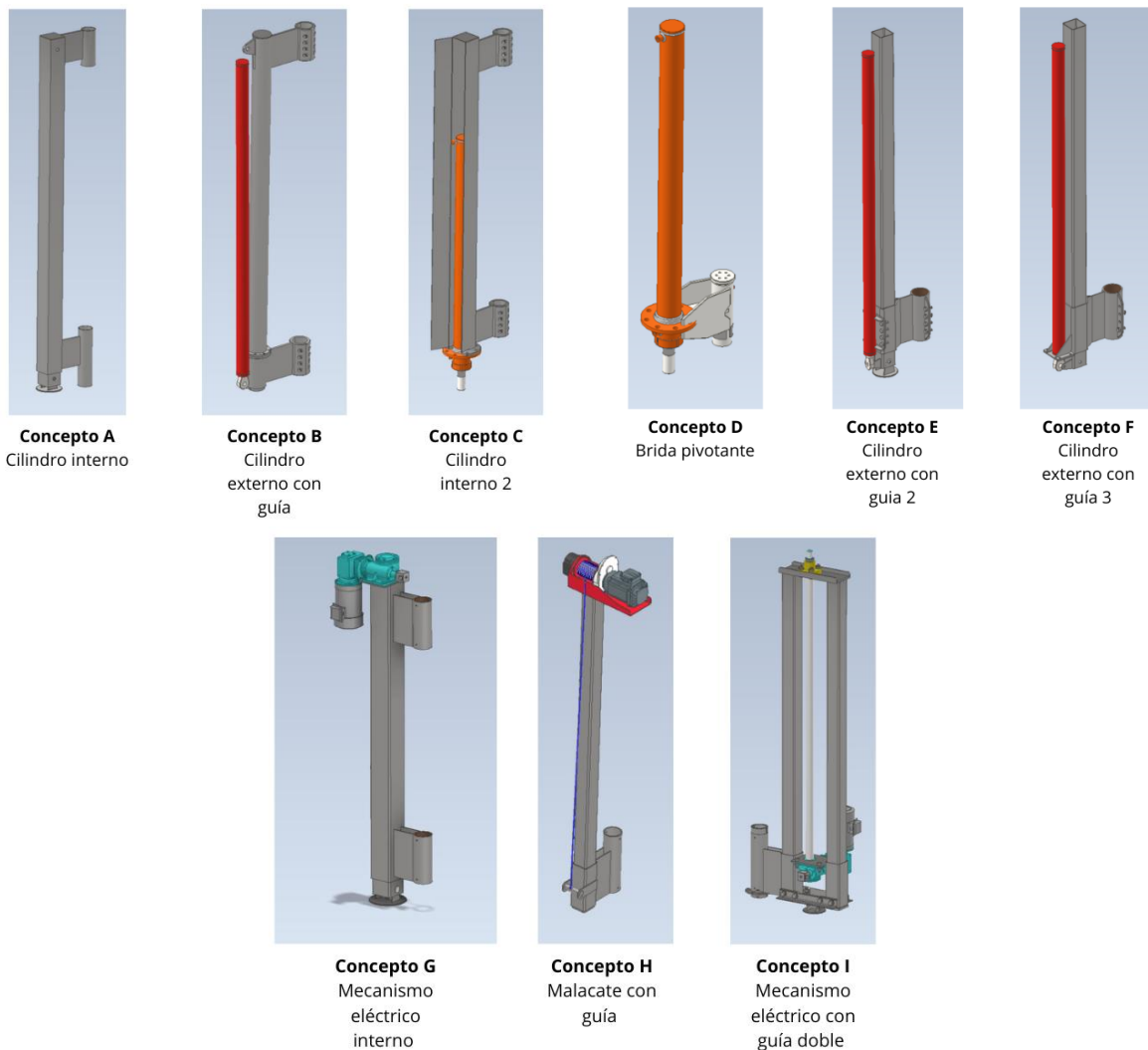


Figura 18. Presentación de propuestas para subsistema de elevación.

Tabla 2. Matriz de Pugh para selección de concepto de solución para elevadores.

| Criterios de selección | Conceptos | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|---|
| | A Cilindro interino (referencia) | B Cilindro externo con guía | C Cilindro interno 2 | D Brida pivote | E Cilindro externo con guía 2 | F Cilindro externo con guía 3 | G Mecanismo eléctrico interno | H Malacate con guía | I Mecanismo eléctrico con guía doble |
| Complejidad mecánica | 0 | - | - | - | 0 | 0 | - | + | - |
| Facilidad de uso | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | - | + |
| Facilidad de mantenimiento | 0 | - | + | + | + | + | - | - | + |
| Confiabilidad | 0 | 0 | 0 | - | - | - | + | - | + |
| Complejidad de manufactura | 0 | - | + | - | - | + | - | + | - |
| Costo | 0 | - | - | - | - | - | - | + | - |
| Tiempo de preparación | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | - | + |
| Suma + | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Suma - | 0 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 |
| Suma 0 | 7 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Evaluación neta | 0 | -4 | 0 | -3 | -2 | 0 | -1 | -1 | 1 |
| ¿implementar? | Revisar | No | Revisar | No | No | Revisar | Revisar | No | Si |

Con ayuda de la matriz de Pugh, se tomó la decisión de incorporar el concepto I, ya que permite lograr una mayor confiabilidad de operación y reduce al mínimo el riesgo de fallo en el subsistema; dos de las características más importantes para esta aplicación.

Siguiendo con el proceso de diseño, este concepto se modeló utilizando el software de diseño Inventor®, y se realizaron diversos análisis FEA para dimensionar y

seleccionar los materiales adecuados para la manufactura. En los siguientes capítulos se presentan los resultados de dichos análisis.

La figura 19 muestra las vistas ortogonales e isométrica de la configuración final para estos elevadores, señalando las partes principales que lo componen.

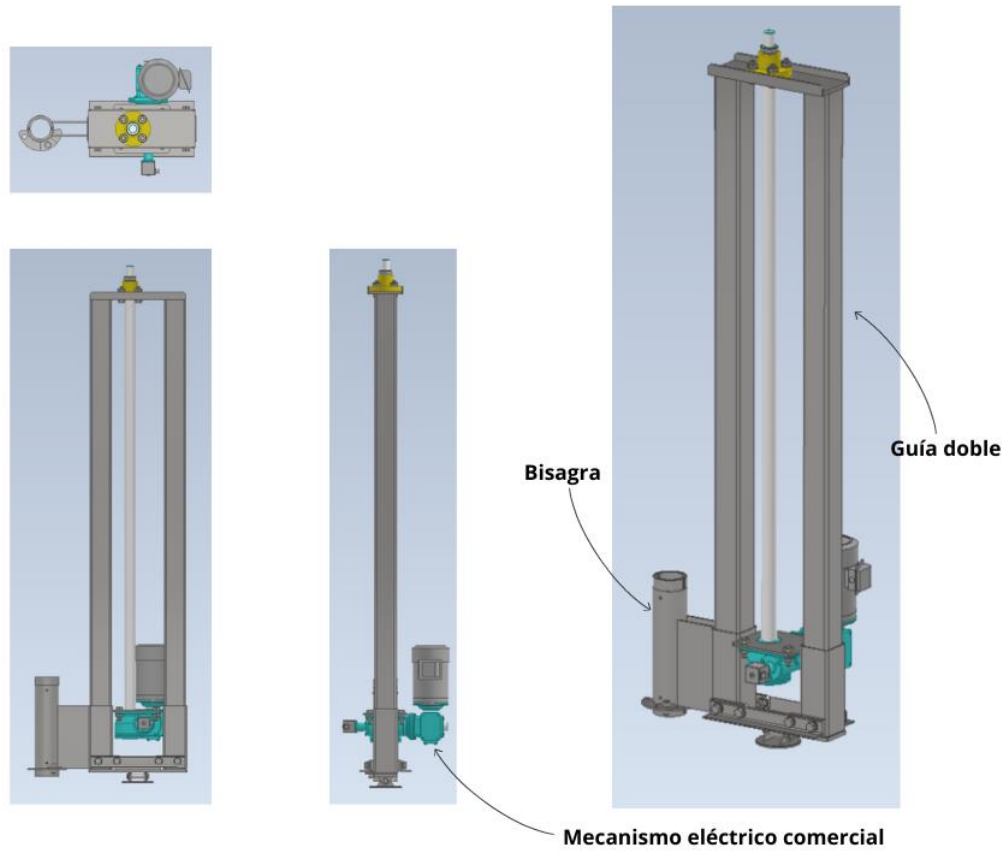


Figura 19. Vistas ortogonales e isométrica de concepto final de elevadores

Prototipos rápidos

Como se mencionó en los capítulos anteriores, los subsistemas mostrados fueron concebidos con ayuda de herramientas computacionales de diseño CAD, lo cual tiene grandes ventajas a la hora de manipular o modificar las formas y volúmenes generados, haciendo un proceso de diseño más dinámico y rápido. Por otro lado, limitarse a solo estas herramientas conlleva el riesgo de caer en problemas de diseño tales como la creación de piezas de alta complejidad de manufactura y ensamblajes imposibles de ejecutar, entre otros.

Para solucionar estas problemáticas, las metodologías especializadas en el diseño mecánico y de producto proponen la construcción de prototipos, ya sea de función limitada, función crítica o rápidos, utilizando una filosofía de solo construir artefactos o dispositivos para validar funciones simples pertenecientes a un sistema más complejo, haciendo una aproximación al producto final en una o más características de interés[7]. Tal es el caso de Ulrich y Eppinger, los cuales recomiendan una etapa de prototipado rápido en su proceso; de igual manera Borja y Reivich destacan la importancia de la fabricación de prototipos cuando se quiere hacer un trabajo de innovación en ingeniería[28].

Bajo el argumento anterior, se realizó la construcción de prototipos con manufactura aditiva, utilizando el proceso de modelado por deposición fundida, FDM por sus siglas en inglés, de PLA a escala 1:13 de la estructura principal y rampa de guardado, con el fin de validar la cinemática del repliegue de la rampa, por un lado, y vislumbrar la proporción de la estructura principal con el resto de los elementos.

A continuación, se describen a los modelos físicos generados para cada parte, mencionando los descubrimientos y aprendizajes más importantes obtenidos durante la interacción con ellos.

Estructura principal

En la figura 20 se muestran fotografías tomadas al modelo hecho para la estructura principal. Se muestra también a la rampa de guardado y un par de pasillos de supervisión.

Como se observa, el diseño geométrico de esta estructura no corresponde con la propuesta final presentada en el capítulo anterior, debido a que el objetivo principal de este prototipo era validar la interacción e interfaces con los demás elementos, utilizando una morfología conceptual “orgánica” basada en la filosofía del diseño biomimético [29].

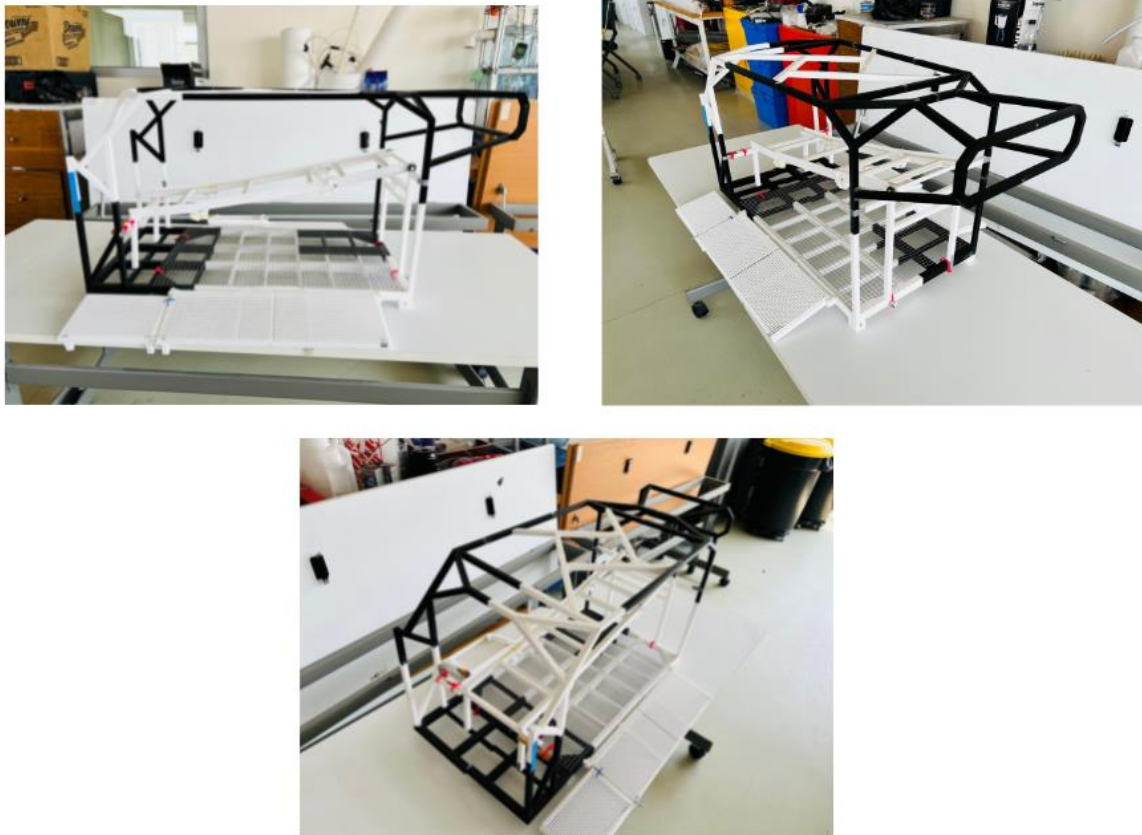


Figura 20. Fotografías tomadas a prototipo rápido escala 1:13 hecho por FDM.

Gracias a este modelo se propuso una mejor distribución de los elementos dentro del “todo en uno”, tal y como se observa en la figura 21. Además, fue posible verificar las interferencias entre los demás subsistemas.



Figura 21. Modelo completo de Sistema “Todo en Uno” hecho con FDM.

Entre los aprendizajes más importantes obtenidos de este ejercicio estuvieron:

- Validación de las proporciones de todos los subsistemas del todo en uno.
- Revisión y corrección de las interferencias entre los subsistemas.
- Se encontró que el diseño propuesto para la estructura principal no permitía el correcto movimiento de repliegue de los elevadores.
- Validación de la correcta cinemática de la rampa de guardado, pasillos, plataforma de supervisión y extractor.
- La propuesta generada es capaz de almacenar a todos los accesorios y dispositivos extra.

Rampa de guardado

La construcción del modelo a escala de la rampa de guardado fue primordial para validar los movimientos de repliegue necesarios para despejar el área de trabajo; si bien el software de diseño es capaz de ejecutar una simulación cinemática del mecanismo, la manipulación física permite obtener información más confiable y realista de este subsistema.

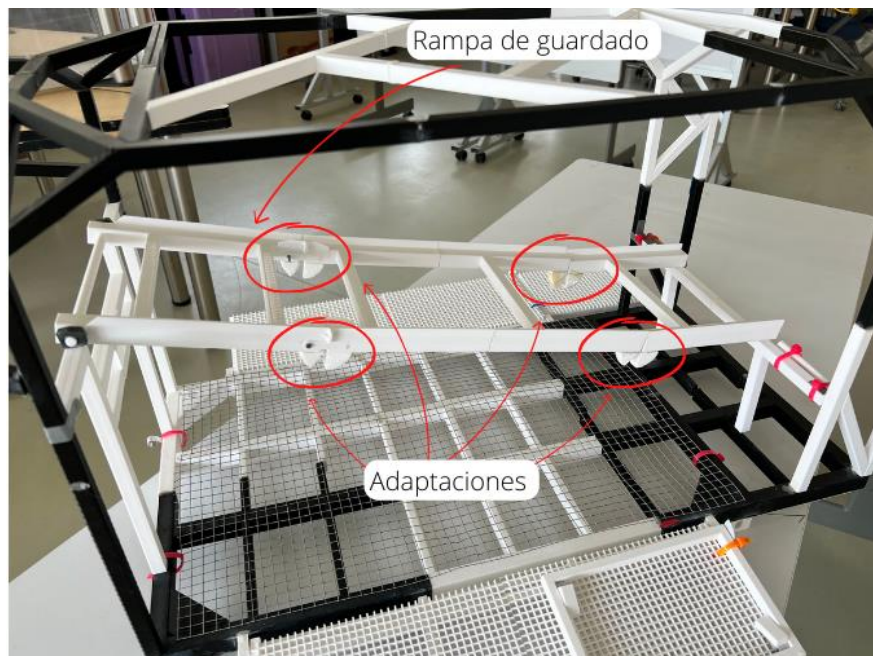


Figura 22. Modelo a escala 1:13 de rampa de guardado montada sobre estructura principal, hecha con FDM.

La figura 22 muestra la adaptación hecha con material polimérico de las articulaciones de la rampa, las cuales emulan a las restricciones mecánicas diseñadas que, debido al proceso FDM y la escala seleccionada, no fue posible su manufactura en el prototipo.

En las siguientes imágenes se observa la secuencia de replegado de la rampa, así como también, el detalle de los apoyos deslizantes hechos con madera, para este ejercicio.

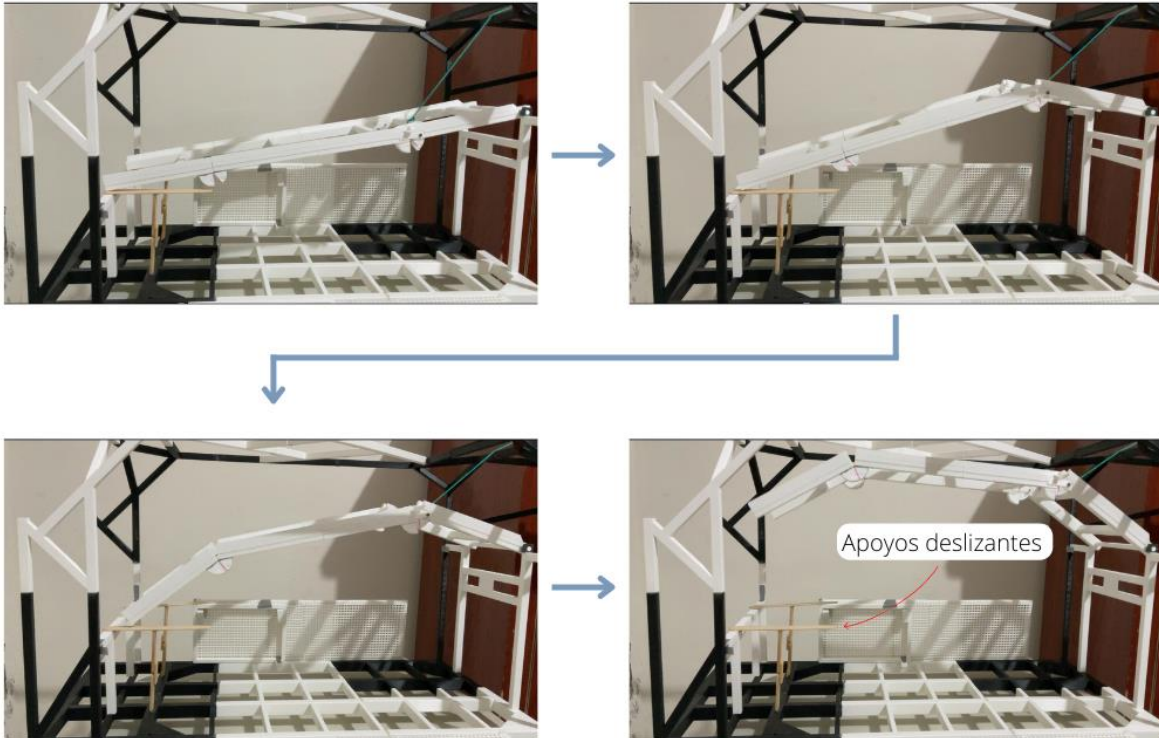


Figura 23. Secuencia de replegado de rampa de guardado en modelo hecho por FDM

Los descubrimientos y aprendizajes más relevantes registrados para este mecanismo fueron:

- Validación del mecanismo de replegado de la rampa.
- Comprobación del dimensionamiento del mecanismo propuesto.
- Validación del ángulo de inclinación para el extractor.
- Validación de la ruta para el cable del “winch” de arrastre.
- Comprobación de los apoyos deslizantes para posicionamiento de la rampa.
- El diseño cinemático propuesto cumple con la función principal definida.

Diseño de detalle

Este capítulo aborda las actividades realizadas para concebir a los modelos finales de cada subsistema; se describen los trabajos correspondientes a las etapas 6 y 7 de nuestro proceso de diseño; siendo estos el diseño de detalle y el refinamiento 2, respectivamente.

Para la validación mecánica de los conceptos de solución, se utilizó la herramienta de Análisis de tensión y Análisis estructural de la paquetería de Autodesk Inventor®, el cual entrega como resultados, entre otros, el esfuerzo máximo generado por las cargas, el factor de seguridad respecto al esfuerzo equivalente de Von Mises y la deformación sufrida representada como desplazamientos en milímetros. Para todos los casos se utilizó el criterio de fallo de Von Mises, debido a que éste trabaja bajo régimen elástico de los materiales, lo cual garantiza que las piezas y ensambles mantengan sus dimensiones iniciales e integridad física.

Para la representación en planos de las piezas, despieces y ensambles se utilizó un formato de hoja A2 con la norma ISO 5457:1999, el cajetín de información fue personalizado, las tolerancias utilizadas se apuntaron en una tabla de tolerancias no indicadas lo cual permite no saturar de información los planos, solo en situaciones específicas, dichas tolerancias se anotaron directamente sobre las cotas. La presentación de las vistas ortogonales fue hecha en estilo americano. El anexo 3 muestra algunos planos elaborados para manufactura y ensamble.

La selección de los parámetros anteriores para planos fue hecha por conveniencia con la forma de trabajo del socio de manufactura.

Simulaciones hechas por FEA

Como parte de las actividades hechas para la comprobación de resistencia mecánica y dimensionamiento geométrico de las distintas piezas y ensambles, se realizaron simulaciones FEA de las partes críticas, utilizando los estados de fuerzas

y restricciones obtenidos de cada DCL (Diagrama de cuerpo libre) respectivamente, en un estado de equilibrio estático.

Debido a que los diseños generados son esencialmente estructuras hechas con perfiles comerciales unidos por soldadura, se ejecutaron 2 tipos de análisis para su estudio. Por un lado, se realizó un análisis estructural general, con el fin de atender a la selección de geometrías y espesores de perfiles; por otro lado, se hizo un análisis de tensión solamente a las partes críticas de cada estructura, como interfaces, articulaciones, eslabones, pasadores, entre otros. La razón principal de este proceso radica en que el primer análisis se encarga de evaluar a los ensambles usando vigas y nodos ficticios, utilizando las propiedades de sección y material de cada elemento; el segundo realiza un estudio más detallado de la superficie geométrica, generando un mallado fino e incorporando parámetros del material, tipo de contacto y comportamiento superficial de las piezas.

Para todas las simulaciones se utilizaron los siguientes parámetros de entrada.

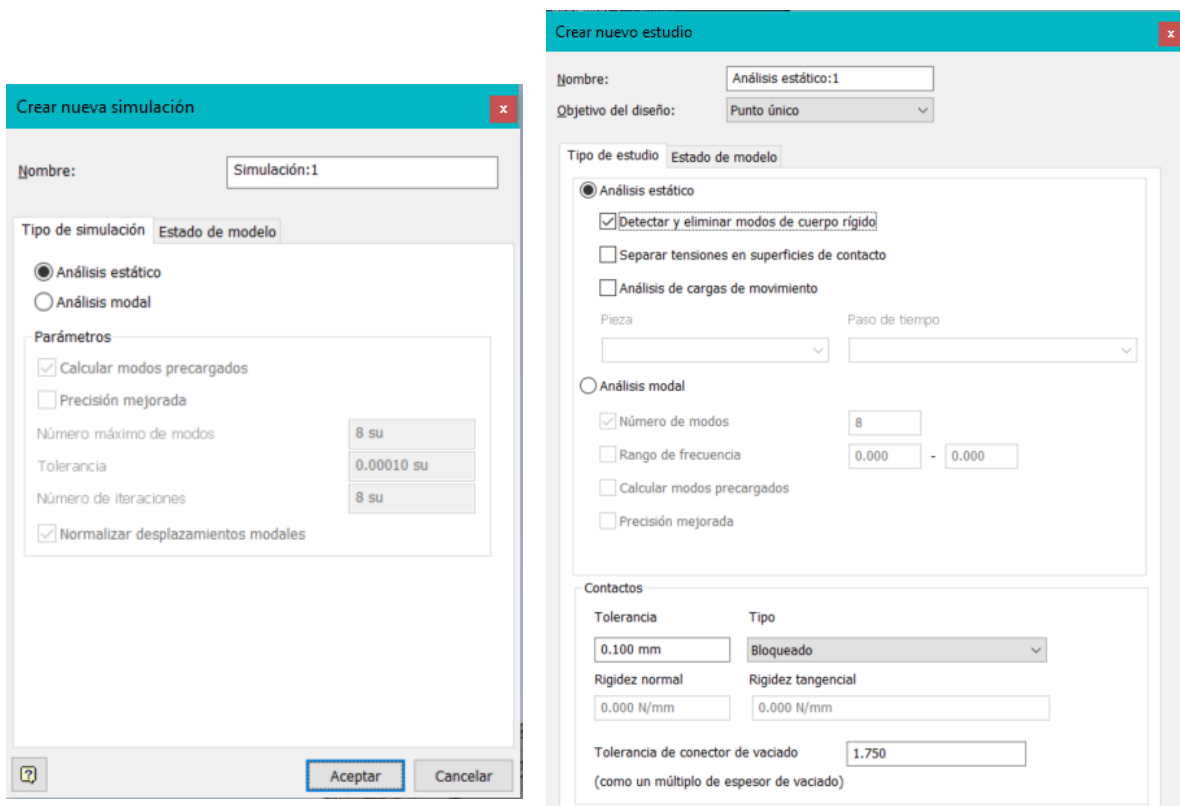


Figura 24. Parámetros iniciales para simulaciones. Análisis Estructural (Izquierda) y Análisis de Tensión (Derecha).

Para ambos casos se plantea un comportamiento estático, debido a que los movimientos ejecutados son lentos y las fuerzas inerciales obtenidas son tan bajas que son despreciables. Además, para todos los subsistemas se considera el estado de esfuerzos más crítico, en donde los elementos se someten a las máximas cargas posibles. El factor de seguridad utilizado para todos los casos es de mínimo 2, debido a que se tienen elementos con interacción humana directa.

El material utilizado para la construcción se unificó a Acero A36, con las siguientes características [30].

| Categoría | Propiedad | Valor |
|---|-----------------------------------|-----------------------|
| Comportamiento | Comportamiento | Isótropo |
| | Térmico básico | |
| Térmico básico | Conductividad térmica | 4.700E+01 Con (m · k) |
| | Calor específico | 0.480 J/ (G · ° C) |
| | Coeficiente de dilatación térmica | 12.000 µm/(m·°C) |
| Mecánico | Módulo de Young | 210.000 GPa |
| | Coeficiente de Poisson | 0.30 |
| | Módulo cortante | 136500.000 MPa |
| | Densidad | 7.850 g/cm³ |
| | Coeficiente de amortiguamiento | 0.00 |
| | Resistencia | |
| Resistencia | Límite de elasticidad | 250.000 MPa |
| | Resistencia máxima a tracción | 300.000 MPa |
| <input type="checkbox"/> Tratado térmicamente | | |

Figura 25. Propiedades físicas de Acero no aleado (equivalente A36) según Inventor®.

En los apartados siguientes se muestra el proceso de análisis realizado y los resultados principales para cada subsistema. Es importante aclarar que las imágenes que muestran el estado de esfuerzos y deformaciones de los elementos, tienen aplicado un factor de aumento gráfico, con el fin de visualizar de una mejor manera el comportamiento, por lo tanto, las geometrías mostradas no corresponden con una representación real de las piezas.

Estructura principal

La estructura principal es un elemento que puede verse como el chasis principal de todo el sistema, en el cual se montan y resguardan todos los demás elementos, por lo tanto, debe tener buena rigidez y transmitir confianza al usuario.

La aplicación de carga se realizó como una distribución uniforme en todos los perfiles del piso; además, se agregó la carga producida por el peso del extractor junto con las rampas de guardado en sus puntos de apoyo. Por último, se agregó una carga inercial debido a un evento hipotético de desaceleración de 60 a 0 Km/h en 4 segundos, ocurrido durante el transporte. Ver figura 26.

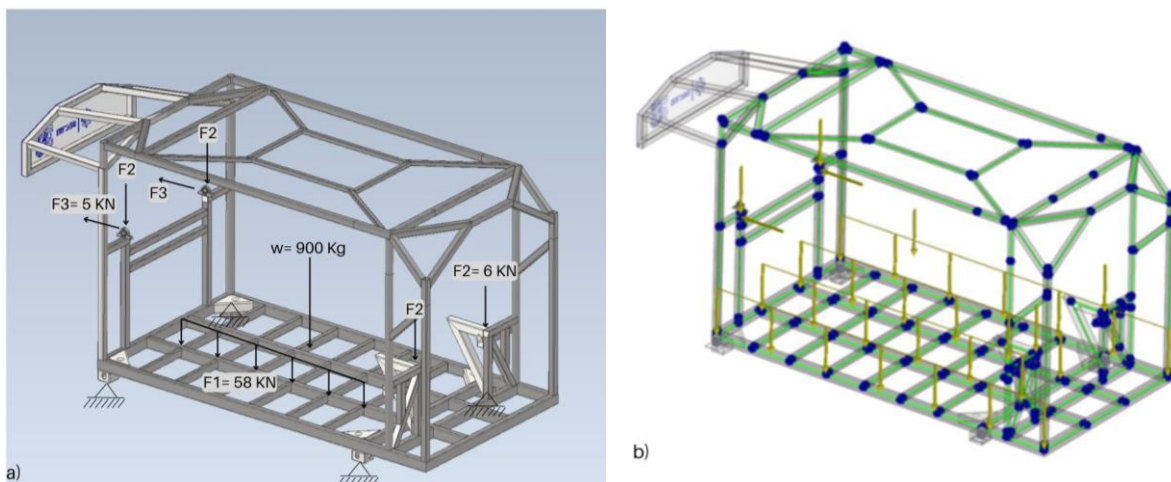


Figura 26. a) Aplicación de cargas en estructura principal; b) Representación gráfica del modelo antes de ejecutar la simulación.

Resultados principales

Después de ejecutada la simulación se obtuvo una estructura con buen comportamiento y resistencia a las cargas aplicadas, además, la deformación máxima presentada se mantiene en el régimen elástico y corresponde a un desplazamiento de 4 mm ubicado en uno de los apoyos de la rampa de guardado; esto se debe al efecto de la inercia durante la frenada. En la figura 27 se muestra la representación gráfica del estado de esfuerzos y deformaciones resultante del análisis.

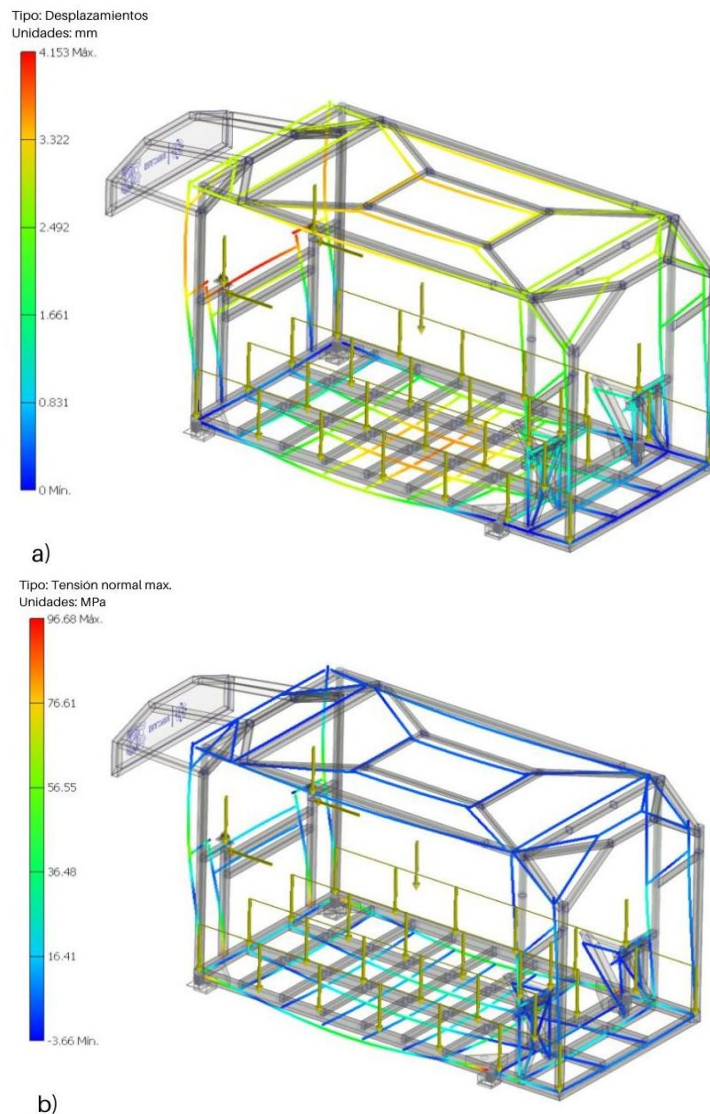


Figura 27. Resultados de esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura principal. a) deformación sufrida; b) esfuerzos máximos normales resultantes.

La tabla 3 muestra los resultados principales obtenidos y algunas características técnicas resultantes.

Tabla 3. Resultados y características principales de estructura principal

| | |
|--|--------|
| Esfuerzo normal máximo | 97 MPa |
| Deformación máxima (como desplazamiento) | 4.1 mm |
| Factor de seguridad | 2.5 |
| Capacidad de carga de diseño | 8 Ton |
| Capacidad de carga máxima | 20 Ton |
| Peso teórico de estructura | 900 Kg |

Rampas de guardado

En este subsistema se distingue a dos elementos principales; los apoyos fijos y el cuerpo de la rampa. Para los dos casos se utilizó perfilera comercial de Acero A 36.

Debido a que el cuerpo de la rampa es articulado se ejecutó, además del análisis estructural, un análisis de tensión exclusivo para estos puntos móviles, aplicando las condiciones de carga resultantes de analizar el equilibrio en el DCL.

La aplicación de carga se realizó de manera puntual en las posiciones de las ruedas del extractor y en un plano inclinado 7 grados respecto a la horizontal. Esta carga corresponde al peso del extractor junto con el bote situado en el centro geométrico de la rampa; véase figura 28.

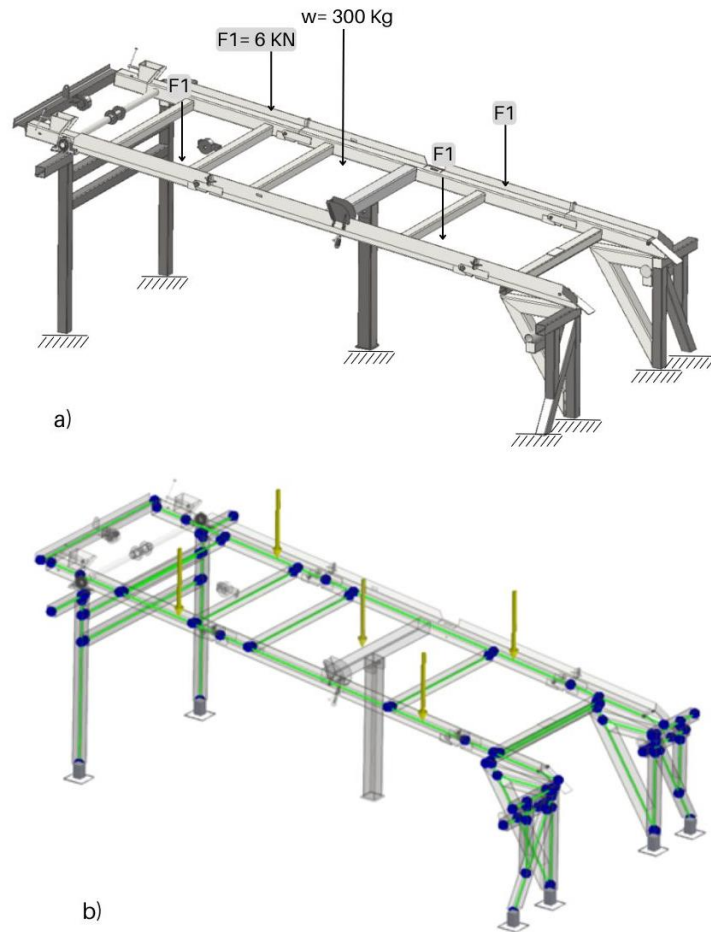


Figura 28. a) Aplicación de cargas en rampas de guardado; b) Representación gráfica del modelo antes de ejecutar el análisis.

Para el análisis de los puntos de articulación, se aplicaron la cargas resultantes de realizar el equilibrio de fuerzas en la rampa, obteniendo dos fuerzas de reacción en las direcciones que muestra la figura 29.

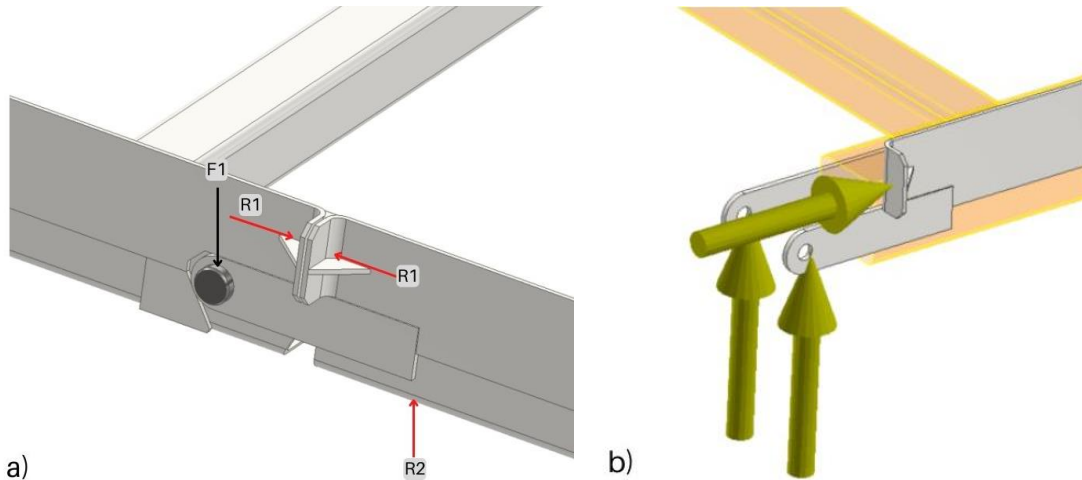


Figura 29. a) Estado de fuerzas aplicado para simulación, resultante del DCL; b) Aplicación de fuerzas y restricciones en el software.

Resultados principales

Los resultados obtenidos muestran que la estructura de las rampas resiste de manera favorable la carga aplicada. Las deformaciones resultantes se mantienen en el rango elástico y el factor de seguridad cumple con el parámetro propuesto. El desplazamiento de 5 mm obtenido en el centro de la rampa, no representa problemas para el resto de la estructura, aunque debido a que el conjunto está sometido a cargas dinámicas durante su transporte, se decidió agregar un punto de apoyo extra en la zona de mayor deformación, con el objetivo de evitar el fenómeno de fatiga debido a flexión cíclica. En la figura 30 se muestra el estado de esfuerzos y deformaciones obtenido.

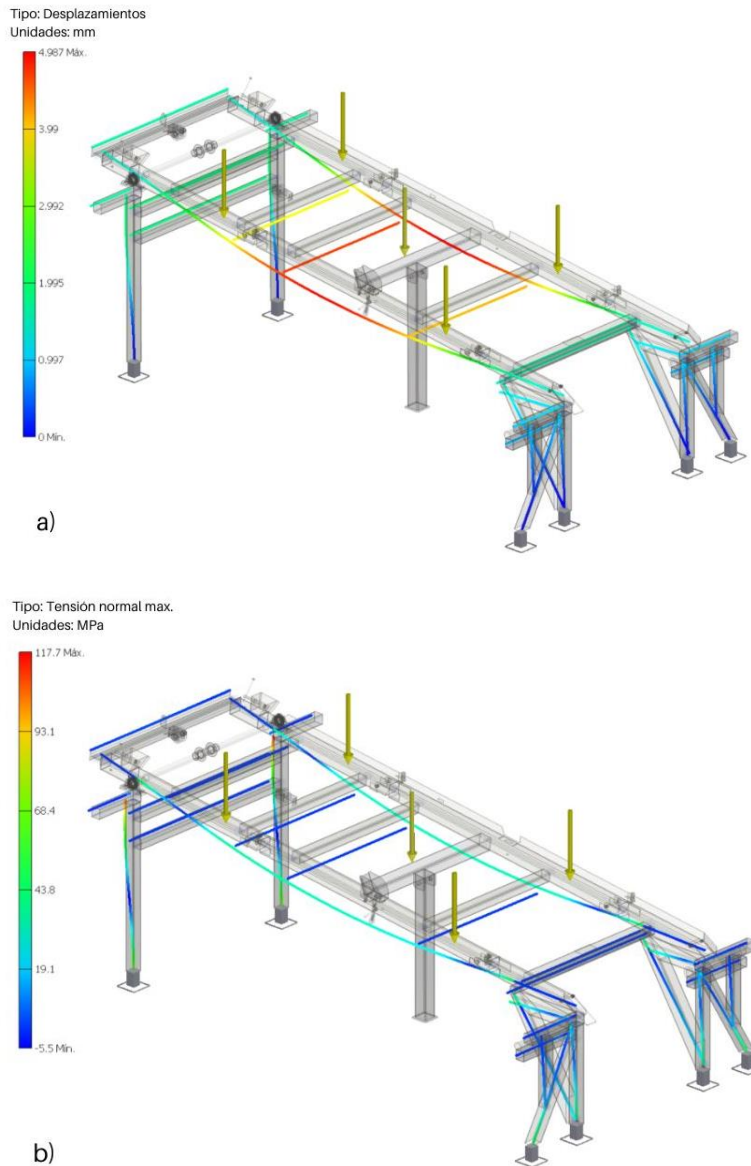


Figura 30. Resultados obtenidos del análisis de estructura de la rampa de guardado. a) Deformación sufrida en mm; b) Esfuerzos resultantes debido a la aplicación de cargas.

Para el análisis de la articulación se obtuvo una deformación equivalente a un desplazamiento de 2 décimas de milímetro y un factor de seguridad promedio de 2.3, por lo tanto, cumple con los requerimientos definidos y resiste de manera adecuada las condiciones de trabajo. La figura 31 muestra la representación gráfica del estado de esfuerzos resultante y las deformaciones sufridas en la pieza. La tabla 4 muestra las características técnicas más relevantes.

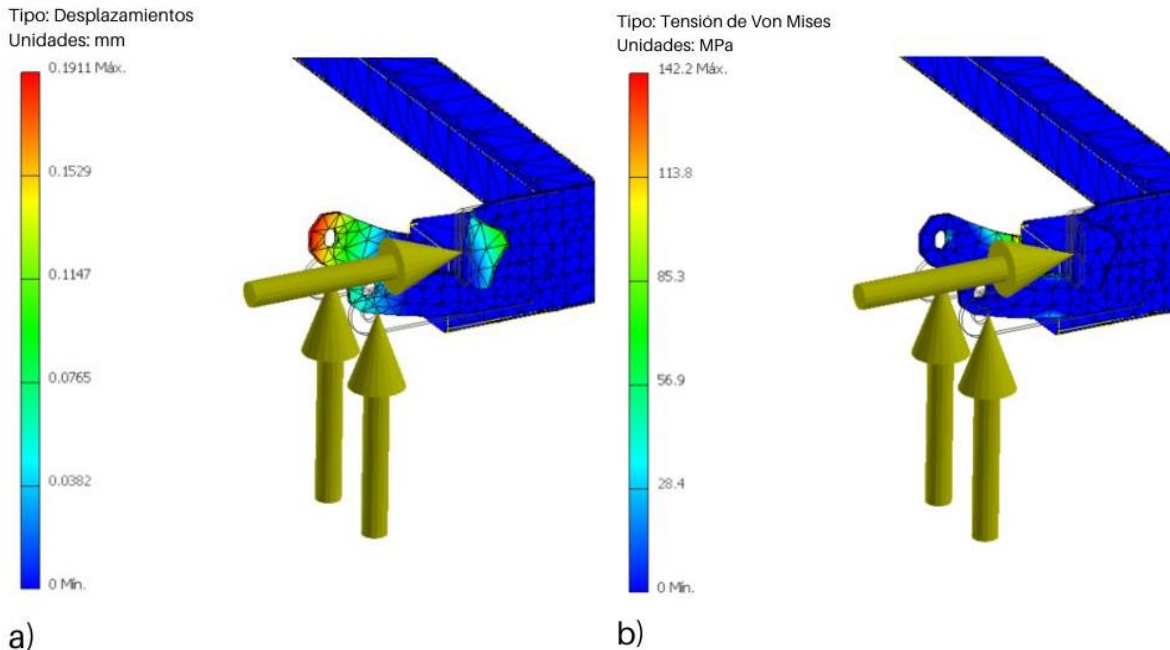


Figura 31. Resultados de FEA aplicado a articulación de rampa de guardado. a) Deformación representada como desplazamientos; b) Esfuerzo equivalente de Von Mises

Tabla 4. Resultados y características generales de la Rampa de Guardado

| | |
|--|----------|
| Esfuerzo normal máximo | 118 MPa |
| Deformación máxima (como desplazamiento) | 4.9 mm |
| Factor de seguridad | 2.1 |
| Capacidad de carga de diseño | 2.5 Ton |
| Capacidad de carga máxima | 6.25 Ton |
| Peso teórico de estructura | 250 Kg |

Elevadores

Este subsistema es uno de los más importantes y críticos de todo el sistema, ya que de este depende la integridad física de todo el conjunto durante la operación de levantamiento y montaje sobre el camión.

En general, los elevadores constan de 3 partes principales, las guías de carga, las camisas de anclaje y el mecanismo de tracción; como se muestra en la figura 32.

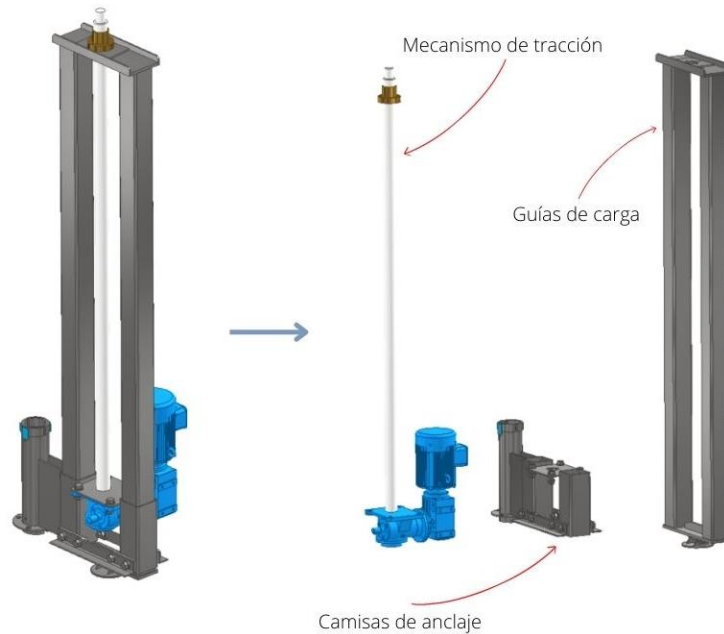


Figura 32. Elementos principales de elevadores.

Para ejecutar este estudio se realizó un análisis a las guías de carga y uno a las camisas de anclaje, de manera independiente, con las condiciones de carga resultantes del equilibrio en el DCL que se muestra en la figura 33. Cabe mencionar que no se analizó al mecanismo de tracción, ya que este fue seleccionado previamente según los requerimientos necesarios, además el fabricante garantiza una resistencia mecánica con un F. S. de 5.

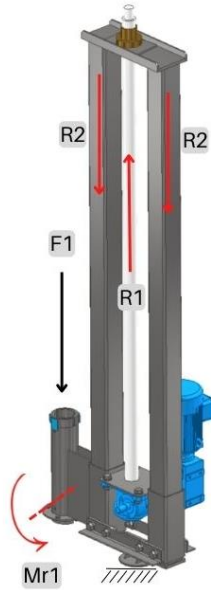


Figura 33. DCL para elevadores. Cada uno de estos comparten la mismas condiciones de carga mostradas.

Resultados principales

Como se observa en la figura 34, las guías de carga soportan de manera óptima la carga aplicada, con un F.S. de 1.7, además se tienen pequeñas deformaciones elásticas que no comprometen al funcionamiento de este. Es importante señalar que el análisis toma en cuenta el factor de ajuste por el fenómeno de pandeo, garantizando entonces resultados confiables.

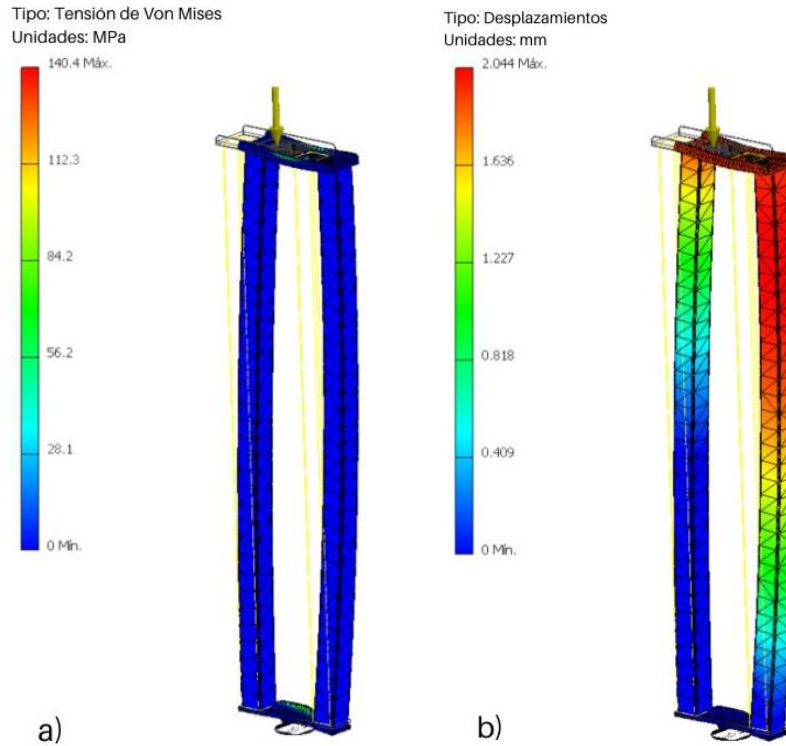
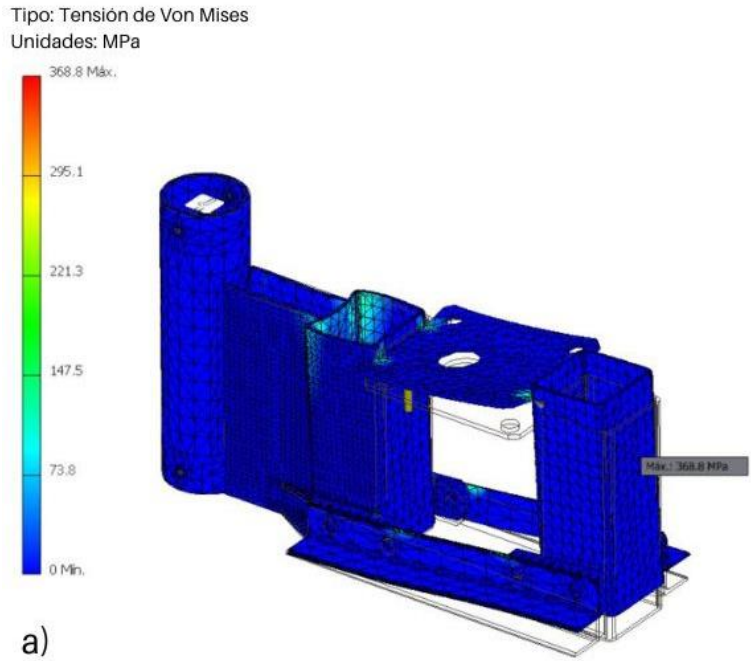
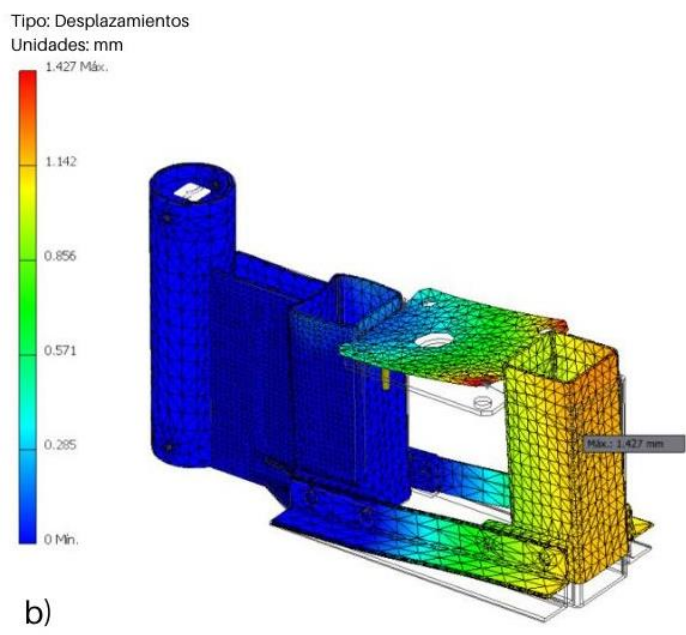


Figura 34. Resultados de análisis de tensión a guías de carga. a) Tensión de Von Mises; b) Deformación en mm

Para las camisas de anclaje se obtuvo que el diseño propuesto es capaz de soportar la carga aplicada, sufriendo una deformación equivalente a un desplazamiento de 1.4 mm. El pico de esfuerzo señalado en la figura 35 se desprecia, debido a que esa zona corresponde a la placa de fijación del mecanismo, el cual consta de una brida de 1 pulgada de grosor. Debido a lo anterior se promedia un F. S. global de 2. La tabla 5 engloba algunas de las características técnicas principales.



a)



b)

Figura 35. Estado de esfuerzos resultante de análisis. a) Esfuerzo de Von Mises; b) Deformación representada como desplazamientos.

Tabla 5. Resultados y características generales de Elevadores

| | |
|--|---------|
| Esfuerzo equivalente de Von Mises máximo global (excluyendo a la placa de fijación) | 140 MPa |
| Deformación máxima global (como desplazamiento) | 2 mm |
| Factor de seguridad promedio | 2 |
| Capacidad de carga de diseño | 2 Ton |
| Capacidad de carga máxima | 3.4 Ton |
| Peso teórico de subsistema | 120 Kg |

En conclusión, los apartados anteriores reportan los resultados principales obtenidos de los ejercicios de simulación estática de cargas de cada subsistema, sin embargo, es importante mencionar que este proceso de evaluación es también iterativo; debido a que se realizaron diversas modificaciones y reconfiguraciones geométricas en las zonas críticas de concentración de esfuerzos y deformaciones de cada pieza.

La herramienta FEA ayuda significativamente a obtener un diseño estructural óptimo y seguros para los usuarios, además, se evita el sobre dimensionamiento de los elementos y el riesgo de falla estructural. A pesar de ello, es importante dar una buena interpretación a los resultados obtenidos, ya que en algunas ocasiones, no representan resultados válidos debido a falta o errores en las condiciones de frontera y parámetros elegidos.

Manufactura y ensamble

La etapa 8 de nuestro proceso de diseño abarca el inicio de la manufactura del producto que, para nuestro caso, corresponde a la fabricación de todos los subsistemas presentados. Por lo tanto, este capítulo presenta el proceso de construcción y la producción de la primer versión prototipo del sistema “todo en uno”. Para ello, a continuación se presentan algunas fotografías que muestran el estado de manufactura a noviembre del 2022, mencionando los detalles y características más relevantes para cada caso. La manufactura de los tres subsistemas mencionados en este documento finalizó de manera exitosa para la fecha de corte dicha anteriormente.

La figura 36 muestra a la estructura principal finalizada, se observan también algunas imágenes donde se detallan algunas correcciones hechas, principalmente en los ángulos compuestos y cortes de boca de pez de algunas uniones de esquinas y empalmes.



Figura 36. Fotografías tomadas a la estructura principal fabricada, se señalan las uniones donde se realizaron ajustes.

El comportamiento físico de la estructura es correcto, no se observó ninguna deformación o grieta durante las primeras pruebas realizadas, en la que se agregó una carga de aproximadamente 4 Toneladas. Además, se hicieron pruebas de montaje sobre el camión.

Se presento una filtración de agua debido a las perforaciones superiores hechas para la fijación del techo de lona, debido a esto se realizaron agujeros de drenaje en la base de la estructura.

En la figura 37 se muestra la rampa de guardado finalizada, se observa también que las posiciones de guardado y trabajo coinciden con la tolerancia definida y el mecanismo de repliegue funciona de la manera prevista.



Figura 37. Fotografías tomadas a rampa de guardado fabricada, se detalla al mecanismo de repliegue de la misma.

Se reubico el travesaño trasero de la rampa, debido a que se presentó una interferencia de 5 cm con los cangilones del extractor y se agregaron segmentos de

apoyo para guiar el desplazamiento del mismo, debido a la desviación de su trayectoria, como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Detalle de Segmentos de apoyo agregados a rampa de guardado.

La deformación presentada por este elemento fue la esperada por los análisis y no se observaron grietas ni deformaciones plásticas durante las pruebas de carga.



Figura 39. Detalle de ajuste de usillo con placa de montaje superior.

Los elevadores también se finalizaron a la fecha de corte. Debido a que los planos suministrados por el proveedor del mecanismo de tornillo-tuerca no fueron los adecuados, se tuvieron que realizar tareas de ajuste y alineación de los usillos con las placas superiores para un correcto funcionamiento, véase figura 39.

Una vez corregidos los errores de alineación se procedió a la programación de velocidad de cada elevador, esto con el fin de garantizar un levantamiento uniforme de la estructura, como se observa en la figura 40.



a)



b)

Figura 40. Funcionamiento de subsistema de elevación. a) Sistema en piso; b) Sistema elevado.

No se observaron deformaciones plásticas y el comportamiento bajo carga fue exitoso. No se presentaron grietas o desgarres de material y se logró eliminar los fenómenos de atoramiento debido a las sobre restricciones cinemáticas en las guías de carga.

Conclusiones y trabajo futuro

Este documento se centra en los trabajos realizados para la generación de conceptos de solución para el “todo en uno” y los subsistemas: Estructura principal, Rampa de guardado y Elevadores. Utilizando herramientas graficas como bocetos a mano alzada, modelados 3D con geometrías primitivas y simulaciones cinemáticas simples. Obteniendo entonces al primer prototipo del sistema, abarcando la generación de conceptos, diseño de detalle, evaluación y refinamiento, construcción de planos y manufactura de cada parte mencionada; cumpliendo así con los alcances presentados.

El proceso de diseño utilizado fue construido a partir de la metodología de Diseño del Producto de Ulrich y Eppinger, y la filosofía del *Desing Thinking*.

El diseño presentado cumple con el objetivo de recolectar la basura flotante de las presas, integrando soluciones probadas en diferentes contextos y ejecutando la función de limpieza de una manera distinta a la convencional.

Cada subsistema obtenido esta especialmente adaptado a las necesidades particulares del proyecto SACMEX – UNAM. La Estructura principal está construida con materiales resistentes al ambiente de aplicación, las Rampas de guardado permiten despejar el área de trabajo y al mismo tiempo, salvaguardar la integridad del extractor de cangilones, los Elevadores tienen la capacidad de elevar hasta 8 toneladas de peso a una altura de 1.80 metros, suficiente para montar cualquier tipo de plataforma de carga.

En general, la duración total de este desarrollo tecnológico abarco desde el verano del 2019 hasta finales del 2022, distinguiéndose 3 etapas principales: recopilación de información, diseño conceptual y fabricación. Es importante mencionar, además, que el trabajo se vio obligado a parar y reorganizarse debido a la crisis sanitaria ocasionada por el SRAS-CoV-2 en 2020, lo cual afecto al cronograma previsto. A pesar de ello, el equipo de diseño logró adaptarse a las circunstancias y el trabajo continuó, obteniendo resultados y avanzando en el proceso de diseño.

Los diseños presentados fueron validados antes de su fabricación por medio del prototipado rápido y del análisis FEA, con el fin de refinar las propuestas y resolver los problemas de diseño no previstos.

La fabricación del primer prototipo, tuvo una duración de aproximadamente 9 meses y fue supervisada en su totalidad por el equipo “come-basura”, además, se corrigieron los errores surgidos por la manufactura convencional, lo cual es previsible en el desarrollo de nueva tecnología. El comportamiento estructural y mecánico de los subsistemas fue el esperado, y no se presentaron errores de diseño durante las primeras pruebas de funcionamiento.

Gracias a las observaciones, recopilación de información y retroalimentación obtenida por parte de los usuarios finales durante las primeras pruebas, se detectaron varias características de mejora en el sistema, lo cual impulsa al desarrollo de un nuevo modelo de “todo en uno”, con las modificaciones pertinentes que ayuden a lograr un funcionamiento más eficiente, respecto al anterior.

Anexos

Anexo 1. Tabla de especificaciones técnicas de presas del poniente de la CDMX



Dirección General de Drenaje
 Dirección de Operación de Drenaje Troncal y Redón
 Subdirección de Operación de Colectores y Tánques

PRESAS DEL PONIENTE

| NO. | PRESA | UBICACIÓN | ALTURA DE LA CORONA DE CORTINA (M) | ALTURA DEL VERTEDOR DE LA PRESA (M) | CAPACIDAD DE ALMACENAJE HASTA EL NAVE (M ³) | CAPACIDAD ALMACENAJE ACTUAL (M ³) | OBSERVACIONES |
|-----|--------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| 1 | ANZALDO | BOULEVARD POTE ADOLFO RUIZ CORTINES Y PUENTE LUIS CABRERA, COLONIA: JARDINES DEL PEDREGAL, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01900 | 10.40 | 9.14 | 190,000.00 | 163,000.00 | DE GRAVEDAD DE MAMPOSTERIA CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL Y ENROCAMIENTO EN SU PARTE POSTERIOR. |
| 2 | TEXCALATLACO | AVENIDA SAN BERNABE NUM. 549, COLONIA: SAN JERONIMO LIDICE, DELEGACION: MAGDALENA CONTRERAS C.P. 01780 | 16.20 | 14.84 | 98,000.00 | 35,000.00 | SECCION DE ENROCAMIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL. |
| 3 | LAS FLORES | CALLE: 1ER. ANDADOR DE LOS LEONES ENTRANDO POR DESIERTO DE LOS LEONES, COLONIA: LA HERRADURA, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01760 | 12.56 | 11.40 | 10,600.00 | 10,400.00 | DE MATERIAL GRADUADO CON CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS PARAMENTOS. |
| 4 | LA MINA | CALLE: CAMINO REAL DE MINAS, COLONIA: LOMAS DE LOS ANGELES DE TETELPAN ENTRE LAS U. HABITACIONAL LOMAS SAN ANGEL Y GALAXIA, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01700 | 12.70 | NO TIENE | 127,000.00 | 80,000.00 | MURO DE CONCRETO ARMADO EN LA MARGEN IZQUIERDA Y TALUDES VERTICALES DEL TERRENO NATURAL. |
| 5 | TEQUILASCO | AV. RIO GUADALUPE Y CALLE AMECA, COLONIA: AMPLIACION PUENTE COLORADO, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01730 | 9.47 | 6.22 | 47,500.00 | 47,500.00 | DE MATERIAL GRADUADO CON CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS PARAMENTOS Y UNA SOBREELEVACION A BASE DE MUROS DE CONCRETO CON ALMA DE TEPETATE COMPACTADO. |
| 6 | PILARES | CALLE: BARRANCA DE PILARES y 3ra. CDA. DE PILARES, COLONIA: PILARES AGUILAS, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01710 | 16.10 | NO TIENE | 16,600.00 | 16,400.00 | DE MATERIAL GRADUADO CON CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS PARAMENTOS. |
| 7 | TARANGO | AV. 5 DE MAYO SIN. COLONIA: LOMAS DE TARANGO, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01620 | 23.20 | (1) 20.53 (2) 22.57 | 272,000.00 | 306,000.00 | MAMPOSTERIA TIPO GRAVEDAD CON RECUBRIMIENTO DE MORTERO EN SU PARTE FRONTAL. |

PRESAS DEL PONIENTE

| NO. | PRESA | UBICACIÓN | ALTURA DE LA CORONA DE CORTINA (M) | ALTURA DEL VERTEDOR DE LA PRESA (M) | CAPACIDAD DE ALMACENAJE HASTA EL NAME (M ³) | CAPACIDAD ALMACENAJE ACTUAL (M ³) | OBSERVACIONES |
|-----|----------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
| 8 | MIXCOAC | CDA. PASEO PRISONERO SIN Y CALLE HERRADERO, COLONIA: COLINAS DEL SUR, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01430 | 31.17 | 13.47 | 911,800.00 | 502,000.00 | SECCION DE ENROCAMIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL. |
| 9 | "A" DE BECERRA | CAMINO DE MINAS ENTRE LAS COLONIAS: BARRO NORTE Y NICANOR ARVIDE, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01410 | 7.17 | 5.28 | 16,500.00 | 11,000.00 | DE MATERIAL GRADUADO CON CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS PARAMENTOS. |
| 10 | "B" DE BECERRA | CALLE MINA Y CALLE ORURENOS COLONIA: LA PRESA, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01280 | 7.00 | 5.00 | 9,500.00 | 7,400.00 | DE MATERIAL GRADUADO CON CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS PARAMENTOS Y RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN LA PARTE FRONTAL. |
| 11 | "C" DE BECERRA | AV. CHICAGO Y AV. JALALFA COLONIA: LOMAS DE BECERRA, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01280 | 15.35 | 12.99 | 280,000.00 | 148,000.00 | SECCION DE ENROCAMIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL. |
| 12 | RUIZ CORTINES | CALZADA MINAS DE ARENA Y AV. LAS TORRES COLONIAS: ACUEDUCTO Y REACOMODO PINO SUAREZ, DELEGACION ALVARO OBREGON: C.P. 01120 | 10.07 | NO TIENE | 100,000.00 | 65,000.00 | SECCION DE TIERRA CON CHAPA DE ENROCAMIENTO. |
| 13 | TACUBAYA | CALLE PROLONGACION ARTIFICIOS SIN COLONIA: EL CAPUJIN, DELEGACION: ALVARO OBREGON C.P. 01110 | 25.75 | NO TIENE | 1'000,000.00 | 65,000.00 | SECCION DE ENROCAMIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL. |
| 14 | DOLORES | AV. TOLLICA Y CALLE JUAN DE ACUÑA, COLONIA: VIRREYES, DELEGACION: MIGUEL HIDALGO C.P. 01100 | 15.99 | 13.00 | 280,000.00 | 235,000.00 | SECCION DE TIERRA CON CHAPA DE ENROCAMIENTO. |

PRESAS DEL PONIENTE

| NO. | PRESA | UBICACIÓN | ALTURA DE LA CORONA DE CORTINA (M) | ALTURA DEL VERTEDOR DE LA PRESA (M) | CAPACIDAD DE ALMACENAJE HASTA EL NAME (M ³) | CAPACIDAD ALMACENAJE ACTUAL (M ³) | OBSERVACIONES |
|-----|--------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| 15 | BARRILACO | AV. ACONCAGUA Y CALLE MONTE ANTUO COLONIA: LOMAS DE CHAPULTEPEC, DELEGACION: MIGUEL HIDALGO C.P. 01100 | 13.78 | 10.10 | 280,000.00 | 5,000.00 | DE GRAVEDAD DE MAMPOSTERIA CON CHAPA DE PIEDRA DE CANTOS RODADOS. |
| 16 | TECAMACHALCO | AV. PUENTE TECAMACHALCO COLONIA: REFORMA SOCIAL, MUNICIPIO DE NAUCALPAN EDO. DE MEXICO C.P. 01690 | 6.85 | NO TIENE | 510,000.00 | 82,000.00 | DE GRAVEDAD DE MAMPOSTERIA CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN SU PARTE FRONTAL. |
| 17 | SAN JOAQUIN | BOULEVARD EL PERLA, COLONIA: MANUEL AVILA CAMACHO ENTRE LAS AVENIDAS CONSCRITO Y AV. INDUSTRIA MILITAR MUNICIPIO DE NAUCALPAN EDO. DE MEXICO C.P. 53910 | 14.51 | 12.43 | 487,200.00 | 420,000.00 | SECCION DE TIERRA CON CORAZON VERTICAL DE CONCRETO Y CHAPA DE ENROCAMIENTO EN AMBOS LADOS. |

Anexo 2. Tablas de requerimientos y especificaciones del Sistema “todo en uno”

Tabla de requerimientos

| No. | Requerimientos | Comentarios |
|------------|--|--------------------|
| 1 | El dispositivo funciona sobre el agua y el azolve | |
| 2 | El dispositivo recoge basura flotando en la superficie del agua | |
| 3 | El dispositivo recolecta de 200 a 500 Kg de residuos sólidos | |
| 4 | El dispositivo tiene una autonomía de 40 a 60 minutos | |
| 5 | El dispositivo transporta a dos operadores de peso máximo de 200 Kg | |
| 6 | El dispositivo opera por dos elementos de la cuadrilla | |
| 7 | El dispositivo requiere un vehículo adicional para moverse | |
| 8 | El dispositivo cuenta con manual de operación | |
| 9 | El dispositivo cuenta con manual de mantenimiento | |
| 10 | El dispositivo se acopla a la infraestructura de SACMEX | |
| 11 | El dispositivo es lavable | |
| 12 | El dispositivo transporta los residuos a un área de secado | |
| 13 | El dispositivo se mueve a través del lodo | |
| 14 | El dispositivo tiene dimensiones adecuadas para ser transportado en calles aledañas a la presa | |
| 15 | El dispositivo opera independientemente del nivel de agua presente en la presa | |
| 16 | El dispositivo soporta las condiciones químicas del agua | |
| 17 | El dispositivo resiste a objetos punzocortantes | |
| 18 | El dispositivo es de fácil mantenimiento | |
| 19 | El dispositivo resiste la fuerza de la corriente del agua | |
| 20 | El dispositivo detiene su proceso en caso de requerirlo | |
| 21 | El dispositivo funciona sin precipitaciones pluviales | |
| 22 | El dispositivo es operado por el personal actual de SACMEX | |
| 23 | El dispositivo opera en diversas presas de la cuenca de la CDMX | |
| 24 | El dispositivo tiene una larga vida útil | |
| 25 | El dispositivo es reparado con partes comerciales dentro de CDMX | |
| 26 | El dispositivo es de costo competitivo con respecto de análogos | |
| 27 | El dispositivo tiene indicadores y equipo de seguridad para los operarios | |
| 28 | El dispositivo tiene bajo consumo eléctrico | |
| 29 | El dispositivo funciona con energía solar | |
| 30 | El dispositivo tiene bajo impacto ambiental con respecto a análogos | |
| 31 | El dispositivo funciona en cualquier estación del año | |
| 32 | El dispositivo recolecta residuos con menor densidad que la del agua | |

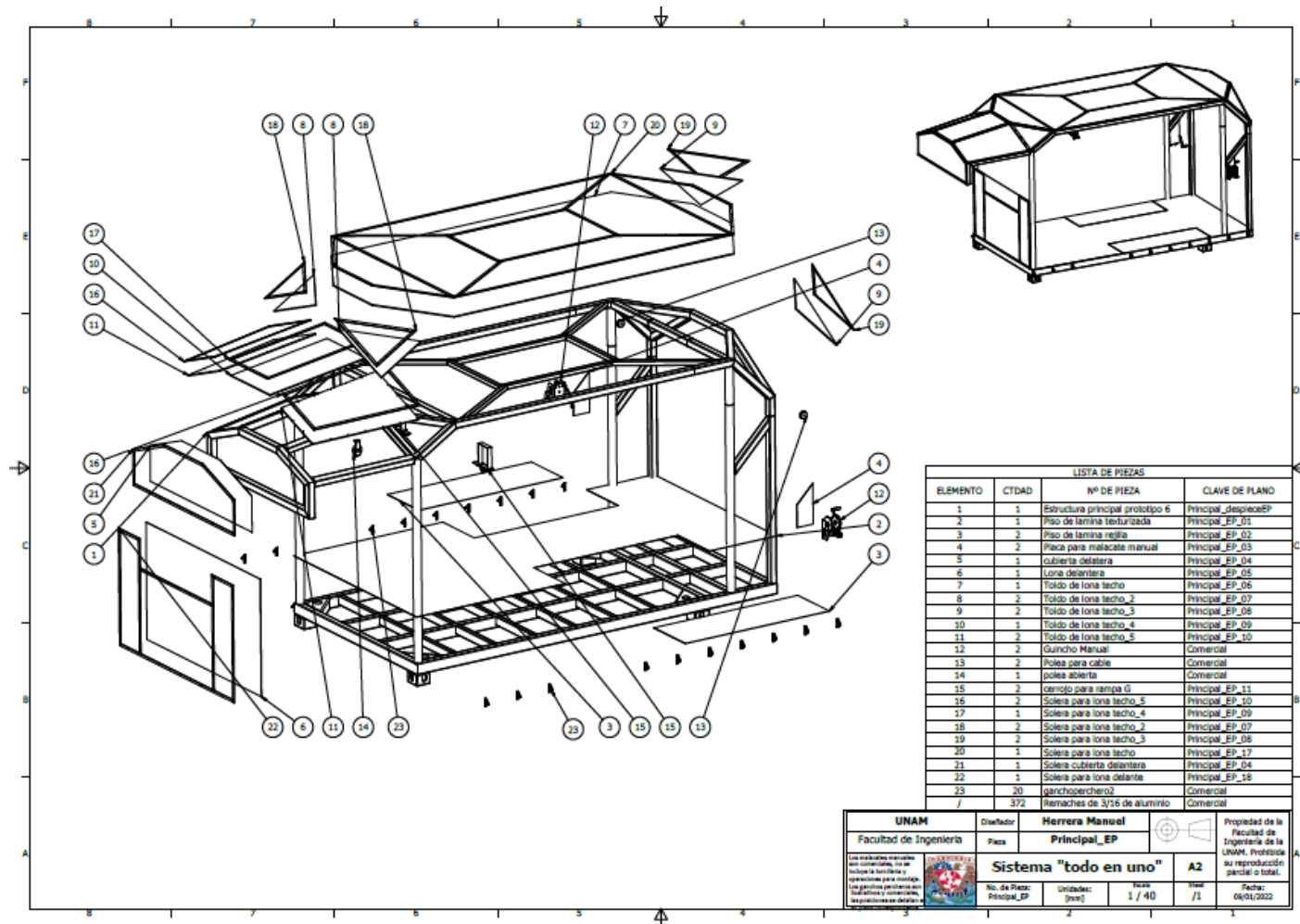
Tabla de especificaciones

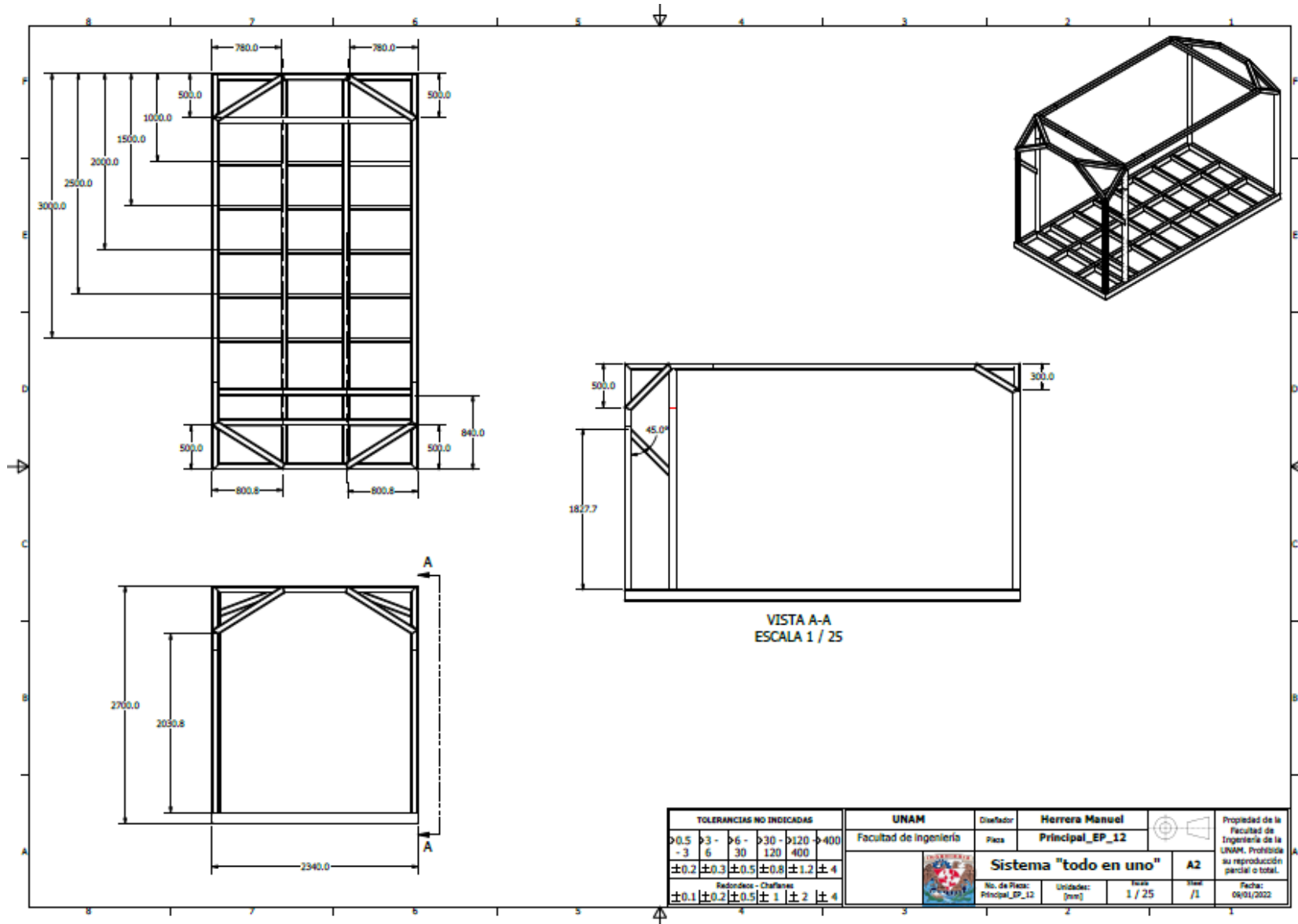
| Métrica No. | No. de requerimiento | Métrica | Valor ideal | Valor mínimo | Valor máximo | Comentario |
|--------------------|-----------------------------|---|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | 1,15 | Profundidad mínima de operación | 1 m | 0.5 m | 11 m | |
| 2 | 2, 3 | El dispositivo recoge basura flotando en la superficie del agua | 350 Kg | 300 Kg | 500 Kg | |
| 3 | 2, 3 | Distancia de recolección con respecto a la superficie | 0.5 m | 0.3 m | 0.7 m | |
| 4 | 2, 3, 32 | Densidad del material recolectado | 0.4 g/m3 | 0.2 g/m3 | 0.6 g/m3 | Considerando densidad de madera y PET |
| 5 | 4 | Tiempo de funcionamiento | 50 min | 40 min | 60 min | |
| 6 | 4 | Potencia consumida | kW/h | kW/h | kW/h | Por definir |
| 7 | 5, 6, 10 | Capacidad de personal a bordo | 2 personas | 1 persona | 2 personas | |
| 8 | 5, 6 | Capacidad de carga de personal | 200 kg | 100 Kg | 220 kg | |
| 9 | 5, 6 | Número de operarios | 1 personas | 1 persona | 1 persona | |
| 10 | 7, 10 | Número de vehículos de apoyo | 1 vehículo | 1 vehículo | 1 vehículo | |
| 11 | 8 | Número de manuales de operación | 1 manual | 1 manual | 1 manual | |
| 12 | 9 | Número de manuales de mantenimiento | 1 manual | 1 manual | 1 manual | |
| 13 | 10 | Elementos de maquinaria adicional para funcionar | 0 máquinas | 0 máquinas | 2 máquinas | |

| | | | | | | |
|-----------|----|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 14 | 10 | Número de elementos de infraestructura adicional para funcionar | 1 elemento de infraestructura | 0 elemento de infraestructura | 2 elemento de infraestructura | Rampas, pasarelas, etc. |
| 15 | 11 | Número de operaciones con solución limpiadora sin presentar degradación | 2000 ciclos | 1500 ciclos | 2500 ciclos | Por revisar |
| 16 | 12 | Distancia hacia el área de secado | 20 m | 10 m | 50 m | |
| 17 | 12 | Volumen transportado al área de secado por operación | 1 m ³ | 0.5 m ³ | 2 m ³ | |
| 18 | 13 | Viscosidad sobre la que el vehículo puede desplazarse | | | | Por revisar |
| 19 | 13 | Porcentaje de sólidos presentes en el lodo sobre el que se desplaza el sistema | 20% | 50% | | |
| 20 | 13 | Profundidad sobre la capa viscosa sobre la que puede desplazarse | 0.1 m | 0.05 m | 0.2 m | |
| 21 | 14 | Dimensiones del dispositivo en el transporte | 8 m x 2 m x 4 m | 5 m. x 1.8 m x 4.1 m | 10 m x 2 m x 3.9 m | |
| 22 | 15 | pH de operación del dispositivo | 7 | 4 | 10 | |
| 23 | | Número de operaciones de mantenimiento o por año | 2 operaciones | 1 operación | 4 operaciones | |
| 24 | | Vida útil del dispositivo | 2 años | 5 años | 10 años | |

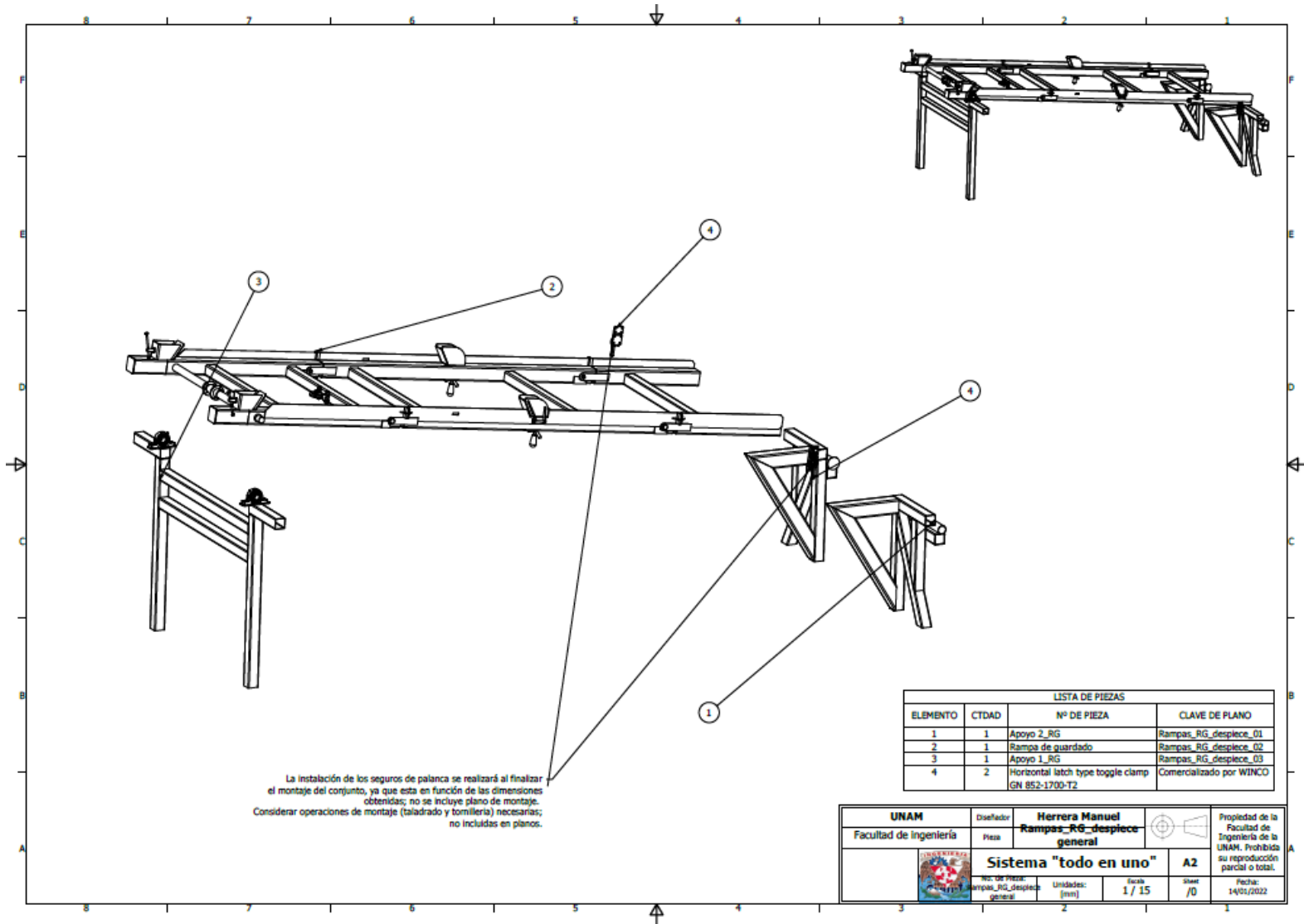
Anexo 3. Planos de manufactura

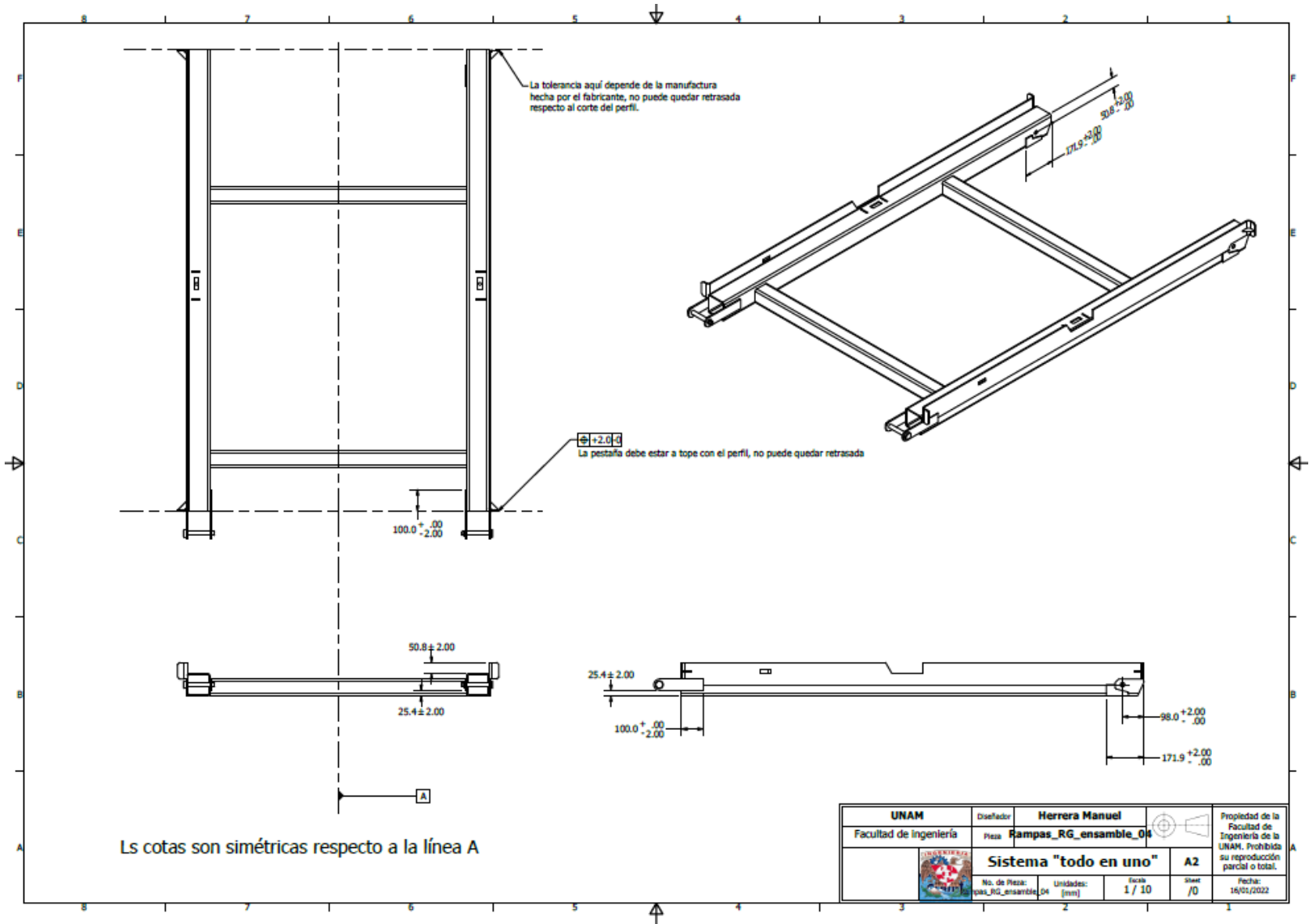
Estructura principal





Rampa de guardado

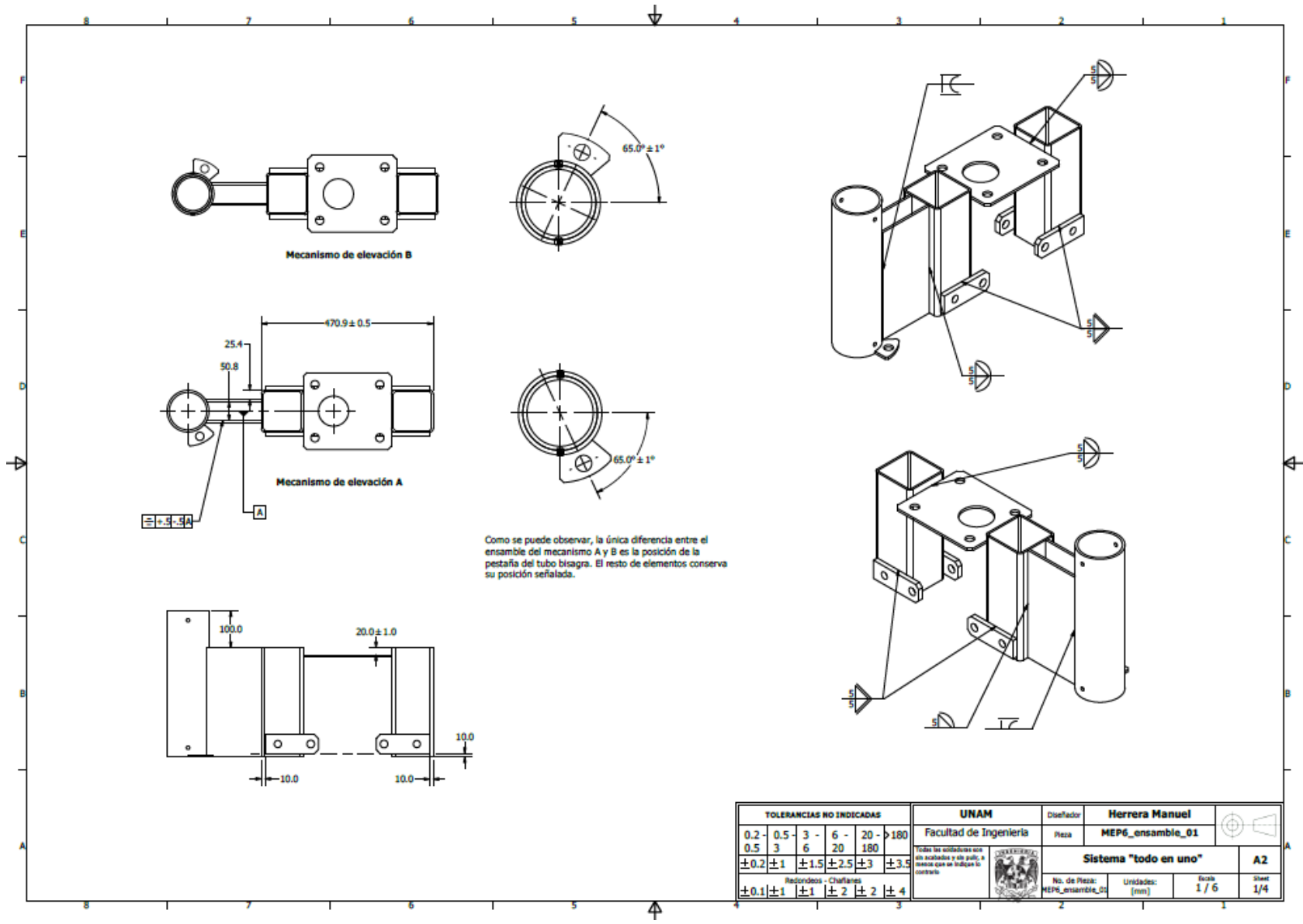


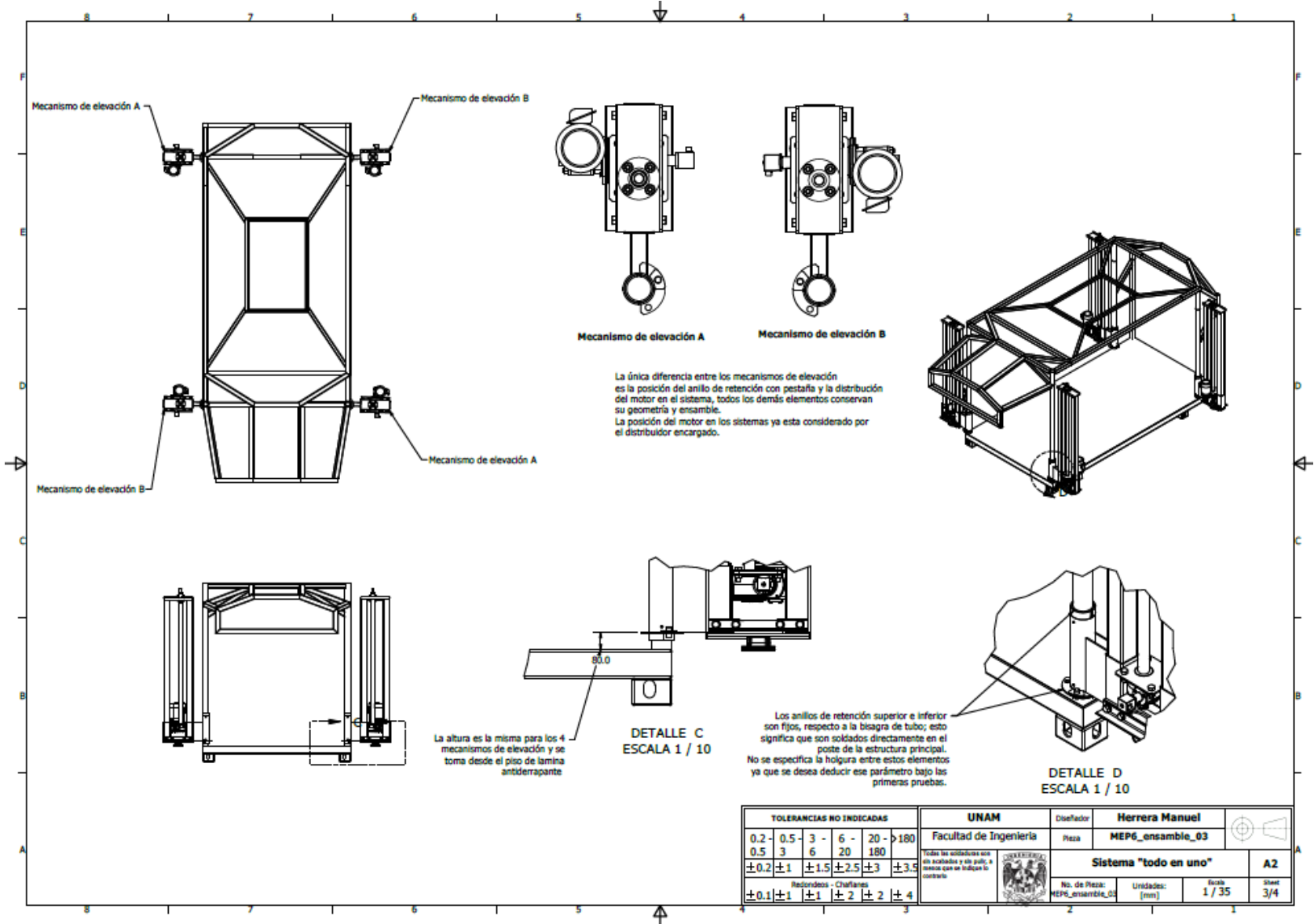


Elevadores

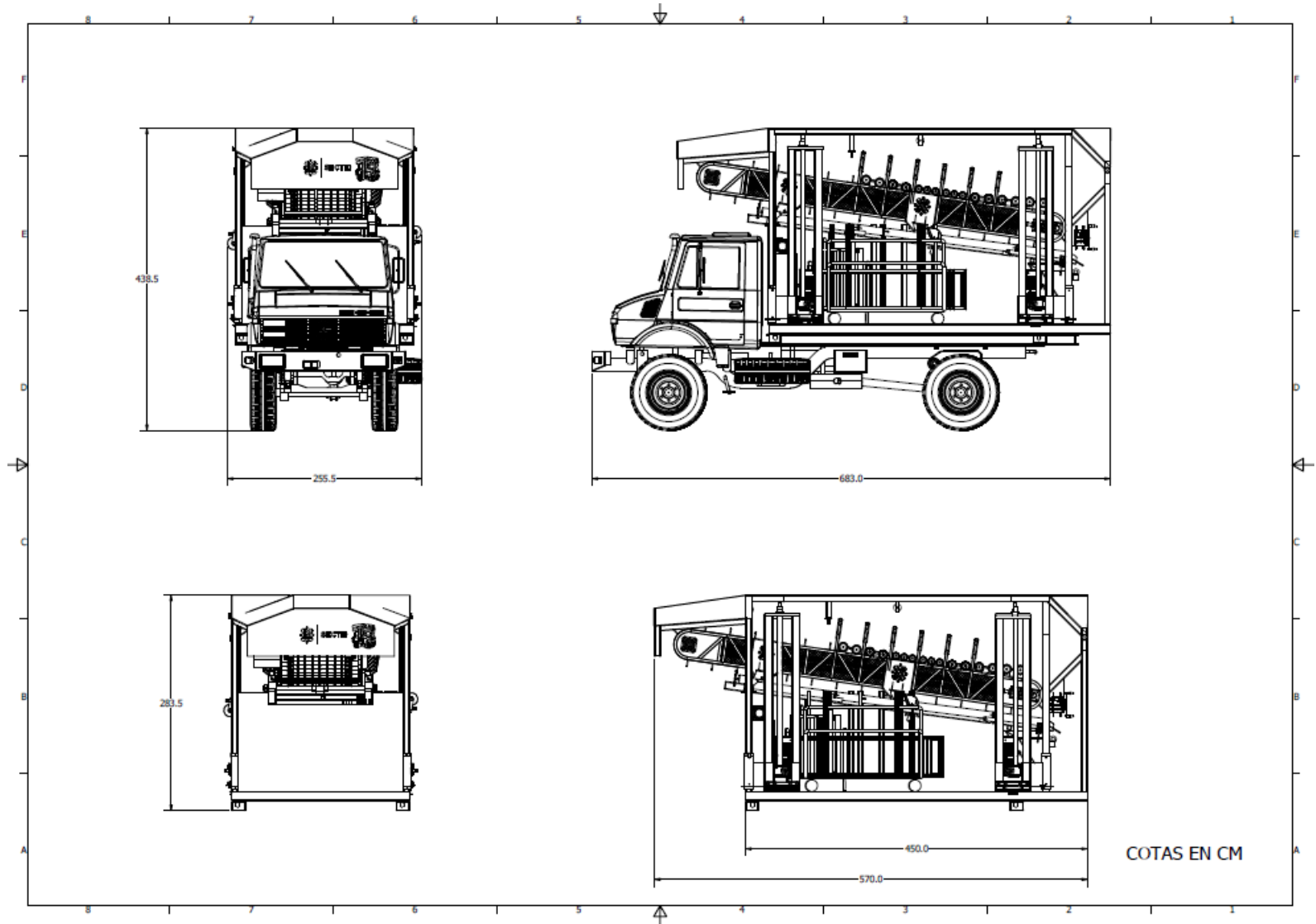
| LISTA DE PIEZAS | | | | | |
|-----------------|------------|---|--|-------------------------|----------------|
| ELEMENTO | CTIDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | MATERIAL | CLAVE DE PLANO |
| 1 | 1 | Cuerpo de bisagra de tubo | Tubo mecanico 4" Ced 40 | Acero, carbono | MEP6_01 |
| 2 | 23.622 in | Camisa de guia | HSS - 4 1/2" x 4 1/2" x 3/16" | Acero, carbono | MEP6_02 |
| 3 | 2 | Brazo de bisagra | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_03 |
| 4 | 177.165 in | Guia | HSS - 4" x 4" x 3/16" | Acero, suave | MEP6_04 |
| 5 | 1 | Pestaña de fijacion de bisagra | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_05 |
| 6 | 1 | Mecanismo de elevacion A | | Comercial | |
| 7 | 2 | Buje de bronce | | Bronce al plomo SAE 660 | MEP6_06 |
| 8 | 4 | Tornillo prisionero de cabeza perdida allen | 3/8" - 16 x 3/8" | | Comercial |
| 9 | 1 | Placa de anclaje para mecanismo | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_07 |
| 10 | 1 | Placa de anclaje para tuerca | Placa de 1/2" | Acero, carbono | MEP6_08 |
| 11 | 2 | Solera de refuerzo | Solera de 1 1/2" x 1/4" | Acero, carbono | MEP6_09 |
| 12 | 1 | Placa de union guias | Placa de 1/2" | Acero, carbono | MEP6_10 |
| 13 | 4 | Placa para anclaje de angulo | Placa de 1/2" | Acero, carbono | MEP6_11 |
| 14 | 35.500 in | Angulo travesaño | L 2" x 2" x 3/16" | Acero, carbono | MEP6_12 |
| 15 | 1 | Base pivotante | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_13 |
| 16 | 1 | Pasador de base pivotante | Barra de 1" | Acero, carbono | MEP6_14 |
| 17 | 8 | Perno hex - UNC (Rosca regular - Pulgadas) | ANSI/ASME B18.2.1 - 3/4"-10 UNC - 2" | Acero | Comercial |
| 18 | 24 | Arandela regular | ASTM F436 - 3/4 | Acero | Comercial |
| 19 | 12 | Tuerca de apriete gruesa hex | ANSI B18.2.2 - 3/4" - 10 | Acero | Comercial |
| 20 | 4 | Perno hex - UNC (Rosca regular - Pulgadas) | ANSI/ASME B18.2.1 - 3/4"-10 UNC - 1" | Acero | Comercial |
| 21 | 4 | Perno hex - UNC (Rosca regular - Pulgadas) | ANSI/ASME B18.2.1 - 3/4"-10 UNC - 2.5" | Acero | Comercial |
| 22 | 1 | Anillo de retencion bipartido con pestaña | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_15 |
| 23 | 4 | Anillo de retencion bipartido 1 | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_16 |
| 24 | 3 | Anillo de retencion bipartido 2 | Placa de 1/4" | Acero, carbono | MEP6_17 |
| 25 | 1 | Pasador de bisagra | Barra torneada de 1" | Acero, carbono | MEP6_18 |

| | | | | | |
|--------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|-----------|---|
| UNAM | | Diseñador | Herrera Manuel | | Propiedad de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Prohibida su reproducción parcial o total. |
| Facultad de Ingeniería | | Pieza | MEP6_despiece_01 | | |
| | | Sistema "todo en uno" | | A2 | Fecha: 23/04/2022 |
| No. de Pieza: MEP6_despiece_01 | Unidades: [mm] | Escala: 1/10 | Sheet: 1/2 | | |





Dimensiones generales de Sistema "todo en uno"



Referencias

- [1] G. de la ciudad de México, “SACMEX”, 2020. <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>.
- [2] SACMEX, “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”, 2016. http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/ElGranRetodelAgua_enla_CiudadMexico.pdf.
- [3] SACMEX, “Sistemas de presas, ríos y cajas de control del interceptor poniente.”, 2019.
- [4] SACMEX, “Todo lo que debes saber sobre SACMEX en la Ciudad de México”, 2019. <https://mi-sacmex.com.mx/>.
- [5] Gobierno de la Ciudad de México, “Gaceta oficial de la Ciudad de México”, 133, 2019. <https://www.sectei.cdmx.gob.mx/storage/app/media/ConvocatoriaProyectosdeDesarrolloTecnologicoydeInnovacionenfocadosaGestionUrbana/gacetaoficialCDMX12-julio-2019.pdf>.
- [6] UNAM, “Informe de condiciones ambientales”, Mexico, 2020.
- [7] S. D. Ulrich, Karl T. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5TH ed. Impreso en México: Mc Graw Hill, 2013.
- [8] M. Lerwick, P. Link, y L. Leifer, *The desing thinking playbook*, 1a ed. Wiley, 2018.
- [9] CONAGUA, *Atlas del agua en México*. 2009.
- [10] INEGI, “Capítulo II: Condiciones Geográficas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana”, 2000. [En línea]. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/inegi/amdf2000/amdf2000.html>.
- [11] J. A. Mora Reyes, “El problema de la basura en la Ciudad de México. Fundación de estudios urbanos y metropolitanos ‘Adolfo Christlieb Ibarrola’”, 2004. [En línea]. Disponible en: https://paot.org.mx/contenidos/paot_docs/pdf/basura_df.pdf.
- [12] S. F. Omnexus, “Absorption properties of polymers”, 2022. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/water-absorption-24-hours#values>.
- [13] ANAPE Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, “Ficha 73”, 2022. <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>.
- [14] AITIM Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera, “Propiedades físicas de la madera; Peso Específico”, 2022. [En línea]. Disponible en: [chrome-](http://www.aitim.com.mx/chrome-)

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_877_16765.pdf.

- [15] F. Córdoba, “Conceptos basicos sobre el secado de la madera”, *Kúnu: Revista Forestal*, Costa Rica, p. 5, 2005.
- [16] G. YANFEI, ZHANG; AIMING, JIANG; LONG, FENG; JINLIANG, “Amphibian garbage cleaning robot”, CN201235912Y, 2009.
- [17] L. W. Pasoz, “Apparatus and method for removal of floating debris”, US005439600A, 1995.
- [18] J. Thomas, “Rack and pinion drive for trash rake”, WO 2013/012647 A1, 2013.
- [19] CHOI DONG JU y CHOI DONG LIM, “Apparatus for collecting suspended matter in a river”, WO2012074240A2, 2012.
- [20] Storm water systems, “Bandalong litter trap”, 2020. <https://www.stormwatersystems.com/products/bandalong>.
- [21] L. Papadopoulos, “Worl’s first ocean cleanup system heads for largest ocean garbage patch”, *Interesting Engineering*, 2021.
- [22] The ocean cleanup, “Ocean cleanup”, 2013. <https://theoceancleanup.com/oceans/>.
- [23] Julong group, “Julong Envioronment Technology Co.”, 2018. http://www.dredger.com/?fbclid=IwAR2plUeqpxUTuZJI9-lZnBBT27jd2_Ga_swPtARtl6Tj2umJrUR6-bR7vhA.
- [24] J. C. McCormac y S. F. Csernak, *Diseño de estructuras de acero*, 5a ed., vol. 1. Mexico: Alfaomega, 2012.
- [25] O. D. Villegas López, “Optimizacion estructural: Diseño optimo con materiales compuestos para soporte de suspension de vehiculo electrico”, UNAM, 2013.
- [26] R. Rodriguez Roman, “Mecanismos de elevacion”, *Rudolph Diesel*, 2021. <https://www.scribd.com/presentation/422131637/1-4-Mecanismos-de-Elevacion>.
- [27] S. Pugh, *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- [28] A. C. R. Reivich y R. V. Borja, “Innovación de producto”, 2016.
- [29] Y. Bar-Cohen, *Biomimetics: Biologically inspired technologies*. 2005.
- [30] E. A. Avallone, T. Baumeister III, y A. M. Sadech, *Mark’s Standard Handbook for Mechanical Engineers*, Eleven. USA, 2007.