



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

DESARROLLO DE UN SISTEMA ACUÁTICO PARA LIMPIEZA DE BASURA EN  
CUERPOS DE AGUA Y REPRESAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

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

PRESENTA:  
ING. IVAN DANIEL ARIZMENDI MAYA

TUTOR PRINCIPAL  
DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., OCTUBRE 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **JURADO ASIGNADO**

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente

Secretario: Dra. Corona Lira María Del Pilar

1 er. Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

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 de México

### **TUTOR DE TESIS:**

Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.



-----  
**FIRMA**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Anastacia por brindarme del amor y aliento que me anima y llena de energía día a día para superarme personal y profesionalmente.

A mi padre Victor por ser para mí el mejor ejemplo a seguir de un profesional dedicado, responsable y respetuoso, valores que me alientan a hacer honor a mi profesión.

A mi hermana Brigitte por su apoyo incondicional, consejos y compañía que sin duda me ayudaron a “convertirme en el protagonista de este sueño”.

## **AGRADECIMIENTOS**

Con gratitud a la UNAM y a la Facultad de Ingeniería, mis profesores, tutor y colegas dentro del proyecto.

Se reconoce y agradece el apoyo brindado por CONACyT a lo largo de mis estudios de maestría.

Este trabajo de investigación fue realizado con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) a través del proyecto SECTEI/175/2019. CM SECTEI/032/2021. CM SECTEI/245/2021.

Se agradece la colaboración y confianza del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) para la realización de este proyecto.

## **RESUMEN**

La Ciudad de México enfrenta constantemente la necesidad de limpieza de sus cuerpos de agua debido a la acumulación de basura originado principalmente por la población urbana y su aumento desmedido en zonas irregulares aledañas a estos cuerpos de agua. Como parte de las acciones tomadas por el Gobierno de la Ciudad, se creó el proyecto SACMEX – UNAM, para el diseño y desarrollo de un sistema móvil de extracción de basura que se adapte a las características específicas de las presas de la ciudad.

El presente trabajo expone el proceso de diseño mecánico y desarrollo de dos subsistemas que componen este nuevo sistema móvil de Extracción de basura, los subsistemas “Extractor” y “Barco”, pasando por la identificación de las características y necesidades individuales de cada sistema, el diseño de conceptos, su evaluación, prototipado, manufactura, pruebas, correcciones, aprobación y puesta en marcha. También se hace un registro y documentación cuantitativo de las fallas potenciales en el proceso de extracción de basura y las soluciones empleadas para su corrección y prevención, esto con la finalidad de brindar confianza y un respaldo ingenieril al usuario final estableciendo niveles de confiabilidad.

# ÍNDICE

JURADO ASIGNADO .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE IMAGENES .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS Y ALCANCE .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
2.3 Alcance .....	3
3 INVESTIGACIÓN .....	5
3.1 Antecedentes.....	5
3.1.1 Características geográficas e hídricas de la CDMX.....	5
3.1.2 La importancia del acuífero para la CDMX.....	5
3.1.3 SACMEX .....	7
3.1.4 Presas del poniente de la ciudad.....	7
3.1.5 Situación actual de las presas operables del nuevo sistema.....	8
3.1.6 Características de los residuos y azolve encontrados en las presas .....	10
3.2 Exploración.....	12
3.2.1 Estado del arte.....	12
3.2.2 Patentes relacionadas .....	14
3.2.3 Síntesis de la exploración .....	15
4 PROYECTO .....	16
4.1 Proyecto SACMEX – UNAM.....	16
4.1.1 Equipo de Trabajo.....	16
4.1.2 Diseño conceptual del proyecto.....	17

4.1.3	Problema y retos .....	18
4.1.4	Propuestas de solución.....	19
4.1.5	Sistema “Todo en uno”.....	20
4.2	Diseño y desarrollo de subsistemas de extracción .....	23
4.2.1	Proceso de diseño .....	23
4.2.2	Subsistema “Extractor” .....	26
4.2.2.1	Identificación de necesidades, problemas y retos .....	26
4.2.2.2	Diseño de conceptos .....	28
4.2.2.3	Evaluación y selección de conceptos.....	33
4.2.2.4	Prototipado y evaluación de funciones principales .....	36
4.2.2.5	Diseño de detalle.....	39
4.2.2.6	Manufactura y ensamble.....	44
4.2.2.7	Pruebas.....	46
4.2.2.8	Análisis de modo y efecto de falla.....	47
4.2.2.9	Correcciones .....	59
4.2.2.10	Aprobación y puesta en marcha.....	64
4.2.3	Subsistema “Barco” .....	66
4.2.3.1	Identificación de necesidades problemas y retos .....	66
4.2.3.2	Diseño de conceptos .....	68
4.2.3.3	Evaluación y selección de conceptos.....	72
4.2.3.4	Prototipado y evaluación de funciones principales .....	74
4.2.3.5	Diseño de detalle.....	79
4.2.3.6	Manufactura y ensamble.....	80
4.2.3.7	Pruebas.....	80
4.2.3.8	Análisis de modo y efecto de falla.....	82
4.2.3.9	Correcciones .....	91
4.2.3.10	Aprobación y puesta en marcha.....	94
4.2.4	Del concepto a la realidad .....	95
4.2.5	Trabajo futuro.....	97
5	CONCLUSIONES .....	99

6	REFERENCIAS.....	100
7	ANEXOS .....	102
7.1	Anexo 1 Características presas de estudio.....	102
7.2	Anexo 2 Código selección de motor.....	103
7.3	Anexo 3 Plano general Extractor.....	107
7.4	Anexo 4 Plano general Sistema de propulsión, Sistema de pliegue – despliegue de hélices y Sistema de giro .....	108



## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Precipitación en zona urbana y asentamientos humanos. Recuperada de [6].....	6
Imagen 2 Drenaje general y presas de la CDMX. Recuperado de [9].....	8
Imagen 3 Estado actual de las presas de la CDMX a) A de Becerra, b) Mixcoac, c) Tacubaya, d) San Joaquín. Obtenidas a partir de visitas de campo.....	9
Imagen 4 características generales identificadas en presas. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.....	9
Imagen 5 Variedad de basura encontrada en presas de la CDMX. Tomada en visitas de campo. ....	10
Imagen 6 Porcentaje tipo de basura. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.....	11
Imagen 7 Azolve mezclado con basura. Tomada en visitas de campo.....	11
Imagen 8 Sistema Mr. Trash Wheel. Recuperado de [10].....	12
Imagen 9 Sistema anfibio de recolección de basura. Recuperado de [12]. ....	13
Imagen 10 Bandalong Litter Trap. Recuperada de[13] .....	14
Imagen 11 a) Floating Debris Remover [14]; b) Marine Vessel for Collecting Floating Debris [15]; c) Apparatus for Collecting Suspended Mater in a River [16]; d) Apparatus and Method for Removal of Floating Debris[17]. ....	15
Imagen 12 Proceso de diseño del sistema "Todo en uno". Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto. ....	18
Imagen 13 Ficha de personal. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto. ....	18
Imagen 14 Conceptos de solución. a) Transportador vertical. b) "Rueda de la fortuna". c) Red afluyente. d) Transportador y barco.....	19
Imagen 15 Matriz de selección. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto. ....	20
Imagen 16 Configuración del "todo en uno". Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto. ....	20
Imagen 17 Tiempo de recolección vs kilos de basura. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto. ....	22
Imagen 18 Jornada laboral con carga y descarga del sistema. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.....	23
Imagen 19 Proceso de diseño y desarrollo. Elaboración propia. ....	24
Imagen 20 Estructuras propuestas. a) Diseño Warren perfil delgado. b) Diseño para travesaños tubulados. c) Diseño Warren reforzado. d) Viga como estructura. Elaboración propia. ....	29
Imagen 21 Cangilones propuestos. a) Cangilón por fundición y dientes rectos. b) Cangilón tipo balde. c) Cangilón por fundición con dientes curvos. d) Cangilón por corte laser. e) Cangilón soldado. f) Cangilón tipo rejilla. Elaboración propia. ....	30
Imagen 22 Diagrama cuerpo libre para extracción. Elaboración propia.....	31
Imagen 23 Motorreductor modelo: LHYM3-5C140KB-Y1-179. CAD recuperado de Sumitomo.....	32
Imagen 24 Tren motriz. Elaboración propia.....	32
Imagen 25 Diseño estructural lateral de Extractor. Elaboración propia.....	34
Imagen 26 Cangilón 17 dientes prototipo 1. Elaboración propia. ....	35
Imagen 27 Estructura prototipo 1. Elaboración propia.....	37

Imagen 28 Diseño final prototipo 1 subsistema extractor. Elaboración propia. ....	37
Imagen 29 Fabricación estructura lateral. Elaboración propia. ....	38
Imagen 30 Elementos fabricados prototipo uno. Elaboración propia. ....	38
Imagen 31 Estructura general de extractor. Elaboración propia. ....	40
Imagen 32 Análisis FEM estructura general – desplazamientos. Elaboración propia.....	41
Imagen 33 Análisis FEM estructura general – estado de esfuerzos. Elaboración propia.....	41
Imagen 34 Cangilón fase diseño de detalle. Elaboración propia. ....	42
Imagen 35 Sección guía de cadena. Elaboración propia. ....	42
Imagen 36 Diseño de detalle de extractor. Elaboración propia.....	43
Imagen 37 Subsistema Extractor con adecuaciones para guardado de subsistema Barco. Elaboración propia. ....	44
Imagen 38 Primeras etapas de manufactura y ensamble. Estructura - Tren motriz. Elaboración propia. ....	45
Imagen 39 Presentación e interacción de estructura extractor y rampas de guardado. Elaboración propia. ....	45
Imagen 40 Prototipo final del subsistema Extractor completamente ensamblado. Elaboración propia. ....	46
Imagen 41 a) Casco de Barco sobre cangilones. b) Ensamble doble de arrastradores de cadena. Elaboración propia. ....	47
Imagen 42 Proceso de operación del subsistema Extractor. Elaboración propia.....	48
Imagen 43 Fallas potenciales proceso Extractor. Elaboración propia.....	49
Imagen 44 Solución montaje de ruedas sobre rieles. Elaboración propia.....	60
Imagen 45 Solución redondeo de aristas de arrastradores, Elaboración propia.....	61
Imagen 46 Solución giro de rodillos guía. Elaboración propia. ....	62
Imagen 47 Pruebas Cuemanco, Subsistema Extractor. Elaboración propia. ....	65
Imagen 48 Casco subsistema Barco. Elaboración equipo de diseño "Barco". ....	67
Imagen 49 Motor U15 II KV100. Recuperado de T-Motor. ....	69
Imagen 50 Conceptos estructuras de hélices. a) Estructura tubing, b) Estructura lamina logo CDMX. Elaboración propia. ....	70
Imagen 51 Conceptos sistema de giro. a) Eje único con baleros, b) Sistema con chumaceras. Elaboración propia. ....	71
Imagen 52 Concepto sistema de pliegue y despliegue de hélices. Elaboración propia.....	72
Imagen 53 Prototipo sistema de giro. Elaboración propia.....	75
Imagen 54 Prototipo de sistema de propulsión y sistema de pliegue y despliegue de hélices. Elaboración propia. ....	76
Imagen 55 Montaje de hélices sobre mecanismo de giro. Elaboración propia. ....	76
Imagen 56 Montaje de subsistema Barco sobre subsistema Extractor. Elaboración propia.....	77
Imagen 57 Evaluación de empuje. Elaboración propia. ....	77
Imagen 58 Evaluación proceso pliegue y despliegue de hélices.....	78
Imagen 59 Evaluación de rigidez en situaciones de inclinación. Elaboración propia. ....	79
Imagen 60 Diseño de detalle Barco. Elaboración propia. ....	79

Imagen 61 Posiciones de subsistema Barco. a) Posición de guardado. b) Posición de recolección. c) Posición de navegación. Elaboración propia.....	80
Imagen 62 Prueba flotabilidad de casco del barco. Elaboración propia.....	81
Imagen 63 Pruebas de navegación y empuje. a) Posición de navegación. b) Posición de recolección. Elaboración propia. ....	81
Imagen 64 Prueba arrastre de Barco a posición de guardado. Elaboración propia.....	82
Imagen 65 Proceso de operación del subsistema Barco. Elaboración propia. ....	82
Imagen 66 Fallas potenciales proceso Barco. Elaboración propia. ....	83
Imagen 67 Solución sello del eje del sistema de giro. Elaboración propia. ....	92
Imagen 68 Solución reforzamiento de sujetadores. Elaboración propia.....	94
Imagen 69 Pruebas Cuemanco, Subsistema Barco. Elaboración propia. ....	94
Imagen 70 Del concepto a la realidad. Elaboración propia.....	97
Imagen 71 Concepto Triturador. Elaboración en colaboración con Ing. Alí Ramos.....	98
Imagen 72 Nuevo concepto mecanismo de giro. Elaboración propia. ....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tasas de extracción actuales y prometidas. Elaboración propia.....	27
Tabla 2 Matriz de selección - Estructura del extractor. Elaboración propia. ....	33
Tabla 3 Matriz de selección - Cangilones. Elaboración propia. ....	35
Tabla 4 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de trabajo" Extractor. Elaboración propia. ....	49
Tabla 5 Fallas y efectos paso del proceso "Colocar tolva" Extractor. Elaboración propia. ....	50
Tabla 6 Fallas y efectos paso del proceso "Accionar Extractor" Extractor. Elaboración propia. ....	50
Tabla 7 Fallas y efectos paso del proceso "Extracción de desechos" Extractor. Elaboración propia. ....	50
Tabla 8 Fallas y efectos paso del proceso "Parar Extractor" Extractor. Elaboración propia. ....	50
Tabla 9 Fallas y efectos paso del proceso "Quitar tolva" Extractor. Elaboración propia. ....	50
Tabla 10 Fallas y efectos paso del proceso "Regreso a posición de guardado" Extractor. Elaboración propia. ....	51
Tabla 11 Escala de severidad referente al proceso de extracción de basura Extractor. Elaboración propia. ....	51
Tabla 12 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia. ....	51
Tabla 13 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Colocar tolva". Elaboración propia.....	52
Tabla 14 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Accionar extractor". Elaboración propia. ....	52
Tabla 15 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Extracción de desechos". Elaboración propia. ....	52
Tabla 16 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia. ....	52
Tabla 17 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Parar Extractor". Elaboración propia.....	52
Tabla 18 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Quitar tolva". Elaboración propia.....	53
Tabla 19 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Regreso a posición de guardado". Elaboración propia. ....	53
Tabla 20 Escala nivel de ocurrencia. Elaboración propia. ....	53
Tabla 21 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo" Extractor. Elaboración propia. ....	54
Tabla 22 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Colocar tolva" Extractor. Elaboración propia.....	54
Tabla 23 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Accionar Extractor" Extractor. Elaboración propia. ....	54
Tabla 24 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Extracción de desechos" Extractor. Elaboración propia. ....	54
Tabla 25 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Recolección de desechos" Extractor. Elaboración propia. ....	54
Tabla 26 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Parar Extractor" Extractor. Elaboración propia. ....	55
Tabla 27 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Quitar tolva" Extractor. Elaboración propia. ....	55

Tabla 28 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso “Regreso posición de guardado” Extractor. Elaboración propia. ....	55
Tabla 29 Escala y clasificación de detección. Elaboración propia. ....	55
Tabla 30 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Colocación posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	56
Tabla 31 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Colocar tolva”. Elaboración propia. ....	56
Tabla 32 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Accionar Extractor”. Elaboración propia. ....	56
Tabla 33 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Extracción de desechos”. Elaboración propia. ....	56
Tabla 34 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	56
Tabla 35 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Parar Extractor”. Elaboración propia. ....	57
Tabla 36 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Quitar tolva”. Elaboración propia. ....	57
Tabla 37 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso “Regreso a posición de guardado”. Elaboración propia. ....	57
Tabla 38 RPN Extractor, paso del proceso “Colocación en posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	57
Tabla 39 RPN Extractor, paso del proceso “Colocar tolva”. Elaboración propia. ....	58
Tabla 40 RPN Extractor, paso del proceso “Accionar Extractor”. Elaboración propia. ....	58
Tabla 41 RPN Extractor, paso del proceso “Extracción de desechos”. Elaboración propia. ....	58
Tabla 42 RPN Extractor, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	58
Tabla 43 RPN Extractor, paso del proceso “Parar Extractor”. Elaboración propia. ....	58
Tabla 44 RPN Extractor, paso del proceso “Quitar tolva”. Elaboración propia. ....	59
Tabla 45 RPN Extractor, paso del proceso “Regreso a posición de guardado”. Elaboración propia. ....	59
Tabla 46 Actualización de RPN Extractor. Elaboración propia. ....	65
Tabla 47 Matriz de comparación - Estructura sistema de propulsión. Elaboración propia. ....	73
Tabla 48 Matriz de comparación - Sistema de giro. Elaboración propia. ....	74
Tabla 49 Fallas y efectos paso del proceso “Colocación en posición de despliegue” Barco. Elaboración propia. ....	83
Tabla 50 Fallas y efectos paso del proceso “Desplegar hélices” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 51 Fallas y efectos paso del proceso “Colocación en posición de trabajo” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 52 Fallas y efectos paso del proceso “Recolección de desechos” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 53 Fallas y efectos paso del proceso “Navegación” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 54 Fallas y efectos paso del proceso “Colocación en posición de pre guardado” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 55 Fallas y efectos paso del proceso “Plegar hélices” Barco. Elaboración propia. ....	84
Tabla 56 Fallas y efectos paso del proceso “Colocación en posición de guardado” Barco. Elaboración propia. ....	85
Tabla 57 Escala de severidad referente al proceso de extracción de basura Barco. Elaboración propia. ....	85

Tabla 58 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de despliegue”. Elaboración propia. ....	85
Tabla 59 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Desplegar hélices”. Elaboración propia. ....	86
Tabla 60 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	86
Tabla 61 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	86
Tabla 62 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Navegación”. Elaboración propia. ....	86
Tabla 63 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de pre guardado”. Elaboración propia. ....	86
Tabla 64 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Plegar hélices”. Elaboración propia. ....	87
Tabla 65 Severidad de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de guardado”. Elaboración propia. ....	87
Tabla 66 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de despliegue”. Elaboración propia. ....	87
Tabla 67 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Desplegar hélices”. Elaboración propia. .....	87
Tabla 68 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	87
Tabla 69 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	88
Tabla 70 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Navegación”. Elaboración propia. ....	88
Tabla 71 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de pre guardado”. Elaboración propia. ....	88
Tabla 72 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Plegar hélices”. Elaboración propia. ...	88
Tabla 73 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso “Colocación en posición de guardado”. Elaboración propia. ....	88
Tabla 74 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Colocación posición de despliegue”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 75 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Desplegar hélices”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 76 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Colocación posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 77 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 78 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Navegación”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 79 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Colocación posición de pre guardado”. Elaboración propia. ....	89
Tabla 80 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Plegar hélices”. Elaboración propia. ....	90
Tabla 81 Clasificación de detección Barco, paso del proceso “Colocación posición de guardado”. Elaboración propia. ....	90
Tabla 82 RPN Barco, paso del proceso “Colocación en posición de despliegue”. Elaboración propia. ....	90

Tabla 83 RPN Barco, paso del proceso “Despliegue de hélices”. Elaboración propia.....	90
Tabla 84 RPN Barco, paso del proceso “Colocación en posición de trabajo”. Elaboración propia. ....	90
Tabla 85 RPN Barco, paso del proceso “Recolección de desechos”. Elaboración propia. ....	91
Tabla 86 RPN Barco, paso del proceso “Navegación”. Elaboración propia.....	91
Tabla 87 RPN Barco, paso del proceso “Colocación en posición de pre guardado”. Elaboración propia.....	91
Tabla 88 RPN Barco, paso del proceso “Plegar hélices”. Elaboración propia. ....	91
Tabla 89 RPN Barco, paso del proceso “Colocación en posición de guardado”. Elaboración propia. ....	91
Tabla 90 Actualización de RPN Barco. Elaboración propia.....	95

## 1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la cuenca del valle de México tiene lugar la megalópolis de la Ciudad de México, se trata de una cuenca cerrada que le da la característica a la ciudad de estar rodeada de montañas y sierras volcánicas: el corredor del Ajusco, hacia el sur; la Sierra Nevada, hacia el oriente; la Sierra de las Cruces, hacia el oeste y que se extiende hacia el norte. Dichas características del relieve y producto de la precipitación y escurrimiento superficial de la región dan lugar a distintos cuerpos de agua como ríos y arroyos, así como con la posterior intervención humana con la construcción de la infraestructura hidráulica necesaria para su contención y drenaje con presas, ríos y canales entubados. Las presas y los ríos se encuentran principalmente en el poniente de la ciudad, como lo son los ríos Becerra, Tacubaya, San Joaquín; así como las presas del mismo nombre. En la misma zona a lo largo de los años se ha presentado un incremento desmedido de la población, con asentamientos irregulares en zonas aledañas a dichos cuerpos de agua, lo cual ha generado por el depósito de basura en vía pública o directamente en ellos una acumulación de residuos que impacta directamente en su correcta operación y mantenimiento, además de verse afectada la zona con problemas de contaminación biológica-química y de paisaje.

Para atender este problema, la Ciudad de México destina constantemente la labor de limpieza a cuadrillas que se encargan de la remoción de dicha basura. Sin embargo, este trabajo muchas veces implica el contacto directo del personal con el agua contaminada, teniendo incluso que ingresar a ella solo con la protección de pantalones impermeables, lo cual conlleva un potencial efecto negativo en su salud y riesgo en su integridad física.

Una de las prioridades de la ciudad es la recuperación de estos cuerpos de agua como espacios públicos, así como la devolución de su capacidad de brindar servicios esenciales para su población, entre ellos, controlar los flujos de agua para evitar inundaciones, regular el clima, preservar condiciones de vida de distintas especies, reducir la contaminación y conservar el patrimonio biocultural. Por lo que, los trabajos de limpieza de estos han consistido en el año 2022, en la remoción y desazolve de alrededor de 158,000 m<sup>3</sup> de residuos sólidos. [1]

Para atender la constante necesidad de recolección y remoción de basura de los cuerpos de agua, es necesario contar con equipos especializados que se ajusten a las necesidades puntuales de la Ciudad de México. Sistemas que hagan frente a las características específicas de la basura que se acumula día con día, sin dejar de lado los retos que conlleva la operación de dichos equipos en colonias populares, asentadas irregularmente y, por lo tanto, de difícil acceso.

Con lo anterior en mente, el presente trabajo expone el proceso de diseño y desarrollo de diferentes subsistemas que forman parte de un sistema prototipo funcional de extracción y limpieza de basura de cuerpos de agua de la ciudad, entre los que se encuentran: un barco a control remoto, que se puede considerar la primera línea de extracción de residuos; un transportador-extractor, que junto con el



barco completa la tarea de extracción de basura y da paso a estos desechos a las siguientes fases del proceso de limpieza.

El proceso de diseño está basado en la metodología de diseño de producto de Ulrich y Eppinger [2], y los criterios de evaluación del análisis de modos y efecto de fallas (AMEF) [3], para la identificación de posibles fallas en un sentido ingenieril. Se parte de la identificación del reto y problemáticas principales, generando un diseño conceptual y exponiendo las decisiones tomadas para lograr las especificaciones y capacidades requeridas del sistema.

Primeramente, en el capítulo 1 se hace una breve introducción que contextualiza el problema que se aborda, así como las condiciones generales del proyecto, con el fin de que en el capítulo 2 se presenten el objetivo general y objetivos específicos planteados, de la misma manera que se designa el alcance que se manejará a lo largo de este trabajo.

En el capítulo 3 se profundizan los aspectos y características clave que definen la razón de ser del proyecto, se presentan los antecedentes que visualizan las características geográficas e hídricas de la Ciudad, la importancia de sus acuíferos y las condiciones en las que se encuentran los cuerpos de agua encargados de su manejo y contención. También se hace una breve exploración por el estado del arte y patentes relacionadas con la recolección de basura y limpieza de cuerpos de agua.

A lo largo del capítulo 4 se muestra el desarrollo del proyecto, se parte de la presentación de los problemas y retos generales encontrados por el equipo de trabajo, así como el proceso de diseño utilizado para la concepción de la propuesta de solución “Sistema Todo en uno”. Seguidamente se expone detalladamente el proceso de diseño y desarrollo de los subsistemas en los que se enfoca este trabajo; el subsistema Extractor y el subsistema Barco. Al final de este capítulo se hace un resumen de las necesidades que dieron origen a estos sistemas y se exponen las funciones que desempeñan en el sistema Todo en uno, así como el trabajo futuro sugerido para la evolución del proyecto.

Por último, en el capítulo 5 se concluye con la discusión de los objetivos alcanzados, y se enfatizan las cualidades que los sistemas desarrollados ofrecen para la ciudad y su potencial evolución tecnológica.

## **2 OBJETIVOS Y ALCANCE**

El proyecto de donde derivó el presente trabajo de investigación y desarrollo trata de un proyecto multidisciplinario de gran magnitud y complejidad, donde se lleva a cabo la integración de 8 subsistemas principales con tareas específicas a realizar (más adelante se hará una breve introducción a las características y funciones de cada uno de ellos). Debido a esta complejidad, el presente trabajo se centra en solo dos de los subsistemas mencionados: un barco a control remoto, que se puede considerar la primera línea de extracción de residuos; y un transportador-extractor que en conjunto con el barco completan la tarea de extracción de basura y da paso a estos desechos a las siguientes fases del proceso de limpieza. Por lo que el objetivo general y los objetivos específicos se han planteado de la siguiente manera:

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar los subsistemas de extracción que forman parte de un prototipo funcional que ayuda y hace eficiente el proceso de remoción de basura y desechos con características específicas que se encuentran en los cuerpos de agua y represas de la Ciudad de México.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Diseño mecánico, prototipado, construcción, pruebas, aprobación y puesta en marcha de un transportador – extractor que opere en las condiciones específicas del entorno encontrado en cuerpos de agua de la Ciudad de México.
- Diseño mecánico, prototipado, construcción, pruebas, aprobación y puesta en marcha de sistema de propulsión, pliegue y despliegue de hélices para el subsistema de barco a control remoto.
- Diseño mecánico, prototipado, construcción, pruebas, aprobación y puesta en marcha de sistema de giro y dirección para hélices de subsistema de barco a control remoto.

### **2.3 Alcance**

Se hará uso de una amplia gama de conocimientos en desarrollo y diseño mecánico como lo es propiedades de materiales, uso de herramientas y software de diseño, así como costos y manufactura. Cabe señalar que la mayor parte del valor técnico que se encuentra en este trabajo se efectúa a través del estudio, diseño, evaluación y finalmente selección de distintas propuestas que solucionan un punto de trabajo en particular, por lo que el alcance contemplado incluye:

- Identificación de requerimientos y especificaciones.
- Modelado y archivos CAD.
- Análisis y reportes técnicos de simulaciones y análisis de elemento finito (FEA por sus siglas en inglés).

- Planos de detalle y listas de partes.
- Identificación y selección de elementos comerciales.
- Reportes de manufactura
- Identificación, reporte y solución de circunstancias técnicas halladas durante el proceso de manufactura).
- Reporte de ensayos, pruebas técnicas y evaluaciones durante pruebas en campo.

## **3 INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Antecedentes**

Para dar un mejor entendimiento a las exigencias con las que necesita cumplir el proyecto, es necesario conocer las características geográficas, hidrológicas y urbanas de la Ciudad de México, así como, las características de los desechos y entornos con los que se trabajarán. Es por esto por lo que a continuación se hace una breve introducción a estas áreas para dar contexto y una visión más amplia de las implicaciones a las que se harán frente en el desarrollo del presente trabajo.

#### **3.1.1 Características geográficas e hídricas de la CDMX**

La Ciudad de México está asentada en la cuenca de México, una unidad hidrológica cerrada ubicada en una llanura lacustre. Se encuentra rodeada de zonas montañosas y sierras volcánicas como lo son: hacia el sur se ubican las sierras del corredor Ajusco-Chichinautzin, hacia el oriente se limita con la sierra Nevada en donde se encuentran los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, y en el oeste se encuentra las sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, que continúan hacia el norte con la serranía de Tepotzotlán, Tezontlalpan y Pachuca. Los ríos y arroyos más importantes se ubicaban en la zona poniente de la Ciudad, destacando los ríos Magdalena, Remedios, Cuautitlán, Becerra, Tacubaya, San Joaquín y la Piedad. Pero el crecimiento desmedido de la Ciudad ha alterado este sistema hídrico al grado que la mayor parte de estos cuerpos de agua han desaparecido; entre los que aún subsisten están algunos canales de la zona chinampera de Xochimilco y una pequeña porción del Lago de Texcoco. [4]

La cuenca del valle de México es la región más poblada del país, donde se asientan 22 millones de habitantes en una superficie de cerca de 10 mil km<sup>2</sup> que incluyen la Ciudad de México en su totalidad y los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla parcialmente. Es de tal importancia los recursos hídricos en esta región que es necesario el abastecimiento de agua proveniente en su mayoría de acuíferos de la misma cuenca, seguido de la importación de otras cuencas y en menor cantidad de aguas residuales y superficiales. Sin embargo, en la actualidad dicha cuenca está sujeta a un gran estrés hídrico debido a la sobreexplotación de los acuíferos, con un volumen de 639 hm<sup>3</sup> anualmente, sin mencionar la amenaza que representan el aumento de los asentamientos irregulares en zonas aledañas a cuerpos de agua y el crecimiento de la población que, aunque moderado, es de 0.6% anual. Lo anterior originó la construcción de una serie de obras de entubamiento de ríos y su retención en presas para desalojar avenidas extraordinarias, iniciadas en el siglo XVII y que continúan hasta nuestros días. [5]

#### **3.1.2 La importancia del acuífero para la CDMX**

La principal fuente de abastecimiento de agua con la que cuenta la ciudad es el acuífero de la cuenca del Valle de México, cuya principal fuente de recarga es el suelo de conservación, representando para sus habitantes una función hidrológica invaluable. [6, p. 79]

Para dimensionar la importancia de estos suelos de conservación en cuanto a captación de agua se puede comparar la precipitación anual que en estos oscila entre 600 y 1500 mm al año, y la que se presenta en la zona urbana que varía de 400 a 1200 mm. Además, en los suelos de conservación se estima que la escorrentía superficial es de 73 millones de m<sup>3</sup> al año y un volumen de infiltración que va desde los 165 a los 190 millones de m<sup>3</sup> al año [6, p. 79]. Considerando que el volumen de extracción anual de toda la cuenca del Valle de México es de alrededor de 600 millones de m<sup>3</sup> y que esta es la principal fuente de abastecimiento para la ciudad, es evidente la sobreexplotación a la que está siendo sometida.

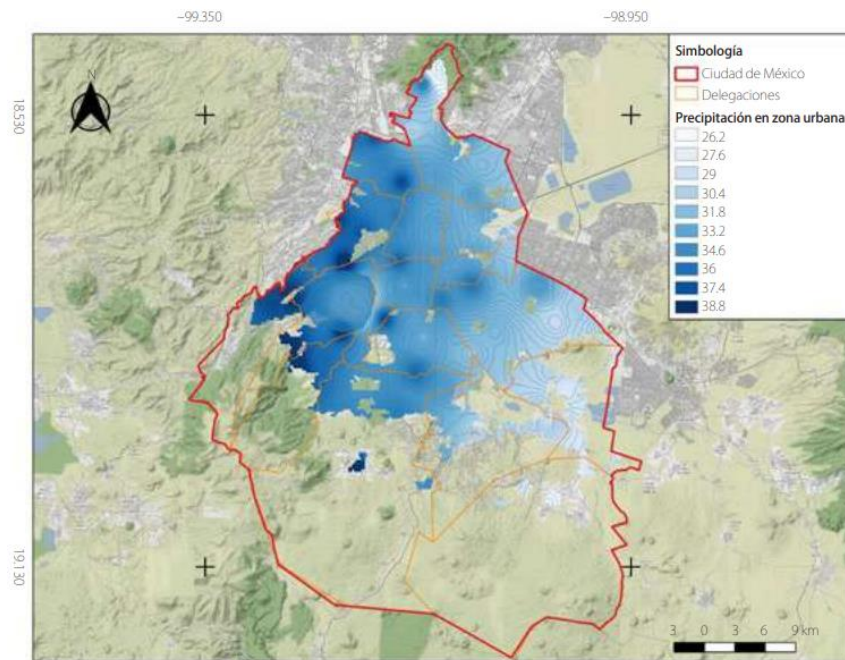


Imagen 1 Precipitación en zona urbana y asentamientos humanos. Recuperada de [6]

Por lo anterior, es de vital importancia la conservación de estas áreas y el impulso de mejores proyectos para aumentar la recarga del acuífero. Para ello, en los últimos años el Sistema de Aguas de la ciudad impulsó la construcción y el mantenimiento de pozos y represas que ayudan en la absorción, con el fin de incrementar el volumen de recarga al acuífero con el escurrimiento proveniente de microcuencas urbanas[6, p. 89].

De la misma forma, como se observa en la Imagen 1, gran parte de la precipitación en las zonas urbanas de la ciudad se producen en el poniente, por lo que esta zona toma especial relevancia a lo largo de este trabajo.

### **3.1.3 SACMEX**

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) tiene por objetivo suministrar y distribuir los servicios de agua potable y drenaje a los habitantes de la 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.[7]

Este organismo entró en funcionamiento el 1 de enero de 2003 por decreto del entonces jefe de Gobierno del Distrito Federal, Lic. Andrés Manuel López Obrador. Con el fin de crear los mecanismos más adecuados que permitan proporcionar los medios para lograr una eficiente distribución de los servicios hidráulicos de la Ciudad de México, así como prestar los servicios públicos de subministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización. Operar, mantener y construir la infraestructura hidráulica; explotar, usar, aprovechar las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y la calidad para contribuir al desarrollo integral sustentable de la Ciudad. [8]

Actualmente Sacmex se coordina con la Conagua y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, entre otras investigaciones, a modelar el comportamiento futuro del acuífero en condiciones de recarga artificial; esto desde la perspectiva de evolución de los niveles freáticos y de la mejora en la calidad del agua nativa [6]. Es de la mano de esta asociación y la coordinación de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECTEI) que se puso en marcha un nuevo proyecto que atendiera la constante necesidad de recolección y remoción de basura de los cuerpos de agua. Un sistema que haga frente a las características específicas de la basura que se acumula día con día, sin dejar de lado los retos que conlleva la operación de dichos equipos en colonias populares, asentadas irregularmente y, por lo tanto, de difícil acceso. Dicho proyecto es el que se expone en este documento.

### **3.1.4 Presas del poniente de la ciudad**

Sin duda, las presas y represas juegan un papel crucial para el sistema de drenaje de la ciudad. Su objetivo principal consiste en captar las aguas que se generan del escurrimiento de zonas altas de la ciudad y evitan inundaciones en zonas bajas y urbanizadas. Además, controlan el material en suspensión y azolve que se originan de las corrientes generadas después de las lluvias y que son arrastradas por ríos y drenajes. La operación de estas presas en su mayoría data de más de 50 años y actualmente Sacmex tiene a su cargo 17 (Imagen 2), la mayoría de ellas se encuentran en el poniente de la ciudad.

Son muchos problemas a los que se enfrentan actualmente estas presas, entre su avanzado tiempo de operación, la descontrolada deforestación, el crecimiento de la mancha urbana y la invasión de las orillas de los causes por asentamientos poblacionales irregulares, ha provocado que la mayoría

de ellas estén repletas de basura y azolve por lo que su capacidad ha ido disminuyendo gradualmente. Sin mencionar que la urbanización ha generado otros problemas como la misma disminución de la capacidad de regulación de los vasos acuíferos al no contar con suficientes áreas permeables que permitan la filtración del agua al suelo y a su vez aumentando los escurrimientos que terminan por sobrepasar las capacidades de estas presas.

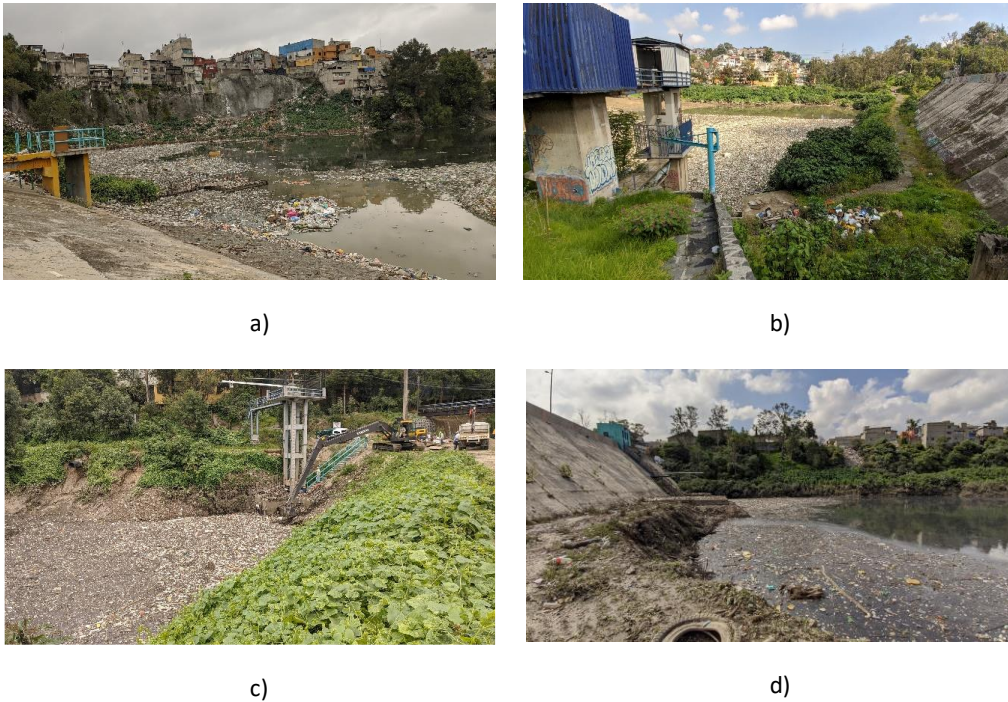


Imagen 2 Drenaje general y presas de la CDMX. Recuperado de [9]

### 3.1.5 Situación actual de las presas operables del nuevo sistema

El equipo de trabajo hizo diversas visitas a las 17 presas operadas por Sacmex, con el fin de recabar información sobre su operación, características, condiciones actuales y requerimientos específicos, visualizando y reportando dichos puntos.

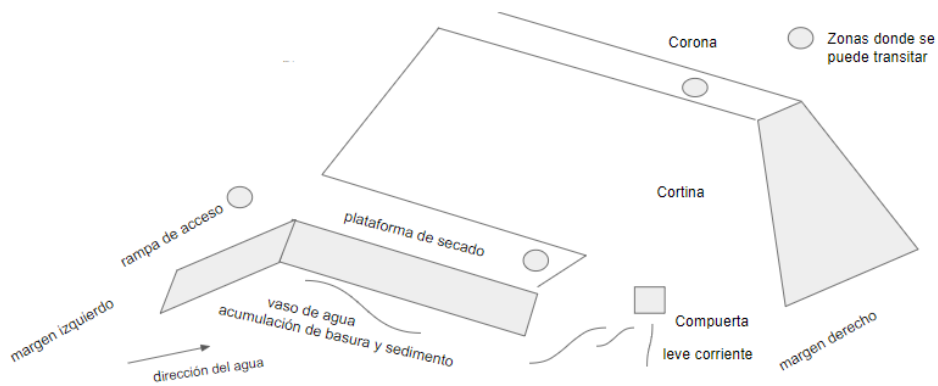
Como se puede observar en la Imagen 3, los problemas antes mencionados son evidentes en cada una de ellas. Estas fotografías fueron tomadas por miembros el equipo de trabajo durante 2019 y 2020.



*Imagen 3 Estado actual de las presas de la CDMX a) A de Becerra, b) Mixcoac, c) Tacubaya, d) San Joaquín. Obtenidas a partir de visitas de campo.*

Dependiendo la temporada y si se ha realizado recientemente mantenimiento y desazolve, las condiciones en las presas son variadas. Sin embargo, en la mayoría se puede encontrar presencia de contaminantes sólidos y problemas de taponamiento debido a estos a lo largo de todo el año.

En promedio la profundidad de estos cuerpos de agua es de 5 m, en su mayoría cuentan con únicamente una compuerta de drenaje. Además, con las visitas del equipo de trabajo se observó que ciertas características se repiten en general. Dichas características se observan en la Imagen 4.



*Imagen 4 características generales identificadas en presas. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.*



Teniendo en cuenta las características técnicas y condiciones particulares de cada una de las presas visitadas, se decidió que la aplicación del sistema de limpieza operara solo en 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

Las características particulares y más detalles de cada una de las presas se pueden encontrar en el *Anexo 1*.

### **3.1.6 Características de los residuos y azolve encontrados en las presas**

La variedad de desechos encontrados en las presas durante las visitas de campo del equipo es enorme, se puede encontrar todo tipo de material orgánico como lo son: troncos, ramas, hierva, cadáveres de animales, etc. Así como todo tipo de residuos inorgánicos de origen humano como lo son botellas, llantas, bolsas de plástico, piezas de automóviles, etc. En la Imagen 5 se puede observar la increíble variedad de estos desechos.



*Imagen 5 Variedad de basura encontrada en presas de la CDMX. Tomada en visitas de campo.*

El equipo de trabajo realizó un análisis de la basura encontrada en las presas y encontró que en su mayoría se trata de desechos plásticos como lo son botellas PET, seguido de material orgánico como lo son troncos de madera. La composición en porcentaje se puede observar en la Imagen 6.

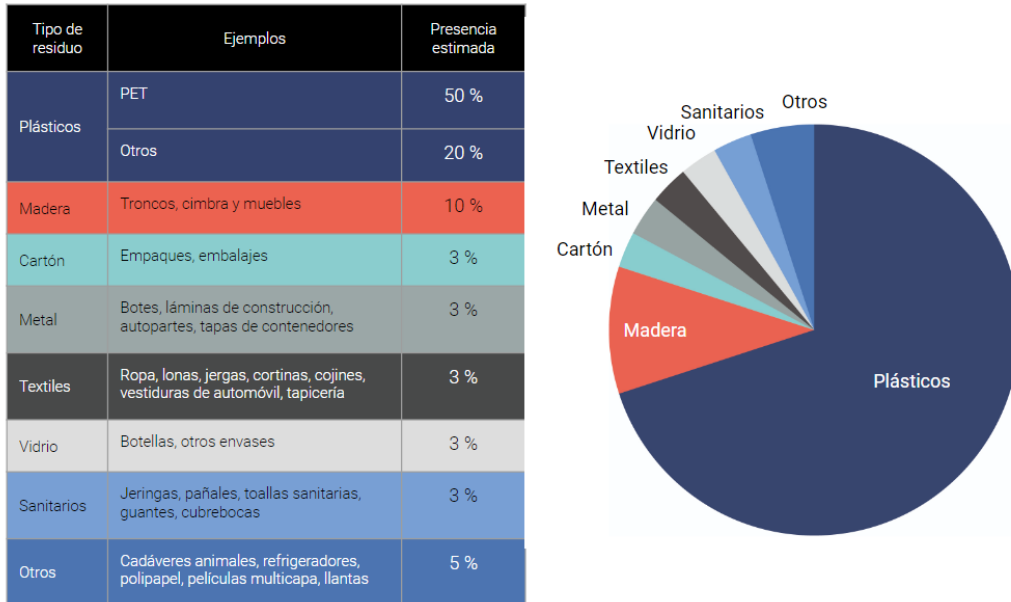


Imagen 6 Porcentaje tipo de basura. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

Además, en dichas presas es muy común encontrar un tipo de desecho muy particular mezclado con los demás residuos, este desecho es denominado “azolve” (Imagen 7). Se caracteriza por tener una consistencia pegajosa, de color oscuro y que tiene origen de la combinación de materia orgánica en descomposición, aceites, grasas y fangos que se encuentra y se van arrastrando a lo largo de los cuerpos de agua.



Imagen 7 Azolve mezclado con basura. Tomada en visitas de campo.

## 3.2 Exploración

En distintas ciudades alrededor del mundo se han llevado a cabo diversos proyectos con una finalidad parecida a la buscada en este proyecto, a decir verdad, la basura es un problema común en este planeta y cada región se las arregla para deshacerse de ella. Sin embargo, todos y cada uno de estos proyectos atiende a características específicas de tipo de basura, cuerpos de agua, cantidad y un enorme etcétera.

Como parte de la revisión documental, se identificaron patentes, análogos, y tendencias tecnológicas de sistemas cuyo fin es la recolección de basura y residuos sólidos de cuerpos de agua, a continuación, se hace una breve exploración de distintos proyectos, soluciones y patentes afines a esta problemática.

### 3.2.1 Estado del arte

Quizá uno de los sistemas más famosos en este ámbito es el conocido como "Mr. Trash Wheel" que es un interceptor de basura semi automático alimentado por energía solar e hidroeléctrica en la ciudad de Baltimore, Estados Unidos (Imagen 8). Funciona alimentándose de la corriente del río Jones Falls que hace mover una rueda y que esta a su vez acciona una cinta transportadora y una serie de horquillas que extraen la basura que se encuentra en el río hacia contenedores individuales que posteriormente se vaciarán. Además, cuenta con paneles solares que ayudan a seguir moviendo la cinta transportadora en caso de que la corriente del río sea lenta, y flotadores que canalizan la basura hacia su sistema de extracción.



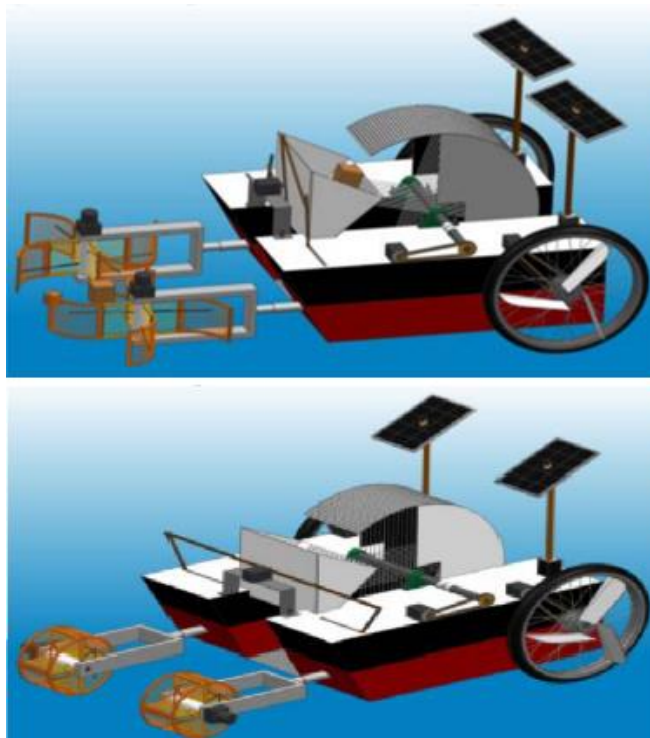
*Imagen 8 Sistema Mr. Trash Wheel. Recuperado de [10]*

Este sistema ha pasado por diversos cambios a lo largo de su vida, uno de los principales es aumento de tamaño de su rueda y contenedores, logrando sacar más de 1 millón de libras de basura del río desde su instalación en 2014 [11]. Sin embargo, también ha tenido problemas que superar como lo

es que cuando las temperaturas del río bajan a puntos de congelación, el sistema tiene que detenerse. Otro contra en este sistema es que depende ampliamente de la corriente del río, siendo la temporada de lluvias la que mayor cantidad de basura es capaz de extraer, en palabras de su creador John Kellett [11]:

*“Si llueve, siempre hay basura”*

Otro sistema similar es el encontrado en “Amphibious clean - up robot”[12], se trata de un sistema anfibio alimentado por energía solar, con la característica que es capaz de movilizarse tanto en agua como en tierra, gracias a que cuenta con unas aspas rotativas que canalizan la basura a su compartimiento de almacenaje, y que además estas mismas aspas son capaces de rotar para convertirse en 2 ruedas que le ayudan a su movilización en tierra (Imagen 9). Se trata de un sistema simple y compacto de fácil transporte que reduce la interacción humana de recolección de basura.



*Imagen 9 Sistema anfibio de recolección de basura. Recuperado de [12].*

Sin embargo, no se reportan datos de eficiencias ni tasas de recolección de basura, y tomando en consideración lo aprendido con el sistema de Baltimore, es probable que el sistema no sea capaz de tener grandes capacidades de recolección.

Existen más casos de éxito documentados como lo es proyecto “Bandalong Litter Trap” (trampa de basura Bandalong), con más de 10 años de desarrollo, diseño y marca registrada por Bandalong

International y que actualmente operan 17 trampas solo en Estados Unidos, además de diversas ciudades en Australia y Nigeria [13].



*Imagen 10 Bandalong Litter Trap. Recuperada de[13]*

Se trata de un sistema que tiene la ventaja de no necesitar asistencia mecánica, ni eléctrica ya que trabaja con la corriente de los ríos en los que se instala, ayudándose de 2 líneas de flotadores que atrapan y canalizan la basura hacia su compartimento de almacenaje, además de ser sencillo de fabricar, de poco mantenimiento, y que es capaz de fabricarse según la demanda de basura a recolectar (Imagen 10). En este sistema también hubo preocupación por la corrosión a la que podría ser sometidos sus materiales al estar en el agua, por lo que está fabricado en su mayoría con aluminio. Sin embargo, este material no contempla una diversa contaminación química que se pueden encontrar en áreas urbanizadas como las encontradas en la CDMX.

### **3.2.2 Patentes relacionadas**

Adicionalmente y como parte de la exploración y vigilancia tecnológica se encontraron diversas patentes relacionadas al tema, se puede observar que gran parte de ellas son sistemas móviles asistidos por hélices y que son similares a barcos y solo una pequeña cantidad se tratan de sistemas fijos. Asimismo, todos ellos, gracias a filtros, redes de recolección, bandas y cadenas de transportación son capaces de arrastrar y extraer los desechos sólidos flotantes de los cuerpos de agua. En la Imagen 11 se pueden observar algunos ejemplos relevantes.

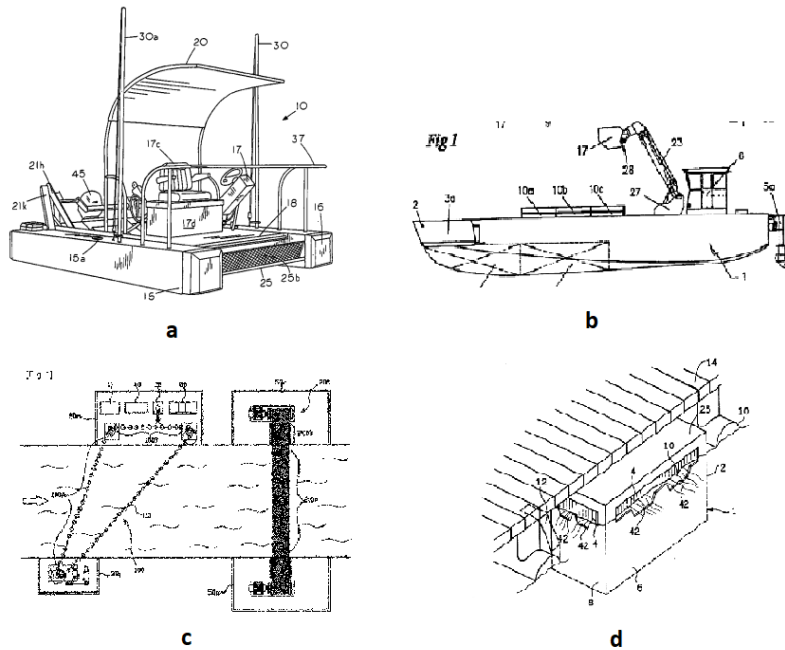


Imagen 11 a) Floating Debris Remover [14]; b) Marine Vessel for Collecting Floating Debris [15]; c) Apparatus for Collecting Suspended Mater in a River [16]; d) Apparatus and Method for Removal of Floating Debris[17].

### 3.2.3 Síntesis de la exploración

La información obtenida de la exploración anterior ayuda a conocer mejor el nivel tecnológico con el que en la actualidad se hace frente al problema que se plantea en este trabajo, además se puede observar que, a pesar de ser corrientes tecnológicas y aplicaciones análogas, no existe en la actualidad ningún sistema que se adapte completamente a los requerimientos y necesidades específicas del entorno y basura de las presas en la CDMX.

Por lo anterior, es claro que el proyecto que se aborda en el presente trabajo implica una innovación tecnológica en el sector de limpieza, saneamiento y recuperación de cuerpos de agua. Teniendo como resultado un sistema único que se adapta a las necesidades especiales de la CDMX, hace eficiente el proceso de recolección y salvaguarda la integridad física de los miembros de las cuadrillas de limpieza.

## **4 PROYECTO**

Hasta este punto se tiene un panorama general de las características geográficas y hidrológicas de la Ciudad de México, también se conoce las condiciones actuales de las presas seleccionadas para la operación del nuevo sistema y por lo tanto sus necesidades, problemáticas y retos a superar durante el desarrollo del proyecto.

A continuación, se hace una profundización a todos los aspectos relevantes del proyecto del que deriva el presente trabajo, se hace una introducción a las circunstancias y organismos que lo generaron, así como se introduce al equipo de trabajo que lo llevó a cabo.

Se da una introducción al diseño conceptual del proyecto global, y se sintetizan las problemáticas y los retos que este debe superar. Para ello se expone el proceso de diseño y desarrollo de los subsistemas “Extractor” y “Barco”, pasando por la identificación de las necesidades individuales de cada sistema, el diseño de conceptos, su evaluación, prototipado, manufactura, pruebas, correcciones, aprobación y puesta en marcha, así como el registro y documentación de las decisiones tomadas a lo largo del proceso y sus bases ingenieriles.

Por último, se hace un resumen de las soluciones y sistemas diseñados, al igual que se explica como realizan su tarea en el proceso de extracción de basura y desechos de los cuerpos de agua de la ciudad de México.

### **4.1 Proyecto SACMEX – UNAM**

Como parte de las acciones tomadas por el Gobierno de la Ciudad de México para la recuperación de sus cuerpos de agua, y brindar apoyo a las cuadrillas de limpieza que laboran en estos, surgió el proyecto SACMEX-UNAM, el cual da lugar al sistema nombrado “Todo en uno”, que consiste en la integración de 8 subsistemas para que en conjunto lleven a cabo la labor de recolecta de desechos flotantes presentes en las presas, además de ser un sistema transportable. Este proyecto fue patrocinado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI), con los números de identificación: SECTEI/175/2019, CM SECTEI/032/2021 y CM SECTEI/245/2021, en la modalidad de saneamiento de aguas contaminadas en la CDMX.

#### **4.1.1 Equipo de Trabajo**

Este proyecto se llevó a cabo con la ayuda de un equipo de trabajo multidisciplinario para atender de manera óptima cada uno de los campos de conocimiento necesarios para su desarrollo, así como abordar la magnitud y complejidad que demanda.

*UNAM*

- Dr. Luis Agustín Álvarez Icaza Longoria - responsable técnico de proyecto.

- Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich - corresponsable técnico de proyecto. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería
- Dra. María del Pilar Lira - coordinadora equipo de diseño de sistemas de monitoreo y control. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería
- Dr. Vicente Borja Ramírez - coordinador equipo de diseño de sistemas mecánicos. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería

#### *SACMEX*

- Dr. Rafael Bernardo Carmona Paredes – Supervisión.

#### *Equipo de diseño UNAM*

- Mtro. Luis Darío Reyes Delgado - Ing. Mecatrónica, académico, Facultad de Ingeniería
- L.A. Joshua Martínez - apoyo gestión administrativa, Facultad de Ingeniería
- LDI. Alejandra Carmona Isunza- responsable de diseño industrial
- Ing. Iván Daniel Arizmendi Maya - Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería
- Ing. Manuel Herrera López - Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería.
- Ing. Ulises Naranjo Vázquez; Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería.

#### *Colaborador externo: CONSÚLTANOS MX, S.A. DE C.V.*

- Dr. Javier Noé Ávila Cedillo – coordinador del proyecto
- Ing. Claude Y. Prud’Homme Barrios - project manager
- M.C. Jorge Escutia Sánchez- coordinador de vigilancia tecnológica
- M.A. Paola Dorado Díaz- transferencia de tecnología

### **4.1.2 Diseño conceptual del proyecto**

Se realizaron diversas actividades por parte del equipo de trabajo, estas estuvieron enfocadas en la recopilación de información, necesidades, opiniones, y primordialmente de diseño y selección de distintas propuestas de solución para el proyecto. Estas actividades se realizaron con base en la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger [2] además de un especial enfoque en el diseño centrado en el usuario que ayuda a satisfacer y mejorar las interfaces con las que interactuarán los miembros de la cuadrilla de limpieza (usuario final) y no solo del cumplimiento de los objetivos.

Como se muestra en la Imagen 12, el proceso de diseño de este sistema consta de 8 fases individuales, pero no independientes, ya que estas cuentan con la característica de tener retroalimentación sin importar la cronología de estos. Así, la información y aprendizajes obtenidos en cada fase son capaces de enriquecer, complementar o incluso modificar el trabajo realizado en otra fase regresando a fases anteriores del proceso cuantas veces sea necesario, hasta obtener un resultado satisfactorio.



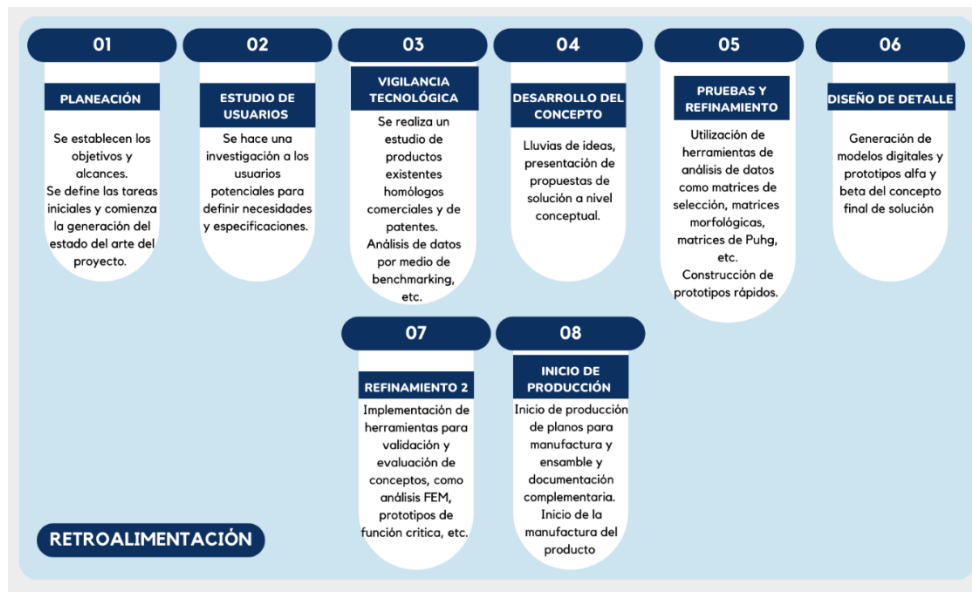


Imagen 12 Proceso de diseño del sistema "Todo en uno". Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

### 4.1.3 Problema y retos

Como se menciona en [18, p. 16]:

*“Dentro del proceso de diseño el primer problema con el que se enfrenta el diseñador es descubrir cual es en realidad el problema a resolver.”*

Por lo que el equipo de trabajo realizó diversas investigaciones y entrevistas para recabar información a partir de la interacción y visitas con las cuadrillas de limpieza, documentando así las actividades, problemas y procesos que identifican los mismos trabajadores. Lo anterior se resume en la siguiente ficha de personal (Imagen 13).

	<b>DATOS:</b> Jesús (Chucho) Rodríguez, 54 años y 22 años de servicio.	<b>CITAS:</b> "Hemos medido hasta 80cm de basura cubriendo la superficie completa de la presa" "Quisiera un brazo eléctrico como grúa para sacar la basura"
	<b>INFRAESTRUCTURA:</b> •Herramientas personales, uniformes, herramientas de instalación de equipo de limpieza. •Equipo de limpieza (bote y bandas transportadoras) •Vehículos y remolques.	
<b>ACTIVIDADES</b> •Instalación y desinstalación del equipo. •Remolque y desmontaje del mismo. •Operación del bote (ocasionalmente) •Supervisión de la basura •Separación y selección de la basura en caso de que haya algo que pueda atrofiar el sistema. •Cuidado y mantenimiento del sistema. •Limpieza y sanitización de su cuerpo, uniforme y equipo.	<b>PROBLEMAS:</b> •Poco tiempo de trabajo. •Es difícil mantener la higiene en la hora de la comida. •Ir al baño representa perder mucho tiempo ya que debe quitarse el uniforme. •Si olvidan o pierden alguna pieza o herramienta ¿Qué pasa? •Deben de poder trabajar en climas diferentes y extremos. •Atascos en el triturador o en cualquier parte del sistema.	<b>PROCESOS:</b> •Preparar equipo para la jornada. •Cambiar de ropa. •Remolcar y desmontar equipo. •Instalar el equipo. •Estar supervisando desde la orilla a las máquinas. •Subir al bote para quitar atascos y mover obstáculos. (Esta actividad se realizará ocasionalmente). •Guardado y desinstalación.

Imagen 13 Ficha de personal. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

Gracias a lo anterior se pudieron identificar los siguientes problemas y retos:

- El contacto directo con el agua contaminada es una fuente potencial de enfermedades.
- El tiempo de trabajo es corto para el número actual de personal.
- Se necesita trabajar con distintas condiciones climáticas.
- La acumulación de basura es continua y crece a ritmos acelerados conforme pasan los años.
- Necesidad de limpieza de dichos cuerpos de agua para futuras generaciones.
- Se necesita un sistema que sea capaz de mover gran cantidad de basura de manera autónoma.
- Se requiere un sistema que sea móvil.
- Sistema que sea fácilmente desmontable para el cumplimiento del punto anterior.

#### 4.1.4 Propuestas de solución

Con lo anterior en mente el equipo de trabajo realizó diversas interacciones conceptuales mediante lluvia de ideas con la finalidad de encontrar una propuesta óptima. En la Imagen 14 se puede observar algunas de las propuestas planteadas por el equipo. A su vez se observa que existe un gran número de alternativas para hacer frente a los problemas y retos enlistados anteriormente.

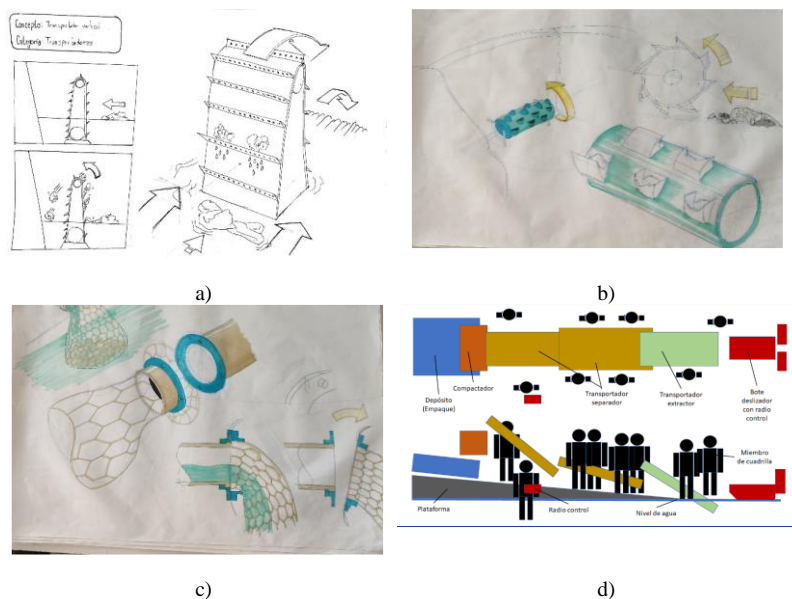


Imagen 14 Conceptos de solución. a) Transportador vertical. b) "Rueda de la fortuna". c) Red afluyente. d) Transportador y barco

Se realizó una matriz de selección donde se evaluaron los distintos conceptos de solución propuestos por el equipo, donde se evaluaron distintos criterios afines a los problemas y necesidades encontradas anteriormente, como lo son: gasto volumétrico, confiabilidad, portabilidad, costo de operación, mantenimiento, sustentabilidad, etc. Esta matriz se puede observar en la Imagen 15 y a partir de ella se concluyó que la mejor propuesta de solución es aquella que cuente con un transportador y un sistema que canalice la basura hacia este.

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

■ Viable  
■ Combinar  
■ Inviable

Imagen 15 Matriz de selección. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

#### 4.1.5 Sistema “Todo en uno”

Finalmente, gracias a la investigación realizada por el equipo, la evaluación de los distintos conceptos de solución y la atención para resolver las características específicas que necesita abordar el proyecto se optó por una propuesta de solución de configuración modular que eleva la portabilidad, disminuye la probabilidad de falla y la complejidad de mantenimiento.

Este sistema fue nombrado “Todo en uno” (Imagen 16) por su característica que cada uno de sus subsistemas cumplen una función elemental en el proceso de extracción de basura de cuerpos de agua, pero cada uno de ellos encaja perfectamente y son parte de un gran sistema único capaz de realizar esta tarea de manera fácil y eficiente.

Subsistema
1. Subsistema de desplazamiento de residuos, “bote”.
2. Subsistema de extracción de residuos, “extractor”.
3. Rampas para extractor, “rampas”
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”.

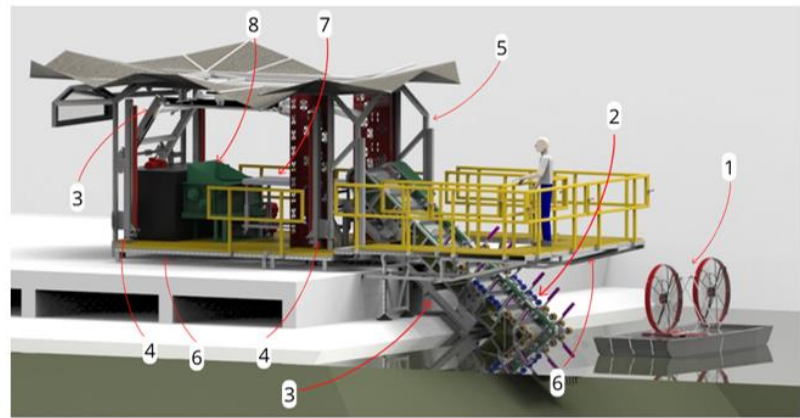


Imagen 16 Configuración del "todo en uno". Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

- Subsistema “Bote”: Es uno de los subsistemas que abarca esta tesis en su diseño y desarrollo, específicamente en los sistemas mecánicos de pliegue y despliegue de hélices, así como el sistema mecánico de dirección de estas. Se considera la primera línea de acción en la tarea de extracción de basura ya que tiene la función de realizar recorridos a control remoto con el fin de acercar los desechos flotantes al subsistema “Extractor”.
- Subsistema “Extractor”: Este es otro de los subsistemas que se plantean en esta tesis en su diseño y desarrollo. Junto con el bote, se considera la primera línea de acción en la tarea de extracción de basura. Se trata de un transportador de cangilones especialmente diseñado para operar en las condiciones y con el tipo de basura que se encuentran en las presas de la CDMX, este extrae la basura que es arrastrada por el barco y la eleva hacia la plataforma del Todo en uno y da paso a los desechos a las siguientes fases del proceso.
- “Rampas”: Debido al gran peso del extractor y a la necesidad de colocarse en su posición de trabajo y volver a replegarse a su posición de guardado de una manera segura y sencilla por los miembros de la cuadrilla, es necesario hacer uso de este subsistema que fue diseñado especialmente para el subsistema extractor.
- “Elevadores”: Este subsistema es vital para cumplir con la necesidad de que el sistema sea movable. Gracias a este subsistema el Todo en uno es capaz de montarse y desmontarse en un camión previamente modificado con twistlocks<sup>1</sup>, esto permite el traslado del sistema entre diferentes presas, además de si el camión sufre un desperfecto, este sea remplazado por otro y así no afectar las jornadas de trabajo programadas.
- “Estructura principal”: Es un subsistema de diseño especial en el que descansan todos los subsistemas en su posición de guardado. Este subsistema fue desarrollado con características especiales para soportar el peso de todos los subsistemas, así como las tensiones resultantes de las maniobras de guardado de los subsistemas extractor y barco, ya que en este se encuentran distribuidas distintos conjuntos de poleas que ayudan a esta tarea. Además, cumple la función de centro de operaciones durante el proceso de separación y triturado de basura.
- “Pasillos y plataforma de supervisión”: Este subsistema permite la libre circulación del personal de las cuadrillas de limpieza alrededor del sistema Todo en uno. Además, la plataforma de supervisión permite que el personal impida el paso a desechos que puedan causar daños o atoramientos al sistema, como lo son desechos de gran tamaño.
- “Separador”: Para mejorar la tarea de extracción de basura el equipo de trabajo pensó en una fase de separación de desechos reciclables o reutilizables. Este subsistema consta de una

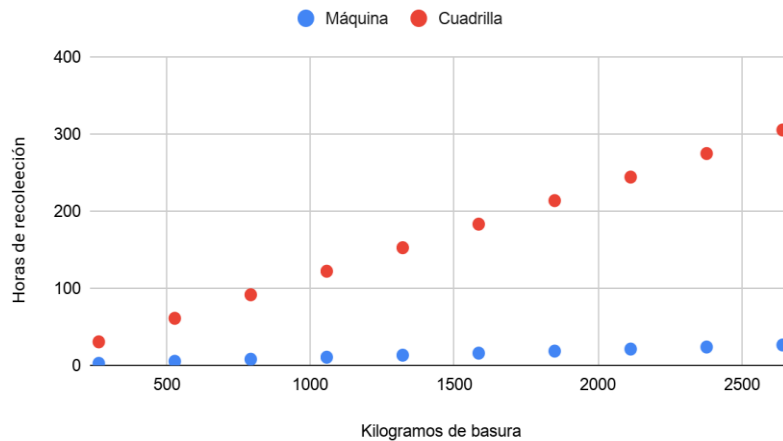
---

<sup>1</sup> El twistlock para contenedor es un dispositivo giratorio estandarizado que sirve para fijar un contenedor a un camión portacontenedores, tren o buque [21].

banda transportadora que dirige la basura que vierte en ella el extractor hacia el ultimo subsistema “Triturador”, mientras que miembros de la cuadrilla hacen la selección manual de basura.

- “Triturador”: El ultimo subsistema del Todo en uno se trata de un triturador de diseño especial que procesa y disminuye el volumen de los desechos extraídos hasta en un 70%, esto con la finalidad de hacer un mejor manejo de los desechos extraídos.

Utilizando como referencia la presa de Anzaldo, la cual tiene una superficie de cerca de 17900 m<sup>2</sup>, el equipo de trabajo realizó un estimado de la cantidad de basura que el sistema debería de ser capaz de extraer, y lo comparó con la cantidad de basura que actualmente extrae el personal de las cuadrillas de limpieza con sus métodos convencionales, dicha comparación se puede observar en la Imagen 17.



*Imagen 17 Tiempo de recolección vs kilos de basura. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.*

Además, se fijaron los tiempos de cada fase del proceso de carga y descarga del sistema en una jornada laboral ordinaria como se muestran en la Imagen 18, estos tiempos, junto con los objetivos netos de recolección de basura son importantes en el desarrollo del presente trabajo ya que representan los objetivos con los que deberán cumplir los subsistemas barco y extractor, de los cuales se detallará más adelante su proceso de diseño y desarrollo.

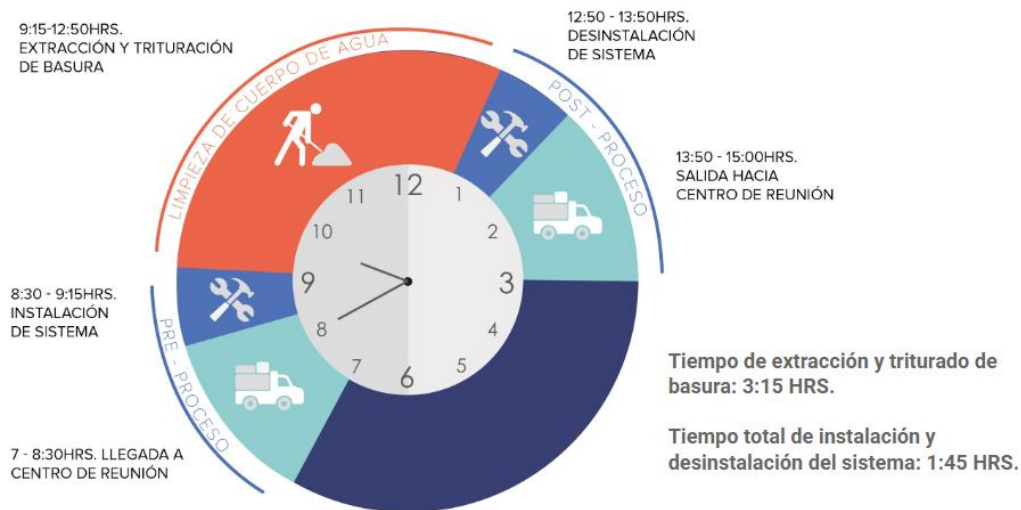


Imagen 18 Jornada laboral con carga y descarga del sistema. Elaboración equipo de diseño – Reporte técnico del proyecto.

## 4.2 Diseño y desarrollo de subsistemas de extracción

Como ya se ha mencionado anteriormente, el presente trabajo se enfoca en el diseño y desarrollo de dos de los ocho subsistemas que conforman el sistema “Todo en uno”. Específicamente refiriéndose a los subsistemas de la primera línea de acción en el proceso de extracción de basura de los cuerpos de agua, siendo estos, los subsistemas Extractor y Bote.

En este punto se tiene conocimiento y se entienden las características del ambiente y lugar de operación, se conoce las características de los desechos con los que estarán interactuando los sistemas, así como se tiene una idea de los requerimientos de tiempos y volúmenes de operación que deberán de cumplir los subsistemas una vez completado su desarrollo.

En los siguientes puntos se detallará el proceso de diseño que se siguió para completar esta tarea, al igual que se exponen las razones y criterios de evaluación que influyeron en las decisiones y cambios en el diseño que se llevaron a cabo a lo largo de este proceso.

### 4.2.1 Proceso de diseño

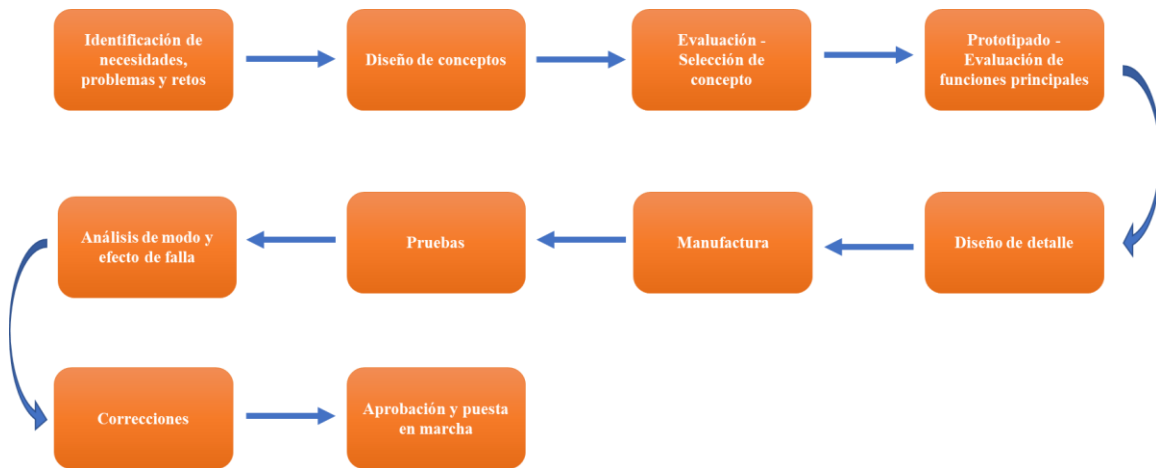
El proceso de innovación presente en el proyecto SACMEX – UNAM demanda especial atención en los requerimientos y necesidades de los usuarios finales, por lo que se tomó como guía un proceso de diseño que reuniera las características deseadas. Además, las necesidades y requerimientos técnicos y de seguridad toman relevancia al tratarse de sistemas móviles de gran tamaño y peso que están en interacción con miembros de las cuadrillas de limpieza.

Si bien hay metodologías de diseño bien establecidas, no siempre se cuenta con la certeza que estas cumplan por completo las expectativas de diseño y desarrollo de cada proyecto. Borja y Reivich destacan en [19, p. 14]:

*“Es recomendable que cada empresa cuente con su propio proceso, el cual puede incluir elementos probados o reportados en la bibliografía. Este proceso debe ser mejorado en forma continua y considerar el nivel tecnológico y tipo del producto, su ciclo de vida, fomentar el trabajo en equipo y la documentación de las actividades y de los resultados obtenidos.”*

Es por lo anterior que se tomó como guía un proceso de diseño basado en la metodología de Ulrich y Eppinger [2] y que además toma en cuenta los criterios de evaluación del análisis de modos y efecto de fallas (AMEF) [3], para la identificación de posibles fallas en un sentido ingenieril. Esto permite acelerar los tiempos de entrega de los subsistemas sin descuidar las necesidades y requerimientos técnicos y de seguridad que son fundamentales en el sistema “Todo en uno”.

A continuación, se hace una breve explicación de lo que conlleva cada fase del proceso, el cual también se puede observar en la Imagen 19, cabe destacar que este proceso solo se desempeñó como guía y que las distintas fases siempre tuvieron retroalimentación con las demás, no teniendo un orden completamente establecido y pudiendo regresar a fases anteriores o saltar fases de considerarse necesario.



*Imagen 19 Proceso de diseño y desarrollo. Elaboración propia.*

### *1 Identificación de necesidades, problemas y retos*

En este paso se agrupa y estudia toda la información proporcionada por los usuarios finales, la investigación del equipo de trabajo y los requerimientos solicitados para el sistema en cuestión.

### *2 Diseño de conceptos*

Mediante lluvia de ideas el equipo genera los posibles conceptos de solución de acuerdo con las necesidades planteadas en el punto anterior. Es importante mencionar que debido a que el concepto de solución general “Sistema Todo en uno” ya se encuentra planteado (mas no está absolutamente definido y puede cambiar en cualquier punto del proceso de ser

necesario), los conceptos generados en este punto para los subsistemas trabajados se tratan de apegar lo mejor posible al concepto general y se centran primordialmente en el buen desempeño y eficiencia que estos deben cumplir al realizar la tarea que se les fue asignada en el “Todo en uno”.

### 3 *Evaluación y selección de concepto*

En este punto se realiza una matriz de selección (Matriz de Pugh<sup>2</sup>) donde se evalúan las características deseadas de los componentes y/o funciones de los diferentes conceptos de solución. Esto ayuda a elegir una solución óptima de acuerdo con las especificaciones de los puntos anteriores.

### 4 *Prototipado y evaluación de funciones principales*

Se completa el diseño de los prototipos y se prosigue con la manufactura de un prototipo con el que sea posible visualizar las funciones principales del sistema, con esto se asegura que el funcionamiento del equipo una vez completado su diseño de detalle sea cuando menos lo esperado con los puntos anteriores. En este sentido se realiza una evaluación de parámetros solicitados.

### 5 *Diseño de detalle*

Con la información recopilada en el punto anterior, se realizan las correcciones necesarias a los subsistemas para asegurar el cumplimiento de sus funciones principales. Además, se realiza el diseño de detalle de los elementos que conforman los subsistemas, esto incluye la elaboración de reportes FEA<sup>3</sup>, selección de elementos comerciales y realización de planos para manufactura.

### 6 *Manufactura y ensamble*

Esta fase del proceso se realiza con la colaboración de talleres especializados que garantizan la calidad indicada en planos, siempre se lleva bajo la supervisión del equipo de trabajo quienes resuelven diversas circunstancias en la producción.

### 7 *Pruebas*

Durante esta fase del proceso se ponen en marcha los subsistemas manufacturados bajo condiciones controladas que simulan el ambiente, los objetos, y las interacciones del personal con los que operarán los subsistemas una vez entregados al usuario final.

---

<sup>2</sup> Herramienta de tipo cuantitativo que utiliza un entorno multidimensional para escoger la mejor de una serie de opciones [22].

<sup>3</sup> Modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el objetivo de encontrar y resolver posibles problemas estructurales o de rendimiento [23].



## 8 *Análisis de modo y efecto de falla*

Con la finalidad de asegurar que los subsistemas en cuestión ofrezcan su mejor desempeño, una vida útil más prolongada y además salvaguardar la seguridad de los miembros de la cuadrilla, se realizaron diversas evaluaciones basadas en el análisis de modo y efecto de falla (AMEF<sup>4</sup> o FMEA por sus siglas en inglés). Esta fase del proceso solo es posible después de haber realizado las pruebas correspondientes a los subsistemas ya que el procedimiento de análisis de modo y efecto de falla solicita un “nivel de ocurrencia” que solo se puede conocer bajo las condiciones normales de operación o en este caso, bajo las condiciones simuladas que se llevaron a cabo en las pruebas operativas.

## 9 *Correcciones*

Con la información obtenida de la anterior fase del proceso se llevan a cabo las correcciones de material, elementos, proceso, seguridad, etcétera, que sean necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los subsistemas.

## 10 *Aprobación y puesta en marcha*

Una vez completadas las posibles correcciones halladas en el punto anterior se procede a una nueva evaluación mediante los criterios AMEF donde se busca principalmente reducir el número de prioridad de riesgo propio del proceso AMEF, si este es lo suficientemente bajo se procede a la aprobación y puesta en marcha del subsistema.

### **4.2.2 Subsistema “Extractor”**

El concepto general de este subsistema dicta que se trata de un transportador de cangilones de entre cuatro y ocho metros de longitud capaz de operar en ambientes corrosivos y con la funcionalidad de extraer la basura flotante y la que se encuentra sumergida por debajo de la superficie de los cuerpos de agua de la ciudad de México.

#### **4.2.2.1 Identificación de necesidades, problemas y retos**

Haciendo una recapitulación a través de la información recolectada por el equipo de trabajo, se puede hacer una lista de necesidades y requerimientos generales del sistema. De la misma forma, se pueden identificar aspectos no evidentes en el proceso que pueden significar retos de diseño.

En el caso del subsistema Extractor, se sabe que para una correcta interacción entre este y el resto de los subsistemas del Todo en uno es necesario que tenga una longitud de entre 4 y 8 metros. Se sabe que su función principal es la extracción de basura de los cuerpos de agua, por lo que es

---

<sup>4</sup> Procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención [24].

necesario tomar en cuenta que la basura con la que interactuará se encontrará mojada, lo cual incrementa varias veces su peso, esto junto con el requerimiento de longitud obliga a que el Extractor cuente con una estructura lo suficientemente rígida que sea capaz de soportar su propio peso y el del material que estará transportando, además de los esfuerzos cortantes que serán provocados por el movimiento del motor y el mismo sistema de transmisión .

El ambiente de operación de este subsistema es sumamente corrosivo, por la alta contaminación química que caracteriza los cuerpos de agua de la ciudad, por lo que es necesario contar con un material y componentes resistentes a esta corrosión.

Para que la implementación de del sistema Todo en uno sea realmente conveniente en términos de reducción de carga de trabajo, eficiencia económica y reducción de tiempos de operación, el equipo de trabajo determinó que es necesario que el sistema haga la extracción de poco más de 4 veces la cantidad de basura que es capaz de extraer actualmente la cuadrilla de limpieza. Lo anterior se traduce en una tasa de extracción de aproximadamente 300 kilogramos por hora, es importante mencionar que este dato fue determinado en las primeras juntas de trabajo con personal de Sacmex, más adelante se decidió interpretar este dato tomando en cuenta el peso y volumen de botellas de PET de 1 litro de capacidad, esto al ser el desecho más abundante en las represas de la ciudad, lo que cambió la tasa objetivo de estar en términos de kilogramos por hora a términos de volumen por hora, lo que se traduce en una tasa objetivo de 0.768 m<sup>3</sup> por minuto, o en un sentido más coloquial 500 botellas PET por minuto. En la Tabla 1 se puede observar más a detalle estas conversiones entre tasas actuales y tasas prometidas.

Tasas de extracción	
kg/hr hombre	73,4
kg/hr maquina (prometido)	300
kg/min maquina (prometido)	5
Peso de 1 Botella [kg]	0,01
Botellas en 1 m <sup>3</sup>	651
kg en 1 m <sup>3</sup> de botellas	6,51
#Botellas/min hombre	122
m <sup>3</sup> /min maquina (prometido)	0,7680
#Botellas/min maquina (prometido)	500

*Tabla 1 Tasas de extracción actuales y prometidas. Elaboración propia.*

Lo anterior nos lleva a considerar el tipo de basura presente en los cuerpos de agua, como se mencionó anteriormente se trata principalmente de botellas PET, sin embargo, y como se observó anteriormente en la Imagen 6, le siguen desechos de madera, cartón y metales, por lo que el subsistema necesita poder extraer este tipo de materiales. Para proteger el mismo subsistema, se estableció que estos desechos individuales no excedieran el tamaño de un garrafón de 20 litros y un

peso aproximado de 20 kilogramos. Los desechos que a vista del operador sobrepasan estos parámetros, serán removidos fuera de la trayectoria de extracción manualmente por miembros de la cuadrilla gracias a las plataformas de supervisión.

El hecho de que haya tal variedad de materiales en un ambiente fangoso provoca que los mismos desechos arrastren consigo el mismo fango y azolve, por lo que el subsistema de extracción debe ser capaz de hacerle frente a este tipo de material y evitar en la medida de lo posible atascamientos debido a la presencia de este.

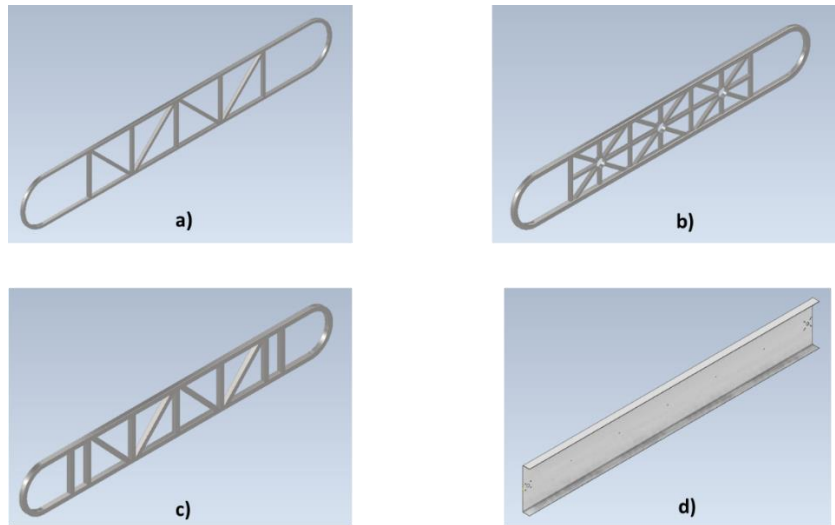
Estas fueron las primeras identificaciones sin procesar de las necesidades y requerimientos que debe cumplir el subsistema Extractor, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Longitud de entre 4 y 8 metros.
- Estructura rígida capaz de soportar su propio peso y el de material húmedo.
- Resistencia a la corrosión.
- Tasa de extracción mínima de 0.768 m<sup>3</sup>/min o 500 botellas/min.
- Capacidad de desechos individuales de hasta 20 kg.
- Extracción de basura del tipo plásticos, maderas, cartón y metales.
- Interacción con materia tipo fango y azolve.

#### **4.2.2.2 Diseño de conceptos**

##### *Estructura*

Uno de los elementos principales del subsistema Extractor es su misma estructura, que como ya se mencionó debe ser de entre 4 y 8 metros de longitud, capaz de soportar su propio peso y el de los distintos componentes del mismo subsistema, además de ser resistente a la corrosión. Atendiendo estas solicitudes se realizaron distintas propuestas de diseño, las cuales se puede observar en la Imagen 20.



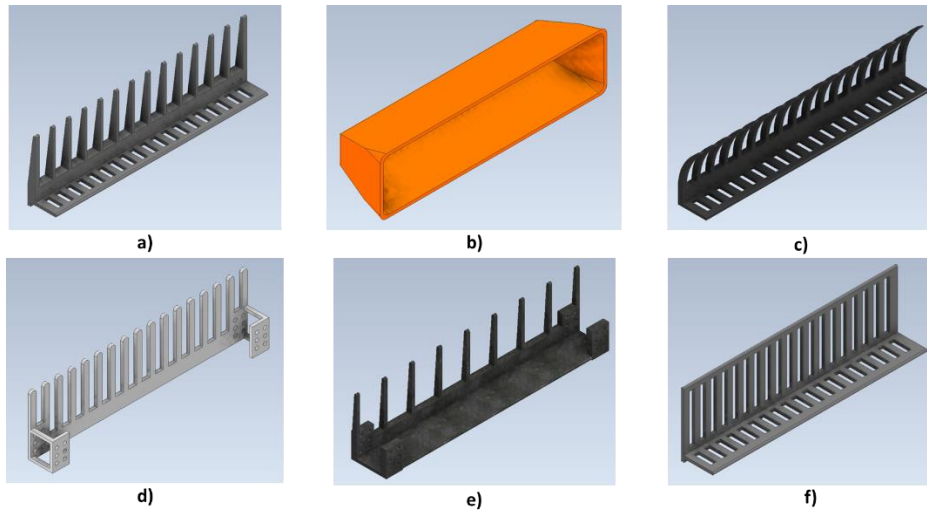
*Imagen 20 Estructuras propuestas. a) Diseño Warren perfil delgado. b) Diseño para travesaños tubulados. c) Diseño Warren reforzado. d) Viga como estructura. Elaboración propia.*

Las estructuras anteriores forman parte del “chasis” del subsistema Extractor, específicamente se trata de las estructuras laterales de este subsistema, la razón del énfasis en estos elementos recae en la necesidad de anclaje y unión con otros elementos. Cada uno de estos elementos fue pensado para conectarse gracias a los elementos del tren motriz del cual se detallará más adelante.

Atendiendo a la necesidad de resistencia a la corrosión se decidió que cada una de las propuestas sea fabricada (de ser seleccionada) en acero inoxidable 304, un acero austenítico de alto contenido de Cromo y Níquel que como se menciona en [20]: tiene considerablemente mejor resistencia a la corrosión que los aceros inoxidables del tipo martensíticos y ferríticos. Además, este tipo de acero se caracteriza por su excelente resistencia mecánica lo cual lo convierte en un material ideal para la aplicación buscada en la estructura del extractor. Sin mencionar que este tipo de acero inoxidable es de los más comunes en el mercado, por lo que su adquisición y bajo costo en comparación de otros materiales conlleva ventajas en el proyecto.

### *Cangilones*

Otro elemento clave del subsistema son los cangilones, estos elementos son los encargados de transportar los desechos que se extraen de los cuerpos de agua, y su diseño debe ser pensado con base en el tipo de material que transportarán. Tomando en cuenta lo anterior, se realizaron distintas propuestas que se exponen en la Imagen 21.



*Imagen 21 Cangilones propuestos. a) Cangilón por fundición y dientes rectos. b) Cangilón tipo balde. c) Cangilón por fundición con dientes curvos. d) Cangilón por corte laser. e) Cangilón soldado. f) Cangilón tipo rejilla. Elaboración propia.*

Es importante mencionar que dichos cangilones fueron pensados a partir de la decisión de que el subsistema Extractor tenga un sistema de transmisión de cadena, por lo cual, cada uno de los conceptos está sujeto a contar con elementos de fijación o ensamble con los arrastradores presentes a lo largo de la cadena.

#### *Motorreductor y tren motriz*

El motorreductor que moverá el tren motriz debe de ser capaz de trasladar tanto el peso del propio tren motriz conformado por cadenas, cangilones, acoplamientos, como la propia basura, considerando el factor de humedad que se encontrará en ella, a lo largo de la plancha del extractor y con un ángulo de hasta 42 °. Dicho lo anterior se consideró lo siguiente:

- Cangilones = 27;
- Carga por cangilón = 20 kg
- Peso por cangilón = 8 kg
- Peso de cadena = 150 kg
- $\theta = 42^\circ$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $\mu = 0.14$

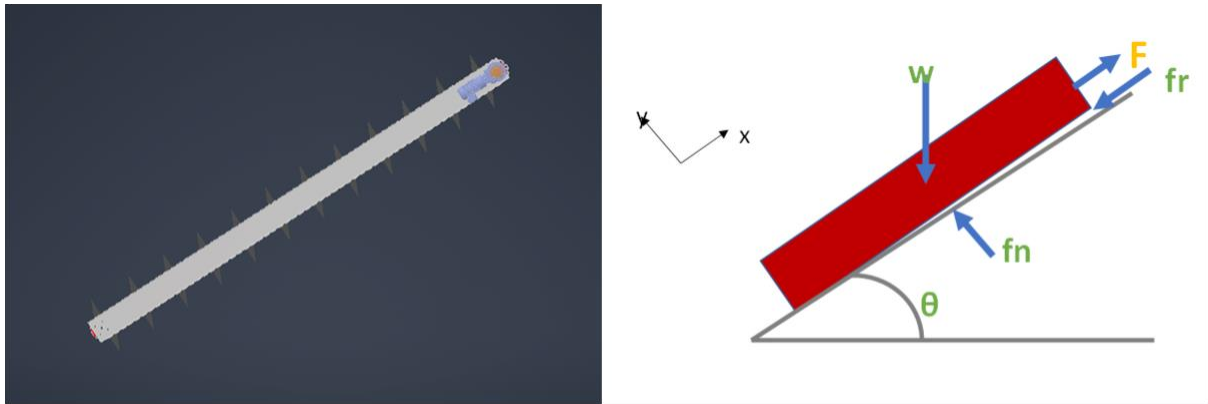


Imagen 22 Diagrama cuerpo libre para extracción. Elaboración propia.

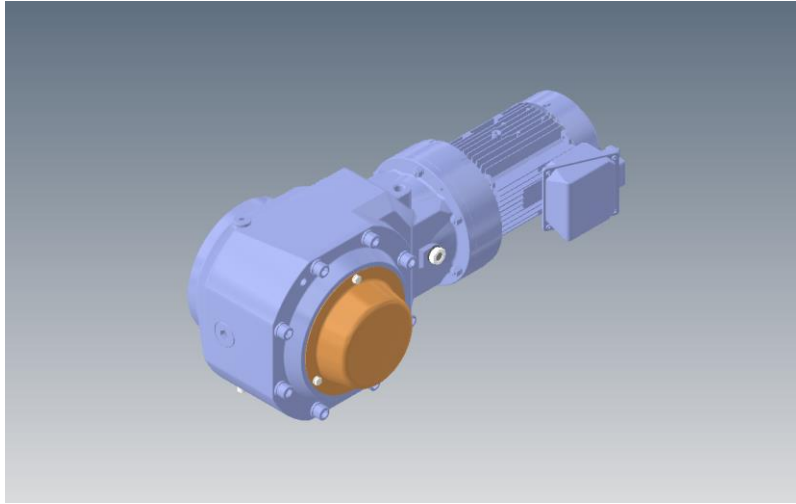
En la Imagen 22 observa el diagrama de cuerpo libre que representa a la totalidad de desechos presentes sobre la plancha del extractor en un momento dado de funcionamiento. Se realizó como ayuda grafica para hacer los cálculos de fuerza en el tren motriz y especificar el torque necesario en el motor. Se utilizó un factor de fricción  $\mu=0.14$  considerando la poca resistencia que opondrá la basura al estar mojada y con altos contenidos de residuos como aceites presentes en los cuerpos de agua.

Las catarinas del tren motriz se definieron de acuerdo con las recomendaciones del fabricante PEWAG, siendo estas el modelo KR 14/9 -50 las cuales tienen un diámetro efectivo de 287.9 mm.

Considerando lo anterior, en el **Anexo 2** se muestra el código de programación propia elaborado en el software Mathematica<sup>5</sup> y las consideraciones que dieron como resultado la selección del motorreductor modelo: LHYM3-5C140KB-Y1-179 marca Sumitomo (Imagen 23), el cual proporciona una potencia de 3 HP a 9.71 RPM lo cual con las catarinas del tren motriz proporciona una velocidad lineal de cerca de 17 cm/s. Suficiente para cumplir por encima de lo esperado en función del peso de extracción.

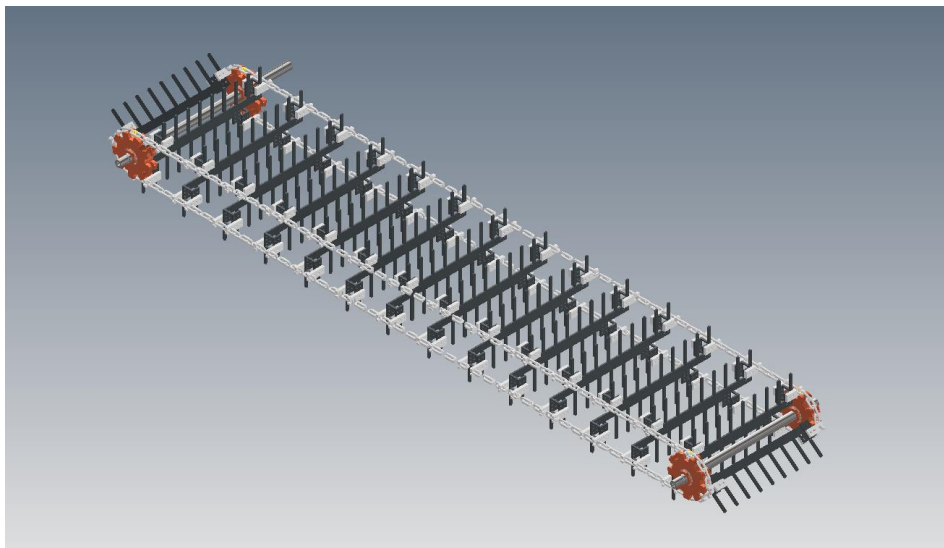
---

<sup>5</sup> Software creado por Stephen Wolfram orientado a la computación de problemas en las áreas científicas, de ingeniería, matemáticas y computacionales [25].



*Imagen 23 Motorreductor modelo: LHYM3-5C140KB-Y1-179. CAD recuperado de Sumitomo.*

Para conformar el tren motriz que moverá los cangilones y por consecuencia transportará los residuos de las presas, se utilizaron los componentes recomendados por la marca PEWAG para transportadores de arrastre, esto incluye cadenas, catarinas, conectores y arrastradores. El tren motriz diseñado es un sistema simple de 2 ejes, 4 catarinas y cadenas de acero de aleación CrNi para alta capacidad en cargas dinámicas y estáticas, sobre ellas son insertados los arrastradores que a su vez se ensamblan con los cangilones seleccionados, los cuales deben tener las adecuaciones necesarias para lograr esta unión. En la imagen 24 se puede observar el tren motriz en mención aislado de los demás componentes del subsistema extractor.



*Imagen 24 Tren motriz. Elaboración propia.*

### 4.2.2.3 Evaluación y selección de conceptos

#### Estructura

Para la selección de la estructura lateral en la cual descansará el peso de los desechos extraídos y del mismo extractor, se desarrolló una matriz de selección del tipo Pugh, en la cual se tomó como referencia la estructura planteada por el equipo de trabajo con anterioridad, la cual se trata de una viga estructural en acero. Los criterios de evaluación fueron los siguientes:

- Ligereza
- Resistencia estructural
- Disponibilidad del material
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de ensamble en el extractor
- Facilidad de correcciones en diseño
- Costo en función de la cantidad de material empleado.

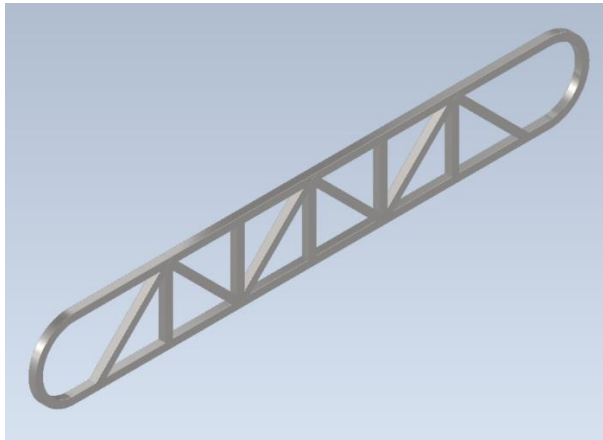
Las calificaciones se asignaron mediante el criterio (+ “mejor que”, 0 “igual a”, – “peor que”). Como se puede observar en la Tabla 2, los conceptos de estructura tipo Warren fueron los de mayor puntaje. Sin embargo, al ser ambos miembros de una misma familia por sus características similares, se aconseja continuar con el concepto tipo reforzado o en una combinación de ambos para explotar aún más las mejores características de cada uno de ellos en un nuevo concepto. Es por lo que se decidió realizar el mismo diseño del concepto tipo Warren delgado, con el mismo calibre planteado, pero con dimensiones de perfil ligeramente mayores.

	Referencia	Conceptos		
	Viga estructural	Warren perfil delgado	Trabesaños tubulares	Warren reforzado
Criterios de Evaluación				
Ligereza		+	+	+
Resistencia estructural		0	0	+
Disponibilidad del material		+	0	+
Facilidad de fabricación		-	-	-
Facilidad de ensamble		0	-	0
Facilidad correcciones		+	0	+
Costo por cantidad de material		+	0	+
Suma +		4	1	5
Suma 0		2	4	1
Suma -		1	2	1
Evaluación neta		3	-1	4
Lugar		2	3	1
¿Continuar?		Combinar	No	Si / Combinar

Tabla 2 Matriz de selección - Estructura del extractor. Elaboración propia.



Concretamente se decidió realizar este diseño con un perfil tubular cuadrado de acero inoxidable T304, calibre 14, de 1 ½ x 1 ½ pulgadas. En la Imagen 25 se observa esta estructura que, si bien solo se plantea en una primera instancia para prototipado, sus características permiten escalarla a las dimensiones finales requeridas por el sistema Todo en uno, para el correcto funcionamiento del subsistema Extractor.



*Imagen 25 Diseño estructural lateral de Extractor. Elaboración propia.*

### *Cangilones*

Al igual que con la estructura, el proceso de evaluación y selección de los cangilones se realizó mediante una matriz de selección, en la cual se tomó como referencia el cangilón tipo balde, los cuales son generalmente utilizados para movilizar materiales a granel. Este tipo de cangilón consta de un recipiente cerrado por la parte inferior y abierto en la superior, generalmente de plástico, que es de mayor utilidad cuando el material que transporta es capaz de moldearse a la forma del mismo cangilón, maximizando así la cantidad de material transportado por cangilón. Los criterios de selección fueron los siguientes:

- Ligereza
- Resistencia estructural
- Disponibilidad del material
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de ensamble en el extractor
- Facilidad de correcciones en diseño
- Capacidad de escurrimiento de basura

Se observa en la Tabla 3 que el concepto de cangilón por corte laser es el de mejor desempeño con respecto a los requerimientos solicitados para estos elementos. También se observa que el concepto de cangilón soldado se puede tomar en cuenta si se logra combinar con un concepto que reduzca su peso. Además, se puede señalar que, para la aplicación deseada en el proyecto, el cangilón tipo balde

es el peor calificado ya que siendo este la referencia, todos los demás obtuvieron una mejor calificación, esto recae principalmente en el hecho que en este tipo de cangilón la basura transportada no tendría escurrimiento y por lo tanto se estaría extrayendo agua junto con los desechos.

	Referencia	Conceptos				
	Balde	Fundición - dientes rectos	Fundición - dientes curvos	Corte laser	Soldado	Rejilla
Criterios de Evaluación						
Ligereza		-	-	0	-	0
Resistencia estructural		+	+	+	+	0
Disponibilidad del material		+	+	+	+	+
Facilidad de fabricación		-	-	+	+	+
Facilidad de ensamble		0	0	0	0	0
Facilidad correcciones		0	0	+	+	0
Capacidad de escurrimiento de basura		+	+	+	+	+
Suma +		3	3	5	5	3
Suma 0		2	2	2	1	4
Suma -		2	2	0	1	0
Evaluación neta		1	1	5	4	3
Lugar		4	5	1	2	3
¿Continuar?		No	No	Si	Si/combinar	modificar

Tabla 3 Matriz de selección - Cangilones. Elaboración propia.

En consecuencia, se decidió utilizar en un primer prototipo cangilones fabricados a partir de corte laser, lo cual tiene como ventaja adicional que se puede controlar la forma, el número de dientes, y en cierta medida el material deseado sin mayor problema. En este caso, se decidió fabricar los cangilones en acero inoxidable T304 (Imagen 26), a partir de placa de 1/4 in de espesor, además de realizar 3 variantes con diferente cantidad de dientes para observar su comportamiento (17, 9 y 5 dientes).

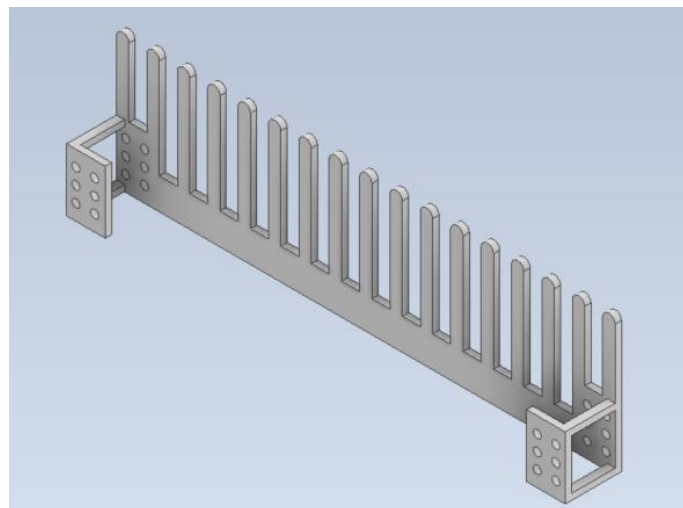


Imagen 26 Cangilón 17 dientes prototipo 1. Elaboración propia.

### *Motorreductor y tren motriz*

En el caso del motorreductor y el tren motriz, no fue necesario en este punto la realización de matrices de selección ya que se contaba con la recomendación de configuración del tren motriz en cuanto a cadenas, arrastradores, catarinas y sujetadores por parte de PEWAG, empresa que fabrica y distribuye estos elementos. Por parte del motorreductor se consideró en este punto como válidos los cálculos en la selección realizada mediante el proceso que se detalla en el **Anexo 2**, por lo que se prosiguió a la adquisición de este elemento.

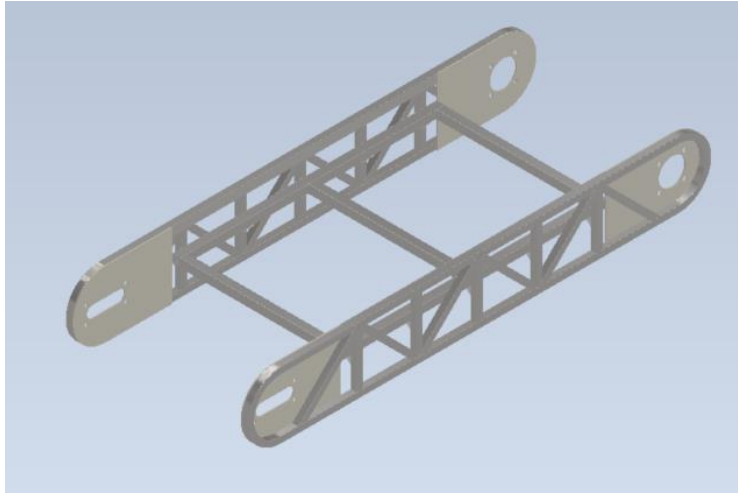
#### **4.2.2.4 Prototipado y evaluación de funciones principales**

La etapa de prototipado es una de las más importantes en el proceso, en ella se realizan pruebas y evaluaciones de los elementos diseñados, verificando su desempeño en la realización de las tareas para los que fueron diseñados. Además, se pueden hallar áreas de oportunidad de mejora en los prototipos, se puede optimizar a partir de sencillos cambios en la configuración que no afecten el diseño previo, o en algunos casos se puede determinar que la mejor decisión es modificar por completo el concepto planteado con anterioridad.

En esta fase del proceso también se incluye la supervisión de la fabricación de los prototipos y sus elementos por parte del equipo de diseño, esto garantiza la calidad del proceso de manufactura y por lo tanto la calidad del prototipo, lo cual es clave al momento de realizar la evaluación de las funciones principales de estos.

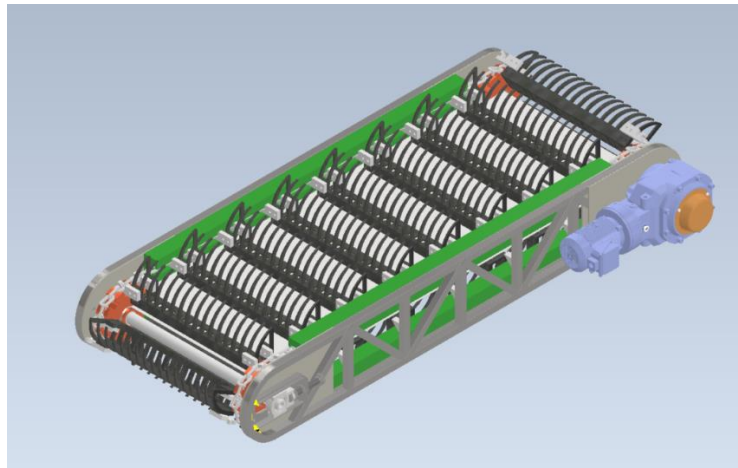
Para completar el diseño del transportador extractor fue necesario unir los elementos previos de la generación de conceptos, por lo que, para unir el tren motriz con la estructura principal se recurrió a la colocación de 4 placas de  $\frac{1}{4}$  in de espesor, en acero inoxidable, a los extremos de la estructura para que en ellas se colocaran 4 chumaceras en cada una para otorgar soporte a los ejes del tren motriz, dos de estas chumaceras son del tipo montaje de pared y las otras 2 son del tipo chumacera de tensión para conseguir una tensión óptima en la cadena del transportador, por lo que las placas laterales de la estructura se le colocaron las perforaciones necesarias para el montaje de estos elementos.

Además, para brindar mayor estabilidad al extractor se colocó en la estructura una serie de perfiles cuadrados de 2 in en posición de travesaños. Con este punto se culminó el diseño de la estructura principal (Imagen 27), que como ya se mencionó anteriormente se trata de una estructura a base de perfiles cuadrados en acero inoxidable con una longitud de solo 2.8 m, longitud suficiente para la evaluación de las funciones principales. Y con un diseño desarrollado con el fin de poder reutilizar la estructura en prototipos posteriores o diseño final, con lo que se reducen costos por adquisición de nuevos materiales.



*Imagen 27 Estructura prototipo 1. Elaboración propia.*

Por último, se realizó el montaje en el diseño del tren motriz, y se agregó una plancha de lámina de acero inoxidable por donde correrán los elementos que transportará el sistema. En la Imagen 28 se observa el diseño final del prototipo uno del subsistema extractor.



*Imagen 28 Diseño final prototipo 1 subsistema extractor. Elaboración propia.*

El proceso de producción de este sistema fue supervisado constantemente por el equipo de diseño, durante este periodo se resolvieron circunstancias como lo son uniones por soldadura, resolución de retos por no disponibilidad de herramental, en este caso se puede mencionar la solución de fabricación de los extremos redondeados de la estructura, ya que son de importancia si se desea evitar posibles atascamientos o disminuir el daño por golpes no deseados al transportador.

Ya que no era factible el rolado de los perfiles cuadrados, se determinó realizar cortes de solera del mismo calibre de los perfiles, rolarlas y unirlas por soldadura a cortes de lámina por CNC de láminas

con la curvatura deseada. En la Imagen 29 se observa un lateral de la estructura durante su proceso de manufactura en taller.



*Imagen 29 Fabricación estructura lateral. Elaboración propia.*

El resto del proceso de manufactura se llevó a cabo sin mayores incidentes, se completaron la mayoría de los elementos del transportador y el total de los elementos necesarios para evaluar las funciones principales (Imagen 30) y las interacciones entre los distintos componentes.



*Imagen 30 Elementos fabricados prototipo uno. Elaboración propia.*

De la evaluación de las funciones principales del primer prototipo se determinó que se cumplen las siguientes:

- La estructura es rígida, ligera y es capaz de soportar su propio peso
- El material es adecuado, los elementos de acero inoxidable son resistentes a la corrosión por humedad.
- El tren motriz se acopla a la estructura correctamente y su puesta en marcha es correcta.
- La velocidad lineal nominal de motorreductor es la deseada y la capacidad volumétrica de los cangilones es la adecuada, por lo que el transportador cumple con las tasas de extracción deseadas.

De la misma forma se halló que existen oportunidades de mejora en el diseño del prototipo, entre las que se destacan:

- Los dientes de los cangilones son lo suficientemente rígidos para soportar el peso máximo de 20 kg, sin embargo, es muy difícil garantizar que solo se opere con materiales de un peso igual o menor, por lo que se recomendó mantener la mayor cantidad de dientes posibles, además de ser reforzados.
- El equilibrio y rigidez de la estructura en el eje transversal cumple con lo esperado, pero puede mejorar significativamente si se agrega una estructura transversal cruzada y en por lo menos 2 planos diferentes.
- Los soportes y bases de las chumaceras tensoras del tren motriz no son lo suficientemente rígidas y entran en interferencia con la estructura lateral.
- Las cadenas del tren motriz se encuentran muy expuestas por lo que es probable que en ellas de atasquen desechos como ramas o varillas, lo cual al momento de entrar en contacto con las catarinas pueden ocasionar atascamientos no deseados.

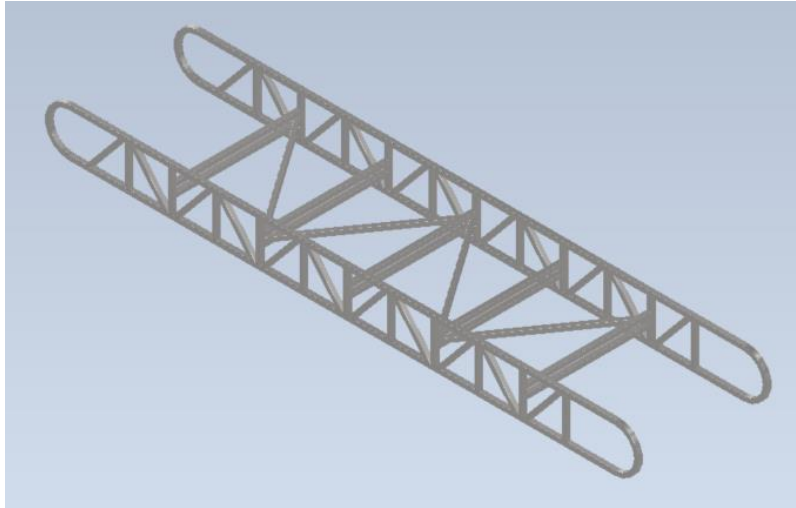
#### **4.2.2.5 Diseño de detalle**

Considerando las observaciones del paso anterior, se realizó el diseño de detalle del subsistema extractor para garantizar el correcto funcionamiento de las funciones principales, al igual que corregir y mejorar los elementos que se hayan encontrado con oportunidades de mejora.

Además, en este paso del proceso se realizan los análisis FEM a los elementos más críticos del sistema para garantizar la seguridad estructural y mecánica de estos y por lo tanto la seguridad operativa del usuario.

Primeramente, en el prototipo número uno, la estructura como ya se había mencionado anteriormente estaba diseñada para poder ser reutilizada en los siguientes modelos, por lo que solo es necesaria la segmentación de los extremos redondeados y unir con las extensiones necesarias. En este caso y después de los datos proporcionados por el equipo de trabajo y los acuerdos obtenidos con SACMEX sobre las características de las presas en donde operará el sistema, se acordó que el extractor tuviera una longitud de 4.9 m de extremo a extremo o 4.5 m de eje a eje.

Además, atendiendo el segundo punto de observaciones del paso anterior referente al equilibrio de la estructura transversalmente, se diseñó una estructura secundaria cruzada y en doble plano que le diera mayor equilibrio y rigidez al extractor, por lo que la estructura general del subsistema extractor se definió como se observa en la Imagen 31.



*Imagen 31 Estructura general de extractor. Elaboración propia.*

Se realizó el análisis FEM correspondiente a esta estructura (Imagen 32), en él se consideraron 4 apoyos simples que representan las ruedas que se detallará más adelante sobre ellas y en las que descansará el extractor sobre los rieles de las rampas de trabajo y rampas de guardado, también se consideraron las cargas correspondientes al peso máximo estimado por cangilón (20 kg) en el supuesto que los 16 cangilones correspondientes al número máximo de cangilones superiores en este modelo se encuentren a máxima capacidad dando un total de 320 kg distribuidos en los 5 travesaños con los que hace contacto la lámina superior por donde corren los desechos, además, se consideran los efectos ocasionados por el motorreductor, comenzando por un efecto de “aplastamiento” relacionado con la tensión de las cadenas y al torque del motorreductor al momento de accionarse el tren motriz y que se consideró de 10000 N en cada dirección. Por último, se consideró el momento ocasionado por el peso del motorreductor en uno de los extremos de la estructura superior e inferior como 235 Nm cada uno.

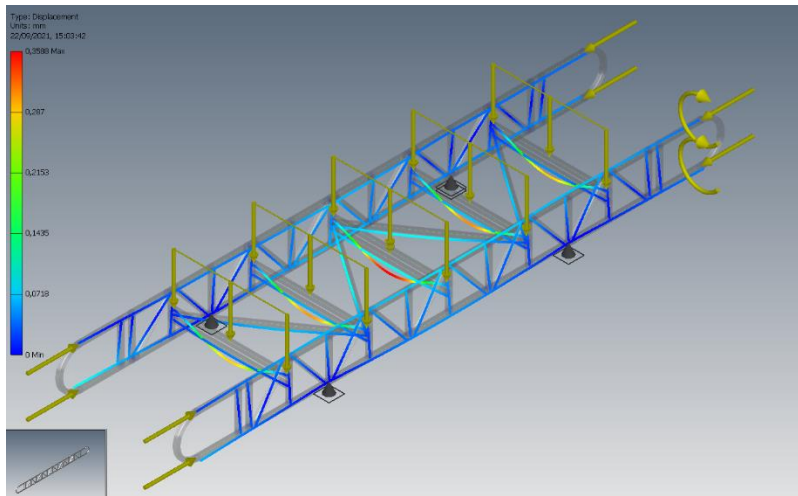


Imagen 32 Análisis FEM estructura general – desplazamientos. Elaboración propia.

Del análisis anterior se obtuvieron resultados satisfactorios en el desempeño estructural de los elementos, con desplazamientos inferiores a 0.36 mm (Imagen 32) y esfuerzos normales no mayores a 20 MPa (Imagen 33), lo cual brinda a la estructura factores de seguridad cercanos a 10.

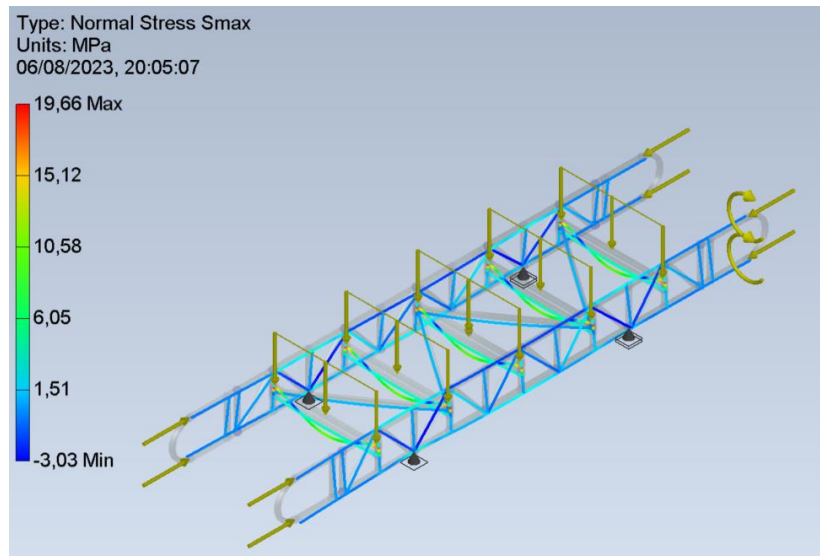
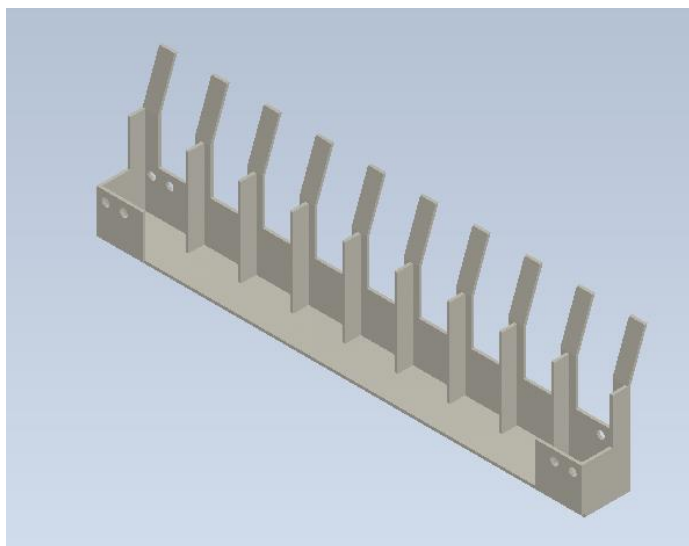


Imagen 33 Análisis FEM estructura general – estado de esfuerzos. Elaboración propia.

Con respecto a los cangilones, se decidió que estos fueran construidos a base de soleras y ángulos para que su manufactura fuera más económica, además de que brinda la posibilidad de realizar diversas configuraciones que aumentarían su rigidez, sin perder de vista sus puntos fuertes como el material resistente a la corrosión.

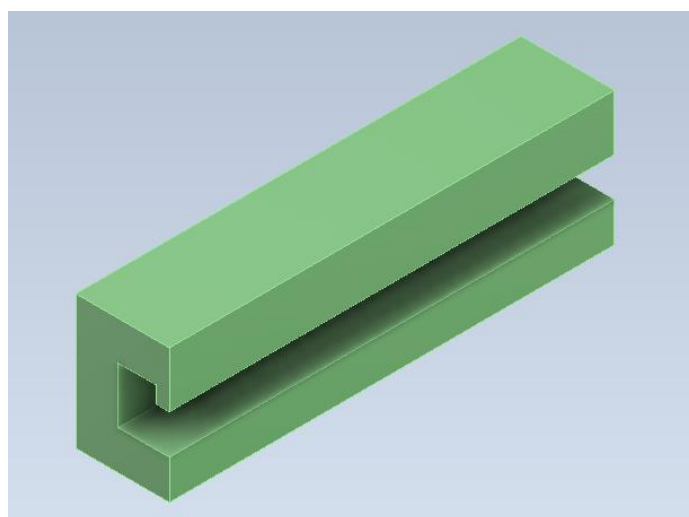


Los modelos definitivos de esta fase del proceso (Imagen 34) se reforzaron en cada uno de sus dientes con solera perpendicular a estos, además, a los dientes de les dio un dobléz que sirve para un mejor agarre del material que extraiga el transportador.



*Imagen 34 Cangilón fase diseño de detalle. Elaboración propia.*

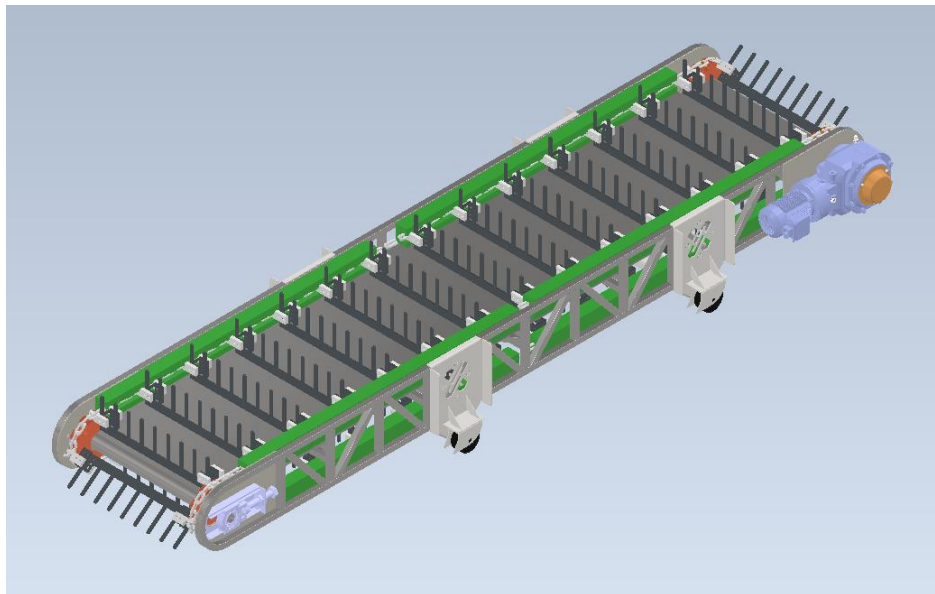
Así mismo, para atender la posibilidad de atascamientos en las cadenas y en las catarinas del tren motriz, se diseñó una serie de guardas o guías de cadena, cuya función es envolver la cadena durante el recorrido sobre la mesa del transportador, tanto en la parte superior como en la parte inferior del extractor. Estas guías de cadena diseñadas en material Nylamid se acoplan a la forma y silueta de las cadenas junto con los arrastradores de cangilón (Imagen 35) y se extiende lo más cercano posible a las catarinas del tren motriz sin hacer interferencia con elementos de este, más allá de las cadenas.



*Imagen 35 Sección guía de cadena. Elaboración propia.*

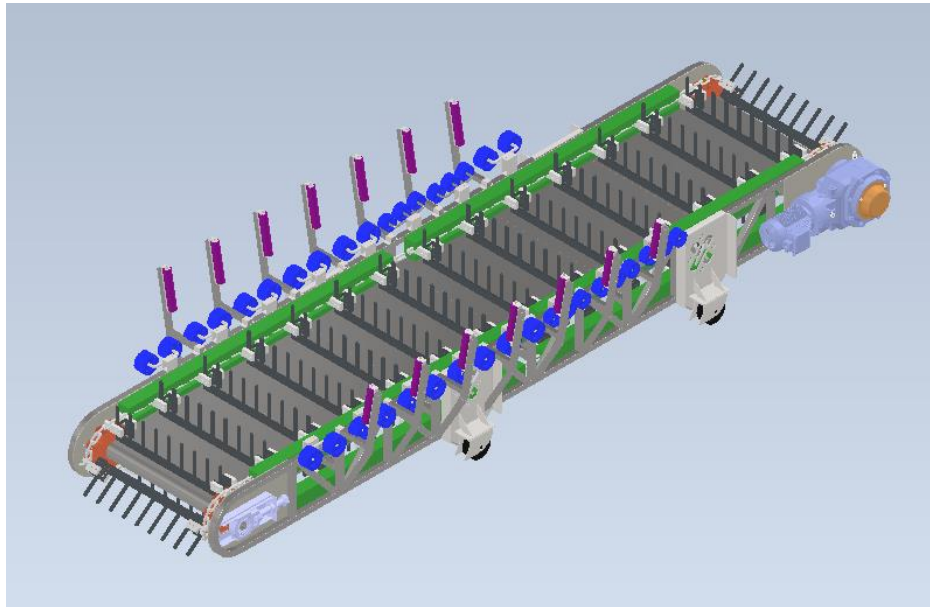
Además de estos elementos de mejora, fue necesario idear en esta fase del proceso dos elementos adicionales para el funcionamiento armónico del extractor con el resto de los elementos del Todo en uno, el primero de ellos son las ruedas del extractor, las cuales le permiten el deslizamiento sobre las rampas de guardado y rampas de operación, correspondientes a la estructura diseñada por el equipo de trabajo. Estas ruedas fueron seleccionadas para soportar el ambiente corrosivo en la operación del subsistema extractor, así como el sistema de sujeción y tracción fue diseñado con los mismos propósitos, además de servir como elemento de sujeción para el pliegue y despliegue del sistema.

En este punto el diseño de detalle del subsistema extractor para esta fase del proceso se puede considerar como concluido, como se observa en la Imagen 36, todos sus elementos se encuentran en posición y mediante software de descartaron interferencias entre elementos, tanto estática como dinámicamente. En la estructura del extractor fueron considerados como extra únicamente las uniones del sistema de tracción del extractor y la corrección de la interferencia entre esta y las chumaceras tensoras.



*Imagen 36 Diseño de detalle de extractor. Elaboración propia.*

Sin embargo, en paralelo se contempló un sistema que apoyará en el guardado del subsistema Barco, que más adelante se detallará sobre él. En este caso el subsistema Extractor al tener la capacidad de carga de más de 300 kg (peso aproximado de dicho subsistema), se comenzó con el diseño de un sistema que ayudara a dicha tarea que fuera montado directamente en el Extractor.



*Imagen 37 Subsistema Extractor con adecuaciones para guardado de subsistema Barco. Elaboración propia.*

Estos elementos que se observan en la Imagen 37, constan de una serie de ruedas y rodillos montados directamente en la estructura del Extractor, lo cual demuestra la versatilidad de dicha estructura. El conjunto de ruedas se encuentra ordenado con ángulos de 3 grados y alturas variables de tal manera que facilite la extracción del subsistema Barco desde la superficie del agua y que además se amolde a la silueta de este para protegerlo de deformaciones y movimientos fuera de su posición de guardado. En esta última característica fungen de la misma manera una serie de rodillos que guían el barco durante su guardado y su paso por el extractor, del cual el Barco se engancha de uno o varios de los cangilones y simplemente se acciona el extractor para su guardado a una velocidad controlada.

#### **4.2.2.6 Manufactura y ensamble**

El proceso de manufactura fue supervisado constantemente por miembros del equipo de diseño, se realizaron diversas visitas e intervenciones durante este proceso, garantizando así el cumplimiento de las especificaciones indicadas en planos (**Anexo 3**).

Igualmente, durante esta fase del proceso se realizaron diversas presentaciones de los elementos terminados para verificar su compatibilidad en todo momento con los demás elementos, estas presentaciones fueron desde sencillas como lo es tren motriz con estructura (Imagen 38) hasta interacciones de mayor importancia como lo es estructura del Extractor con rampas de trabajo y rampas de guardado (Imagen 39).



*Imagen 38 Primeras etapas de manufactura y ensamble. Estructura - Tren motriz. Elaboración propia.*

La interacción entre los diferentes subsistemas del Todo en uno durante esta fase del proceso es de especial cuidado ya que son elementos diseñados y desarrollados por distintos equipos de trabajo, por lo que es vital verificar su correcta interrelación entre ellos antes de seguir avanzando en esta fase. Gracias a estas pruebas se verificó la compatibilidad de los elementos críticos que se encuentran en contacto como lo es el sistema de tracción del Extractor y los rieles de las Rampas de guardado y de operación.



*Imagen 39 Presentación e interacción de estructura extractor y rampas de guardado. Elaboración propia.*

Finalmente, una vez comprobada la correcta interacción de los elementos tanto propios como ajenos de los diferentes subsistemas, se concluyó la manufactura de todos los elementos del transportador y se prosiguió a realizar en ensamble de todos ellos. Cabe resaltar que durante el proceso de ensamble se pueden vislumbrar detalles en el funcionamiento de los elementos, estas problemáticas

no claras ni plenamente identificadas hasta este momento son anotadas y se observarán con mayor detenimiento durante la siguiente fase del proceso.

La Imagen 40 corresponde al transportador – extractor completamente ensamblado con todos sus elementos en posición y calibrados, como lo es una correcta tensión en las cadenas del tren motriz o el compartimento de aceite de la caja reductora del motorreductor en sus niveles adecuados. Con esto concluye la fase de manufactura y ensamble y se da paso a la siguiente fase del proceso de desarrollo del subsistema extractor.



*Imagen 40 Prototipo final del subsistema Extractor completamente ensamblado. Elaboración propia.*

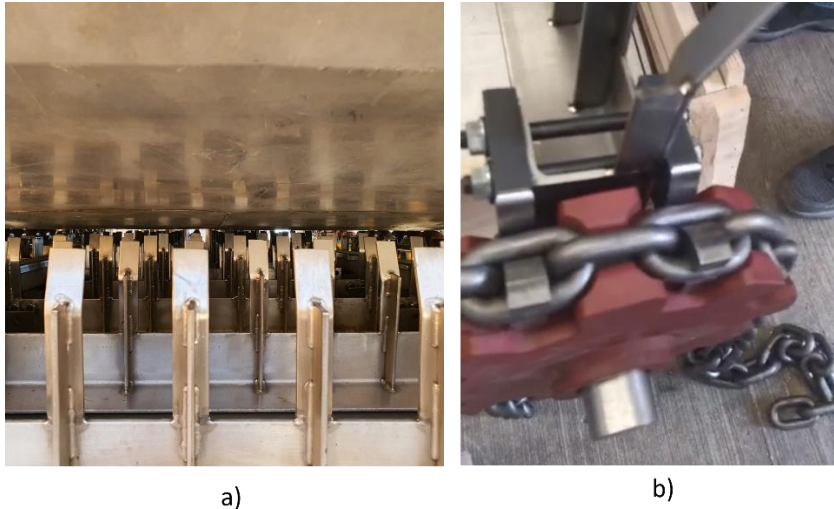
#### **4.2.2.7 Pruebas**

Las pruebas realizadas a los subsistemas fueron en todo momento supervisadas por personal capacitado y/o miembros del equipo de trabajo. Se realizaron con parámetros controlados, como son velocidades, ángulos de operación, volúmenes de extracción, etc. que simulan las condiciones de trabajo de los sistemas, además, se realizaron interacciones con materiales que comúnmente se hallarían en una jornada de trabajo.

En estas pruebas se observaron con detenimiento la lista de detalles que fueron anotadas en la fase de manufactura y ensamble anterior, y se examinaron las repercusiones en el sistema que estas tienen durante su operación. Además de encontrar nuevas áreas de mejora derivados de la interacción dinámica de los distintos elementos del sistema. Entre las que destacan:

- Durante la operación en reversa del tren motriz, algunos arrastradores se encajan en las guías de cadena provocando que la protección eléctrica del motorreductor se active y este se apague.

- La manufactura del casco del subsistema barco no coincide con las medidas especificadas anteriormente siendo esta más ancha y por lo tanto provocando atascamiento con el arreglo de rodillos durante su guardado.
- Los dientes de los cangilones pasan a escasos 5 mm del casco del Barco (Imagen 41 a).
- El ensamble doble de los cangilones con el tren motriz hace saltar la cadena cuando esta pasa por las catarinas (Imagen 41b).



*Imagen 41 a) Casco de Barco sobre cangilones. b) Ensamble doble de arrastradores de cadena. Elaboración propia.*

Estas nuevas anotaciones en el funcionamiento del sistema serán clasificadas por nivel de ocurrencia, lo cual será de ayuda en la en la siguiente fase del proceso.

#### **4.2.2.8 Análisis de modo y efecto de falla**

La metodología AMEF o FMEA (Failure Mode Effect Analysis), por sus siglas en inglés, permite identificar fallas en procesos, productos o servicios, evaluando y clasificando de manera objetiva y cuantitativa los llamados “efectos” que se pueden considerar como el impacto en el usuario final o en los procesos subsecuentes por su nivel de severidad. Como se mencionó anteriormente esta metodología fue considerada como guía para obtener un registro y documentación que permita de manera cuantitativa clasificar las posibles fallas del sistema, y así una vez resueltas en la siguiente fase del proceso, evaluarlas y aprobarlas de manera objetiva, esto asegura que los subsistemas desarrollados ofrezcan su mejor desempeño, una vida útil más prolongada y sobre todo salvaguardar la seguridad de los usuarios finales que en este caso se trata de los miembros de la cuadrilla de limpieza.

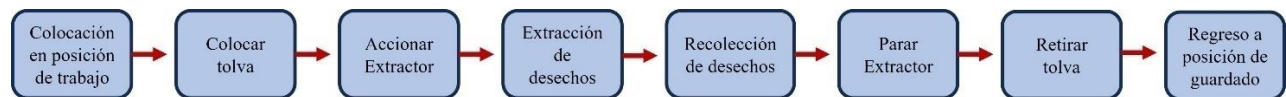
Esta fase del proceso solo es posible después de haber realizado las pruebas correspondientes a los subsistemas ya que el procedimiento de análisis de modo y efecto de falla solicita un “nivel de

ocurrencia” que solo se puede conocer bajo las condiciones normales de operación o en este caso, bajo las condiciones simuladas que se llevaron a cabo en las pruebas operativas.

Por razones de tiempo, las correcciones a los puntos encontrados en la fase anterior del proceso fueron diseñadas, desarrolladas y resueltas tiempo antes de completar las evaluaciones de esta metodología, por lo que su uso elemental en el proceso se limitó al registro y documentación cuantitativo de los efectos, de la misma manera que el registro y documentación cuantitativo de las soluciones empleadas a dichos puntos como se detallará más adelante. Esto con la finalidad de brindar confianza y un respaldo ingenieril al usuario final estableciendo niveles de confiabilidad. De la misma manera se omitieron los pasos “Formación de equipo de trabajo” por no tratarse de una organización y “Determinar pasos críticos” por tratarse de un proceso relativamente corto y en el que además se analizarán todos los pasos del proceso.

#### *Desarrollo de un mapa del proceso*

Para fines prácticos de este trabajo el mapa del proceso de una jornada de trabajo solo incluye puntos en los que se aísla el sistema a evaluar, en este caso el subsistema Extractor. Por lo que el mapa del proceso de operación del subsistema Extractor se define como se observa en la Imagen 42.



*Imagen 42 Proceso de operación del subsistema Extractor. Elaboración propia.*

*Determinar las fallas potenciales de cada paso del proceso, determinar sus efectos y evaluar su nivel de severidad.*

En primer lugar, se deben considerar los puntos hallados durante la fase de pruebas, consecuentemente se debe realizar de forma crítica y analítica un estudio de las posibles fallas de cada paso del proceso que aún no han sido identificadas, como piezas con posibles desgastes prematuros o accidentes por desconocimiento de normas de seguridad.

Al realizar dicho estudio se hallaron las siguientes fallas potenciales en los distintos pasos del proceso (Imagen 43):

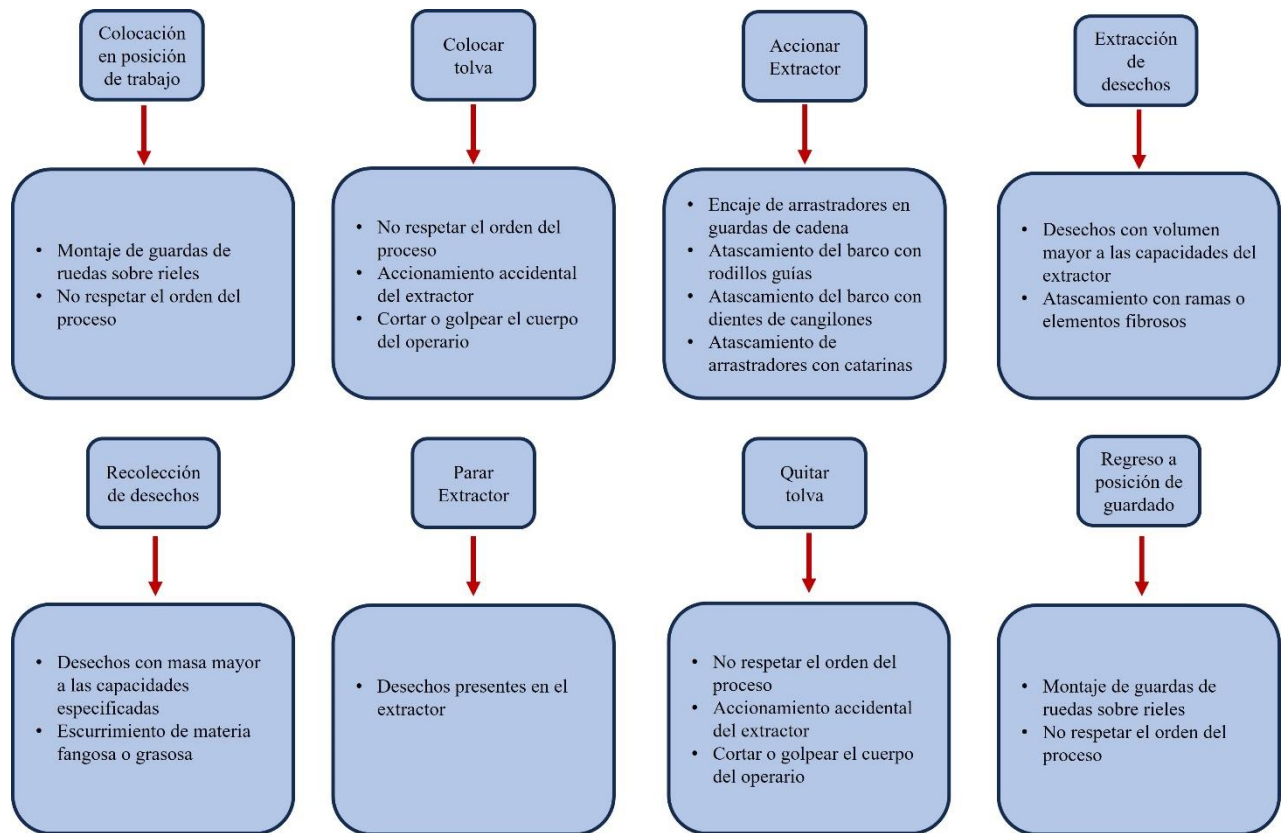


Imagen 43 Fallas potenciales proceso Extractor. Elaboración propia.

Una vez identificadas las fallas potenciales de cada paso del proceso, donde se incluyen las fallas halladas en fases del diseño y desarrollo anteriores, y las fallas halladas de manera crítica, se procede a determinar los efectos de cada una de estas fallas, en las Tablas 4 a 10 se enlistan todas estas fallas junto con sus potenciales efectos de cada uno de los pasos del proceso.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable
2	Colocación en posición de trabajo	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros.

Tabla 4 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de trabajo" Extractor. Elaboración propia.



#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocar tolva	No respetar el orden del proceso	Colocación incompleta. Desechos no fuera de contenedores.
2	Colocar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador

Tabla 5 Fallas y efectos paso del proceso "Colocar tolva" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender el Barco.
2	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.
3	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cangilones	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.
4	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.

Tabla 6 Fallas y efectos paso del proceso "Accionar Extractor" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Extracción de desechos	Desechos con volumen mayor a las capacidades del Extractor	Atascamiento. Daños en cangilones. Contenedores insuficientes.
2	Extracción de desechos	Atascamiento con ramas o elementos fibrosos	Interrupción del proceso.

Tabla 7 Fallas y efectos paso del proceso "Extracción de desechos" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Parar Extractor	Desechos presentes en el Extractor	Atascamiento de Barco. Desgaste prematuro.

Tabla 8 Fallas y efectos paso del proceso "Parar Extractor" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Quitar tolva	No respetar el orden del proceso	Daño a tolva.
2	Quitar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,
3	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador

Tabla 9 Fallas y efectos paso del proceso "Quitar tolva" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable
2	Regreso a posición de guardado	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros. Fijación errónea del Extractor. Accidentes.

Tabla 10 Fallas y efectos paso del proceso "Regreso a posición de guardado" Extractor. Elaboración propia.

Para tener un registro cuantitativo de los efectos, es necesario asignarles un nivel de severidad a cada uno de ellos, para esto se toma en cuenta la escala que se ve en la Tabla 11, se considera los efectos tanto en usuario como en proceso donde el valor de severidad asignado será el mayor de cualquiera de los dos, se toman en cuenta las escalas que se encuentran en [3], pero se adecuan para encajar con el proceso de recolección de basura.

Calificación		Criterio	
Cuantitativa	Cualitativa	Efecto en el usuario	Efecto en el proceso
1	Ninguna	Sin efecto perceptible	Sin efecto
2	Menor	Dificultad de aprendizaje o asimilación del proceso	Ligero inconveniente para la operación
3	Muy Bajo	El usuario necesita realizar pasos extra a los asignados para realizar una tarea	Ligero atascamiento de que se resuelve sin necesidad de herramientas
4	Bajo	El usuario necesita pedir ayuda para realizar una tarea	Atascamiento, es necesario utilizar herramienta
5	Moderado	No posible de realizar una tarea, se necesita la atención de la mayoría del equipo	Atascamiento, es necesario intervención de 2 o mas personas y herramientas grandes
6	Alto	Lesiones leves como rasguños o rozaduras	Paro del proceso, no es posible continuar sin intervención mayor
7	Muy Alto	Lesiones moderadas como golpes o machucos	Ruptura o daño reparable, no es posible continuar en el instante.
8	Peligroso	Operación del sistema es inseguro. El usuario se expone a peligro.	Fallo catastrófico del sistema, se expone a peligro al usuario.

Tabla 11 Escala de severidad referente al proceso de extracción de basura Extractor. Elaboración propia.

Por lo que los efectos fueron calificados como se observa en las Tablas 12 a 19:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5
2	Colocación en posición de trabajo	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros.	7

Tabla 12 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocar tolva	No respetar el orden del proceso	Colocación incompleta. Desechos fuera de contenedores.	2
2	Colocar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6

Tabla 13 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Colocar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender el Barco.	6
2	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7
3	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cangilones	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7
4	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.	6

Tabla 14 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Accionar extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Extracción de desechos	Desechos con volumen mayor a las capacidades del Extractor	Atascamiento. Daños en cangilones. Contenedores insuficientes.	7
2	Extracción de desechos	Atascamiento con ramas o elementos fibrosos	Interrupción del proceso.	4

Tabla 15 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Extracción de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Recolección de desechos	Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas	Daños a cangilones. Accidente de operadores. Daño a contenedores.	7
2	Recolección de desechos	Escurrimiento de material fangoso o grasoso	Accidente de operadores (resbalar).	7

Tabla 16 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Parar Extractor	Desechos presentes en el Extractor	Atascamiento de Barco. Desgaste prematuro.	4

Tabla 17 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Parar Extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Quitar tolva	No respetar el orden del proceso	Daño a tolva.	4
2	Quitar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7
3	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6

Tabla 18 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Quitar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5
2	Regreso a posición de guardado	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros. Fijación errónea del Extractor. Accidentes.	7

Tabla 19 Severidad de efectos Extractor, paso del proceso "Regreso a posición de guardado". Elaboración propia.

### Identificación de causas y evaluación de nivel de ocurrencia

Se relacionan las causas asociadas a cada falla identificada en el paso anterior, así como el nivel de ocurrencia de acuerdo con la escala que se observa en la Tabla 20. Ya que el nivel de ocurrencia es relativo al proceso estudiado, en este caso fue determinado como el cociente del número de veces que ocurrió la falla y el número de veces que fue efectuada una prueba, asignando una escala de 1 a 10 para cada intervalo de un décimo del criterio.

Calificación		Criterio
Cuantitativa	Probabilidad	Número de fallas / Número de pruebas
1	Remota: falla improbable	0 - 0.1
2	Baja: Pocas Fallas	0.1 - 0.2
3		0.2 - 0.3
4		0.3 - 0.4
5	Moderada: Fallas ocasionales	0.4 - 0.5
6		0.5 - 0.6
7	Alta: Fallas frecuentes	0.6 - 0.7
8		0.7 - 0.8
9	Muy alta: Fallas persistentes	0.8 - 0.9
10		0.9 - 1

Tabla 20 Escala nivel de ocurrencia. Elaboración propia.

Por lo que los criterios de ocurrencia y causas de falla fueron identificados como se observa en las Tablas 21 a 28:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7
2	Colocación en posición de trabajo	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1

Tabla 21 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocar tolva	No respetar el orden del proceso	Colocación incompleta. Desechos fuera de contenedores.	2	No respetar manual de operación	1
2	Colocar tolva	Accionamiento accidental del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1

Tabla 22 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Colocar tolva" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender el Barco.	6	Geometría de arrastradores con aristas en vez de redondeadas	5
2	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daño a rodillos, daño en casco del barco. Geometría incorrecta. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	2
3	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cangilones	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daños en casco del Barco. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	4
4	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.	6	No compatibilidad de arrastradores dobles con Catarina.	10

Tabla 23 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Accionar Extractor" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Extracción de desechos	Desechos con volumen mayor a las capacidades del Extractor	Atascamiento. Daños en cangilones. Contenedores insuficientes.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1
2	Extracción de desechos	Atascamiento con ramas o elementos fibrosos	Interrupción del proceso.	4	Daño de guardas de cadena.	1

Tabla 24 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Extracción de desechos" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Recolección de desechos	Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas	Daños a cangilones. Accidente de operadores. Daño a contenedores.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1
2	Recolección de desechos	Esgurrimiento de material fangoso o grasoso	Accidente de operadores (resbalar).	7	Colocación incorrecta de tolva.	1

Tabla 25 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Recolección de desechos" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Parar Extractor	Desechos presentes en el Extractor	Atascamiento de Barco. Desgaste prematuro.	4	Omisiones en el proceso especificado en manuales.	1

Tabla 26 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Parar Extractor" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Quitar tolva	No respetar el orden del proceso	Daño a tolva.	4	No respetar manual de operación	1
2	Quitar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1
3	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1

Tabla 27 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Quitar tolva" Extractor. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7
2	Regreso a posición de guardado	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros. Fijación errónea del Extractor. Accidentes.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1

Tabla 28 Causas y evaluación de efectos, paso del proceso "Regreso posición de guardado" Extractor. Elaboración propia.

### Clasificación de controles o medidas de detección de fallas.

Continuando con el método, es necesario indicar las medidas y/o controles con los que se cuentan para la detección de las fallas potenciales de cada paso del proceso. En este caso, entre más fácil sea la detección de una falla, menor será la evaluación cuantitativa. Para el proceso Extractor, se clasifican como se muestra en la tabla 29:

Cuantitativa	Calificación		Tipo de inspección	
	Criterio	Método de detección	Automatizado	Visual o manual
1	Seguro de detectar.	Control	x	
2	Casi seguro de detectar.	Control	x	
3	Con oportunidad alta de detección.	Control / inspección de rutina	x	x
4	Con oportunidad media de detección.	Control / inspección de rutina	x	x
5	Con oportunidad de detección.	Inspección de rutina		x
6	Se puede detectar	Operario /inspección visual		x
7	Poca oportunidad de detección.	Operario /inspección visual		x
8	Probablemente no se detecte.	Inspección visual		x
9	Casi seguro no se puede detectar.	Verificación indirecta		x
10	Certeza absoluta de no detección	No se controla		

Tabla 29 Escala y clasificación de detección. Elaboración propia.

Por lo que las medidas y controles con los que se cuentan para la detección de las fallas potenciales de cada paso del proceso fueron identificados como se observa en las Tablas 30 a 37:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7	Control / inspección de rutina	4
2	Colocación en posición de trabajo	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1	Control / inspección de rutina	3

Tabla 30 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Colocación posición de trabajo". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocar tolva	No respetar el orden del proceso	Colocación incompleta. Desechos fuera de contenedores.	2	No respetar manual de operación	1	Operario / Inspección de visual	6
2	Colocar tolva	Accionamiento accidental del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1	Control / inspección de rutina	3
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1	Inspección de rutina	5

Tabla 31 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Colocar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender el Barco.	6	Geometría de arrastradores con aristas en vez de redondeadas	5	Control /inspección de rutina	3
2	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daño a rodillos, daño en casco del barco. Geometría incorrecta. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	2	Control /inspección de rutina	4
3	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cangilones	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daños en casco del Barco. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	4	Operario / inspección visual	6
4	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.	6	No compatibilidad de arrastradores dobles con Catarina.	10	Control	2

Tabla 32 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Accionar Extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Extracción de desechos	Desechos con volumen mayor a las capacidades del Extractor	Atascamiento. Daños en cangilones. Contenedores insuficientes.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1	Operario / inspección visual	6
2	Extracción de desechos	Atascamiento con ramas o elementos fibrosos	Interrupción del proceso.	4	Daño de guardas de cadena.	1	Operario / inspección visual	6

Tabla 33 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Extracción de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Recolección de desechos	Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas	Daños a cangilones. Accidente de operadores. Daño a contenedores.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1	Operario / inspección visual	6
2	Recolección de desechos	Escurrecimiento de material fangoso o grasoso	Accidente de operadores (resbalar).	7	Colocación incorrecta de tolva.	1	Operario / inspección visual	7

Tabla 34 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Parar Extractor	Desechos presentes en el Extractor	Atascamiento de Barco. Desgaste prematuro.	4	Omisiones en el proceso especificado en manuales.	1	Operario / inspección visual	7

Tabla 35 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Parar Extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Quitar tolva	No respetar el orden del proceso	Daño a tolva.	4	No respetar manual de operación	1	Operario / Inspección de visual	6
2	Quitar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1	Control / inspección de rutina	3
3	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1	Inspección de rutina	5

Tabla 36 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Quitar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7	Control / inspección de rutina	4
2	Regreso a posición de guardado	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros. Fijación errónea del Extractor. Accidentes.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1	Control / inspección de rutina	3

Tabla 37 Clasificación de detección Extractor, paso del proceso "Regreso a posición de guardado". Elaboración propia.

### Obtención de número de prioridad de riesgo para cada falla y tomar decisiones

Una vez obtenidas las clasificaciones cuantitativas de la severidad, ocurrencia y detección, el siguiente paso es obtener el número de prioridad de riesgo, también conocido como RPN, por sus siglas en inglés (Risk Priority Number), multiplicando los valores de las clasificaciones anteriores.

Por lo general si el RPN tiene un valor superior a 100 se torna evidente que es necesario implementar acciones que corrijan, prevengan o mejoren la ocurrencia de las fallas. Sin embargo, en cada proceso este valor de alerta puede variar dependiendo las necesidades del proceso, además como se menciona en [3, p. 68] no es recomendable utilizar este umbral para determinar si es necesario tomar acciones. En el caso del proceso de extracción de basura se toman como prioridad las fallas con valores de RPN más altos y además se priorizan las fallas que involucren algún tipo de daño físico al operario (ambas prioridades se identifican con \* en las Tablas 38 a 45).

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7	Control / inspección de rutina	4	140*
2	Colocación en posición de trabajo	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1	Control / inspección de rutina	3	21

Tabla 38 RPN Extractor, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia.



#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Colocar tolva	No respetar el orden del proceso	Colocación incompleta. Desechos fuera de contenedores.	2	No respetar manual de operación	1	Operario / Inspección de visual	6	12
2	Colocar tolva	Accionamiento accidental del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1	Control / inspección de rutina	3	21*
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1	Inspección de rutina	5	30*

Tabla 39 RPN Extractor, paso del proceso "Colocar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender el Barco.	6	Geometría de arrastradores con aristas en vez de redondeadas	5	Control /inspección de rutina	3	90*
2	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daño a rodillos, daño en casco del barco. Geometría incorrecta. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	2	Control /inspección de rutina	4	56*
3	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cangilones	No es posible descender el Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	7	Daños en casco del Barco. Montaje incorrecto del Barco en Extractor.	4	Operario / inspección visual	6	168*
4	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.	6	No compatibilidad de arrastradores dobles con Catarina.	10	Control	2	120*

Tabla 40 RPN Extractor, paso del proceso "Accionar Extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Extracción de desechos	Desechos con volumen mayor a las capacidades del Extractor	Atascamiento. Daños en cangilones. Contenedores insuficientes.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1	Operario / inspección visual	6	42
2	Extracción de desechos	Atascamiento con ramas o elementos fibrosos	Interrupción del proceso.	4	Daño de guardas de cadena.	1	Operario / inspección visual	6	24

Tabla 41 RPN Extractor, paso del proceso "Extracción de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Recolección de desechos	Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas	Daños a cangilones. Accidente de operadores. Daño a contenedores.	7	Sin supervisión de la canalización de desechos al Extractor.	1	Operario / inspección visual	6	42*
2	Recolección de desechos	Escurrimiento de material fangoso o grasoso	Accidente de operadores (resbalar).	7	Colocación incorrecta de tolva.	1	Operario / inspección visual	7	49*

Tabla 42 RPN Extractor, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Parar Extractor	Desechos presentes en el Extractor	Atascamiento de Barco. Desgaste prematuro.	4	Omisiones en el proceso especificado en manuales.	1	Operario / inspección visual	7	28

Tabla 43 RPN Extractor, paso del proceso "Parar Extractor". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Quitar tolva	No respetar el orden del proceso	Daño a tolva.	4	No respetar manual de operación	1	Operario / Inspección de visual	6	24
2	Quitar tolva	Accionamiento accidenta del extractor	Accidente, discapacidad del operador,	7	No respetar manual de operación	1	Control / inspección de rutina	3	21*
3	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	6	Falta de equipo de protección	1	Inspección de rutina	5	30*

Tabla 44 RPN Extractor, paso del proceso "Quitar tolva". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	Detección
1	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	5	Desalineación del sistema de rieles, desbalanceo del extractor.	7	Control / inspección de rutina	4	140*
2	Regreso a posición de guardado	No respetar el orden del proceso	Atascamiento con seguros. Ruptura de seguros. Fijación errónea del Extractor. Accidentes.	7	No respetar manual de operación - omisión de liberación de seguros.	1	Control / inspección de rutina	3	21

Tabla 45 RPN Extractor, paso del proceso "Regreso a posición de guardado". Elaboración propia.

#### 4.2.2.9 Correcciones

En esta fase del proceso se llevan a cabo las correcciones de material, elementos, proceso, seguridad, etcétera, que sean necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los subsistemas y la seguridad del usuario. Este paso sería el siguiente en la metodología AMEF, sin embargo, para fines prácticos del proceso se adaptó a los tiempos del propio proceso de diseño, haciendo así que la fase anterior como ya se mencionado anteriormente se limitara al registro y documentación cuantitativo de los efectos, de la misma manera que el registro y documentación cuantitativo de las soluciones empleadas a dichos puntos como se detalla a continuación.

La prioridad de necesidades de acciones se enfocó en aquellas fallas que se consideraron críticas por el equipo de trabajo y que coinciden en aquellas que obtuvieron un valor de RPN mayor de 50. En este sentido se pueden establecer acciones de corrección, prevención o mejora que se enfoquen tanto a las fallas en sí, como a las causas o a los controles de detección. Como en el proceso de extracción de basura los métodos de detección se definieron solo los métodos de detección como de control y de inspección, las correcciones se enfocaron únicamente en las fallas y causas encontradas en el proceso.

Las fallas, y causas priorizadas, su análisis y la solución empleada se enlistan enseguida:

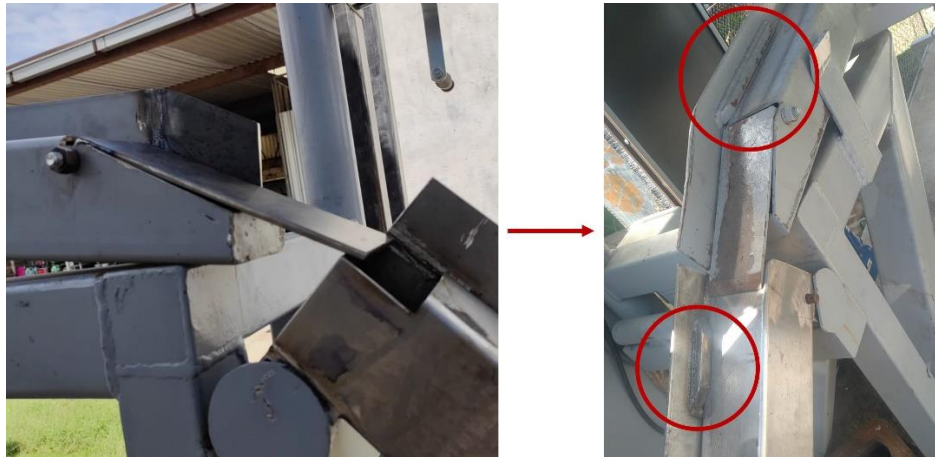
1.

Paso del proceso: Colocación en posición de trabajo.

Falla / efecto potencial: Montaje de guardas de ruedas sobre rieles.

Análisis: Existe un desbalance en el Extractor ocasionado por el motor, haciendo que el Extractor tienda a inclinarse a la derecha durante el proceso de colocación en posición de trabajo.

Solución: Ya que no es posible por espacio colocar un contrapeso del lado contrario del extractor y que el desbalance es relativamente mínimo, se decidió colocar guías (Imagen 44) sobre los rieles que condujeran las ruedas del Extractor lejos de los límites de los rieles y así evitar su montaje.



*Imagen 44 Solución montaje de ruedas sobre rieles. Elaboración propia*

2.

Paso del proceso: Colocar tolva.

Falla / efecto potencial: Accionamiento accidental del Extractor.

Análisis: Existe la posibilidad de poca comunicación entre los miembros de la cuadrilla, por lo que el encargado del accionamiento de Extractor puede accionarlo mientras otro miembro coloca la tolva del Extractor, generando un potencial riesgo.

Solución: Se anotará en manuales de operación la advertencia de no accionar el Extractor a menos de que se haya verificado que todos los miembros de la cuadrilla se encuentren a las distancias recomendadas.

3.

Paso del proceso: Colocar tolva.

Falla / efecto potencial: Cortar o golpear el cuerpo del operario.

Análisis: La tolva es un elemento medianamente pesado y con esquinas que se tiene que manejar con precaución, existe la posibilidad de que el operario se corte o golpee sí se deja caer.

Solución: El operario deberá utilizar forzosamente, guantes y botas de protección durante este paso del proceso.

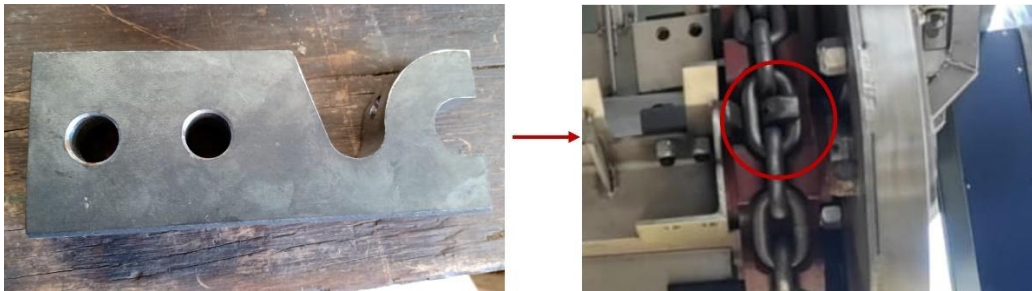
4.

Paso del proceso: Accionar Extractor.

Falla / efecto potencial: Encaje de arrastradores en guardas de cadena.

Análisis: La geometría de los arrastradores tiene aristas que por el poco espacio que hay entre el arrastrador y la guía de cadena se encajan en la misma guía, provocando rebabas de Nylamid y paros súbitos en el Extractor debido a las protecciones eléctricas de este. Estos paros suceden principalmente cuando el Extractor es accionado en reversa.

Solución: Se redondearon las aristas de los arrastradores (Imagen 45).



*Imagen 45 Solución redondeo de aristas de arrastradores, Elaboración propia.*

5.

Paso del proceso: Accionar Extractor.

Falla / efecto potencial: Atascamiento del Barco con rodillos guías.

Análisis: El casco del Barco se encuentra ligeramente por arriba de las dimensiones especificadas en planos, por lo que los rodillos guías al ser diseñados para tener una holgura mínima entre estos y el casco del Barco, pueden provocar atascamiento del Barco en las maniobras de ascenso y descenso y posibles daños al mismo casco.

Solución: Se realizó un giro a los rodillos guías (Imagen 46), obteniendo un margen de hasta 5 cm de ambos lados, cabe señalar que en este rediseño se cambió la función principal de los rodillos, pasando de función de guía a función de prevención de volcadura.



*Imagen 46 Solución giro de rodillos guía. Elaboración propia.*

6.

Paso del proceso: Accionar Extractor.

Falla / efecto potencial: Atascamiento del Barco con dientes de cangilones.

Análisis: El casco del Barco se encuentra ligeramente por arriba de las dimensiones especificadas en planos, por lo que el casco del Barco en las maniobras de ascenso y descenso pasa a escasos 5 mm de los dientes de los cangilones, esto hace que exista una probabilidad alta de que estos dos elementos tengan contacto provocando atascamiento del Barco y posibles daños al casco.

Solución: Se realizó un corte de 10 mm a los dientes de los cangilones y se rectificó la altura de las ruedas de guardado, obteniendo una distancia entre cangilones y casco de no menos de 15 mm.

7.

Paso del proceso: Accionar Extractor.

Falla / efecto potencial: Atascamiento de arrastradores con catarinas.

Análisis: Existe incompatibilidad entre el sistema de arrastradores dobles y el modelo de catarina seleccionado.

Solución: Se limitaron los arrastradores a un solo par por cangilón, debido a la geometría de los cangilones esto no significó cambio alguno en su funcionamiento.

8.

Paso del proceso: Recolección de desechos.

Falla / efecto potencial: Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas.

Análisis: Si no existe supervisión de los desechos que se canalizan hacia el Extractor, este puede recolectar desechos que sobrepasen la capacidad de los cangilones y los dañe, afectando el ciclo posterior de recolección de basura. Además, existe la posibilidad de accidentes al llegar estos desechos al siguiente paso del proceso.

Solución: Se indica en manuales de operación la necesidad de constante vigilancia por parte de al menos un miembro de la cuadrilla en los pasillos de supervisión durante el proceso de recolección de basura, con herramientas que le permitan hacer a un lado desechos que sobrepasen las capacidades indicadas y tener constante comunicación con el operario del Extractor.

9.

Paso del proceso: Recolección de desechos.

Falla / efecto potencial: Escurrimiento de material fangoso o grasoso.

Análisis: Si la tolva se encuentra mal colocada o los contenedores de recolección no son bien posicionados o no son del tamaño adecuado, existe la posibilidad de escurrimiento de material fangoso o grasoso sobre la plancha del Todo en uno, aumentando a los miembros de la cuadrilla la posibilidad de resbalar y accidentes.

Solución: El operario deberá utilizar forzosamente, guantes y botas de protección durante este paso del proceso, además el equipo de diseño colocó piso antiderrapante en la plancha del Todo en uno.

10.

Paso del proceso: Quitar tolva.

Falla / efecto potencial: Accionamiento accidental del Extractor.

Análisis: Existe la posibilidad de poca comunicación entre los miembros de la cuadrilla, por lo que el encargado del accionamiento de Extractor puede accionarlo mientras otro miembro coloca la tolva del Extractor, generando un potencial riesgo.

Solución: Se anotará en manuales de operación la advertencia de no accionar el Extractor a menos de que se haya verificado que todos los miembros de la cuadrilla se encuentren a las distancias recomendadas.

11.

Paso del proceso: Colocar tolva.

Falla / efecto potencial: Cortar o golpear el cuerpo del operario.

Análisis: La tolva es un elemento medianamente pesado y con esquinas que se tiene que manejar con precaución, existe la posibilidad de que el operario se corte o golpee si se deja caer.

Solución: El operario deberá utilizar forzosamente, guantes y botas de protección durante este paso del proceso.

12.

Paso del proceso: Regreso a posición de guardado.

Falla / efecto potencial: Montaje de guardas de ruedas sobre rieles.

Análisis: Existe un desbalance en el Extractor ocasionado por el motor, haciendo que el Extractor tienda a inclinarse a la derecha durante el proceso de regreso a posición de guardado.

Solución: Ya que no es posible por espacio colocar un contrapeso del lado contrario del extractor y que el desbalance es relativamente mínimo, se decidió colocar guías sobre los rieles que condujeran las ruedas del Extractor lejos de los límites de los rieles y así evitar su montaje (Imagen 44).

Como se puede observar, las correcciones mayores ocurrieron en fallas que ya se habían identificado en la fase del proceso de pruebas, y las fallas potenciales que involucran la integridad de los miembros de la cuadrilla y que tienen un valor de RPN menor a 50 debido a la muy baja o nula ocurrencia durante el proceso de pruebas, pero que se consideran importantes de analizar, se limitan a recomendaciones y reglas de seguridad.

#### **4.2.2.10 Aprobación y puesta en marcha**

Una vez realizadas las correcciones detalladas en el punto anterior se procede a una nueva evaluación, mediante los criterios AMEF donde se comprueba que se logró reducir el valor de RPN en las fallas potenciales, si este es lo suficientemente bajo se procede a la aprobación y puesta en marcha del subsistema. Por cuestiones de tiempo las pruebas en campo, es decir, las primeras pruebas en condiciones de trabajo reales fueron consideradas la puesta en marcha con las que se llevaron a cabo las nuevas evaluaciones.

Las pruebas en campo se llevaron a cabo en el embarcadero de Cuemanco (Imagen 47), ubicado en la delegación de Xochimilco en la Ciudad de México. Se escogió este lugar por la similitud en la profundidad del cuerpo de agua las cuales se necesitan para el correcto montaje de las rampas de trabajo del Extractor.



Imagen 47 Pruebas Cuemanco, Subsistema Extractor. Elaboración propia.

Cabe señalar que en aquellas fallas potenciales en las que tienen un nivel nulo de ocurrencia pero que se consideran importantes por involucrar la integridad de los miembros de la cuadrilla, como su solución es la integración de advertencias en manuales de operación pasaron su detección de visualizaciones de operario a inspecciones de rutina. De esta manera también fue posible disminuir el valor de RPN asociado a dichas fallas potenciales.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	RPN anterior	Severidad	Ocurrencia	Detección	RPN actualizado
1	Colocación en posición de trabajo	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	140	5	2	4	40
2	Colocar tolva	Accionamiento accidental del extractor	Accidente, discapacidad del operador.	21	7	1	3	21
3	Colocar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	30	6	1	3	18
4	Accionar Extractor	Encaje de arrastradores en guardas de cadena	Interrupción del proceso. Sistema no operable. No es posible descender al Barco.	90	6	2	3	36
5	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con rodillos guías	No es posible descender al Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	56	7	1	4	28
6	Accionar Extractor	Atascamiento del Barco con dientes de cargilones	No es posible descender al Barco. Interrupción del proceso. Daños al casco del Barco.	168	7	1	6	42
7	Accionar Extractor	Atascamiento de arrastradores con catarinas	Interrupción del proceso.	120	6	1	2	12
8	Recolección de desechos	Desechos con masa mayor a las capacidades especificadas	Daños a cargilones. Accidente de operadores. Daño a contenedores.	42	7	1	6	42
9	Recolección de desechos	Escurrimiento de material fangoso o grasoso	Accidente de operadores (resbalar).	49	7	1	3	21
10	Quitar tolva	Accionamiento accidental del extractor	Accidente, discapacidad del operador.	21	7	1	3	21
11	Quitar tolva	Cortar o golpear el cuerpo del operario	Cortes leves en extremidades del operador	30	6	1	3	18
12	Regreso a posición de guardado	Montaje de guardas de ruedas sobre rieles	Atascamiento del Extractor, sistema no operable	140	5	2	4	40

Tabla 46 Actualización de RPN Extractor. Elaboración propia.

En los casos de fallas potenciales identificadas como de prevención, al indicarse en manuales de operación el valor de detección bajó a nivel de inspección de rutina con lo cual estas fallas



disminuyeron su valor de RPN de la misma manera, con lo cual aumenta la seguridad de los operadores siempre y cuando se sigan las indicaciones que se detallan en los manuales de operación.

Existen tres casos de fallas potenciales en las que el valor de RPN no disminuye, estas ocurren durante los procesos “Colocar tolva”, “Quitar tolva” y “Recolección de desechos”. En las dos primeras al ser consideradas como de prevención el valor de detección es muy bueno, esto en adición a que la ocurrencia es nula tanto en pruebas simuladas como en pruebas de campo da como resultado uno de los valores de RPN más bajos de todas las fallas potenciales identificadas, por lo que no representa alarma con respecto al proceso, sin embargo, al involucrar la integridad física del operario si son recalcados en Manuales para evitar cualquier incidente. La tercera, no fue posible disminuir el valor de RPN ya que se realiza durante un proceso que controla únicamente los miembros de la cuadrilla por lo que se limita a error humano, sin embargo, la ocurrencia de esta es nula tanto en pruebas simuladas como en pruebas de campo, por lo que por el momento no se consideró de importancia para el proceso, en trabajos futuros se puede proponer un sistema de detección automática que logre bajar el valor de RPN para esta falla potencial en específico.

Como se observa en la Tabla 46 todos los valores de RPN actualizados se encuentran por debajo del valor 50, teniendo una disminución en las fallas potenciales que involucran el correcto funcionamiento del sistema de hasta un 90% y en general una disminución de alrededor de 75%, por lo que se considera que las soluciones empleadas son adecuadas y por lo que en este paso del proceso se dio aprobación al subsistema Extractor.

### **4.2.3 Subsistema “Barco”**

Derivado de la necesidad de realizar una canalización de desechos flotantes de las presas y cuerpos de agua de la Ciudad de México hacia el subsistema Extractor, para que este tenga una recolección de desechos constante, nace la necesidad de un dispositivo que ayude con la realización de esta tarea. Dicho dispositivo deberá ser capaz de operar en ambientes húmedos y corrosivos propios de los cuerpos de agua de la ciudad.

De la misma forma este nuevo dispositivo deberá ser capaz de desplazarse de una manera no tripulada para evitar al máximo el contacto de miembros de la cuadrilla de limpieza con el agua contaminada, por lo que deberá contar con mecanismos que le permitan su libre movimiento en el agua. Es así como se diseña y desarrolla el subsistema Barco.

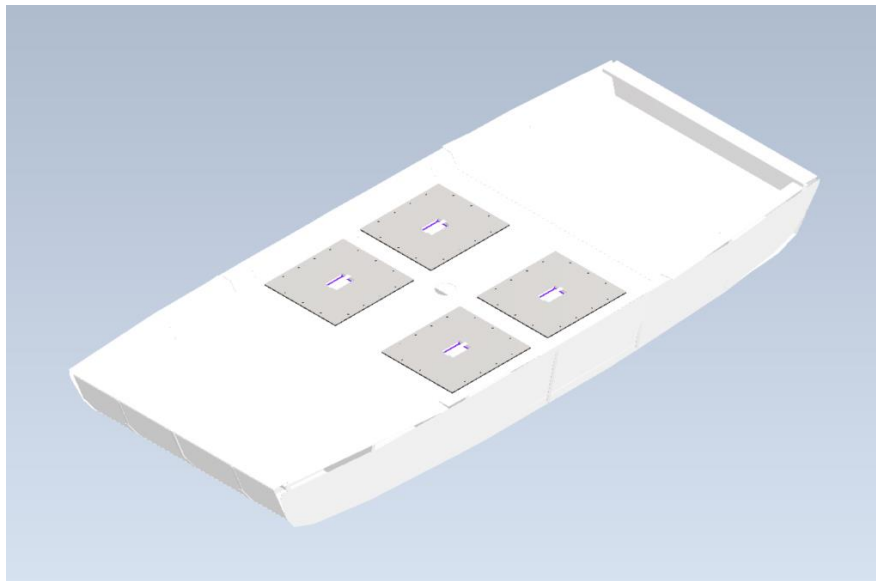
#### **4.2.3.1 Identificación de necesidades problemas y retos**

Con la información recolectada por el equipo al principio de este trabajo, se pueden identificar distintos requerimientos y necesidades generales con las que tiene que cumplir este sistema, así como distintos retos de diseño los cuales se detallará más adelante como fueron resueltos.

En el caso del subsistema Barco, la participación del presente trabajo se centró en los elementos mecánicos que le permiten su desplazamiento y control de dirección sobre el agua, así como los sistemas o mecanismos necesarios para su acoplamiento con el subsistema Extractor para su

colocación en posiciones de trabajo y posiciones de guardado. Para ello ya se contaba previamente con distintas características establecidas por otras áreas de diseño, como lo son las dimensiones del casco del Barco, así como su peso y las dimensiones del área destinada a su guardado dentro del Todo en uno.

Dicho casco cuenta con dimensiones de 3.5 x 1.5 x 0.5 metros (Imagen 48) por lo que en este espacio se deberá colocar los mecanismos necesarios para la dirección y control, además, se cuenta con un espacio extra en la parte superior de hasta 30 cm destinado a los elementos añadidos de estos mecanismos durante la posición de guardado del subsistema Barco.



*Imagen 48 Casco subsistema Barco. Elaboración equipo de diseño "Barco".*

Se sabe que su función principal es la canalización de desechos flotantes hacia el subsistema Extractor por lo que hará interacción con distintos tipos de basura los cuales incluye los observados en la Imagen 6. Es aquí donde se encuentra el primer reto de diseño, ya que al ser un ambiente con mucha materia orgánica flotante como lo es hierba, ramas y troncos, así como desechos humanos como lo son hilos y fibras, se corre el riesgo de que estos elementos se enreden en las aspas si es que el Barco utiliza un sistema convencional de aspas sumergibles.

Este subsistema se pensó como un elemento que pueda navegar a control remoto a través de los cuerpos de agua de la ciudad con la finalidad de atraer la basura que se encuentre lejos del área de extracción del subsistema Extractor, por lo que debe de contar con un sistema que le permita tener dirección a través del agua de una manera ágil, rápida y que le permita a un operario externo al Barco su control. Además, debe ser un elemento de asistencia en la recolección y canalización de desechos hacia el subsistema Extractor, en este sentido se aprovecha el costado del casco como “pala” para el arrastre de la basura. Con estas características el barco lleva a cabo sus tareas en dos posiciones de dirección, las cuales se les llamaron “posición de navegación” y “posición de

recolección”, que se diferencian entre ellas con 90° con respecto a la posición del casco barco en su navegación.

Así mismo, el ambiente de operación de este subsistema es sumamente corrosivo, por la alta contaminación química que caracteriza los cuerpos de agua de la ciudad, por lo que es necesario contar con un material y componentes resistentes a esta corrosión.

Estas fueron las primeras identificaciones sin procesar de las necesidades y requerimientos que debe cumplir el subsistema Barco, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Sistema de propulsión que no se enrede con materiales presentes en el agua.
- Sistema de dirección que tenga dos posiciones de navegación, con 90° de diferencia uno respecto de otro.
- Resistencia a la corrosión.
- Sistema de anclaje con el subsistema Extractor para su despliegue en cuerpos de agua y guardado en el Todo en uno.
- Interacción con materia tipo fango y azolve.
- Debe contar con dispositivos de comunicación para su control a distancia.

#### **4.2.3.2 Diseño de conceptos**

##### *Sistema de propulsión*

Debido a la gran cantidad de material orgánico que se encuentra en las presas de la ciudad, utilizar un sistema de propulsión convencional como lo es el de motores a gasolina con aspas sumergibles conlleva un muy alto riesgo de que dichos materiales se enreden en las aspas y como consecuencia se pierda el control del Barco al este no estar tripulado.

Es por lo anterior que el sistema de propulsión debe ser un sistema fuera del agua, en este sentido existen diversas formas de propulsión externas en embarcaciones, como lo son velas o hélices con motores a gasolina o eléctricos. Ya que utilizar velas condiciona la navegación a la presencia de viento, además de agregar un factor de mantenimiento a las mismas, esta opción quedó descartada. En cuanto a un sistema de propulsión por medio de hélices con una embarcación tipo aerodeslizador parece ser una solución adecuada a las condiciones a las que se enfrenta el sistema.

El uso de motores a gasolina para el accionamiento de este sistema de propulsión tiene varias desventajas frente al uso de motores eléctricos, como lo son: una dificultad más alta en el control por radio control, poca o nula capacidad de accionar los motores en reversa, acción que con motores eléctricos se puede resolver relativamente fácil.

Por consiguiente, el uso de motores eléctricos parece ser la opción más adecuada con la ventaja adicional de que las opciones de motores eléctricos comerciales representan una disminución en el espacio necesario para su uso, característica que en el caso del diseño del subsistema Barco es esencial.

Una vez definido el tipo de motores, el área de mecatrónica seleccionó los motores a utilizar los cuales son el modelo U15 II KV100 de la marca T-Motor que en conjunto a sus hélices de 1 m de largo fabricadas en fibra de carbono generan un empuje de hasta 50 kgf. Se decidió utilizar un par de estos motores para proporcionarle al subsistema Barco un par de giro controlado al accionar cada motor a distinta potencia.



*Imagen 49 Motor U15 II KV100. Recuperado de T-Motor.*

Con los detalles de dimensiones de motores y hélices seleccionadas se prosiguió a realizar los primeros conceptos de estructuras soporte de dichos motores. En este paso, el diseño de estas estructuras se buscó satisfacer la necesidad de resistencia a la corrosión, ligereza, y además de generar un concepto de identidad con la ciudad.

Se realizaron dos conceptos principales, el primero realizado a base de tubing en acero inoxidable el cual proporciona una muy buena rigidez, además de ser ligero (Imagen 50 a). El segundo concepto se buscó conectar con la identidad de la ciudad utilizando su logo, con el uso de lámina de acero inoxidable cortada en calibre 14 para mantener la característica de ligereza (Imagen 50 b).

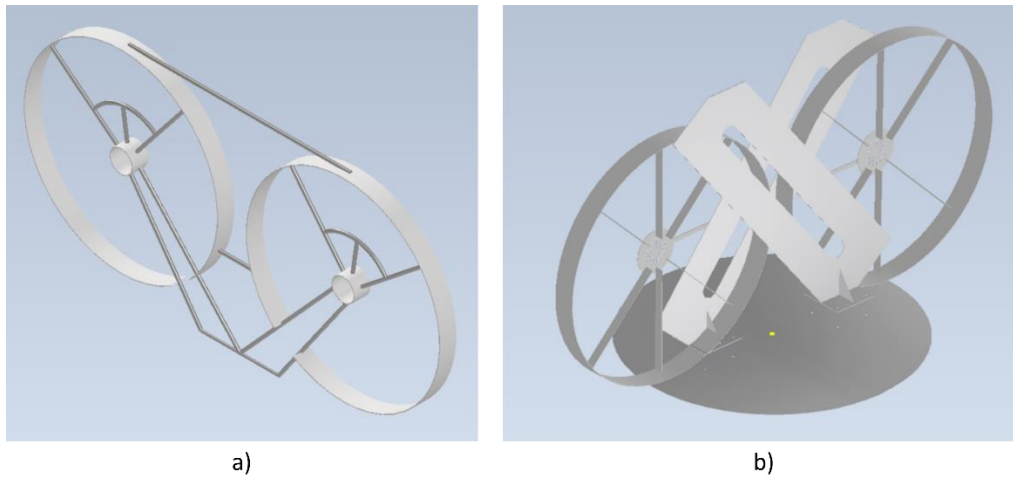


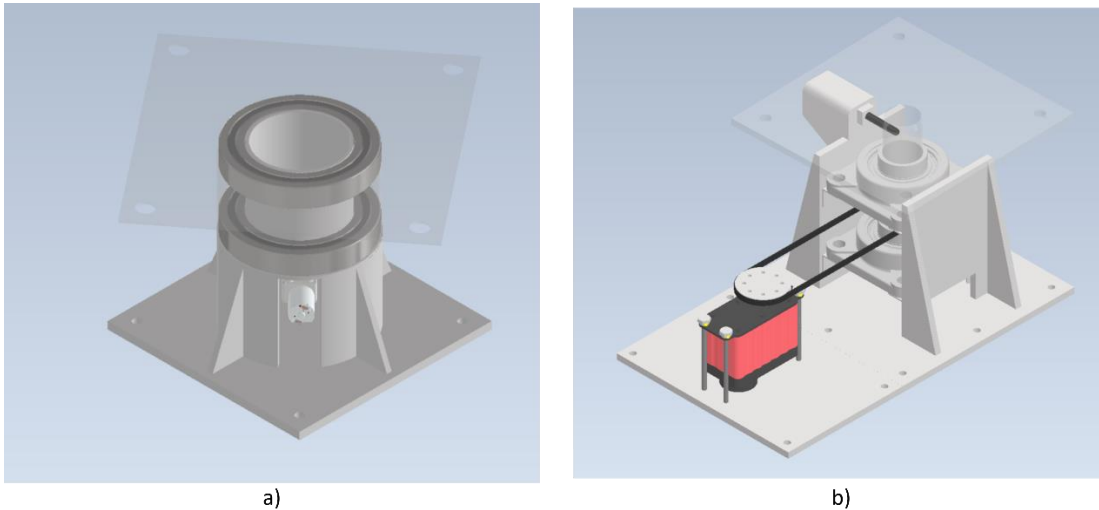
Imagen 50 Conceptos estructuras de hélices. a) Estructura tubing, b) Estructura lamina logo CDMX. Elaboración propia.

### Sistema de giro

Como ya se mencionó anteriormente, las hélices necesitan tener dos posiciones de navegación, con  $90^\circ$  de diferencia uno respecto de otro, por lo que es necesario emplear un sistema de giro que le permita a la estructura colocarse en estas dos posiciones a conveniencia. Este sistema necesita ser lo suficientemente robusto para soportar el propio peso de la estructura de hélices, así como el empuje ocasionado por los motores. Además, para ahorrar espacio en la cubierta del casco, este mecanismo debe ser colocado en el espacio libre dentro del casco del Barco, el cual está limitado a una altura de 25 cm en el centro del casco.

Se generaron dos conceptos para este propósito, el primero se trata de un eje único a base de tubo mecánico el cual es sostenido por una estructura de placa de acero y dos rodamientos los cuales le permiten el giro sobre su propio eje (Imagen 51 a), este concepto es accionado mediante un servomotor el cual está colocado en una ranura de la base y se conecta al eje mediante un cople. Este sistema ahora mucho en material y espacio, pero está limitado por la capacidad del servomotor, derivado precisamente al propio espacio destinado para este.

El segundo concepto retoma la idea de un eje único a base de tubo mecánico, con la diferencia de este ser sostenido por una estructura mucho más amplia que emplea un par de chumaceras con rodamientos que le permiten el giro sobre su propio eje (Imagen 51 b). este concepto es accionado por un servomotor de 10 lb-in mediante una correa dentada de perfil T5 que se conecta al eje mediante una corona del mismo perfil, en una relación servo – corona de 1:1. A pesar de que este concepto es más amplio, tiene como ventaja que queda libre el interior del tubo mecánico con lo que se puede aprovechar para el paso de cables de potencia y control de los motores.



*Imagen 51 Conceptos sistema de giro. a) Eje único con baleros, b) Sistema con chumaceras. Elaboración propia.*

### *Sistema de pliegue y despliegue de hélices*

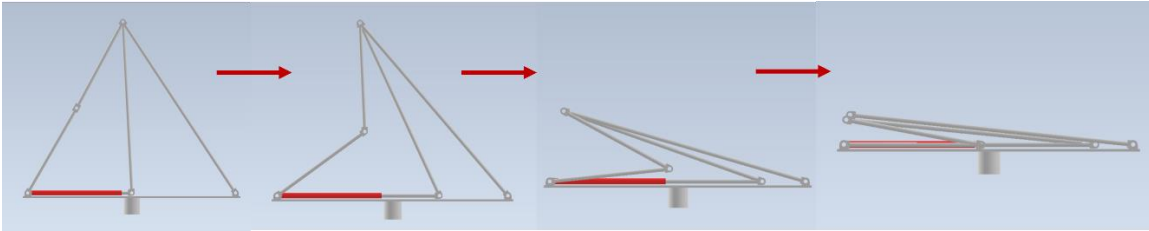
El espacio destinado para el Barco y sus componentes en la posición de guardado dentro del Todo en uno es uno de los principales retos de diseño para este subsistema por ser muy limitado. El Barco con las hélices desplegadas puede alcanzar una altura de hasta 1.5 m, dependiendo la estructura seleccionada, esta altura debe ser reducida a menos de la mitad para no sobrepasar las dimensiones destinadas para el sistema en su posición de guardado, de lo contrario se tendría que hacer modificaciones en la estructura del Todo en uno, además que se pondría en riesgo el cumplimiento de las normas de vialidad de la Ciudad de México sobrepasando las alturas máximas permitidas.

Es por lo anterior que fue necesario desarrollar un mecanismo que permitiera hacer un pliegue y despliegue de la estructura de las hélices y que además fuera compatible con el sistema de giro sin afectar en su funcionamiento, además de que se respeten las dos posiciones de dirección definidas.

Este mecanismo de pliegue y despliegue debe alinearse con las condiciones de trabajo que todos los demás elementos y sistemas se han diseñado, se debe buscar que sea en la medida de lo posible ligero y que su accionamiento sea lo más sencillo posible, buscando que se complete su tarea sin la necesidad de quitar o colocar elementos adicionales.

Independientemente del concepto de estructura de hélices que se seleccionará más adelante, el concepto del sistema de pliegue y despliegue de hélices se diseñó partiendo del hecho de que ambas estructuras planteadas deben estar prácticamente verticales en su posición de trabajo y prácticamente horizontales en su posición de guardado. Lo anterior permite realizar un concepto de mecanismo que cumpla estas dos características sin atender de momento la manera de acoplamiento con las hélices, de la misma manera se busca cumplir la centralidad de estas en ambas posiciones.

En la Imagen 52 se observa el concepto de mecanismo de pliegue y despliegue que se diseñó, este cumple con las características deseadas anteriormente y además tiene gran versatilidad en cuanto a modificaciones en caso de ser necesarias en etapas del proceso posteriores.



*Imagen 52 Concepto sistema de pliegue y despliegue de hélices. Elaboración propia.*

#### **4.2.3.3 Evaluación y selección de conceptos**

##### *Sistema de propulsión*

Ya que para este sistema solo se realizaron dos conceptos de estructuras para motores y hélices, el proceso de selección se realizó mediante una matriz de comparación. Las calificaciones de esta matriz de comparación se asignaron mediante el criterio (+ “mejor”, 0 “igual”) sumando al final de esta matriz el número de criterios “+” de cada concepto y seleccionando aquel con la mejor puntuación.

Los principios de comparación fueron los siguientes:

- Ligereza
- Resistencia estructural
- Disponibilidad del material
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de ensamble con el sistema de giro
- Facilidad de correcciones en diseño
- Costo en función de la cantidad de material empleado.
- Flujo de aire que permite la estructura

Como se observa en la Tabla 47 la estructura tipo tubing es la mejor opción para ser empleada en el sistema de propulsión, destacan entre sus características la ligereza, rigidez y principalmente uno de los puntos más importantes, permite el libre flujo de aire a través de ella.

Criterios de Evaluación	Conceptos	
	Estructura tubing	Estructura lamina
Ligereza	+	0
Resistencia estructural	+	0
Disponibilidad del material	0	+
Facilidad de fabricación	+	0
Facilidad de ensamble	+	0
Facilidad correcciones	0	0
Costo por cantidad de material	0	+
Flujo de aire permitido	+	0
Suma +	5	2
¿Continuar?	Si	No

*Tabla 47 Matriz de comparación - Estructura sistema de propulsión. Elaboración propia.*

### *Sistema de giro*

De la misma manera que con el sistema de propulsión, como solo se realizaron dos conceptos el proceso de selección de este sistema se realizó mediante una matriz de comparación. Las calificaciones de esta matriz de comparación se asignaron mediante el criterio (+ “mejor”, 0 “igual”) sumando al final de esta matriz el número de criterios “+” de cada concepto y seleccionando aquel con la mejor puntuación.

Los principios de comparación fueron los siguientes:

- Facilidad de fabricación
- Costo en función de la cantidad de material utilizado.
- Resistencia estructural
- Disponibilidad de material
- Par de capacidad
- Facilidad de paso de cables de control y alimentación
- Requerimientos para mantenimiento

En la Tabla 48 se observa que el sistema mejor calificado es el sistema con chumaceras, estas chumaceras le brindan al sistema y al eje una rigidez estructural elevada, necesaria para soportar las cargas ocasionadas por el mismo peso de las estructuras del sistema de propulsión como las generadas por el empuje de los motores. Además de que al ser un eje hueco que no llega al piso interior del Barco permite el paso de cables de alimentación, control y datos de los dispositivos que pueden ser instalados externamente al casco del Barco. Otro punto importante en el que el sistema de giro con chumaceras destaca es la poca cantidad de mantenimiento que este requiere y de la facilidad con la que se puede realizar, ya que una vez desconectadas la estructura de hélices de este, basta con retirar las chumaceras para realizar mantenimiento.



Criterios de Evaluación	Conceptos	
	Eje único	Sistema chumaceras
Facilidad de construcción	+	0
Costo por cantidad de material	+	0
Resistencia estructural	0	+
Disponibilidad de material	0	0
Par de capacidad	0	+
Facilidad de paso de cables	0	+
Requerimientos mantenimiento	0	+
Suma +	2	4
¿Continuar?	No	Si

Tabla 48 Matriz de comparación - Sistema de giro. Elaboración propia.

### *Sistema de pliegue y despliegue de hélices*

Debido a la gran versatilidad en el mismo concepto de este sistema, y a la gran compatibilidad que este sistema muestra con el sistema de propulsión elegido anteriormente, no se realizaron más conceptos hasta este punto.

Sin embargo, es importante mencionar las características más destacadas de este sistema. El sistema de pliegue y despliegue de hélices se puede construir con el mismo material con el que se fabricará el sistema de propulsión (tubing) por lo que la adquisición de este material no representa grandes cambios. El concepto de este sistema puede ser accionado en una primera etapa por solo dos personas, además de que no se necesita retirar o colocar elementos adicionales como lo son tornillos, pasadores o cerraduras, en una segunda etapa este sistema puede evolucionar e incluso volverse un sistema automático. Por último, este sistema mantiene centradas en todo momento las hélices, tanto en su posición de trabajo como en su posición de guardado, representando gran ventaja en cuanto a la navegación del Barco, como en cuanto a que se respeta el espacio destinado para el guardado del Barco dentro del Todo en uno.

#### **4.2.3.4 Prototipado y evaluación de funciones principales**

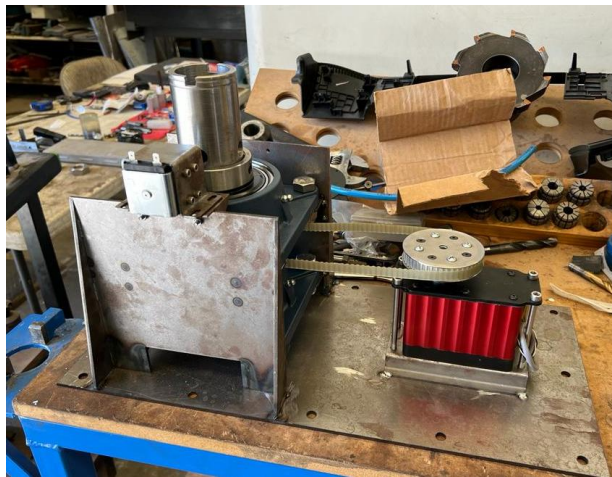
En esta fase del proceso de desarrollo del sistema Barco las evaluaciones se centraron en la verificación de los siguientes puntos:

- Compatibilidad de elementos por sistema
- Compatibilidad entre sistemas
- Evaluación de funciones principales, lo cual incluye: Empuje de motores, pliegue y despliegue de estructura de hélices, facilidad de uso y rigidez de los sistemas.

### *Compatibilidad de elementos por sistema*

El proceso de producción de los elementos de cada sistema fue supervisado constantemente por el equipo de diseño, la compatibilidad de los elementos se cumplió satisfactoriamente en cada uno de estos.

En la Imagen 53 se observa el prototipo del mecanismo de giro diseñado, el cual se completó por medio de dos soportes laterales hechos de lámina de acero calibre 14, los cuales son soldados en una base de lámina del mismo espesor la cual se ancla a al piso interno del casco del Barco por medio de tornillos remachables lo que permite que estos elementos puedan ser retirados en caso de ser necesario. En los soportes laterales se fijan las chumaceras con rodamientos autoalineables para que la colocación del eje de 60 mm de tubo mecánico sea sencilla. El giro de este sistema es realizado por un servomotor de 10 lb-in el cual acciona una banda dentada perfil T5 en una relación 1:1. Para mantener las dos posiciones de navegación del Barco se emplea un solenoide que bloquea la posición del mecanismo cada 90°.



*Imagen 53 Prototipo sistema de giro. Elaboración propia.*

Para el sistema de propulsión y sistema de pliegue y despliegue (Imagen 54) se utilizó tubing de acero inoxidable de 20 mm de diámetro y espesor de 3mm lo cual hace que la estructura de estos elementos sea liviana y a la vez tenga una gran rigidez. Las guardas de las hélices se fabricaron igualmente en acero inoxidable con lámina calibre 14, las cuales se encuentran unidas a la estructura tubing por medio de soldadura. En las uniones del sistema de pliegue y despliegue se utilizaron rotulas de eje de 20 mm que aprovechan los elementos de la estructura para completar la unión del mecanismo, además, en este sistema se decidió colocar 2 elementos del concepto planteado en la fase del proceso anterior en paralelo para aumentar la estabilidad a la estructura de las hélices.



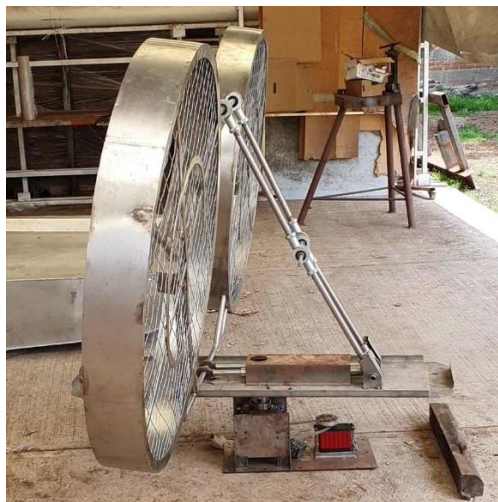
*Imagen 54 Prototipo de sistema de propulsión y sistema de pliegue y despliegue de hélices. Elaboración propia.*

### *Compatibilidad entre sistemas*

La compatibilidad es requerida en las uniones entre el casco del Barco y el sistema de giro, entre el sistema de giro y la estructura de hélices, así como entre todos los sistemas del Barco y el Extractor, específicamente en la posición de guardado del Barco el cual es montado sobre el extractor.

Se realizaron los montajes correspondientes para verificar la compatibilidad de estos elementos, en el caso del casco de Barco y el sistema de giro los tornillos remachables proporcionan gran estabilidad y rigidez del sistema de giro con respecto del casco, sin embargo, se podía identificar un ligero balanceo derivado a la flexibilidad de la lámina con la que fabrico el casco del Barco.

En la Imagen 55 se observa la prueba de montaje la estructura de las hélices sobre el sistema de giro, comprobando su compatibilidad, así como la resistencia del mecanismo de giro al peso de dicha estructura.



*Imagen 55 Montaje de hélices sobre mecanismo de giro. Elaboración propia.*

Por último, fue necesario comprobar que los sistemas del Barco en su posición de trabajo se encontraran dentro de los límites destinados a su guardado sobre el Extractor y dentro del Todo en uno. Por lo que se realizó la presentación de estos elementos en dicha posición. Como se ve en la Imagen 56 se comprobó que el sistema de hélices en la posición de guardado es compatible con el subsistema Extractor y que no sobrepasa los límites destinados para el sistema Barco.



*Imagen 56 Montaje de subsistema Barco sobre subsistema Extractor. Elaboración propia.*

### *Evaluación de funciones principales*

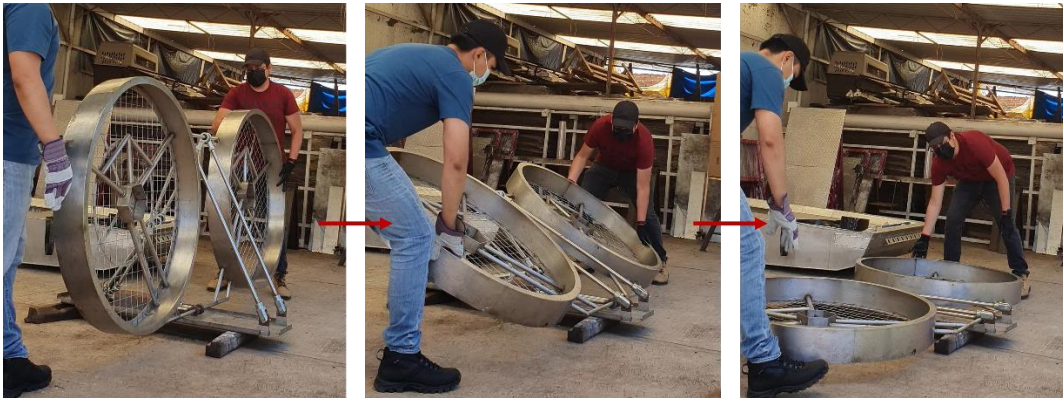
Se realizaron las primeras pruebas con los prototipos fabricados, donde se evaluaron las funciones principales que se buscaban implementar en el subsistema Barco.

En la evaluación de empuje (Imagen 57) que se relaciona directamente al flujo de aire que permite la estructura del sistema de propulsión, y que fue realizada en conjunto con el equipo de mecatrónica, se conectaron a los motores los bancos de baterías que los alimentan, comprobando el empuje y direccionalidad que permite el sistema de propulsión.



*Imagen 57 Evaluación de empuje. Elaboración propia.*

Para la evaluación de pliegue y despliegue de hélices se buscó que este movimiento fuera sencillo, rápido y que no requiriera más de dos personas para llevarlo a cabo. En la Imagen 58 se observa dicho proceso, en el que se comprobó que el movimiento de este elemento es suave y sencillo, donde dos personas no tienen mayores dificultades para realizarlo. Sin embargo, se notó que la acción se mejoraría agregando agarraderas a las guardas de hélices.



*Imagen 58 Evaluación proceso pliegue y despliegue de hélices.*

El mecanismo de pliegue y despliegue de hélices en conjunto con la estructura de hélices, pesan en conjunto alrededor de 80 kg, son sostenidos en el centro por el eje del mecanismo del sistema de giro que a su vez está anclado al piso del casco interior del Barco.

Durante el proceso de colocación en posiciones de trabajo y guardado el Barco se encuentra con una inclinación de hasta 42°, lo cual provoca un momento sobre el mecanismo de giro, es por esto que es necesaria la comprobación de la rigidez tanto de la estructura como del mecanismo de giro una vez colocados todos los elementos de ambos sistemas, específicamente en situaciones de inclinación de los sistemas.

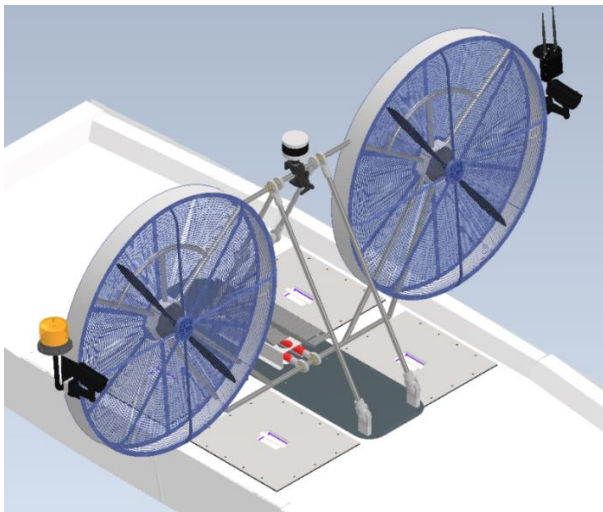
En la Imagen 59 se observa un traslado del subsistema Barco en el que se somete a todos sus elementos a una inclinación mayor a 42°, una vez colocado de nuevo en posición horizontal no se encontraron señales de desgaste, ruptura o deformaciones en ninguno de los elementos, comprobando así la rigidez de todos los elementos.



*Imagen 59 Evaluación de rigidez en situaciones de inclinación. Elaboración propia.*

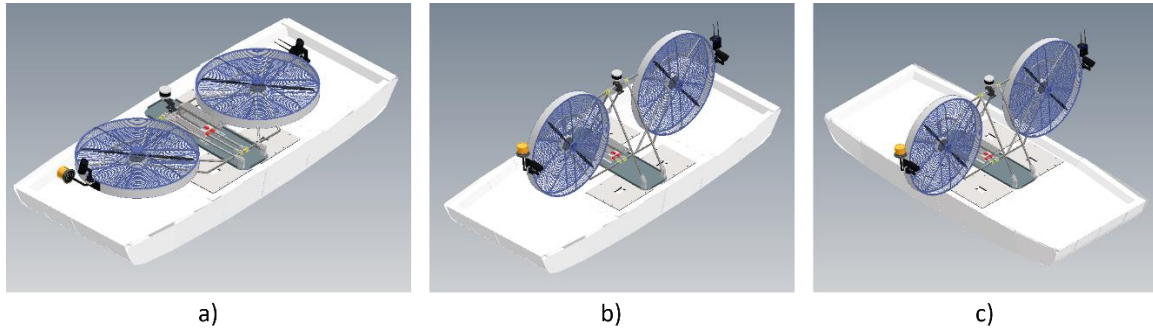
#### **4.2.3.5 Diseño de detalle**

En el caso de los elementos diseñados para el subsistema Barco, se tuvo un gran avance en el diseño de detalle desde la fase de prototipos, además, cada uno de estos elementos demostró cumplir hasta este punto las características planteadas al inicio del proceso. Es por lo anterior que el diseño de detalla se centró en la adición de los elementos de control como lo son antenas, cámaras, sensores y sus respectivos soportes que le servirán al controlador del Barco en su navegación a control remoto, así como elementos estéticos para una correcta organización de cables de alimentación, control y datos (Imagen 60).



*Imagen 60 Diseño de detalle Barco. Elaboración propia.*

Una vez seleccionados los elementos de control, video y comunicación en esta fase del proceso se realizaron las comprobaciones de las diferentes posiciones que tomarán los sistemas del Barco para verificar que no exista interferencias entre sus elementos y que estos se ajusten en cada una de las posiciones de guardado, de recolección y de navegación (Imagen 61).



*Imagen 61 Posiciones de subsistema Barco. a) Posición de guardado. b) Posición de recolección. c) Posición de navegación. Elaboración propia.*

#### **4.2.3.6 Manufactura y ensamble**

El proceso de manufactura fue supervisado constantemente por miembros del equipo de diseño, se realizaron diversas visitas e intervenciones durante este proceso, garantizando así el cumplimiento de las especificaciones indicadas en planos (**Anexo 4**).

Durante esta fase también se resolvieron las oportunidades de mejora halladas durante fases anteriores como lo son la rigidez del área donde se ancla el sistema de giro, el cual se realizó colocando anclajes en las costillas del casco, reduciendo así la holgura que se presentaba al estar anclado directamente a la lámina del casco.

También se implementaron las mejoras en la estructura del sistema de pliegue y despliegue, añadiendo agarraderas para que el accionamiento de este sistema sea más sencillo para los operarios.

#### **4.2.3.7 Pruebas**

Las pruebas realizadas en esta fase se centraron en documentar el comportamiento de los elementos en un ambiente acuático. Estas pruebas fueron realizadas en una alberca en la que se evaluó la flotabilidad del casco del Barco sin ningún sistema, esto con el fin de no arriesgar los componentes electrónicos de estos (Imagen 62), estos componentes electrónicos en conjunto con los sistemas de propulsión y de giro tienen un peso aproximado de 150 kg, por lo que se comprobó con el peso de 3 personas para verificar la flotabilidad.



*Imagen 62 Prueba flotabilidad de casco del barco. Elaboración propia.*

Una vez comprobada la flotabilidad del casco del Barco y que este no tuviera filtraciones de agua, se prosiguió a hacer el montaje de los sistemas de giro y propulsión, junto con los bancos de baterías que los alimentan para realizar las pruebas de navegación y empuje sobre agua. Estas pruebas se realizaron tanto en la posición de navegación como en la posición de recolección especificadas anteriormente (Imagen 63), comprobando que el comportamiento de los sistemas de propulsión y la dirección del barco son adecuados para la navegación y trabajo de canalización de desechos del Barco en los cuerpos de agua de la Ciudad de México.



a)



b)

*Imagen 63 Pruebas de navegación y empuje. a) Posición de navegación. b) Posición de recolección. Elaboración propia.*

Por último, se realizaron las pruebas para verificar el correcto arrastre del Barco con asistencia del Extractor, esto se realiza por medio de eslingas que son conectadas a sujetadores del Barco y a uno de los cangilones del Extractor (Imagen 64), accionando el Extractor este “jala” el Bote extrayéndolo



del agua y colocándolo en su posición de guardado. Durante estas pruebas se observó que es necesaria un reforzamiento de los sujetadores para evitar deformaciones en el casco del Barco y en los mismos sujetadores.



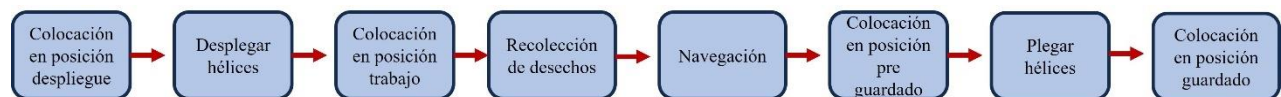
*Imagen 64 Prueba arrastre de Barco a posición de guardado. Elaboración propia.*

#### **4.2.3.8 Análisis de modo y efecto de falla**

De la misma manera como se realizó en el subsistema Extractor, una vez completada la fase de pruebas en el subsistema Barco se realizó una evaluación con la metodología AMEF para obtener un registro y documentación cuantitativos de las fallas y efectos que se pueden tener durante el accionamiento del Barco, su montaje y desmontaje. Lo anterior con la finalidad de brindar confianza y un respaldo ingenieril al usuario final, estableciendo niveles cuantitativos de confiabilidad. Como ocurrió en esta fase del proceso del subsistema Extractor se omitieron los pasos “Formación de equipo de trabajo” por no tratarse de una organización y “Determinar pasos críticos” por tratarse de un proceso relativamente corto y en el que se analizarán todos los pasos del proceso.

#### *Desarrollo de un mapa del proceso*

Para fines prácticos de este trabajo el mapa del proceso de una jornada de trabajo solo incluye puntos en los que se aísla el sistema a evaluar, en este caso el subsistema Barco. Por lo que el mapa del proceso de operación del subsistema Extractor se define como se observa en la Imagen 65.

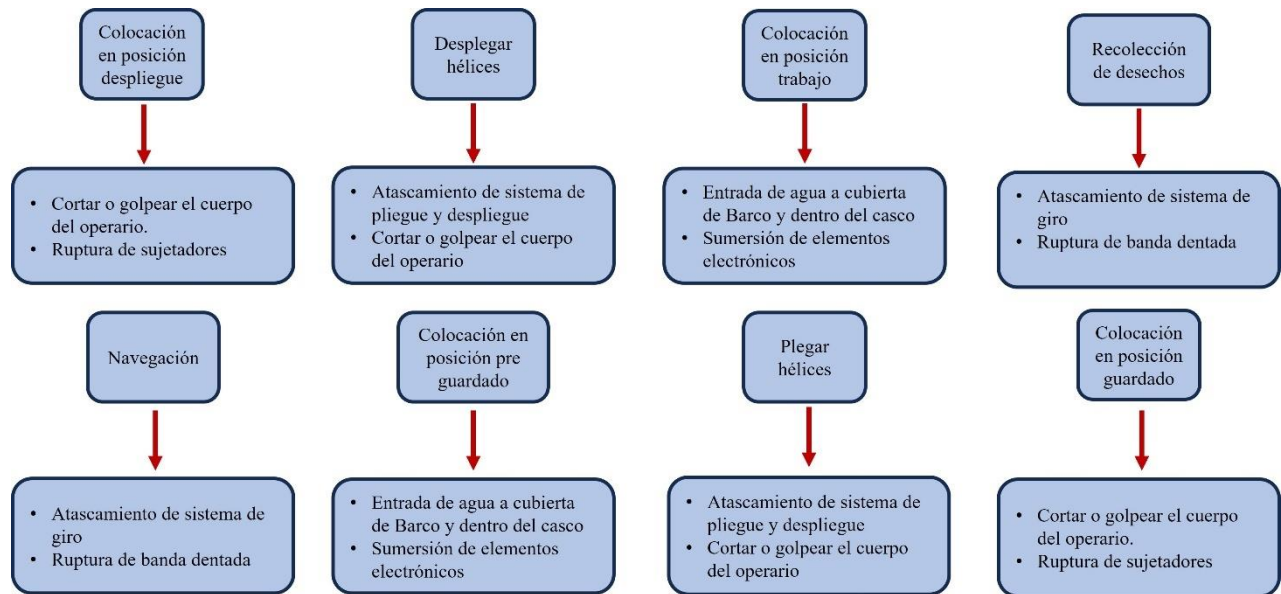


*Imagen 65 Proceso de operación del subsistema Barco. Elaboración propia.*

*Determinar las fallas potenciales de cada paso del proceso, determinar sus efectos y evaluar su nivel de severidad.*

En primer lugar, se deben considerar los puntos hallados durante la fase de pruebas, consecuentemente se debe realizar de forma crítica y analítica un estudio de las posibles fallas de cada paso del proceso que aún no han sido identificadas, como piezas con posibles desgastes prematuros o accidentes por desconocimiento de normas de seguridad. Para fines prácticos, la determinación de fallas solo involucra aquellas que tengan una relación directa con los sistemas desarrollados en este trabajo, se omiten fallas potenciales de sistemas de control o comunicación.

Al realizar dicho estudio se hallaron las siguientes fallas potenciales en los distintos pasos del proceso (Imagen 66):



*Imagen 66 Fallas potenciales proceso Barco. Elaboración propia.*

Una vez identificadas las fallas potenciales de cada paso del proceso, donde se incluyen las fallas halladas en fases del diseño y desarrollo anteriores, y las fallas halladas de manera crítica, se procede a determinar los efectos de cada una de estas fallas, en las TABLAS 49 a 56 se enlistan todas estas fallas junto con sus potenciales efectos de cada uno de los pasos del proceso.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco

*Tabla 49 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de despliegue" Barco. Elaboración propia.*

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Desplegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.
2	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.

Tabla 50 Fallas y efectos paso del proceso "Desplegar hélices" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.
2	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil

Tabla 51 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de trabajo" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Recolección de desechos	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco
2	Recolección de desechos	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco

Tabla 52 Fallas y efectos paso del proceso "Recolección de desechos" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Navegación	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco
2	Navegación	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco

Tabla 53 Fallas y efectos paso del proceso "Navegación" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.
2	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil

Tabla 54 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de pre guardado" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Plegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.
2	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.

Tabla 55 Fallas y efectos paso del proceso "Plegar hélices" Barco. Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial
1	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.
2	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco

Tabla 56 Fallas y efectos paso del proceso "Colocación en posición de guardado" Barco. Elaboración propia.

De la misma manera que en el Extractor, se toma en cuenta la escala que se ve en la Tabla 11 adecuándose al proceso de recolección de basura por parte del Barco, para tener un registro cuantitativo de los efectos, para esto se considera los efectos tanto en usuario como en proceso donde el valor de severidad asignado será el mayor de cualquiera de los dos.

Calificación		Criterio	
Cuantitativa	Cualitativa	Efecto en el usuario	Efecto en el proceso
1	Ninguna	Sin efecto perceptible	Sin efecto
2	Menor	Dificultad de aprendizaje o asimilación del proceso	Ligero inconveniente para la operación
3	Muy Bajo	El usuario necesita realizar pasos extra a los asignados para realizar una tarea	Ligero atascamiento de que se resuelve sin necesidad de herramientas
4	Bajo	El usuario necesita pedir ayuda para realizar una tarea	Atascamiento, es necesario utilizar herramienta
5	Moderado	No posible de realizar una tarea, se necesita la atención de la mayoría del equipo	Daños que reducen la vida útil de los sistemas.
6	Alto	Lesiones leves como rasguños o rozaduras	Daños moderados a los sistemas, no es posible continuar con el proceso.
7	Muy Alto	Lesiones moderadas como golpes o machucones	Ruptura o daño reparable, no es posible continuar en el instante.
8	Peligroso	Operación del sistema es inseguro. El usuario se expone a peligro.	Fallo catastrófico del sistema, se expone a peligro al usuario.

Tabla 57 Escala de severidad referente al proceso de extracción de basura Barco. Elaboración propia.

Por lo que los efectos fueron calificados como se observa en las Tablas 58 a 65:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7

Tabla 58 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de despliegue". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Desplegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3
2	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6

Tabla 59 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Desplegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6
2	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5

Tabla 60 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Recolección de desechos	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4
2	Recolección de desechos	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4

Tabla 61 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Navegación	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4
2	Navegación	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4

Tabla 62 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Navegación". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6
2	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5

Tabla 63 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de pre guardado". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Plegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3
2	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6

Tabla 64 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Plegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad
1	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6
2	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7

Tabla 65 Severidad de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de guardado". Elaboración propia.

### Identificación de causas y evaluación de nivel de ocurrencia

Se relacionan las causas asociadas a cada falla identificada en el paso anterior, así como el nivel de ocurrencia de acuerdo con la escala que se observa en la Tabla 20.

Por lo que los criterios de ocurrencia y causas de falla fueron identificados como se observa en las Tablas 66 a 73:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2

Tabla 66 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de despliegue". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Desplegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2
2	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1

Tabla 67 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Desplegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	Descenso demasiado rápido. Filtración por orificio de eje.	6
2	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Descenso demasiado rápido.	4

Tabla 68 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Recolección de desechos	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1
2	Recolección de desechos	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4

Tabla 69 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Navegación	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1
2	Navegación	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4

Tabla 70 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Navegación". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	No respetar manual de operación	6
2	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	4

Tabla 71 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de pre guardado". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Plegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2
2	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1

Tabla 72 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Plegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia
1	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1
2	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2

Tabla 73 Causas y evaluación de efectos Barco, paso del proceso "Colocación en posición de guardado". Elaboración propia.

### Clasificación de controles o medidas de detección de fallas

Continuando con el método, es necesario indicar las medidas y/o controles con los que se cuentan para la detección de las fallas potenciales de cada paso del proceso. En este caso, entre más fácil sea la detección de una falla, menor será la evaluación cuantitativa. Para el proceso Barco, se clasifican como se muestra en la Tabla 29.

Por lo que las medidas y controles con los que se cuentan para la detección de las fallas potenciales de cada paso del proceso fueron identificados como se observa en las Tablas 74 a 81:

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1	Operario /inspección visual	6
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2	Control / inspección de rutina	3

Tabla 74 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Colocación posición de despliegue". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Desplegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2	Operario /inspección visual	6
2	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1	Operario /inspección visual	6

Tabla 75 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Desplegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	Descenso demasiado rápido. Filtración por orificio de eje.	6	Operario /inspección visual	6
2	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Descenso demasiado rápido.	4	Operario /inspección visual	6

Tabla 76 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Colocación posición de trabajo". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Recolección de desechos	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1	Control / inspección de rutina	3
2	Recolección de desechos	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4	Control / inspección de rutina	3

Tabla 77 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Navegación	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1	Control / inspección de rutina	3
2	Navegación	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4	Control / inspección de rutina	3

Tabla 78 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Navegación". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	No respetar manual de operación	6	Operario /inspección visual	6
2	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	4	Operario /inspección visual	6

Tabla 79 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Colocación posición de pre guardado". Elaboración propia.



#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Plegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2	Operario /inspección visual	6
2	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1	Operario /inspección visual	6

Tabla 80 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Plegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección
1	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1	Operario /inspección visual	6
2	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2	Control / inspección de rutina	3

Tabla 81 Clasificación de detección Barco, paso del proceso "Colocación posición de guardado". Elaboración propia.

### Obtención de número de prioridad de riesgo para cada falla y toma de decisiones

Una vez obtenidas las clasificaciones cuantitativas de la severidad, ocurrencia y detección, el siguiente paso es obtener el número de prioridad de riesgo RPN, multiplicando los valores de las clasificaciones anteriores.

En el caso del proceso de extracción de basura del subsistema Barco se toman como prioridad las fallas con valores de RPN más altos, además se priorizan las fallas que involucren algún tipo de daño físico al operario (Tablas 82 a 89).

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1	Operario /inspección visual	6	36
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2	Control / inspección de rutina	3	42

Tabla 82 RPN Barco, paso del proceso "Colocación en posición de despliegue". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Desplegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2	Operario /inspección visual	6	36
2	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1	Operario /inspección visual	6	36

Tabla 83 RPN Barco, paso del proceso "Despliegue de hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	Descenso demasiado rápido. Filtración por orificio de eje.	6	Operario /inspección visual	6	216
2	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Descenso demasiado rápido.	4	Operario /inspección visual	6	120

Tabla 84 RPN Barco, paso del proceso "Colocación en posición de trabajo". Elaboración propia.

Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
Recolección de desechos	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1	Control / inspección de rutina	3	12
Recolección de desechos	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4	Control / inspección de rutina	3	48

Tabla 85 RPN Barco, paso del proceso "Recolección de desechos". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Navegación	Atascamiento de sistema de giro	Perdida de control sobre el Barco	4	Daño en los elementos del sistema. Elementos extraños en cubierta.	1	Control / inspección de rutina	3	12
2	Navegación	Ruptura de banda dentada	Perdida de control sobre el Barco	4	Desgaste, mala operación.	4	Control / inspección de rutina	3	48

Tabla 86 RPN Barco, paso del proceso "Navegación". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	6	No respetar manual de operación	6	Operario /inspección visual	6	216
2	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	5	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	4	Operario /inspección visual	6	120

Tabla 87 RPN Barco, paso del proceso "Colocación en posición de pre guardado". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Plegar hélices	Atascamiento de sistema de pliegue y despliegue	Interrupción del proceso. Sistema no operable. Retrasos.	3	Mal manejo de los elementos	2	Operario /inspección visual	6	36
2	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	Falta de equipo de protección	1	Operario /inspección visual	6	36

Tabla 88 RPN Barco, paso del proceso "Plegar hélices". Elaboración propia.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	Severidad	Causas Potenciales	Ocurrencia	Control - método	Detección	RPN
1	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	6	No respetar manual de operación	1	Operario /inspección visual	6	36
2	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	7	Desgaste de sujetadores. Mala colocación.	2	Control / inspección de rutina	3	42

Tabla 89 RPN Barco, paso del proceso "Colocación en posición de guardado". Elaboración propia.

#### 4.2.3.9 Correcciones

En esta fase del proceso se llevan a cabo las correcciones de material, elementos, proceso, seguridad, etcétera, que sean necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los subsistemas y la seguridad del usuario. Este paso sería el siguiente en la metodología AMEF, sin embargo, para fines prácticos del proceso se adaptó a los tiempos del propio proceso de diseño, haciendo así que la fase anterior como ya se mencionado anteriormente se limitara al registro y documentación cuantitativo

de los efectos, de la misma manera que el registro y documentación cuantitativo de las soluciones empleadas a dichos puntos como se detalla a continuación.

Las fallas, y causas priorizadas, su análisis y la solución empleada se enlista enseguida:

1.

Paso del proceso: Colocación en posición de trabajo / colocación en posición de pre guardado.

Falla / efecto potencial: Existe filtración de agua dentro del casco.

Análisis: Como se observa en el paso anterior, uno de las fallas potenciales con un valor de RPN elevado, muy por arriba de cualquier otra falla potencial, se da durante los pasos del proceso de colocación en posición de trabajo y colocación en posición de pre guardado, esto se debe a la severidad de los efectos que esta falla puede ocasionar y que durante las pruebas se registraron varias filtraciones a la cubierta del casco y al interior del mismo, teniendo un potencial efecto negativo en los elementos electrónicos que se encuentran dentro del interior del casco, por lo que esta falla fue prioridad en la fase de correcciones.

Solución: Como en los pasos en los que da lugar esta falla no se puede modificar los ángulos de inclinación en los que entra y sale el Barco del agua, y que además siempre se corre el riesgo de error u omisión humana en las velocidades de ascenso y descenso, esta falla solo se puede atacar de momento realizando un sello hermético que no permita el paso del agua a través de las escotillas del casco del Barco o del orificio del eje del sistema de giro. De esta manera, la solución que se empleó fue la adaptación de un sello que además de bloquear el paso del agua no obstruya el giro del eje del sistema de giro (Imagen 67)



*Imagen 67 Solución sello del eje del sistema de giro. Elaboración propia.*

2.

Paso del proceso: Colocación en posición de trabajo / colocación en posición de pre guardado.

Falla / efecto potencial: Las cámaras de video y router pueden mojarse en este paso del proceso.

Análisis: Si la velocidad de ascenso o descenso del Barco durante este paso del proceso Barco es demasiado rápida, el Barco tiende a sumergirse de la popa lo cual ocasiona que las cámaras y router se mojen.

Solución: Aunque los elementos electrónicos externos como lo son en este caso las cámaras de video y router se seleccionaron con un factor de protección contra agua, el ser sumergido en el agua con las características del agua de las presas de la ciudad representa disminuir su vida útil. Por lo que la solución planteada es elevar las precauciones y disminuir las velocidades de ascenso y descenso del Barco durante este paso y especificarlo en los manuales de operación.

3.

Paso del proceso: Colocación en posición de despliegue / desplegar hélices / plegar hélices / colocación en posición de guardado.

Falla / efecto potencial: Accidente o discapacidad del operador.

Análisis: Durante estos pasos es esencial que los operadores cuenten en todo momento con equipo de protección personal como lo es: casco, guantes y botas de protección, ya que se encuentran en movimiento elementos pesados que pueden golpear al operador si no se guardan las precauciones y distancias recomendadas.

Solución: El operario deberá utilizar forzosamente, casco, guantes y botas de protección durante este paso del proceso.

4.

Paso del proceso: Colocación en posición de trabajo / colocación en posición de guardado.

Falla / efecto potencial: Ruptura de sujetadores.

Análisis: Los sujetadores y eslingas utilizadas para esta fase del proceso presentaron desgaste en las pruebas, la ruptura de estos elementos durante estos pasos del proceso conlleva que el Barco descienda sin control al agua y potenciales accidentes de operadores que se encuentren cerca.

Solución: Se reforzaron los sujetadores con el fin de garantizar su correcto funcionamiento (Imagen 68). Además, se especificó en manuales de operación la regular inspección de estos elementos y de las eslingas con las que se lleva a cabo este paso del proceso.



*Imagen 68 Solución reforzamiento de sujetadores. Elaboración propia.*

#### **4.2.3.10 Aprobación y puesta en marcha**

Una vez realizadas las correcciones detalladas en el punto anterior se procede a una nueva evaluación, mediante los criterios AMEF realizando nuevas pruebas, que para este caso se realizaron en pruebas de campo, donde se comprueba si se logró reducir el valor de RPN de las fallas potenciales, si este es lo suficientemente bajo se procede a la aprobación y puesta en marcha del subsistema.

Al igual que el subsistema Extractor, las pruebas para la evaluación y puesta en marcha se llevaron a cabo en el embarcadero Cuemanco en la Ciudad de México con la finalidad de contar con la profundidad necesaria para la operación del subsistema Barco (Imagen 69).



*Imagen 69 Pruebas Cuemanco, Subsistema Barco. Elaboración propia.*

Con la información recolectada se realiza una nueva evaluación, la cual se observa en la Tabla 90 de una manera resumida con solo las fallas potenciales solucionadas.

#	Paso del proceso	Falla Potencial	Efecto Potencial	RPN	Severidad	Ocurrencia	Detección	RPN
1	Colocación en posición de despliegue	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	36	6	1	3	18
2	Colocación en posición de despliegue	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	42	7	1	3	21
3	Desplegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	36	6	1	3	18
4	Colocación en posición de trabajo	Entrada de agua a cubierta del Barco y dentro del casco	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	216	6	1	6	36
5	Colocación en posición de trabajo	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	120	5	1	6	30
6	Colocación en posición de pre guardado	Entrada de agua a cubierta de Barco y dentro del casco.	Entrada de agua al interior del casco, daño grave elementos electrónicos.	216	6	1	6	36
7	Colocación en posición de pre guardado	Sumersión de elementos electrónicos	Reducción de vida útil	120	5	1	6	30
8	Plegar hélices	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	36	6	1	3	18
9	Colocación en posición de guardado	Cortar o golpear cuerpo del operario	Accidente, discapacidad del operador.	36	6	1	3	18
10	Colocación en posición de guardado	Ruptura de sujetadores	Accidente, discapacidad, daño a los sistemas del Barco	42	7	1	3	21

*Tabla 90 Actualización de RPN Barco. Elaboración propia.*

Cabe señalar que en aquellas fallas potenciales en las que tienen un nivel nulo de ocurrencia pero que se consideran importantes por involucrar la integridad de los miembros de la cuadrilla, como su solución es la integración de advertencias en manuales de operación pasaron su detección de visualizaciones de operario a inspecciones de rutina. De esta manera también fue posible disminuir el valor de RPN asociado a dichas fallas potenciales.

Como se observa en la Tabla 90 todos los valores de RPN actualizados se encuentran por debajo del valor 40, teniendo la disminución más importante en la falla potencial más importante con una disminución de casi 85%, y en general las fallas potenciales que involucran el correcto funcionamiento del sistema y aquellas que involucran la seguridad de los miembros de la cuadrilla de limpieza tuvieron una disminución de hasta 75%, por lo que se considera que las soluciones empleadas son adecuadas y por lo que en este paso del proceso se dio aprobación al subsistema Barco.

#### **4.2.4 Del concepto a la realidad**

Los trabajos de diseño concluyen en este punto, haciendo una recapitulación se diseñaron dos subsistemas generales: el subsistema “Extractor” y el subsistema “Barco”, cada uno tiene características especiales que los hacen únicos en cuanto diseño y propósito (Imagen 70).

El concepto del subsistema Extractor partió de la necesidad de retirar la basura flotante de cuerpos de agua, previamente se tenían las dimensiones objetivo con referencia a los sistemas que le permitirían su colocación en posiciones de trabajo y de guardado, como son las rampas y estructura del Todo en uno. Se buscó que tuviera resistencia estructural y contra la corrosión para soportar las características ambientales de las presas de la ciudad, adaptándose a esta y a las características de los desechos que se encuentran en ella gracias a los cangilones diseñados para este fin.

El concepto del subsistema Barco se originó por el requerimiento de canalizar la basura que se encontrara lejos de la zona donde trabaja el Extractor, para esto era necesario un dispositivo móvil que guiara los desechos de una manera efectiva. Sin embargo, las dimensiones destinadas para este dispositivo eran limitadas, y las necesidades en volumen de los desechos a recolectar eran bastante elevadas. Por lo que el diseño de este subsistema se centró en la optimización del espacio de los mecanismos que le permitan la navegación, así como la ligereza y resistencia estructural de este, sin perder de vista las características ambientales de las presas de la ciudad.

Estos dos subsistemas se encuentran en una primera instancia en su posición de guardado dentro del Todo en uno, el subsistema Barco se encuentra sobre el subsistema Extractor, apoyado de una serie de ruedas con las que cuenta el Extractor y mantenido en su lugar gracias a sus sujetadores y a los rodillos guías que igualmente se encuentran en el Extractor.

Cuando el sistema Todo en uno llega a un cuerpo de agua para su limpieza y se coloca en las plataformas destinadas a esta tarea, acciona sus elevadores para el retiro del camión de traslado y se coloca a nivel de piso, se hace el despliegue de rampas de trabajo y de pasillos de supervisión, enseguida comienza el descenso del Extractor y del Barco por medio de una serie de poleas y un winch. Cuando el Extractor ha llegado a su posición de trabajo, comienza el descenso del Barco a la posición de despliegue de hélices por medio del mismo Extractor al accionarse en reversa, en esta posición, dos miembros de la cuadrilla hacen el despliegue de las hélices y accionan los sistemas de control de Barco. Seguidamente se vuelve a accionar el Extractor en reversa para la colocación del Barco en su posición de trabajo, ya completamente sobre el agua, por último, se remueven los sujetadores que enganchan el Barco al Extractor y comienza la jornada de recolección de basura.

El subsistema Barco navega con su lado más estrecho como proa, y hace el arrastre y canalización de desechos con su lado más amplio ahora como nueva proa, aprovechando este lado como una pala que gracias a sus más de 3 y medio metros de longitud puede lograr el desplazamiento de grandes cantidades de basura.

Una vez terminada la jornada de limpieza, el subsistema Barco se acerca al área de trabajo del Extractor, donde los miembros de la cuadrilla vuelven a colocar los sujetadores que lo enganchan al Extractor y enseguida se comienza a retirar del agua el Barco hacia la posición de pliegue de hélices accionando el Extractor, en esta posición, dos miembros de la cuadrilla pliegan las hélices y desactivan la energía y controles del Barco. Por último, el subsistema Extractor regresa a su posición de guardado junto con el Barco, se hace el guardado de rampas y pasillos del Todo en uno, este por medio de sus elevadores es nuevamente colocado sobre la plataforma del camión de traslado, y concluye la jornada de trabajo del sistema Todo en uno.



*Imagen 70 Del concepto a la realidad. Elaboración propia.*

#### 4.2.5 Trabajo futuro

Sin duda los trabajos de diseño pueden terminar marcando el fin de ciertas etapas, pero el proceso de desarrollo puede continuar indefinidamente, sobre todo en sistemas de innovación como la que se expone en este trabajo.

Durante las primeras pruebas de campo se logró la recuperación de información, ideas, comentarios y oportunidades de mejora de los miembros de la cuadrilla como usuarios finales. Por el tiempo de desarrollo que estos implican no es posible incluirlos en este trabajo, pero se pueden considerar como parte del trabajo en una segunda etapa de desarrollo, ideas que se exponen brevemente a continuación.

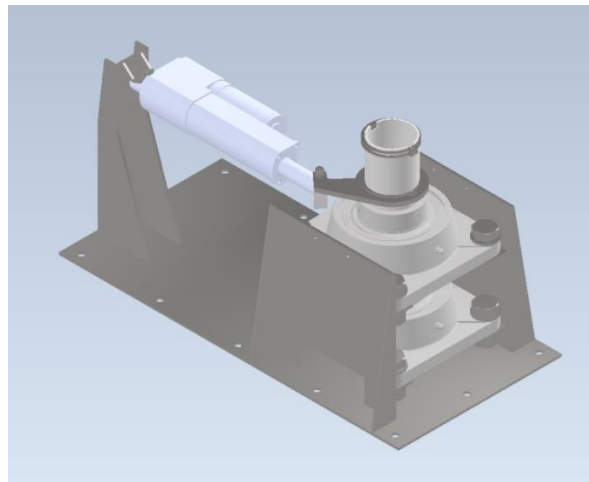
Ya que mucha de la basura extraída no puede ser reciclada por las condiciones de contaminación en la que se encuentra se sugiere tener una banda transportadora a la salida del Extractor donde un equipo se encargue de la selección de desechos que si puedan ser reciclados, el resto es conveniente sea triturado para que su procesamiento sea mucho más sencillo, reduciendo su volumen hasta un 75%. Para esto, se comenzó con el concepto de un triturador único en su tipo con el empleo de cadenas que arrastran la basura hacia la cámara de triturado y a través de las mismas cuchillas (Imagen 71), garantizando el flujo de basura triturada, con la finalidad principal de no tener interrupciones en el proceso de extracción de basura y hacerlo más eficiente.





*Imagen 71 Concepto Triturador. Elaboración en colaboración con Ing. Alí Ramos.*

Otra oportunidad de mejora se encuentra en el mecanismo de giro del sistema Barco, ya que este tiene aún baja confiabilidad por los grandes pares que se generan debido al peso de las hélices y a su empuje generado, por lo que se inició el concepto de un nuevo mecanismo que solucione dicha problemática. Este concepto sustituye la banda dentada por un actuador lineal de tornillo (Imagen 72), de manera conveniente el Barco al solo necesitar dos posiciones de navegación con  $90^\circ$  de diferencia una de otra y que los motores de las hélices pueden contar con reversa, se convierte en una solución potencial para los problemas mencionados.



*Imagen 72 Nuevo concepto mecanismo de giro. Elaboración propia.*

Es visible que los comentarios realizados al final del proceso de diseño de los subsistemas Extractor y Barco, alientan a nuevas etapas de desarrollo, siempre con el fin de innovar, mejorar y hacer más eficiente los procesos planteados en este trabajo.

## 5 CONCLUSIONES

Se presentó el proceso de diseño y desarrollo de dos subsistemas pertenecientes a un sistema principal cuyo fin es la recolección, extracción y limpieza de basura de cuerpos de agua de la Ciudad de México. De los trabajos realizados se pueden dar las siguientes conclusiones:

- Se presenta un prototipo funcional por cada subsistema diseñado, estos prototipos cumplen con los objetivos particulares de recolección y canalización en el caso del subsistema Barco, y de una extracción constante de desechos en el caso del Subsistema Extractor.
- Los objetivos de tasas de extracción se plantearon por el equipo de trabajo en alrededor de 300% adicionales con respecto a la tasa de extracción que realizaba la cuadrilla de limpieza a mano, no obstante, con las características de los sistemas diseñados se puede lograr una tasa de extracción de hasta 500% extra.
- Los sistemas diseñados en este trabajo son sistemas únicos en el mundo que atienden a las características únicas de las presas y cuerpos de agua de la Ciudad de México.
- Gracias a las evaluaciones tomadas a lo largo del proceso de diseño, se tiene un registro y documentación cuantitativo de las fallas potenciales en el proceso de extracción de basura y las soluciones empleadas para su corrección y prevención, esto con la finalidad de brindar confianza y un respaldo ingenieril al usuario final estableciendo niveles de confiabilidad.
- El sistema principal “Todo en uno” cuenta con el potencial de expandirse y evolucionar tecnológicamente, los subsistemas Extractor y Barco ayudan a favorecer esta evolución por su versatilidad y características modulares dentro del Todo en uno.

## 6 REFERENCIAS

- [1] GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MEXICO, “RESCATE DE RÍOS Y CUERPOS DE AGUA”, 2022.  
<https://informedegobierno.cdmx.gob.mx/acciones/rescate-de-rios-y-cuerpos-de-agua/>  
(consultado el 5 de enero de 2023).
- [2] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, Fifth. Mc Grill Hill, 2013.
- [3] AIAG y VDA, *Failure Mode and Effects Analysis FMEA Handbook*, First. 2019.
- [4] SEDEMA, “Localización geográfica de la CDMX”, 2015.  
<http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/geografia.html> (consultado el 13 de noviembre de 2022).
- [5] S. Peña-Díaz, “Condiciones hídricas en la cuenca del Valle de México”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 10, núm. 2, pp. 98–127, 2019, doi: 10.24850/j-tyca-2019-02-04.
- [6] SACMEX, “DIAGNÓSTICO LOGROS Y DESAFÍOS”, 2018.
- [7] Gobierno de la Ciudad de México, “Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)”.  
<https://datos.cdmx.gob.mx/organization/about/sistema-de-aguas-de-la-ciudad-de-mexico>  
(consultado el 31 de diciembre de 2022).
- [8] Gobierno de la Ciudad de México, “Acerca del SACMEX”.  
<https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/organo-descentralizado/acerca-sacmex> (consultado el 31 de diciembre de 2022).
- [9] SACMEX, “EL GRAN RETO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO”, 2012.
- [10] WATERFRONT PARTNERSHIP, “MR. TRASH WHEEL IN THE NEWS”, 2017.  
<https://www.mrtrashwheel.com/press/> (consultado el 9 de septiembre de 2022).
- [11] National Geographic y J. Snow, “Googly-Eyed Trash Eaters May Clean a Harbor Near You”, *Snow*, el 17 de febrero de 2017. Consultado: el 14 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.nationalgeographic.com/science/article/mr-trash-wheels-professor-trash-wheels-baltimore-harbor-ocean-trash-pickup>
- [12] P. Nan, K. Lifeng, S. Yajun, y D. Jinlum, “Amphibious clean - up robot”, *International Conference on Information and Automation*, Macau SAR, China, julio de 2017.
- [13] Bandalong International, “Bandalong Litter Trap”, *Bandalong Litter Trap*, 2022.  
<https://www.bandalong.com.au/> (consultado el 13 de mayo de 2023).
- [14] D. Nickelson, “FLOATING DEBRIS REMOVER”, US 10,323,376B1, 2019
- [15] R. J. Morin, “MARINE VESSEL FOR COLLECTING FLOATING DEBRIS”, US 6,669,841B2, 2003

- [16] D. J. Choi y D. L. Choi, "APPARATUS FOR COLLECTING SUSPENDED MATTER IN A RIVER", E02B15/04, 2012 Consultado: el 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/044958052/publication/WO2012074240A2?q=pn%3DWO2012074240A2>
- [17] L. W. Pasoz, "APPARATUS AND METHOD FOR REMOVAL OF FILOATING DEBRIS", 5439600, 1995
- [18] A. R. Reivich, L. G. González, y V. Borja R., *Diseño de máquinas industriales*. México D.F.: Facultad de Ingeniería UNAM, 1992.
- [19] V. Borja y A. C. Reivich, "Innovación de producto", 2006, [En línea]. Disponible en: <http://www.pnt.org.mx/>
- [20] A. Ortiz, "Diseño de máquinas industriales", *Cursos Abiertos*, México D.F., febrero de 1992.
- [21] Auxiliar de carrocerías, "TWIST LOCK PARA CONTENEDOR", el 15 de octubre de 2022. <https://www.auxiliardecarrocerias.com/soportes-de-amarre-de-chasis/1056-twist-lock-para-contenedor.html> (consultado el 21 de mayo de 2023).
- [22] E. Rus, "Matriz de Pugh", el 1 de agosto de 2022. <https://economipedia.com/definiciones/matriz-de-pugh.html#:~:text=Una%20matriz%20de%20Pugh%20es,es%20muy%20f%C3%A1cil%20de%20manejar.> (consultado el 1 de agosto de 2022).
- [23] SIEMENS, "Análisis de elementos finitos". <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/finite-element-analysis-fea/13173> (consultado el 3 de agosto de 2022).
- [24] B. Salazar, "Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)", el 1 de noviembre de 2019. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/> (consultado el 3 de agosto de 2022).
- [25] Universidad Complutense Madrid, "Mathematica". <https://www.ucm.es/pimcd2014-free-software/mathematica#:~:text=Mathematica%20es%20un%20software%20creado,de%20programaci%C3%B3n%20de%20prop%C3%B3sito%20general.> (consultado el 9 de octubre de 2022).

## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo 1 Características presas de estudio

Presa	Coord.	Nombre de la corriente/ afluente	Tipo de corriente	Nivel de Aguas Máximas Ordinarias msnm	Nivel de Aguas Mínimas de Operación msnm	Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias msnm	Tirante aprox. de azolve (m)
Anzaldo	19° 19' 14.7" N 99° 13' 11.999" W	R. Magdalena y Arroyo Anzaldo/ Interceptor del Poniente o R. Magdalena-Churubusco	Perenne	23.841.000	23.749.200 9.18	23.846.200	1.50
Texcalatlaco	19° 19' 55.1" N 99° 13' 35.699" W	R. Texcalatlaco/ Interceptor del Poniente o R. Magdalena-Churubusco	Intermitente	23.984.200	23.880.600 10.23	23.994.700	2
Las Flores	19° 20' 39.8" N 99° 12' 34.49" W	R. Olivar de las Flores	--	23.239.200	0.0000	23.240.400	1.10
La mina	19° 20' 48.3" N 99° 12' 49.06" W	R. Tequilasco	--	23.351.500	23.330.000	23.361.500	1.20
Tequilasco	19° 20' 40.01" N 99° 13' 46.009" W	R. Tequilasco/ R Tlalnepantla o Lago de Texcoco	--	24.087.500	0.0000	24.088.600	1
Pilares	19° 21' 17.05" N 99° 12' 15.019" W	R. Pilares	--	23.045.500	22.990.000	23.070.000	1
Anzaldo	19° 19' 14.7" N 99° 13' 11.999" W	R. Magdalena y Arroyo Anzaldo/ Interceptor del Poniente o R. Magdalena-Churubusco	Perenne	23.841.000	23.749.200 9.18	23.846.200	1.50
Texcalatlaco	19° 19' 55.1" N 99° 13' 35.699" W	R. Texcalatlaco/ Interceptor del Poniente o R. Magdalena-Churubusco	Intermitente	23.984.200	23.880.600 10.23	23.994.700	2
Las Flores	19° 20' 39.8" N 99° 12' 34.49" W	R. Olivar de las Flores	--	23.239.200	0.0000	23.240.400	1.10
La mina	19° 20' 48.3" N 99° 12' 49.06" W	R. Tequilasco	--	23.351.500	23.330.000	23.361.500	1.20
Tequilasco	19° 20' 40.01" N 99° 13' 46.009" W	R. Tequilasco/ R Tlalnepantla o Lago de Texcoco	--	24.087.500	0.0000	24.088.600	1
Pilares	19° 21' 17.05" N 99° 12' 15.019" W	R. Pilares	--	23.045.500	22.990.000	23.070.000	1
Ruiz Cortines	19° 23' 48.7" N 99° 12' 14.659" W	R. Tacubaya/ Emisor Poniente	Intermitente (perenne)	22.952.200	22.907.200	22.952.200	2
Tacubaya	19° 23' 40" N 99° 12' 48.599" W	R. Tacubaya/ Inter Pon o Inter Centro Pon. o R.Piedad Churubusco	Intermitente (perenne)	23.249.100	23.017.300	23.253.100	*
Dolores	19° 24' 57.6" N 99° 12' 27.9" W	R. Dolores	--	22.860.100	22.423.500	22.895.300	1.20
Barrilaco	19° 25' 8.4" N 99° 13' 11.799" W	R. Tecamachalco	Intermitente	23.166.200	0.0000	23.204.900	1
Tecamachalco	19° 25' 40.97" N 99° 13' 22.13" W	R. Tecamachalco/ R Tlalnepantla o gran Canal del Desagüe	Intermitente	23.027.500	22.972.200	23.040.000	1.30
San Joaquín	19° 26' 2.57" N 99° 13' 34.709" W	R. San Joaquín	Perenne	23.006.700	0.0000	23.046.700	1.70

## 7.2 Anexo 2 Código selección de motor

```

In[ ]:= MasaTotal = Cangilones * (CargaCangilon + PesoCangilon) + PesoCadena;
Print[Style["Masa Total= ", Red], MasaTotal, Style[" kg", Red]]
|escribe |estilo |rojo |estilo |rojo

Masa Total= 906 kg

In[ ]:= w = MasaTotal * g;
Print[Style["w= ", Red], w, Style[" [N]", Red]]
|escribe |estilo |rojo |estilo |rojo

w= 8887.86 [N]

In[ ]:= wx = w * Cos[θ];
|coseno

wy = w * Sin[θ];
|seno

Print[Style["wx= ", Red], wx, Style[" N", Red], Style[" wy= ", Red], wy, Style[" N", Red]]
|escribe |estilo |rojo |estilo |rojo |estilo |rojo |estilo |rojo

wx= 6604.97 N wy= 5947.14 N

```

### Análisis de Fuerzas

```

In[ ]:= (*ΣFx=0*)
(*F - fr - wx = 0*)

In[ ]:= Solve[F - fr - wx == 0, F]
|resuelve

Out[ ]:= {{F -> 6604.97 + 1. fr}}

In[ ]:= (*ΣFy=0*)
(*Fn - wy = 0*)

In[ ]:= Solve[fn - wy == 0, fn]
|resuelve

Out[ ]:= {{fn -> 5947.14}}

In[ ]:= fn = 5947.14;

In[ ]:= (*fr=μfn*)
Solve[fr == μ * fn, fr]
|resuelve

Out[ ]:= {{fr -> 832.6}}

In[ ]:= fr = 832.6;

In[ ]:= Solve[F - fr - wx == 0, F]
|resuelve

Out[ ]:= {{F -> 7437.57}}

In[ ]:= F = 7437.57;

In[ ]:= Print["La fuerza necesaria para el funcionamiento del motorreductor es F=", Style[F, Red], Style[" N", Red]]
|escribe |estilo |rojo |estilo |rojo

```

La fuerza necesaria para el funcionamiento del motorreductor es F=7437.57 N

## Análisis de potencia Motorreductor

### Datos

```
In[*]:= Dcatarina = 0.28; (*m*)
```

```
In[*]:= Pcatarina = 0.8796; (*m*)
```

```
In[*]:= RPM = 9; (*Cálculo para un motorreductor con salida de 9RPM y con un % de lo esperado de 230%*)
```

### Potencia de Cálculo

```
In[*]:= VL = Pcatarina * RPM / 60;
```

```
In[*]:= Print["Velocidad Lineal= ", VL, "  $\frac{m}{s}$ "]  
[escribe]
```

Velocidad Lineal= 0.13194  $\frac{m}{s}$

```
In[*]:= (*P =  $\frac{W}{t} = \frac{F*d}{t} = F*VL*$ )
```

```
P = F * VL;
```

```
In[*]:= Print["La Potencia necesaria es=", P, " Watts"]  
[escribe]
```

La Potencia necesaria es=981.313 Watts

```
In[*]:= PNa = P / 746;
```

```
Print["La Potencia de Cálculo (Na) Necesaria es = ", Style[PNa, Red], Style[" HP", Red]]  
[escribe] [estilo] [rojo] [estilo] [rojo]
```

La Potencia de Cálculo (Na) Necesaria es = 1.31543 HP

### Cálculo Potencia de Entrada

```
(*Potencia de entrada =  $\frac{\text{Potencia de Cálculo}}{\text{Eficiencia}}$  *)
```



#### Cyclo® Quality and Reliability, Right Angle Design

- High performance steel input components deliver up to 94% efficiency
- Cycloidal technology offers reliable operation, long life and high shock load capacity



```
 $\eta = 0.94;$ 
```

```
Pe =  $\frac{PNa}{\eta};$ 
```

```
Print["La potencia de entrada es ", Style[Pe, Red], Style[" HP", Red]]  
[escribe] [estilo] [rojo] [estilo] [rojo]
```

La potencia de entrada es 1.3994 HP

## Pre-selección

- Step 1: Collect data about your application**  
 Before starting you need to know the:
- Application (e.g. Conveyor, Mixer, etc.)
  - Hours of Operation per day
  - Motor Power (HP or kW) and Speed (RPM)
  - Desired Output Speed
  - Mounting Position and Style
  - Overhung or Thrust Loads
  - Bore Dimensions, inch or metric
  - Electrical Specifications

(\*Datos Necesarios\*)

## Datos

(\*Aplicación → Transportador\*)

Method A - Gearmotor Classification by LOAD			
DURATION OF SERVICE	GEARMOTOR CLASS		
	UNIFORM LOAD	MODERATE SHOCK LOAD	HEAVY SHOCK LOAD
Intermittent 3 hours per day	Class I	Class I	Class II
Up to 10 hours per day	Class I	Class II	Class III
24 hours per day	Class II	Class III	---

**Class I** = Steady loads not exceeding normal motor rating, 8 to 10 hours a day. Moderate shock loads where service is intermittent (AGMA Service Factor: 1.0).  
**Class II** = Steady loads not exceeding normal motor rating and 24 hours a day service. Moderate shock loads for 8 hours a day (AGMA Service Factor: 1.4).  
**Class III** = Moderate shock loads for 24 hours a day or heavy shock loads for 8 hours a day (AGMA Service Factor: 2.0)  
 Note: Selections without an AGMA Class designation are torque based selections generally used for intermittent service.

### Conveyors - Heavy Duty Not Uniformly Fed

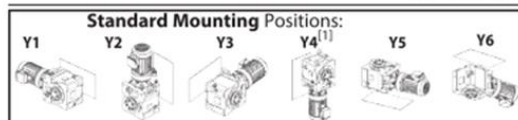
- Apron
- Assembly
- Belt
- Bucket
- Chain
- Flight
- Live Roll (Package)
- Oven
- Reciprocating Screw
- Shaker

- II
- II
- II
- II
- II
- I
- I
- II
- III
- III

- (\*Horas de operación → 4-5 h\*)
- (\*Potencia de Motor = 1.39 HP\*)
- (\*Velocidad de salida = 9 RPM\*)
- (\*Posición de montaje → \*)
- (\*Tipo de carga → \*)
- (\*Dimensión del eje = 58 mm\*)

# Standard Mounting Selection Tables

**1.5 HP (1.1 kW)**



Dimension Pages:	
Single Reduction	2.141-2.152
Single Reduction, Y2	2.153
Double Reduction	2.155-2.170
Double Reduction, Y2	2.171

Frequency	50 Hz	60 Hz
Input Speed	1450 RPM	1750 RPM
Number of Poles	4	

50Hz				60 Hz				Selection								
Output Speed (RPM)	Output Torque		Service Factor	Solid Shaft Overhung Load		Output Speed (RPM)	Output Torque		Service Factor	Solid Shaft Overhung Load		Base		VFD <sup>[2]</sup>		
	in-lbs	(N·m)		lbs	(N)		in-lbs	(N·m)		lbs	(N)	Motor Power Code	Frame Size		Ratio	
9.63	8900	(1010)	0.98	-	4560	(20300)	11.6	7370	(833)	0.98	-	5110	(22700)	1H	4A105	151
			1.18	I	4560	(20300)				1.18	I	5110	(22700)	1H	4A110	151
			1.28	I	4560	(20300)				1.28	I	5110	(22700)	1H	4A115	151
			1.74	II	9510	(42300)				1.74	II	9680	(43100)	1H	4B120	151
			2.13	III	9510	(42300)				2.16	III	9680	(43100)	1H	4B125	151
			2.56	III	9510	(42300)				2.56	III	9680	(43100)	1H	4B140	151

## Selección de motorreductor

(\*Potencia de Mando = Potencia de entrada\*Factor de servicio\*)

[\*]= FS = 1.74;

[\*]= Pm = Pe \* FS;

Print["La Potencia de Mando requerida es = ", Style[Pm, Red], Style[" HP", Red]]

escribe estilo rojo estilo rojo

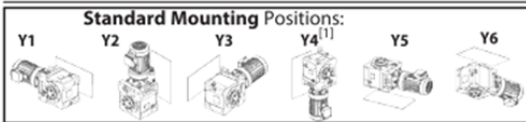


Print["La Potencia de Mando requerida es = ", Style[Pm, Red], Style[" HP", Red]]

La Potencia de Mando requerida es = 2.43495 HP

## Standard Mounting Selection Tables

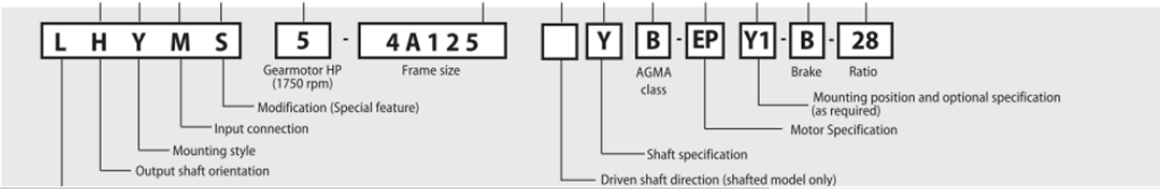
**3 HP**  
(2.2 kW)



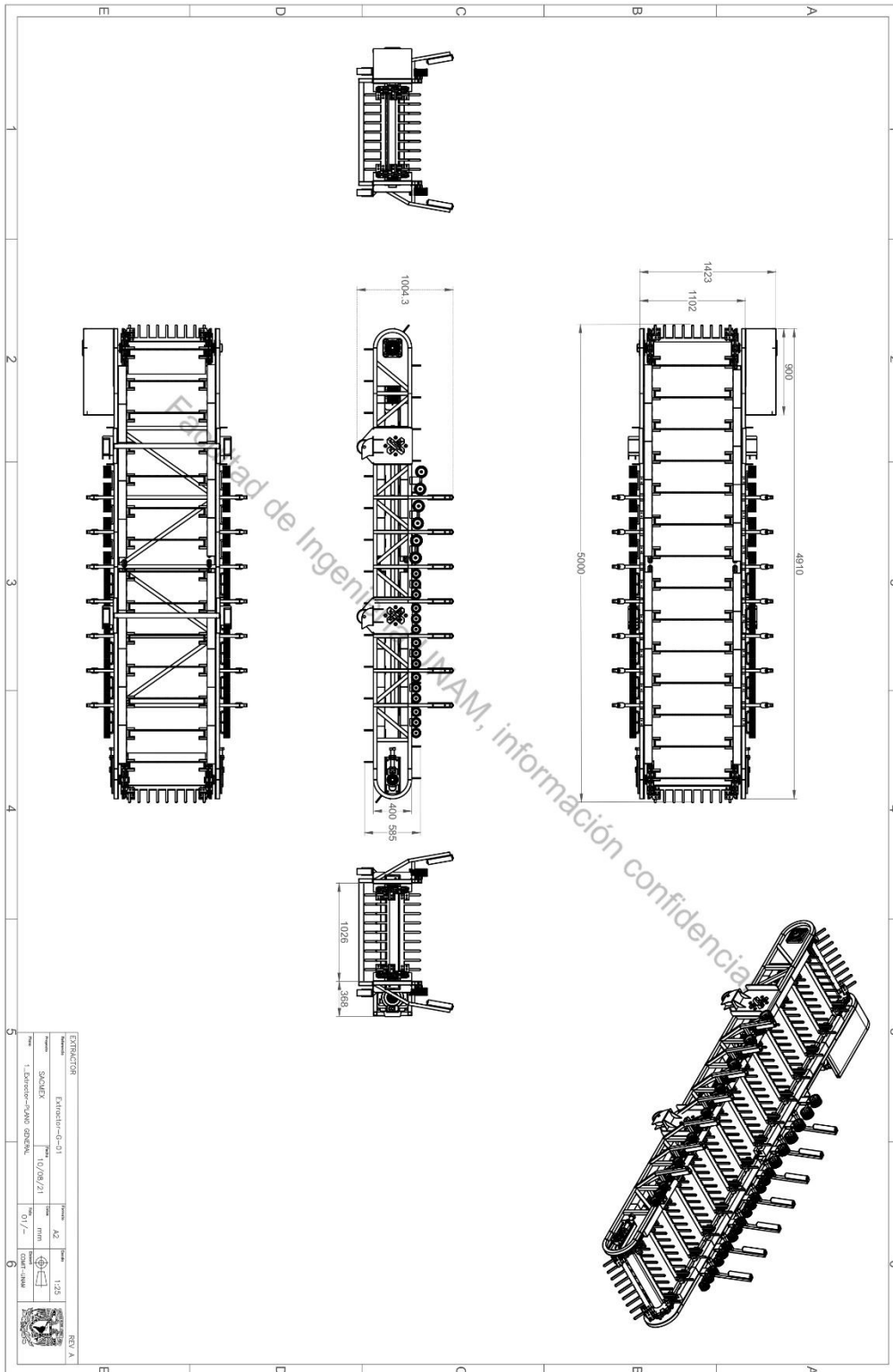
Dimension Pages:  
 Single Reduction 2.141-2.152  
 Single Reduction, Y2 2.153  
 Double Reduction 2.155-2.170  
 Double Reduction, Y2 2.171

Frequency	50 Hz	60 Hz
Input Speed	1450 RPM	1750 RPM
Number of Poles	4	

50Hz				60 Hz				Selection											
Output Speed (RPM)	Output Torque		Service Factor		Solid Shaft Overhung Load		Output Speed (RPM)	Output Torque		Service Factor		Solid Shaft Overhung Load		Base			VFD <sup>[2]</sup>		
	in-lbs	(N·m)	SF	AGMA Class	lbs	(N)		in-lbs	(N·m)	SF	AGMA Class	lbs	(N)	Motor Power Code	Frame Size	Ratio			
9.63	17800 (2010)		1.06	I	7690 (34200)	11.6	14700 (1670)		1.08	I	8500 (37800)	3	4B125	151					
			1.28	I	7690 (34200)				1.28	I	8500 (37800)						3	4B140	151
			1.79	II	15200 (67600)				1.79	II	14600 (64700)						3	4C140	151
			2.12	III	15200 (67600)				2.45	III	14600 (64700)						3	4C145	151
			2.49	III	15200 (67600)				2.56	III	14600 (64700)						3	4C160	151
			2.93	III	21700 (96400)				3.39	III	21800 (97000)						3	4D160	151



### 7.3 Anexo 3 Plano general Extractor



### 7.4 Anexo 4 Plano general Sistema de propulsión, Sistema de pliegue – despliegue de hélices y Sistema de giro

