

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Sistema logístico y de carga para la recolección de residuos con un sanitario Mosan en una escuela en Jaibalito, Sololá

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Juan Luis Zepeda Puertas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala,

2023



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Sistema logístico y de carga para la recolección de residuos con un sanitario Mosan en una escuela en Jaibalito, Sololá

Trabajo de graduación en modalidad de presentado por Juan Luis Zepeda Puertas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala,

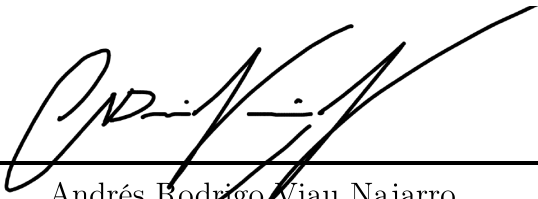
2023



Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Andrés Rodrigo Viau Najarro

Tribunal Examinador:

(f)   
Andrés Rodrigo Viau Najarro

(f)   
César Alberto Rosales Gómez

(f)   
José Rodrigo Aragón Cabrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 15 de junio de 2023.



<b>Lista de figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Justificación</b>	<b>5</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>7</b>
3.1. Objetivo general .....	7
3.2. Objetivos específicos .....	7
<b>4. Marco teórico</b>	<b>9</b>
4.1. Sistemas logísticos de sanitarios ecológicos .....	9
4.1.1. Europa.....	10
4.1.2. Asia.....	13
4.1.3. África .....	19
4.1.4. Centroamérica y México.....	20
4.2. Costos de sanitarios ecológicos .....	24
4.3. Almacenamiento de residuos.....	26
4.4. Transporte de residuos.....	27
4.5. Sistema de cargas en vehículos.....	28
4.6. Operación de Mosan en Santa Catarina Palopó.....	30
<b>5. Metodología</b>	<b>36</b>
5.1. Fases de desarrollo de trabajo .....	36
5.1.1. Fase 1: Visitas técnicas.....	36
5.1.2. Fase 2: Diseño de sistema.....	36
5.1.3. Fase 3: Evaluación .....	37
5.1.4. Fase 4: Documentación de resultados.....	37
5.2. Viaje realizado .....	38

5.3. Requisitos .....	40
5.4. Análisis de sistema logístico .....	41
5.4.1. Análisis de rutas .....	41
5.4.2. Optimización de espacio .....	48
5.5. Cálculos de sistema de carga.....	53
5.5.1. Análisis de fuerzas .....	54
5.5.2. Análisis de esfuerzos.....	64
5.5.3. Selección de gato hidráulico .....	75
5.5.4. Análisis de pernos .....	79
5.5.5. Análisis de soldadura .....	84
5.5.6. Análisis de costo del sistema de carga .....	86
<b>6. Resultados</b>	<b>87</b>
6.1. Sistema logístico .....	87
6.2. Sistema de carga .....	91
<b>7. Análisis de resultados o discusión</b>	<b>92</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>94</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>95</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>96</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>100</b>

---

## Lista de figuras

---

Figura 1. Sanitario Ecológico Seco .....	02
Figura 2. Sistema de reciclaje de aguas negras y aguas grises.....	08
Figura 3. Sanitario Ecológico de tipo compost en una casa modelo Clivus .....	09
Figura 4. Sistema del Sanitario Ecológico en Flintenbreite, Alemania .....	10
Figura 5. Propiedades de aguas residuales en Europa .....	11
Figura 6. Diagrama del sanitario ecológico en el norte de Vietnam .....	12
Figura 7. Diagrama del Sanitario Ecológico en China .....	13
Figura 8. Diagrama del Sanitario Ecológico en China con tubo de ventilación.....	14
Figura 9. Diagrama de Sanitario Ecológico de doble depósito en India y Sri Lanka .....	15
Figura 10. Número de sanitarios ecológicos en Nepal por año.....	16
Figura 11. Sanitario Ecológico Arborloo en Zimbabue.....	17
Figura 12. Diagrama del sanitario ecológico “ <i>Sirdo Seco</i> ” en México .....	18
Figura 13. Sanitario Ecológico “ <i>Sirdo Seco</i> ” en México .....	19
Figura 14. Sanitario Ecológico <i>DAFF</i> en Guatemala.....	19
Figura 15. Sistema logístico de sanitario ecológico <i>Mosan</i> en Guatemala.....	20
Figura 16. Sanitario Ecológico <i>Mosan</i> en Guatemala .....	21
Figura 17. Inactivación de microorganismos en la orina a diferentes temperaturas .....	25
Figura 18. Grúa tipo brazo hidráulica .....	26
Figura 19. Grúa hidráulica.....	27
Figura 20. Elevador Hidráulico .....	27
Figura 21. Elevador con Winch.....	28
Figura 22. Sector 1 de recolección en Santa Catarina Palopó.....	29
Figura 23. Sector 2 de recolección en Santa Catarina Palopó.....	29
Figura 24. Sector 3 de recolección en Santa Catarina Palopó.....	30
Figura 25. Sector 4 de recolección en Santa Catarina Palopó.....	30
Figura 26. Planta de tratamiento de <i>Mosan</i> .....	31
Figura 27. Mecanismo de recolección.....	32
Figura 28. Amarre de mecanismo de recolección.....	32
Figura 29. Ruta 1 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito .....	38
Figura 30. Ruta 2 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito.....	39
Figura 31. Ruta 3 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito.....	40
Figura 32. Ruta 4 - Santa Catarina Palopó a Panajachel - Panajachel a Jaibalito.....	41

Figura 33. Toyota 22R y dimensiones de palangana .....	45
Figura 34. Distribución en palangana de pickup.....	46
Figura 35. Lista de 9 variables en Microsoft Excel.....	47
Figura 36. Restricción de carga.....	47
Figura 37. Restricción de peso .....	48
Figura 38. Restricción de volumen.....	48
Figura 39. Restricción de distribución de peso .....	49
Figura 40. Grúa tipo pluma marca VEVOR .....	49
Figura 41. Diagrama de sistema de carga .....	50
Figura 42. Diagrama de brazo telescópico .....	52
Figura 43. Diagrama de brazo principal.....	54
Figura 44. Diagrama de columna .....	56
Figura 45. Deflexión brazo telescópico.....	57
Figura 46. Viga en voladizo con carga puntual en el extremo.....	58
Figura 47. Viga en voladizo con carga puntual en cualquier punto .....	58
Figura 48. Diagrama de carga brazo telescópico .....	59
Figura 49. Diagramas de corte y momento brazo telescópico.....	60
Figura 50. Diagramas de carga brazo principañ .....	61
Figura 51. Diagramas de corte y momento brazo principal.....	62
Figura 52. Diagramas de cargas a flexión columna.....	63
Figura 53. Diagramas de corte y momento .....	64
Figura 54. Catálogo de tubos acero A36.....	66
Figura 55. Dimensiones de perfil cuadrado .....	66
Figura 56. Dimensiones de perfil circular .....	67
Figura 57. Ciclo de esfuerzos en el tiempo.....	68
Figura 58. Gatos de tipo botella .....	71
Figura 59. Selección de gato hidráulico .....	71
Figura 60. Altura suelo a palangana en Toyota 22R .....	72
Figura 61. Extensión gato hidráulico.....	72
Figura 62. Dimensiones de pluma hidráulica en reposo .....	73
Figura 63. Dimensiones de pluma hidráulica con gato extendido .....	78
Figura 64. Designación de pernos hexagonales .....	79
Figura 65. Designación de pernos hexagonales grado 8.8 .....	80
Figura 66. Tornillos en grúa .....	81
Figura 67. Esfuerzo de corte simple.....	81
Figura 68. Esfuerzo de corte doble.....	82
Figura 69. Esfuerzo de corte doble.....	83
Figura 70. Ubicación de soldadura.....	84
Figura 71. Caso Soldadura a flexión.....	84
Figura 72. Caso Soldadura a flexión electrodo .....	85
Figura 73. Caso Soldadura a flexión esfuerzo.....	85

Figura 74. Programación del sistema logístico .....	87
Figura 75. Ruta 4 - Santa Catarina Palopó a Panajachel - Panajachel a Jaibalito .....	88
Figura 76. Diagrama de distribución de toneles.....	90
Figura 77. Sistema de carga.....	91
Figura 78. Bitácora de actividades .....	101
Figura 79. Reunión con Mosan 1 .....	102
Figura 80. Reunión con Mosan 2 .....	103
Figura 81. Reunión con Mosan 3 .....	103
Figura 82. Reunión con Mosan 4 .....	104
Figura 83. Historial de heces y orina por familia .....	105
Figura 84. Historial de heces y orina por familia .....	105
Figura 85. Masa y tiempo de pirólisis.....	106
Figura 86. Masa y tiempo de pirólisis.....	107
Figura 87. Planta de tratamiento.....	108
Figura 88. Tratamiento de orina 1 .....	109
Figura 89. Tratamiento de heces .....	110
Figura 90. Tratamiento de orina 2.....	110
Figura 91. Cáscara de coco para quemar con heces .....	111
Figura 92. Reactor para producción de biocarbón por medio de Pirólisis.....	112
Figura 93. Mezcla de heces,desechos orgánicos y aserrín.....	112
Figura 94. Pirólisis 1 .....	113
Figura 95. Pirólisis 2.....	113
Figura 96. Pirólisis 3.....	114
Figura 97. Pirólisis finalizada .....	114
Figura 98. Entrevista con operario .....	115
Figura 99. Producto final: Biocarbón .....	115
Figura 100. Biocarbón 1 .....	116
Figura 101. Biocarbón 2 .....	117
Figura 102. Biocarbón 3 .....	118
Figura 103. Pruebas con biocarbón .....	119
Figura 104. Inicio de recolección .....	120
Figura 105. Contenido dentro del tonel.....	121
Figura 106. Recolección de cubetas con residuos 1 .....	122
Figura 107. Recolección de cubetas con residuos 2 .....	123
Figura 108. Cubetas de heces y orina .....	124
Figura 109. Camino de recolección 1.....	125
Figura 110. Camino de recolección 2.....	125
Figura 111. Camino de recolección 3.....	126
Figura 112. Recolección de cubetas 1.....	126
Figura 113. Recolección de cubetas 2.....	127
Figura 114. Recolección de cubetas 3.....	127

Figura 115. Regreso a planta de tratamiento 1 .....	128
Figura 116. Regreso a planta de tratamiento 2 .....	128
Figura 117. Regreso a planta de tratamiento 3 .....	129
Figura 118. Regreso a planta de tratamiento 4 .....	130
Figura 119. Viaje a Jaibalito.....	130
Figura 120. Medición de calles en Jaibalito 1 .....	131
Figura 121. Medición de calles en Jaibalito 2 .....	131
Figura 122. Camino a escuela .....	132
Figura 123. Instalación de sanitario en escuela.....	133
Figura 124. Drenaje de heces 1 .....	134
Figura 125. Drenaje de heces 2.....	134
Figura 126. Baño en escuela.....	135
Figura 127. Consulta con Ing. Rosales.....	136
Figura 128. Pluma Hidráulica en Taller Metal Mecánica de la UVG.....	137
Figura 129. Gatos hidráulicos 1.....	138
Figura 130. Gatos hidráulicos 2.....	138
Figura 131. Valores para el factor por condición superficial .....	139
Figura 132. Valor para factor de tamaño .....	139
Figura 133. Valor para factor de temperatura.....	139
Figura 134. Resistencias a la tensión a diferentes temperaturas.....	140
Figura 135. Factor de confiabilidad.....	140

---

Lista de tablas

---

Tabla 1. Costos de sanitarios ecológicos .....	24
Tabla 2. Observaciones de sistema logístico y producción de biocarbón.....	36
Tabla 3. Tiempos de viaje recorrido 1.....	36
Tabla 4. Requisitos sistema logístico .....	37
Tabla 5. Requisitos de sistema de carga.....	37
Tabla 6. Costo por kilómetro de cada variable.....	43
Tabla 7. Costo por kilómetro .....	43
Tabla 8. Comparación de rutas.....	44
Tabla 9. Descripción de toneles .....	47
Tabla 10. Dimensiones de tubos cuadrados diseñados.....	66
Tabla 11. Dimensión de tubo circular diseñado .....	67
Tabla 12. Criterio de selección por factor.....	69
Tabla 13. Características de toneles.....	70
Tabla 14. Cotizaciones.....	86
Tabla 15. Comparación de rutas.....	89
Tabla 16. Distribución de toneles en el pickup .....	89
Tabla 17. Componentes y costo de sistema de carga.....	91



---

## Resumen

---

Actualmente, en el mundo los sanitarios ecológicos se encuentran en una fase primaria de expansión, donde cada día se construye un nuevo sanitario ecológico que intentan solucionar el problema de saneamiento y escasez de agua en el mundo. En el caso de Guatemala, existió un sanitario ecológico llamado DAFF pero su implementación no fue la correcta y fracasó como proyecto.

Una década después del sanitario ecológico DAFF, surge un nuevo sanitario ecológico diseñado y fabricado por una nueva empresa, cuyo nombre es Mosan. Mosan es una empresa internacional que ofrece servicios de saneamiento en sus establecimientos. Han implementado su sanitario ecológico seco en Bangladesh donde el sanitario ecológico y su sistema logístico fue un éxito.

Desde septiembre de 2018 Mosan inició sus operaciones en el municipio Santa Catarina Palopó en el departamento Sololá, Guatemala. Mosan, por medio de su servicio, demuestra que la recolección, el tratamiento y los beneficios de los residuos humanos proveen una solución a problemas de higiene, salud, escasez de agua e incremento de producción de cultivos por medio de su producto final, el biocarbón.

Para comprender la operación de Mosan en Santa Catarina Palopó se realizó un viaje en donde se logró ver las operaciones de Mosan y los obstáculos que enfrentan con la recolección de residuos. El viaje sirvió para tomar en cuenta aquellas restricciones que se deben de tomar en cuenta en el sistema logístico y en el sistema de carga.

La solución se realiza por medio de una programación lineal que además de proporcionar la cantidad y distribución de los toneles en la palangana de un pickup, también, proporciona los costos que influyen en la transportación de los residuos hacia la planta. Por otro lado, para que el sistema logístico funcione con seguridad se realizó un diseño y simulación de un sistema de carga que pueda cargar la cantidad de toneles adecuada en la palangana del pickup.



# CAPÍTULO 1

---

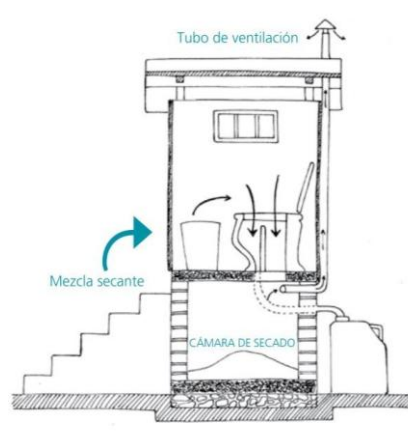
## Introducción

---

El saneamiento se define como la acción de sanear, sin embargo, la OMS la define como un derecho de toda persona en tener un acceso físico y económico a servicios de saneamiento que sean seguros, higiénicos y aceptables social y culturalmente («El derecho humano al agua potable y saneamiento», 2011). Es importante un saneamiento básico para evitar la propagación de enfermedades y daños a recursos naturales.

De acuerdo con el Manual de Construcción de Baño Ecológico Seco de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2020), especifica todos los procedimientos adecuados en la instalación de un sanitario ecológico seco que pretende ayudar a poblados rurales que tienen dificultades con servicios de agua y saneamiento. Estos proyectos, con frecuencia, instalan el sanitario ecológico seco sin antes realizar un análisis de riesgos que puedan existir al ser utilizados. Los análisis o pruebas de riesgos son parte de los fundamentos críticos de un saneamiento básico. Estos análisis implican pruebas de enfermedades que puedan surgir y la solución al problema de olores indeseables.

**Figura 1**  
*Sanitario Ecológico Seco*



*Nota. La imagen demuestra el funcionamiento de un sanitario ecológico seco. Adaptado de Universidad Nacional Autónoma de México, 2020.*

El libro *Ecological Sanitation* por Uno Winblad publicado en 1998 (Winblad y Simpson-Hébert, 2004) explica que los proyectos de sanitarios ecológicos empiezan con un planteamiento estratégico. El libro fomenta que sin un buen planteamiento estratégico en un sanitario ecológico puede provocar una catástrofe hasta más grande que el problema. Otro de los aspectos más importantes del libro es que determina que los sanitarios ecológicos funcionan en países de recursos abundantes o potencias mundiales. Los sanitarios ecológicos son una solución al derecho de saneamiento, pero se deben de hacer más investigaciones en países con escasez de agua. En la versión más reciente del mismo libro publicada en 2004 se obtienen ventajas de tecnologías de saneamiento y resultados coherentes. La nueva versión reconoce lo asequible que es un sanitario ecológico bajo condiciones físicas y culturales. Es decir, se cumple uno de los criterios establecidos en el derecho de saneamiento. Además, hace un análisis de cómo evitar riesgos de enfermedades y como los nutrientes pueden ser utilizados en la tierra. De esta manera, surgen 2 tipos de sanitarios ecológicos secos; de tipo deshidratación y de tipo compost.

Los artículos de Kumwenda (2017) y Austin (2000) mencionan todos los obstáculos o retos en la instalación de un sanitario ecológico. Por medio de pruebas ensayo y error identifican las enfermedades más comunes que ocurren en los sanitarios ecológicos. Las enfermedades *Salmonella* y *E. coli* no son tratadas llegan a ser letales, especialmente en países con escasez de agua. El estudio fue realizado en Malawi en donde también se obtiene un presupuesto de un sanitario ecológico que es menor a 50 dólares. Se menciona el surgimiento de un nuevo problema, la distribución de residuos (Kumwenda y et al., 2017; Austin, 2000).

Otro artículo sobre sanitarios ecológicos explica el rendimiento de estos en África (Nakagiri y et al., 2016). Se obtienen resultados no satisfactorios, reiterando el olor indeseable como un problema principal seguido por las enfermedades. Generan el debate que los sanitarios ecológicos sólo funcionan con agua, haciéndolos así más higiénicos. Las investigaciones de Biplop (2011) y Harada (2020) afirmó lo siguiente:

refutan los argumentos de que sí se puede implementar un sanitario ecológico seco solucionando tanto el problema de olores indeseables, enfermedades y distribución de heces. El estudio se realizó en Vietnam y Bangladesh en el cual se obtienen resultados satisfactorios y aspectos que se deben de mejora (Harada, 2020; Biplop y et al., 2011).

Una investigación provee la solución de la distribución de residuos (Morán, 2012). La investigación propone un diseño de una red de alcantarillado sanitario empleando ecotecnologías. Sin embargo, el alcantarillado depende en su totalidad del agua de recolección de lluvia en donde es de suma importancia no solo la distribución del agua sino la calidad de esta para que los usuarios del sanitario puedan mantener una buena higiene. Otra investigación fabrica un prototipo de un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia doméstico (Carvajal, 2016). Este prototipo tiene el propósito de no solo recolectar agua de lluvia y ser utilizada para la distribución de residuos sino también como agua potable. Menciona que tan factible es implementar este sistema en países tropicales, donde llueva con frecuencia, y que tanto se puede aprovechar.

En Guatemala, existe el sanitario ecológico Mosan (Logli, 2020). Mosan es una empresa que se dedica en el sistema circular y regenerativo de saneamiento en Santa Catarina Palopó. El sanitario ecológico Mosan ganó el premio del diseño con los estándares más altos, facilidad de uso, durabilidad y bajo mantenimiento. El diseño se concibe en un diseño participativo con las comunidades del lugar y sus socios. Se obtienen resultados satisfactorios disminuyendo el problema de la cantidad de residuos en el Lago de Atitlán y manteniéndose en operación tanto como la fabricación del sanitario ecológico como en el servicio de colecta de residuos.

Actualmente, Mosan ha estado expandiendo su servicio en los municipios de Santa Catarina Palopó, Jaibalito y Panajachel. Sin embargo, ellos desean determinar los costos, tiempos y las rutas disponibles que están sujetos a la recolección de residuos para una escuela en Jaibalito. En un futuro, ellos desean comprar un vehículo tipo pickup que facilite la recolección de residuos en todos los municipios mencionados, sin embargo, al contar con solo un operario este deberá de recolectar, cargar y transportar todos los toneles con residuos a la planta en Santa Catarina Palopó. Sin embargo, los toneles pueden llegar a un peso de más de 100 libras y el límite de carga para una persona es de 50 libras. Asimismo, se requiere un mecanismo que ayude al operario en cargar los toneles y facilite la recolección de residuos tanto en Santa Catarina Palopó como en Jaibalito.

## CAPÍTULO 2

---

### Justificación

---

El derecho humano al saneamiento se acordó en el 2009 y este se define como un “sistema para la recolección, el transporte, el tratamiento y la eliminación o reutilización de excrementos humanos y la correspondiente promoción de la higiene” (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, 1996). Según la ONU, el derecho al saneamiento implica que toda persona, sin ningún tipo de discriminación, debe tener acceso físico y económico a servicios de saneamiento que sean seguros, higiénicos, aceptables social y culturalmente. Aproximadamente, 2,400 millones de personas carecen de acceso a servicios básicos de saneamiento, como retretes y letrinas («1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable», 2019).

El saneamiento es un problema que ha estado desde hace dos décadas afectando los lagos de Guatemala sin una solución concreta. Según la Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana, Funcagua, el Lago de Atitlán no tiene ningún tratamiento a las aguas residuales generadas por más de 250,000 habitantes que habitan las orillas del lago. Está contaminando y se ha visto que existe un incumplimiento de los principios normativos de varios derechos fundamentales. Según la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), el Lago de Atitlán en 2021 recibió 500 litros de aguas negras cada segundo (Mendía, 2021).

Por otro lado, existen iniciativas como Mosan, una empresa social internacional, que ofrecen un servicio de saneamiento seco sin necesidad de drenaje ni de alguna instalación adicional en el hogar. La empresa Mosan surgió en el 2010 en Bangladesh como un proyecto de saneamiento en colaboración con el MIT D-Lab. Mosan, por más de una década, ha mejorado a nivel tecnológico su sanitario ecológico y lo ha implementado en varios lugares del mundo. Desde septiembre de 2018 Mosan empezó a operar en Santa Catarina Palopón en el Lago de Atitlán en Sololá. Hasta ahora, Mosan ha acomodado su sanitario ecológico en más de 1,000 hogares.

El siguiente trabajo de investigación busca ayudar a Mosan a incorporar un sistema logístico en una escuela fuera de su base de operación actual para la recolección de desechos humanos y que estos sean transportados con facilidad a su planta de tratamiento en Santa Catarina Palopón. Esto, con la intención de proporcionar a Mosan facilidad en la recolección de residuos humanos y replicar el modelo a otros centros educativos que deseen implementar el sanitario ecológico seco. Este proyecto funcionaría como una solución a la necesidad de un saneamiento seguro y con mira a reducir los ingresos de aguas residuales en el Lago de Atitlán.

#### **3.1. Objetivo general**

- 1. Implementar un sistema logístico de recolección y transporte de residuos humanos para una escuela en Jaibalito, Sololá.*
- 2. Diseñar un sistema de carga de toneles con residuos humanos de los sanitarios ecológicos Mosan que facilite el traslado a la planta de tratamiento en Santa Catarina Palopó.*

#### **3.2. Objetivos específicos**

- 1. Determinar los requisitos que debe cumplir el sistema logístico para satisfacer a los usuarios de la escuela en Jaibalito.*
- 2. Definir y documentar el proceso de transporte de residuos.*
- 3. Determinar el costo de operación del sistema logístico.*
- 4. Determinar los requisitos que debe de cumplir el sistema de carga de toneles con residuos.*
- 5. Diseñar un sistema de carga para evaluación por parte de Mosan.*

## CAPÍTULO 4

---

### Marco teórico

---

La investigación, que se desarrolla a continuación, permite conocer los conceptos básicos para el entendimiento del desarrollo de este proyecto.

Primero, se inicia con la investigación de sistemas logísticos funcionales como el de los sanitarios ecológicos en el mundo con el fin de comprender el impacto que han traído en las comunidades implementadas. Además, brinda una ayuda a una buena organización y planeación para tomar decisiones más acertadas para Mosan en implementar su sanitario ecológico móvil en una escuela en Santa Catarina Palopó.

Segundo, se describirá el almacenamiento de residuos. Se conocerán distintos tipos de almacenamiento, con el fin de determinar cuál será el más apropiado para Mosan en el proyecto en Jaibalito. Posteriormente, se debe de optimizar el proceso de transporte de residuos. Para ello, la investigación sirve como una solución de logística, cuyo objetivo es determinar cuánta cantidad de residuos y cuándo se deberían de extraer para luego ser enviadas a Mosan, donde se les hará el tratamiento necesario.

Por último, se describirá la investigación de sistemas de levantamiento de cargas. Se conocerán distintos sistemas con el fin de implementar este sistema en uno de los vehículos de Mosan. Esto facilitará el trabajo de los operarios que cargan y transportan los residuos. Con este marco teórico se podrá comprender el desarrollo del proyecto que se detalla más adelante.

## 4.1. Sistemas logísticos de sanitarios ecológicos

“Los sistemas logísticos son un pilar de la cadena de suministro que planifica, almacena, transporta, implementa y controla el flujo eficiente y eficaz de productos, servicios e información entre el punto de origen y el punto de consumo, con el fin de satisfacer al cliente y los requerimientos legales” (Agnessy y Martínez, s.f., pg. 1)

Los sistemas logísticos de los sanitarios ecológicos empiezan desde el diseño e implementación de estos mismos. Siempre hay una razón del por qué se utiliza cierto diseño endeterminado lugar, ya sea por el clima, escasez de agua, etc. El objetivo no es solo investigar distintos modelos de sanitarios ecológicos, sino obtener los resultados del tratamiento realizado, el éxito de los proyectos y los costos que se incurren.

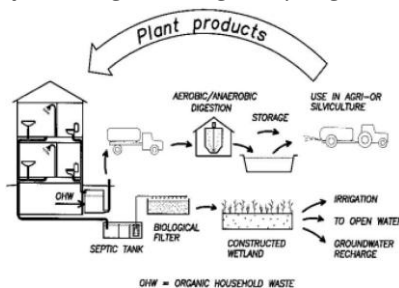
### 4.1.1. Europa

#### Noruega

Desde la última década, el saneamiento ecológico ha formado gran parte en el reciclaje y conservación de agua en Noruega. Esto se debe a los resultados satisfactorios en proyectos donde los residuos son procesados correctamente. En Oslo, capital de Noruega, se le da tratamiento a aguas grises de 33 hogares y a la Universidad Agrícola de Noruega se aplica un sistema de reciclaje completo basado en higienización aeróbica en aguas negras en 24 apartamentos de estudiantes propios de la universidad. Se determina que los nutrientes en aguas residuales son lo suficientes para fertilizar cultivos para alimentar a la población (Jenssen, 2002). Con los sanitarios ecológicos operando en estas áreas se obtiene que el humano produce 5-7 litros de aguas negras por día (Gulbrandsen, 1999).

### Figura 2

*Sistema de reciclaje de aguas negras y aguas grises*



Nota. La imagen demuestra el ciclo de reciclado completo separando los tratamientos de aguas negras y grises. Adaptado de P. Jenssen, 2002, EcoSanRes.

La Figura 2 demuestra los distintos tratamientos que se le da a los residuos. Utilizando un sanitario ecológico seco, el tratamiento de aguas negras consiste en realizar un compost líquido que luego es higienizado para remover cualquier olor indeseable.

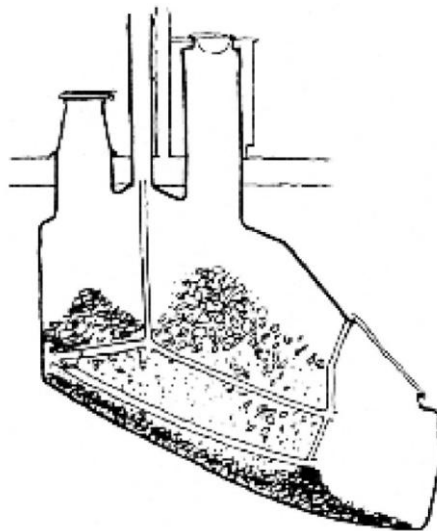
Estos sanitarios ecológicos se les aplicó los tratamientos de digestión aeróbica, ya que los de digestión anaeróbica no valen la pena en Noruega. Esto se debe a tanto las medidas de seguridad como al clima que hay en el país, sin embargo, hay trabajos que están investigando el uso de digestión anaeróbica en climas fríos (Jenssen, 2002). La experiencia de Noruega es bastante satisfactoria ya que cumple casi cero emisiones de gases y un completo reciclaje de residuos.

### Suecia

Suecia empezó a utilizar los sanitarios ecológicos hace más de 50 años. Desde entonces, se han comercializado distintos modelos que se utilizan en otras partes del mundo como en Norte América y Australia. El modelo inicial o más básico se llama "Clivus" que fue desarrollado por Richard Lindstrom. El modelo consiste de una bóveda inclinada donde se mezclan los residuos para ser utilizados como compost (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

### Figura 3

*Sanitario Ecológico de tipo compost en una casa modelo Clivus*



*Nota. La imagen muestra el sanitario ecológico diseñado por Richard Lindstrom alrededor del año 1940. El sanitario ecológico también contiene un compartimiento para sobras de comida en la cocina. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

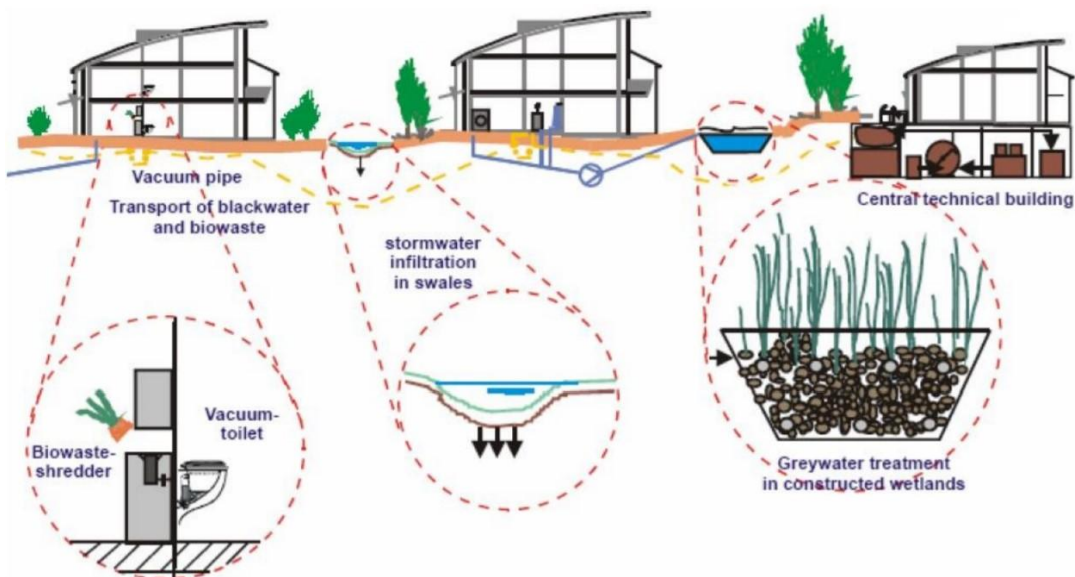
Del primer modelo surgen varios otros modelos que cumplen con el mismo objetivo, pero el funcionamiento es diferente. En cuanto a los sistemas de colecta de residuos, en todos los proyectos de sanitarios ecológicos la municipalidad o cualquier otra autoridad está involucrada en estos sistemas. Ellos son los encargados de extraer los residuos de los depósitos, darle su respectivo tratamiento de higienización y venderlo a cualquier persona que le puede interesar como un fertilizante. El costo de cada sanitario ecológico es de 3,000 \$ y el costo de extracción de orina y de feces es de 500 y 600 \$ por mes respectivamente. Sin embargo, la extracción únicamente es cuando el depósito esté lleno. También, cada propietario del apartamento es responsable de la limpieza de su baño, así como el control de sus residuos (Druitt, 2009).

### Alemania

Los sanitarios ecológicos de Alemania, la mayoría utilizan agua, pero estos aprovechan el agua para ser utilizada en jardines o parques con el propósito de demostrar lo sustentable que es el modelo desarrollado.

**Figura 4**

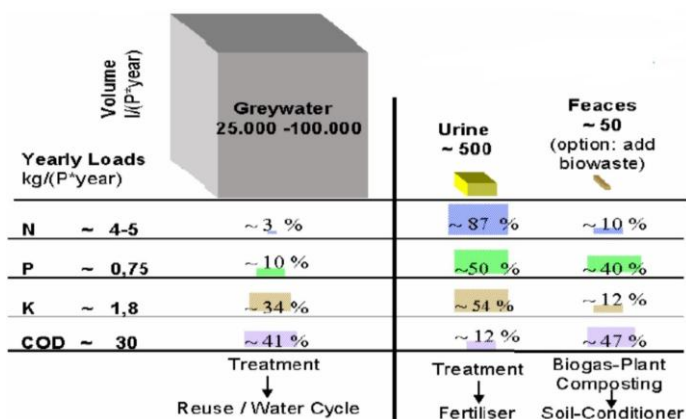
*Sistema del Sanitario Ecológico en Flintenbreite, Alemania*



*Nota. La imagen demuestra cómo se colectan las aguas negras y grises con su respectivo tratamiento para una capacidad de 350 habitantes. Adaptado de T. Ganinron Jr, 2015, Science and Engineering Research Support Society.*

En la Figura 4 se reconoce que se utilizan inodoros al vacío con 0.7 litros por descarga. Las aguas negras son recolectadas y procesadas con residuos orgánicos por medio de una digestión anaeróbica después una sanitización térmica. El biogas producido se utiliza como calor y potencia en un generador. También, los residuos se transportan a la agricultura para ser utilizados como fertilizante (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

**Figura 5**  
*Propiedades de aguas residuales en Europa*



*Nota. La imagen muestra los diferentes volúmenes de las aguas residuales en Europa con su respectivo tratamiento de agua. Adaptado de T. Ganiron Jr, 2015, Science and Engineering Research Support Society.*

La Figura 5 indica que la orina se considera un recurso rico en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) lo cual lo hace ideal para un fertilizante. Por otro lado, las heces son ricas en humus que sirve como un acondicionador en la tierra (Ganiron Jr, 2015).

El proyecto fue realizado por la inversión de un banco y una empresa privada con el propósito de determinar si era factible el proyecto. Después de realizar un análisis de 350 personas, determinaron que el proyecto sí es factible. El costo de construcción del inodoro era menor que el de un inodoro normal en un 46 % y las personas obtuvieron un resultado satisfactorio en la operación de estos inodoros en un 68 % (Ganiron Jr, 2015).

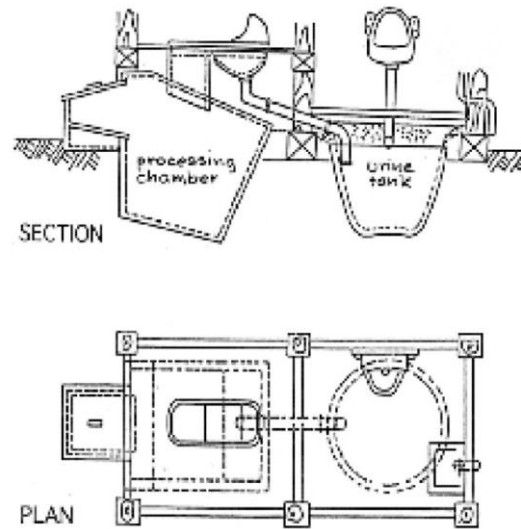
#### 4.1.2. Asia

##### Vietnam

En Vietnam se utiliza un modelo de sanitario ecológico clásico de doble depósito. Se utiliza abiertamente en Vietnam desde más de 25 años y se utiliza también en China, México y Suecia (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

## Figura 6

### Diagrama del sanitario ecológico en el norte de Vietnam



*Nota. La imagen expone un diagrama de un sanitario ecológico utilizado en Vietnam, asimismo, con los compartimientos de orina y heces y el plano de diseño. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

En Vietnam es común utilizar heces frescas para fertilizar los campos de arroz. Sin embargo, esta práctica es muy peligrosa por los riesgos de salud que se presentan. Debido a esto se construyeron los sanitarios ecológicos de la Figura No. 6 los cuales tienen el propósito de eliminar patógenos antes que las heces fueran expuestas a los campos de arroz (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

El inodoro consiste en dos cámaras con un volumen de aproximadamente 0.3 metros cúbicos. Estas cámaras son selladas hasta que sea tiempo de vaciarlas. Para reducir cualquier olor indeseable utilizan ceniza. Estas absorben la humedad de las heces y ahuyentan a las moscas. Por otro lado, la orina se colecta en un tanque con ceniza que al agregarle agua olimón se puede utilizar como fertilizante (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

La primera cámara de residuos se llena en aproximadamente 4-5 meses en un hogar de 4-6 personas. Al momento de llenarse los usuarios son responsables de sellar esta cámara y abrir la segunda cámara. Ya cuando se llene la segunda cámara se tendrá que abrir la primera y vaciarla. Al vaciarla se tendrán residuos deshidratados, sin olor, y que pueden ser utilizados como fertilizantes (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

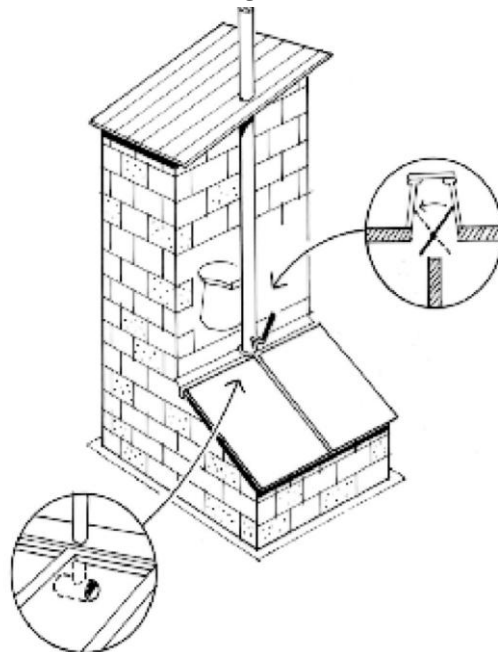
El único problema fue que los granjeros vaciaban las cámaras cuando querían fertilizante y esto es tiempo de procesamiento perdido y eran heces aun frescas. Para ello, The Nha Trang Institute recomendó una retención de residuos de 6 meses y para climas fríos un tiempo de retención de 10 meses (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

## China

En China se modificó el sanitario ecológico de Vietnam en los años 1997-1999. Los sanitarios se instalaron en varias provincias de China con la ayuda del programa de la Unicef y el Ministerio de Salud de China, SanRes. Estos sanitarios se colocan a 2-3 pisos del suelo donde los residuos caen dentro de la cámara por medio de un tubo PVC de 20 cm de diámetro. Nuevamente, el sanitario consiste de dos cámaras o depósitos, pero esta vez una es para la orina y la otra para las heces. Estas se abren conforme una válvula que abre una cámara y cerrará la otra. Además, se tiene un tubo de ventilación que se extiende por encima del techo para ventilar y evitar olores indeseables. Por medio de este proyecto fue que surgieron las comunidades sostenibles ya que este fue uno de los tantos proyectos ecológicos que se realizaron en las mismas provincias de China (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

### Figura 7

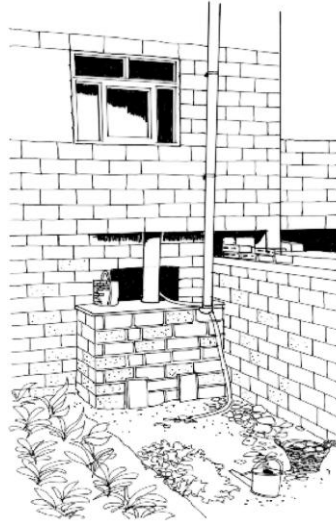
*Diagrama del Sanitario Ecológico en China*



*Nota. La imagen expone un diagrama/dibujo simple del sanitario ecológico implementado en China. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

## Figura 8

### *Diagrama del Sanitario Ecológico en China con tubo de ventilación*



*Nota. La imagen expone el sistema de ventilación para sanitario ecológico en China. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

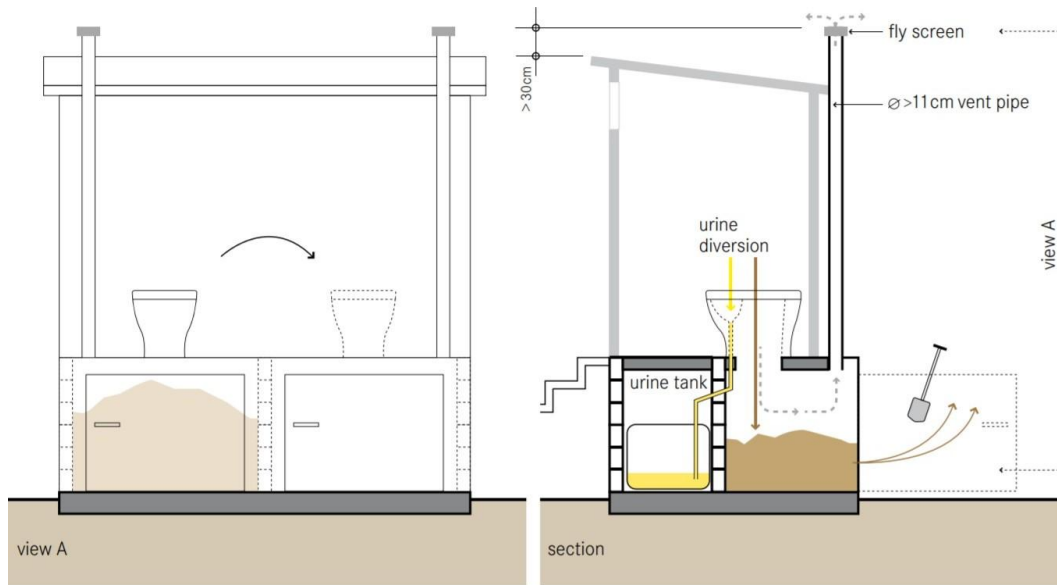
El programa SanRes fue un total éxito en las provincias de China. El sanitario ecológico tiene un costo de los materiales de 35 \$. Al tener un costo muy bajo, comparado a la instalación de una fosa séptica, muchos negocios de diferentes partes de China producen varios modelos, obteniendo así un precio de venta de 40 a 50 \$. Ahora, más de 100,000 familias en otras provincias de China tienen instalado este sanitario ecológico. Se estima que hay instalados 685,000 sanitarios en 17 provincias (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

## **India y Sri Lanka**

En India y Sri Lanka no se podía utilizar el mismo modelo de Vietnam porque este fue desarrollado para personas que utilizan papel higiénico, hojas secas, etc. En otras culturas, utilizan agua. Para ello, se rediseñó el sanitario ecológico de Vietnam para que se apropiaraa este requisito. Paul Calvert fue el que diseñó el siguiente modelo.

## Figura 9

### *Diagrama de Sanitario Ecológico de doble depósito en India y Sri Lanka*



*Nota. La imagen expone el sistema de ventilación para sanitario ecológico en China. Adaptado de Tilley et al., 2014, Compendium of Sanitation Systems and Technologies.*

Este modelo funciona como una cama de evotranspiración y dependiendo del espacio se puede instalar una ducha y cocina que requiere de poco mantenimiento. Este modelo está instalado en más de 300 hogares en Kerala, India y han estado operando desde 1995. Debido al éxito de este diseño se instaló en Sri Lanka en el 2000 (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

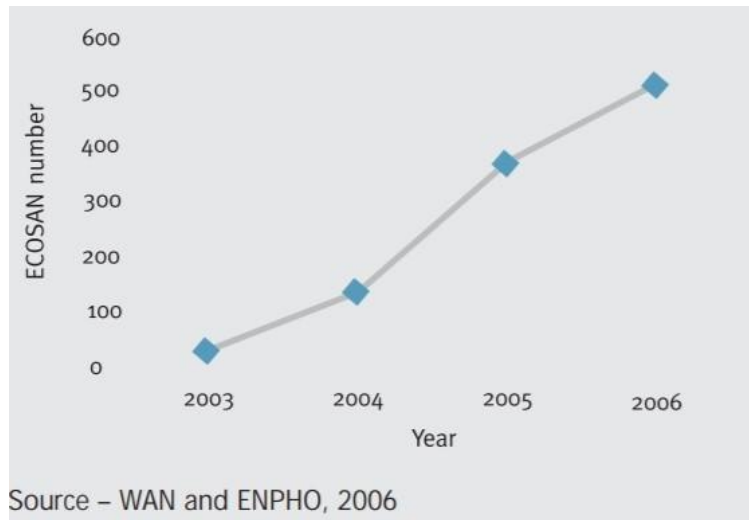
El modelo por Paul Calvert demuestra que funciona bien en climas húmedos y con un sistema de doble depósito con división de orina y un proceso de descomposición de residuos. Hasta la fecha sigue funcionando y ha tenido un impacto en la población de Kerala en cuanto la educación de higiene (Winblad y Simpson-Hébert, 2004). El costo del sanitario es entre 80 a 150 \$ dependiendo de la estructura y los acabados (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

## Nepal

En Nepal se demuestra el impacto y resultados satisfactorios que han tenido los sanitarios ecológicos en Asia. En el 2006, tenían instalado más de 500 sanitarios ecológicos.

## Figura 10

*Número de sanitarios ecológicos en Nepal por año*



*Nota. La imagen expone una gráfica del crecimiento del uso de los sanitarios ecológicos en Nepal por año. Adaptado de Rajbhandari, 2008, WaterAid Nepal.*

En la Figura 10 se puede apreciar que Nepal, dentro de 4 años, ha construido 517 sanitarios ecológicos en donde el 97 % funcionan apropiadamente, son limpios y utilizados como compost para fertilizante en la agricultura (Rajbhandari, 2008).

El gobierno Nepalí reconoce los sanitarios ecológicos como uno de las alternativas más importantes e inevitables para solucionar el problema del saneamiento. De esta manera, siguen promocionando esta idea a otros valles de Nepal y realizando modificaciones en algunos sanitarios ecológicos que se apropien a las condiciones de clima del país y la tecnología que se tiene. Además, la población de Nepal tiene una percepción positiva de este proyecto. Resulta que el 71 % ha tenido una percepción de los sanitarios ecológicos y se espera expandir este proyecto a más áreas rurales de Nepal (Rajbhandari, 2008).

### 4.1.3. África

#### Etiopía

En Etiopía se utiliza un sanitario ecológico básico, en donde utiliza las heces y la orina diluida con agua como fertilizante. Este es un programa piloto para determinar el éxito de los sanitarios ecológicos en África. La implementación de los sanitarios ecológicos en África no sólo se debe a la escasez de agua sino también en el incremento en el aumento en la industria de la agricultura en varias partes del mundo. Un pedazo de tierra de 10 metros cuadrados puede producir los suficientes vegetales para una familia de 3-5 personas y al aumentar a 40 metros cuadrados permite que ya se pueda generar un ingreso con lo que se produce (Ababa, 1999).

## Zimbabue

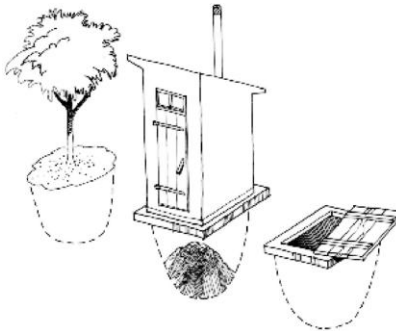
En Zimbabue, se aplica un sanitario ecológico similar a los tradicionales. El doctor Peter Morgan desarrollo una serie de modelos de bajo costo y de compost para Zimbabue. Estos fueron nombrados como: “*Arborloo*”, “*Fossa Alterna*” y “*Skyloo*” (Winblad y Simpson-Hébert,2004).

### **Arborloo:**

El sanitario ecológico, Arborloo, consiste en un hoyo cubierto con un tipo de compuerta. La orina y heces se depositan dentro del hoyo y luego se les cubre con tierra, hoja y resina. Cuando el hoyo está por llenarse se mueve el sanitario ecológico y se cubre lo que queda por llenar del hoyo con tierra. Luego, esta tierra se riega con agua y se planta un árbol encima. El sistema es un ciclo que dura 6-12 meses (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

### **Figura 11**

#### *Sanitario Ecológico Arborloo en Zimbabue*



*Nota. La imagen muestra un diagrama del sanitario ecológico Arborloo en Zimbaue. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

### **Fossa Alterna:**

El sanitario ecológico, Fossa Alterna, tiene un funcionamiento similar, pero consiste en dos hoyos y cercanos entre ellos. Cuando un hoyo se llena se empieza a utilizar el otro. El funcionamiento es igual que el del Arborloo. El propósito de este segundo hoyo es parapermitir que cuando se llene el primero pueda convertirse en un compost rico en nutrientesy más seguro de manejar (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

### **Skyloo:**

El sanitario ecológico, Skyloo, consiste en un sistema que desvía la orina a un tanque y las heces en un depósito o cubeta. El diseño de este sanitario ecológico se basa en el tradicional de Vietnam. La cubeta con heces se le agrega tierra, hojas y recina. Esta se remueve cada vez que se va al baño y el usuario es responsable de depositar la cubeta en un hoyo, dondenuevamente se agrega tierra (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

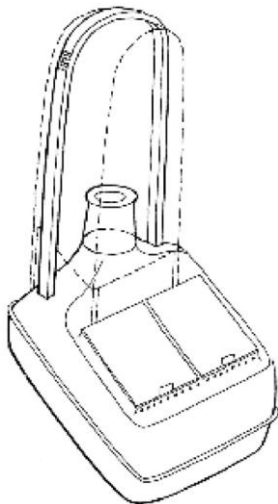
#### **4.1.4. Centroamérica y México**

##### **México**

En México se hizo un prototipo de un sanitario de doble depósito con calentamiento solar. El sanitario originalmente se desarrolló por Uno Winblad en Tanzania alrededor de los años 1970s. En el año 1980 fue desarrollado junto con Josefina Mena y el Grupo de Tecnología Alternativa en México. El diseño tiene como nombre “*Sirdo Seco*” y ha estado en producción desde 1987. Este modelo es muy similar al de Vietnam, pero funciona con 1 o 2 depósitos. Se recomienda tener 2 depósitos ya que disminuye el riesgo de salud y se aprovecha más los nutrientes para un fertilizante. El sanitario, al tener un sistema de calentamiento solar, acelera el proceso del compost (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

### **Figura 12**

*Diagrama del sanitario ecológico “Sirdo Seco” en México*



*Nota. La imagen muestra un diagrama del sanitario ecológico Sirdo Seco en México. Adaptado de Winblad y Simpson-Hébert, 2004, Stockholm Environment Institute.*

### **Figura 13**

#### *Sanitario Ecológico “Sirdo Seco” en México*



*Nota. La imagen muestra el sanitario ecológico Sirdo Seco en plantación de Aloe Vera en México. Adaptado de Grupo de Tecnología Alternativa, 2015.*

Los precios se encuentran en un rango de 227-282 \$ para los sanitarios de doble depósito y 190-226 \$ para los de solo un depósito. Este sanitario ecológico ha tenido buenos resultados y se ha utilizado por más de 20 años. Una de sus ventajas es que al ser ligero es un sanitariomóvil (Winblad y Simpson-Hébert, 2004).

#### **Guatemala**

##### **DAFF:**

En Guatemala se implementa una versión modificada de el de Vietnam, llamada DAFF. Este es una letrina seca de tipo compost. Consiste en dos depósitos uno para la orina y el otro para las feces. Este se le puede agregar ceniza, resina o tierra después de cada vez que se vaya al baño (Kaczala, 2006, pg.14).

### **Figura 14**

#### *Sanitario Ecológico DAFF en Guatemala*



*Nota. La imagen muestra el sanitario ecológico implementado en Guatemala. Adaptado de Kaczala, 2006.*

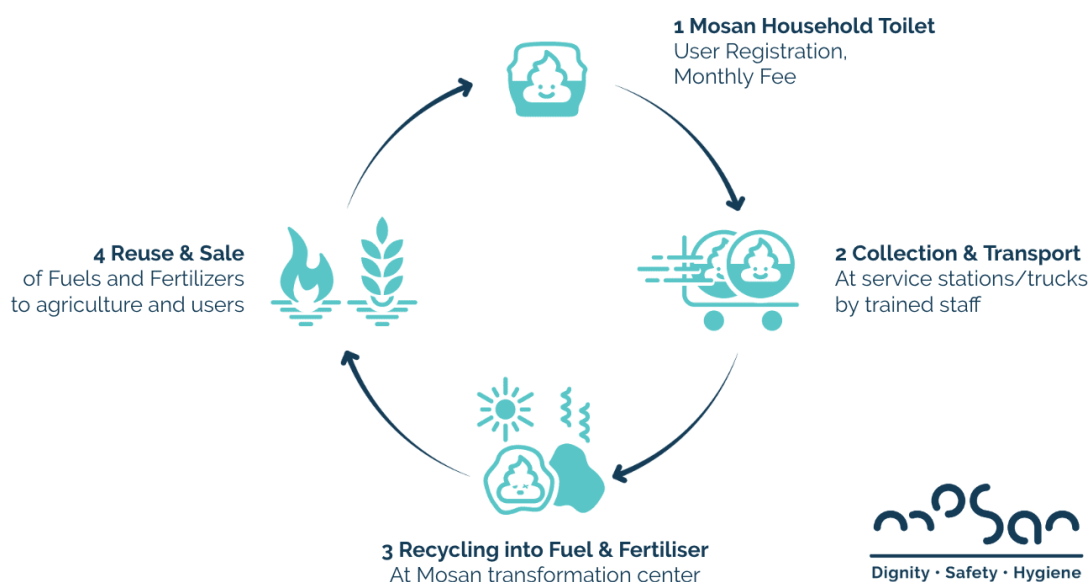
Este sistema fue promovido por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, pero debido a que no se utilizaba correctamente, no se le daba el mantenimiento apropiado y muy pocos usuarios lo utilizaban por lo que dejó de ser implementado. El costo del baño, incluida la mano de obra, es de aproximadamente \$ 40-100 siempre dependiendo de los materiales que se utilizan (Kaczala, 2006, pg.14).

### **Mosan:**

El sanitario ecológico más moderno es el sanitario ecológico móvil desarrollado por Mosan. Este sanitario no necesita drenaje, ni agua, ni algún químico e instalación en el hogar. Funciona con contenedores móviles. Mosan ofrece tanto el sanitario como el servicio de recolección de residuos humanos en Santa Catarina Palopó, Sololá. El servicio consiste en pagar una mensualidad en donde recibirán el inodoro y el servicio de recolección.

### **Figura 15**

*Sistema logístico de sanitario ecológico Mosan en Guatemala*



*Nota. La imagen muestra el un diagrama de las operaciones de Mosan en Guatemala. Adaptado de Logli, 2020.*

## Figura 16

### *Sanitario Ecológico Mosan en Guatemala*



*Nota. La imagen expone el funcionamiento del sanitario ecológico seco Mosan implementado en Guatemala. Adaptado de Logli, 2020.*

El sanitario consiste de dos contenedores móviles para la orina y heces. Este para evitar olores utiliza aserrín para las heces y para la orina utiliza una válvula que evita que los olores salgan del inodoro. El servicio de saneamiento inició en el 2018 en donde se fue mejorando el servicio y el tratamiento de las heces.

### **El Salvador**

En El Salvador se utilizan sanitarios ecológicos de deshidratación de doble depósito (tipo DAFF) en el barrio Hermosa Provincia. El barrio carece de agua y nunca se les dió un enfoque en el servicio del agua. Por lo que, se instalaron 130 sanitarios ecológicos en los 130 hogares que hay. Este proyecto ha estado funcionando debido a la alta participación de la comunidad de Hermosa Provincia. Sin embargo, en este barrio no hay tierra para sembrar cultivo, por lo que todo residuo era vendido. El barrio Hermosa Provincia es un buen ejemplo del uso de los sanitarios ecológicos en comunidades pobres con escasez de agua y dentro de la ciudad.

## **4.2. Costos de sanitarios ecológicos**

La conveniencia de los sistemas de saneamiento ecológico explica si la instalación de un sanitario ecológico, aparte de sus beneficios al ambiente, traen algún beneficio o utilidad neta. Esto depende fuertemente de factores como el clima, riesgos de salud, entre otros. El empleo de orina como fertilizante permitirá aminorar los costos ambientales producidos por el uso de agroquímicos y obtener mayores productividades en los cultivos. Al imponer un sanitario seco no imponen un costo ambiental y permite a la comunidad ahorrar el costo ambiental que podría imponer cada familia. Estas tecnologías de saneamiento conllevan ventajas ambientales significativas y el costo es relativamente bajo para las familias en las comunidades donde se implementan (Moreno, 2009, pg.9).

Para el inicio de cualquier proyecto de saneamiento ecológico es importante reconocer el aspecto cultural y las modificaciones que se realizan a cualquier modelo. Estas son barreras a la implementación de tecnologías de saneamiento ecológico. En el aspecto cultural, las familias deben aceptar el uso de un sanitario ecológico y acostumbrarse a ellos. Deberán de entender el costo ambiental y que nos afecta a todos. Por otro lado, las modificaciones, la viabilidad física de cambiar los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales por las tecnologías de saneamiento ecológico puede ser una gran limitante y también la modificación al modelo tradicional que se cree que se adecúe más por las condiciones en donde se implementa, pero no será aceptada por aspectos culturales (Moreno, 2009, pg.10).

Cuando se habla de costos en instalar un sistema de alcantarillado de agua existen varios. Entre ellos, costos económicos, costos ambientales, costos de salud y costos políticos (Werner, 2001).

### **Costos económicos**

Estos sistemas requieren de grandes cantidades de dinero para:

- Construir un alcantarillado urbano
- Mantener el alcantarillado
- Construir plantas que trabajan con residuos

Para los países en desarrollo estos costos son muy elevados y dependen de un subsidio muy grande (Werner, 2001).

### **Costos ambientales**

- Uso de paisajes fluviales para áreas urbanas
  - Crea conflictos entre las áreas rurales y las urbanas ya que las áreas rurales utilizan estas aguas para suministro de comida e hidratación. La sobreexplotación de los ríos es alta que incurre en fuertes sequías (Werner, 2001).
- Hidrocida
  - La descarga de residuos lleva a contaminación en los ríos e incluso en aguas de áreas urbanas llevando a consecuencias de escasez de agua limpia y tratamientos más pesados en la limpieza del agua (Werner, 2001).
- Interrupción de ciclos de nutrientes
  - Los nutrientes se ven afectados en la agricultura. Los nutrientes de la comida humana vienen de las tierras que exigen agua para que los frutos puedan crecer apropiadamente. Pero sin agua o agua contaminada es un factor que limita la productividad de sembrar y la ausencia de frutos nutritivos (Werner, 2001).

### **Costos de salud**

- Enfermedades de transmisión por agua

### **Costos políticos**

- Aumento de tensión entre poblaciones urbanas y rurales en la escasez de agua
- Aumento en la disparidad entre las poblaciones urbanas y rurales en instalaciones de sistemas de residuos
- Aumento en la disparidad dentro de la población urbana en instalaciones de sistemas de residuos
- Injusticia de género

El saneamiento convencional requiere una inversión inmensa en infraestructura. Globalmente, ignorando costos de operación y mantenimiento, se requiere \$ 30 billardos anualmente y que en el año 2025 podría ser \$ 75 billardos anualmente (Werner, 2001).

Esto hace notar los sanitarios ecológicos como una solución viable en todos los costos mencionados anteriormente. Por lo que, se realiza la Tabla 1 que sirve para comparar los distintos modelos en diferentes lugares del mundo con el fin de determinar un sistema logístico que solucione el problema para Mosan en la escuela en Jaibalito.

**Tabla 1**

*Costos de sanitarios ecológicos*

<b>Tipo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Costo (\$)</b>
Doble depósito con compost	Alemania	40
Fossa alterna y skyloo	Zimbabue	5
Doble depósito, Paul Calvert	India y Sri Lanka	80-135
Clivus con compost	Suecia	600
Doble depósito modificado	China	35
Sirdo Seco	México	190-282
DAFF	Guatemala	40-100
SUDEA	Etiopía	60

*Nota. Esta tabla muestra los costos y tipos de sanitarios ecológicos en diferentes ubicaciones del mundo.*

### **4.3. Almacenamiento de residuos**

La siguiente sección es para comprender el almacenamiento correcto de las heces y de la orina. Esta información es útil para lograr una recolección segura.

#### **Heces**

Las heces es un agente patógeno que decrece en su almacenamiento, pero este dependerá de factores como pH, humedad, temperatura, nutrientes disponibles, oxígeno disponible, concentración de amoníaco y rayos solares. En lugares donde la temperatura llega hasta la temperatura ambiente de 20°C necesitará un tiempo de 1.5 a 2 años para eliminar la mayoría de patógenos bacteriales. Sin embargo, se recomienda que un año es más que suficiente para la eliminación de patógenos bacteriales en condiciones trópicas (Niwigaba, 2009, pg.22).

Se puede utilizar cualquier tipo de almacenamiento, pero si se desea una eliminación completa de patógenos bacteriales se recomienda la combinación de alta temperatura y pH. El almacenamiento es extremadamente beneficioso en climas secos ya que esto resulta en poca humedad. Los patógenos pueden reaparecer rápidamente si se les agrega agua. Es de suma importancia tratar de evitar que cualquier operario o usuario le agregue agua a las heces ya que altera el tratamiento de residuos y expone al usuario del sanitario ecológico a cualquier riesgo de salud bacterial (Schonning y Stenstrom, 2004).

## Orina

Los factores responsables en la persistencia de los microorganismos en el almacenamiento de la orina humana es la temperatura, pH y el amoníaco. Tras varios estudios, se recomienda utilizar la orina como fertilizante cuando esta fue almacenada 6 meses a una temperatura de 20°C (Niwagaba, 2009, pg. 30-32). Se realizó otro estudio que pretende determinar el comportamiento de microorganismos en la orina en el tiempo y a distintas temperaturas de almacenamiento. Los resultados del estudio fueron en un período de tiempo de 21 días y son los siguientes:

### Figura 17

*Inactivación de microorganismos en la orina a diferentes temperaturas*

	Gram-negative bacteria	Gram-positive bacteria	<i>C. parvum</i>	Rotavirus	<i>S. typhimurium</i> phage 28B
4°C	1	30	29	172 <sup>a</sup>	1466 <sup>a</sup>
20°C	1	5	5	35	71

*Nota. Esta figura muestra el comportamiento de los microorganismos presentes en la orina a 4 y 20°C. Adaptado de Niwagaba, 2009.*

Basado en estos resultados, después de 21 días la orina aún contiene bacterias que son dañinas al humano. Sin embargo, al almacenar la orina a una temperatura ambiente de 20°C se tiene una menor cantidad de bacterias y microorganismos que la orina almacenada a bajas temperaturas. El estudio mide la cantidad de microorganismos presentes en la orina en unidades logarítmicas de reducción. A partir de este estudio, se determina que el factor que más influye en la eliminación de patógenos o bacterias en la orina es la temperatura. Sin embargo, es recomendable almacenar la orina por 6 meses ya que sirve para reducir los riesgos en el consumo de los frutos que fueron fertilizados por la orina. La orina se puede almacenar en cualquier tipo de contenedor, generalmente se almacenan en un pulverizador fumigador tipo mochila (Schonning y Stenstrom, 2004, pg.13-15).

## 4.4. Transporte de residuos

El transporte y el manejo de material no higienizado para luego ser utilizado como compost es una barrera que representa un riesgo de salud a los trabajadores e inclusive a cualquier persona que este en la ruta que tome el vehículo de transporte de residuos. Este problema se resuelve de manera que es indispensable el uso de equipo protector. Esto incluye: mascarillas de boca y nariz, preferiblemente N95, botas de agua y overol de seguridad. También, percatarse de contar con instalaciones donde los trabajadores se puedan limpiar después de la colecta de residuos. Cuando los residuos estén en el vehículo es de suma importancia que permanezcan sellados o cerrados para

evitar cualquier derrame y si en caso llega a pasar un accidente, el sitio del accidente debe de limpiarse inmediatamente (Niwagaba, 2009, pg.74-75).

Cabe a mencionar que lavarse las manos con agua y con jabón no siempre se garantiza que se elimine completamente los microorganismos. Por lo que, también, se utiliza limón o ceniza (mezclada con agua) para lavarse las manos para eliminar cualquier agente patógeno de manera efectiva (Schonning y Stenstrom, 2004, pg.9).

#### 4.5. Sistema de cargas en vehículos

Existen varias maneras de levantar objetos a un vehículo. Si se utiliza un pickup, existen las rampas, elevadores, las grúas tipo brazo (hidráulicas), grúas con polea y grúas con winch. Si se busca cargar contenedores grandes de residuos, se descartan las grúas neumáticas o rampas. El uso de sistemas neumáticos es una desventaja ya que estos sistemas no son duraderos y no levantan cargas pesadas. Por otro lado, las rampas se utilizan primordialmente para subir un objeto o vehículo que tiene ruedas o llantas. El almacenamiento de residuos no las tiene.

##### **Figura 18**

*Grúa tipo brazo hidráulica*



*Nota. Esta figura muestra el sistema de carga tipo brazo hidráulico instalado en una palangana de un pickup.*

El mecanismo de la Figura 18 es capaz de levantar 500 libras. Sin embargo, todo dependerá de los componentes que este llevará para que llegue a levantar lo necesario. Factores que se deben de tomar en cuenta es el tamaño del pickup y el tipo de contenedor utilizado para transportar los residuos.

## **Figura 19**

### *Grúa hidráulica*



*Nota. Esta figura muestra el sistema de carga tipo pluma hidráulica que utilizada a nivel industrial.*

En la Figura 19 se puede observar una grúa similar a la Figura 18 solo que esta es capaz de levantar mayores cargas y de mayor volumen como, por ejemplo: motores, jet ski y cuchillas de arado de 3 discos. Estas grúas tipo pluma utilizan cilindros hidráulicos mayores de 8 toneladas.

## **Figura 20**

### *Elevador Hidráulico*



*Nota. Esta figura muestra el sistema de carga tipo elevador hidráulico*

En la Figura 20 se presenta una solución distinta a las otras. La alternativa de un elevador hidráulico soluciona el problema de subir más barriles en un menor tiempo al pickup ya que estamos subiendo 2 o más a la vez y no uno por uno como lo hacía las grúas hidráulicas. Esta máquina fue diseñada principalmente para motos, por lo que soporta objetos de aproximadamente 450 kg.

### **Figura 21**

#### *Elevador con Winch*



*Nota. Esta figura muestra el sistema de carga tipo elevador hidráulico con winch.*

El diseño de la Figura 21 tiene un uso más amplio ya que cuenta con un transporte de barriles y un elevador, pero se regresa al obstáculo de subir por unidad cada barril al pickup.

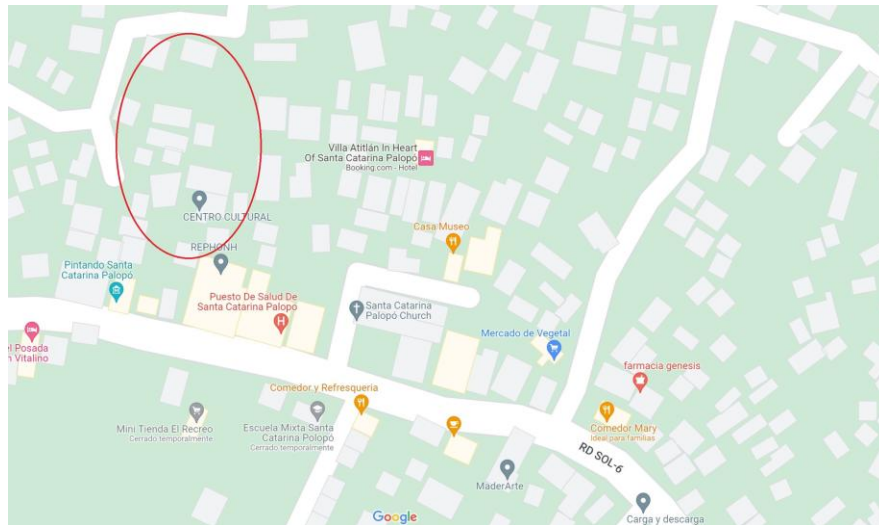
El diseño de cada uno de estos mecanismos dependerá de la carga del barril y la altura del pickup. Tras saber estas dos mediciones ya se puede determinar que mecanismo utilizar y realizar su respectivo diseño.

## **4.6. Operación de Mosan en Santa Catarina Palopó**

Mosan ha estado operando en Santa Catarina Palopó desde el 2018. Actualmente, hay 10 familias utilizando el servicio de recolección. La recolección de residuos está dividida por sectores en Santa Catarina Palopó que fueron establecidos por Mosan para facilitar la recolección de residuos. Hay un total de 4 sectores donde cada familia pertenece a un sector. Los días de recolección son los lunes y jueves de cada semana. En los días de recolección hay una persona que se encarga de recolectar las cubetas de residuos humanos de los distintos sectores con un tonel amarrado a un troquet y estos son llevados a la planta donde son tratados.

## Figura 22

### Sector 1 de recolección en Santa Catarina Palopó

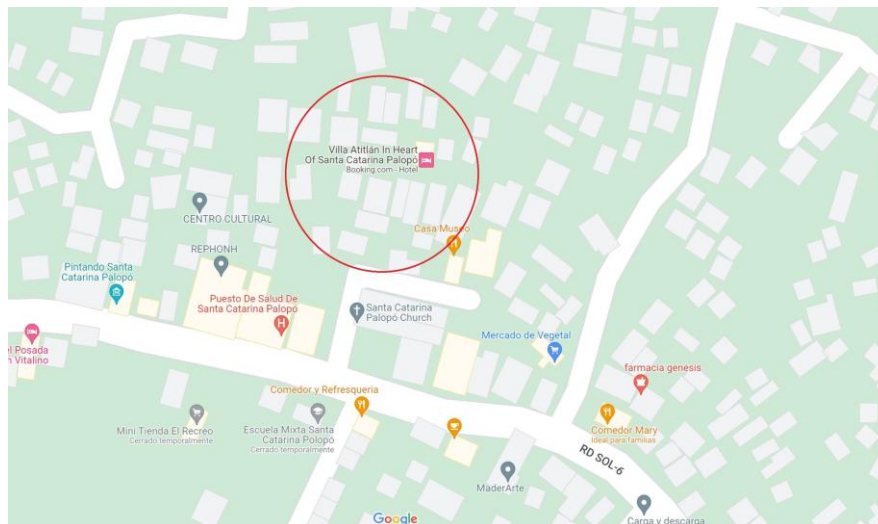


*Nota. Esta figura muestra la ubicación en el mapa del sector 1 de recolección de residuos en Santa Catarina Palopó. Adaptado de Google Maps.*

En la Figura 22 se puede ver el sector 1 donde se recolectan los residuos de 3 familias con un tonel de 220 litros.

## Figura 23

### Sector 2 de recolección en Santa Catarina Palopó

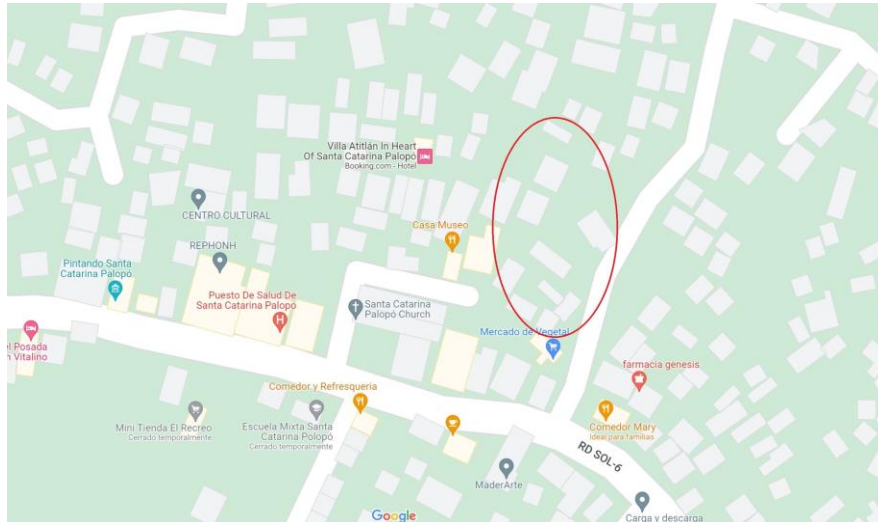


*Nota. Esta figura muestra la ubicación en el mapa del sector 2 de recolección de residuos en Santa Catarina Palopó. Adaptado de Google Maps.*

En la Figura 23 se puede ver el sector 2 donde se recolectan los residuos de 2 familia con un tonel de 120 litros.

### **Figura 24**

#### *Sector 3 de recolección en Santa Catarina Palopó*

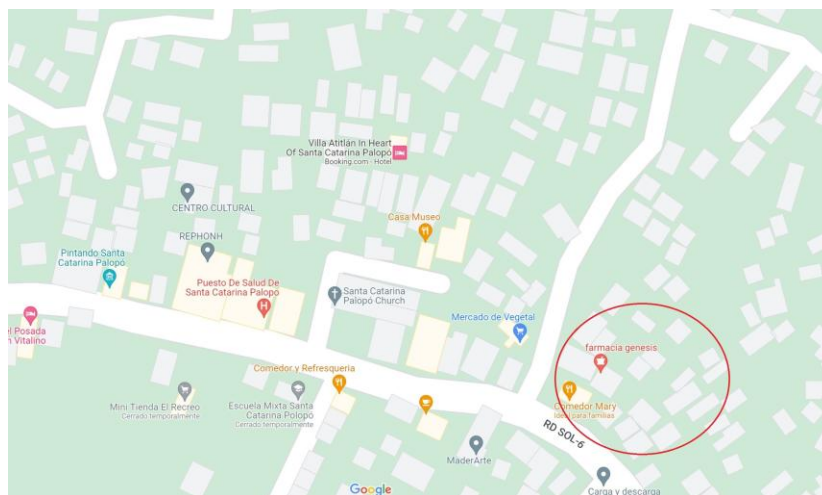


*Nota. Esta figura muestra la ubicación en el mapa del sector 3 de recolección de residuos en Santa Catarina Palopó. Adaptado de Google Maps.*

En la Figura 24 se puede ver el sector 3 donde se recolectan los residuos de 3 familias con un tonel de 220 litros.

### **Figura 25**

#### *Sector 4 de recolección en Santa Catarina Palopó*

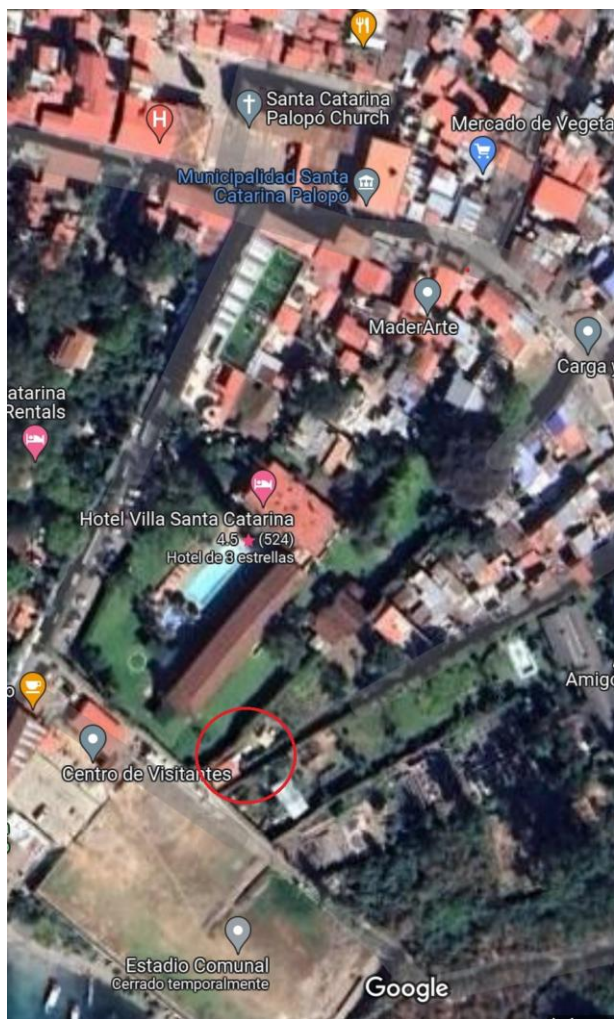


*Nota. Esta figura muestra la ubicación en el mapa del sector 4 de recolección de residuos en Santa Catarina Palopó. Adaptado de Google Maps.*

Por último, la Figura 25 se puede ver el sector 4 donde se recolectan los residuos de 2 familias con un tonel de 120 litros.

### **Figura 26**

#### *Planta de tratamiento de Mosan*



*Nota. Esta figura muestra la ubicación en el mapa de la planta de tratamiento de residuos de Mosan en Santa Catarina Palopó. Adaptado de Google Maps.*

Todos los toneles son transportados a la planta de tratamiento de Mosan cuya ubicación se ve señalada en la Figura 26.

**Figura 27**

*Mecanismo de recolección*



*Nota. Esta imagen muestra parte de las funciones en la planta de tratamiento de Mosan para iniciar la recolección de residuos humanos.*

**Figura 28**

*Amarre de mecanismo de recolección*



*Nota. Esta imagen muestra como amarran el tonel para iniciar la recolección de residuos humanos en los sectores en Santa Catarina Palopó.*

En las Figuras 27 y 28 se puede observar el procedimiento que se debe de realizar antes de empezar la recolección de residuos. Es decir, el operador debe de amarrar un tonel limpio y con cubetas nuevas a un troquet e ir por cada sector recolectando cubetas llenas de residuos humanos, colocándolas dentro del tonel y entregar cubetas limpias y nuevas a la familia. Una vez el tonel esté lleno de cubetas el operador debe de regresar a la planta de tratamiento de Mosan que se puede ver en la Figura No. 26. Los retos que afronta el operador es que las calles de Santa Catarina Palopó son angostas que únicamente una persona puede pasar. Además, Santa Catarina Palopó es un municipio que no solo se encuentra a la orilla de el Lago de Atitlán sino también a la orilla de una montaña. Es decir, el operador para poder recolectar los residuos humanos con el troquet tiene que caminar por caminos angostos y subir gradas con el mismo troquet sin derramar los residuos por las calles del municipio.

Para llevar a cabo el diseño del sistema logístico y sistema de carga de aguas residuales humanas se definieron las siguientes fases:

### **5.1. Fases de desarrollo de trabajo**

#### **5.1.1. Fase 1: Visitas técnicas**

En esta fase se buscó definir detalladamente los requisitos del sistema logístico y sistema de carga de toneles con aguas residuales ya que se realizaron visitas a Santa Catarina Palopó y Jaibalito. En las visitas se buscó obtener información sobre la cantidad de usuarios que utilizarán el sanitario, los costos que tiene la recolección de residuos y la evaluación de rutas de transporte de residuos. Esto incluye la obtención de datos sobre el sistema logístico que realiza Mosan en Santa Catarina Palopó y datos que servirán para el diseño que más se adecúe a las condiciones de la escuela de sistema de carga.

#### **5.1.2. Fase 2: Diseño de sistema**

Se utilizó la información recopilada en la fase uno para llevar a cabo un diseño funcional de la red logística y el sistema de carga de residuos humanos cumpliendo con los requisitos definidos y normas establecidas. Además, se diseñó un prototipo del sistema de carga de residuos humanos, para dejar definida su geometría, así como el cálculo de la capacidad del sistema de transporte. Luego, seleccionar los materiales que más se adecúen a los cálculos obtenidos. Por último, se estima el costo final de fabricación de sistema de grúa para una evaluación por parte de Mosan.

### **5.1.3. Fase 3: Evaluación**

Por medio de un análisis numérico se determinó los perfiles por seleccionar que puedan cargar los toneles con residuos humanos, evaluar la capacidad del sistema de carga y el costo de fabricación de la grúa. Por otro lado, se evaluó el sistema logístico propuesto por medio de una programación lineal. La evaluación del sistema logístico incluye la cantidad máxima de los tres diferentes toneles que se pueden transportar, el trayecto de recolección de los residuos y los costos que se sujetan en la recolección y el transporte de los residuos.

### **5.1.4. Fase 4: Documentación de resultados**

Luego de realizar las evaluaciones, se procedió a realizar una propuesta de logística y un esquema de grúa para que Mosan pueda utilizar esta información y poderla aplicar en sus servicios de recolección de residuos humanos.

## **5.2. Viaje realizado**

Se realizó un viaje del 27 de abril al 30 de abril del año 2022 con el fin de comprender los requisitos de Mosan y sus operaciones diarias de recolección de residuos humanos. En dicho viaje tuve la oportunidad de conocer más sobre los valores de la empresa y hacia dónde está dirigiéndose con respecto a sus planes a largo plazo.

*27 de abril de 2022:*

El 27 de abril de 2022 se tuvo una reunión con Mona Mijthab, co-fundadora de Mosan, y Martha Gómez, líder de comunicaciones de Mosan, con el propósito de extraer las necesidades de Mosan para el desarrollo del sistema logístico. De esta manera, se estableció que no hay un presupuesto para la fabricación del sistema de carga por lo que se quedará como diseño. Además, se realizan observaciones de los retos que afronta a diario Mosan con la recolección de residuos (Figuras 104-118) y los que podrían tener en un futuro al instalar su sanitario en una escuela pública (Figuras 120-126). Se desglosan rutas y costos generales que servirán para un análisis de rutas y costos de recolección.

*28 de abril de 2022:*

El 28 de abril de 2022 se realizó una visita a la planta de tratamiento de residuos de Mosan que es donde se convierte las heces en biocarbón. Mosan me proporcionó un historial de la cantidad de heces y orina por familia, el tiempo de la pirólisis y observaciones del producto final (Figuras 83-103). Estas servirán para realizar alguna recomendación a Mosan y para la distribución de peso de los toneles en la palangana

del pickup. En estemismo día, se realizó el viaje de las operaciones diarias de Mosan, desde la recolección de residuos en cada sector hasta su transporte a la planta de tratamiento. En este viaje sepuede observar los retos que afronta el recolector, Rudy Mata, y la seguridad que implicala recolección de los residuos (Figuras 104-118). Se realiza una tabla que identifica los datos más importantes de la información proporcionada:

**Tabla 2**

*Observaciones de sistema logístico y producción de biocarbón*

<b>Variable</b>	<b>Observaciones</b>
Cantidad de residuos	En los toneles grandes caben un total de 6 cubetas. Se recolectan 41.68 libras de heces y 113.71 libras de orina por semana.
Tiempo	El tiempo aproximado del pirólisis es de 2 horas sin embargo, aún hay presencia de agua.
Producto Final	Cuenta con 2 tipos de biocarbón. Uno se puede aplicar directamentea las plantas el otro no está dirigido para las plantas. Es un biocarbón con menor calidad.

*Nota. Esta tabla muestra las observaciones de las distintas variables clave en las operaciones de Mosan en Santa Catarina Palopó.*

*29 de abril de 2022:*

El 29 de abril de 2022 se realizó una visita a la escuela en Jaibalito en dónde se logró medir tiempos del recorrido, los costos involucrados y anchos de calle para la implementacióndel sanitario y su recolección en dicha escuela (Figuras 120-126).

**Tabla 3**

*Tiempos de viaje recorrido*

<b>Destino</b>	<b>Tiempo</b>
Santa Catarina Palopó a Panajachel	14 mins
Panajachel a Pueblo 1	6 mins
Pueblo 1 a Pueblo 2	7 mins
Pueblo 2 a Jaibalito	4 mins

*Nota. Esta tabla muestra los tiempos recorridos en la transportación de los residuos humanos en las operaciones del día a día de Mosan.*

### 5.3. Requisitos

A continuación, se presentan los requisitos que se deben de cumplir en el sistema logístico y sistema de carga.

Requisitos de sistema logístico:

**Tabla 4**

*Requisitos sistema logístico*

<b>División</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
Carga	C01	El total de los toneles transportados con residuos humanos no deben de exceder 2200 libras.
Volumen	V01	Los toneles deben de ser colocados cumpliendo con el volumen de la palangana del pickup de 60 pies cúbicos.
Seguridad	S01	Se requiere una distribución de peso que cumpla con el transporte de los toneles en la palangana sin que se vuelque el pickup.

*Nota. Esta tabla muestra con código y su descripción los requisitos que debe de llevar el sistema logístico.*

Requisitos de sistema de carga:

**Tabla 5**

*Requisitos de sistema de carga*

<b>División</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
Espacio	E01	La palangana del pickup debe de medir al menos 1.2 metros de largoy 1.1 metros de ancho
Diseño	D01	El sistema de carga debe de cargar toneles de al menos 200 kilogramos
	D02	El sistema de carga debe de extenderse al menos 0.85 metros horizontalmentedesde la base del sistema de carga
	D03	El sistema de carga debe montarse y desmontarse en una palangana de pickup utilizandouna persona
	D04	Solo una persona debe de poder desarmar la grúa en un tiempo de 15 minutos
	D05	El sistema de carga debe de poder rotar al menos 180° respecto al eje vertical del sistema
	D06	El sistema de carga deberá de tener una vida útil mínima de 5 años

*Nota. Esta tabla muestra con código y su descripción los requisitos que debe de llevar el sistema de carga.*

## 5.4. Análisis de sistema logístico

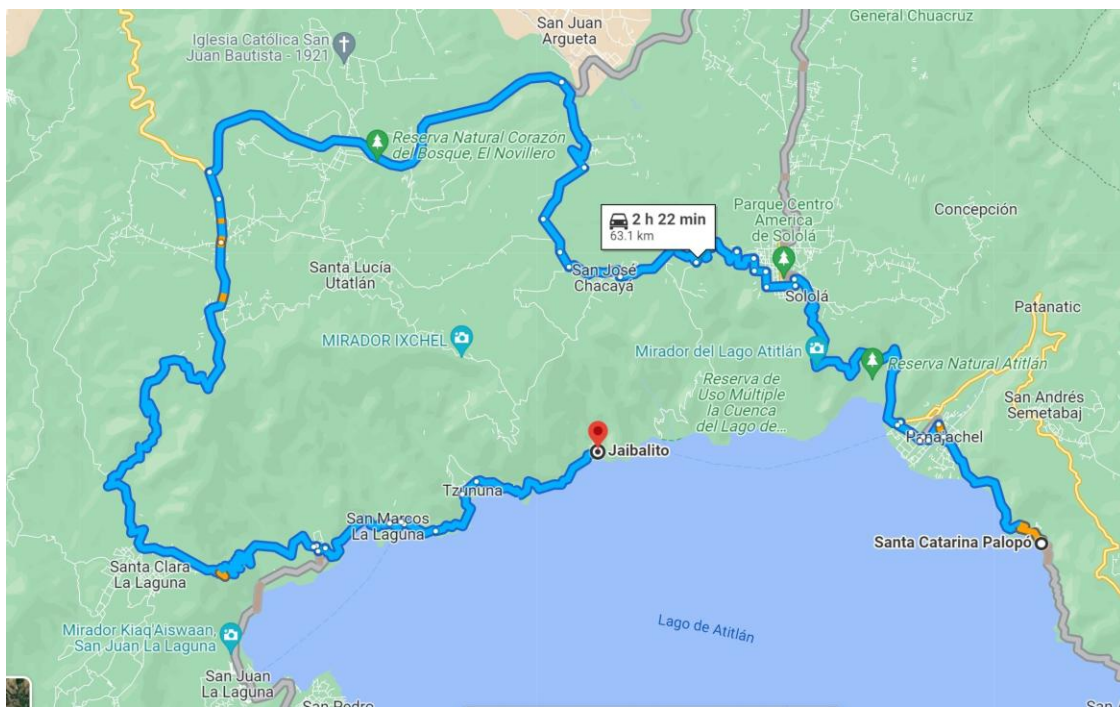
Para realizar el análisis del sistema logístico se efectúa un análisis de rutas, cálculos de distribución de espacio y cálculos del sistema de carga.

### 5.4.1. Análisis de rutas

Actualmente, existen 4 rutas para llegar de Santa Catarina Palopó a Jaibalito. Las 4 rutas se pueden visualizar en los siguientes diagramas:

**Figura 29**

*Ruta 1 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito*

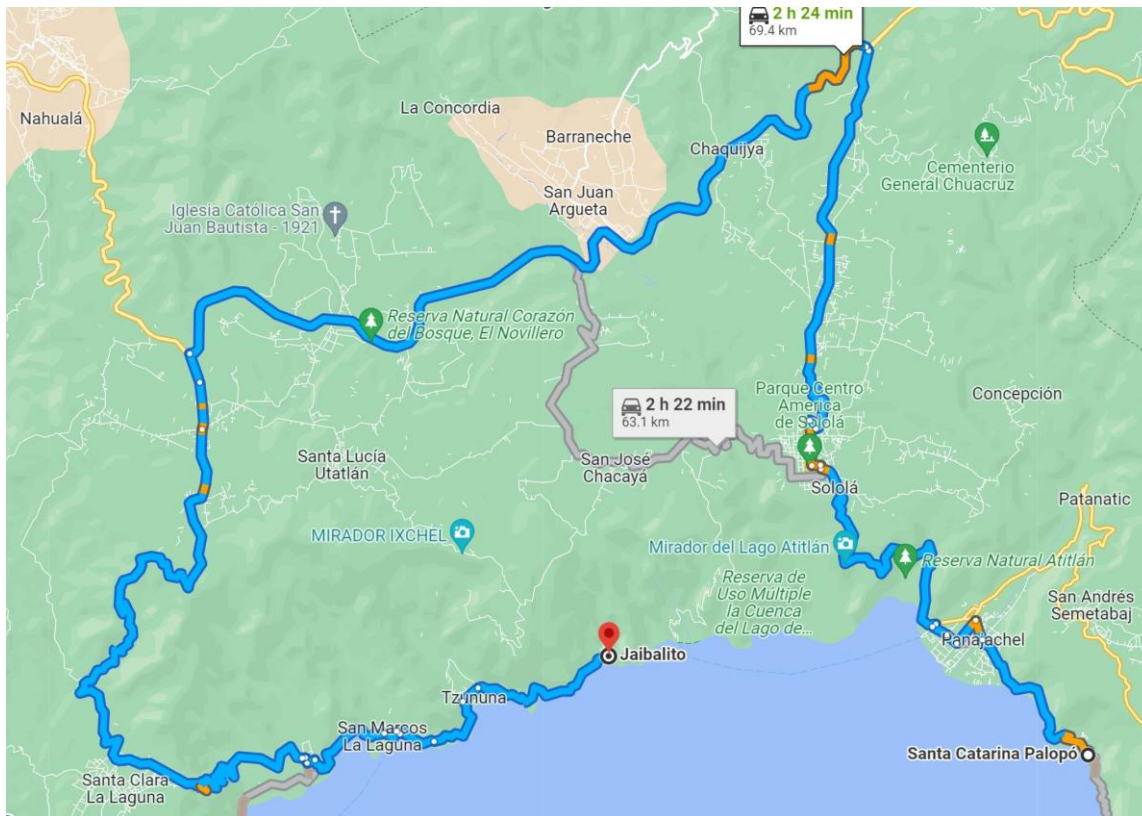


*Nota. Esta figura muestra muestra la primera ruta que parte en Santa Catarina Palopó en dirección a San José Chacaya para llegar a Jaibalito. Adaptado de Google Maps.*

La primera ruta consiste en pasar el municipio San José Chacaya para incorporarse a la ruta Panamericana. El viaje representa 63.1 kilómetros con un tiempo aproximado de 2 horas y 21 minutos de trayecto.

### Figura 30

#### Ruta 2 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito

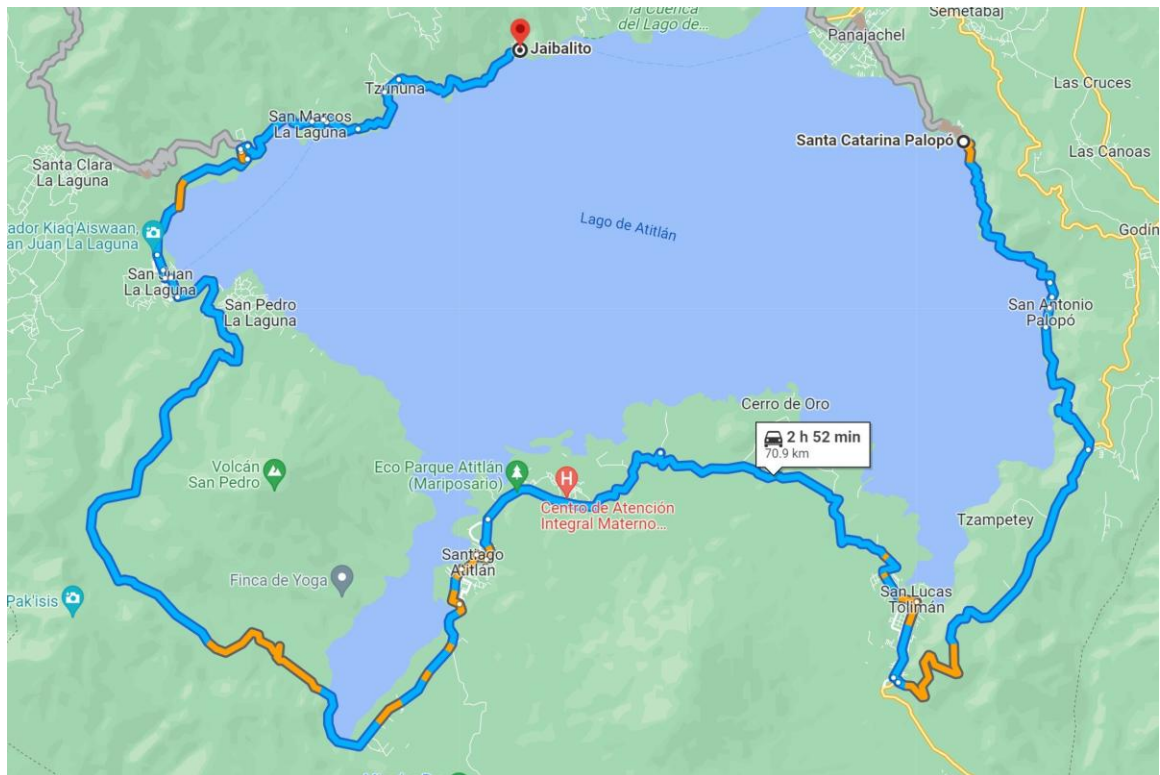


*Nota. Esta figura muestra la segunda ruta que parte en Santa Catarina Palopó en dirección a el campus Altiplano de la Universidad del Valle de Guatemala y tomando la ruta Panamericana para llegar a Jaibalito. Adaptado de Google Maps.*

La segunda ruta consiste en pasar el campus Altiplano de la Universidad del Valle de Guatemala para incorporarse a la ruta Panamericana. El viaje representa 69.4 kilómetros con un tiempo aproximado de 2 horas y 24 minutos de trayecto.

### Figura 31

#### Ruta 3 - Santa Catarina Palopó a Jaibalito

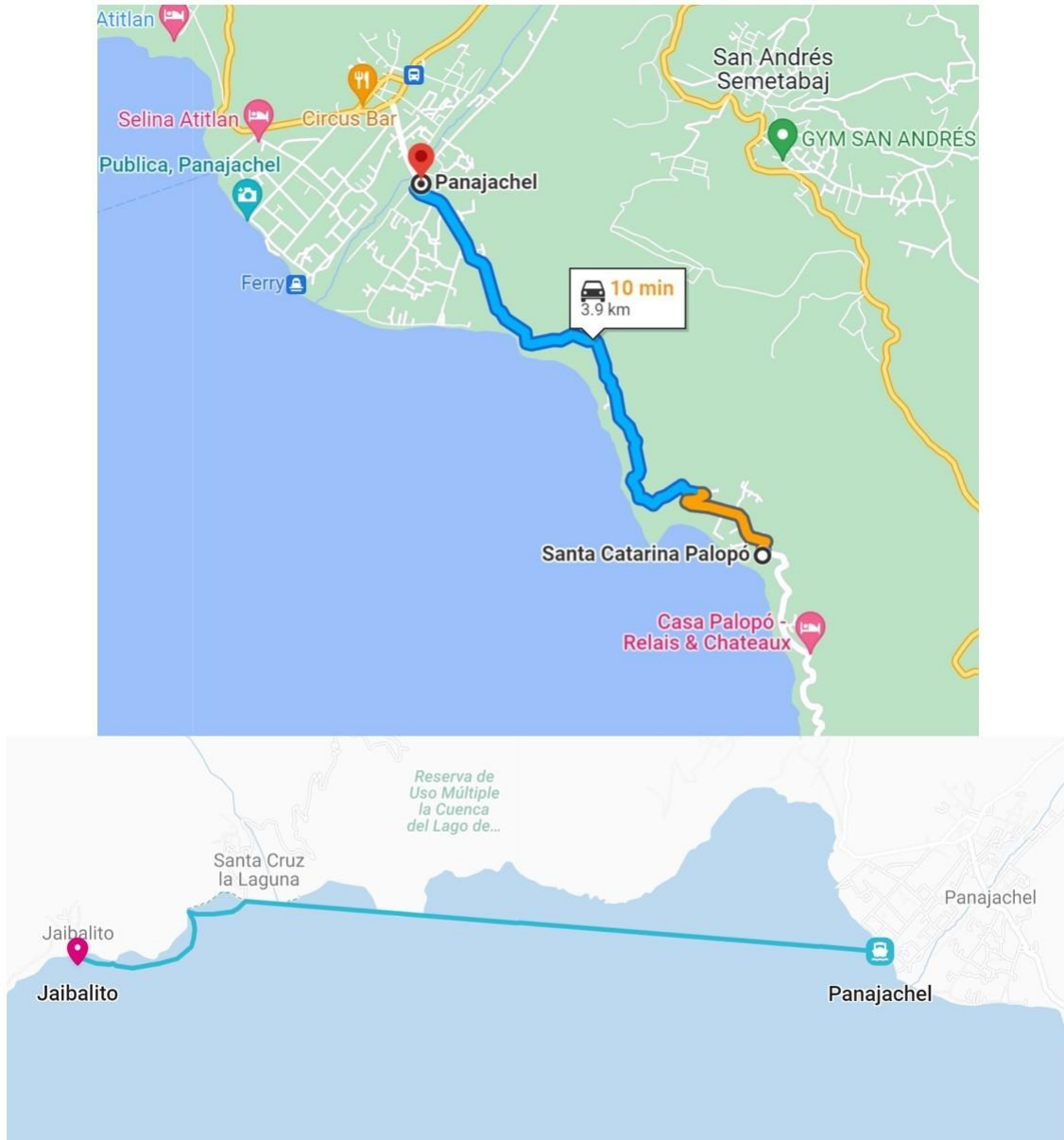


*Nota. Esta figura muestra la tercera ruta que parte en Santa Catarina Palopó en dirección a San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Juan La Laguna y San Marcos La Laguna para llegar a Jaibalito. Adaptado en Google Maps.*

La tercera ruta consiste en bordear El Lago de Atitlán. El viaje representa 70.9 kilómetros con un tiempo aproximado de 2 horas y 50 minutos de trayecto.

### Figura 32

#### Ruta 4 - Santa Catarina Palopó a Panajachel - Panajachel a Jaibalito



*Nota. Esta figura muestra la cuarta ruta que parte en Santa Catarina Palopó hacia Panajachel y en Panajachel por medio de una lancha llegar a Jaibalito.*

La última ruta consiste en ir de Santa Catarina Palopó a Panajachel y en Panajachel abordar una lancha para llegar a Jaibalito. El trayecto representa 10.6 kilómetros con un tiempo de 35 minutos.

Ya que Mosan desea comprar un vehículo el análisis de costos y tiempos se realiza con el supuesto que el vehículo por comprar es un pickup Toyota 22R ya que es común en el área de Altiplano. De esta manera, primero se debe de obtener el costo por kilómetro del vehículo para evaluar el costo de cada ruta y los riesgos involucrados.

Para el costo por kilómetro de un Toyota 22R se utilizan los siguientes criterios:

- Consumo de combustible

Para el consumo de combustible se utiliza un precio de la Gasolina Superior de 35.08 proveniente de la página del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala en el día 2 de mayo de 2023. Este precio se compara con el consumo de combustible del Toyota 22R, el cual consume 21 kilómetros por galón de gasolina. Se obtiene un costode Q 1.67 por kilómetro (Tabla 6).

- Duración de llantas

Para la duración de llantas se utiliza el promedio de vida de llantas en un vehículo (40,000 kilómetros) (Pleyades, 2018) y el precio aproximado de compra e instalación de 4 llantas (Q 5,000) (Grupo Cofiño Stahl, 2023). Se obtiene un costo de Q 0.125 por kilómetro (Tabla 6).

- Servicio del vehículo

El servicio del vehículo se realizó las evaluaciones de servicio menor y servicio mayor. Se indica el kilometraje necesario para cada servicio y el costo que conlleva cada uno respectivamente. El servicio menor se realiza cuando el carro haya recorrido 5,000 kilómetros y tiene un costo de Q 1,200, al dividirlo se obtiene un costo por kilómetro de Q 0.24. Según una cotización del taller Continental Motors, el servicio mayor se realiza cuando el carro haya recorrido 15,000 kilómetros y tiene un costo de Q 2,800, al dividirlo se obtiene un costo por kilómetro de Q 0.19. El costo del serviciomenor es de 0.24 Q por kilómetro y el servicio mayor de Q 0.19 por kilómetro (Tabla 6).

- Depreciación

La depreciación se proviene de la compra de un Toyota 22R a Q 35,000 y se estima una vida útil del vehículo de 10 años. Este se devalúa Q 3,500 por año y se compara con la distancia recorrida por año recolectando residuos. Este factor puede cambiar ya que Mosan aún no cuenta con el vehículo («Venta de Toyota 22r en Guatemala», s.f.).

- Sueldo del piloto

El salario del conductor es representado por los kilómetros aproximados recorridos al mes con el sueldo por hora por mes. El recolector trabaja recolectando residuos 2-3 días de la semana y se tomó una estimación de sueldo sobre el salario mínimo no agrícola de Q20 la hora por 3 días de recolección debido a que la recolección de residuos no dura más de 2 horas y se recorren aproximadamente 100 kilómetros por mes en la recolección de residuos, por lo que se obtiene un costo de Q 4.80 por kilómetro.

**Tabla 6**

*Costo por kilómetro de cada variable*

Variable	Valores	Costo (Q/km)
Consumo de combustible	32 km/gl	1.09
	35.08 Q/gl	
Duración de llantas	40,000 kms	0.125
	5,000 Q	
Servicio del vehículo menor	5,000 kms	0.24
	1,200 Q	
Servicio del vehículo mayor	15,000 kms	0.19
	2,800 Q	
Sueldo (2 horas)	100 kms/mes	4.80
	480 Q/mes	
Depreciación	3,500 Q/anual	2.92
	1,200 kms/anuales	

*Nota. Esta tabla muestra los costos por kilómetro de cada variable para obtener el costo por kilómetro total.*

El costo total por kilómetro será la sumatoria de todos los criterios en la Tabla 6 por el factor agregado a la depreciación del vehículo.

**Tabla 7**

*Costo por kilómetro*

Costo Total	
9.37	Q/km

*Nota. Esta tabla muestra el resultado del costo por kilómetro que se obtiene mediante la sumatoria de los costos en la Tabla 6*

Utilizando las rutas descritas anteriormente, se realiza una comparación que sirve para evaluar la ruta que se debe tomar en los días de recolección de residuos:

**Tabla 8**

*Comparación de rutas*

No. de ruta	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Costo total (Q)	Costos adicionales (Q)	Subtotal (Q)
1	126.2	4.7	1182.49	0	1182.49
2	138.8	4.8	1300.56	0	1300.56
3	141.8	5.67	1328.67	0	1328.67
4	21.2	1.17	198.64	5	203.64

*Nota. Esta tabla muestra todas las rutas con sus distancias para calcular el costo total de la ruta utilizando el costo por kilómetro obtenido en la Tabla 7.*

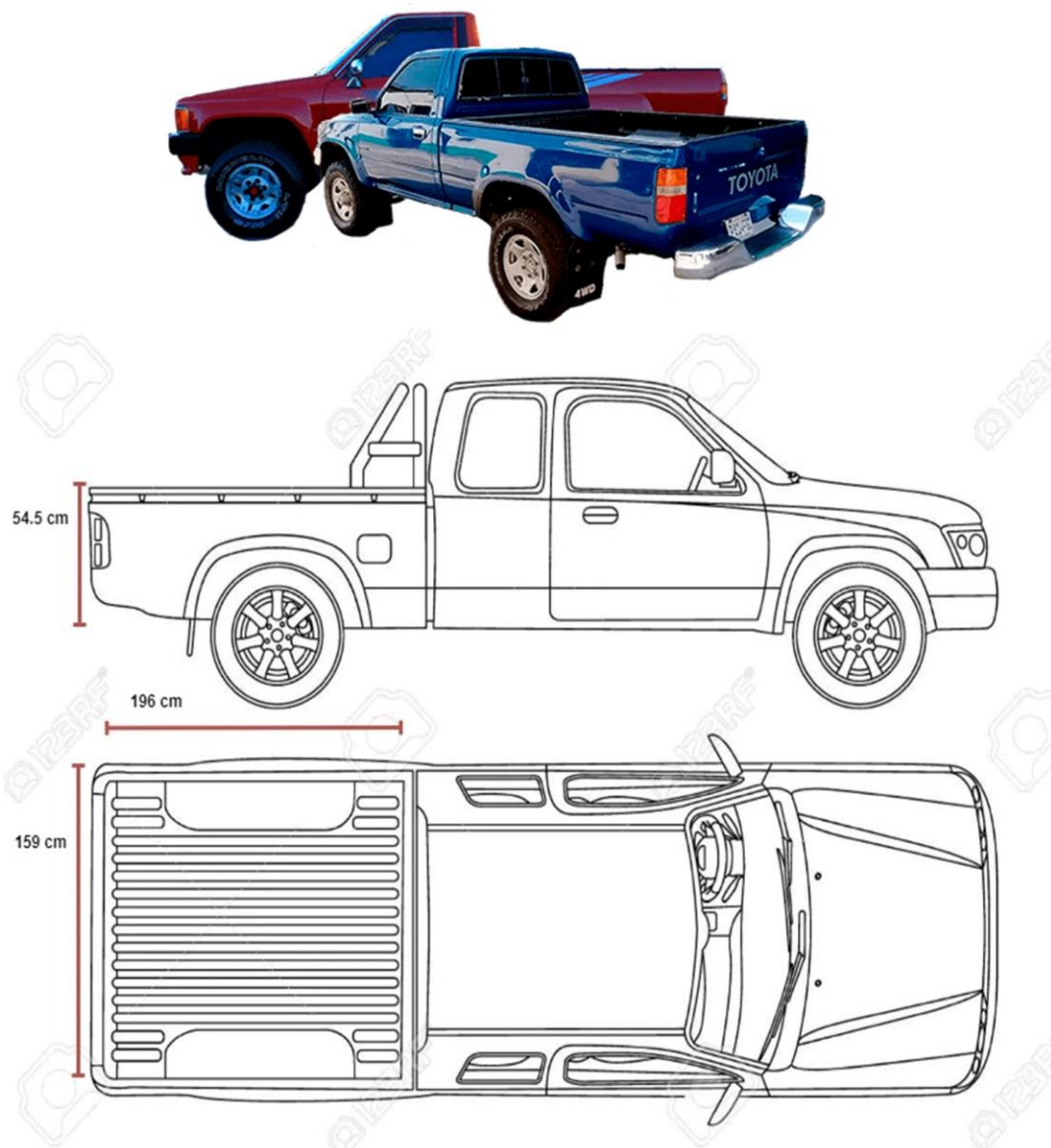
En la Tabla 8 se entiende como costo total la distancia del viaje por el costo fijo por kilómetro obtenido en la Tabla 7. Los costos adicionales son aquellos costos que son agregados durante el viaje puede ser pago de un peaje, un impuesto, etc. En este caso, para la Ruta 4 se realiza un pago de Q 5 para viajar en barco de Panajachel a Jaibalito. Por último, el subtotal es la sumatoria del costo total y costos adicionales del viaje.

**5.4.2. Optimización de espacio**

La optimización de espacio se refiere a la cantidad de los toneles en el pickup y una elaboración de costos que están sujetos a la recolección de residuos humanos. Para ello, se realiza una división en la palangana de un pickup Toyota 22R con las siguientes dimensiones:

### Figura 33

*Toyota 22R y dimensiones de palangana*

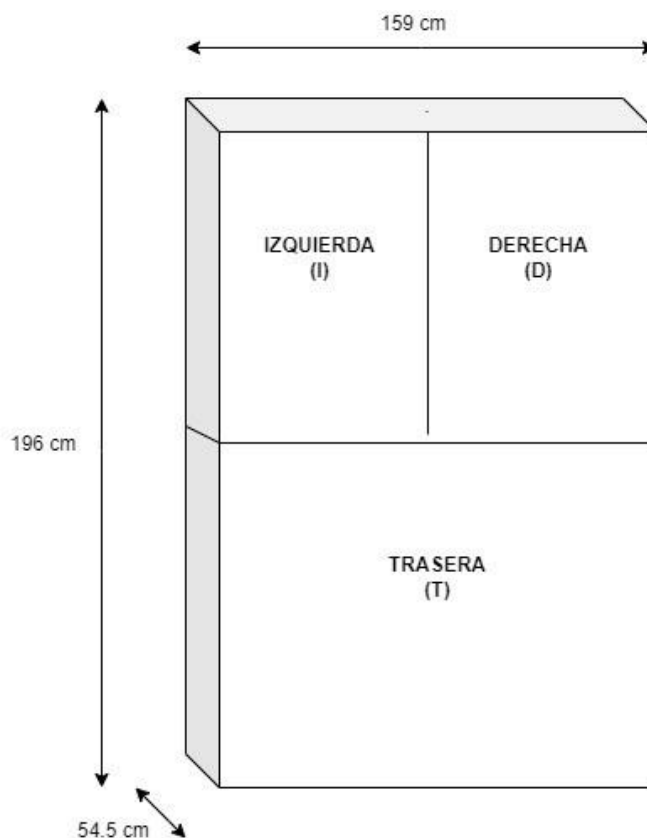


*Nota. Esta figura muestra un plano del Toyota 22R e incluye las dimensiones de la palangana de este pick up.*

A continuación, se realiza un diagrama de la palangana del pickup con una división de 3 sectores (izquierda, derecha y trasera) cuyo propósito es que el sistema logístico cumpla con la restricción de distribución de peso establecido en el requisito S01 y para que la parte trasera pueda servir para transportar algún objeto adicional a los toneles de residuos.

**Figura 34**

*Distribución en palangana de pickup*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama simple de la palangana del pick up Toyota 22R.*

Los cálculos de la optimización de espacio se realizan por medio de una programación lineal multi variable por medio de la herramienta SOLVER en Microsoft Excel. Esta programación lineal multi variable conlleva una serie de restricciones que están sujetas al sistema de recolección de Mosan. Las restricciones son las siguientes:

- **Restricción de carga:** La masa de cada tonel (en libras).
- **Restricción de peso:** La capacidad de peso que soporta la palangana del pickup (en libras).
- **Restricción de volumen:** El volumen de espacio que ocupa cada tonel en la palangana del pickup (en pies cúbicos).

- **Restricción de distribución de peso:** Se refiere a cómo deben de estar distribuidos los toneles en la palangana del pickup.

Al saber la descripción de las variables y los sectores se realiza la simulación en donde existen un total de 9 variables en donde se obtendrá el tipo de tonel por utilizar y la ubicación de este en la palangana del pickup. Las variables son las siguientes:

**Tabla 9**

*Descripción de toneles*

Descripción	Valor	Variable
Tonel pequeño	55 L	X1
Tonel mediano	120 L	X2
Tonel grande	220 L	X3

*Nota. Esta tabla se le asigna una variable a cada tonel para poder realizar una simulación.*

**Figura 35**

Lista de 9 variables en Microsoft Excel

Tonel pequeño Sector Izquierdo	X1I
Tonel pequeño Sector Derecho	X1D
Tonel pequeño Sector Trasero	X1T
Tonel mediano Sector Izquierdo	X2I
Tonel mediano Sector Derecho	X2D
Tonel mediano Sector Trasero	X2T
Tonel grande Sector Izquierdo	X3I
Tonel grande Sector Derecho	X3D
Tonel grande Sector Trasero	X3T

*Nota. Esta figura muestra todas las variables del problema previo a la simulación*

**Restricción de carga:**

**Figura 36**

*Restricción de carga*

Rest. 1	$X1I+X1D+X1T \leq 2200$	1940.064	$\leq$	2200	259.94
Rest. 2	$X2I+X2D+X2T \leq 2200$	0	$\leq$	2200	2,200.00
Rest. 3	$X3I+X3D+X3T \leq 2200$	0	$\leq$	2200	2,200.00

*Nota. Esta figura es el cálculo de la restricción de carga del problema.*

La restricción de carga busca maximizar la palangana del pickup tomando en cuenta la masa de cada tonel. Para ello, se toma en cuenta el máximo de carga que es capaz de transportar un pickup el cual es 2,200 libras. Por lo que, la suma de los toneles correspondiendo a su ubicación de distribución de espacio debe ser menor o igual a 2,200 libras.

**Restricción de peso:**

**Figura 37**

*Restricción de peso*

Rest. 4	$X1+X2+X3 \leq 550$	485.02	$\leq$	550.00	64.98
Rest. 5	$X1D+X2D+X3D \leq 550$	485.02	$\leq$	550.00	64.98
Rest. 6	$X1T+X2T+X3T \leq 1100$	970.03	$\leq$	1,100.00	129.97

*Nota. Esta figura es el cálculo de la restricción de peso del problema.*

La restricción de peso busca maximizar el peso de cada espacio de distribución de la palangana que se puede ver en la Figura 34. La palangana del pickup puede cargar un total de 2,200 libras. Sin embargo, al dividir en 3 sectores la palangana este peso se distribuye en los 3 sectores. Izquierda soporta 550 libras, Derecha 550 libras y el sector Trasero 1,100 libras.

**Restricción de volumen:**

**Figura 38**

*Restricción de volumen*

Rest. 7	$2.7X1+5.17X2+6.96X3 \leq 8.39$	8.35	$\leq$	14.99	6.64
Rest. 8	$2.7X1D+5.17X2D+6.96X3D \leq 8.39$	8.35	$\leq$	14.99	6.64
Rest. 9	$2.7X1T+5.17X2T+6.96X3T \leq 16.77$	16.71	$\leq$	29.99	13.28

*Nota. Esta figura es el cálculo de la restricción de volumen del problema.*

La restricción de volumen busca maximizar el volumen de la palangana, ya que se tienen tres tipos de toneles distintos que son capaces de transportar diferentes cantidades de residuos humanos. Se realiza un procedimiento similar a la restricción anterior. La palanganadel pickup tiene un volumen total de 60 pies cúbicos y al dividir en 3 sectores el volumentotal se distribuye por cada sector. Izquierda 15 pies cúbicos, Derecha 15 pies cúbicos y el sector Trasero 30 pies cúbicos.

## Restricción de distribución de peso:

### Figura 39

#### Restricción de distribución de peso

Rest. 10	$1/550(X1+X2+X3I)-1/550(X1D+X2D+X3D)=0$	0.00	=	0.00	0.00
Rest. 11	$1/550(X1+X2+X3I)-1/1100(X1T+X2T+X3T)=0$	0.00	=	0.00	0.00

*Nota. Esta figura es el cálculo de la restricción de la distribución de peso del problema.*

La restricción de distribución de peso busca maximizar la cantidad de los toneles en lapalangana del pickup tomando en cuenta la seguridad en el transporte de estos. Esto se realiza para evitar que se vuelque el pickup.

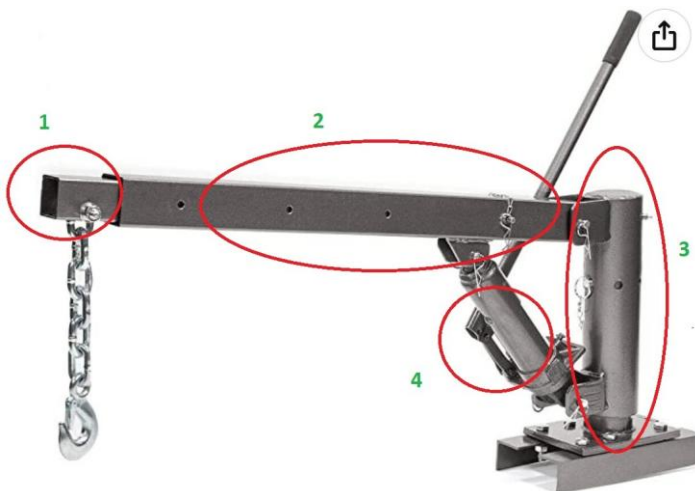
Las restricciones fueron obtenidas tras el viaje que se realizó a Santa Catarina Palopó los días 27-30 de abril de 2022. Se tomaron medidas de tiempos y medidas de espacio para evaluar las rutas pertinentes para un pickup (Figuras 29-32).

## 5.5. Cálculos de sistema de carga

El siguiente documento pretende ilustrar al lector el procedimiento realizado para el análisis del sistema de carga y sistema logístico. Para ello, se realiza una división de componentes para realizar los cálculos pertinentes para cada componente.

### Figura 40

#### Grúa tipo pluma marca VEVOR



*Nota. Esta figura muestra en círculos los componentes de una grúa tipo pluma.*

Los componentes de la grúa diseñada son:

- Brazo telescópico (1)
- Brazo principal (2)
- Columna (3)
- Actuador hidráulico (4)
- Tornillos

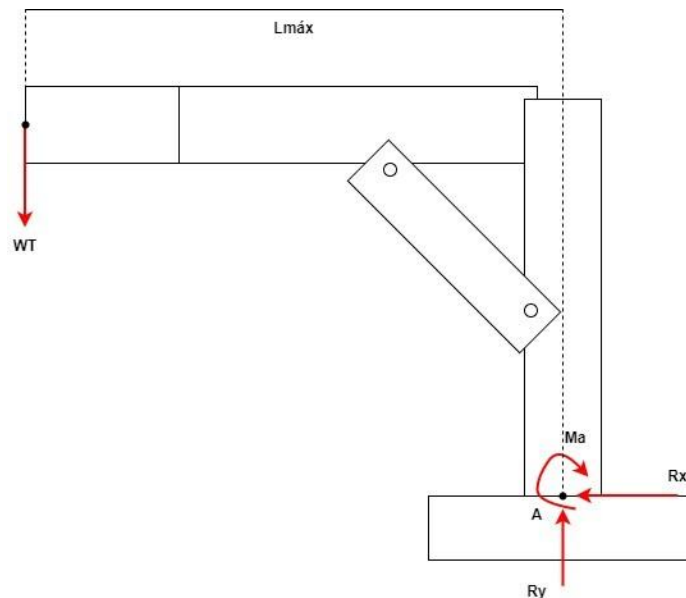
Además, se establece que la grúa se diseñó con el material acero ASTM A36 ya que es un material estructural comúnmente utilizado para este tipo de aplicaciones y fácil de encontrar en Guatemala. Es un acero de fácil soldabilidad y se utiliza en estructuras atornilladas.

### 5.5.1. Análisis de fuerzas

Para el análisis de fuerzas se inicia con un diagrama de cuerpo libre del sistema de carga con las fuerzas externas aplicadas en la grúa.

**Figura 41**

*Diagrama de sistema de carga*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de fuerzas del sistema de carga de la grúa tipo pluma por diseñar.*

Donde:

$R_x$ : Reacción en x del punto A

$R_y$ : Reacción en y del punto A

$M_a$ : Momento de reacción del punto A

$W_T$ : Fuerza ejercida por la carga de los toneles

$L_{max}$ : Distancia entre la fuerza de carga de toneles y el punto A

Las ecuaciones de equilibrio del diagrama del sistema de carga son las siguientes:

Ecuación X:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 & (1) \\ -R_x &= 0 \\ R_x &= 0N\end{aligned}$$

Ecuación Y:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 & (2) \\ R_y - W_T &= 0 \\ R_y &= 220(9.8) \\ R_y &= 2156N\end{aligned}$$

Momento en A:

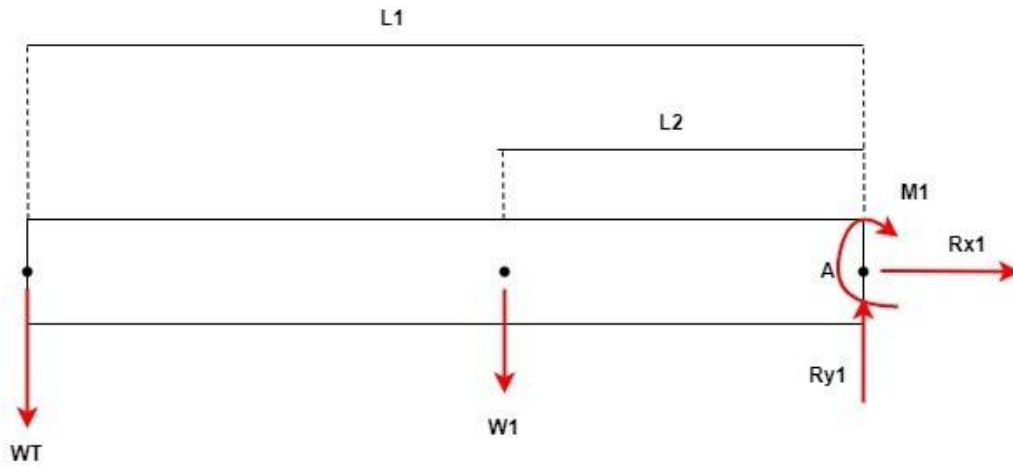
$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 & (3) \\ -W_T L_{max} + M_A &= 0 \\ -220(9.8)1.2 + M_A &= 0 \\ M_A &= 2587.2 Nm\end{aligned}$$

Para el diagrama en la Figura 41 es importante analizar el caso extremo del sistema de carga. Es por ello, que se toma el supuesto que para los toneles 1 litro de agua equivale a 1 kilogramo. El tonel más grande que utiliza Mosan es de 220 litros, es decir, 220 kilogramos. Además, para generar el caso extremo ocurre cuando la grúa está extendida a su totalidad. Esta distancia máxima es de 1.2 metros.

Luego se realiza el diagrama de cuerpo libre del brazo telescópico. El brazo telescópico es el encargado de cargar los toneles de residuos humanos y este se puede mover a lo largo del eje x, se puede ver en la Figura 40. En este caso, se analizará el caso extremo donde el brazo telescópico está más alejado de la base de la grúa. Para ello se considera el siguiente diagrama:

**Figura 42**

*Diagrama de brazo telescópico*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de fuerzas del brazo telescópico de la grúa tipo pluma por diseñar.*

Donde:

$R_{x1}$ : Reacción en x del punto A

$R_{y1}$ : Reacción en y del punto A

$M_1$ : Momento de reacción 1 del punto A

$W_T$ : Fuerza ejercida por la carga de los toneles

$W_1$ : Peso del brazo telescópico en una carga equivalente

$L_1$ : Distancia entre la fuerza de carga de toneles y el punto A

$L_2$ : Distancia entre la carga equivalente del peso del brazo y el punto A

Las ecuaciones de equilibrio para el brazo telescópico son las siguientes:

Ecuación X:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ R_{x1} &= 0N\end{aligned}\tag{4}$$

Ecuación Y:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ R_{y1} - W_1 - W_T &= 0 \\ R_{y1} &= 3.56(0.7)(9.8) + 2156 \\ R_{y1} &= 2180.42N\end{aligned}\tag{5}$$

Momento en A:

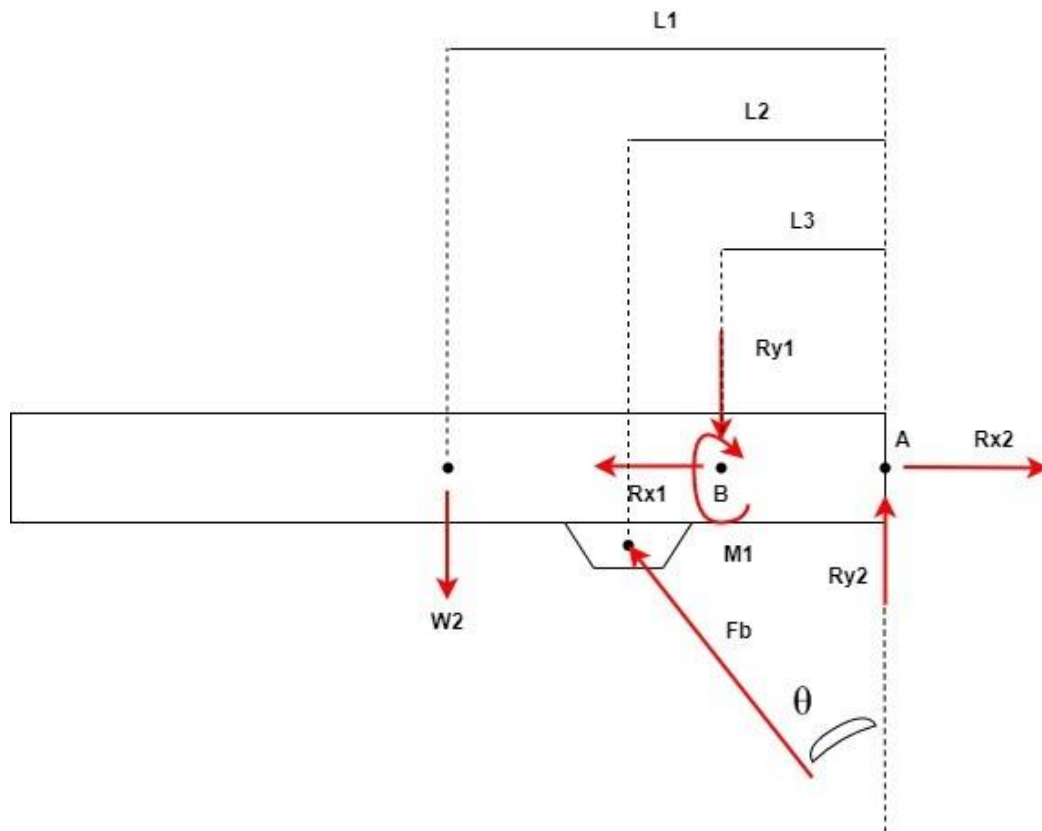
$$\begin{aligned}\sum M_{A1} &= 0 \\ M_{A1} - W_1L_2 - W_TL_1 &= 0 \\ M_{A1} &= 3.56(0.7)(9.8)\left(\frac{L_1}{2}\right) + 220(9.8)L_1 \\ M_{A1} &= 3.56(0.7)(9.8)(0.35) + 220(9.8)(0.7) \\ M_{A1} &= 1517.75Nm\end{aligned}\tag{6}$$

Para el brazo telescópico el largo es de 0.7 metros y se toma una carga distribuida del brazo de 3.56 kg/m donde se necesita convertir la carga distribuida como una carga equivalente como se ve en el diagrama en la Figura 42.

Luego, se realiza un diagrama del brazo principal de la Figura 40. El brazo principal es el encargado de sostener el brazo telescópico y la columna de la grúa.

**Figura 43**

*Diagrama de brazo principal*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de fuerzas del brazo principal de la grúa tipo pluma por diseñar.*

Donde:

$R_{x2}$ : Reacción en x del punto A

$R_{y2}$ : Reacción en y del punto A

$R_{x1}$ : Reacción en x del punto B

$R_{y1}$ : Reacción en y del punto B

$M_1$ : Momento de reacción 1 del punto B

$W_2$ : Peso del brazo principal en una carga equivalente

$F_b$ : Fuerza ejercida por el cilindro hidráulico

$\theta$ : Ángulo de  $F_b$  con respecto al brazo

$L_1$ : Distancia entre el peso del brazo principal y el punto A

$L_2$ : Distancia entre la fuerza ejercida por el cilindro y el punto A

$L_3$ : Distancia entre el punto B y el punto A

Ecuación X:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 & (7) \\ R_{x2} - R_{x1} - F_b \cos \theta &= 0\end{aligned}$$

Sabiendo que la reacción,  $R_{x1}$  es igual a cero se tiene:

$$R_{x2} = F_b \cos \theta$$

Ecuación Y:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 & (8) \\ R_{y2} - R_{y1} - F_b \sin \theta - W_2 &= 0 \\ R_{y2} - 2180.42 + F_b \sin \theta - 46.58 &= 0 \\ R_{y2} + F_b \sin \theta &= 2227N\end{aligned}$$

Momento en A:

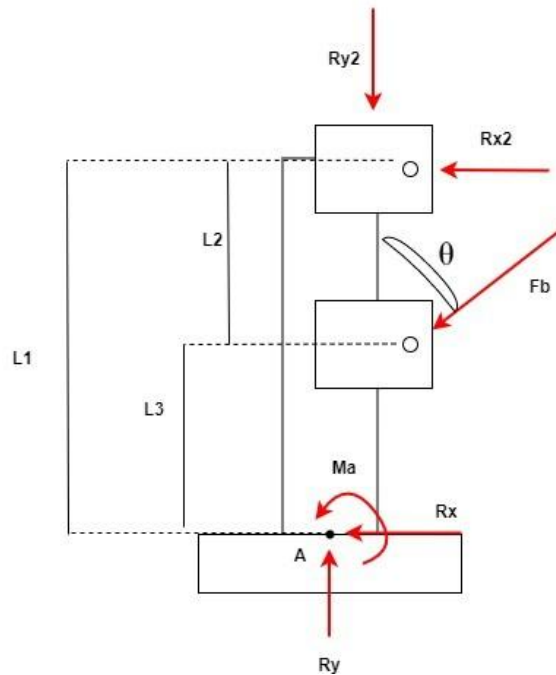
$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 & (9) \\ -M_1 - R_{y1}(L_3) + F_b \sin \theta (L_2) - W_2(L_1) &= 0 \\ -1517.75 - 2180.42(0.15) + F_b \sin \theta (0.25) - 46.58(0.35) &= 0 \\ 0.25F_b \sin 60^\circ &= 1861.116 \\ F_b &= 8596.13N\end{aligned}$$

Esta será la fuerza requerida del cilindro hidráulico para cargar los toneles con residuos humanos. Además, se utilizó un ángulo  $F_b$  de  $60^\circ$  ya que según Matallana (2005) afirma que “el ángulo de la fuerza del cilindro hidráulico en las grúas tipo pluma se encuentra en un rango de  $45^\circ < x < 66^\circ$ .”

Por último, se realiza el diagrama de la columna de la Figura 40 que es el componente de la grúa que une los brazos con la base.

### Figura 44

*Diagrama de columna*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de fuerzas de la columna de la grúa tipo pluma por diseñar.*

Donde:

$R_{x2}$ : Reacción en x que se genera por el brazo principal

$R_{y2}$ : Reacción en y que se genera por el brazo principal

$F_b$ : Fuerza ejercida por el cilindro hidráulico

$\theta$ : Ángulo de  $F_b$  con respecto al brazo

$R_x$ : Reacción en x del punto A

$R_y$ : Reacción en y del punto A

$M_a$ : Momento de reacción del punto A

$L_1$ : Altura de la columna

$L_2$ : Altura entre uniones soldadas

$L_3$ : Altura unión soldada a base

Ecuación X:

$$\sum F_x = 0 \tag{10}$$
$$F_b \cos \theta - R_{x2} - R_x = 0$$

Ecuación Y:

$$\sum F_y = 0 \tag{11}$$
$$R_y - F_b \sin \theta - R_{y2} = 0$$
$$R_y = F_b \sin \theta + R_{y2} = 0$$
$$R_y = 2227N$$

Momento en A:

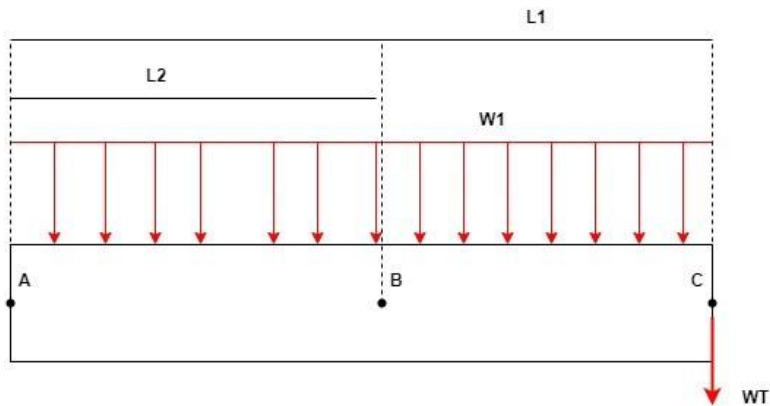
$$\sum M_A = 0 \tag{12}$$
$$F_b \cos \theta L_3 - R_{x2} L_1 + M_A = 0$$
$$4298.07(0.185) - 4298.07(0.5) + M_A = 0$$
$$M_A = 1353.89Nm$$

### Deflexión máxima del brazo

Es necesario determinar la deflexión ya que el brazo de la grúa, al aplicar la carga, se desplaza hacia abajo y por ende se debe de determinar para prevenir fallas. Para determinarla ecuación de deflexión máxima se utiliza el siguiente diagrama:

**Figura 45**

*Deflexión brazo telescópico*



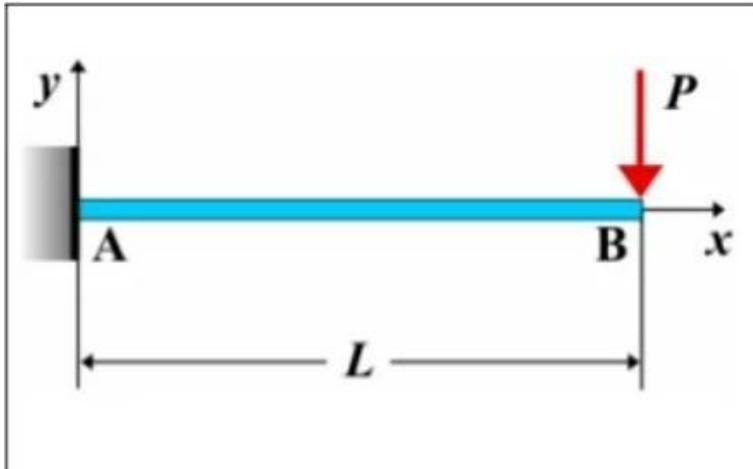
*Nota. Esta figura muestra un diagrama fuerzas en el brazo telescópico para el cálculo de la deflexión máxima.*

Para el análisis de deflexión se consideran los siguientes casos de deformaciones en vigas:

Caso No.1: Viga en voladizo con carga puntual en el extremo

**Figura 46**

*Viga en voladizo con carga puntual en el extremo*

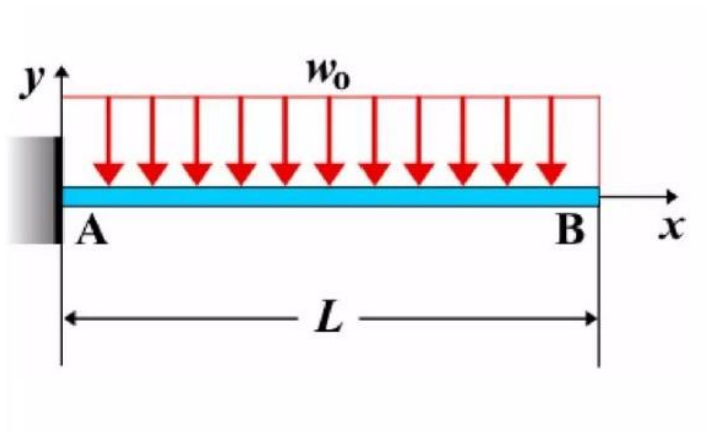


*Nota. Esta figura muestra un diagrama de un caso de viga en voladizo con carga puntual en el extremo que es uno que actúa en la grúa tipo pluma. Adaptado de Gere y Goodno, 2016.*

Caso No.2: Viga en voladizo con carga distribuida en toda la viga

**Figura 47**

*Viga en voladizo con carga puntual en cualquier punto*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de un caso de viga en voladizo con carga puntual en cualquier punto que es otro caso que actúa en la grúa tipo pluma. Adaptado de Gere y Goodno, 2016.*

Tras aplicar el principio de superposición este también aplica para el cálculo de la deflexión máxima. Entonces la relación de la deflexión máxima es la siguiente:

$$y_{max} = \frac{-W_T L_1^3}{3EI} + \frac{-W_1 L_1^4}{8EI} \quad (13)$$

$$y_{max} = \frac{220(9.8)0.7^3}{3(200e^9)(4.707e^{-7})} + \frac{3.56(0.7)^4}{8(200e^9)(4.707e^{-7})}$$

$$y_{max} = 2.62mm$$

Donde:

$W_T$ : Peso del tonel

$W_1$ : Peso del brazo

$E$ : Módulo de Elasticidad del Acero A36

$I$ : Momento de Inercia del brazo telescópico

$L_1$ : Distancia entre el punto A y B

$L_2$ : Distancia entre el punto A y C

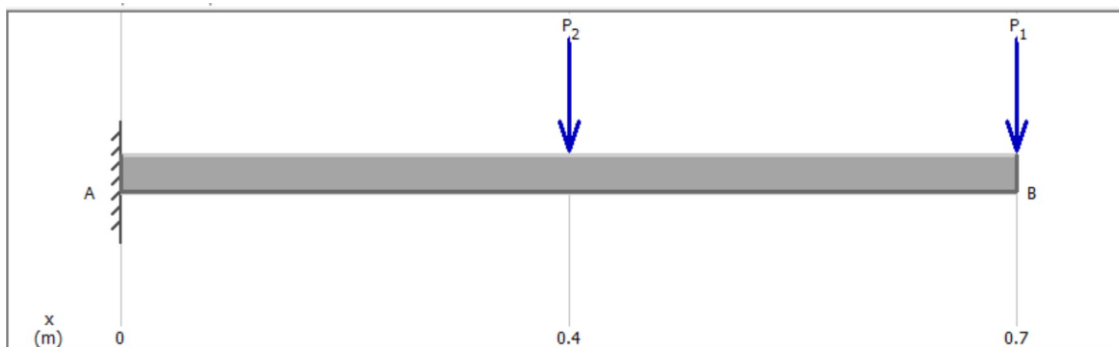
### 5.5.2. Análisis de esfuerzos

#### Análisis de esfuerzos con carga estática

Para el análisis estático del brazo telescópico se considera el siguiente diagrama:

**Figura 48**

*Diagrama de carga brazo telescópico*

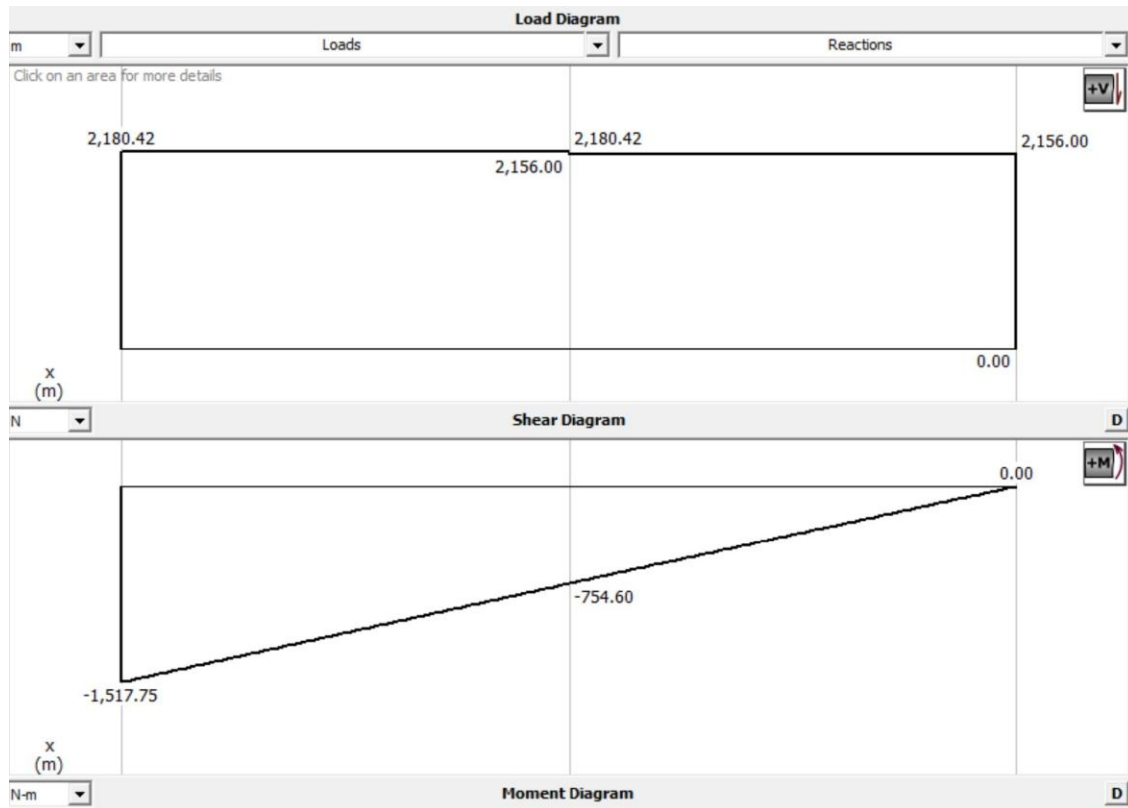


*Nota. Esta figura muestra un diagrama de carga estática en el brazo telescópico. Adaptado de MDSolids.*

Para obtener la flexión máxima se debe de determinar el momento flector máximo y se realiza por los diagramas de corte y momento.

**Figura 49**

*Diagramas de corte y momento brazo telescópico*



*Nota. Esta figura muestra los diagramas de corte y momento del brazo telescópico. Adaptado de MDSolids.*

Para realizar los cálculos de esfuerzo máximo se debe de obtener la sección crítica del perfil y para ello, se realiza un diagrama de corte y momento para determinar en dónde se encuentra el punto crítico, que será donde se localiza el momento máximo. El momento máximo se sustituye en del esfuerzo a flexión.

El diagrama elaborado en la Figura 48 es el caso extremo analizado con los diagramas anteriormente. Este servirá para obtener el esfuerzo de flexión máximo por medio de la siguiente relación:

$$\sigma_{flexion} = \frac{Mc}{I} \tag{14}$$

$$\sigma_{flexion} = \frac{1517.75(0.03)}{4.707e^{-7}}$$

$$\sigma_{flexion} = 96.74MPa$$

Donde:

$M$ : Momento de la sección

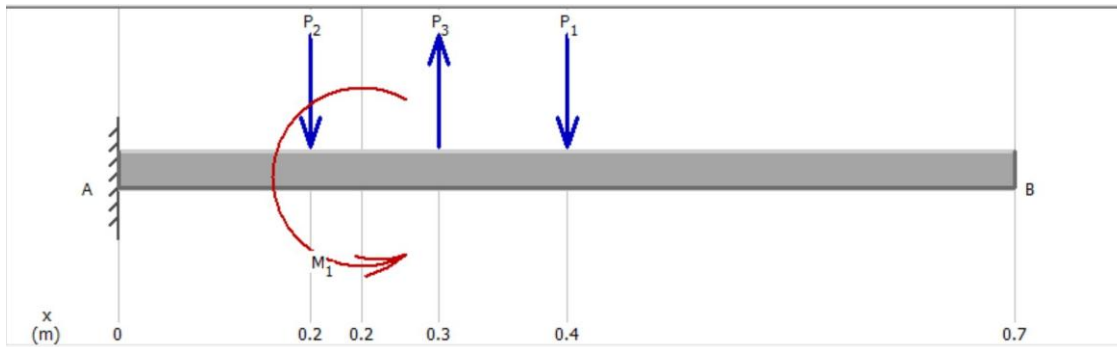
$I$ : Momento de inercia del área transversal respecto a su eje neutro

$c$ : Distancia del eje neutro a la fibra más alejada en la sección transversal

Se realiza un procedimiento similar para el brazo principal:

**Figura 50**

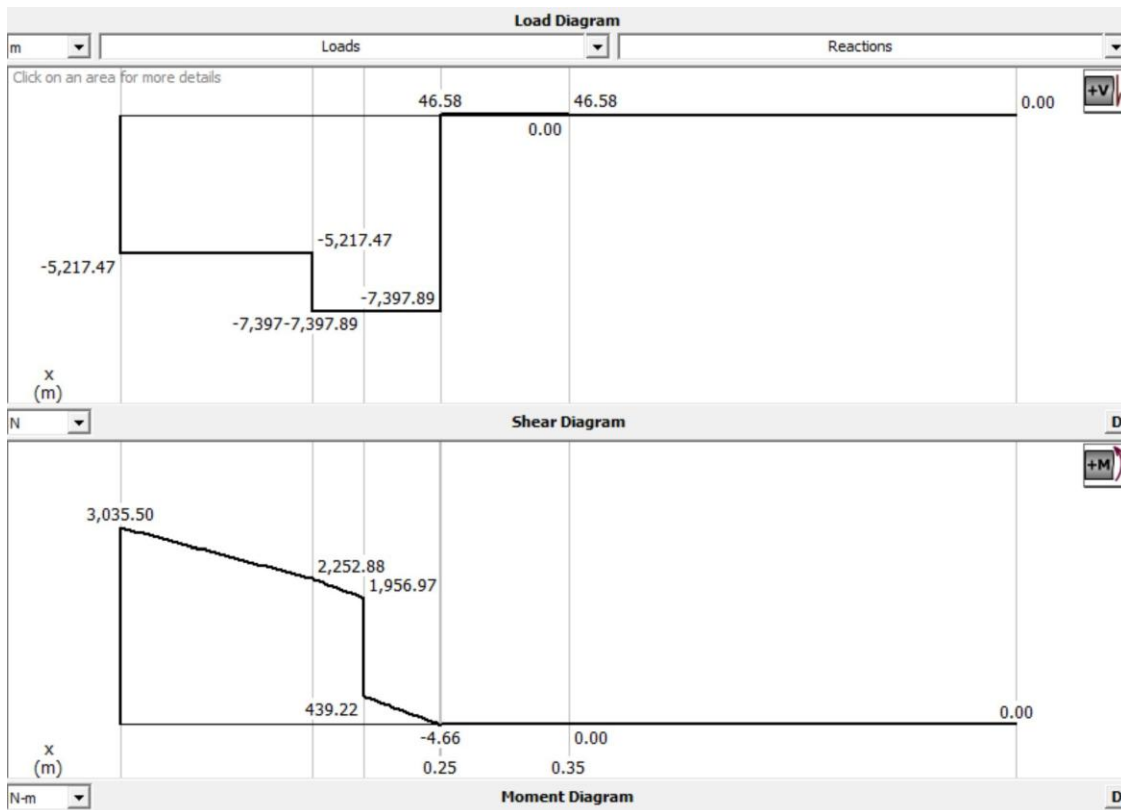
*Diagramas de carga brazo principal*



*Nota. Esta figura muestra el diagrama de carga estática del brazo principal. Adaptado de MDSolids.*

**Figura 51**

*Diagramas de corte y momento brazo principal*



*Nota. Esta figura muestra los diagramas de corte y momento del brazo principal. Adaptado de MDSolids.*

$$\sigma_{flexion} = \frac{Mc}{I} \tag{15}$$

$$\sigma_{flexion} = \frac{3035.50(0.035)}{1.058e^{-6}}$$

$$\sigma_{flexion} = 100.42MPa$$

Como también hay esfuerzos axiales que actúan en el sistema de carga estos se analizan con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{axial} = \frac{F}{A} \tag{16}$$

$$\sigma_{axial} = \frac{F_b \cos \theta}{A}$$

$$\sigma_{axial} = \frac{4298.1}{0.000454}$$

$$\sigma_{axial} = 2.79MPa$$

Donde:

$F$ : Fuerza aplicada

$A$ : Área donde se aplica la fuerza

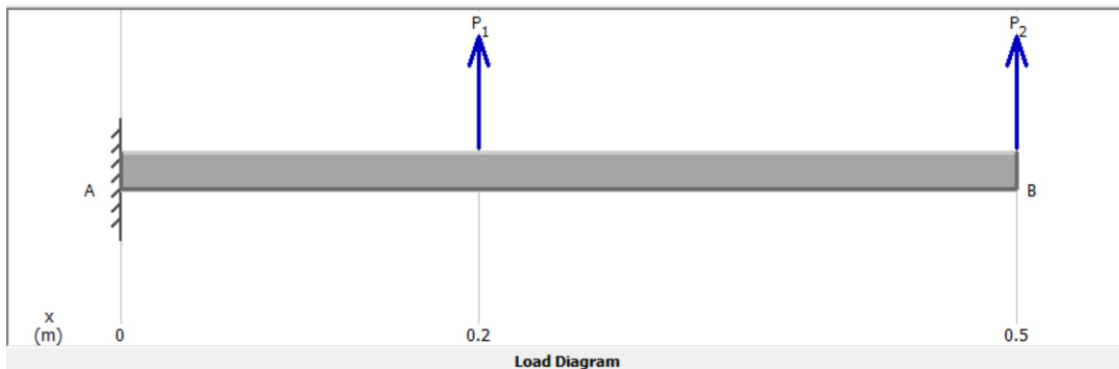
Entonces el esfuerzo máximo es la sumatoria del esfuerzo de flexión y esfuerzo axial:

$$\sigma_{max} = 103.21MPa \quad (17)$$

Para la columna se realiza el mismo procedimiento y se obtiene:

### Figura 52

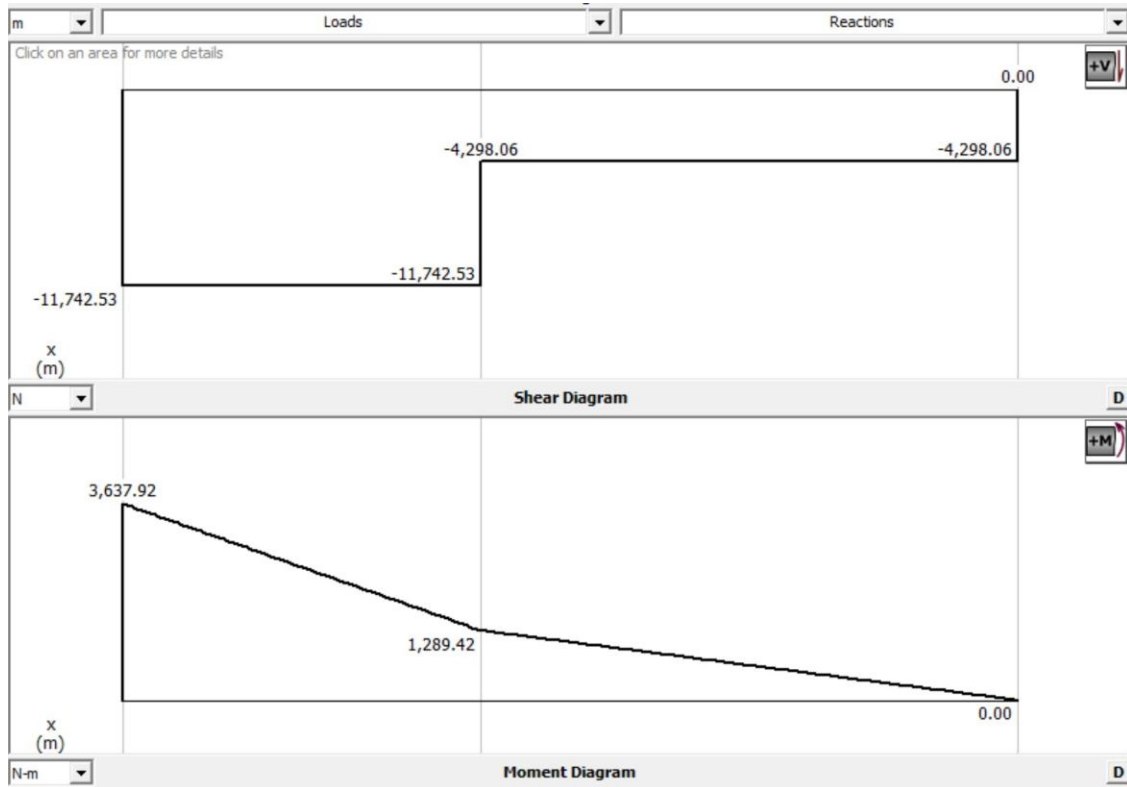
*Diagramas de cargas a flexión columna*



*Nota. Esta figura muestra el diagrama de carga estática de la columna. Adaptado de MDSolids.*

**Figura 53**

*Diagramas de corte y momento*



*Nota. Esta figura muestra los diagramas de corte y momento de la columna. Adaptado de MDSolids.*

$$\sigma_{flexion} = \frac{Mc}{I} \tag{18}$$
$$\sigma_{flexion} = \frac{3637.92(0.0508)}{1.77e^{-6}}$$
$$\sigma_{flexion} = 104.41MPa$$

Como también hay esfuerzos axiales que actúan en el sistema de carga estos se analizan con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\sigma_{axial} &= \frac{F}{A} \\ \sigma_{axial} &= \frac{R_{y2}\theta}{A} \\ \sigma_{axial} &= \frac{5217.47}{0.00152} \\ \sigma_{axial} &= 3.43MPa\end{aligned}\tag{19}$$

Entonces el esfuerzo máximo es la sumatoria del esfuerzo de flexión y esfuerzo axial:

$$\sigma_{max} = 107.84MPa\tag{20}$$

Para un diseño seguro se requiere que el esfuerzo máximo sea menor o igual al esfuerzo permisible ( $\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$ ). El esfuerzo permisible es dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}\tag{21}$$

Donde:

$\sigma_y$ : Esfuerzo de fluencia del Acero A36

$F.S$ : Factor de seguridad

Para garantizar la seguridad se requiere elegir un esfuerzo permisible que restrinja la carga requerida a un valor que sea mayor a la carga que la viga puede soportar. Al utilizar acero ASTM A36 se utiliza un esfuerzo de fluencia de 250 MPa (Automation Creations, 2022). El valor del factor de seguridad será de 2.3 y se establece según el criterio de diseño de Ullman (Ullman, 2010, pg. 405).

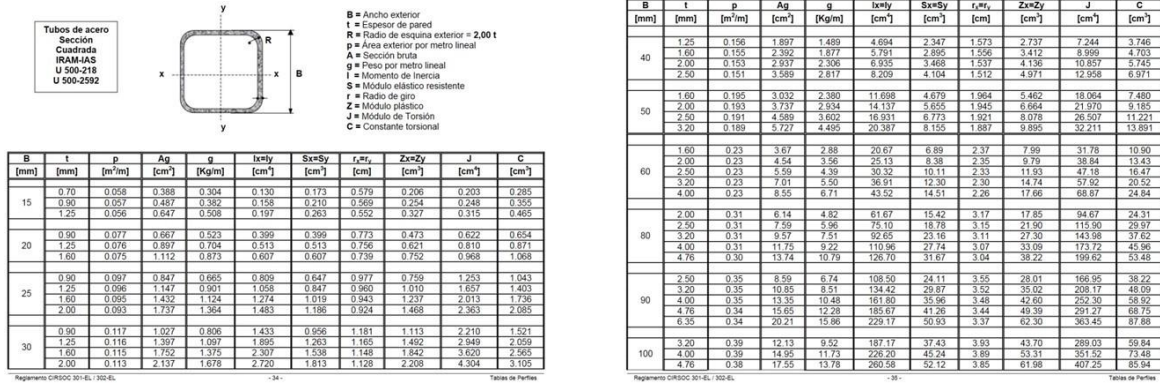
Posteriormente, tras obtener el esfuerzo permisible y el esfuerzo máximo se busca que estos cumplan con la restricción de la ecuación 21 siguiente restricción:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$$

Esta restricción servirá para seleccionar los perfiles para el sistema de carga. Con el catálogo de tubos estructurales de la Figura 54 se procede a seleccionar las dimensiones de los perfiles teniendo en cuenta que el valor del esfuerzo permisible sea mayor al esfuerzo máximo.

**Figura 54**

*Catálogo de tubos acero A36*

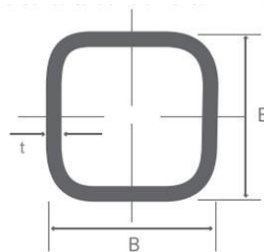


*Nota. Esta figura muestra todos los perfiles de tubos cuadrados fabricados con material de acero a36. Adaptado de Gamboa, pg. 36-37, 2012)*

Los perfiles seleccionados son los siguientes:

**Figura 55**

*Dimensiones de perfil cuadrado*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de los criterios de las dimensiones del tubo cuadrado. Adaptado de Ternium, 2019.*

**Tabla 10**

*Dimensiones de tubos cuadrados diseñados*

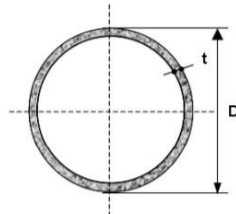
Referencia	B (mm)	t (mm)	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	L (mm)
Perfil Interno (Brazo telescópico)	60	4	47.07	14.51	700
Perfil Externo (Brazo principal)	70	6	105.80	17.22	700

*Nota. Esta tabla muestra las dimensiones de los tubos cuadrados diseñados para la grúa hidráulica tipo pluma.*

El perfil de la columna seleccionada es el siguiente:

**Figura 56**

*Dimensiones de perfil circular*



*Nota. Esta figura muestra un diagrama de los criterios de las dimensiones del tubo circular/columna. Adaptado de Gamboa, pg. 32, 2019.*

**Tabla 11**

*Dimensión de tubo circular diseñado*

<b>Referencia</b>	<b>D (mm)</b>	<b>t (mm)</b>	<b>I (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>S (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>L (mm)</b>
Tubo circular (Columna)	101.6	5	177	34.93	500

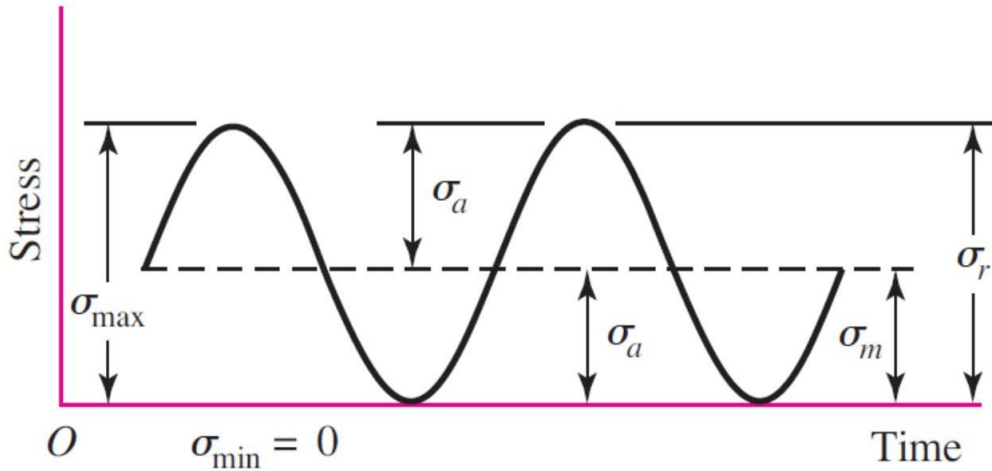
*Nota. Esta tabla muestra la dimensión del tubo circular diseñado para la grúa hidráulica tipo pluma.*

### **Análisis de esfuerzos con carga variable**

Para el análisis de esfuerzos con carga variable se utilizará el perfil con mayor esfuerzo, en este caso, es la columna con un  $\sigma_{max} = 107.84$  MPa. Se inicia obteniendo el esfuerzo promedio y alternante. Para ello, se establece el caso donde el esfuerzo mínimo es cero.

**Figura 57**

*Ciclo de esfuerzos en el tiempo*



*Nota. Esta figura muestra el caso del ciclo de esfuerzos aplicado en la grúa hidráulica tipo pluma en el tiempo. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.*

Utilizando la Figura 57 se observa el caso por solucionar. El perfil al no estar cargando un tonel, el esfuerzo será cero por lo que este es el esfuerzo mínimo, sin embargo, al cargar un tonel este genera un esfuerzo máximo. Consecuentemente, se obtendrán esfuerzos alternantes y medio. Estos serán igual a:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{alternante o medio}} &= \frac{\sigma_{\text{max}}}{2} & (22) \\ \sigma_{\text{alternante o medio}} &= \frac{107.84}{2} \\ \sigma_{\text{alternante o medio}} &= 53.92 \text{MPa}\end{aligned}$$

Para este análisis se utiliza un acero ASTM A36 debido a su bajo costo el cual es capaz de ofrecer una alta resistencia física y son utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas y atornilladas para la construcción industrial y civil. Este también se utiliza en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de construcción y la ingeniería (METINVEST, 2006). Por lo que se requiere de sus propiedades para extraer la resistencia a la fluencia ( $S_y$ ), la resistencia a la fatiga ( $S_f$ ), número de ciclos de la fluencia ( $N$ ) y la resistencia última a la tensión ( $S_{ut}$ ).

La teoría de falla por utilizar es el método de Gerber ya que permite cuantificar la probabilidad de falla en aspectos de la realidad. Este método se utiliza en materiales dúctiles con cargas simples y con esfuerzos fluctuantes de amplitud constante como se indica en este caso (Budynas y Nisbett, 2012). La teoría de Gerber está sujeta a la siguiente relación:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad (23)$$

Donde:

$\sigma_a$ : Esfuerzo alternante

$\sigma_m$ : Esfuerzo medio

$n$ : Factor de seguridad

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga estimado por la pieza a diseñar

$S_{ut}$ : Resistencia última a la tensión

Para obtener la estimación del límite de resistencia a la fatiga se utiliza la ecuación de Marin:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (24)$$

Donde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga estimado para la pieza a diseñar

$k_a$ : Factor por condición superficial

$k_b$ : Factor por tamaño

$k_c$ : Factor por carga

$k_d$ : Factor por temperatura

$k_e$ : Factor de confiabilidad

$k_f$ : Factor por efectos varios

$S'_e$ : Límite de resistencia del material

## Tabla 12

*Criterio de selección por factor*

Factor	Valor	Criterio de selección
$k_a$	0.89	Se utiliza la ecuación que incluye la resistencia última del material(400-550 MPa) y maquinado o laminado en frío. (Ecuación No. 100 y Figura No. 131).
$k_b$	0.731	Se utiliza la ecuación que incluye el diámetro del perfil en un determinado rango. (Figura No. 132)
$k_c$	1	Por estar sometido a flexión se utiliza este valor. (Figura No. 133)
$k_d$	1	Al estar operando en una temperatura ambiente se utiliza este valor. (Ecuación No. 101 y Figura No. 134)
$k_e$	0.753	Se desea una confiabilidad de 99.9 %. (Ecuación No. 102 y Figura No. 135)
$k_f$	0.8	Corrosión, endurecimiento superficial y trabajo en frío. (Figura No. 11)
$S'_e$	450 MPa	Límite de resistencia del Acero ASTM A36

El cálculo de cada uno de los factores se encuentra en la sección de Anexos.

$$S_e = 176.35MPa \quad (25)$$

Se sustituye el límite de resistencia a la fatiga estimado en la ecuación No. 73

$$n = 2.88 \quad (26)$$

Por último, si se tuviese un factor de seguridad menor a 1, se debe de calcular la cantidad de ciclos que puede efectuar el sistema y determinar si el resultado es adecuado o no. Paralelo, se utiliza la fluencia estática por el método de Langer para determinar si el sistema posee un factor de seguridad adecuado contra las cargas estáticas presentes:

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n} \quad (27)$$

$$n = 2.32$$

Por otro lado, obteniendo un factor de seguridad mayor a 1 se garantiza vida infinita para el sistema, es decir más de  $10^6$  ciclos.

### 5.5.3. Selección de gato hidráulico

Para la selección del actuador hidráulico lineal se realiza por medio del caso de carga máxima, para ello, se considera que un kilogramo de agua equivale a un litro de agua. De esta manera las características por tonel se muestran a continuación:

**Tabla 13**

*Características de toneles*

Tonel (litros)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área transversal (m <sup>2</sup> )
55	417	560	0.1366
120	485	792	0.1847
220	526	907	0.2173

*Nota. Esta tabla muestra los tres toneles utilizados para la selección del gato hidráulico.*

Para la selección del actuador hidráulico se considera la fuerza necesaria del gato obtenida en la ecuación 9.

## Figura 58

### Gatos de tipo botella

**Gatos de botella 21 t a 2 t**  
- Con dispositivo de extensión (tornillo) el cual incrementa la altura máxima

Incluyen: Mango de extensión (2 piezas)

Cumplen la Norma Oficial Mexicana: NOM-14-SCFI

HECHO EN MÉXICO Excepto GAT-20

Código	14822	14820	14818	14816	14814	14812	14810
Clave:	GAT-20	GAT-16	GAT-12	GAT-8	GAT-6	GAT-4	GAT-2
Capacidad:	21 t	16 t	12 t	8 t	6 t	4 t	2 t
Altura máxima:	470 mm	475 mm	475 mm	470 mm	435 mm	385 mm	350 mm
Altura mínima:	240 mm	230 mm	230 mm	230 mm	215 mm	195 mm	180 mm
Mayoreo:	\$ 1,250 NC 2	\$ 1,075 NC 2	\$ 955 NC 2	\$ 805 NC 2	\$ 655 NC 2	\$ 535 NC 2	\$ 445 NC 2
Caja / Master:	1 / 2	1 / 2	1 / 3	1 / 4	1 / 6	1 / 6	1 / 6

*Nota. Esta figura muestra los gatos hidráulicos tipo botella y se utiliza para seleccionar el gato hidráulico que más se adapte al sistema de carga. Adaptado de TRUPER, 2023.*

## Figura 59

### Selección de gato hidráulico

Fb (ton)	Fb (N)
0.5	4903.50
1	9807.00
1.5	14710.50
2	19614.00
3	29421.00
4	39228.00
5	49035.00
6	58842.00

*Nota. Esta figura muestra el cálculo e iteraciones para la selección del gato hidráulico.*

Se realizan iteraciones con distintos gatos hidráulicos para determinar cuál es el más cercano a la fuerza requerida para cargar los toneles. Se obtiene que el gato hidráulico más cercano al valor de la fuerza obtenida es un gato hidráulico de 1.5 toneladas, sin embargo, este tipo de gato la venta no es común en Guatemala por lo que se selecciona un gato hidráulico de 2 toneladas. Además, se debe de verificar que el gato logre levantar a su totalidad los toneles para que estos sean colocados en la palangana del pickup.

## Figura 60

*Altura suelo a palangana en Toyota 22R*



*Nota. Esta figura muestra cómo estaría instalada la grúa hidráulica tipo pluma en la palangana del pick up.*

## Figura 61

*Extensión gato hidráulico*

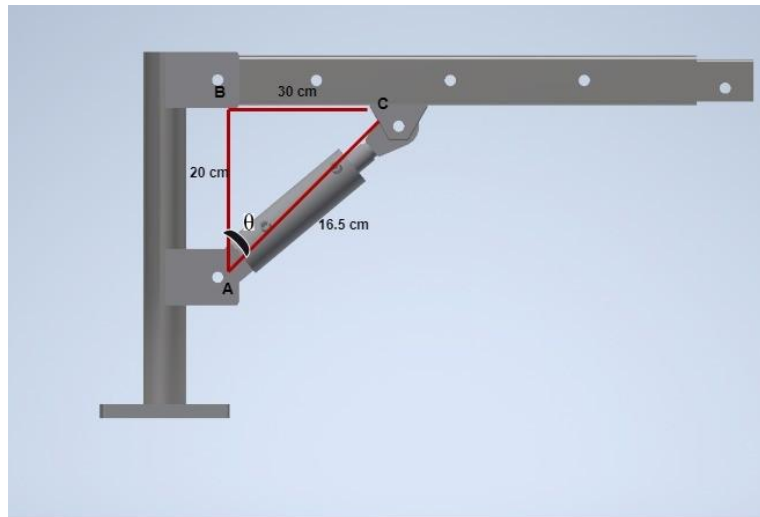


*Nota. Esta figura muestra el alcance del gato hidráulico tipo botella. Adaptado de Amazon, 2023.*

La pluma hidráulica tiene una altura de 50 cm y el gato hidráulico se extiende hasta 25.5 cm. Para ello se realiza un análisis de geometría para obtener la altura que la pluma hidráulica levanta los toneles.

### Figura 62

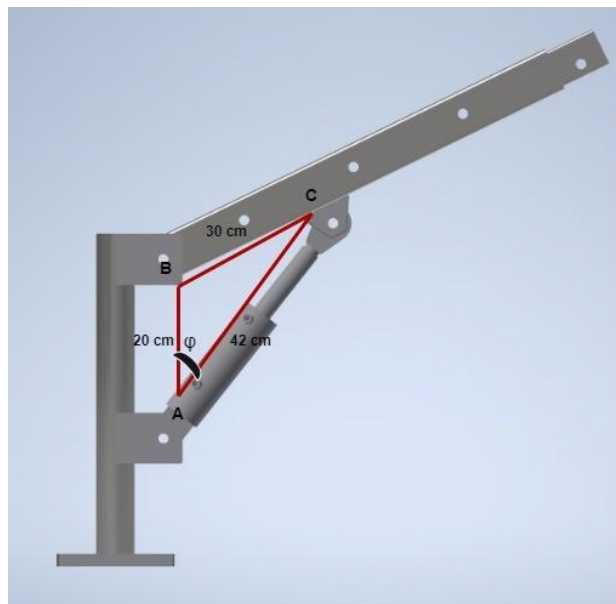
*Dimensiones de pluma hidráulica en reposo*



*Nota. Esta figura muestra la grúa diseñada con las dimensiones de análisis. Adaptado de Autodesk Inventor, 2023.*

### Figura 63

*Dimensiones de pluma hidráulica con gato extendido*



*Nota. Esta figura muestra la grúa diseñada en el peor caso posible para el análisis. Adaptado de Autodesk Inventor, 2023.*

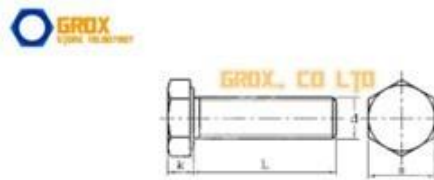
Por medio de la ley de senos se obtienen los ángulos en los puntos A, B y C. Estos son 41.20°, 112.75° y 26.05, respectivamente. Los ángulos del triángulo que se forma al extender el gato hidráulico sirven para determinar la altura que la pluma hidráulica carga los toneles que es de 11.60 cm. Es decir, teniendo en cuenta la altura del suelo a la palangana es de 65 cm. La altura del tonel pequeño es de 55 cm. La pluma hidráulica debe poder elevarse más de 120 cm. Entonces, al sumar la altura del suelo a la palangana (65 cm), la altura de la pluma hidráulica (50 cm) y la altura máxima de la pluma hidráulica en donde el gato hidráulico está extendido a su totalidad (11.60 cm) da un resultado total de 126.60 cm el cual es mayor que los 120 cm requeridos para cargar los toneles. Por ende, la pluma hidráulica es capaz de cargar los 16 toneles pequeños en la palangana del pickup.

#### 5.5.4. Análisis de pernos

Para la grúa diseñada se seleccionó pernos hexagonales M16x2 grado 8.8 ya que estos son tornillos estandarizados para uso en plumas hidráulicas. Además, estos garantizan una mayor seguridad en el mecanismo (Avilez y Fajardo, 2019).

**Figura 64**

*Designación de pernos hexagonales*



Size	Thread	k						S		
		pitch	A		B		max	min	A	B
d		max	min	max	min	max	min			
M3	0.5	2.52	2.28	/	/			5.5	5.32	/
M4	0.7	2.92	2.62	3	2.8	7	6.78	6.64		
M5	0.8	3.65	3.35	3.74	3.26	8	7.78	7.64		
M6	1	4.15	3.85	4.24	3.76	10	9.78	9.64		
M7	1	4.95	4.65	5.04	4.56	11	10.73	10.57		
M8	1.25	5.45	5.15	5.54	5.06	13	12.73	12.57		
M10	1.5	6.56	6.22	6.69	6.11	17	16.73	16.57		
M12	1.75	7.68	7.32	7.79	7.21	19	18.67	18.48		
M14	2	8.98	8.62	9.09	8.51	22	21.67	21.16		
M16	2	10.18	9.82	10.29	9.71	24	23.67	23.16		
M18	2.5	11.72	11.28	11.85	11.15	27	26.67	26.15		
M20	2.5	12.72	12.28	12.85	12.15	30	29.67	29.16		
M22	2.5	14.22	14.35	14.35	13.65	32	31.61	31		

*Nota. Esta figura muestra la designación de pernos hexagonales para su selección. Adaptado de GROX, 2022.*

**Figura 65**

*Designación de pernos hexagonales grado 8.8*

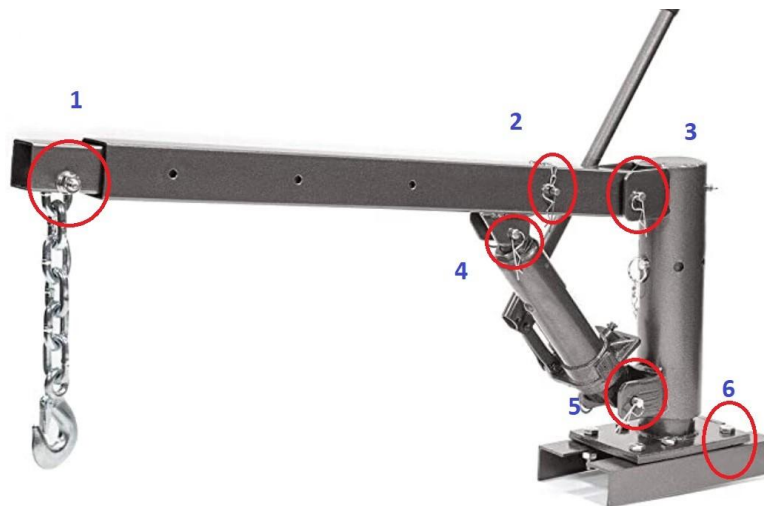
TABLE OF PRELOADS AND TIGHTENING APPROXIMATE VALUES											
METRIC	mm allen	mm hex.	mm coarse thread	resistant section mm <sup>2</sup>	friction coefficient	COARSE THREAD					
						8.8		10.9		12.9	
						PRELOAD N	TORQUE Nm	PRELOAD N	TORQUE Nm	PRELOAD N	TORQUE Nm
M2	1,5	4	0,40	2,07	0,10	976,9	0,51	1.373,6	0,43	1.648,6	0,52
					0,14	899,0	0,57	1.284,3	0,52	1.517,1	0,63
M2,5	2	5	0,45	3,39	0,10	1.627,0	0,63	2.288,0	0,88	2.745,6	1,05
					0,14	1.499,8	0,77	2.109,1	1,08	2.531,0	1,30
M3	2,5	5,5	0,50	5,03	0,10	2.439,9	1,09	3.431,0	1,53	4.117,2	1,84
					0,14	2.251,9	1,84	3.186,7	1,88	3.800,0	2,26
M3,5	6	0,60	6,78	0,10	3.276,4	1,68	4.607,5	2,38	5.528,9	2,84	
				0,14	3.022,8	2,05	4.250,6	2,88	5.100,7	3,47	
M4	3	7	0,70	8,78	0,10	4.230,6	2,30	5.849,6	3,52	7.139,5	4,22
					0,14	3.901,9	3,08	5.487,0	4,30	6.584,4	5,16
M5	4	8	0,80	14,20	0,10	6.923,1	4,83	9.735,7	6,93	11.682,8	8,82
					0,14	6.393,7	6,04	8.991,1	8,50	10.769,3	10,20
M6	5	10	1,00	20,10	0,10	9.748,4	8,47	13.710,1	11,92	16.452,2	14,80
					0,14	8.998,2	10,37	12.653,7	14,59	15.184,4	17,51
M7	11	1,00	28,90	0,10	14.269,1	13,94	20.065,9	19,60	24.079,1	23,52	
				0,14	13.199,2	17,21	18.561,4	24,20	22.273,6	29,04	
M8	6	13	1,25	36,60	0,10	17.894,2	20,41	25.163,7	28,70	30.196,5	34,44
					0,14	16.531,2	25,07	23.247,0	35,26	27.896,5	42,31
M10	8	16	1,50	58,00	0,10	28.489,0	40,22	40.052,7	56,58	48.075,3	67,87
					0,14	28.334,6	49,52	37.033,3	59,64	44.439,9	83,58
M12	10	18	1,75	84,30	0,10	41.533,2	68,86	58.406,1	98,63	70.087,3	116,20
					0,14	38.408,0	84,84	54.011,2	119,31	64.813,5	143,17
M14	12	21	2,00	115,00	0,10	56.779,6	109,59	79.846,6	154,03	95.816,0	184,84
					0,14	52.522,4	135,13	73.859,6	190,02	88.631,5	226,03
M16	14	24	2,00	157,00	0,10	76.484,3	170,29	110.388,5	228,47	132.442,2	207,36
					0,14	72.728,5	211,81	102.274,4	297,55	127.729,3	357,09

*Nota. Esta figura muestra la designación de pernos hexagonales con valores precargas. Adaptado de TSF.*

Para el análisis de pernos se debe de identificar todos los pernos que se requieren en la grúa con su respectivo caso de esfuerzo. Para ello, se realiza el siguiente diagrama:

**Figura 66**

*Tornillos en grúa*

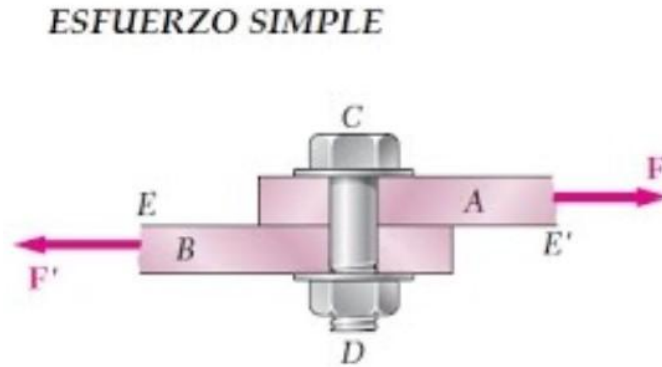


*Nota. Esta figura muestra la grúa tipo pluma con los pernos diseñados.*

Para el tornillo en el Caso 1 (Figura 66) se analiza un tornillo a cortante puro simple:

**Figura 67**

*Esfuerzo de corte simple*



*Nota. Esta figura muestra el caso 1 aplicado en la Figura 66 para su cálculo. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.*

Entonces, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P}{A} \tag{28}$$

$$\tau = \frac{mg}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$\tau = \frac{2156}{\frac{\pi 0.016^2}{4}}$$

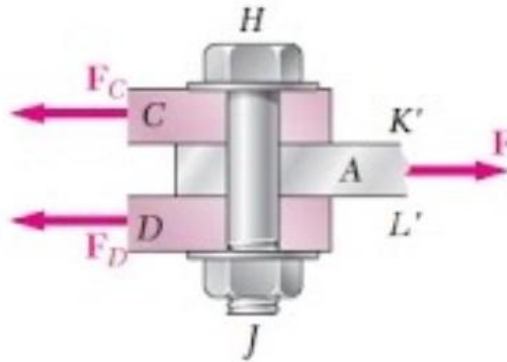
$$\tau = 10.72 \text{MPa}$$

Para el Caso No. 2 (Figura No. 66) se tiene un esfuerzo cortante similar al anterior solo que al tener el brazo telescópico y brazo principal que están sujetos al perno se tiene un esfuerzo cortante doble:

### Figura 68

*Esfuerzo de corte doble*

#### ESFUERZO DOBLE



*Nota. Esta figura muestra el caso 2 aplicado en la Figura 66 para su cálculo. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.*

Entonces, se utiliza la siguiente relación:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F}{2A} \tag{29}$$
$$\tau = \frac{\frac{R_{y1}}{2}}{\frac{\pi 0.016^2}{4}}$$
$$\tau = 5.42 \text{MPa}$$

Para el Caso No. 3, 4 y 5 (Figura 66) se tiene un esfuerzo cortante y flexión en el perno.

### Figura 69

Esfuerzo de corte doble



Nota. Esta figura muestra el caso 3, 4 y 5 aplicado5 en la Figura 66 para su cálculo. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.

$$\sigma = \frac{M}{I_{\text{perfil}} - \frac{I_{\text{agujero}}}{c}} \quad (30)$$
$$\sigma_3 = \frac{1509.2}{\frac{1.06e^{-6}}{4}}$$
$$\sigma_3 = 57.12MPa$$
$$\sigma_4 = 32.64MPa$$
$$\sigma_5 = 57.12MPa$$

Luego, se realiza el cálculo de esfuerzo por aplastamiento para la base de la columna. Para ello, se inicia con la siguiente relación:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{F}{td} \quad (31)$$
$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = 16.30MPa$$

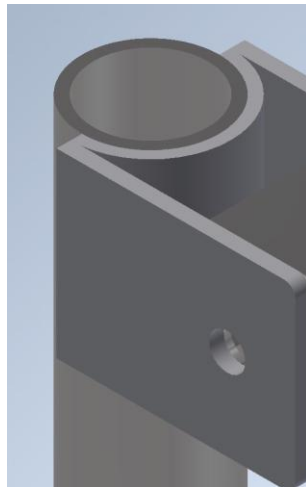
Donde:

$F$ : Fuerza aplicada en la placa  
 $t$ : Espesor de la placa  
 $d$ : Diámetro del perno

### 5.5.5. Análisis de soldadura

**Figura 70**

*Ubicación de soldadura*

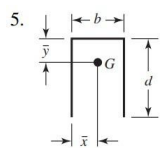


*Nota. Esta figura muestra la ubicación de la soldadura por diseñar y calcular. Adaptado en AutoDesk Inventor, 2023.*

El caso de soldadura que se tiene es el siguiente:

**Figura 71**

*Caso Soldadura a flexión*



$$A = 0.707h(b + 2d)$$

$$\bar{x} = b/2$$
$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$$

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

*Nota. Esta figura muestra el caso de soldadura por calcular. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.*

Para obtener el esfuerzo máximo se debe de obtener el esfuerzo cortante y el esfuerzo deflexión que actúa en la soldadura. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\tau'_{cortante} = \frac{V}{A_g} \quad (32)$$

$$\tau''_{flexion} = \frac{Mc}{I_u} \quad (33)$$

Donde:

$V$  = Fuerza cortante

$A_g$  = Área de cordón de soldadura

$M$  = Momento flector = Distancia desde centroide del cordón de soldadura a la parte más alejada

$I$  = Momento de Inercia

$$\tau'_{cortante} = \frac{mg}{0.707h(b + 2b)} \quad (34)$$

$$\tau'_{cortante} = 1.22MPa$$

$$\tau''_{flexion} = \frac{mg(L)}{\frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2} \quad (35)$$

$$\tau''_{flexion} = \frac{2156(0.835)}{\frac{2(80)^3}{3} - 2(80)^2(40) + (105 + 2(80))40^2}$$

$$\tau'_{flexion} = 284.29MPa$$

$$\tau_{resultante} = 284.29MPa$$

## Figura 72

### Caso Soldadura a flexión

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Nota. Esta figura muestra los criterios de selección de electrodo para la soldadura. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.

## Figura 73

### Caso Soldadura a flexión

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

Nota. Esta figura muestra el tipo de soldadura por realizar. Adaptado de Budynas y Nisbett, 2012.

Utilizando las Figuras 72 y 73 comparando el esfuerzo resultante con el caso de flexión se obtiene el electrodo por utilizar. Utilizando un cateto de soldadura de 3/8, se obtuvo que el electrodo por utilizar es el E90xx.

#### 5.5.6. Análisis de costo del sistema de carga

Para el análisis de costos para la fabricación o manufactura del sistema de carga se realizan cotizaciones con proveedores (Ternium y APSA) de perfiles con las características seleccionadas, gato hidráulico y tornillos con proveedores y ferreterías (Cemaco, EPA y Novex) y con un taller que se ofreció a construir el sistema de carga con su costo de mano de obra. Se seleccionan los componentes más económicos para que Mosan pueda evaluar el costo total de manufactura del sistema de carga.

**Tabla 14**

#### Cotizaciones

Producto o Servicio	Cantidad	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Precio Total (Q)
Perfil cuadrado 60x4	1	APSA	235.00	235.00
Perfil cuadrado 70x6	1	APSA	387.00	387.00
Perfil circular 101.6x5	1	APSA	527.00	527.00
Gato hidráulico	1	Cemaco	300.00	300.00
Tornillo	4	EPA	17.95	71.80
Mano de obra	-	Industrias Escol	3000.00	3000.00

Resultados

Los resultados se dividen de igual manera como sistema logístico y sistema de carga:

6.1. Sistema logístico

Para el sistema logístico en la Figura 74 se observa la hoja de cálculo para obtener la cantidad de toneles y el tipo de tonel que serán transportados en la palangana del pickup. El cálculo contempla las restricciones mencionadas anteriormente para llegar a este valor.

Figura 74  
Programación del sistema logístico

F. Objetivo							
	16						
Variables		Restricciones	Fórmula	Signo	Límite	Holgura	
X1I	4.00	Rest. 1	$X1+X1D+X1T \leq 2200$		2200	259.94	
X1D	4.00	Rest. 2	$X2+X2D+X2T \leq 2200$		2200	2,200.00	
X1T	8.00	Rest. 3	$X3+X3D+X3T \leq 2200$		2200	2,200.00	
X2I	0.00	Rest. 4	$X1+X2+X3 \leq 550$		550.00	64.98	
X2D	0.00	Rest. 5	$X1D+X2D+X3D \leq 550$		550.00	64.98	
X2T	0.00	Rest. 6	$X1T+X2T+X3T \leq 1100$		1,100.00	129.97	
X3I	0.00	Rest. 7	$2.7X1+5.17X2+6.96X3 \leq 8.39$		8.35	6.64	
X3D	0.00	Rest. 8	$2.7X1D+5.17X2D+6.96X3D \leq 8.39$		8.35	6.64	
X3T	0.00	Rest. 9	$2.7X1T+5.17X2T+6.96X3T \leq 16.77$		16.71	13.28	
		Rest. 10	$1/550(X1+X2+X3)-1/550(X1D+X2D+X3D)=0$	=	0.00	0.00	
		Rest. 11	$1/550(X1+X2+X3)-1/1100(X1T+X2T+X3T)=0$	=	0.00	0.00	

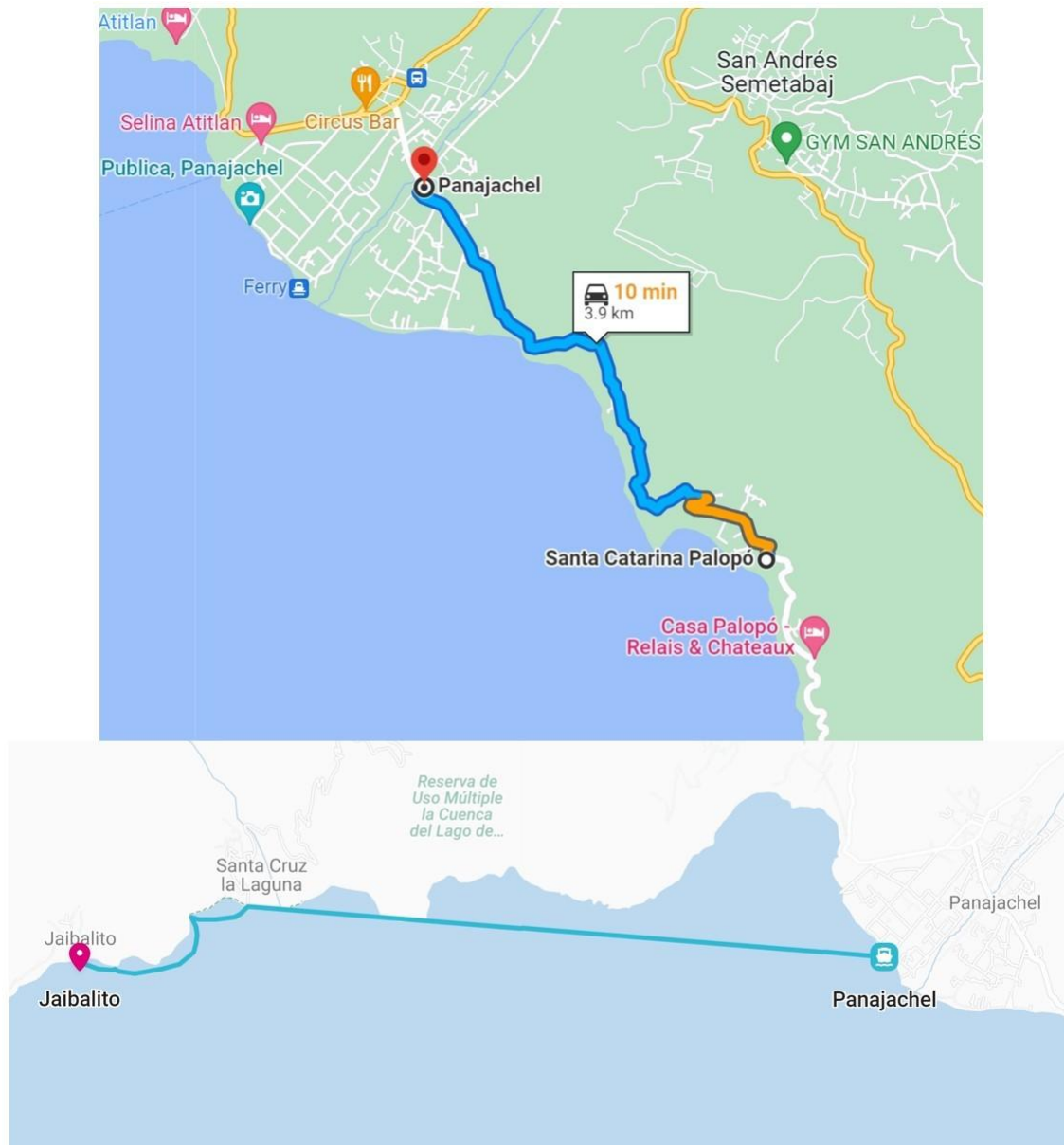
Nota. Esta figura muestra la programación lineal multivariable del sistema logístico. Adaptado en Microsoft Excel, 2023.

En la Figura 74 se puede ver la programación lineal multivariable realizada con todas las restricciones y con el resultado total de cada tonel por recolectar y transportar en la palangana del pickup.

Continuando para la ruta seleccionada se toma en cuenta los tiempos y costos de cada ruta para determinar aquella ruta con el menor tiempo y costo. La ruta seleccionada es la siguiente:

### Figura 75

#### *Ruta 4 - Santa Catarina Palopó a Panajachel - Panajachel a Jaibalito*



*Nota. Esta figura muestra la ruta seleccionada. Adaptado de Google Maps.*

Las características de las rutas son las siguientes:

**Tabla 15**

*Comparación de rutas*

No. de ruta	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Costo total (Q)	Costos adicionales (Q)	Subtotal (Q)
1	126.2	4.7	1182.49	0	1182.49
2	138.8	4.8	1300.56	0	1300.56
3	141.8	5.67	1328.67	0	1328.67
4	21.2	1.17	198.64	5	203.64

*Nota. Esta tabla muestra todas las rutas analizadas con su respectivo costo para la selección de la óptima.*

La distribución de los toneles en el pickup son las siguientes:

**Cuadro 16**

*Distribución de toneles en el pickup*

Carga	Parte Izquierda	Parte Derecha	Parte Trasera	Total
Tonel pequeño	4	4	8	<b>16</b>
Tonel mediano	0	0	0	<b>0</b>
Tonel grande	0	0	0	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>

*Nota. Esta tabla muestra la distribución de los toneles y el tipo de tonel en la palangana del pickup cuyo valor fue obtenido por medio de la programación logística en la Figura 74.*

**Figura 76**

*Diagrama de distribución de toneles*

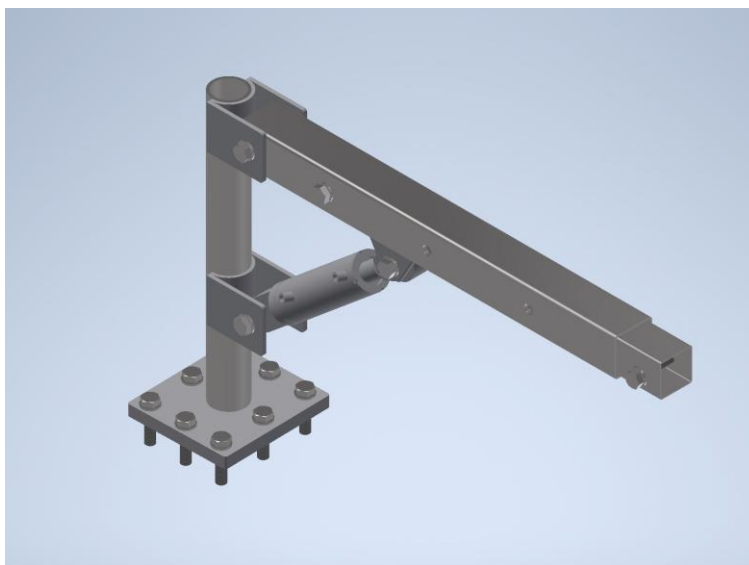


*Nota. Esta figura muestra como se verían la distribución, tipo y cantidad de tonel en la palangana del pick up.*

## 6.2. Sistema de carga

**Figura 77**

*Sistema de carga*



*Nota. Esta figura muestra la grúa hidráulica tipo pluma diseñada. Adaptado de AutoDesk Inventor.*

El sistema de carga consta y tiene un costo total de:

**Tabla 17**

*Componentes y costo de sistema de carga*

<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Costo (Q)</b>
1	Brazo telescópico	ASTM Acero A36	60x4	235
1	Brazo principal	ASTM Acero A36	70x6	387
1	Columna	ASTM Acero A36	101.6x5	527
1	Gato hidráulico	-	2 ton	300
13	Tornillos	Acero medio carbono	M16 8.8	71.80
	Mano de obra	-	-	3000
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>4520.8</b>

*Nota. Esta tabla muestra el costo de fabricación del sistema de carga o la grúa hidráulica tipo pluma.*

---

### Análisis de resultados o discusión

---

Mosan es una empresa que se dedica en la recolección, transportación y transformación de residuos humanos utilizando su sanitario ecológico seco. Actualmente, Mosan tiene operaciones en Santa Catarina Palopó, Sololá y han ido creciendo estos últimos años. Debido a la alta demanda Mosan quisiera saber los costos que incurren en la logística en instalar el inodoro en una escuela en Jaibalito, Sololá. Asimismo, hallar la forma para que el recolector le sea más fácil cargar los toneles y transportarlos a la planta de tratamiento. Es por ello, que se diseña un sistema logístico que contempla la compra de un vehículo y sistema de carga que pueda ser transportado a cualquier lado para solventar estos retos para Mosan. Se realizó un viaje a Santa Catarina Palopó para discutir las necesidades y requerimientos del proyecto, así como comprender las operaciones de Mosan en Santa Catarina Palopó. Se tomaron medidas de distancias, tiempos y dinero para diseñar ambos sistemas.

Para el sistema logístico se determinó que la ruta menos costosa y con menor tiempo es la Ruta 4 que implica viajar de Santa Catarina Palopó a Panajachel en carro y de Panajachel a Jaibalito en lancha. Sin embargo, es indispensable mencionar el riesgo de naufragio de la lancha. La ocurrencia de estos eventos son de dos naufragios cada año y los residuos humanos no pueden estar expuestos a El Lago de Atitlán. Por otro lado, utilizando el costo por kilómetro en el Cuadro 8 la Ruta 4 tiene un costo total de 69.24 Q por viaje, es decir, ida y regreso. Cabe a mencionar que esta ruta pasa sobre un puente tipo Bailey por lo que se debe de considerar una segunda ruta como alternativa por cualquier emergencia. La segunda mejor ruta es la Ruta 1 que representa un total de 382.39 Q y un tiempo de 4.7 horas por viaje. Para esta ruta se debe de considerar un estudio de cuantos viajes por mes se deberían de realizar. Actualmente, se realizan 2 viajes por semana. Asimismo, en los viajes se transportaron un total de 16 toneles de los cuales todos son pequeños. La ubicación de los toneles pequeños son 8 en la parte trasera del pickup, 4 en la parte derecha y los últimos 4 en la parte izquierda tomando como referenciala Figura 34.

Actualmente, Mosan tiene un modelo económico social donde le dan prioridad a los impactos sociales y ambientales. A largo plazo la organización quiere ofrecer sus servicios en una manera sostenible con la venta del biocarbón, el pago de las familias por el servicio mensual y por la venta de créditos al carbón. De esta manera, quisieran competir con otros sistemas de sanitarios ecológicos en el mundo (Cuadro 1). Para ello, se realizó una investigación sobre la posibilidad de generar ingresos con la venta del biocarbón y el cobro del servicio de recolección de residuos humanos. Se determinó que una bolsa de biocarbón de 15 kg cuesta 330 Q. De esta manera, Mosan puede vender el biocarbón que produce y cobrar el servicio de recolección para empezar a generar ingresos. Sin embargo, se debe de realizar un análisis financiero para poder determinar si se genera una utilidad.

Para la construcción de la grúa o sistema de carga se utilizan 3 tubos estructurales, 1 gato hidráulico y 13 tornillos. El costo total aproximado del sistema de carga es de 4,520.8 Q (Cuadro 17). El sistema de carga está diseñado con acero ASTM A36 y es capaz de cargar toneles con una masa de 220 kg. El propósito principal del diseño de este sistema de carga es para que Mosan pueda ver el costo que está sujeto a la manufactura de una pluma hidráulica y comparar este costo con plumas hidráulicas ya existentes y a partir de este criterio determinar en un futuro si se fabrica o no. Una grúa hidráulica comprada cuesta aproximadamente 5,000.00 Q por lo que si se fabrica en Guatemala el ahorro es de aproximadamente 500 Q.

Además, se reconoce que los toneles no deben cargarse completamente llenos ya que se involucra un riesgo de derrame de heces u orina a la hora de cargar los toneles en la palangana del pickup. Para la manufactura de la grúa fue necesario contactar a proveedores de acero y realizar cotizaciones con ellos ya que los perfiles utilizados son poco comunes su venta en cualquier ferretería. De esta manera, Mosan puede tener una idea de cómo cargar los toneles, una vez se haya comprado el pickup para la recolección de los residuos humanos.

## CAPÍTULO 8

---

### Conclusiones

---

1. Se diseñó un sistema logístico capaz de transportar 2 toneles de 220L ubicados en la parte izquierda y derecha de la palangana del pickup y 2 toneles 120L ubicados en la parte trasera de la palangana del pickup con residuos humanos con un peso total de 680 kg que utilizan la Ruta 4 que va desde Santa Catarina Palopó a Panajachel por vía terrestre y de Panajachel a Jaibalito por transporte fluvial y están sujetos a un costo por viaje de Q 203.64 en un tiempo de 1.17 horas.
2. Se realizó una visita técnica donde se realizaron observaciones del método de recolección de residuos de Mosan, el sistema de recolección actual se conforma de recolectar los residuos humanos en 2-3 días a la semana en un tiempo no mayor de 2-3 horas utilizando un trolley en anchos de calle de 83-106 cm, existen un aproximado de 20 hogares que utilizan el servicio de saneamiento y sanitario ecológico Mosan, se recolectan por semana una media de 41.68 libras de heces y 113.71 libras de orina que son transportadas a la planta de tratamiento para realizar el proceso de pirólisis y filtrado respectivamente.
3. Se diseñó un sistema de carga capaz de cargar un tonel de 220 litros de residuos humanos que consiste de 1 brazo telescópico, 1 brazo principal, 1 perfil circular que gira respecto a la base, 1 gato hidráulico de 2 toneladas y 13 tornillos M16 x 8.8 por un costo aproximado de fabricación de Q 4,520.8.
4. Se obtuvo un factor de seguridad de 2.88 para carga variable y 2.32 para el método de Langer por lo que se espera vida infinita para el sistema de carga.

---

### Recomendaciones

---

1. Realizar un estudio que defina si es posible ir desde Santa Catarina Palopó a Jaibalito de manera directa utilizando El Lago de Atitlán y determinar si esta ruta se compara a la Ruta 4 que va desde Santa Catarina Palopó a Panajachel y de Panajachel a Jaibalito.
2. Elaborar un nuevo contenedor o cubeta que proporcione seguridad en la carga y el transporte de residuos humanos en los toneles.
3. Elaborar un sistema de rieles divisores que Mosan pueda adaptar en la palangana del pickup para la distribución de espacio utilizado.
4. Realizar un plan de contingencia para la Ruta 4 para que Mosan no pare sus operaciones de recolección y tratamiento de residuos.
5. Realizar un protocolo de seguridad que vele por la salud del operario por los riesgos que están sujetos a la recolección de residuos humanos y un manual de operación para el uso adecuado de la grúa hidráulica a la hora de cargar los toneles con residuos humanos.
6. Tener en cuenta el espacio que ocupa la grúa en la palangana del pickup a la hora de recolectar los residuos humanos.
7. Reforzar el área de instalación de la grúa para evitar deformaciones en el chasis de la palangana.
8. Considerar si se pudiese aplicar otros mecanismos en el mercado que puedan ser aplicados en cargar toneles con residuos humanos.

## Bibliografía

- 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable [publisher: UNICEF]. (2019). <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- Ababa, A. (1999). ECOSAN - Ecological Sanitation. *Integrated Development for Water Supply and Sanitation*, 2. <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/conference/25/016.pdf>
- ACNUDH. (1996). El ACNUDH y el derecho al agua y al saneamiento. [https://www.ohchr.org/es/water-and-sanitation/about-water-and-sanitation#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,RES%2F64%2F292\)](https://www.ohchr.org/es/water-and-sanitation/about-water-and-sanitation#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,RES%2F64%2F292)).
- Agnessy, Y. & Martínez, R. (s.f.). Sistema Logístico. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/martinez\\_ra/capo2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/martinez_ra/capo2.pdf)
- Austin, A. (2000). Proceedings of the International Symposium. <https://es.ircwash.org/sites/default/files/GTZ-2001-Ecosan.pdf#page=67>
- Avilez, P. & Fajardo, K. (2019). *Diseño, construcción e implementación de una grúa móvil para el transporte de personas con discapacidad* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16952/1/UPS-CT008156.pdf>
- Biplop, P., Sarker, R. & Sarker, D. (2011). International Journal of Civil & Environmental Engineering. *Eco-san Toilet for Sustainable Sanitation Practice in Bangladesh*, 11 (05), 117-121. [https://www.researchgate.net/publication/282063326\\_Eco-san\\_Toilet\\_for\\_Sustainable\\_Sanitation\\_Practice\\_in\\_Bangladesh](https://www.researchgate.net/publication/282063326_Eco-san_Toilet_for_Sustainable_Sanitation_Practice_in_Bangladesh)
- Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena edición) [original-date: 2008]. McGraw-Hill. <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>
- Carvajal, D. (2016). *PROTOTIPO SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA DOMESTICO* (Trabajo de Grado). CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS TECNOLOGÍA. Bogotá, Colombia. [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/4409/1/TTE\\_CarvajalGomezDannyAlejandro\\_2016.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/4409/1/TTE_CarvajalGomezDannyAlejandro_2016.pdf)

- Cooke, B. (2022). Guide to Standard Pickup Bed Size (with Drawings) [publisher: Baron Cooke]. <https://www.measuringknowhow.com/standard-pickup-bed-size/>
- Druitt, M. (2009). The Swedish Eco-Sanitation Experience - Case studies of successful projects implementing alternative techniques for wastewater treatment in Sweden. [https://ccb.se/wp-content/uploads/2014/06/CCB\\_SwedishEconSanExperience\\_FINAL.pdf](https://ccb.se/wp-content/uploads/2014/06/CCB_SwedishEconSanExperience_FINAL.pdf)
- El derecho humano al agua potable y saneamiento. (2011). [https://www.oacnudh.org.gt/estandares/docs/Boletines/boletin\\_21.pdf](https://www.oacnudh.org.gt/estandares/docs/Boletines/boletin_21.pdf)
- Gamboa, W. (2012). Propiedades secciones AISC SI Acero A36. [https://www.issuu.com/williamgamboa/docs/tabla\\_aisc\\_si/36](https://www.issuu.com/williamgamboa/docs/tabla_aisc_si/36)
- Ganiron Jr, T. (2015). Measuring Levels of End-Users' Acceptance and Use of UDDT. *International Journal of u- and e-Service, Science and Technology*, 8, 77-88. <https://doi.org/10.14257/ijunesst.2015.8.3.07>
- Gere, J. & Goodno, B. (2016). *Mecánica de Materiales* (Octava edición) [original-date: 2013]. Cengage Learning.
- GROX. (2022). [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1ZNN5PpXXXXbDapXXq6xXFXXXf/Tornillo-hexagonal-de-cabeza-hexagonal-M16-acero-de-aleacion-de-grado-12-9.jpg\\_Q90.jpg\\_.webp](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1ZNN5PpXXXXbDapXXq6xXFXXXf/Tornillo-hexagonal-de-cabeza-hexagonal-M16-acero-de-aleacion-de-grado-12-9.jpg_Q90.jpg_.webp)
- Gulbrandsen, A. (1999). *A watersaving vacuum system for transport of blackwater and on-site treatment of greywater in a constructed wetland* (Tesis doctoral). Agricultural University of Norway. Norway.
- Harada, H. (2020). Sanitation Value Chain. *Challenges and Potentials of Ecological Sanitation*, 4(1), 3-16. <https://doi.org/10.34416>
- Ison, S. (2013). *Pickup Truck Lifting Mechanism* (Tesis doctoral). University of Cincinnati. Cincinnati. [https://drc.uc.edu/bitstream/handle/2374.UC/701560/MET2013\\_Ison\\_Stephen.pdf?sequence=1](https://drc.uc.edu/bitstream/handle/2374.UC/701560/MET2013_Ison_Stephen.pdf?sequence=1)
- Jenssen, P. (2002). Design and performance of ecological sanitation systems in Norway. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/JENSSSEN%202002.%20Design%20and%20performance%20of%20ecological%20sanitation%20systems%20in%20Norway.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/JENSSSEN%202002.%20Design%20and%20performance%20of%20ecological%20sanitation%20systems%20in%20Norway.pdf)
- Kaczala, F. (2006). *A Review of Dry Toilet Systems* (Technical Report N.º 116). University of Kalmar. Sweden. [https://www.researchgate.net/publication/266453624\\_A\\_Review\\_of\\_Dry\\_Toilet\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/266453624_A_Review_of_Dry_Toilet_Systems)
- Kumwenda, S., Msefula, C., Kadewa, W., Ngwira, B. & Morse, T. (2017). Research Article. *Estimating the Health Risk Associated with the Use of Ecological Sanitation Toilets in Malawi, 2017* (3931802), 13. <https://downloads.hindawi.com/journals/jeph/2017/3931802.pdf>
- Logli, F. (2020). Our solution|Mosan. <https://Mosan.ch/our-solution/>
- MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE BAÑO ECOLÓGICO SECO. (s.f.).
- Matallana, L. (2005). *Diseño evaluación y construcción de una grúa hidráulica para tractor* (Trabajo de graduación). Universidad de los Andes. Colombia. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/22602/u270822.pdf?sequence=1>
- MatWeb [publisher: MatWeb]. (2022). <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>
- Mendía, P. (2021). elPeriódico. *Contaminación del lago de Atilán por aguas residuales persiste*. [https://elperiodico.com.gt/sociedad/local/2021/08/02/contaminacion-del-lago-de-atitlan-por-aguas-residuales-persiste/#:~:text=Seg%C3%BAn%](https://elperiodico.com.gt/sociedad/local/2021/08/02/contaminacion-del-lago-de-atitlan-por-aguas-residuales-persiste/#:~:text=Seg%C3%BAn%20)

- 20estimaciones%20de%20la%20Autoridad,residuales%2C%20lo%20que%20significa%20alrededor
- METINVEST. (2006). Aceros ASTM A36 [publisher: METINVEST]. <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>
- Morán, F. (2012). *DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EMPLEANDO ECOTECNOLOGÍA PARA EL RECINTO CANTAGALLO DE LA PARROQUIA PUERTO CAYO DEL CANTON JIPIJAPA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ* (Tesis de Grado). UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN. Manabí, Ecuador. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/518/1/UNESUM-ECU-CIVIL-76.pdf>
- Moreno, M. (2009). Valoración económica del uso de tecnologías de saneamiento ecológico para aguas residuales domiciliarias. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 13, 13. <https://www.redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/view/236/117>
- Nakagiri, A., Niwagaba, C., Nyenje, P., Kulabako, R., Tumuhairwe, J. & Kansiiime, F. (2016). Research Article. *Are pit latrines in urban areas os Sub-Saharan Africa performing? A review of usage, filling, insects and odour nuisances*, 16. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2772-z>
- Neumaticos | Yokohama Guatemala. (s.f.). Consultado el 14 de junio de 2023, desde [https://yokohama.com.gt/neumaticos/detail/140?width=235&aspect\\_ratio=60&diameter=16&telefono=](https://yokohama.com.gt/neumaticos/detail/140?width=235&aspect_ratio=60&diameter=16&telefono=)
- Niwagaba, C. (2009). *Treatment Technologies for Human Faeces and Urine* (Doctoral Thesis). Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden. [https://pub.epsilon.slu.se/2177/1/niwagaba\\_c\\_091123.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/2177/1/niwagaba_c_091123.pdf)
- Pleyades. (2018). ¿Sabes cuánto tiempo duran tus llantas? [publisher: Llantas Maxxis]. <https://www.llantasmaxxis.com/sabes-cuanto-tiempo-duran-tus-llantas/>
- Qué es el SIRDO [publisher: Grupo de Tecnología Alternativa]. (2015). <https://www.sirdo.com.mx/Sirdo.html>
- Rajbhandari, K. (2008). Ecological Sanitation latrines: The experience of Nepal. <https://nl.ircwash.org/sites/default/files/Rajbhandari-2008-Ecological.pdf>
- Schonning, C. & Stenstrom, A. (2004). *Guidelines on the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems* (inf. téc. N.º 2004-1). Stockholm Environment Institute. Sweden. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang\\_en%7Clang\\_es&id=h2eQ9tt\\_PYoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=containers+for+urine+and+faeces&ots=qmMoglPT2x&sig=RgrL5oXvbMXrYjQ-KcLfcvkSyM#v=onepage&q=co&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_en%7Clang_es&id=h2eQ9tt_PYoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=containers+for+urine+and+faeces&ots=qmMoglPT2x&sig=RgrL5oXvbMXrYjQ-KcLfcvkSyM#v=onepage&q=co&f=false)
- Ternium. (2019). Catálogo TUBERÍA y PERFILES. <https://co.ternium.com/media/1bajaxyo/cata-logo-productos-tuberi-a-y-perfiles-ternium-colombia.pdf>
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P. & Zurbrugg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* (2nd Revised). Swiss Federal Institute of Aquatic Science; Technology. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%20-%202nd%20Revised%20Edition.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%20-%202nd%20Revised%20Edition.pdf)
- TRUPER. (2023). Gatos de botella y torres catálogo 2023. <https://www.truper.com/CatVigente/Gatos-De-Botella-Y-Torres-Para-Auto-TRUPER-373.html>
- TSF. (s.f.). Table of Preloads and Tightening approximate values. <https://www.tsftsh.com/docs/documentation/Precargas%20Web.pdf>

- Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process* (4th edition). McGraw-Hill Companies, Inc. <http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical%20Engineering%20Books%20Collection/MACHINE%20DESIGN/The%20Mechanical%20Design%20Process.pdf>
- Venta de Toyota 22r en Guatemala. (s.f.). Consultado el 14 de junio de 2023, desde <https://www.encuentra24.com/guatemala-es/autos-usados>
- VEVOR. (2021). Equipos y Herramientas. <https://www.vevor.es/>
- Werner, C. (2001). Ecosan - Closing the loop in wastewater management and sanitation. <https://es.ircwash.org/sites/default/files/GTZ-2001-Ecosan.pdf#page=67>
- Winblad, U. & Simpson-Hébert, M. (2004). *Ecological Sanitation* (Second). Stockholm Environment Institute. [https://books.google.com.gt/books?id=nM6B\\_uMwU5MC&lpg=PR3&dq=ecological%20sanitation&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q=ecological%20sanitation&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=nM6B_uMwU5MC&lpg=PR3&dq=ecological%20sanitation&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q=ecological%20sanitation&f=false)

### **Sistema de recolección en Santa Catarina Palopó**

Para el viaje realizado a Santa Catarina Palopó y Jaibalito se realiza una bitácora que sintetiza los hallazgos y observaciones en el viaje. Esta bitácora sirve como una documentación del viaje realizado a Santa Catarina Palopó y Jaibalito, Sololá. Se describe de manera breve las actividades con mayor importancia por día y el conocimiento que se adquirió quees útil para el desarrollo del trabajo de graduación.

Figura 78: Bitácora de actividades

MOSAN		
<b>BITÁCORA DE ACTIVIDADES</b>		
Juan Luis Zepeda		
		N° de bitácora: <u>1</u>
		Fecha: <u>20/05/22</u>
Lugar:	<u>Santa Catarina Palopó, Sololá</u>	
Objetivo:	<u>Observar las operaciones de la empresa de tratamiento de residuos humanos, Mosan.</u>	
	<u>Medir los tiempos de estas operaciones al igual que determinar los costos y retos</u>	
	<u>que se presentan en la recolección de residuos</u>	
Alcance:	<u>El viaje se realizó con el propósito de determinar los requisitos de parte de MOSAN,</u>	
	<u>los tiempos y costos que incurren en la recolección de residuos</u>	
	<u>y evaluar los espacios requeridos para la recolección de residuos</u>	
Fecha	Actividad	Observaciones
27 de abril de 2022	Reunión con MOSAN	Se logra desarrollar formalmente las necesidades de parte de MOSAN y concretar con el presupuesto. Este se quedará como un diseño que ya MOSAN evaluará si se fabrica la grúa. Además, se hace una lista preliminar de los retos que confrontan MOSAN a diario y los que podrían tener en un futuro en instalar su sanitario en una escuela pública.
28 de abril de 2022 (9-12 pm)	Visita a planta de tratamiento de residuos	Se toma nota los tratamientos de las heces y orina. Esto incluye la toma de tiempos de los procesos, materiales requeridos y los pesos de los toneles con residuos. Observar detenidamente el equipo de seguridad utilizado y los riesgos involucrados.
28 de abril de 2022 (2-4 pm)	Recolección de residuos en Santa Catarina Palopó	Determinar los retos que afronta el recolector (Rudy Mata), el equipo de recolección y de seguridad, el ancho de las calles y el tiempo de recolección por sector.
29 de abril de 2022	Visita a escuela en Jaibalito	Tomar tiempos del viaje de Panajachel a Jaibalito y su regreso. Además, el ancho de calles y costos involucrados en la recolección de residuos humanos en Jaibalito.
30 de abril de 2022	Recomendaciones generales y regreso a Guatemala	

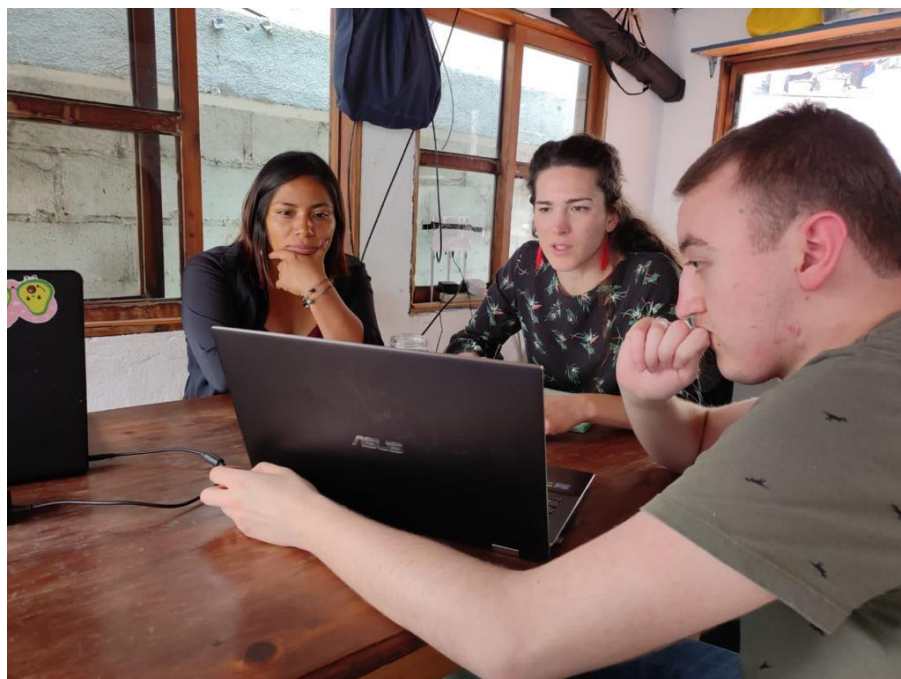
Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Reunión con Mosan 1



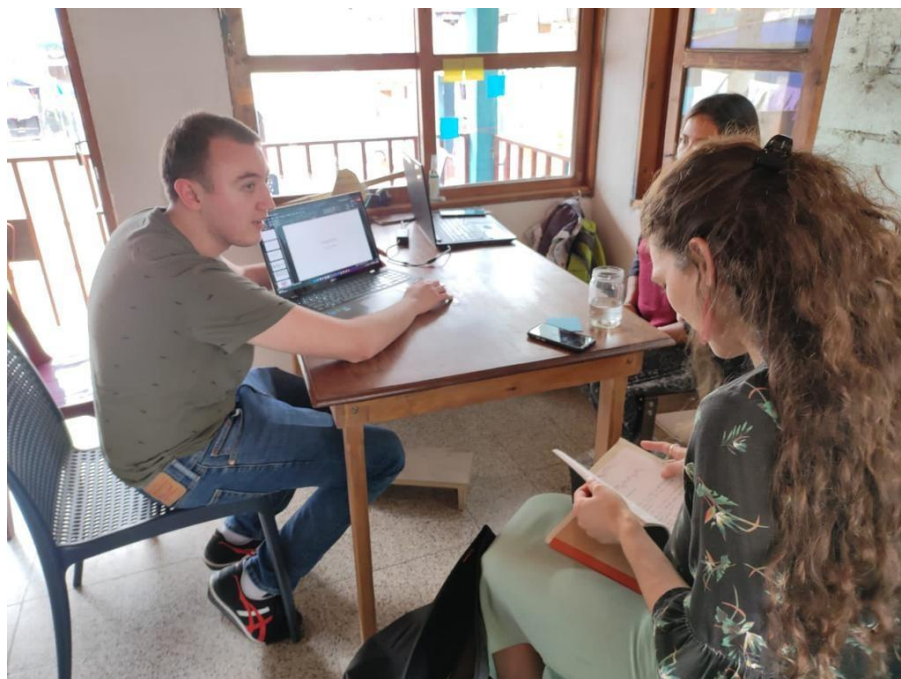
Fuente: Elaboración propia

Figura 80: Reunión con Mosan 2



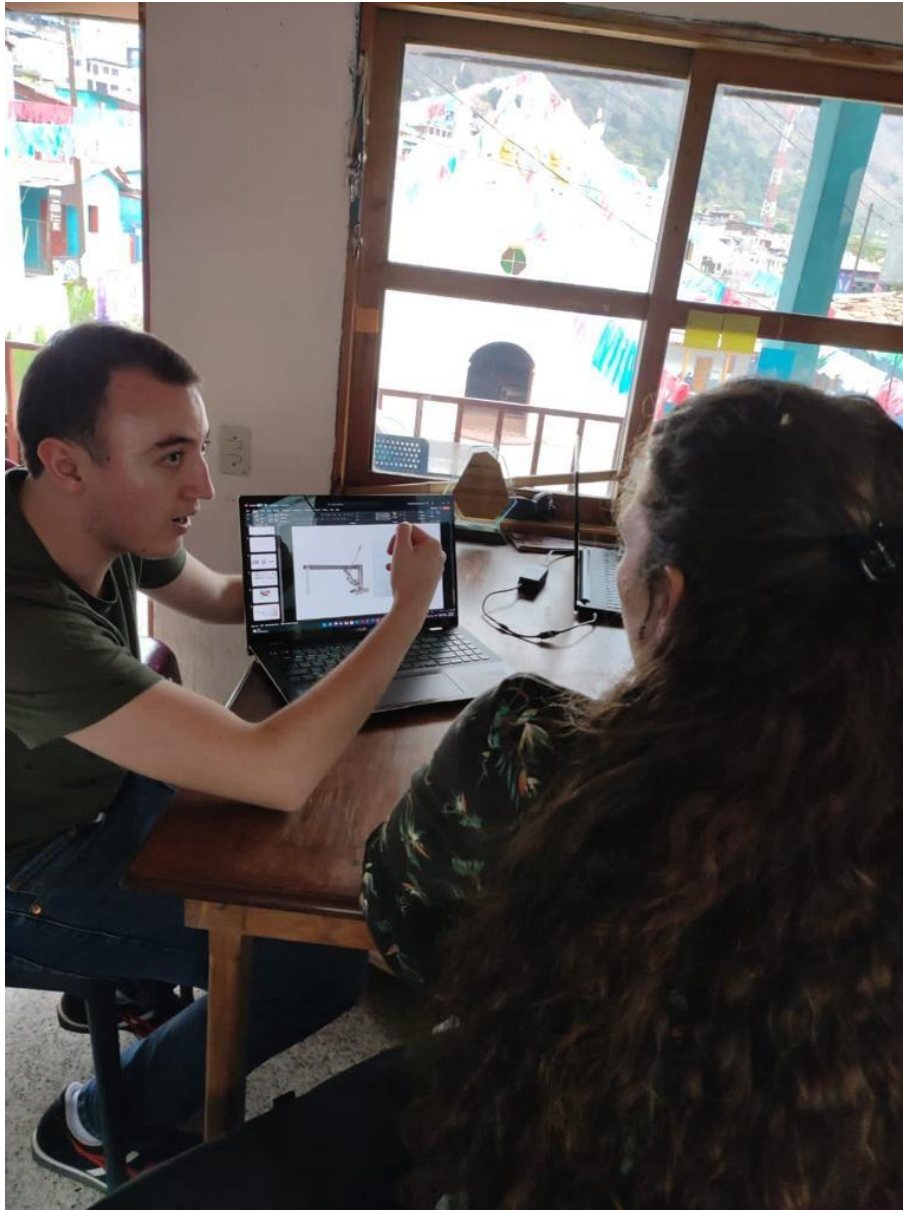
Fuente: Elaboración propia

Figura 81: Reunión con Mosan 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 82: Reunión con Mosan 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 83: Historial de heces y orina por familia

	GERARDO SAJBIN 4182-5226	MARIA ESTELA AJCOT 3107-5413	BERNARDINO SAJBIN 4182-5226	ANDRES COCOLAJAY 47527990	PEDRO NIMACACHI 41231488	JORGE MARIO PEREZ 58328282
FECHA						
03/03/2022	5.70 74.80	5.50 79.20	4.60 74.58	4.58 70.48	5.58 8.48	72.72 20.89
07/03/2022	6.40 78.60	4.48 84.48	4.58 74.60	3.48 9.54	3.40 9.08	76.09 18.84
10/03/2022	6.04 8.02	4.58 25.70	4.68 72.08	5.15 70.05	-	78.84 76.90
14/03/2022	7.10 11.28	4.84 24.80	2.68 18.24	6.58 76.48	5.42 12.72	20.20 24.18
17/03/2022	5.24 11.48	5.28 72.55	2.64 70.64	4.80 70.48	-	79.40 20.75
21/03/2022	6.48 78.84	5.21 78.84	3.44 70.74	5.84 70.48	-	20.48 25.78
24/03/2022	6.48 78.45	5.41 79.48	2.45 70.48	4.55 70.58	-	21.49 22.20
28/03/2022	6.79 72.58	5.58 20.80	3.59 77.42	5.99 70.48	-	20.48 25.80
04/04/2022	5.24 70.68	5.48 23.58	5.49 70.48	3.48 70.58	5.40 70.40	24.48 79.89
08/04/2022	7.32 70.84	4.96 20.04	3.48 77.42	3.48 70.48	5.45 72.40	20.24 79.69
11/04/2022	5.08 70.40	5.89 74.48	5.84 70.99	5.08 6.89	3.78 4.74	75.12 76.40
14/04/2022	6.40 77.58	4.48 74.58	5.68 9.49	3.09 70.40	5.40 5.50	77.48 72.60
18/04/2022	6.40 8.58	6.58 74.64	3.82 8.88	7.72 5.26	2.94 4.76	72.50 72.40
21/04/2022	7.72 73.68	5.46 78.74	3.34 77.66	9.56 6.36	3.64 5.10	9.48 9.32
25/04/2022						8.48 7.28
28/04/2022						8.48 8.48

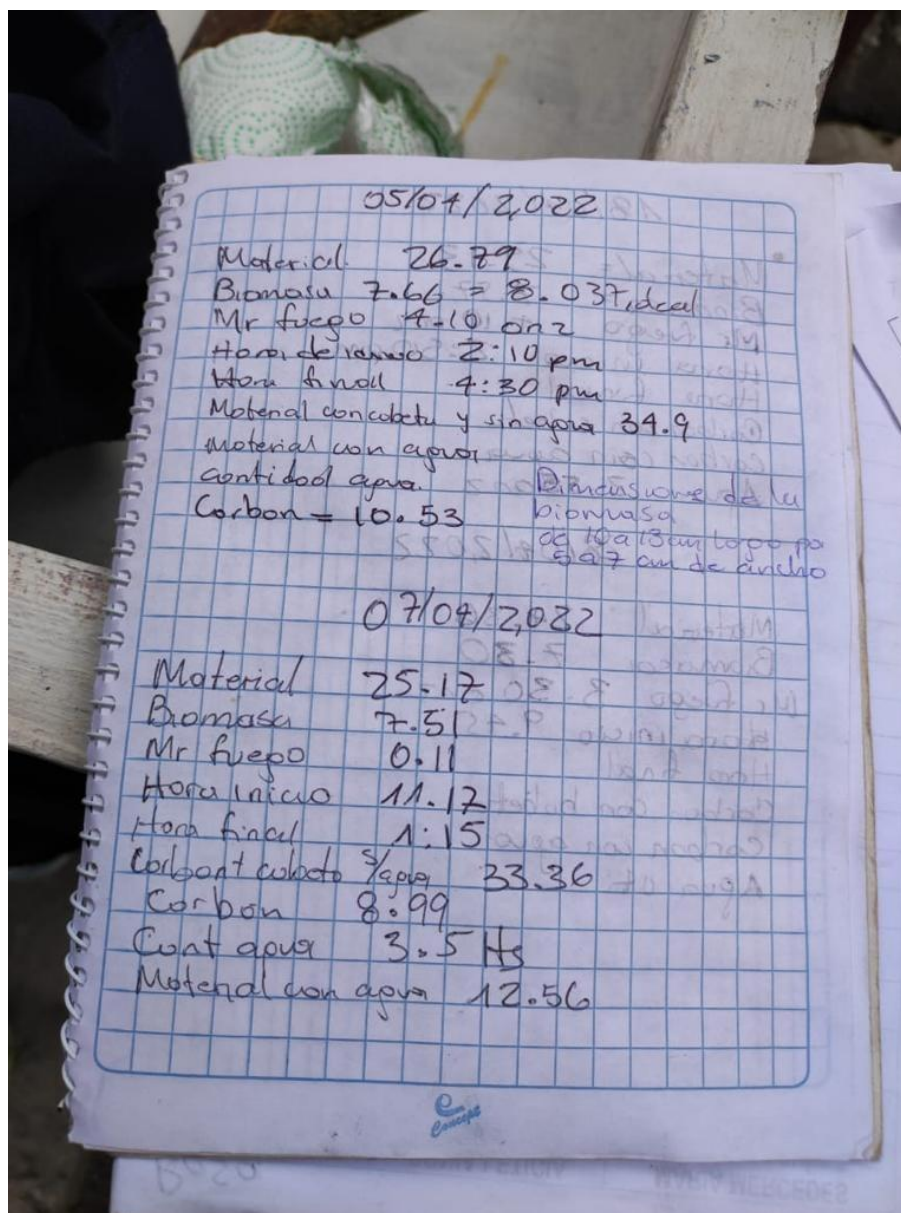
Fuente: Elaboración propia

Figura 84: Historial de heces y orina por familia

	MARGARITA SAJBIN 47183308	MARIA ESTRELLA SAJBIN 3816-8855	ANGELA PATRICIA CUMES 3803-3585	ROSA SILVIA CUMES SAJBIN 40388977	SONIA LETICIA SAJBIN 50041916	MARIA MERCEDES NIMACACHI 40388977
FECHA						
03/03/2022	-	-	-	-	-	-
07/03/2022	-	-	-	-	-	-
10/03/2022	-	-	-	-	-	-
14/03/2022	-	-	-	-	-	-
17/03/2022	-	-	-	-	-	-
21/03/2022	-	-	-	-	-	-
24/03/2022	-	-	-	-	-	-
28/03/2022	-	-	-	-	-	-
04/04/2022	-	-	-	-	-	-
08/04/2022	-	-	-	-	-	-
11/04/2022	-	-	-	-	-	-
14/04/2022	-	-	-	-	-	-
18/04/2022	-	-	-	-	-	-
21/04/2022	-	-	-	-	-	-
25/04/2022	-	-	-	-	-	-
28/04/2022	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 85: Masa y tiempo de pirólisis



Fuente: Elaboración propia

Figura 86: Masa y tiempo de pirólisis

01/03/2022		6.4
Material	$3.68 + 17.66 = 21.34$	5
Biomasa	$5.62 + 1.72 = 7.34$	26.37
Hora inicio	3:53 PM	Aguá
Hora final	5:13 PM	5.4 lb
Carbon	16.12	

04/04/2022	
Proceso #	
Material	26.72
Biomasa	8.03
Hora de inicio	10:13 am
Hora final	12:20 pm
Carbon sin agua/cubeta	33.84 - 9.47
Carbon con agua	con cubeta
Mr fuego	3.15 onz + 3 onz
Agua utilizada	3 libras

Fuente: Elaboración propia

Figura 87: Planta de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 88: Tratamiento de orina 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 89: Tratamiento de heces



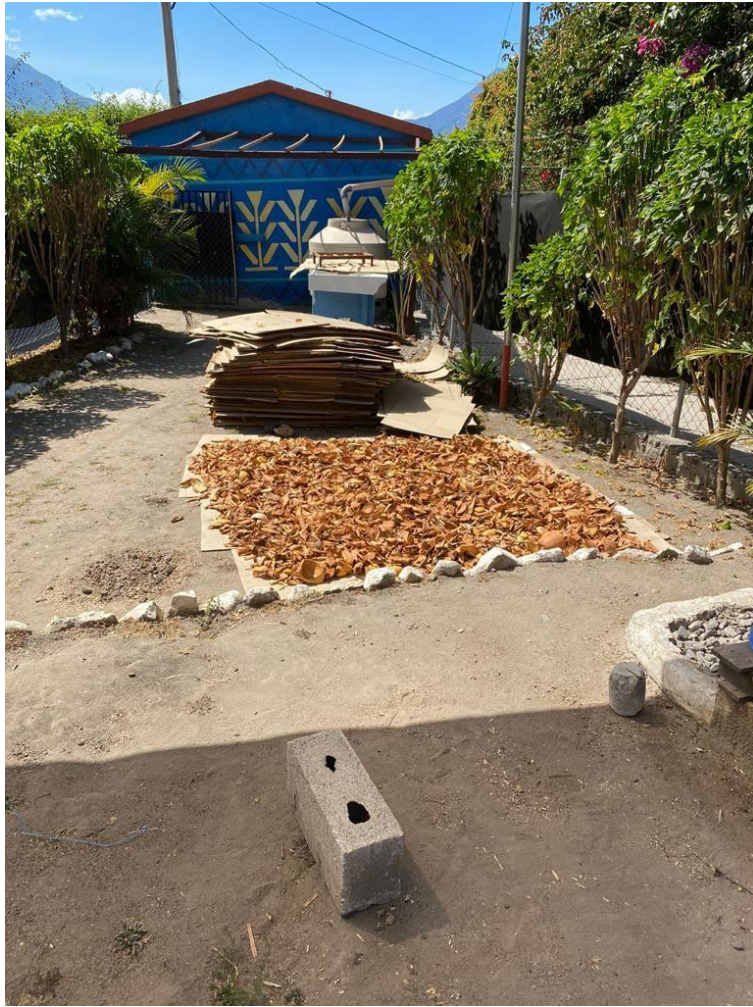
Fuente: Elaboración propia

Figura 90: Tratamiento de orina 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 91: Cáscara de coco para quemar con heces



Fuente: Elaboración propia

Figura 92: Reactor para producción de biocarbón por medio de Pirólisis



Fuente: Elaboración propia

Figura 93: Mezcla de heces, desechos orgánicos y aserrín



Fuente: Elaboración propia

Figura 94: Pirólisis 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 95: Pirólisis 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 96: Pirólisis 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 97: Pirólisis finalizada



Fuente: Elaboración propia

Figura 98: Entrevista con operario



Fuente: Elaboración propia

Figura 99: Producto final: Biocarbón



Fuente: Elaboración propia

Figura 100: Biocarbón 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 101: Biocarbón 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 102: Biocarbón 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 103: Pruebas con biocarbón



Fuente: Elaboración propia

Figura 104: Inicio de recolección



Fuente: Elaboración propia

Figura 105: Contenido dentro del tonel



Fuente: Elaboración propia

Figura 106: Recolección de cubetas con residuos 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 107: Recolección de cubetas con residuos 2



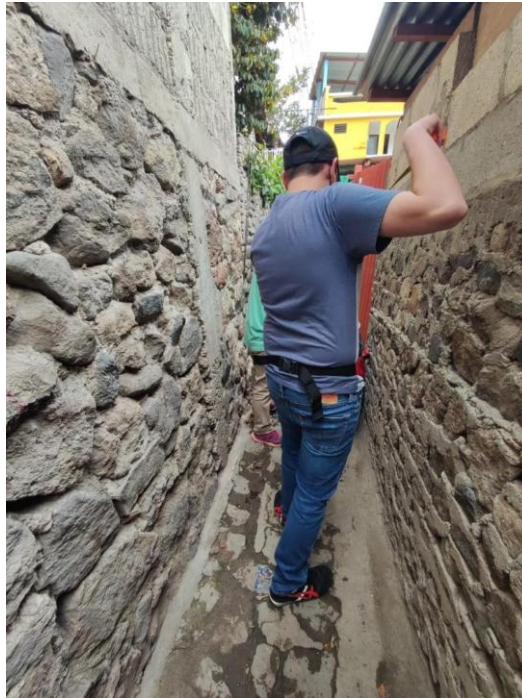
Fuente: Elaboración propia

Figura 108: Cubetas de heces y orina



Fuente: Elaboración propia

Figura 109: Camino de recolección 1



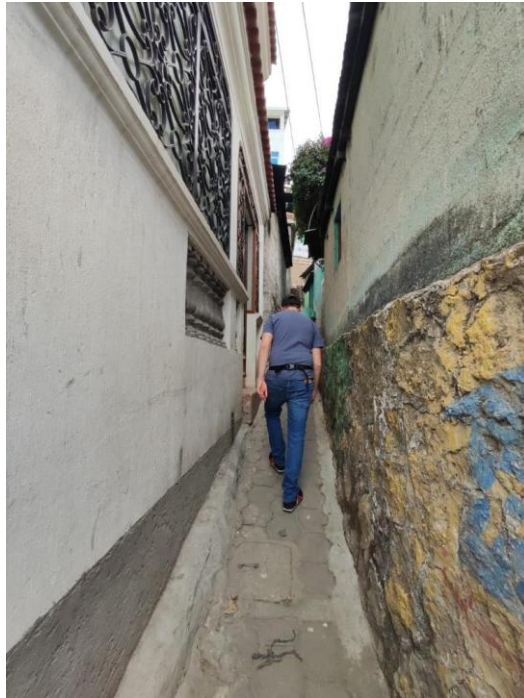
Fuente: Elaboración propia

Figura 110: Camino de recolección 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 111: Camino de recolección 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 112: Recolección de cubetas 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 113: Recolección de cubetas 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 114: Recolección de cubetas 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 115: Regreso a planta de tratamiento 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 116: Regreso a planta de tratamiento 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 117: Regreso a planta de tratamiento 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 118: Regreso a planta de tratamiento 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 119: Viaje a Jaibalito



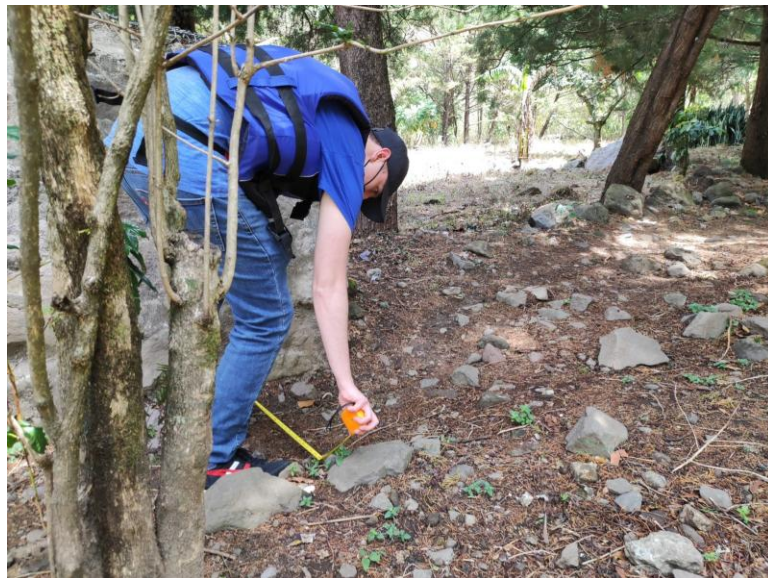
Fuente: Elaboración propia

Figura 120: Medición de calles en Jaibalito 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 121: Medición de calles en Jaibalito 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 122: Camino a escuela



Fuente: Elaboración propia

Figura 123: Instalación de sanitario en escuela



Fuente: Elaboración propia

Figura 124: Drenaje de heces 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 125: Drenaje de heces 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 126: Baño en escuela



Fuente: Elaboración propia

## Consultas para el diseño de la grúa

Figura 127: Consulta con Ing. Rosales



Fuente: Elaboración propia

Figura 128: Pluma Hidráulica en Taller Metal Mecánica de la UVG



Fuente: Elaboración propia

Figura 129: Gatos hidráulicos 1

**14812**  
**GAT-4** Gato hidráulico tipo botella  
Hydraulic bottle jack

	 Capacidad Toneladas Capacity (Tons)	 Altura máxima (con extensión) Max. height (w/extension)	 Altura mínima Min. height
GAT-2	2	35 cm	18 cm
<b>GAT-4</b>	<b>4</b>	<b>38.5 cm</b>	<b>19.5 cm</b>
GAT-6	6	43.5 cm	21.5 cm
GAT-8	8	47 cm	23 cm
GAT-12	12	47.5 cm	23 cm
GAT-16	16	47.5 cm	23 cm
GAT-20	21	47.5 cm	24 cm
GAT-32	32	42.5 cm	26 cm
GAT-50	50	48 cm	29.5 cm

**⚠️ ADVERTENCIA**  
 • Lea las instrucciones antes de usar.  
 • Nunca exceda la capacidad de carga.  
 • El gato hidráulico sólo debe ser usado en superficies sólidas.  
 • Nunca trabaje debajo del vehículo sin usar un soporte adicional.  
 • Evite fugas, no desarme el gato hidráulico.

**⚠️ ATENCIÓN**  
 Utilizar sólo piezas de repuesto originales suministradas o aprobadas por el proveedor. Antes de usar, lea el instructivo de operación cuidadosamente.  
 Manténgase fuera del alcance de los niños.

**⚠️ WARNING**  
 • Read all instructions before use.  
 • Never exceed the jack's rated capacity.  
 • Hydraulic jack should only be used on a solid, level surface.  
 • Never work underneath the vehicle without using additional safety support device.  
 • Do not disassemble. Disassembly may result in malfunction or injury.

**⚠️ CAUTION**  
 Use only original spare parts from the manufacturer or approved by the manufacturer. Before use read the operating manual carefully. Keep out of reach of children.

MADE IN/HECHO EN MÉXICO.  
 Fabricado por Truper, S.A. de C.V. Parque Industrial 1, Jilotepec, Edo. de Méx. C.P. 54240 Tel.: 76 1782 9100. www.truper.com

**⚠️ PELIGRO NO SOBRE CARGAR**  
**⚠️ DANGER DO NOT OVERLOAD**

Fuente: Elaboración propia

Figura 130: Gatos hidráulicos 2



Fuente: Elaboración propia

## Ecuación de Marín y cálculo de factores

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (100)$$

Figura 131: Valores para el factor por condición superficial

Surface Finish	Factor $a$		Exponent $b$
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 132: Valor para factor de tamaño

El factor de tamaño se evaluó en 133 conjuntos de puntos de datos.<sup>15</sup> Los resultados para flexión y torsión pueden expresarse como

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1 \quad (6-21)$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 133: Valor para factor de temperatura

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases} \quad (6-26)$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4 \quad (101)$$

Figura 134: Resistencias a la tensión a diferentes temperaturas

Temperature, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperature, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

$S_T$ : Resistencia a la tensión a la temperatura de operación

$S_{RT}$ : Resistencia a la tensión a la temperatura ambiente

$$k_e = 1 - 0.08z_\alpha \quad (102)$$

Figura 135: Factor de confiabilidad

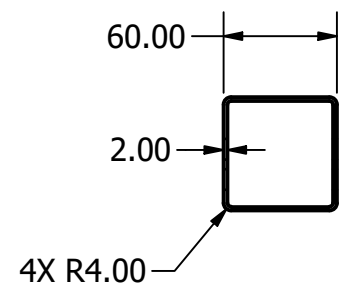
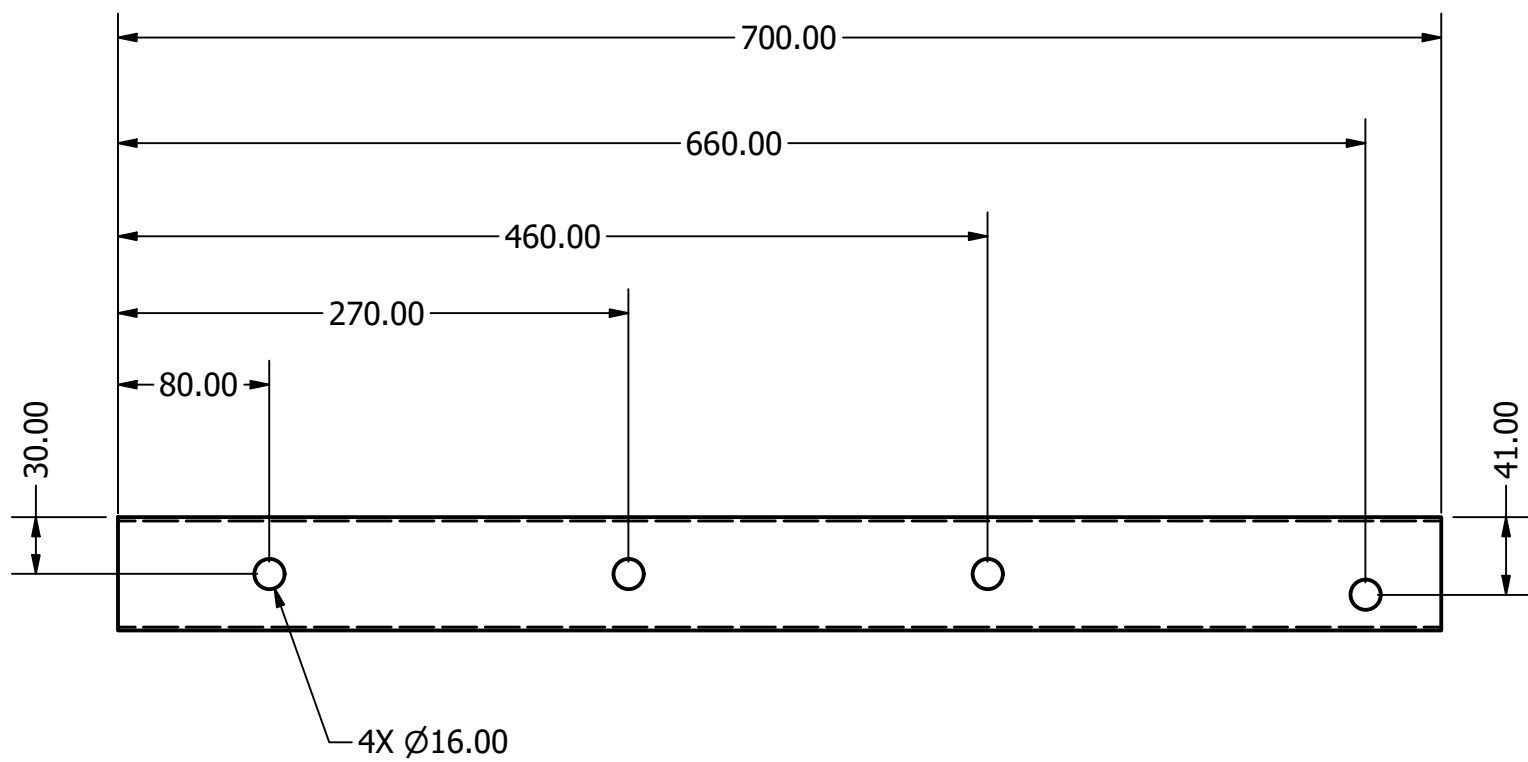
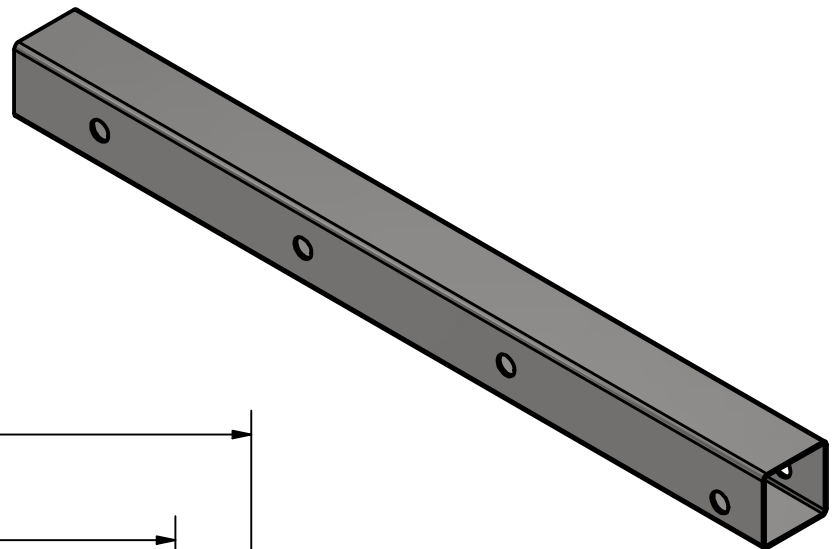
Reliability, %	Transformation Variate $z_\alpha$	Reliability Factor $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

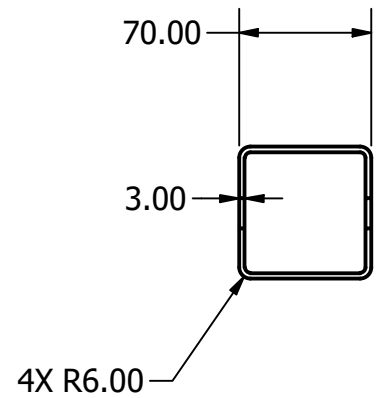
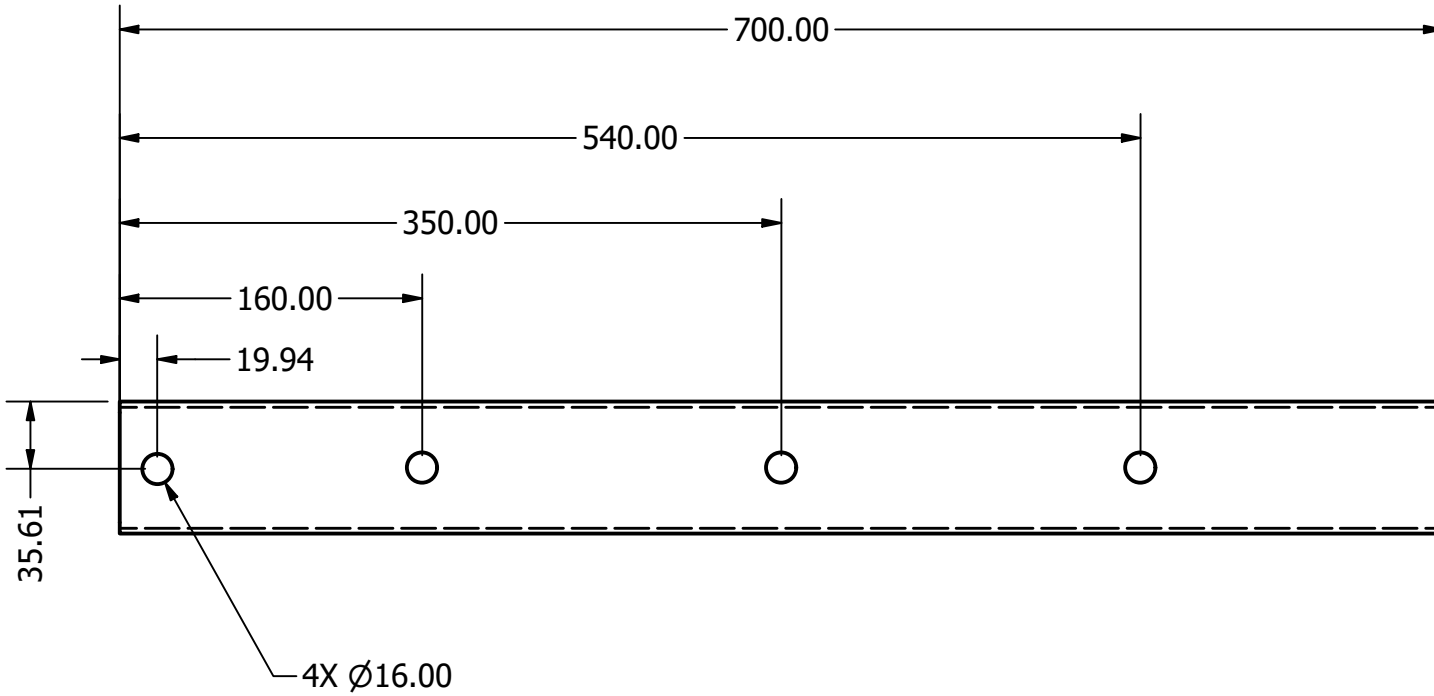
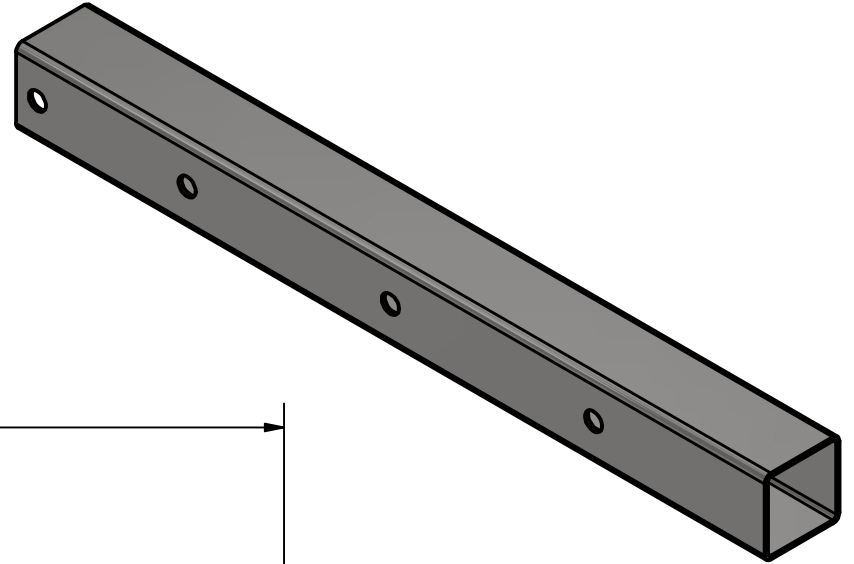
$k_f$  = Corrosión, Endurecimiento superficial y trabajo en frío

## **Planos de construcción**

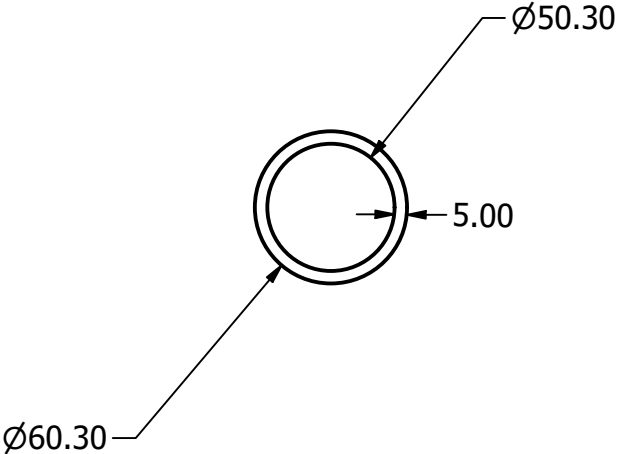
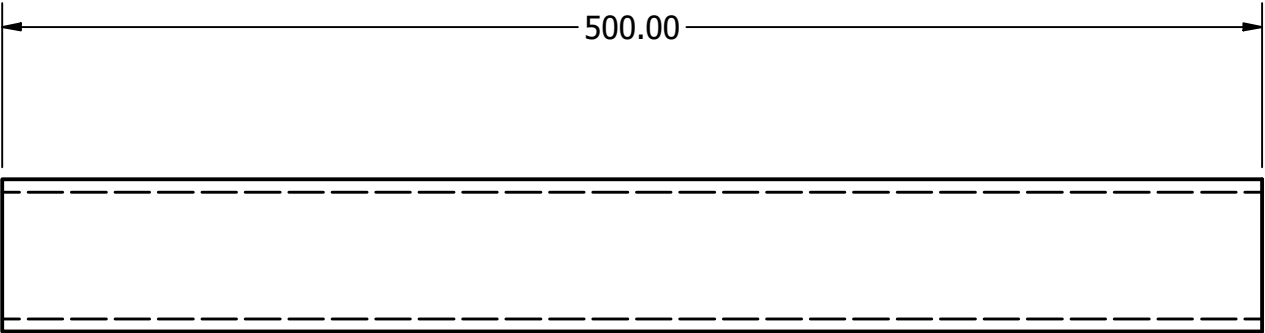
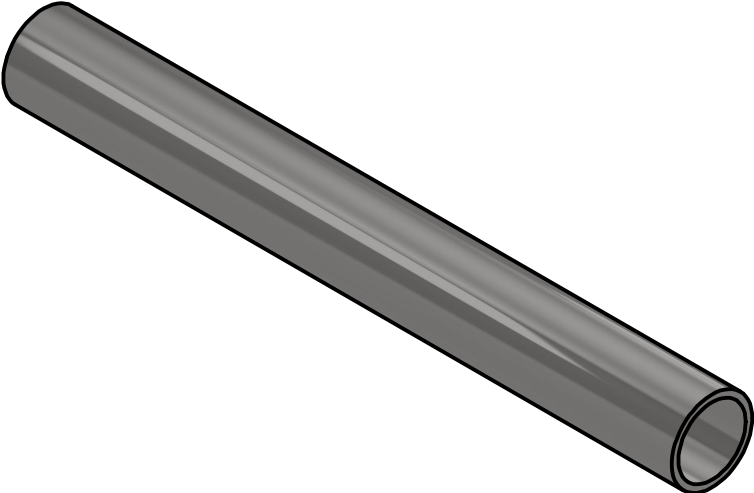




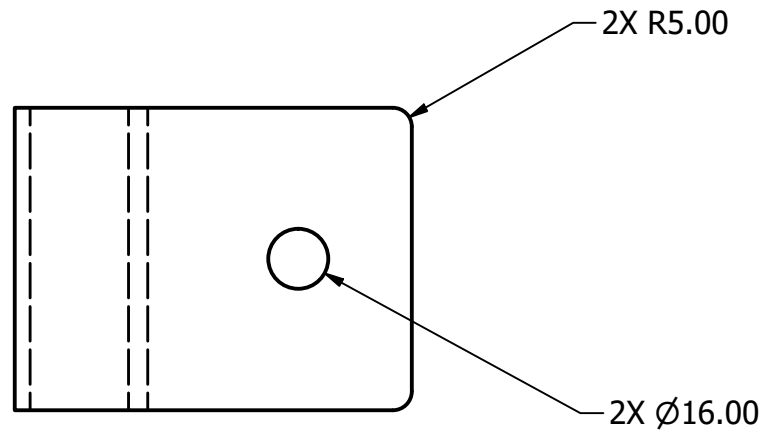
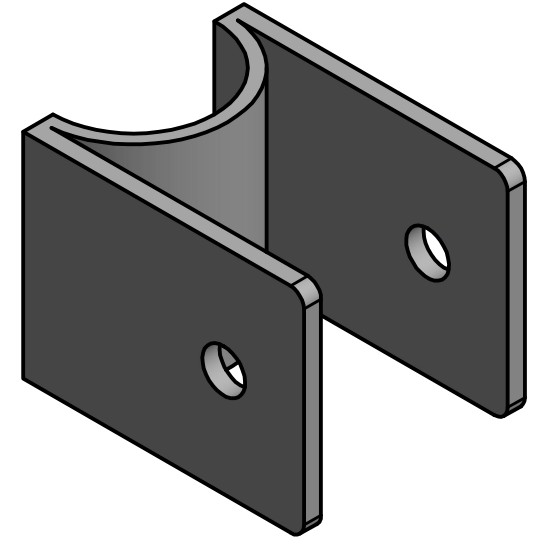
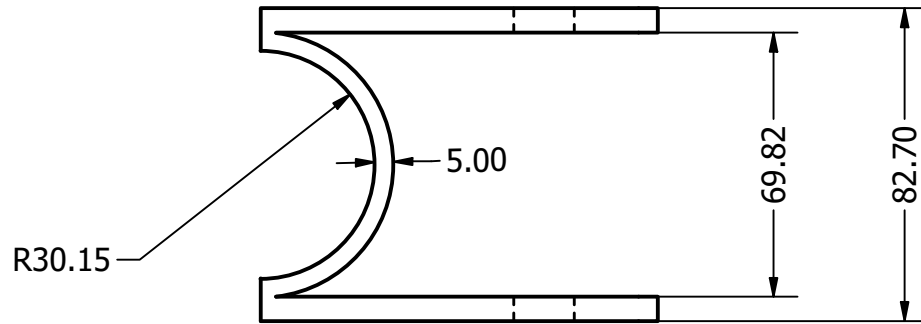
TÍTULO:		Brazo Telescópico	
NÚMERO DE DIBUJO: 02			
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: mm	REV
A4	PÁGINA 2 DE 7		0



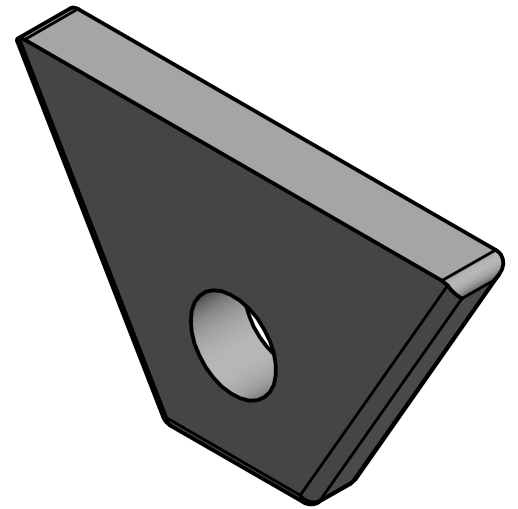
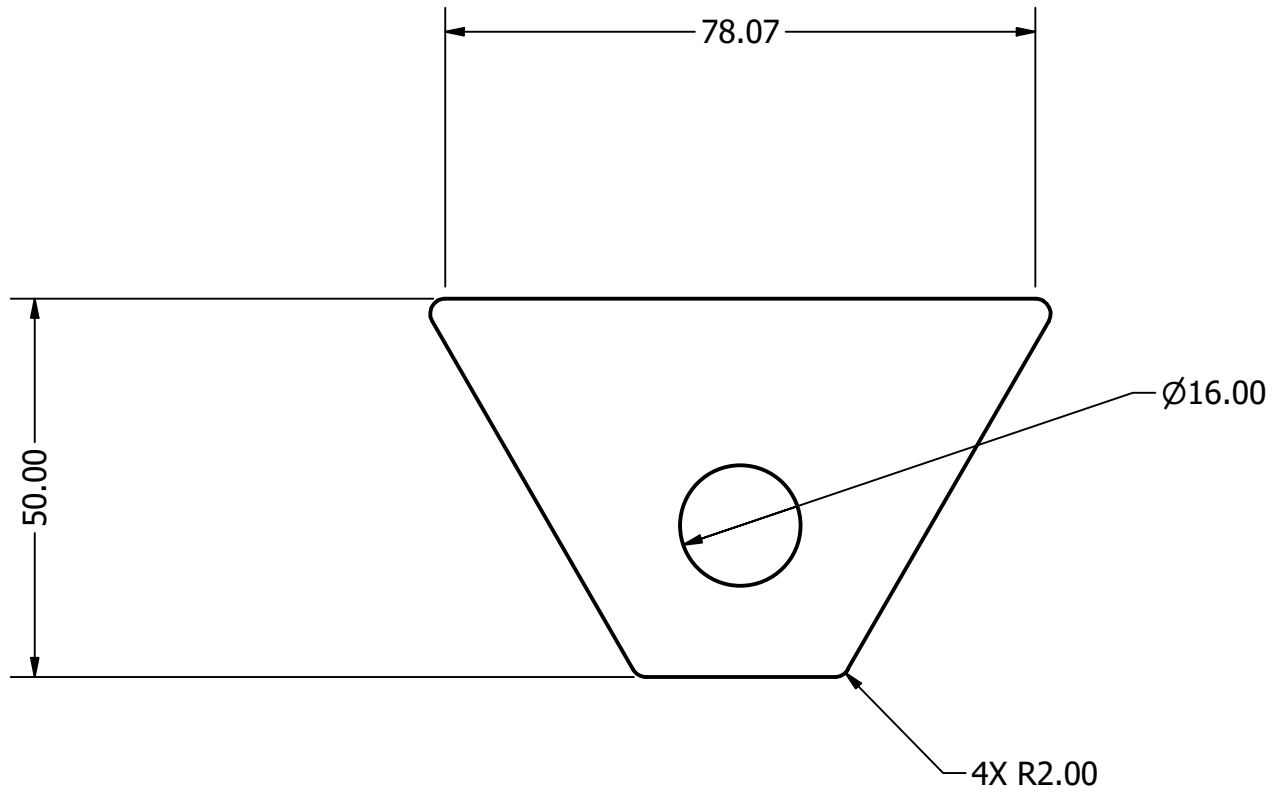
TÍTULO: Brazo Principal		
NÚMERO DE DIBUJO: 03		
FORMATO <b>A4</b>	ESCALA: 1:4	UNIDADES: mm
	PÁGINA 3 DE 7	REV 0



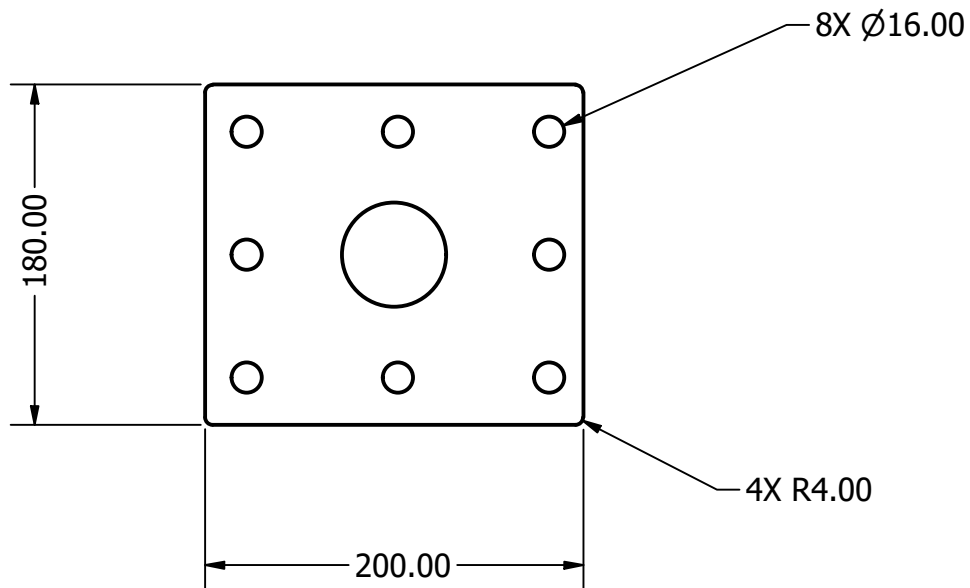
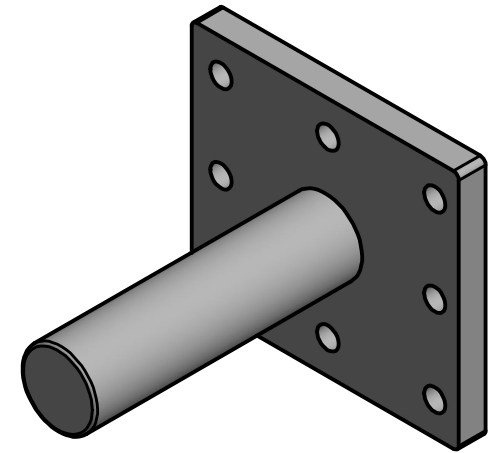
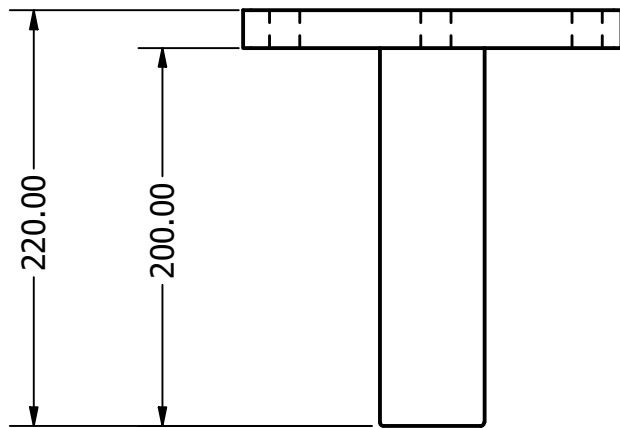
TÍTULO:		Columna Circular	
NÚMERO DE DIBUJO: 04			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	REV
A4	PÁGINA 4 DE 7		0



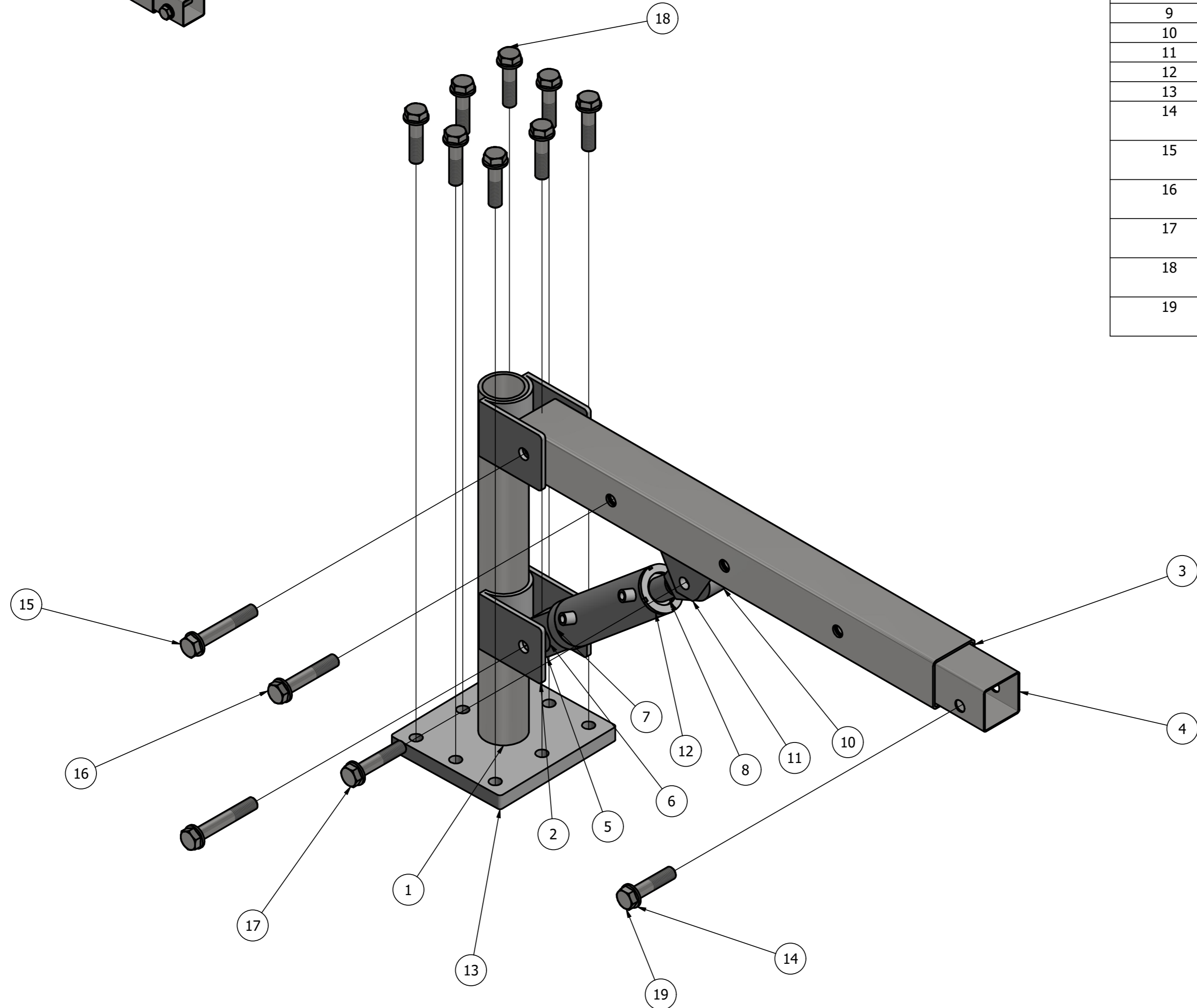
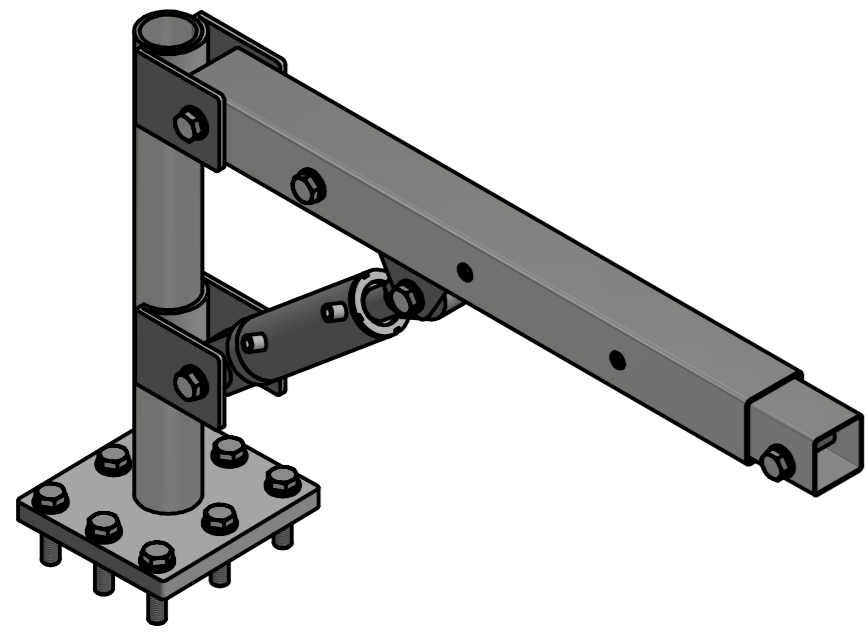
TÍTULO:		Unión	
NÚMERO DE DIBUJO: 05			
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	
<b>A4</b>	PÁGINA 5 DE 7	REV	0





TÍTULO:		Soporte de Cilindro	
NÚMERO DE DIBUJO: 06			
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 6 DE 7	REV	0



TÍTULO:		Base	
NÚMERO DE DIBUJO: 07			
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES:	mm
A4	PÁGINA 7 DE 7	REV	0



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Perfil circular	
2	2	Union	
3	1	Perfil cuadrado externo	
4	1	Perfil cuadrado interno	
5	1	Sujetador de Cilindro	
6	1	Rodamiento	
7	1	Cilindro Hidráulico	
8	1	Vástago	
9	1	Pistón	
10	1	Sujetador de vástago	
11	2	Soporte de Cilindro	
12	1	Tapa	
13	1	Base	
14	13	ISO 7089 - 16	Plain washers - Normal series - Product grade A
15	2	ISO 4014 - M16 x 100	Hexagon head bolt - product grades A and B
16	1	ISO 4014 - M16 x 90	Hexagon head bolt - product grades A and B
17	1	ISO 4014 - M16 x 80	Hexagon head bolt - product grades A and B
18	8	ISO 4014 - M16 x 65	Hexagon head bolt - product grades A and B
19	1	ISO 4014 - M16 x 70	Hexagon head bolt - product grades A and B

TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	DIBUJADO POR <b>Juan Luis Zepeda</b>	FECHA <b>07/10/2022</b>	 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
	DISEÑADO POR <b>Juan Luis Zepeda</b>	FECHA <b>07/10/2022</b>		
	REVISADO POR <b>Andrés Viau</b>	FECHA		
	APROBADO POR	FECHA		
MATERIAL <b>Acero ASTM A36</b>	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Grúa Hidráulica</b>		TÍTULO: <b>Pluma Hidráulica</b>	
TRATAMIENTO <b>N/A</b>	TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.		NÚMERO DE DIBUJO: <b>01</b>	
	 TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN	FORMATO <b>A2</b>	ESCALA: <b>1:4</b>	UNIDADES: mm PÁGINA 1 DE 7 REV 0