

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“Optimización estructural y geométrico de tolva en camión minero 785c –  
caterpillar para acarreo de mineral sólido”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**AUTOR:**

Bach. Rodriguez Chero, Alex Junior

**ASESOR:**

MS. Ing. Risco Ojeda, Rusber Alberto

Código 0000-0003-0194-169X

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

### **CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

---

La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme el reglamento general para obtener el Título profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico**

**"OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y GEOMÉTRICO DE TOLVA EN CAMIÓN MINERO 785C – CATERPILLAR PARA ACARREO DE MINERAL SÓLIDO"**

**Autor:**

Bach. RODRIGUEZ CHIFIO ALEX JUNIOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Rusber Alberto Risco Ojeda".

---

Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda  
COD. ORCID: 0000-003-0194-169X  
DNI:32903454  
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

---

### CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

---

El presente trabajo tesis titulado: "OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y GEOMÉTRICO DE TOLVA EN CAMIÓN MINERO 785C – CATERPILLAR PARA ACARREO DE MINERAL SÓLIDO", para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, presentado por el bachiller: Rodriguez Chero Alex Junior con código de matrícula N°0201416026, que tienen como asesor al Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda.

Ha sido revisado y aprobado el dia 16 de diciembre del 2025 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N°201-2025-UNS-CFI.

Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.



Msc. Nelver Javier Nelver Espinoza  
COD. ORCID 0000-0001-8586-3021  
DNI: 32763819  
Presidente



Msc. Luis Carlos Calderon Rodriguez  
COD. ORCID. 0000-0002-9447-2257  
DNI 32977058  
Secretario

Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda  
COD. ORCID 0000-003-0194-169X  
DNI:32903454  
Integrante



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA  
epim@uns.edu.pe

**ACTA DE INSTALACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

El dia 10 del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:30 am. En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-Fi-UNS, en concordancia a lo dispuesto en el Oficio Múltiple N° 034-2022-UNS-CU-SG, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°- 201-2025-UNS-CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 760-2025-UNS-Fi integrado por los docentes: **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza(presidente)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "OPTIMIZACION ESTRUCTURAL Y GEOMETRICO DE TOLVA EN CAMION MINERO 785C-CAPERTILLAR PARA ACARREO DE MINERAL SOLIDO", presentado por el bachiller: **RODRIGUEZ CHERO ALEX JUNIOR** con código de matrícula N°0201416026, quien fue asesorado por el **Msc. Risco Ojeda Rusber Alberto**, según Resolución Decanal N.º 693-2022-UNS-Fi.

El Jurado Evaluador,después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

| BACHILLER                          | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN  |
|------------------------------------|--------------------|--------------|
| <b>RODRIGUEZ CHERO ALEX JUNIOR</b> | <b>17</b>          | <b>BUENO</b> |

Siendo las 12:00 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, noviembre 10 de 2025

Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza  
PRÉSIDENTE

Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez  
SECRETARIO

Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda  
INTEGRANTE

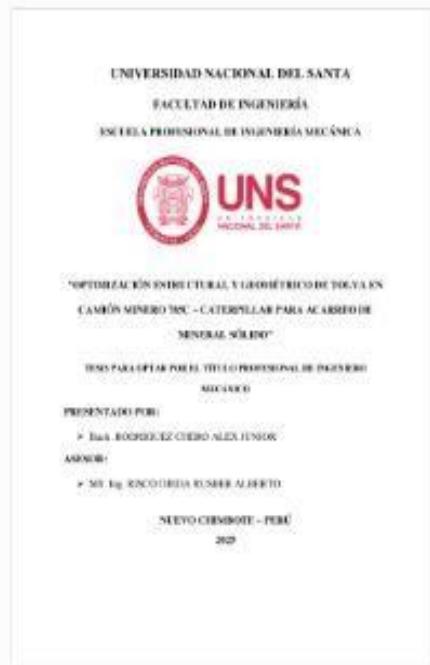


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Autor de la entrega:         | Alex Junior RODRÍGUEZ CHERO                            |
| Título del ejercicio:        | Tesis  |
| Título de la entrega:        | OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y GEOMÉTRICO DE TOLVA EN C... |
| Nombre del archivo:          | T._Rodr_guez_Chero_Alex_Junior._14_12_2025.pdf         |
| Tamaño del archivo:          | 3.97M  |
| Total páginas:               | 116  |
| Total de palabras:           | 20,443   |
| Total de caracteres:         | 114,679  |
| Fecha de entrega:            | 14-dic-2025 03:36p.m. (UTC-0500)                       |
| Identificador de la entrega: | 2846016657   |



**OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y GEOMÉTRICO DE TOLVA EN  
CAMIÓN MINERO 785C – CATERPILLAR PARA ACARREO DE  
MINERAL SÓLIDO**

INFORME DE ORIGINALIDAD

| ÍNDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET   | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |
|---------------------|---|---------------|-------------------------|
| <b>8%</b>           | <b>7%</b>   | <b>1%</b>     | <b>4%</b>               |
| <hr/>               |   |               |                         |
| FUENTES PRIMARIAS   |   |               |                         |
| <b>1</b>            | <b>dspace.ups.edu.ec</b><br>Fuente de Internet  |               | <b>1%</b>               |
| <b>2</b>            | <b>repositorio.upn.edu.pe</b><br>Fuente de Internet   |               | <1%                     |
| <b>3</b>            | <b>Submitted to Universidad Continental</b><br>Trabajo del estudiante                         |               | <1%                     |
| <b>4</b>            | <b>repositorio.usil.edu.pe</b><br>Fuente de Internet  |               | <1%                     |
| <b>5</b>            | <b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b><br>Trabajo del estudiante                       |               | <1%                     |
| <b>6</b>            | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet   |               | <1%                     |
| <b>7</b>            | <b>repositorio.uancv.edu.pe</b><br>Fuente de Internet   |               | <1%                     |
| <b>8</b>            | <b>repositorio.untels.edu.pe</b><br>Fuente de Internet  |               | <1%                     |
| <b>9</b>            | <b>qdoc.tips</b><br>Fuente de Internet  |               | <1%                     |
| <b>10</b>           | <b>Submitted to Universidad Nacional del Santa</b><br>Trabajo del estudiante                  |               | <1%                     |
| <b>11</b>           | <b>Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería &amp; Tecnología</b><br>Trabajo del estudiante |               | <1%                     |
| <b>12</b>           | <b>renati.sunedu.gob.pe</b><br>Fuente de Internet   |               | <1%                     |
| <b>13</b>           | <b>Submitted to usach</b><br>Trabajo del estudiante   |               | <1%                     |

## ÍNDICE GENERAL

|   |             |
|---|-------------|
| Hoja de conformidad del asesor .....                      | ii          |
| Hoja de conformidad del jurado .....                      | iii         |
| Acta de sustentación.....                                 | iv          |
| Declaración jurada de autoría .....                       | v           |
| Recibo de turnitin .....                                  | vi          |
| Reporte porcentual de Turnitin.....                       | vii         |
| <b>ÍNDICE GENERAL.....</b>                                | <b>viii</b> |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                             | <b>xi</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>                             | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                                      | <b>xiv</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                     | <b>xv</b>   |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                               | <b>1</b>    |
| 1.1. Planteamiento del problema -----                     | 1           |
| 1.2. Objetivos de la investigación -----                  | 3           |
| 1.2.1. Objetivo general .....                             | 3           |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                         | 3           |
| 1.3. Formulación de hipótesis-----                        | 4           |
| 1.4. Justificación e importancia de la investigación----- | 4           |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>                             | <b>6</b>    |
| 2.1. Antecedentes -----                                   | 6           |
| 2.2. Marco conceptual-----                                | 10          |
| 2.3. Definición de términos:-----                         | 27          |
| <b>III. METODOLOGÍA.....</b>                              | <b>29</b>   |
| 3.1. Enfoque de la investigación-----                     | 29          |
| 3.2. Diseño de la investigación -----                     | 29          |
| 3.3. Método de la investigación -----                     | 30          |
| 3.4. Tipo de estudio -----                                | 30          |
| 3.5. Procedimiento-----                                   | 30          |

|  |    |
|--|----|
| 3.6. Recopilación y Análisis de Datos:   | 32 |
| 3.7. Población -----   | 32 |
| 3.8. Muestra -----   | 32 |
| 3.9. Operacionalización de variables de estudio -----  | 33 |
| 3.10. Procesamiento de información -----   | 33 |
| IV. RESULTADOS .....   | 35 |
| 4.1. Análisis de la estructura y geometría actual de la tolva en camiones mineros 785C<br>Caterpillar para el acarreo de mineral sólido-----   | 35 |
| 4.1.1. Zona de estudio.....  | 35 |
| 4.1.2. Tipo de Material que Carga .....  | 35 |
| 4.1.3. Definimos al Vehículo: Caterpillar 785C .....   | 35 |
| 4.1.4. Presentamos la Ficha Técnica.....   | 35 |
| 4.1.5. El volumen de la tolva: .....   | 37 |
| 4.1.6. Análisis de ventajas y desventajas de su forma geométrica.....  | 38 |
| 4.1.7. Estructura de la tolva.....   | 40 |
| 4.2. Diseño de la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C<br>Caterpillar aplicando métodos de diseño mecánico -----   | 41 |
| 4.2.1. Selección de alternativa óptima .....   | 41 |
| 4.2.2. Simulación de la tolva.....   | 46 |
| 4.3. Mejora de la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo<br>diseño estructural y geométrico propuesto-----   | 62 |
| 4.3.1. Desmontaje de tolva .....   | 62 |
| 4.3.2. Construcción de la tolva.....   | 64 |
| 4.3.3. Accesorios adicionales modificados .....  | 70 |
| 4.4. Evaluación del impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral<br>solido en camiones mineros 785C Caterpillar mediante la optimización estructural<br>y geométrica de la tolva. ----- | 72 |
| V. DISCUSIÓN .....   | 76 |
| VI. CONCLUSIONES.....  | 78 |

|  |    |
|--|----|
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 80 |
| ANEXOS -----                           | 86 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Características del camión Caterpillar 785C .....                                | 11 |
| <b>Tabla 2</b> Características de la tolva del camión Caterpillar 785C.....                     | 12 |
| <b>Tabla 3</b> Ecuaciones para obtener características geométricas en cordones de soldadura ... | 20 |
| <b>Tabla 4</b> Operacionalización de variables .....  | 33 |
| <b>Tabla 5</b> Ficha técnica de un camión minero 785C .....                                     | 36 |
| <b>Tabla 6</b> Criterios técnico de los tres modelos .....                                      | 44 |
| <b>Tabla 7</b> Criterios económico de los tres modelos .....                                    | 45 |
| <b>Tabla 8</b> Comparación de la tolva al inicio y la aligerada .....                           | 72 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Mina Shougang Hierro Perú Camión CATERPILLAR 785C original..... | 2  |
| <b>Figura 2</b> Mina Shougang Hierro Perú .....                                 | 11 |
| <b>Figura 3</b> Diseño de un elemento a través de optimización estructural..... | 13 |
| <b>Figura 4</b> Elementos de la malla .....                                     | 14 |
| <b>Figura 5</b> Momento de volcadura.....                                       | 17 |
| <b>Figura 6</b> Factor de seguridad .....                                       | 22 |
| <b>Figura 7</b> Clase de esfuerzos .....  | 22 |
| <b>Figura 8</b> Deformaciones mecánicas .....                                   | 23 |
| <b>Figura 9</b> Diagrama esfuerzo - deformación .....                           | 25 |
| <b>Figura 10</b> Tolva de camión minero 785C - Caterpillar .....                | 40 |
| <b>Figura 11</b> Modelo 1 .....   | 41 |
| <b>Figura 12</b> Modelo 02.....   | 42 |
| <b>Figura 13</b> Modelo 03.....   | 43 |
| <b>Figura 14</b> Tolva Aligerada .....  | 46 |
| <b>Figura 15</b> Von Mises.....   | 46 |
| <b>Figura 16</b> Factor de seguridad .....                                      | 48 |
| <b>Figura 17</b> Desplazamiento en el plano XX.....                             | 49 |
| <b>Figura 18</b> Desplazamiento XY .....  | 51 |
| <b>Figura 19</b> Desplazamiento XZ.....   | 52 |
| <b>Figura 20</b> Desplazamiento YY .....  | 53 |
| <b>Figura 21</b> Desplazamiento YZ.....   | 55 |
| <b>Figura 22</b> Desplazamiento ZZ .....  | 56 |
| <b>Figura 23</b> Presión.....   | 57 |
| <b>Figura 24</b> Presión en el plano X .....                                    | 59 |
| <b>Figura 25</b> Presión en el plano Y .....                                    | 60 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 26</b> Presión en el plano Z.....                                | 61 |
| <b>Figura 27</b> Extracción de accesorios adicionales .....                | 62 |
| <b>Figura 28</b> Extracción de protección del triángulo de descarga.....   | 63 |
| <b>Figura 29</b> Extracción de laterales y parte del piso.....             | 63 |
| <b>Figura 30</b> Refuerzo de perfiles verticales .....                     | 64 |
| <b>Figura 31</b> Cambio de formato de piso de tolva .....                  | 64 |
| <b>Figura 32</b> Modificación de ancho de tolva .....                      | 65 |
| <b>Figura 33</b> Instalación de nuevos laterales .....                     | 66 |
| <b>Figura 34</b> Armado e instalación de nuevos perfiles y costillas ..... | 66 |
| <b>Figura 35</b> Ducto de gases centrales .....                            | 67 |
| <b>Figura 36</b> Cola de pato.....   | 67 |
| <b>Figura 37</b> Up grade.....   | 68 |
| <b>Figura 38</b> Escalera transversal .....                                | 70 |
| <b>Figura 39</b> Deflector lateral .....                                   | 70 |
| <b>Figura 40</b> Deflector delantero .....                                 | 71 |

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo optimizar la estructura y geometría de la tolva del camión minero Caterpillar 785C para el acarreo de mineral sólido, debido a que se identificó la posibilidad de aumentar el transporte sin incrementar los costos operativos. La metodología empleada fue cuantitativa, de tipo aplicada, con un diseño preexperimental, y tuvo como población 20 camiones mineros 785C operando en la unidad minera. Los resultados iniciales mostraron que la tolva original presentaba una capacidad útil de 134,47t, un volumen de 78m<sup>3</sup> y un peso de 37,58 T. Se determinaron 2447,4 kN de carga muerta y 1476,79 kN de carga viva, lo que evidenció un margen de optimización estructural y geométrica. El nuevo diseño alcanzó un factor de seguridad de 1,63 y un esfuerzo máximo de 152,66MPa. El modelo seleccionado (0,98) incorporó 10 costillas, refuerzos estratégicos y espesores optimizados, validados mediante análisis FEA, logrando una mejor distribución de cargas. La mejora estructural permitió reducir el peso en 15,26 t (18 %), incrementando la capacidad a 149,73 t. La tolva final pesa 21,61 t y emplea materiales mejorados (Hardox 450–500 y A36), aumentando también el volumen útil a 85,5m<sup>3</sup>. Operativamente, se redujeron los viajes de 32 a 29 (-9,4%), el consumo de combustible (-9,5%) y el mantenimiento (-11,2%). El aumento de capacidad supone 6647,256 t/año adicionales transportadas por la flota. En conclusión, la optimización estructural y geométrica fue exitosa técnica y operativamente, al reducir peso, incrementar capacidad y mejorar la eficiencia del acarreo sin comprometer la seguridad del equipo.

**Palabras clave:** Optimización, Tolva, Capacidad y Eficiencia.

## ABSTRACT

This study aimed to optimize the structure and geometry of the Caterpillar 785C mining truck's hopper for hauling solid ore, as the possibility of increasing transport capacity without increasing operating costs was identified. The methodology employed was quantitative and applied, with a pre-experimental design, and the study population consisted of 20 785C mining trucks operating at the mining unit. Initial results showed that the original hopper had a usable capacity of 134.47 t, a volume of 78 m<sup>3</sup>, and a weight of 37.58 t. Dead loads of 2447.4 kN and live loads of 1476.79 kN were determined, indicating potential for structural and geometric optimization. The new design achieved a safety factor of 1.63 and a maximum stress of 152.66 MPa. The selected model (0.98) incorporated 10 ribs, strategic reinforcements, and optimized thicknesses, validated through FEA analysis, achieving better load distribution. The structural improvement allowed for a weight reduction of 15.26 tn (18%), increasing capacity to 149.73 t. The final hopper weighs 21.61 t and uses improved materials (Hardox 450–500 and A36), also increasing the usable volume to 85.5 m<sup>3</sup>. Operationally, trips were reduced from 32 to 29 (-9.4%), fuel consumption (-9.5%), and maintenance (-11.2%). The increased capacity represents an additional 6,647.256 t/year transported by the fleet. In conclusion, the structural and geometric optimization was technically and operationally successful, reducing weight, increasing capacity, and improving hauling efficiency without compromising equipment safety.

**Keywords:** Optimization, Hopper, Capacity and Efficiency.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, el Perú es uno de los principales productores de minerales como son el estaño, zinc, cobre, oro, plata, entre otros que se encuentran generalmente en la cordillera de los Andes, la cual es la principal fuente de ingresos para el estado peruano (Ministerio de Energía y Minas, 2022). Por lo que en la Cordillera de los Andes operan una variedad de pequeñas, medianas y grandes mineras que buscan maximizar sus beneficios mediante el uso de nuevos métodos. Por tal motivo, diversas empresas del sector minero realizan importantes inversiones a fin de extraer volúmenes de materiales para ser procesadas, para lo cual se requiere que la maquinaria, volquetes y los recursos empleados se encuentren operativos a fin de cumplir la producción establecida (Guerra y Oca, 2019).

En este sentido, la actividad minera juega un papel de suma relevancia en la economía peruana, lo cual se debe a su capacidad para impulsar el desarrollo económico y el crecimiento al incrementar la producción, los ingresos y el empleo en el país. Según el Banco Central de Reserva del Perú, la minería metálica por sí sola constituye el 8.7% del Producto Interno Bruto (PBI), mientras que en su conjunto, el sector minero representa el 60% del total de las exportaciones peruanas (ComexPerú, 2023). Al respecto, uno de los factores que impulsa el crecimiento de la actividad minera, se relaciona a que el método de extracción es en tajo abierto (open cut) y fosa abierta (open pit), esto quiere decir que se logra una mayor accesibilidad, elevada automatización, evolución de tecnología y mayor seguridad a comparación de una minería subterránea (Salomón y Ortiz, 2020).

En este contexto, en el transcurso de la planificación, extracción y procesamiento de minerales, es esencial emplear enfoques y tecnologías innovadoras, las cuales deben asegurar la maximización de los beneficios, la reducción de los costos operativos y el incremento de la eficiencia en la producción. Un ejemplo de esto es el ciclo de acarreo, una actividad que suele consumir

una considerable cantidad de recursos debido a la necesidad de emplear numerosas unidades para el transporte de minerales (Bertero, 2020). Por ello, resulta fundamental que los equipos de acarreo operen con una eficiencia superior, lo que permitirá el transporte de mayores volúmenes de material, evidenciando así una reducción en los costos operativos gracias a una planificación más precisa; en consecuencia, la capacidad de carga de un equipo minero desempeña un papel crucial en el conjunto de la operación y en los costos de transporte, por lo tanto, cualquier mejora que pueda optimizar la utilización de estos equipos resultaría mayores beneficios.

El presente estudio se desarrolla en una unidad minera que emplea camiones Caterpillar 785C para el transporte de minerales, en ese sentido, la mejora constante de la eficiencia en el transporte es uno de los pilares de los planes operativos de la empresa, con el objetivo de optimizar los rendimientos. No obstante, se ha observado que existe la posibilidad de rediseñar las tolvas de los equipos de acarreo actuales, lo que resultaría en una capacidad de transporte de minerales aún mayor. Este enfoque permitiría un aprovechamiento más amplio de los recursos. La figura siguiente ilustra el equipo de acarreo bajo estudio.

### **Figura 1**

*Mina Shougang Hierro Perú Camión CATERPILLAR 785C original*



*Nota.* En la figura se muestra un camión minero 785C que será parte de la investigación.

Entre los autores que plantean mejoras en los equipos mineros se encuentra Fernández (2020) diseño y construye un equipo de perforación a fin de incrementar la productividad durante la fase de explotación en mina; mientras que, Zaviezo (2013) busca alternativas a fin de incrementar la capacidad de carguío. No obstante, en base a un sustento teórico apoyado con elementos finitos se espera optimizar la estructura y geometría de la tolva en camión minero 785C Caterpillar para acarreo de mineral sólido.

Para demostrar la mejora en el ciclo de carguío se someterá a pruebas en escenarios real a fin de identificar la variación en los indicadores sobre la situación antes de la optimización geométrica y estructural, así como posterior considerando las mismas condiciones a fin de responder a la hipótesis planteada. Por ello, la mejora del transporte es una de las partes fundamentales para optimizar la producción.

### **Problema general**

¿Cómo optimizar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Optimizar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- (a) Analizar la estructura y geometría actual de la tolva en camiones mineros 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido.
- (b) Diseñar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar aplicando métodos de diseño mecánico.
- (c) Mejorar la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo diseño estructural y geométrico propuesto.

- (d) Evaluar el impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral sólido en camiones mineros 785C Caterpillar mediante la optimización estructural y geométrica de la tolva.

### **1.3. Formulación de hipótesis**

#### **Hipótesis general**

La optimización estructural y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar mejorará el acarreo de mineral sólido.

### **1.4. Justificación e importancia de la investigación**

#### **Social**

La ejecución de esta mejora permitirá al área de operaciones de la minera incrementar su productividad, posicionamiento económico y la competitividad de la empresa, influenciando así el beneficio de la empresa en el sector minero. A su vez permitirá estabilidad para de esta manera buscar el liderazgo en el mercado nacional.

#### **Económica**

Basándonos en el problema existente en el área de operaciones, se requiere la implementación de una mejora en su único componente de acarreo, la tolva del camión minero 785C, la cual es la principal causa del incremento de dinero en operaciones. Esta modificación permitirá aumentar el acarreo de mineral sólido, disminuyendo así los tiempos de acarreo e incrementando la disponibilidad de la flota.

#### **Tecnológica**

La principal característica del aligeramiento es el cambio del material, esta modificación se realiza empleando software de diseño CAD 3D como el SolidWorks que permitirá demostrar la validez de las modificaciones planteadas.

#### **Importancia**

Como es ampliamente reconocido, el aspecto económico ocupa un lugar destacado en la gestión de activos empresariales, y la industria minera no es una excepción. Por consiguiente, resulta de suma importancia la adecuación de los activos a las demandas que surgen en la operación diaria, abarcando tanto los aspectos operativos como los generales de una compañía.

En este caso particular, en relación al proceso de acarreo, se efectuará una adaptación de las tolvas de los camiones mineros 785C con miras a incrementar su capacidad de carga. No obstante, este aumento de capacidad se equilibra con una reducción en el peso de las tolvas. Esta decisión se tomará para mantener el peso total en un nivel constante y, de este modo, no poner en riesgo otros componentes del proceso de transporte de minerales, tales como el chasis, los neumáticos, el consumo de combustible y otros gastos asociados al aumento en la carga transportada. Esto debido a que, se ha evidenciado que se puede garantizar el transporte seguro de los materiales y reducir el peso de la tolva mediante una optimización estructural a fin de que el vehículo minero pueda tener una mayor carga útil por cada ciclo de acarreo de un camión CATERPILLAR 785C. Debido a la alta abrasividad de los materiales extraídos en la mina, se lleva a cabo un mantenimiento periódico para restaurar el espesor del material debido a su desgaste, siendo este efecto simulado para evidenciar que se cumple con un transporte seguro y duradero.

## II. MARCO TEÓRICO

### **2.1. Antecedentes**

#### ***2.1.1. Antecedentes internacionales***

En los antecedentes internacionales, Chango y Cáceres (2024) el objetivo del presente estudio fue diseñar y simular una plataforma de volteo para camiones de hasta 40 t cargados con productos alimenticios granulados en un centro de acopio; para ello, se emplearon herramientas CAD en AutoCAD y análisis estructural y dinámico en SAP 2000, complementados con simulaciones de esfuerzos y deformaciones en diversas configuraciones de carga y ángulo de inclinación. Los resultados indicaron que el diámetro óptimo del pasador es de 2,5 cm en acero de transmisión, que el ángulo de inclinación de 45° maximiza estabilidad y eficiencia, y que el esfuerzo máximo sobre la viga principal alcanzó 664 kg/cm<sup>2</sup>, muy inferior al límite permisible de 2212 kg/cm<sup>2</sup>, corroborándose asimismo una carga cortante de diseño de 51 t con un pasador de 4 cm y placas de 10 cm/5 cm. En conclusión, el diseño propuesto cumple con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos, demuestra viabilidad operativa y sienta las bases para futuras aplicaciones logísticas.

Parra et al. (2024) tuvo como objetivo aplicar la metodología de Análisis de Causa Raíz (RCA) al sistema de tolvas de transporte de concentrado de cobre de Minera Anglo American Los Bronces, con el fin de identificar y mitigar fallas críticas que afectan la confiabilidad operativa. Para ello, se recopilaron datos históricos de fallas, tiempos medios de reparación y costos asociados, se formularon hipótesis de modos de falla y se validaron mediante entrevistas al personal de mantenimiento, clasificación de causas (físicas, humanas y latentes) y evaluación de frecuencia y costo. Los resultados destacaron como causas raíz deficiencias estructurales en el cierre de tolvas y procedimientos de operación inadecuados, y permitieron proponer recomendaciones con su estimación de inversión y ahorro económico que, según el análisis costo-beneficio, ofrecen un retorno favorable. En conclusión, la aplicación del RCA demostró

ser una herramienta eficaz para optimizar políticas de mantenimiento y garantizar la continuidad del proceso productivo.

Vatulia et al. (2023) tuvo como objetivo mejorar el diseño de la estructura de apoyo de un vagón tolva de dos secciones para permitir el transporte simultáneo de diferentes cargas mediante la interacción interna de sus cuerpos. Para ello, se empleó el método de elementos finitos en SolidWorks Simulation junto con modelado dinámico matemático, considerando cargas de impacto, térmicas y sujetaciones rígidas, y validando la malla y condiciones de contorno. Los resultados revelaron que los esfuerzos máximos en modo de impacto (240,7–312,3 MPa) y bajo carga térmica a 700 °C ( $\approx$ 317 MPa) quedaron entre un 9,5% y un 30% por debajo de los límites normativos, mientras que los indicadores dinámicos (0,24 g y coeficiente vertical 0,6) permanecieron dentro de rangos permisibles. En conclusión, el diseño propuesto demuestra integridad estructural y viabilidad operativa, contribuyendo a la rentabilidad del transporte ferroviario y al desarrollo de prototipos modernos para tráfico nacional e internacional.

Orellana (2019) tuvo como objetivo estimar la vida útil y los esfuerzos en el chasis trasero del camión tolva Sandvik TH663 bajo las condiciones de carga reales del Proyecto Pacífico Superior de Codelco. Para ello, se construyó un modelo numérico de elementos finitos en ANSYS, integrando las propiedades de materiales, la geometría del chasis y las condiciones de contorno, y se realizaron mediciones experimentales de función de respuesta en frecuencia en terreno para validar y ajustar dicho modelo. Los análisis revelaron modos de vibración correlacionados (flexión, torsión y translaciones) y mostraron que los esfuerzos de Von Mises no superan el límite de fluencia, mientras que el estudio de fatiga evidenció un riesgo de falla relacionado con la frecuencia de impactos de rocas de gran masa. Como conclusión, el modelo validado se confirma como una herramienta fiable para predecir esfuerzos y vida útil del chasis,

recomendándose limitar la altura de descarga a menos de 4 m para reducir los impactos y prolongar la vida útil operativa.

Leonel (2014) en su estudio tuvo como objetivo desarrollar y validar un método de diseño de sistemas de retención de carga (SRC) en transiciones de flujo vertical-horizontal para piques, silos y stockpiles de la minería, integrando estimaciones de cargas con las recomendaciones AISC 360-05, NCh. 2369-2003 y ACI 313-97. Para ello, se aplicó una metodología multidisciplinaria que incluyó revisión crítica de teorías de estimación de cargas, observación de flujo y medición de esfuerzos en un SRC real en Chile, y ensayos en un modelo a escala reducida. Los resultados evidenciaron que la teoría de Janssen, ajustada mediante parámetros experimentales, ofrece las estimaciones más precisas de presión vertical y horizontal; que el flujo expandido presenta un ángulo de aproximadamente  $30^\circ$  bajo diversas condiciones de extracción; y que los coeficientes de roce acero-roca (0,4-0,5) y acero-acero (0,65-0,75) son adecuados para el cálculo de cargas de servicio. Asimismo, la planilla de cálculo desarrollada facilita la evaluación estructural y geométrica rápida de los componentes del SRC. En conclusión, el método propuesto, fundamentado en LRFD, optimiza la precisión del diseño y se recomienda su aplicación extendida y ajuste en futuros estudios de campo.

### ***2.1.2. Antecedentes nacionales***

En los antecedentes nacionales, Fernandez (2020), en su trabajo denominado “Diseño y construcción de perforadora a electrohidráulica mediana para mejorar la productividad de perforación en la mina Uchucchacua”. Realizo el diseño y la construcción de una perforadora electrohidráulica de bajo tamaño, ya que se requirió mejorar el avance y producción en la minería subterránea, por lo que se utilizó el software de diseño SolidWorks para su diseño y simulación. Como resultado, se identificó una mejora en la productividad de 20.39% a 34.57%.

Llamocca (2020), en su investigación “Diseño De Una Carrocería Bitren Con Sistema De Volteo Lateral Para Incrementar La Carga Útil De Acarreo De Menas De Cobre A 77tn, En

La Empresa Minera Condestable S.A.A”. Planteo el diseño de una carrocería bítrene con sistema antivuelco con el fin de aumentar la carga útil de acarreo, para ello se identificó la geométrica, el mecanismo de volteo lateral de la tolva y se realizó las simulaciones para identificar la viabilidad. Como resultado se identificó un incremento del rendimiento de 77 Tm/hr en 2019 a 117 Tm/hr en el 2021.

Escurra (2020), denominado “Diagnóstico por Bajo Desempeño de Camión Minero Caterpillar 785D, Comparado con un 785C en la Mina Shougang, Marcona, Ica” que tiene como principal objetivo hacer una comparativa de los camiones mineros 785D con los 785C (predecesoras) con el objetivo de incrementar la flota debido a una ampliación del proyecto; esta comparativa se logró realizar usando la Metodología de Diagnóstico (o Métodos de los 10 pasos) de la empresa Caterpillar, ideal para solucionar problemas técnicos y perdidas de recursos. Teniendo como diferencia más relevante el promedio de velocidad, el camión 785C circula con 12.1 km/h y los 785D con 10.3 km/h.

Díaz (2017), quien realiza el trabajo académico “Diseño de Tolva Ligera para Camiones 785 C/B y su Impacto en la Productividad de una Empresa Minera”. Este trabajo se propone el diseño de una tolva aligerada para los camiones Caterpillar 785 B/C, usando la metodología del libro “Diseño y desarrollo de productos” de Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, para poder incrementar la capacidad de carga transportada con un factor de seguridad de 2, mostrando así un ahorro de S/. 61,043,896.99 proyectado para los próximos 5 años.

Mamani (2017), en el informe técnico “Programa de Aligeramiento en el Peso de las Tolvas por el Proceso de Soldadura FCAW en la Mina Barrick para Optimizar en el Acarreo de Mineral” que buscaba disminuir el peso de las tolvas modificando su estructura y utilizando el proceso de soldadura FCAW usando planchas específicas para el trabajo de acarreo disminuyendo un 36% del peso total de la tolva y aumentando un 36% su capacidad de carga.

Mauricio (2015), realizó un estudio titulado "Mejora Continua en la Gestión del Ciclo de Transporte de Camiones en Operaciones Mineras a Tajo Abierto en Diversas Locaciones". El propósito fundamental de este trabajo era la reducción de los tiempos muertos en la flota de camiones de gran tamaño en varias minas, incluyendo Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay y Pucamarca. La metodología utilizada para implementar mejoras fue el enfoque Six Sigma, mientras que para la estimación de los tiempos muertos se recurrió al uso del software dispatch. Los resultados conclusivos del estudio señalan una mejora de aproximadamente 1,20 minutos en los tiempos relacionados con el transporte, la espera y el proceso de cuadrado.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Unidad minera Shougang Hierro Perú:**

Shougang Hierro Perú S.A.A., es el único productor de mineral de hierro del Perú. Este complejo minero está compuesto de 3 áreas:

**Mina:** Tiene un aproximado de 150 km<sup>2</sup>, es aquí donde se realiza la exploración y explotación del mineral en tajo abierto, siendo trasladado el mineral mediante palas y camiones mineros con capacidad aproximada de 150 toneladas hasta las chancadoras para luego sea enviada a San Nicolás mediante una faja de 15.3 km aproximadamente.

**San Nicolas:** Por este lugar pasa el mineral para convertirse en el producto que la empresa comercializa, para ello se cuenta con los siguientes equipos: planta chancadora, planta de separación magnética, planta de filtros, planta de pellets y muelle de San Nicolás

**San Juan:** Lugar del campamento minero y oficinas administrativas.

**Figura 2***Mina Shougang Hierro Perú*

*Nota.* La figura muestra la zona de extracción de mineral de la mina Shougang Hierro Perú

### 2.2.2. Camión Minero 785C Caterpillar

Este vehículo está destinado de manera específica al transporte de minerales. Con un peso bruto en plena operación de 249,480 kg, desempeña un papel crucial.

**Tabla 1**

Características del camión Caterpillar 785C

| Característica                      | Valor                          |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| Capacidad de Carga                  | 136 toneladas                  |
| Motor                               | Caterpillar 3512B-EUI          |
| Potencia del Motor (Bruta)          | 1,450 hp (1,082 kW)            |
| Transmisión                         | Electrónica de 6 velocidades   |
| Velocidad Máxima                    | 54.8 km/h (34 mph)             |
| Peso Vacío                          | Aprox. 113,48 kg (250,180 lbs) |
| Peso Bruto Operativo                | Aprox. 249,48 kg (550,000 lbs) |
| Sistema de Frenos                   | Hidráulico de discos           |
| Neumáticos                          | Tamaño 40.00R57                |
| Capacidad del Tanque de Combustible | 3,785 litros (1,000 galones)   |
| Longitud                            | 11.024 m (36,3 pies)           |
| Anchura                             | 6.2 m (20.5 pies)              |
| Altura                              | 5.769 m (19r.0 pies)           |

*Nota.* Elaboración propia

### 2.2.3. Tolva

Conocida también como caja de doble pendiente en el suelo (en el contexto de este estudio), esta estructura exhibe una capacidad de carga que oscila entre 131 y 141 toneladas métricas. Su diseño se orienta hacia la retención eficiente de la carga a través del posicionamiento central de su centro de gravedad, lo que la vuelve especialmente adecuada incluso para terrenos no urbanizados. Esta característica no solo minimiza las pérdidas de carga, sino que también optimiza la eficiencia del transporte.

**Tabla 2**

Características de la tolva del camión Caterpillar 785C

| Característica                 | Valor                        |
|--------------------------------|------------------------------|
| Volumen                        | 78 m <sup>3</sup>            |
| Material de la Tolva           | Acero de alta resistencia    |
| Sistema de Descarga            | Tres compuertas hidráulicas  |
| Tiempo de Descarga             | Aprox. 12 segundos           |
| Ángulo de Descarga             | 52 grados                    |
| Longitud de la Tolva           | 7.23 m (23.7 pies)           |
| Anchura de la Tolva (Superior) | 6.72 m (22.0 pies)           |
| Altura de la Tolva             | 3.81 m (12.5 pies)           |
| Altura de Descarga             | 6.23 m (20.4 pies)           |
| Sistema de Elevación           | Hidráulico de doble cilindro |
| Sistema de Sellado             | Sellos de goma reforzados    |

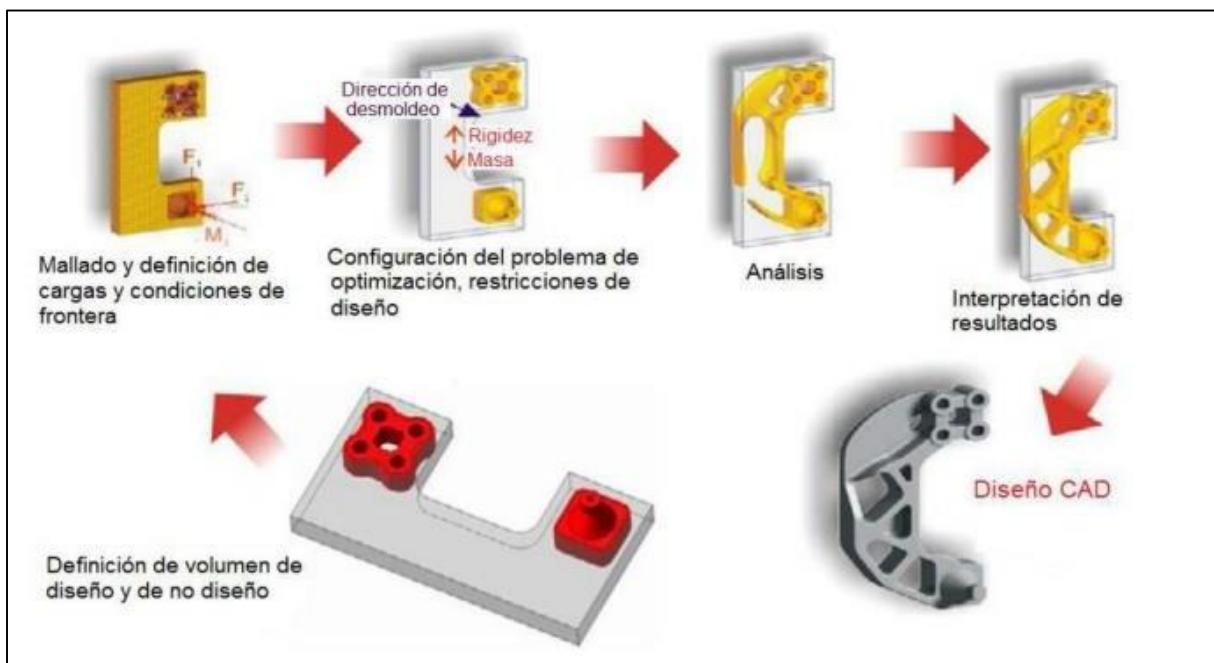
*Nota.* Tabla de datos con las principales características de una tolva de un camión minero CATERPILLAR 785 C. Tomado de Catalogo CATERPILLAR. (2018)

### 2.2.4. Análisis de elementos finitos (FEA)

La optimización estructural, se entiende como aquel procedimiento que utiliza el método CAE (Ingeniería Asistida por Computadora), que es empleada para realizar diseños conceptuales e innovadores a fin de garantizar una mayor rigidez en equipos durante un proceso de modelado, lo cual garantiza mayor desempeño a diferentes restricciones como esfuerzo máximo, cantidad de material, desplazamiento, entre otros. Por consiguiente, con relación a las variables establecidas en el diseño se detalla combinaciones en vectores ejecutados, como se muestra a continuación (Moreno et al., 2020):

**Figura 3**

*Diseño de un elemento a través de optimización estructural*



*Nota.* Se muestra los componentes en el proceso de optimización estructural. Tomado del SolidWorks. Tomado de Moreno et al. (2020)

#### **2.2.5. Análisis de elementos finitos (FEA)**

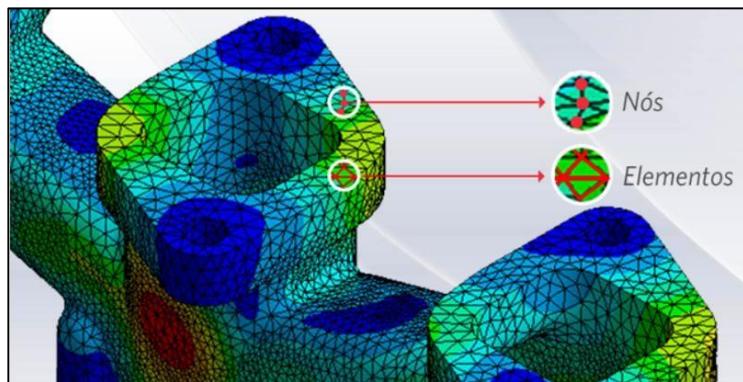
Es un método numérico utilizado en ingeniería y ciencias aplicadas para simular y analizar el comportamiento de estructuras y sistemas complejos. Consiste en dividir un objeto o sistema en pequeños elementos finitos, como triángulos o cuadriláteros para geometrías bidimensionales y tetraedros o hexaedros para geometrías tridimensionales. Los nodos conectan estos elementos para formar un entramado (Mirlisenna, 2016).

El objetivo del análisis de elementos finitos es resolver ecuaciones matemáticas que describan el comportamiento físico de los elementos individuales y sus interacciones en función de las condiciones de carga, las restricciones y las propiedades de los materiales. Esta técnica permite evaluar aspectos como tensiones, deformaciones, desplazamientos, transferencia de calor, flujo de fluidos y vibraciones, entre otros, en situaciones en las que la evaluación experimental puede resultar difícil o costosa (Escolano, 2015).

Numerosas industrias, como la automovilística, aeroespacial, de la construcción, energética y electrónica, utilizan el análisis de elementos finitos para mejorar el diseño, la eficiencia y la seguridad de productos y sistemas (Escolano, 2015).

**Figura 4**

*Elementos de la malla*



*Nota.* Simulación por elementos finitos. Tomado del SolidWorks.

#### 2.2.6. *Cargas estáticas sometidas a una carrocería*

Una carrocería de un equipo o vehículo que realiza desplazamiento se somete a una variedad de cargas (Villafuerte, 2017):

**Carga muerta (M):** Es una fuerza obtenida debido al peso mismo del equipos, es decir, de su estructura y los componentes no estructurales que son permanentes para su funcionamiento, como, por ejemplo, carrocería, motor, asientos, entre otros (Villafuerte, 2017):

$$M = m \cdot g \quad (1)$$

Donde:

M: Carga muerta, [N]

m: Masa, [kg]

g: Gravedad, [ $9.81 \text{ m/s}^2$ ]

**Carga viva (V):** Se encuentra representada por el peso que cuenta el vehículo, siendo para el presente caso la carga que puede llevar en la tolva (Villafuerte, 2017):

$$V = (\text{masa material}) * \text{kg} \quad (2)$$

Donde:

V: Carga viva, [N]

g: Gravedad, [9.81 m/s<sup>2</sup>]

**Carga por giro (G):** Se encuentra representada por el equipo al momento que pasa en una curva a una velocidad en específica, por lo que es más crítica al momento de un giro con mayor velocidad (Villafuerte, 2017):

$$G = M_T * \frac{\frac{V}{(3.6)^2}}{R_c} \quad (3)$$

Donde:

G: Carga por giro, [N]

M: Masa total de la carrocería autoportante, [Kg]

V: Velocidad del vehículo, [Km/h]

Rc: Radio de curvatura de carretera, [m]

**Carga de aceleración o frenado brusco (AF):** Se compone por la carga que actúa en el chasis al momento que frena o acelera, por lo que su condición implica ser alta al momento que la aceleración aumenta y se pierde la tracción (Villafuerte, 2017):

$$Ab = -F \quad (4)$$

Donde:

Ab: Carga de aceleración o frenado brusco, [AF]

F: Carga de frenado, [N]

**Carga por resistencia al aire frontal (Raf):** Es ocasionado producto del movimiento del equipo, lo que ocasiona que el aire se oponga generando una fuerza opuesta al movimiento del vehículo (Villafuerte, 2017):

$$R_{af} = \frac{1}{2} (C_x) * \rho * A_f * V^2 \quad (5)$$

Donde:

$R_{af}$ : Carga por resistencia al aire frontal, [N]

$C_x$ : Coeficiente de resistencia al avance, valor adimensional de 0.6 para camión.

Coeficiente de resistencia aerodinámica recomendada por la Norma 1323:2009.

$\rho$ : Representa la densidad del aire en el lugar donde el vehículo presta servicio, [Kg/m<sup>3</sup>]

$V$ : Velocidad de recorrido, [km/h]

$A_f$ : Área proyectada frontal de carrocería, en sección transversal, [m<sup>2</sup>]

Las cargas presentadas evidencia que se deben cumplir valores permisibles establecidos en condiciones reales.

#### 2.2.7. Dinámica en curvas

Al momento que un vehículo pasa en una curva a una velocidad específica, debido al efecto de la fuerza centrífuga se ocasiona un flexionamiento en la parte lateral del chasis, por lo que este fenómeno obedece a la segunda Ley de Newton, donde se menciona que la curva modificada por el ángulo de deslizamiento generado por las ruedas. Por lo tanto, al momento que un vehículo se traslade a una velocidad, se obtiene que la suma de las fuerzas en las llantas en el eje lateral es equivalente a la suma de las masas por la velocidad tangente elevado al exponente 2 y posterior dividido entre el radio de giro, como se muestra a continuación (Carrión, 2020):

$$\sum F_y = F_{yf} + F_{yr} = \frac{M * V^2}{R} \quad (6)$$

Donde:

$F_{yf}$ : Fuerza lateral aplicado a la llanta del eje inicial, [N]

$F_{yr}$ : Fuerza lateral a la llanta del eje posterior, [N]

$M$ : Masa del camión, [Kg]

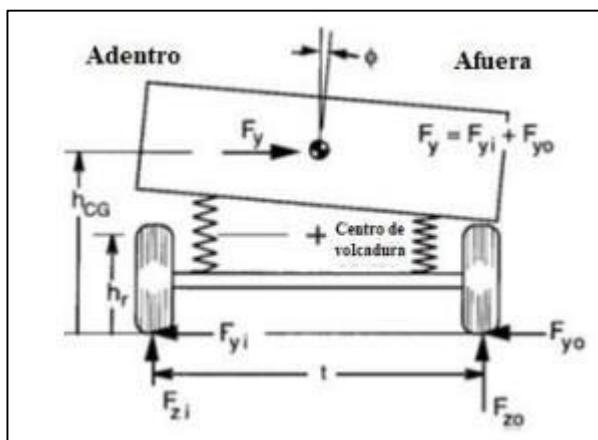
*V*: Velocidad tangente, [m/s]

*R*: Radio de giro, [m]

Por otro lado, en caso la fricción de la rueda exterior resulta ser elevado se presenta un momento llamado de volcadura en el eje longitudinal que es ocasionado por sobregiro o no poseer suficiente agarre al piso (Carrión, 2020).

**Figura 5**

*Momento de volcadura*



*Nota.* El gráfico ha sido tomado de Fundamentals of Vehicle Dynamics. Tomado de (Carrión, 2020).

El momento de volcadura se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K\varphi = 0.5 * K_s * S^2 \quad (7)$$

Donde:

*S*: Separación entre resortes, [m]

*K<sub>s</sub>*: Rígidez vertical en los resortes, [N/m]

*Kφ*: Rígidez de la suspensión, [N.m]

El modelo presentado caracteriza la suspensión, es decir, el centro de volcadura, la cual se define como el punto donde una fuerza lateral se transfiere a una masa suspendida.

Por otro lado, mediante la aplicación de la Ley de Hooke se puede determinar la deformación unitaria de un material con base a su desplazamiento y la longitud real, como se muestra a continuación (Carrión, 2020):

$$\sigma = E * Et \quad (8)$$

$$Et = \frac{\sigma}{E} \quad (9)$$

$$Ec = \frac{\delta}{L} \quad (10)$$

$$Et = Ec \quad (11)$$

Donde:

$Ec$  = Deformación Unitaria Experimental, adimensional

$Et$  = Deformación Unitaria Teórica, adimensional

$E$  = Modulo de Elasticidad, [Pa]

$\delta$  = Deformación, [mm]

$\sigma$  = Esfuerzo de fluencia, [N/mm<sup>2</sup>]

$L$  = Longitud Calibrada, [m]

Así también, es importante determinar la Fuerza Cortante y el Momento Flector considerando las siguientes ecuaciones (Carrión, 2020):

$$T_{\max} = \frac{3V}{2A} \quad (12)$$

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{MC}{I} \quad (13)$$

$$Y_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI} \quad (14)$$

Donde:

$Y_{\max}$ : Deflexión Máxima, [m]

$\sigma_{\max}$ : Esfuerzo de Flexión Máximo, [N/m<sup>2</sup>]

$T_{máx}$ : Esfuerzo de Cortante Máximo, [N/m<sup>2</sup>]

E = Elasticidad, [N/m<sup>2</sup>]

L = Longitud de la Viga, [m]

q = Carga distribuida, [kg/m]

A = Área del Tubo, [m<sup>2</sup>]

M = Momento Flector, [kNm]

V = Fuerza Cortante, [N/m]

I<sub>x</sub> = Inercia, [kg.m<sup>2</sup>]

C = Altura Media del Tubo, [m]

#### 2.2.8. *Punto de gravedad*

El punto de gravedad se refiere a la ubicación específica en la cual se concentra el peso de un cuerpo o sistema. En el caso de camiones, su determinación es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad durante el transporte de cargas pesadas. Una distribución adecuada del peso permite que las fuerzas se distribuyan de manera uniforme entre los ejes delantero y trasero, evitando el desgaste excesivo de componentes mecánicos como neumáticos, suspensiones y dirección, además de cumplir con las regulaciones legales sobre pesos por eje. En sistemas de transporte como cisternas o tolvas, calcular la posición del centro de gravedad optimiza la capacidad de carga sin comprometer la operación segura del vehículo (Chagoyén et al., 2015).

La metodología para determinar el punto de gravedad en un sistema, como un camión con cisterna, involucra principios de equilibrio estático y cálculo de momentos. Por ejemplo, mediante ecuaciones que relacionan las fuerzas actuantes en el sistema y las dimensiones del chasis, se establece la ubicación óptima de la carga. Este procedimiento garantiza que las reacciones en los ejes del vehículo se mantengan dentro de los límites permitidos por las especificaciones técnicas del fabricante. La ubicación adecuada del centro de gravedad también

reduce el riesgo de vuelco y mejora el control del vehículo en curvas o frenados repentinos, factores críticos en operaciones de transporte en condiciones adversas (Chagoyén et al., 2015).

Además, el software especializado en distribución de cargas, como el desarrollado en el estudio presentado, permite una visualización detallada de las variantes de carga y sus efectos sobre las reacciones en cada eje del camión. Este enfoque facilita la planificación y asegura la máxima capacidad de carga útil sin exceder los límites técnicos o legales. En resumen, el cálculo del punto de gravedad no solo optimiza la operación del transporte, sino que también reduce costos de mantenimiento y riesgos operativos, aportando beneficios tanto económicos como de seguridad (Chagoyén et al., 2015).

#### **2.2.9. Características geométricas de los cordones de soldadura**

En la modificación se utilizará soldadura para la unión de los componentes, por lo que se establece las siguientes fórmulas para el momento de inercia en las soldadura (Faicán, 2018):

**Tabla 3**

Ecuaciones para obtener características geométricas en cordones de soldadura

| Diseño de soldadura | Área de garganta de soldadura de empalme (Longitud de soldadura total) |  |
|---------------------|--|--|
|                     | $A = a * 2 * L$  |  |
| □                   | $A = a * 2 * (H * B)$  |  |
| Diseño de soldadura | Momento de inercia de la soldadura                                     | Posición del centro de gravedad de la sección del grupo de soldadura |
|                     | $I = a * \frac{H^3}{6}$  |  |
| □                   | $I = a * \frac{(3 + B + H) * H^2}{6}$                                  |  |
| Diseño de soldadura | Momento polar de inercia de la soldadura (J)                           | Posición del centro de gravedad de la sección del grupo de soldadura |
|                     | $J = a * \left( \frac{H * (3 * B^2 + H^2)}{6} \right)$                 | $\bar{x} = \frac{B}{2}, \bar{y} = \frac{H}{2}$                       |
| □                   | $J = a * \frac{(H + b)^3}{6}$  | $\bar{x} = \frac{B}{2}, \bar{y} = \frac{H}{2}$                       |

*Nota.* Se muestra las fórmulas para obtener las características geométricas en cordones de soldadura. Tomado de Faicán (2018)

La tensión de corte resultante en un punto de análisis de la soldadura es representada por la siguiente ecuación (Faicán, 2018):

$$\tau = \sqrt{T_x M^2 + (T_y \pm T_{ym})^2} \quad (15)$$

Donde:

$\tau$ : Tensión de corte resultante, [N/m<sup>2</sup>]

$T_x$ : Tensión de corte causado en el momento de plegado de X, [N/m<sup>2</sup>]

$M^2$ : Momento o distancia, [m<sup>2</sup>]

$T_y$ : Tensión de corte resultante en Y, [N/m<sup>2</sup>]

$T_{ym}$ : Tensión de corte causado en el momento de plegado de Y, [N/m<sup>2</sup>]

#### 2.2.10. Factor de seguridad

En el análisis por elementos finitos, el factor de seguridad es una medida utilizada para determinar si una estructura o componente puede soportar cargas y condiciones de carga específicas sin fallar. Es la relación entre la carga máxima que puede soportar una estructura antes de fallar y la carga real aplicada en la simulación (Órbita Ingeniería S.L., 2023).

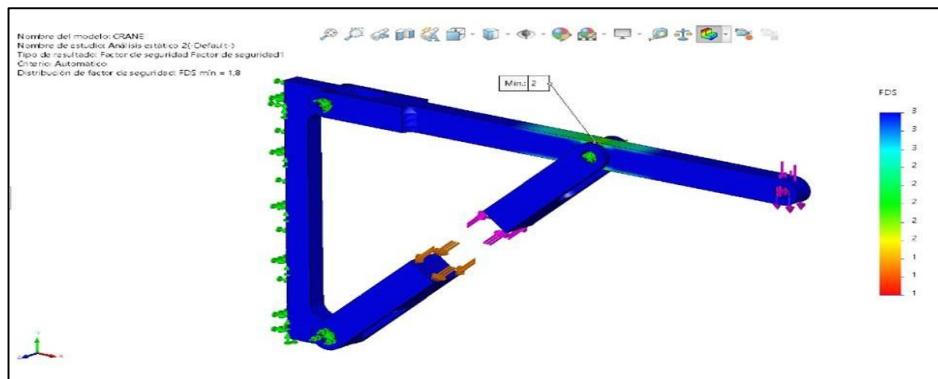
En un análisis de elementos finitos se simula el comportamiento de una estructura o componente en condiciones de carga, restricciones y propiedades de los materiales específicas. El resultado es una evaluación de las tensiones, deformaciones y otros comportamientos pertinentes (Órbita Ingeniería S.L., 2023).

El factor de seguridad se determina dividiendo la carga máxima que puede soportar la estructura antes de fallar por la carga aplicada durante la simulación. Si el factor de seguridad es mayor que 1, la estructura puede soportar la carga sin fallar. Si es igual a 1, la estructura ha alcanzado su límite de capacidad, y si es inferior a 1, la estructura puede fallar en las condiciones de carga especificadas. Un factor de seguridad suficiente garantiza que un componente o sistema tenga una larga vida útil y sea seguro de usar. Para garantizar la seguridad y eficacia de

aparatos, estructuras y sistemas en general, es vital en el diseño mecánico tener en cuenta el factor de seguridad. Cabe señalar que el factor de seguridad adecuado se determina conociendo las características del diseño (material) y posicionamiento (Órbita Ingeniería S.L., 2023).

**Figura 6**

Factor de seguridad



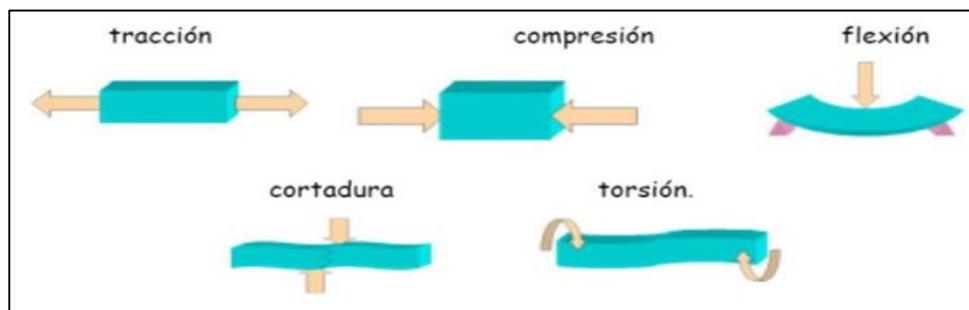
Nota. Simulación por elementos finitos. Obtenido de SolidWorks.

### 2.2.11. Esfuerzos y Deformaciones

Una deformación es la alteración en la forma de un material debido a la aplicación de una fuerza externa. Los esfuerzos, por su parte, representan las respuestas de un cuerpo frente a una fuerza aplicada. Estos esfuerzos se dividen en categorías tales como tracción, compresión, flexión, cizallamiento y torsión.

**Figura 7**

Clase de esfuerzos



Nota. Esfuerzos mecánicos en los materiales. Tomado de Mecánica de Materiales, Hibeler (2014)

Punto de fluencia: es aquel punto límite de donde el material pase de la zona elástica a la zona plástica

Esfuerzo de rotura: es el esfuerzo generado en un material durante la rotura

Límite de elasticidad: es el límite en el cual el material no recupera su forma original

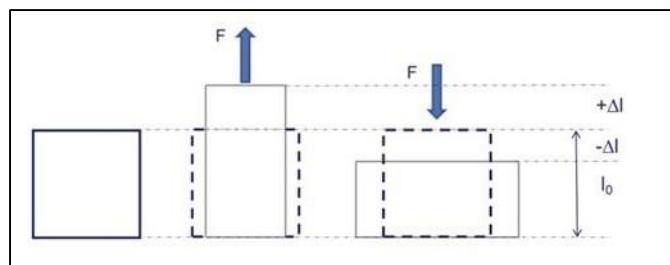
Esfuerzo máximo: es el punto máximo en la curva esfuerzo-deformación.

Es uno de los principales apoyos para el momento de aplicar una análisis por elementos finitos (FEA).

En la figura 8 se identifica las deformaciones mecánicas, teniendo en consideración los distintos puntos hacia un cuerpo determinado, como se muestra en la figura 8:

**Figura 8**

Deformaciones mecánicas



Nota. Cambio de sección debido a una fuerza externa. Tomado de HBK Company. (2020)

El esfuerzo es obtenido teniendo en consideración la carga aplicada en un área determinada que tiene una sección en metros cuadrados, como se muestra en la ecuación 16.

$$\epsilon = \frac{P}{A_0} \quad (16)$$

Donde:

$\epsilon$ : Esfuerzo, [Pa]

$P$ : carga, [N]

$A_0$ : Área de sección transversal inicial, [ $m^2$ ]

### **2.2.12. Diagrama esfuerzo – deformación**

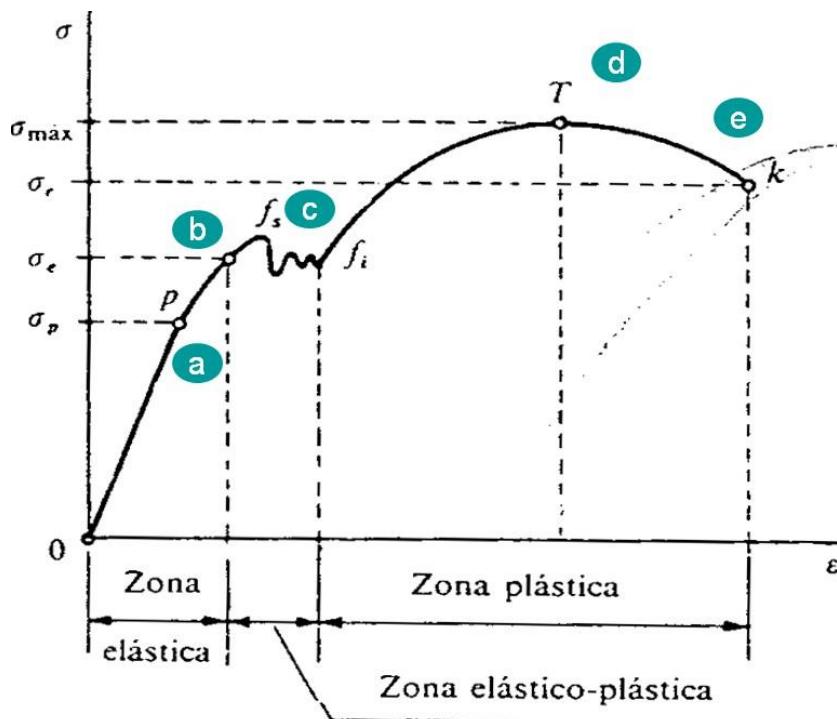
El esfuerzo es la medida de la magnitud de las fuerzas internas generadas en un material por una carga externa. La tensión se mide en unidades de presión, como el pascal (Pa) o el megapascal (MPa), y se representa como fuerza por unidad de superficie. La deformación es el cambio de forma o dimensión que experimenta un material cuando se somete a tensión. La deformación se mide en unidades adimensionales, como el porcentaje (%) o el radián (rad), y se expresa como el cambio relativo de longitud o ángulo. La relación entre tensión y deformación depende del material y de la carga aplicada. Existen varias formas de esfuerzos, como la tracción, la compresión, la flexión, la torsión y el cizallamiento, que dan lugar a diversas deformaciones, como el alargamiento, la contracción, la flexión, la torsión y el deslizamiento (Villarin, 2023).

Dependiendo de sus propiedades mecánicas, los materiales pueden reaccionar de forma diferente a la tensión y la deformación. Algunos materiales son más duraderos que otros, lo que significa que pueden soportar mayores tensiones sin fracturarse. Algunos materiales son más dúctiles que otros, lo que significa que pueden sufrir mayores deformaciones antes de fracturarse. Algunos materiales son más elásticos que otros, lo que significa que cuando se elimina la tensión, vuelven a su forma original (Villarin, 2023).

El diagrama esfuerzo-deformación constituye una excelente representación gráfica del comportamiento de un material bajo la influencia de una fuerza deformadora.

**Figura 9**

Diagrama esfuerzo - deformación



Nota. Diagrama esfuerzo-deformación. Tomado de Unitaria (2011)

### 2.2.13. Criterios para evaluación del diseño

El esquema de evaluación del diseño se basa en la asignación de un puntaje cualitativo-quantitativo (P), de 0 a 4, según la escala propuesta por la norma VDI 2225, donde 0 corresponde a un desempeño insuficiente, 1 apenas aceptable, 2 suficiente, 3 bueno y 4 muy bueno; y en la asignación de un peso ponderado (G), de 1 a 5, que refleja la importancia relativa de cada criterio dentro del conjunto de exigencias del diseño. A partir de estos valores, el valor técnico no ponderado ( $X_i$ ) se determina mediante la ecuación:

#### Criterios para evaluación del diseño:

P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)

0 (Insuficiente) / 1 Apenas aceptable / 2 Suficiente / 3 Buena / 4 Muy Buena

G: Peso ponderado según importancia de los criterios (de 1 a 5)

**El valor técnico ( $X_i$ ) se obtuvo mediante la siguiente formula:**

$$X_i = \frac{p1 + p2 + p3 + \dots + pn}{n * pmax} = \frac{\frac{p1 + p2 + p3 + \dots + pn}{n}}{pmax} = \frac{\bar{p}}{pmax} \leq 1 \quad (17)$$

$$Xi = \frac{g1 * p1 + g2 * p2 + g3 * p3 + \dots + gn * pn}{(g1 + g2 + \dots + gn) * pmax} \leq 1 \quad (18)$$

#### 2.2.14. Von Mises

El criterio de Von Mises, o esfuerzo equivalente de Von Mises, es un modelo de falla utilizado principalmente para materiales dúctiles que permite evaluar si un estado complejo de esfuerzos producirá fluencia o cedencia en un componente. Conceptualmente, transforma el conjunto de esfuerzos normales y cortantes que actúan en un punto en un único esfuerzo escalar equivalente, de manera que este pueda compararse directamente con el límite de fluencia del material obtenido en un ensayo uniaxial.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_x^2} \quad (19)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal en X, [Pa]

$\sigma_y$  = Esfuerzo normal en Y, [Pa]

$\tau_x$  = Esfuerzo cortante en XY, [Pa]

Para hallar el esfuerzo normal en X:

Para hallar el esfuerzo normal en X:

$$\sigma_x = \frac{P}{A_{efectiva}} \quad (20)$$

El factor de seguridad empleado en el análisis y diseño de componentes mecánicos y estructurales. Desde un enfoque ingenieril, este factor representa la relación entre la capacidad resistente del material (por ejemplo, límite de fluencia o límite último) y la tensión real que actúa sobre el elemento en servicio. En términos prácticos, un FS>1 indica que la resistencia

disponible supera a la tensión aplicada, proporcionando un margen de seguridad frente a incertidumbres.

$$FS = \frac{\text{Resistencia del material}}{\text{Tensión aplicada}} \quad (21)$$

### **2.2.15. Tensión cortante**

La expresión tensión cortante define la tensión cortante promedio, entendida como la fuerza cortante  $V$  distribuida sobre el área transversal  $A$  sobre la cual actúa.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (22)$$

Donde:

$\tau$  = Tensión cortante. Pascales, [Pa]

$V$  = Fuerza cortante. Newtons, [N]

$A$  = Área transversal. Metros cuadrados, [ $m^2$ ]

$$\sigma_{real} = K_t \times \sigma_{nominal} \quad (23)$$

Donde:

$K_t$  = Factor de concentración de tensiones, adimensional

$\sigma_{nominal}$  = Tensión cortante, [Pa]

### **2.3. Definición de términos:**

**Norma:** comprenden los prototipos, lineamientos y modelos que incorporan los parámetros fijados por el titular de la actividad minera y los requisitos mínimos aceptables en términos de medición, cantidad, calidad, valor, peso y extensión, delineados por medio de investigaciones experimentales, análisis, leyes actuales y/o avances tecnológicos. Con estos parámetros, es viable efectuar comparaciones de las labores, ejecución y comportamiento industrial.

**Transporte:** desplazamiento de sustancias hacia un punto específico.

Costo de operación o producción minera: refleja la suma que el contratista desembolsa en salarios del personal y en todos los otros gastos conectados con el progreso de la operación.

**Costo horario de operación:** El costo por hora, por máquina, se deriva del empleo preciso de las máquinas idóneas y necesarias para efectuar las tareas designadas

**Rendimiento:** utilidad obtenida de una inversión en un intervalo dado, abarcando intereses, dividendos y fluctuaciones de valor.

**Chimenea:** apertura vertical o inclinada fabricada mediante técnicas convencionales o mecanizadas.

**Dilución:** fragmentos de roca de calidad inferior, ineludiblemente extraídos junto al material en el proceso minero, lo que disminuye la calidad del mineral extraído. Se refiere al porcentaje de material estéril o de baja calidad que se mezcla con el mineral obtenido por el método de explotación aplicado y operaciones correlativas. (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2016)

**Masa rocosa:** conglomerado de bloques de matriz rocosa y discontinuidades.

**Matriz rocosa:** sustancia rocosa sin discontinuidades ni bloques de roca intacta.

### III. METODOLOGÍA

#### **3.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que este enfoque se caracteriza por el análisis y la recolección de datos con el propósito de contestar interrogantes de investigación mediante el uso de escalas numéricas para medir las variables. En este contexto, se obtendrán resultados numéricos para cada objetivo específico, lo que permitirá medir la optimización estructural y geométrico de la tolva en el camión minero 785C.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño es pre experimental. Según Fresno (2019) son estudios que buscan la manipulación de una variable independiente o interviniente a fin de influenciar un cambio positivo o negativo de una variable dependiente, esto con el fin de generar una situación antes del tratamiento y otra posterior considerando la misma muestra. Según lo expuesto, la investigación busca medir el acarreo de mineral sólido antes del rediseño de la tolva y posterior a la mejora implementada a fin de comparar los resultados obtenidos.

El esquema de investigación es:

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Donde:

- $O_1$ : Pre – test. (Capacidad de carga original)
- X: Aplicación de experimento. (Aligeramiento de tolva)
- $O_2$ : Post – test. (Capacidad de carga ampliada)

El nivel de la investigación es explicativo. Según Ñaupas et al. (2018), son estudios que tienen como finalidad explicar una causa-efecto de un fenómeno o problema en específico que se vienen presentando en una organización o zona determinada, para lo cual se enfoca los esfuerzos en su respectivo análisis y solución de mejora. Bajo lo expuesto, se identifica la

oportunidad del mejoramiento de la tolva de un equipo minero a fin de mejorar el ciclo de acarreo.

### **3.3. Método de la investigación**

El método de la investigación es estadístico, según Ñaupas et al. (2018), consistirá en una secuencia de procedimientos que tiene como objetivo el procesamiento de información obtenida mediante el uso de instrumentos de la muestra del estudio. En ese sentido, se busca identificar el nivel de mejora en el ciclo de carguío para luego ser analizado mediante un procesamiento estadístico.

### **3.4. Tipo de estudio**

El presente estudio es de tipo aplicado, pues Ñaupas et al. (2018), sostuvo que, son estudios que se basan en deducciones de conocimientos teóricos o investigaciones básicas con la finalidad de resolver un problema de índole social, como, por ejemplo, minería ilegal, legislación laboral, riesgo laboral, retraso operativo, malas prácticas operacionales, entre otros. En ese sentido, se buscará una optimización estructural y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar mediante el uso de conocimientos existentes.

### **3.5. Procedimiento**

Se presenta los siguientes procedimientos para el cumplimiento de los objetivos específicos.

#### **a. Análisis Preliminar y Diseño Conceptual:**

- Realizar un análisis exhaustivo de la estructura y geometría actual de la tolva.
- Identificar áreas de mejora en términos de capacidad, flujo de material y resistencia estructural.
- Generar un diseño conceptual que integre las modificaciones propuestas.

**b. Modelado en Software de Simulación:**

- Utilizar software de simulación FEA para modelar la tolva con el diseño conceptual.
- Realizar análisis estáticos y dinámicos para evaluar la respuesta bajo diferentes condiciones de carga y operación.
- Medir la deformación, tensiones y vibraciones para validar el rendimiento estructural.

**c. Pruebas:**

- Fabricar un prototipo de la tolva con las modificaciones propuestas.
- Someter a pruebas de carga estática y dinámica en condiciones operativas.

**d. Simulación de Flujo de Material:**

- Utilizar simulaciones CFD para analizar el flujo de material dentro de la tolva durante la carga y descarga.
- Identificar zonas de acumulación y posibles problemas de flujo que podrían afectar el acarreo de mineral sólido.

**e. Implementación en Camión Minero 785C:**

- Llevar a cabo las modificaciones propuestas en una tolva real del camión minero 785C.
- Instalar sensores de carga, vibración y deformación en la tolva para el monitoreo en tiempo real.

**f. Pruebas de Campo y Monitoreo en Operación:**

- Poner en operación el camión minero con la tolva modificada en condiciones reales de carga y transporte.
- Monitorear en tiempo real el comportamiento de la tolva utilizando los sensores instalados.
- Registrar datos sobre carga, vibración, deformación y datos de operatividad.

### **3.6. Recopilación y Análisis de Datos:**

- Recolectar y analizar los datos recopilados durante las pruebas de campo y monitoreo.
- Evaluar la capacidad de carga, reducción de tiempos de carga y descarga, y mejoras en el flujo de material.

#### **g. Comparación con Resultados Anteriores:**

- Comparar los datos y resultados obtenidos con los registros anteriores de operación del camión sin las modificaciones.

#### **h. Análisis de Costo-Beneficio:**

- Realizar un análisis de costo-beneficio, ya que antes de la modificación tiene un costo y después de la modificación posee otro costo, esto se debe sustentar con indicadores económico.

### **3.7. Población**

La población según Ñaupas et al. (2018) es definida como el conjunto productos, información, procesos, actividades, maquinarias, entre otros que tienen en común un rasgo característico que lo asocian como unidad de estudio. Por lo expuesto, la población del presente trabajo la conformará 20 camiones 785C Caterpillar de los equipos de acarreo de la unidad minera en estudio.

### **3.8. Muestra**

La muestra es definida como una parte representativa de la población que aún mantiene los rasgos característicos, es decir, se mantiene como parte de la población (Hernández & Mendoza, 2018). Por lo expuesto, al ser una muestra medible y se cuenta con limitaciones para trabajar con la totalidad de la población, se considerará trabajar con una muestra de un camión 785C Caterpillar.

### 3.9. Operacionalización de variables de estudio

Se presenta la operacionalización de las variables:

**Tabla 4**

#### Operacionalización de variables

| Variable                       | Definición conceptual  | Definición operacional   | Dimensión   | Indicadores  | Escala |
|--------------------------------|--|--|---|--|--------|
| <b>Variable independiente:</b> | Es el proceso de diseñar y ajustar la forma, tamaño y estructura de una tolva para maximizar su eficiencia y rendimiento. Esto implica mejorar su capacidad de carga (Mamani, 2017).                                 | Se medirá mediante el diseño de tolva estructura y geométrica de tolva realizo a los camiones mineros 785C de Caterpillar.       | Diseño de tolva estructural y geométrico de tolva | Estructura y geometría de tolva<br>Optimización de Espacio<br>Anchura de la tolva (m)<br>Factor de seguridad | Razón  |
| <b>Variable dependiente:</b>   | Es el proceso de transporte o traslado de materiales minerales desde el lugar donde han sido extraídos, ya sea en una mina subterránea o a cielo abierto, hasta una planta de procesamiento (Ortiz y Canchari, 2017) | Mediante el nivel de producción, indicadores de carguío y costo de carguío se realiza la medición del acarreo de mineral sólido. | Nivel de producción<br>Indicadores de carguío     | % incremento de producción por equipó %<br>Disponibilidad mecánica<br>Consumo de combustible (Gal/Hr)        | Razón  |
| Acarreo de mineral sólido      |  |  | Costo de carguío                                  | Costo de operación   | Razón  |

*Nota. En la tabla se visualiza la operacionalización de las variables en estudio*

### 3.10. Procesamiento de información

Las siguientes técnicas e instrumentos se emplean para llevar a cabo la optimización estructural y geométrica de la tolva en el camión minero 785C de Caterpillar, con el fin de mejorar el transporte de mineral sólido:

- **Simulación por Elementos Finitos (FEA):** La simulación FEA se usa para modelar y analizar el comportamiento estructural de la tolva bajo diferentes condiciones de carga y estrés. Esto permite identificar puntos de tensión, deformaciones y áreas críticas en la estructura, lo que guía los ajustes de diseño necesarios.

- **Optimización Topológica:** Utilizando software avanzado de diseño, se aplican algoritmos de optimización topológica para determinar la configuración geométrica óptima de la tolva. Esto implica redistribuir material en la estructura para minimizar el peso mientras se mantiene la integridad estructural.
- **Análisis de Elementos Finitos Dinámicos:** Para evaluar la respuesta dinámica de la tolva durante la operación, se realizan análisis FEA dinámicos. Esto ayuda a entender cómo las vibraciones y las cargas cambiantes afectan la durabilidad y el rendimiento de la tolva.
- **Modelado 3D y Diseño Asistido por Computadora (CAD):** Se utilizan herramientas de modelado 3D y software CAD para diseñar y visualizar diferentes configuraciones geométricas de la tolva. Esto permitirá a los ingenieros explorar varias opciones de diseño antes de tomar decisiones.
- **Pruebas de Carga Real:** Se somete la tolva a pruebas de carga real utilizando cargas simuladas de mineral sólido. Esto permitirá verificar en la práctica cómo responde la estructura y si cumple con los requisitos de carga y seguridad.
- **Ánálisis de Costo-Beneficio:** Además de la optimización estructural y geométrica, se realiza un análisis de costo-beneficio para evaluar los beneficios en términos de reducción de peso, aumento de la capacidad de carga y mejora operativa, en relación con los costos de diseño e implementación, esto quiere decir que se compara la capacidad de carga del equipo minero antes y después de la mejora.
- **Mejora de la tolva de un camión minero 785C:** Posterior a la viabilidad de la solución, se procede a modificar una tolva de un camión minero 785C para demostrar la mejora antes de la modificación.

## IV. RESULTADOS

### **4.1. Análisis de la estructura y geometría actual de la tolva en camiones mineros 785C**

#### **Caterpillar para el acarreo de mineral sólido.**

##### **4.1.1. Zona de estudio:**

La investigación se desarrolló en la Unidad Minera Shougang Hierro Perú, ubicada en el distrito de San Juan de Marcona, provincia de Nazca, en el departamento de Ica, Perú. Esta mina es la principal productora de mineral de hierro en el país, y cuenta con un área de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>. En la mina se realiza la explotación de mineral de hierro mediante un proceso de extracción en tajo abierto, que posteriormente es transportado a las plantas de procesamiento. El proceso en esta unidad minera implica el uso de camiones mineros de gran capacidad, como el Caterpillar 785C, para el transporte del mineral extraído hacia las chancadoras, y luego el mineral es enviado a otras plantas mediante una faja transportadora.

##### **4.1.2. Tipo de Material que Carga:**

El camión minero 785C Caterpillar está diseñado para el acarreo de mineral sólido, en este caso, mineral de hierro. El mineral extraído de la mina es transportado en la tolva del camión, que tiene una capacidad de carga de entre 131 y 141 toneladas métricas.

##### **4.1.3. Definimos al Vehículo: Caterpillar 785C**

Es un camión minero de gran capacidad, utilizado específicamente para el transporte de minerales en operaciones a cielo abierto. Está diseñado para soportar cargas pesadas y trabajar en entornos exigentes como las minas. Este vehículo es ampliamente utilizado en la industria minera, especialmente en el transporte de grandes volúmenes de material extraído, como es el caso del mineral de hierro en la Unidad Minera Shougang Hierro Perú.

##### **4.1.4. Presentamos la Ficha Técnica:**

Proporciona información detallada sobre sus características técnicas, capacidades y dimensiones, fundamental para la toma de decisiones informadas en entornos industriales y mineros. Incluye datos como peso, capacidad de carga, dimensiones, potencia del motor y otros detalles clave para definir su rendimiento en operaciones mineras, determinar su eficiencia en el acarreo de materiales y garantizar su correcto mantenimiento, operación y optimización en el campo minero.

**Tabla 5**

Ficha técnica de un camión minero 785C

| Descripción                                | Toneladas |
|--|-----------|
| Asignación de suciedad                     | 2.97      |
| Neumáticos y aro                           | 16.81     |
| Peso del chasis vacío                      | 55.42     |
| Peso del chasis                            | 75.2      |
| Pesos iniciales en la tolva                |           |
| Peso de la tolva piso doble declive        | 37.23     |
| Cambio de formato a laterales (Pt de 1/2°) | 0         |
| Ducto de gases centrales                   | 0         |
| Cola de pato                               | 0.32      |
| Deflectores laterales                      | 0.03      |
| Instalación del UP grade                   | 0         |
| Cambio de formato de piso (Pt de 16 mm)    | 0         |
| Deflectores delantero                      | 0         |
| Pesos iniciales de tolva                   | 37.58     |
| Otros pesos iniciales                      |           |
| Tanque de combustible de 550 Gal           | 0.56      |
| 550 galones de petróleo                    | 1.67      |
| Soporte de espejo retrovisor LH            | 0         |
| Escalera transversal (No existe)           | 0         |
| Peso total seco                            | 2.23      |
| Peso total seco                            | 115.01    |
| GVW Caterpillar 785C                       | 249.48    |
| Carga útil ideal                           | 134.47    |

*Nota.* Se muestra los distintos pesos en toneladas que representan al camión 785 C.

La tabla 5 muestra los distintos pesos que conforman al camión minero 785 C, en donde se identifica que cuenta con una carga útil ideal de 134.47 toneladas, por lo que es importante realizar mejoras mediante el rediseño de la tolva con el propósito de aumentar la carga mediante un aligeramiento en la tolva. A continuación, se describe la información relevante:

- a) **Peso Total Seco:** Se indica un peso total seco de 115.01 toneladas. Este valor representa la suma de los diferentes pesos descritos previamente en la tabla, que incluyen el chasis, la tolva, y otros componentes adicionales.
- b) **GVW - Caterpillar 785C:** El peso bruto vehicular (GVW) se muestra como 249.48 toneladas. Este es el peso máximo que puede soportar el equipo incluyendo su carga, combustible y demás accesorios.
- c) **Carga Útil Ideal:** La carga útil ideal calculada es de 134.47 toneladas, que es la diferencia entre el GVW y el peso total seco. Es decir, este valor representa el peso máximo de la carga que puede transportar el vehículo de manera óptima sin exceder su capacidad.

#### **4.1.5. *El volumen de la tolva:***

Se considera como base la tabla número 9 y también se sabe que la tolva tiene forma de prima trapezoidal La capacidad volumétrica especificada en la ficha técnica del Caterpillar 785C es de 78 m<sup>3</sup>. Esto se refiere al volumen máximo de material que la tolva del camión puede contener de manera efectiva bajo condiciones normales de operación. A continuación, se detalla información sobre la tolva:

**Tolva:** Está diseñada para transportar grandes cantidades de material, en este caso, mineral sólido (hierro en la mina Shougang). La capacidad volumétrica indica el espacio disponible dentro de la tolva para el material, que puede variar dependiendo de la naturaleza del material y su densidad.

**Diseño y optimización:** El volumen geométrico calculado con la fórmula trapezoidal puede ser mayor, la capacidad efectiva de 78 m<sup>3</sup> tiene en cuenta las características estructurales del diseño de la tolva. Esto incluye:

Paredes inclinadas que optimizan el centrado de la carga y minimizan pérdidas de material durante el transporte.

Ángulos de inclinación y sistemas de descarga que aseguran un vaciado eficiente y rápido del material, evitando la acumulación de residuos en la tolva.

Seguridad y estabilidad del camión bajo condiciones de operación minera, evitando sobrecargas que puedan afectar el rendimiento del vehículo o comprometer su durabilidad.

Uso práctico: en condiciones operativas, no siempre se llena al máximo el volumen físico disponible, debido a la distribución de la carga y la naturaleza del material. En este caso, se reduce el peso de la tolva de 37.58 toneladas a 21.61 toneladas con el aligeramiento con el propósito de movilizar mayor mineral sólido, balanceando carga útil, eficiencia y seguridad en la operación.

#### ***4.1.6. Análisis de ventajas y desventajas de su forma geométrica:***

El análisis de la forma geométrica de la tolva del Caterpillar 785C revela importantes ventajas y desventajas, especialmente considerando su uso en el transporte de mineral sólido en operaciones mineras.

##### **A. Ventajas:**

Optimización del espacio útil: La tolva trapezoidal permite una mejor distribución de la carga, con una base mayor en la parte superior y una base menor en la parte inferior, lo que facilita el acomodo del material. Esto optimiza el uso del espacio y mejora la capacidad de carga efectiva.

Centro de gravedad bajo: La forma trapezoidal ayuda a mantener el centro de gravedad bajo al concentrar la masa del material hacia la parte inferior. Esto mejora la estabilidad del camión durante el transporte, especialmente en terrenos irregulares, reduciendo el riesgo de vuelco.

Eficiencia en la descarga: El diseño con un ángulo de inclinación de 52 grados facilita la rápida descarga del material. Las paredes inclinadas permiten que el material fluya hacia

abajo con facilidad, reduciendo el tiempo de vaciado y la posibilidad de que queden residuos pegados en la tolva.

**Menos pérdida de material:** La forma inclinada reduce el riesgo de que el material se derrame durante el trayecto, lo que es crucial cuando se transportan grandes volúmenes de mineral. Las paredes más altas y el diseño trapezoidal protegen mejor el contenido durante el transporte en condiciones adversas.

#### **B. Desventajas:**

**Reducción del volumen útil total:** Aunque la forma trapezoidal mejora la distribución de la carga, también implica que no se utiliza el volumen total geométrico de manera eficiente. La base inferior más estrecha limita la cantidad de material que puede ser cargada en comparación con un diseño completamente rectangular.

**Complejidad estructural:** El diseño trapezoidal, con sus inclinaciones y pendientes, puede requerir mayor esfuerzo de construcción y mantenimiento, lo que puede incrementar los costos. Los puntos de soldadura y las zonas de estrés pueden ser más susceptibles a desgaste debido a las tensiones concentradas en ciertas áreas.

**Dificultades en el llenado completo:** La carga uniforme en una tolva trapezoidal puede ser difícil de conseguir. Dependiendo de cómo se descargue el material en la tolva, podrían generarse huecos o vacíos, especialmente si el material es de baja fluidez, lo que resulta en un uso menos eficiente del volumen total.

**Mayor complejidad en simulaciones y optimización:** El diseño trapezoidal puede requerir análisis más avanzados mediante simulaciones de elementos finitos (FEA) para asegurar que la estructura soporte las cargas, ya que las fuerzas no se distribuyen de manera uniforme. Esto añade complejidad al diseño y a la ingeniería del vehículo.

#### **C. Geometría de la tolva:**

La tolva original posee una capacidad de carga de 78 m<sup>3</sup> y dimensiones que se pueden apreciar en el anexo 3, mientras que la tolva con aligeramiento posee una capacidad de carga de 85.5 m<sup>3</sup> con nuevas dimensiones posterior al aligeramiento como se observa en el anexo 4.

**Figura 10**

Tolva de camión minero 785C - Caterpillar



*Nota.* Cambio de sección.

Se muestra en la figura 10 la tolva 8 del camión minero, siendo levantada por una grúa con el propósito de ser aligerada, por lo que la tolva se coloca en un espacio donde se pueda realizar las operaciones sin dificultad alguna.

#### 4.1.7. *Estructura de la tolva:*

##### A. Carga muerta (M)

La carga muerta se obtiene a partir de la masa bruta del vehículo (GVW) que resulta ser de 249.48 toneladas, lo que representa la capacidad máxima que puede soportar el equipo, sumando la carga, el combustible y otros accesorios (ver ecuación 1).

$$M = 249.48 \text{ tn} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2447.3988 \text{ N} \quad (24)$$

## B. Carga viva (V)

Para obtener la masa del material se procede a multiplicar el volumen de la tolva y la densidad de la materia. Para la densidad del hierro estéril  $1.93 \text{ Tn/m}^3$  según el Sistema Nacional de Trazabilidad. Obtenido de Mecánica de fluidos, por lo que para determinar la masa de una sustancia. Tanto sólidos como líquidos mantienen una densidad constante, independiente de la temperatura y presión, debido a variaciones mínimas.

$$m = 1.93 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} * 78 \text{ m}^3 = 150.54 \text{ tn} \quad (25)$$

Esta cantidad es el peso máximo del mineral que la tolva podría contener, pero la capacidad de carga efectiva del camión es de 150.54 toneladas, lo que indica que no se llena al 100% su volumen (ver ecuación 3). Para hallar carga muerta es:

$$M = 150.54 \text{ tn} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 1476.79 \text{ N} \quad (26)$$

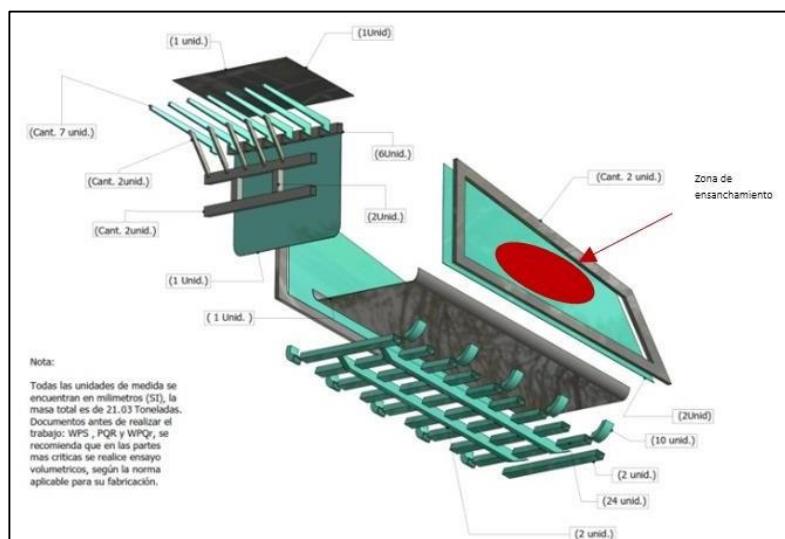
### 4.2. Diseño de la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C

**Caterpillar aplicando métodos de diseño mecánico.**

#### 4.2.1. Selección de alternativa óptima

**Figura 11**

Modelo 1



*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido* de Inventor.

En la figura 11 se puede observar que no existe costillas verticales en los laterales, si no un marco que lo acompaña. Modelo enmarcado, basado en colocar un marco metálico en perfil en U alrededor de todo el marco lateral con plancha de 3/8" y cartelas en el interior del perfil con planchas de 1/4".

- **Ventajas:**

Fácil instalación, debido a la sencillas de del modelo la instalación no resultaba complicada.

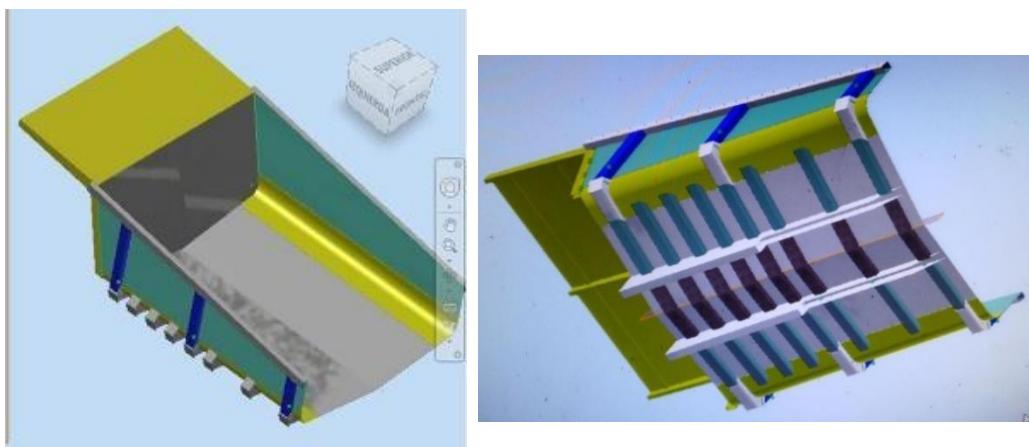
Peso: aproximadamente un peso de 20.5 tn, apta para el aligeramiento.

- **Desventajas:**

Factor de seguridad, no cumplía con los estándares de seguridad debidos, en la simulación presentaba inconvenientes en los laterales, para ser específicos en la parte interna del marco (color rojo), y como consecuencia se ensanchaba

**Figura 12**

Modelo 02



*Nota. Tolva aligerada. Obtenido de Inventor.*

En la figura 12, con costillas verticales, para este modelo se eliminó parte de los del marco, tanto laterales como inferior, dejando solo el travesaño superior. Para el primer modelo, en las caras laterales se añadieron 3 verticales, con planchas de 3/8" y con cartelas de 1/4"

teniendo la misma separación para cada uno de los verticales. Y se extrajeron 2 canales inferiores en la zona del triángulo de descarga (línea naranja)

- **Ventajas:**

Una mejor rigidez en los laterales, se mantuvo el peso de la tolva

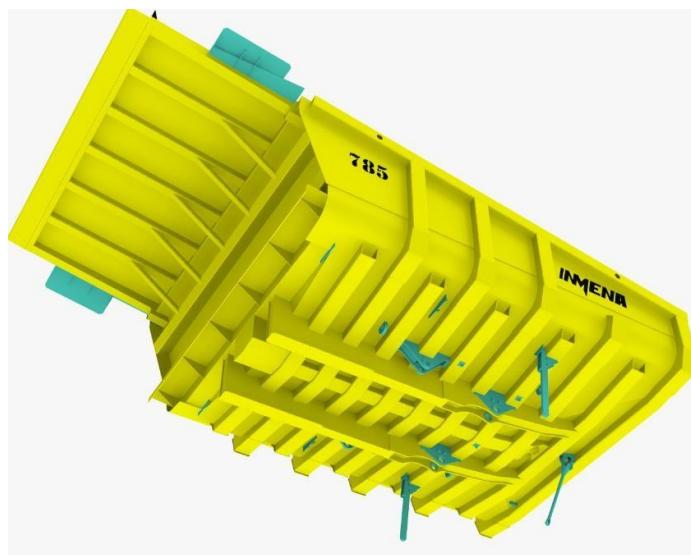
- **Desventajas:**

al someterla a simulación con cargas, arrojaba un factor de seguridad no adecuado, debido la extracción de las 2 canaletas inferiores (Línea negra punteada) y sobre todo ensanchamiento en la cara lateral, entre los postes 1 y 2 (color rojo)

luego se agregó los 2 canales inferiores faltantes, pero aún seguía presentando el problema en los laterales.

**Figura 13**

Modelo 03



*Nota.* Tolva aligerada. Obtenido de Inventor.

En la figura 13 se muestra el modelo 3 en el aligeramiento de la tolva, en donde se muestra un aumento en los refuerzos de la base con el propósito de que garanticen la resistencia a las cargas sin deformarse. La totalidad que cuenta es de 10 costillas y de costillas verticales que garantizan una mejor distribución de la carga, siendo que la distribución permitirá fortalecer

la estructura de la tolva, lo que resulta en una mayor resistencia al impacto y al desgaste durante el acarreo de mineral sólido. Además, la adición de costillas verticales ayuda a mantener la forma de la tolva bajo carga, reduciendo la deformación y optimizando el espacio interno para una capacidad de carga más eficiente.

- **Ventajas:**

Rigidez uniforme en las laterales debido a que posee en total 10 costillas que permiten una mejor distribución del peso ejercida en la tolva.

- **Desventajas:**

El uso de refuerzo de perfiles verticales con el propósito de mejorar la resistencia de contención, por lo tanto, se debe someter a un análisis de simulación a fin de evaluar el esfuerzo en los laterales.

### Evaluación de las alternativas

Posterior a la revisión de las características técnicas de la tolva del camión minero 785C se procede a cuantificar la solución óptima, siendo utilizado en el presente caso la norma VDI 2225 para establecer bajo criterios la alternativa más adecuada para el problema en estudio (ver ecuación 17 y 18).

**Tabla 6**

Criterios técnico de los tres modelos

| Ítems              | Variantes de Concepto | Modelo 1 |    | Modelo 2 |      | Modelo 3 |    |
|--------------------|-----------------------|----------|----|----------|------|----------|----|
|                    |                       | g        | p  | g*p      | p    | g*p      | p  |
| 1                  | Almacenamiento        | 1        | 1  | 1        | 2    | 2        | 1  |
| 2                  | Material              | 1        | 1  | 1        | 1    | 1        | 1  |
| 3                  | Angulo de descarga    | 2        | 1  | 2        | 1    | 2        | 2  |
| 4                  | Tipo de descarga      | 1        | 1  | 1        | 1    | 1        | 3  |
| 5                  | Instalación           | 2        | 1  | 2        | 1    | 2        | 1  |
| 6                  | Diseño                | 2        | 2  | 4        | 1    | 2        | 2  |
| 7                  | Fabricación           | 2        | 3  | 6        | 1    | 2        | 1  |
| 8                  | Costo                 | 2        | 1  | 2        | 1    | 2        | 8  |
| 9                  | Tiempo de vida        | 2        | 2  | 4        | 1    | 2        | 3  |
| 10                 | Instalación           | 2        | 2  | 4        | 1    | 2        | 3  |
| 11                 | Confiabilidad         | 2        | 2  | 4        | 1    | 2        | 3  |
| Sumatoria          |                       | 19       | 17 | 31       | 12   | 20       | 43 |
| Valor Técnico (Wt) |                       |          |    | 0.94     | 0.91 | 0.98     |    |

*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 6, desglose en "Almacenamiento", "Material", "Ángulo de descarga", "Tipo de descarga", "Instalación", "Diseño", "Fabricación", "Costo", "Tiempo de vida" y "Confiabilidad" "y tiene g: El peso asignado a cada criterio, p: El puntaje asignado a cada modelo para el criterio dado y  $g*p$ : El producto del peso y el puntaje, utilizado para calcular un puntaje ponderado para cada criterio por modelo. La fila "Valor Técnico (Wt)" refleja el valor técnico, que se calcula en función de los puntajes ponderados. En esta comparación, Modelo 3 tiene el puntaje ponderado y el valor técnico más altos, lo que lo convierte en el de mejor desempeño entre los tres.

**Tabla 7**

Criterios económico de los tres modelos

| Variantes de concepto |               | Modelo 1 |    |       | Modelo 2 |       | Modelo 3 |       |
|-----------------------|---------------|----------|----|-------|----------|-------|----------|-------|
| Ítems                 | Criterios     | g        | p  | $g*p$ | p        | $g*p$ | p        | $g*p$ |
| 1                     | Mantenimiento | 5        | 2  | 10    | 4        | 20    | 5        | 25    |
| 2                     | Operacional   | 5        | 2  | 10    | 4        | 20    | 4        | 20    |
| 3                     | Producción    | 5        | 3  | 15    | 3        | 15    | 5        | 25    |
| 4                     | Seguridad     | 5        | 3  | 15    | 3        | 15    | 5        | 25    |
| 5                     | Flexibilidad  | 4        | 3  | 12    | 4        | 16    | 5        | 20    |
| 6                     | Montaje       | 3        | 2  | 6     | 4        | 12    | 4        | 12    |
| 7                     | Manipulación  | 5        | 2  | 10    | 2        | 10    | 5        | 25    |
| Sumatoria             |               | 27       | 32 | 17    | 78       | 24    | 108      | 33    |
| Valor Técnico (Wt)    |               | 0.81     |    |       | 0.857    |       | 0.943    |       |

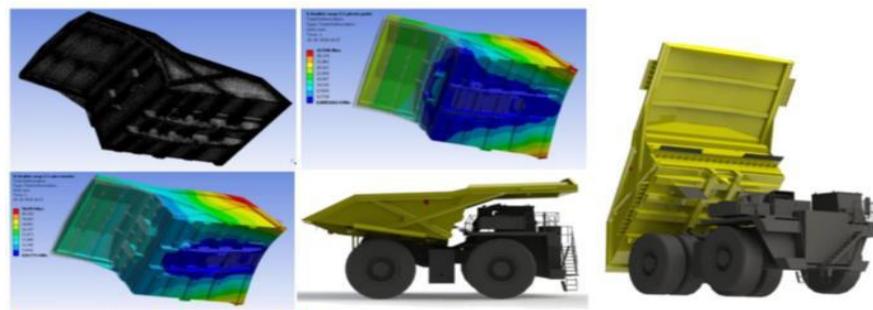
*Nota.* Elaboración propia

Se observa en el análisis económico que el modelo 3 obtuvo mayor puntaje con 33 puntos, esto demuestra que el aumento de costillas a la tolva no refleja una mayor repercusión económica en el proyecto. Por consiguiente, al obtener un puntaje de 0.927 en el aspecto técnico y de 0.943 en el aspecto técnico se demuestra que es el criterio más aceptable en el aligeramiento de la tolva que se está estudiando.

#### 4.2.2. Simulación de la tolva

**Figura 14**

Tolva Aligerada



*Nota.* Tolva aligerada Modelo 3. Obtenido de Inventor.

Una vez identificado el tipo de aligeramiento a realizar se procedió a realizar la simulación en el software SolidWorks con el propósito de que se valide que la tolva aligerada cumpla en los distintos estudios. Para ello, el análisis estructural mediante el uso de elementos finitos permitió demostrar que el aligeramiento es confiable y permite optimizar el diseño, además de garantizar que se detecte de manera temprana las zonas que requieran mantenimiento e inspección de nuestros componentes.

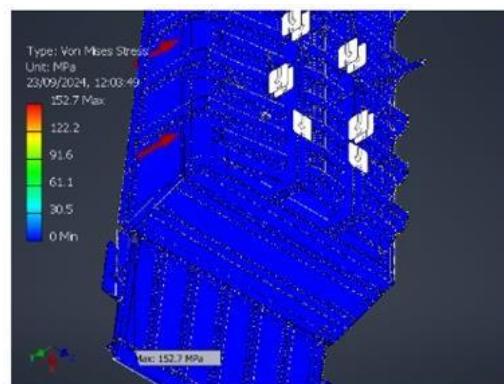
#### Análisis del programa inventor

##### Von Mises Stress:

En la figura 14 se muestra el análisis de Von Mises realizado a la tolva aligerada:

**Figura 15**

Von Mises



*Nota.* Obtenido de Inventor.

En la figura 15, se muestra la distribución de tensiones, el gradiente de color en el lado izquierdo muestra una escala, donde el azul representa una tensión baja (alrededor de 0 MPa) y el rojo indica una tensión alta (hasta 152,7 MPa, el máximo mostrado). El componente presenta principalmente áreas azules y verdes, lo que indica niveles de tensión más bajos en gran parte de la estructura. Ubicación de la tensión máxima: la tensión alcanza un máximo de 152,7 MPa, probablemente ubicada donde las regiones rojas son visibles, aunque sigue siendo mínima en la mayor parte de la superficie. Flechas de carga: Las flechas rojas están presentes nuevamente, indicando los puntos y direcciones donde se aplican fuerzas o cargas externas a la estructura. Forma del componente: el componente parece ser un conjunto mecánico grande con características internas y nervaduras, posiblemente parte de un contenedor o marco estructural.

Para el cálculo de Von Mises se tiene que tener los siguientes datos:

Acero Hardox 450.

Límite de fluencia: 1250 MPa

Módulo de elasticidad: 210 GPa.

Carga aplicada: 1468.6 kN

Área de sección crítica: 9620 mm<sup>2</sup>

Se aplica la fórmula de Von Mises de la ecuación 19:

Para hallar el esfuerzo normal en X se aplica la ecuación 20. Donde se sabe que:

$$\sigma_x = \frac{1468.6 \text{ kN}}{9620 \text{ mm}^2} = 152.66 \text{ MPa} \quad (27)$$

El esfuerzo normal en Y:

Se calcula con la carga principal es el mineral que actúa verticalmente en el eje Z en el sistema de coordenadas típico), mientras que en la dirección Y, que es el ancho de la tolva no hay fuerzas externas aplicadas directamente.

El esfuerzo cortante en XY:

Se calcula en el punto crítico analizado, siendo un ejemplo el centro de una soldadura longitudinal), no hay fuerzas que intenten "deslizar" una capa del material sobre otra en el plano XY.

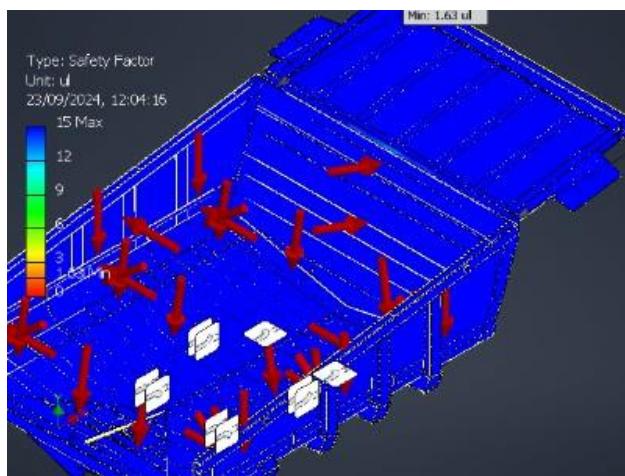
$$\sigma_{vm} = \sqrt{(152.66)^2 + (0)^2 - (0). (0) + 3. (0)^2} = 152.66 \quad (28)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, lo que confirma que el esfuerzo máximo se produce en una zona donde predomina un único eje de carga.

### Safety factor:

**Figura 16**

Factor de seguridad



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 16, muestra un modelo 3D de la plataforma de un camión. La plataforma del camión está hecha de metal y es de color verde. Hay varias flechas rojas que apuntan a diferentes partes de la plataforma del camión. Las flechas muestran la dirección de la tensión que se aplica a la plataforma del camión. La tensión se mide en megapascales (MPa). La imagen es una simulación de la tensión que se aplicaría a la plataforma del camión cuando esté en uso. La tensión se muestra en una gama de colores que va del verde al rojo. La tensión mínima es -119,4 MPa y la tensión máxima es 128,4 MPa. La imagen es útil para comprender cómo se comportará la plataforma del camión en diferentes condiciones.

Para el cálculo de factor de seguridad real se obtiene en el anexo 13, en este caso es un factor de seguridad teórico se tiene que tener los siguientes datos:

Acero Hardox 450.

Límite elástico: 290 MPa

El factor de seguridad a la tracción es de 2.25

El factor de seguridad a la compresión es de 2.44

Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada según la ecuación 21, por lo que para hallar poder hallar la tensión máxima tracción:

$$\text{Tensión aplicada} = \frac{290 \text{ MPa}}{2.25} = 128.88 \text{ MPa} \quad (29)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en decimales por eso hubo una corrección de estos en la tracción:

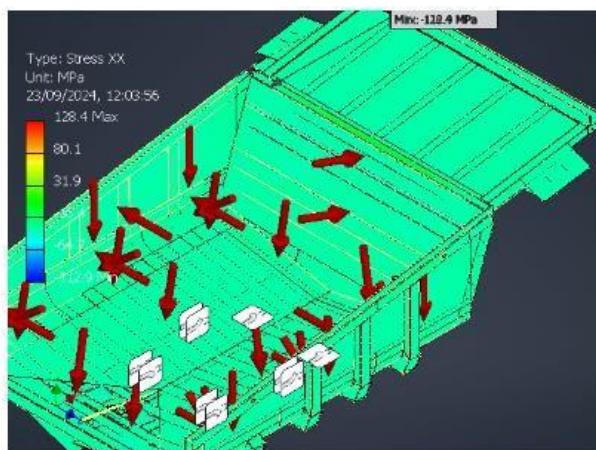
$$\text{Tensión aplicada} = \frac{290 \text{ MPa}}{2.44} = 118.85 \text{ MPa} \quad (30)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección de estos en la compresión.

### STRESS XX:

**Figura 17**

Desplazamiento en el plano XX



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 17, muestra el análisis de elementos finitos de un camión volquete. El camión está sujeto a una carga, como una carga pesada en la caja del camión. Los resultados del análisis muestran los patrones de tensión en el camión. Las tensiones se representan mediante flechas rojas que apuntan en la dirección de la tensión, y los colores de los valores de tensión se indican en la escala de colores a la izquierda de la imagen. Los valores de tensión máximos son de 128,4 MPa y los mínimos son de -119,4 MPa. Estos resultados permiten evaluar la resistencia del camión y si se encuentran dentro de los requisitos de diseño.

Para el cálculo del desplazamiento XX se tiene que tener lo siguientes datos:

Acero Hardox 450.

Límite elástico: 290 MPa

El factor de seguridad a la tracción es de 2.25

El factor de seguridad a la compresión es de 2.44

Se aplica poder hallar la tensión máxima aplicada según la ecuación 28:

Para hallar poder hallar la tensión máxima tracción:

$$\text{Tensión aplicada} = \frac{290 \text{ MPa}}{2.25} = 128.88 \text{ MPa} \quad (31)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en decimales por eso hubo una corrección de estos en la tracción

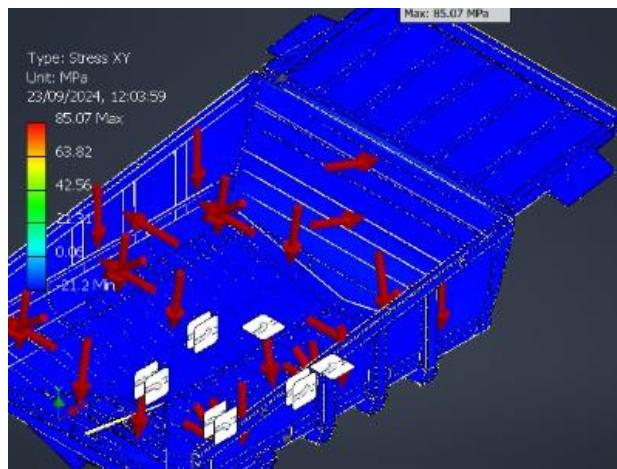
$$\text{Tensión aplicada} = \frac{290 \text{ MPa}}{2.44} = 118.85 \text{ MPa} \quad (32)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección de estos en la compresión.

### **STRESS XY:**

**Figura 18**

## Desplazamiento XY



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 18, muestra los valores de tensión son mucho más bajos respecto a la imagen anterior, con un máximo de 9,35 MPa y un mínimo de 1.943 MPa, como indica la barra de colores. Los tonos verde y azul dominan la estructura, mostrando niveles más bajos de tensión en todas partes, excepto en una pequeña área cerca del borde superior donde la tensión es ligeramente mayor, como se muestra en amarillo.

Para el cálculo del desplazamiento XY se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 3700 N y 650 N

Área de 1000 mm<sup>2</sup>

Factor de concentración 2.5 adimensional se tiene la ecuación 22 y 23. Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada:

$$\tau = \frac{3700}{1000} = 3.7 \text{ MPa} \quad (33)$$

$$\sigma_{real} = 2.5 \times 3.7 \text{ MPa} = 9.25 \text{ MPa} \quad (34)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la tensión mínima aplicada según la ecuación 22 y 23:

$$\tau = \frac{650}{1000} = 0.65 \text{ MPa} \quad (35)$$

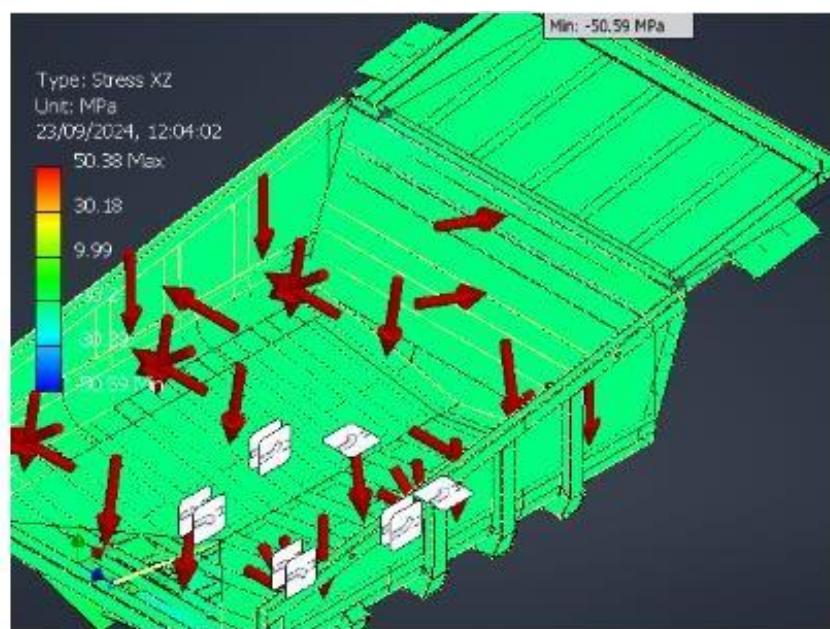
$$\sigma_{real} = 2.5 \times 0.65 \text{ MPa} = 1.625 \text{ MPa} \quad (36)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión mínima.

### STRESS XZ:

**Figura 19**

Desplazamiento XZ



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 19, muestra la escala de colores va desde -50.58 MPa (mínimo) hasta 50.37 MPa (máximo). La estructura aparece predominantemente azul, lo que indica tensión baja, con regiones de tensión más alta que se muestran de amarillo a rojo alrededor de áreas específicas, particularmente cerca de las paredes laterales y los bordes. Las flechas rojas indican las direcciones y magnitudes de las fuerzas/tensiones aplicadas en este plano.

Para el cálculo del desplazamiento XZ se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 20120 N y 20200N

Área de 1000 mm<sup>2</sup>

Factor de concentración 2.5 adimensional, como se presenta en la ecuación 22 y 23.

Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada:

$$\tau = \frac{20120}{1000} = 20.12 \text{ MPa} \quad (37)$$

$$\sigma_{real} = 2.5 \times 20.12 \text{ MPa} = 50.3 \text{ MPa} \quad (38)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la tensión mínima aplicada:

$$\tau = \frac{20200}{1000} = 20.2 \text{ MPa} \quad (39)$$

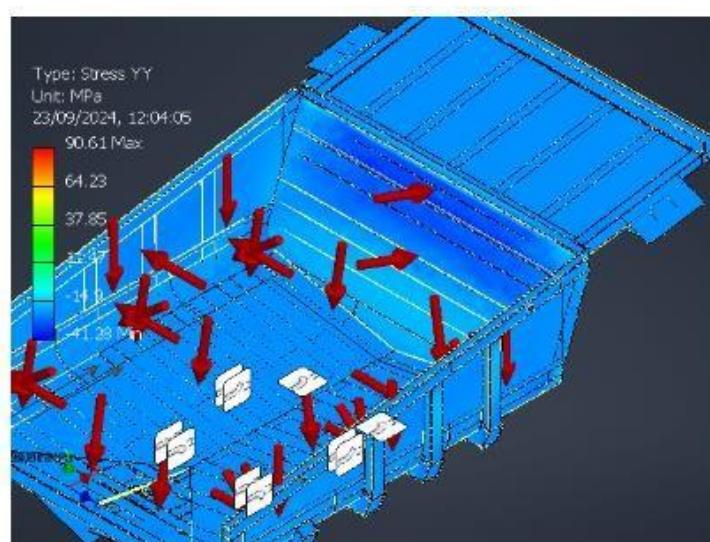
$$\sigma_{real} = 2.5 \times 20.2 \text{ MPa} = 50.5 \text{ MPa} \quad (40)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión mínima.

### STRESS YY:

**Figura 20**

Desplazamiento YY



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 20, muestra la escala de colores va desde 11,2 MPa (mínimo) hasta 85,07 MPa (máximo). La estructura aparece predominantemente azul, lo que indica tensión baja, con regiones de tensión más alta que se muestran de amarillo a rojo alrededor de áreas específicas, particularmente cerca de las paredes laterales y los bordes. Las flechas rojas indican las direcciones y magnitudes de las fuerzas/tensiones aplicadas en este plano.

Para el cálculo del desplazamiento YY se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 34120 N y 4400N

Área de 1000 mm<sup>2</sup>

Factor de concentración 2.5 adimensional, como se preenta en la ecuación 22 y 23.

Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada:

$$\tau = \frac{34120}{1000} = 34.12 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$\sigma_{real} = 2.5 \times 34.12 \text{ MPa} = 85.3 \text{ MPa} \quad (42)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la tensión mínima aplicada:

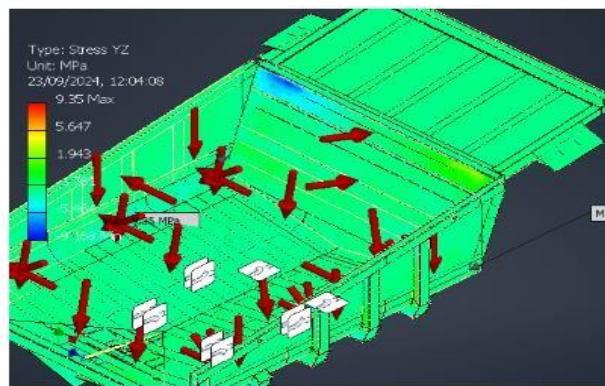
$$\tau = \frac{4400}{1000} = 4.4 \text{ MPa} = 2.5 \times 4.4 \text{ MPa} = 11 \text{ MPa} \quad (43)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión mínima.

### **STRESS YZ:**

**Figura 21**

Desplazamiento YZ



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La figura 21, muestra la escala de colores va desde -9.16 MPa (mínimo) hasta 93.50 MPa (máximo). La estructura aparece predominantemente azul, lo que indica tensión baja, con regiones de tensión más alta que se muestran de amarillo a rojo alrededor de áreas específicas, particularmente cerca de las paredes laterales y los bordes. Las flechas rojas indican las direcciones y magnitudes de las fuerzas/tensiones aplicadas en este plano.

Para el cálculo del desplazamiento YZ se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 34740 N y 3500N

Área de 1000 mm<sup>2</sup>

Factor de concentración 2.5 adimensional, como se presenta en la ecuación 22 y 23. Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada:

$$\tau = \frac{37400}{1000} = 37.4 \text{ MPa} \quad (44)$$

$$\sigma_{real} = 2.5 \times 37.4 \text{ MPa} = 93.5 \text{ MPa} \quad (45)$$

El valor coincide con el de Inventor, solo varía en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la tensión mínima aplicada:

$$\tau = \frac{3500}{1000} = 3.5 \text{ MPa} \quad (46)$$

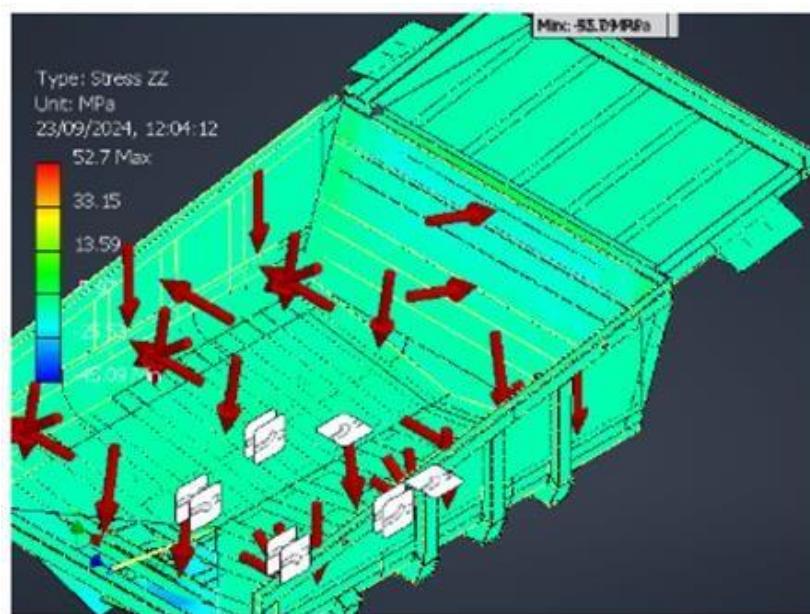
$$\sigma_{real} = 2.5 \times 3.5 \text{ MPa} = 8.75 \text{ MPa} \quad (47)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión mínima.

### STRESS ZZ:

**Figura 22**

Desplazamiento ZZ



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La figura 22, muestra la escala de colores va del azul (que indica una tensión mínima de 13,59 MPa) al rojo (que indica una tensión máxima de 52,7 MPa). Las flechas dentro de la estructura apuntan en varias direcciones, indicando fuerzas aplicadas o vectores de tensión que actúan en diferentes partes de la estructura. Las áreas de mayor estrés se concentran cerca del centro, donde la estructura está marcada en colores más cálidos como el naranja y el rojo.

Para el cálculo del desplazamiento ZZ se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 21000 N y 5400N

Área de  $1000 \text{ mm}^2$

Factor de concentración 2.5 adimensional, como se presenta en la ecuación 22 y 23. Se aplica para poder hallar la tensión máxima aplicada:

$$\tau = \frac{21000}{1000} = 21 \text{ MPa} \quad (48)$$

$$\sigma_{real} = 2.5 \times 21 \text{ MPa} = 52.5 \text{ MPa} \quad (49)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la tensión mínima aplicada:

$$\tau = \frac{5400}{1000} = 5.4 \text{ MPa} \quad (50)$$

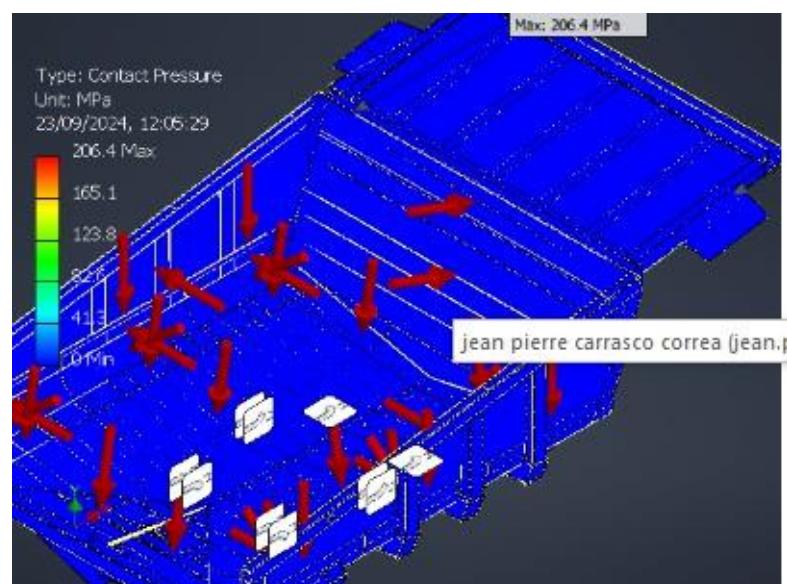
$$\sigma_{real} = 2.5 \times 5.4 \text{ MPa} = 13.5 \text{ MPa} \quad (51)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión mínima.

### **Contac Pressure:**

**Figura 23**

Presión



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 23, muestra un modelo 3D de la plataforma de un camión. La plataforma del camión está hecha de metal y es de color verde. Hay varias flechas rojas que apuntan a diferentes partes de la plataforma del camión. Las flechas muestran la dirección de la tensión que se aplica a la plataforma del camión. La tensión se mide en megapascales (MPa). La imagen es una simulación de la tensión que se aplicaría a la plataforma del camión cuando esté en uso. La tensión se muestra en una gama de colores que va del verde al rojo. La tensión mínima es 0 MPa y la tensión máxima es 206.377 MPa.

Para el cálculo de la presión se tiene que tener los siguientes datos:

Fuerza de 100000 N

Área mínima de 0 mm<sup>2</sup>

Área máxima de 1049 mm<sup>2</sup>

Se aplica para poder hallar la presión máxima aplicada, como se especifica la ecuación 22:

$$P = \frac{100000}{1049} = 95.32 \text{ MPa} \quad (52)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la presión mínima aplicada:

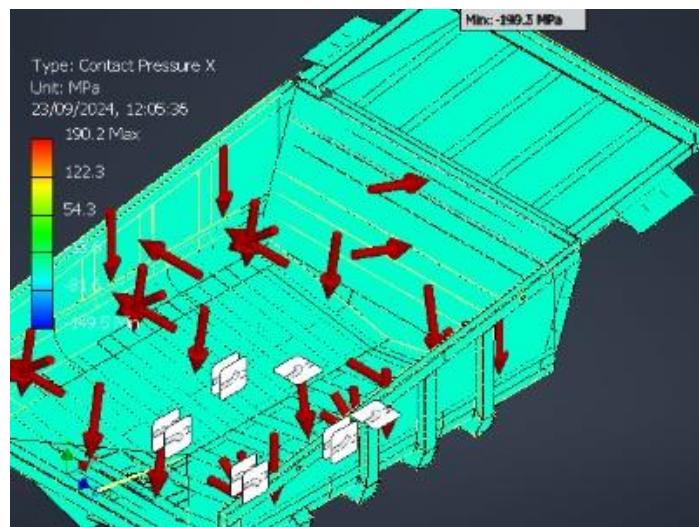
$$P = \frac{100000}{0} = 0 \text{ MPa} \quad (53)$$

El valor es una Áreas de descargadas, es decir, las regiones sin carga directa o lejos de puntos críticos.

## **Contac Pressure X**

**Figura 24**

Presión en el plano X



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 24, muestra un modelo 3D de la caja de un camión volquete. La caja está representada en una malla verde, y hay flechas rojas que apuntan hacia el interior de la caja. Las flechas indican la presión de contacto que se ejerce sobre la caja. La escala de colores de la izquierda muestra que la presión máxima es de 190.2 MPa

Para el cálculo de la presión se tiene que tener los siguientes datos utilizando la tabla 16 para poder hallar la presión máxima aplicada:

Fuerza de 100000 N

Área mínima de 0 mm<sup>2</sup>

Área máxima de 527 mm<sup>2</sup>

$$P = \frac{100000}{527} = 189.75 \text{ MPa} \quad (54)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la presión mínima aplicada:

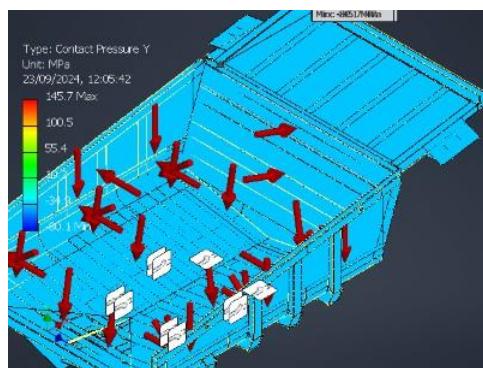
$$P = \frac{100000}{0} = 0 \text{ MPa} \quad (55)$$

El valor es una Áreas de descargadas, es decir, las regiones sin carga directa o lejos de puntos críticos.

### Contac Pressure Y

**Figura 25**

Presión en el plano Y



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La imagen 25, muestra un modelo 3D de la caja de un camión volquete. La presión de contacto máxima es 395.7 MPa. La presión de contacto mínima es 95.4 MPa. La unidad de medida de la presión de contacto es MPa. La presión de contacto es más alta en las esquinas y los bordes de la caja.

Para el cálculo de la presión se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 100000 N

Área mínima de 1050 mm<sup>2</sup>

Área máxima de 253 mm<sup>2</sup>

$$P = \frac{100000}{253} = 395.25 \text{ MPa} \quad (56)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la presión mínima aplicada:

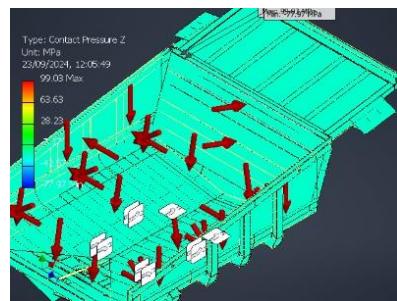
$$P = \frac{100000}{1050} = 95.23 \text{ MPa} \quad (57)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

### Contac Pressure Z

**Figura 26**

Presión en el plano Z



*Nota.* Obtenido de Inventor.

La figura 26, muestra el análisis de presión de contacto en un modelo 3D de lo que parece ser la caja de un camión volquete. La escala de colores en la parte izquierda de la imagen indica que las áreas rojas experimentan la mayor presión es de 99.03 MPa, mientras que las áreas azules experimentan la menor presión es de 0 MPa Las flechas rojas dentro del modelo probablemente indican la dirección de la fuerza o presión.

Para el cálculo de la presión se tiene que tener lo siguientes datos:

Fuerza de 100000 N

Área mínima de 0 mm<sup>2</sup>

Área máxima de 1010 mm<sup>2</sup>

Se aplica para poder hallar la presión máxima aplicada, según la ecuación 22:

$$P = \frac{100000}{1010} = 99.00 \text{ MPa} \quad (58)$$

El valor casi coincide con el de Inventor, variando solo en algunos decimales por eso hubo una corrección en la tensión máxima.

Se aplica para poder hallar la presión mínima aplicada:

$$P = \frac{100000}{0} = 0 \text{ MPa} \quad (59)$$

El valor es una Áreas de descargadas, es decir, las regiones sin carga directa o lejos de puntos críticos.

#### **4.3. Mejora de la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo diseño estructural y geométrico propuesto.**

##### **4.3.1. Desmontaje de tolva**

Para la mejora de la tolva fue necesario en primera instancia el retiro de accesorios y la modificación de piezas claves, en ese sentido, se muestra el proceso de extracción de elementos en la tolva.

**Figura 27**

Extracción de accesorios adicionales

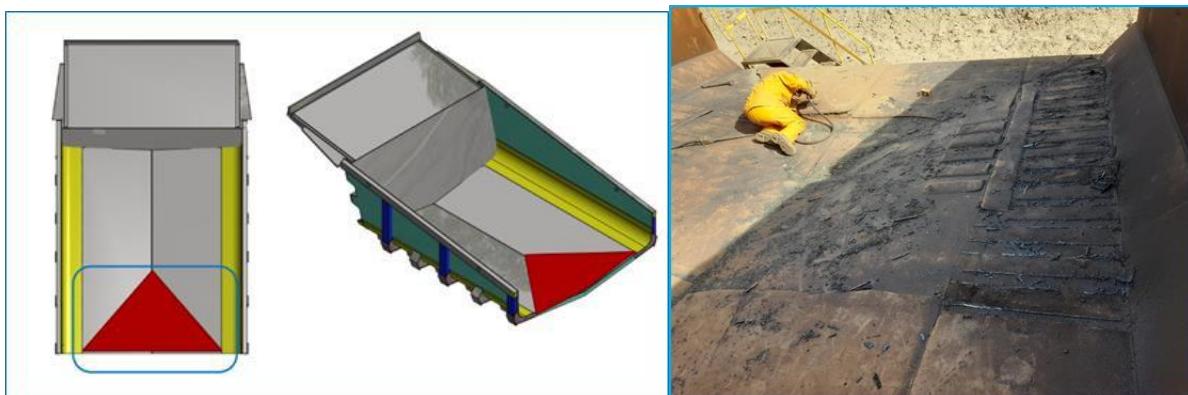


*Nota.* Extracción de elementos de tolva. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 27 se observa el proceso de extracción de los accesorios adicionales en la tolva, específicamente los liners de planchas antidesgaste. Esta operación constituye el primer paso en el procedimiento de aligeramiento, el cual tiene como objetivo principal reducir el peso total de la tolva para optimizar su capacidad de carga. Los liners, diseñados para proteger la estructura interna de la tolva frente al desgaste ocasionado por el material transportado, representan un peso en la estructura. Con su remoción completa, se logró disminuir aproximadamente 6 toneladas del peso original, contribuyendo directamente a mejorar la eficiencia operativa del equipo y reduciendo el consumo energético asociado al acarreo.

**Figura 28**

Extracción de protección del triángulo de descarga



*Nota.* Extracción de elementos de tolva. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 28 se presenta el procedimiento de extracción de la protección del triángulo de descarga en la tolva de un camión minero, siendo que la extracción de este componente facilita no solo la reducción de peso, sino también la reconfiguración estructural, permitiendo una mejor redistribución de cargas durante el transporte de materiales.

**Figura 29**

Extracción de laterales y parte del piso



*Nota.* Extracción de elementos de tolva. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 29 se muestra el proceso de extracción de los laterales y parte del piso de la tolva, llevado a cabo en su totalidad como parte de las modificaciones estructurales. Este procedimiento implicó la remoción de los componentes laterales y de hasta 0.80 mm del piso, con el propósito de reducir el peso de la tolva y optimizar su capacidad de acarreo. La extracción de estas secciones permitió una reconfiguración estructural que favorece no solo una mayor

capacidad de carga, sino también una mejor distribución de las tensiones durante el transporte de mineral sólido.

#### 4.3.2. Construcción de la tolva

Se muestra el proceso realizado en la configuración y construcción de la tolva.

**Figura 30**

Refuerzo de perfiles verticales



*Nota.* Proceso de construcción de la tolva. *Obtenido de Inmema.*

En la figura 30 se observa el proceso de construcción e instalación de perfiles verticales utilizados para reforzar la estructura de la tolva. Estos elementos fueron diseñados y fabricados con el propósito de proporcionar mayor resistencia y rigidez a la tolva, especialmente en las zonas sujetas a altos niveles de estrés durante el acarreo de materiales.

**Figura 31**

Cambio de formato de piso de tolva

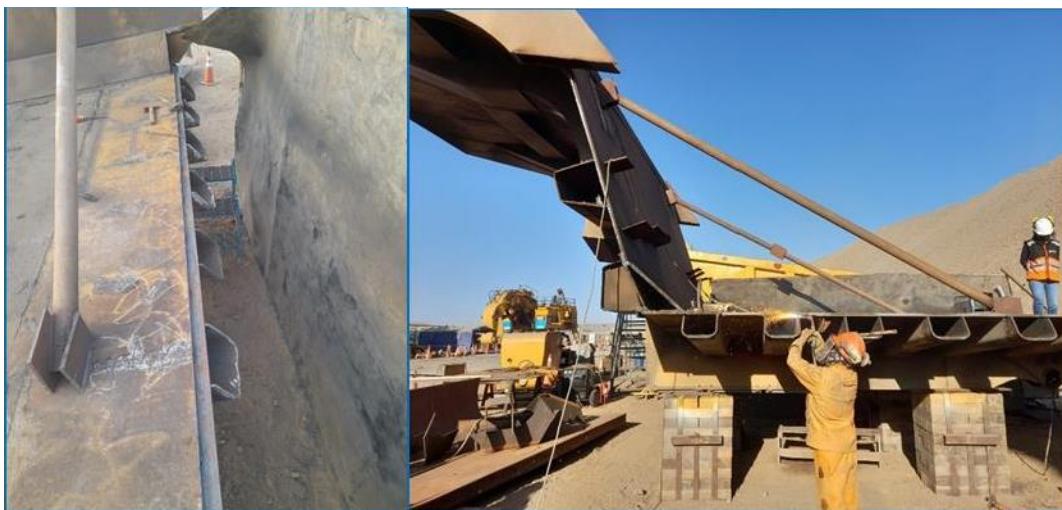


*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmema.*

En la figura 31 se observa el cambio en el formato del piso de la tolva de un camión minero, realizado debido al desgaste detectado después de aproximadamente 11,000 horas de uso. Originalmente, la plancha base de la tolva tenía un espesor de 5/8" y estaba diseñada para fines estructurales. Sin embargo, con el desgaste progresivo, se decidió reemplazar esta plancha, optimizando el diseño para reducir el peso total de la estructura. En esta modificación, mantuvo el espesor de la plancha a 5/8" pero se introdujo un acero con propiedades avanzadas, específicamente un material con una dureza a la abrasión de 500 HRc. Esta característica proporciona una mayor resistencia al desgaste sin comprometer la durabilidad de la tolva.

**Figura 32**

Modificación de ancho de tolva

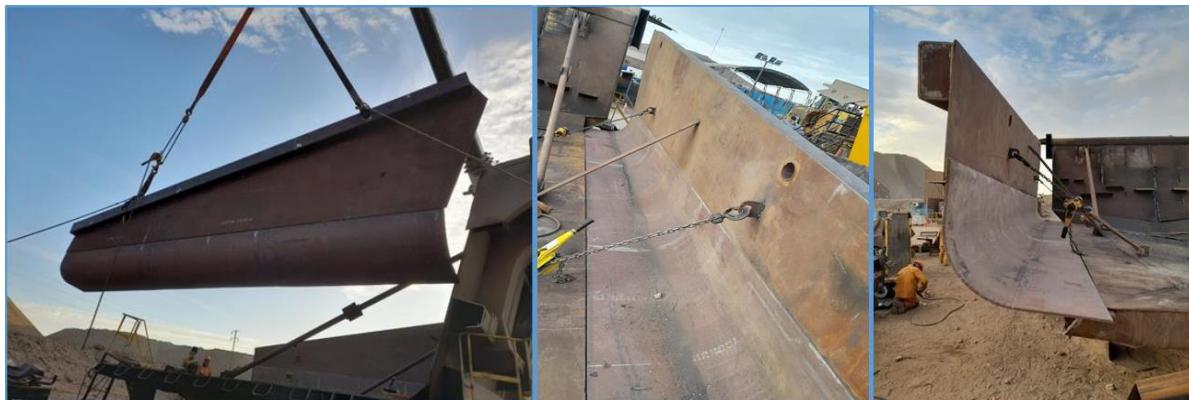


*Nota.* Proceso de construcción de la tolva. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 32 se aprecia el proceso de modificación del ancho de la tolva, mediante el cual se incrementó el de su geometría en 300 mm a cada lado aprovechando la colocación de los radiales. Este ajuste estructural fue realizado con el objetivo de ampliar la capacidad volumétrica de la tolva, permitiendo transportar un mayor volumen de material sólido en cada operación.

**Figura 33**

Instalación de nuevos laterales



*Nota.* Proceso de construcción de la tolva. *Obtenido* de Inmena.

En la figura 33 se muestra el proceso de instalación de los nuevos laterales en la tolva, los cuales fueron fabricados con planchas de 1/2" de alta resistencia, específicamente con una dureza de 450 (Hardness Brinell). Estas planchas ofrecen una mayor durabilidad frente al desgaste causado por el transporte de material sólido. Para garantizar la estabilidad estructural y el soporte adecuado de los nuevos laterales, se incorporaron travesaños de forma elíptica, diseñados para distribuir de manera uniforme las cargas y absorber las tensiones generadas durante la operación.

**Figura 34**

Armado e instalación de nuevos perfiles y costillas



*Nota.* Proceso de construcción de la tolva. *Obtenido* de Inmena.

En la figura 34 se muestra el proceso de armado e instalación de nuevos perfiles y costillas en la estructura de la tolva. Estas modificaciones estructurales están diseñadas para

reforzar la resistencia y rigidez de la tolva, permitiendo soportar de manera eficiente las cargas dinámicas y estáticas generadas durante el acarreo de material sólido.

**Figura 35**

Ducto de gases centrales



*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 35, se observa los ductos de gases centrales implementado en un camión minero. Dicha modificación fue realizada para mejorar la expulsión de gases en aquellas tolvas que no contaban originalmente con un sistema propio de escape. Al identificar que solo algunas tolvas tenían este sistema, se decidió adaptar una solución para uniformizar el equipamiento en todos los camiones, permitiendo que todas las tolvas pudieran expulsar los gases sin requerir un sistema de escape costoso, siendo que esta adaptación conllevó un incremento de 0.13 toneladas en el peso de cada tolva, lo cual debe ser considerado dentro del rediseño de la estructura, especialmente en términos de capacidad de carga y resistencia.

**Figura 36**

Cola de pato

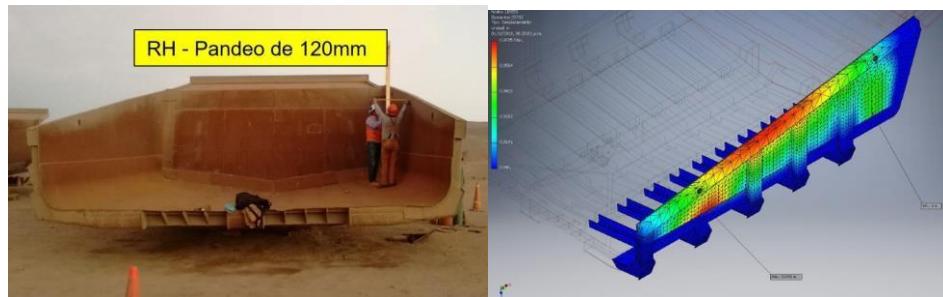


*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 36 se presenta la cola de pato de una tolva de camión minero. Esta parte fue rediseñada para solucionar el problema de pérdida de carga durante el trayecto hacia la chancadora. La modificación consistió en ajustar el grado de inclinación de la cola de pato para lograr una mejor contención del material transportado, reduciendo así las pérdidas y optimizando la eficiencia del transporte de carga. Además de la regulación de la inclinación, se reforzó y rediseñó la estructura, con lo cual se buscó incrementar su durabilidad y reducir el desgaste. Esta modificación en el diseño aportó una ganancia de 0.03 toneladas al peso total de la tolva

**Figura 37**

Up grade



*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 37, se presenta el análisis del refuerzo denominado "Up Grade Lateral" aplicado a la tolva de un camión minero. En la primera fase del rediseño, se disminuyó el espesor de la plancha de contención lateral de 16 mm a 12 mm, sin considerar adecuadamente los cambios en la resistencia estructural. Esta reducción de espesor provocó un pandeo de 120 mm en la estructura, señal de una deformación por desplazamiento que requería ser corregida. Esta mejora estructural añadió un peso de 0.36 toneladas a la tolva, un incremento que se justifica en términos de seguridad y durabilidad, ya que asegura un rendimiento óptimo del equipo al evitar deformaciones y fallas durante el uso en condiciones mineras extremas.

Los materiales empleados en los radiales y en el panel del piso de las tolvas es el acero HARDOX 450-500 respectivamente, los cuales son materiales reconocidos por tener propiedades anti abrasivas, lo cual permite que sean ideales para aplicaciones de alto desgaste, como el acarreo de minerales sólidos. Este acero se caracteriza por su alta dureza, con una dureza Brinell, y su excelente resistencia al impacto, lo que garantiza una larga vida útil incluso en condiciones operativas extremas. Químicamente, HARDOX 450-500 presenta una composición equilibrada que incluye carbono, manganeso, silicio y pequeñas proporciones de níquel y cromo, elementos que contribuyen a su resistencia al desgaste y su capacidad de soportar deformaciones sin fracturarse. Estas propiedades lo convierten en una elección óptima para proteger las tolvas de los impactos y abrasiones causados por el transporte continuo de materiales altamente abrasivos.

Por otro lado, los laterales de las tolvas están fabricados con acero A36, un material versátil y ampliamente utilizado en estructuras de carga debido a su excelente relación costo-beneficio. Este acero presenta una resistencia a la tracción de 250 MPa y una buena ductilidad, lo que lo hace ideal para soportar las tensiones laterales generadas durante la operación. Químicamente, el acero A36 contiene carbono, manganeso, fósforo y azufre en proporciones controladas, garantizando un buen equilibrio entre resistencia mecánica y soldabilidad. Su uso en los laterales asegura una estructura resistente y durable, capaz de adaptarse a las deformaciones sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad de las tolvas. La combinación de HARDOX 450 y A36 permite optimizar el diseño de las tolvas, asegurando resistencia, durabilidad y eficiencia operativa en condiciones exigentes.

#### 4.3.3. Accesorios adicionales modificados

**Figura 38**

Escalera transversal

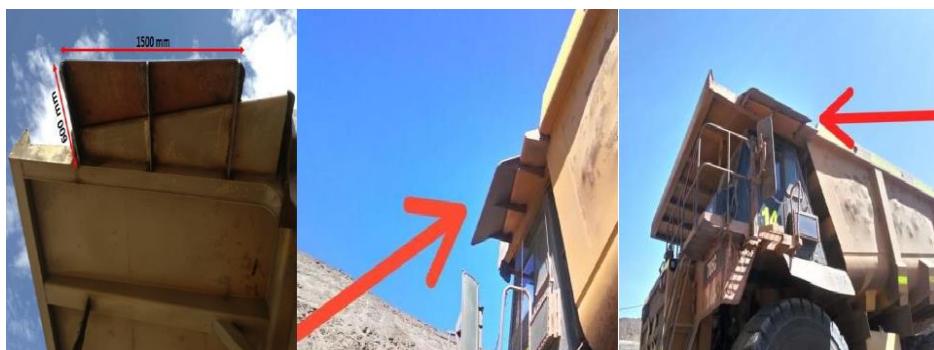


*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 38 se presenta la instalación de una escalera transversal en un camión minero. Esta adición responde a la necesidad de mejorar las condiciones de seguridad para los operadores al facilitar un acceso más seguro y ergonómico a la cabina de conducción. La escalera transversal implementada es un diseño moderno que ya cuenta con la aprobación de la casa matriz, asegurando su conformidad con las normativas de seguridad vigentes. Esta actualización en el acceso es una mejora importante en términos de seguridad operativa, ya que reduce los riesgos asociados al ingreso y salida de la cabina, especialmente en condiciones de operación minera donde la seguridad es primordial. La adición de esta escalera incrementa el peso de la tolva en 0.43 toneladas.

**Figura 39**

Deflector lateral



*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 39, se muestra el Deflector lateral instalado en la tolva de un camión minero. Esta modificación se realizó en respuesta a la ampliación de la tolva, la cual fue diseñada para maximizar el volumen de carga transportada. Dado que el rediseño comprometía ciertos accesorios del camión, como el espejo retrovisor, se decidió implementar un sistema de protección para dichos elementos vulnerables. El deflector lateral protege eficazmente el espejo retrovisor y otros componentes, asegurando que no se vean afectados durante las operaciones de carga y transporte. Esta implementación, sin embargo, agregó un peso adicional de 0.05 toneladas a la tolva, lo cual representa una pequeña diferencia con respecto al diseño previo.

A continuación, se muestra el deflector delantero:

**Figura 40**

Deflector delantero



*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

En la figura 40, esta mejora se implementa para garantizar la protección de la Escaleras Transversales instaladas, una genial Idea para controlar la expansión de los proyectiles no deseados los que pueden dañar las escaleras transversales o sus accesorios, este implemento ha incrementado un peso total de 0.36 toneladas.

**4.4. Evaluación del impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral sólido en camiones mineros 785C Caterpillar mediante la optimización estructural y geométrica de la tolva.**

**Tabla 8**

Comparación de la tolva al inicio y la aligerada

| Descripción de pesos    | Totales al inicio (tn) | Totales aligeradas (tn) | Carga adicional mejorada (tn) |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Peso de Chasis          | 75.2                   | 75.2                    |                               |
| Otros Pesos             | 2.23                   | 3.2                     |                               |
| Peso de Tolva           | 37.58                  | 21.61                   |                               |
| Carga Útil en Toneladas | 134.47                 | 149.73                  | 15.26                         |
| GVW - Caterpillar 785C  | 249.48                 | 249.48                  |                               |

*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido de Inmena.*

Se puede observar de la tabla 8 una diferencia de 15.26 tn en la carga adicional que se obtiene como carga útil con el aligeramiento, por lo que se evidencia un aumento en el carguío de material con el aligeramiento. Además se ha identificado en el camión analizado las siguientes actividades que se realiza por el camión minero 785 C.

**Actividad del camión:**

- Ciclo de viaje por hora: 3.3
- Horas por mes: 550
- Tamaño de la flota: 20 camiones
- Comparaciones clave:
- Peso del chasis: Ambos tipos de tolvas tienen el mismo peso del chasis (75.2 toneladas).
- Otros pesos: 2.23 tn.

**Peso de la tolva:**

- Tolva actual: 37.58 tn.
- Tolva liviana: 21.61 tn.
- Capacidad de carga en tn.
- Tolva actual: 134.47 tn.
- Tolva liviana: 149.73 tn.
- GVW (Peso bruto del vehículo) para Caterpillar 785C: 249.48 tn.
- Datos adicionales de rendimiento:
- Carga útil (Carga Útil):
- Tolva actual: 244.063 tn por mes.
- Tolva liviana: 271.760 tn por mes (27.697 tn más por mes que las tolvas actuales).
- Comparación anual (para toda la flota):
- Con las tolvas actuales: 553.938 tn movidas por mes.
- Con las tolvas livianas: 6.647.256 tn por año (lo que representa una mejora con respecto a las tolvas actuales).

El análisis del impacto económico generado por la optimización estructural y geométrica de las tolvas en los camiones mineros Caterpillar 785C destaca una mejora en la productividad operativa y en los costos asociados al transporte de mineral sólido.

### **Aumento de la Carga Útil**

La implementación de tolvas aligeradas incrementó la carga útil promedio de 134.47 toneladas a 149.73 toneladas, lo que representa un aumento del 11% equivalente a 15.26 toneladas adicionales por ciclo de transporte. Este cambio permitió una mayor eficiencia en cada viaje, reduciendo el número de trayectos necesarios para transportar un volumen fijo de mineral. A nivel mensual, cada camión con tolvas optimizadas transportó 27,697 toneladas

adicionales, y considerando una flota total de 20 unidades, la mejora alcanzó las 553.938 toneladas al mes, o 6,647.256 toneladas al año.

### **Reducción de Costos Operativos**

Al disminuir el peso de las tolvas de 37.58 toneladas a 21.61 toneladas, el esfuerzo requerido por los camiones para movilizar la misma cantidad de mineral disminuyó, lo que se tradujo en un menor consumo de combustible. Además, el aumento en la carga útil por trayecto optimizó el uso de recursos, como el tiempo de operación y el desgaste del equipo, impactando positivamente los costos logísticos.

### **Optimización del Ciclo Operativo**

Con un ciclo operativo de 3.3 viajes por hora y una operación promedio de 550 horas al mes por camión, las tolvas aligeradas incrementaron sustancialmente la cantidad de mineral transportado en cada turno de trabajo. Este aumento en la capacidad de acarreo resultó en una mayor eficiencia general del sistema de transporte.

### **Amortización de la Inversión**

Aunque las modificaciones estructurales y geométricas implicaron una inversión inicial considerable, los ahorros generados en consumo de combustible, mantenimiento del equipo, y la reducción de tiempos improductivos permiten una rápida amortización. Además, el incremento en el volumen transportado por la flota repercute directamente en mayores ingresos para la operación minera.

- **Durabilidad Prolongada:** Las mejoras en materiales, como el uso de planchas con dureza de 450-500 HB, incrementaron la resistencia al desgaste, reduciendo la frecuencia de mantenimientos correctivos y los costos asociados, en ese sentido, el mantenimiento se realiza de manera anual a fin de garantizar la mantenibilidad de los camiones.

- **Mejoras en la Seguridad:** Elementos adicionales, como deflectores y refuerzos estructurales, garantizaron la estabilidad y funcionalidad de las tolvas, incrementando la seguridad operativa y la confiabilidad del sistema.

En conclusión, la optimización de las tolvas no solo elevó la eficiencia operativa, sino que también generó un impacto económico positivo mediante la reducción de costos, el aumento de la productividad y la maximización del uso de recursos, ya que se necesitan menos viajes para transportar la misma cantidad de material, lo que puede aumentar la eficiencia operativa al reducir el tiempo de inactividad y optimizar el uso de los camiones y los conductores.

## V. DISCUSIÓN

Para realizar la discusión de resultados comparando los objetivos específicos con los antecedentes revisados, abordamos cada objetivo con los resultados obtenidos y cómo estos se alinean o difieren de investigaciones previas.

Comparando con el primer objetivo específicos Llamocca (2020) también se identificó que el diseño de la carrocería y la geometría en los camiones afectaban el rendimiento de carga. Al igual que en el presente estudio, Llamocca utilizó software de diseño y simulación para analizar y mejorar la estructura de la tolva, lo que permitió incrementar la capacidad de acarreo en un 20%

Comparando con el segundo objetivo específicos Mamani (2017) se utilizó un proceso de soldadura específico para aligerar las tolvas, lo que resultó en un aumento del 36% en la capacidad de carga. En el presente estudio, aunque el aumento el aumento fue del 11%, el enfoque de rediseño estructural es coherente con lo propuesto por Mamani, que también destacó el uso de simulaciones y métodos de diseño para optimizar la estructura.

Comparando con el cuarto objetivo específicos Escurra (2020) también concluyó que la mejora en la capacidad de acarreo de camiones mineros mediante optimizaciones estructurales resultó en menores costos operativos y una mayor eficiencia en el transporte. El presente estudio muestra resultados similares, con un aumento en la productividad sin incrementar significativamente los costos operativos.

El análisis está alineado con el marco teórico, donde se menciona que la optimización estructural mediante el análisis de elementos finitos (FEA) es una herramienta clave para evaluar el comportamiento estructural bajo condiciones de carga. El estudio de Villafuerte (2017) y Moreno et al (2020), que también utilizan FEA, destaca que esta técnica es fundamental para identificar las tensiones y deformaciones en componentes como las tolvas, permitiendo mejorar la distribución de cargas y la eficiencia operativa

El uso de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulaciones de optimización topológica está bien sustentado en el marco teórico Escolano (2015) y Mirlisenna (2016) destacan que estas herramientas son esenciales para diseñar y simular diferentes configuraciones geométricas que optimizan la relación entre el peso y la capacidad de carga. El análisis de deformaciones y tensiones presentado en los resultados refuerza las nociones teóricas del comportamiento de materiales y estructuras bajo diferentes condiciones de operación.

El marco teórico menciona que la optimización geométrica de componentes como las tolvas debe buscar un balance entre la reducción de peso y el incremento de la capacidad de carga, sin comprometer la integridad estructural del vehículo. Las simulaciones FEA y los ensayos de carga realizados en el estudio están en línea con lo propuesto por Moreno et al (2020), que indican que estas técnicas permiten validar diseños que maximicen la eficiencia del transporte sin poner en riesgo la seguridad operacional del equipo.

El marco teórico subraya la importancia del análisis de costo-beneficio en proyectos de optimización de maquinaria minera. Ortiz & Canchari (2017) destacan que cualquier optimización en el diseño de equipos de acarreo debe evaluarse tanto desde el punto de vista técnico como económico, para garantizar que las mejoras no sólo aumenten la eficiencia operativa, sino que también resulten en ahorros económicos significativos a largo plazo.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se analizó la estructura y geometría actual de la tolva, en donde se presenta una carga útil idea de 134.47 tn, y su volumen geométrico de 78 m<sup>3</sup> y un peso inicial de la tolva 37.58 tn
2. Se diseño la estructura y geometría de la tolva del camión minero 785C Caterpillar obteniendo un factor de seguridad promedio de 1.6 y un valor de Von Mises de 152.7MPa, ajustando los espesores de la tolva en 1/2" los laterales y 5/8" el piso.
3. Se mejoró de la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo diseño estructural y geométrico, obteniendo como resultado una disminución del peso en 15.26 Tn (42.5%) y se elevo su capacidad de carga de 134.5 Tn a 149.73 Tn (11%), lo que permitió transportar 27,679 Tn adicionales al mes por camión
4. Se evaluó el impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral sólido en los camiones mineros 785C Caterpillar, obteniendo una modificación en los viajes por camión (semanal) pasando de 1815 horas a 1630 horas (-10.2%), se recortó el consumo de combustible en 9.5% por tonelada y se disminuyó los costos por mantenimiento en 11.2%, mejorando la eficiencia operativa global en un 8%.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar software de simulación FEA (Análisis de Elementos Finitos) para analizar el diseño de la tolva actual y proponer un rediseño que permita incrementar la capacidad de carga y reducir el peso sin afectar la seguridad del vehículo ni incrementar los costos operativos. Este enfoque optimizará tanto la capacidad de transporte como la durabilidad del equipo, permitiendo una mayor eficiencia en las operaciones mineras
2. Realizar un análisis exhaustivo de la geometría actual de la tolva mediante herramientas de diseño como ANSYS, lo que permitirá identificar áreas de mejora en términos de capacidad y resistencia estructural. Este análisis debe incluir simulaciones de carga estática y dinámica
3. Implementar un rediseño basado en los resultados del análisis previo. Utilizar técnicas de optimización topológica para reducir el peso de la tolva mientras se mantiene o aumenta la capacidad de carga. Además, emplear materiales más ligeros pero resistentes para mejorar el desempeño del vehículo en la operación
4. Realizar pruebas de campo con prototipos del nuevo diseño para evaluar la capacidad de carga y la eficiencia operativa. Implementar sensores de carga, vibración y deformación para monitorear el comportamiento de la tolva bajo condiciones reales
5. Llevar a cabo un análisis de costo-beneficio que compare la operación del vehículo antes y después de la modificación de la tolva. Considerar variables como el ahorro en combustible, el incremento de la capacidad de carga y la reducción en la cantidad de viajes necesarios para transportar el mismo volumen de material.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertero, O. (9 de 9 de 2020). *La tendencia de los equipos de carga y transporte es claramente la automatización.* Panorama Minero: <https://panorama-minero.com/noticias/la-tendencia-de-los-equipos-de-carga-y-transporte-es-claramente-la-automatizacion/>
- Carrión, F. (2020). *Análisis estático y dinámico para un chasis shell eco-marathon.* [Tesis de grado, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTP. [https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21867606/Carri\\_n\\_Luya\\_Tesis.pdf](https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21867606/Carri_n_Luya_Tesis.pdf)
- Cedeño, W. J., & Gorozabel, F. B. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación.* 4(8). <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/45/62>
- Chagoyén, C., Campos, Y., & Álvarez, C. (2015). Determinación de la posición de las cargas sobre los camiones. *Revista Centro de Azúcar,* 42(1), 53 - 62. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612015000300006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000300006)
- Chango, D. D., & Cáceres, A. G. (2024). Diseño y simulación de una plataforma de volteo de camiones de hasta 40 T cargados con productos alimenticios granulados para un centro de acopio [Tesis de grado, Universidad Politecnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27424>
- ComexPerú. (19 de 5 de 2023). *La minería metálica creció un 3.2% en el primer trimestre de 2023.* Comex Perú: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/la-mineria-metalica-crecio-un-32-en-el-primer-trimestre-de-2023>
- Díaz, F. (2017). *Diseño de tolva ligera para camiones 785 B/C y su impacto en la productividad en una empresa minera.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de Universidad Nacional de Trujillo. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2695987>

- Escolano, F. (2015). The Finite Elements Method (FEM) versus traditional Methods (TM), in the estimation of settlement and modulus of soil reaction for foundation slabs design on soils with natural or man-made cavities. *Informes de la Construcción*, 67(537). <https://doi.org/https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4063/4642>
- Escurra, J. (2020). *Diagnóstico por bajo desempeño de camión minero 785d, comparado con un 785c en la mina Shougang, Marcona, Ica.* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19401>
- Faicán, J. G. (2018). *Análisis estructural del comportamiento del chasis de un semirremolque de dos pisos construido por la empresa Carrocerías Faicán, para el transporte de pallets con botellas de agua.* [ Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. Repositorio Institucional de Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16831/1/UPS-CT008119.pdf>
- Fernandez, A. A. (2020). *Diseño y construcción de perforadora a electrohidráulica mediana para mejorar la productividad de perforación en la mina Uchucchacua.* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63350>
- Fernandez, A. A. (2020). *Diseño y construcción de perforadora electrohidráulica mediana para mejorar la productividad de perforación en la mina Uchucchacua.* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo] . Repositorio Institucional de Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63350>
- Fresno, C. (2019). Metodología de la investigación. El Cid Editor.

- Guerra, E., & Oca, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 45(1).
- <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rbct.n45.68711>
- Hernández, R., & Mendoza, P. (2018). Metodología de las investigaciones: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.
- Leonel, L. (2014). Metodología de diseño de sistemas de retención de carga en transiciones de flujo vertical-horizontal (piques, stock piles y otros) [Tesis de grado, Universidad de Chile].
- <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116453/Metodolog%C3%ADa%CC%81a-de-disen%C3%83o-de-sistemas-de-retencio%C3%81n-de-carga-en-transiciones-de-flujo.pdf?sequence=4>
- Llamocca, H. S. (2020). *Diseño De Una Carrocería Bitren Con Sistema De Volteo Lateral Para Incrementar La Carga Útil De Acarreo De Menas De Cobre A 77tn, En La Empresa Minera Condestable S.A.A.* [Tesis de grado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional de Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/868>
- Mamani, J. (2017). *Programa de aligeramiento en el peso de las tolvas por el proceso de soldadura Fcaw en la Minera Barrick para optimizar el Acarreo de Mineral.* [Tesis de grado, Universidad San Agustín]. Repositorio Institucional de Universidad San Agustín.
- <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/7eca583f-ccbe-457d-8a66-f113420cce2d>
- Mauricio, G. (2015). *Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay Y Pucamarca.* [Tesis de maestría,, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de Universidad Nacional de Ingeniería.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_5827c88d6b1abad69e712ee4cb491bf0](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_5827c88d6b1abad69e712ee4cb491bf0)

Minera Chilena. (2017). *En la ruta de la minería que viene.* Mienra Chilena.

[https://issuu.com/csa2020/docs/mch\\_434\\_digital](https://issuu.com/csa2020/docs/mch_434_digital)

Minería Chilena. (16 de agosto de 2017). *Mantenimiento en minería: Con miras a un mayor rendimiento.* Retrieved 29 de enero de 2023, from Minería chilena: <https://www.mch.cl/informes-tecnicos/mantenimiento-mineria-miras-mayor-rendimiento/#>

Ministerio de Enegía y Minas. (2022). *Perú: País Minero.* Lima: Plataforma Digital Única del Estado Peruano.

[https://www.minem.gob.pe/\\_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159#:~:text=Per%C3%BA%20es%20el%20segundo%20productor,y%20molibdeno%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina.](https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159#:~:text=Per%C3%BA%20es%20el%20segundo%20productor,y%20molibdeno%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina.)

Mirlisenna, G. (22 de 1 de 2016). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* Blog ESSS: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Moreno, P. A., Llanes, E., Guaña, W., & Jima, J. C. (2020). Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos. *Polo del Conocimiento*, 5(1). <https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1265>

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación* (5 ed.). Bogotá: Ediciones de la U. <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>

Órbita Ingeniería S.L. (24 de 5 de 2023). *Pequeña introducción acerca del factor de seguridad.* Linkedin: <https://www.linkedin.com/pulse/peque%C3%B1a-introducci%C3%B3n-%C3%81cerca-del-factor-de-seguridad/?originalSubdomain=es>

- Orellana, B. A. (2019). Modelación y estimación de esfuerzos en un camión tolva [Tesis de grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174429>
- Ortiz, O., & Canchari, G. (2017). Aplicación del modelo de colas al acarreo minero. Caso Mina Magistral. *Rev. del Instituto de Investigación*, 20(40), 32 - 41. <https://doi.org/https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14387>
- Parra, C., Tapia, O., Aballay, M., & Silva, S. (2024). Aplicación de la metodología de análisis causa raíz (rca) al sistema de tolvas de transporte de concentrado de cobre minera anglo american los bronces. [Tesis de grado, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33314.54724>
- Peñafiel, J., Arteaga, Ángel, & Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. 4(8), 43-57. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/64>
- Sajarat, Zulaikha, Nurul, L., & Simulingga, S. (2019). The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 505. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/505/1/012058/pdf>
- Salomón, L., & Ortiz, A. (2020). Modelo conceptual de sistemas de carga y acarreo de mineral en minas a cielo abierto. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 24(101), 41-50. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/333/600/>
- Vatulia, G., Gerlici, J., Fomin, O., Lovska, A., Fomina, Y., & Kravchenko, K. (2023). Analysis of the Strength of the Supporting Structure of a TwoSection Hopper Wagon under Operating Loading Conditions. *Applied Sciences*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/app13020859>

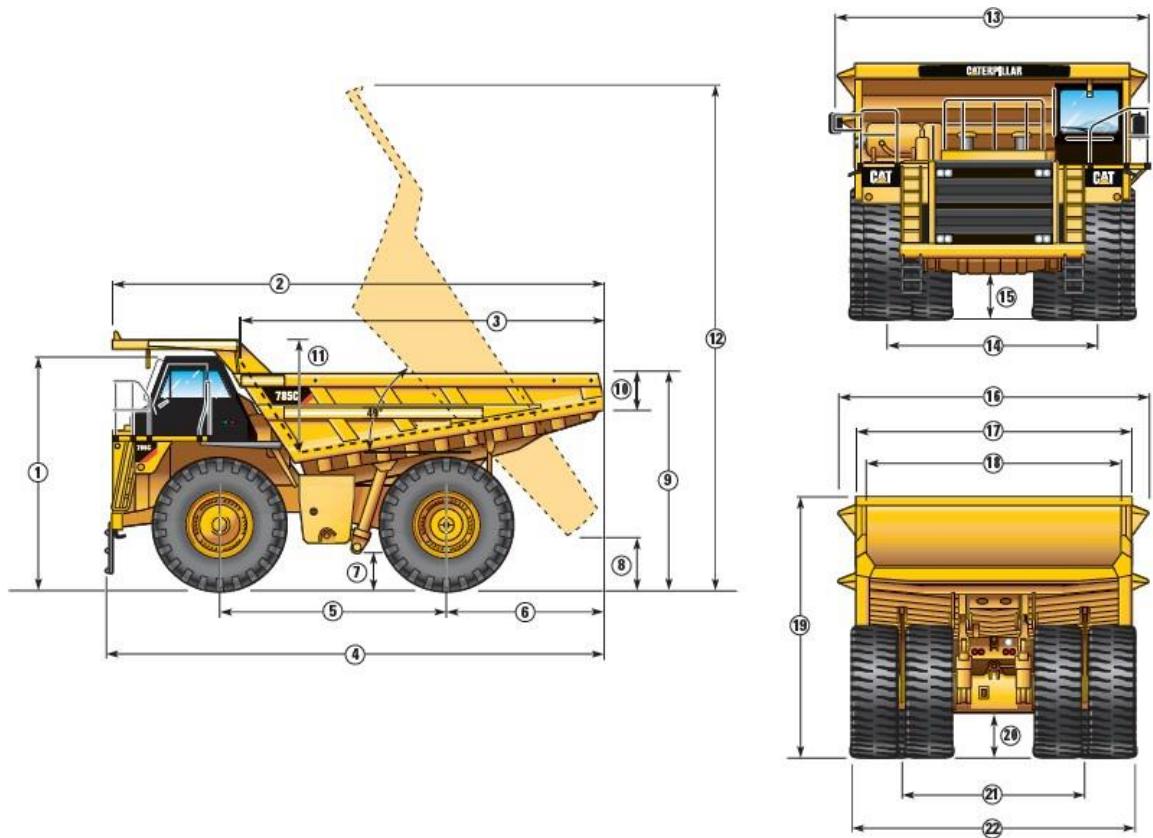
- Villafuerte, L. E. (2017). *Análisis estructural de una carrocería autoparte para un bus interprovincial mediante elementos finitos para la producción en serie*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Institucional de Universidad de las Fuerzas Armadas. <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15653>
- Villarin, N. (27 de 3 de 2023). *Esfuerzo y deformación en la resistencia de materiales: conceptos fundamentales y propiedades mecánicas*. Linkedin: <https://www.linkedin.com/pulse/esfuerzo-y-deformaci%C3%B3n-en-la-resistencia-de-conceptos-villarin/?originalSubdomain=es>
- Zaviezo, L. (2013). *Análisis de alternativas para aumentar la capacidad de carguío y transporte en división Mantoverde*. [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional de Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114393>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

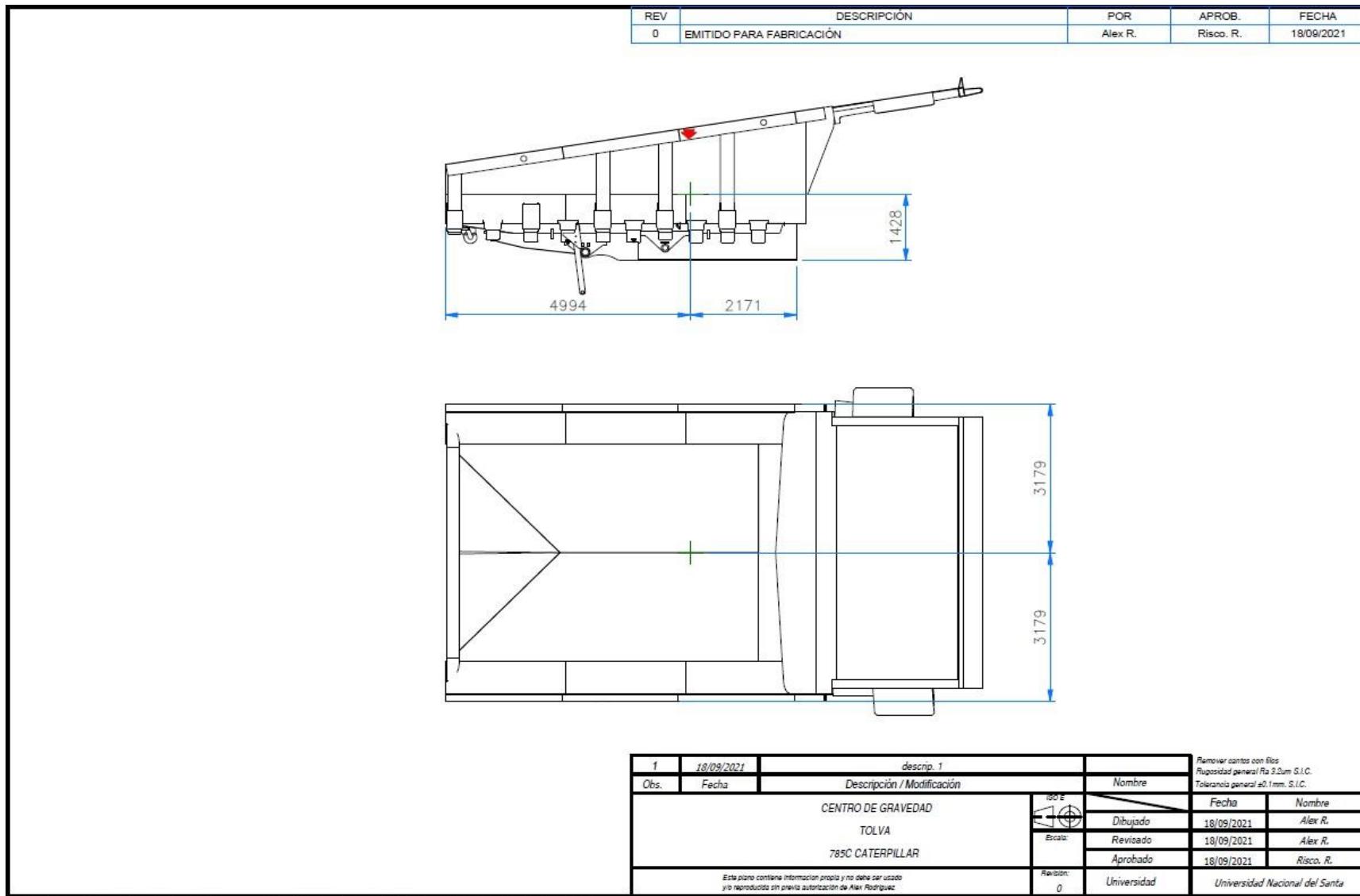
| Problema  | Objetivo   | Hipótesis  | Operacionalización de la variable  |  |  |                    | Diseño metodológico  |
|---|--|--|--|--|--|--------------------|--|
| P. General  | O. General   | H. General   | Variable   | Dimensión  | Indicadores  | Escala             |  |
| PG. ¿Cómo optimizar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido?  | OG. Optimizar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido.   | H. General<br>La optimización estructural y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar mejora el acarreo de mineral sólido. | Variable independiente:<br>Optimización estructural y geométrico de tolva. | Diseño de tolva estructural y geométrico de tolva. | Estructura y geometría de tolva<br>Optimización de Espacio   | Razón              | <p><b>Tipo de investigación:</b><br/>Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b><br/>Explicativa</p> <p><b>Enfoque de investigación:</b><br/>Cuantitativa.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b><br/>Pre experimental</p> <p><b>Población:</b><br/>20 camiones 785c Caterpillar</p> <p><b>Muestra:</b><br/>1 camión 785C Caterpillar</p> |
| PE1. ¿Cómo es la estructura y geometría actual de la tolva en camiones mineros 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido?  | OE1. Analizar la estructura y geometría actual de la tolva en camiones mineros 785C Caterpillar para el acarreo de mineral sólido.   |  |  |  | Anchura de la tolva (m)                                      | Razón              |  |
| PE2. ¿Cómo diseñar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar aplicando métodos de diseño mecánico?  | OE2. Diseñar la estructura y geométrica de la tolva del camión minero 785C Caterpillar aplicando métodos de diseño mecánico.   |  |  |  | Factor de seguridad  | Razón              |  |
| PE3. ¿De qué manera se va mejorar la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo diseño estructural y geométrico propuesto?  | OE3. Mejorar la tolva de un camión minero 785C Caterpillar con base al nuevo diseño estructural y geométrico propuesto.  |  | Variable dependiente:<br>Acarreo de mineral sólido                         | Nivel de producción                                | % incremento de producción por equipó                        | Razón              |  |
| PE4. ¿Cuál es el impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral sólido en camiones mineros 785C Caterpillar mediante la optimización estructural y geométrica de la tolva? | OE4. Evaluar el impacto económico y operativo durante el acarreo de mineral sólido en camiones mineros 785C Caterpillar mediante la optimización estructural y geométrica de la tolva. |  |  |  | % Disponibilidad mecánica<br>Consumo de combustible (Gal/Hr) | Razón              |  |
|   |  |  |  |  | Costo de carguío   | Costo de operación | Razón  |

## Anexo 2. Tolva de camión minero 785C sin aligeramiento

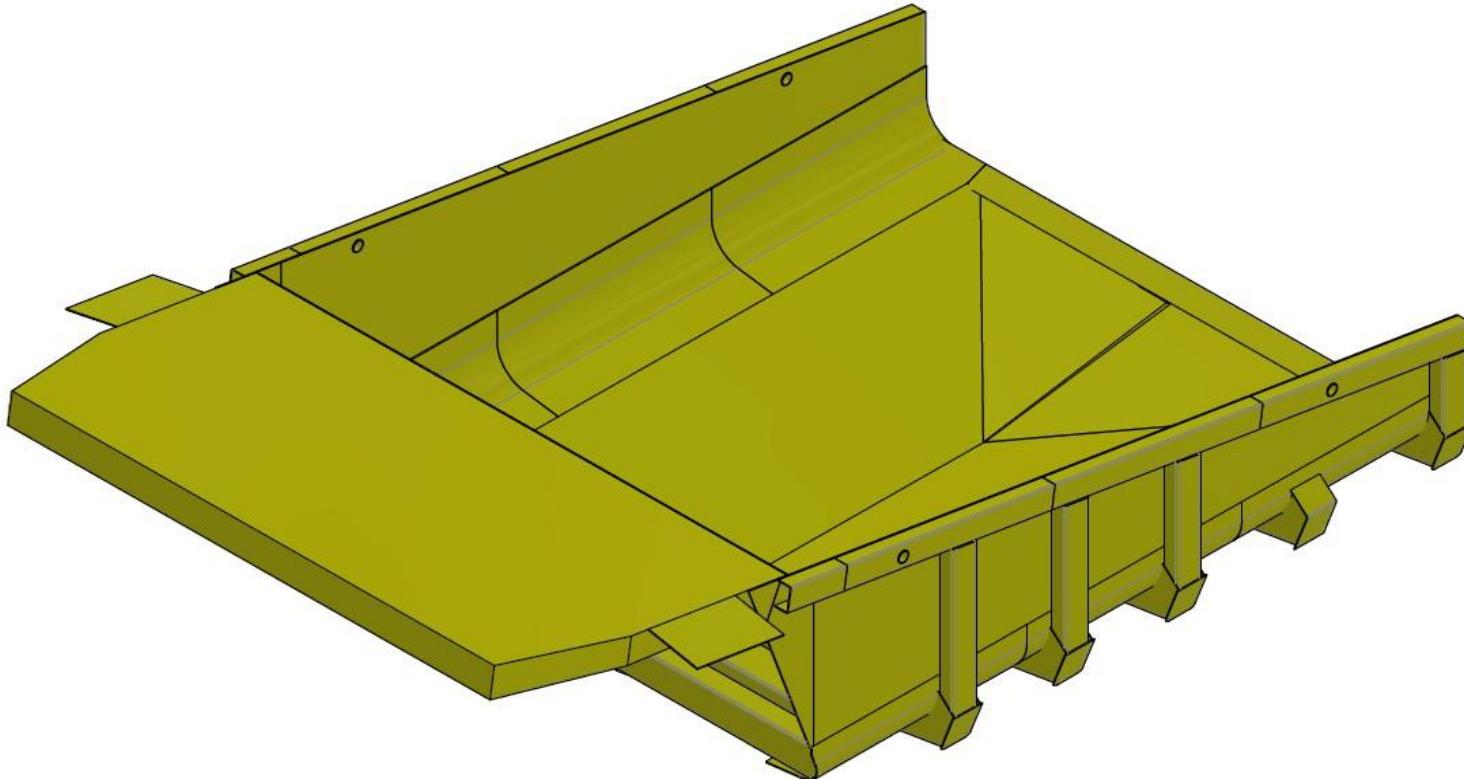


|           |  |           |                 |
|-----------|--|-----------|-----------------|
| <b>1</b>  | Altura hasta la parte superior<br>de la ROPS               | 5.122 mm  | 16 pies 10 pulg |
| <b>2</b>  | Longitud de la caja total                                  | 10.615 mm | 34 pies 10 pulg |
| <b>3</b>  | Longitud interior de la caja                               | 7.652 mm  | 25 pies 2 pulg  |
| <b>4</b>  | Longitud total   | 11.024 mm | 36 pies 3 pulg  |
| <b>5</b>  | Distancia entre ejes                                       | 5.182 mm  | 17 pies 0 pulg  |
| <b>6</b>  | Eje trasero a la cola                                      | 3.410 mm  | 11 pies 3 pulg  |
| <b>7</b>  | Espacio libre sobre el suelo                               | 987 mm    | 3 pies 3 pulg   |
| <b>8</b>  | Espacio libre de descarga                                  | 1.284 mm  | 4 pies 3 pulg   |
| <b>9</b>  | Altura de la carga – vacía                                 | 4.968 mm  | 16 pies 4 pulg  |
| <b>10</b> | Altura de la pared lateral trasera                         | 906 mm    | 3 pies 0 pulg   |
| <b>11</b> | Profundidad interior<br>de la caja - máxima                | 2.132 mm  | 7 pies 0 pulg   |
| <b>12</b> | Altura total – caja elevada                                | 11.207 mm | 36 pies 10 pulg |
| <b>13</b> | Ancho en orden de trabajo                                  | 6.640 mm  | 21 pies 10 pulg |
| <b>14</b> | Ancho del neumático delantero<br>de la línea de centro     | 4.850 mm  | 15 pies 11 pulg |
| <b>15</b> | Espacio libre del protector del motor                      | 1.057 mm  | 3 pies 6 pulg   |
| <b>16</b> | Ancho total del techo                                      | 6.200 mm  | 20 pies 5 pulg  |
| <b>17</b> | Ancho exterior de la caja                                  | 5.890 mm  | 19 pies 4 pulg  |
| <b>18</b> | Ancho interior de la caja                                  | 5.510 mm  | 18 pies 1 pulg  |
| <b>19</b> | Altura del techo delantero                                 | 5.769 mm  | 19 pies 0 pulg  |
| <b>20</b> | Espacio libre del eje trasero                              | 1.080 mm  | 7 pies 3 pulg   |
| <b>21</b> | Ancho del neumático doble trasero<br>de la línea de centro | 4.285 mm  | 14 pies 1 pulg  |
| <b>22</b> | Ancho total del neumático                                  | 6.274 mm  | 20 pies 8 pulg  |

Anexo 3. Tolva de camión minero 785C con aligeramiento



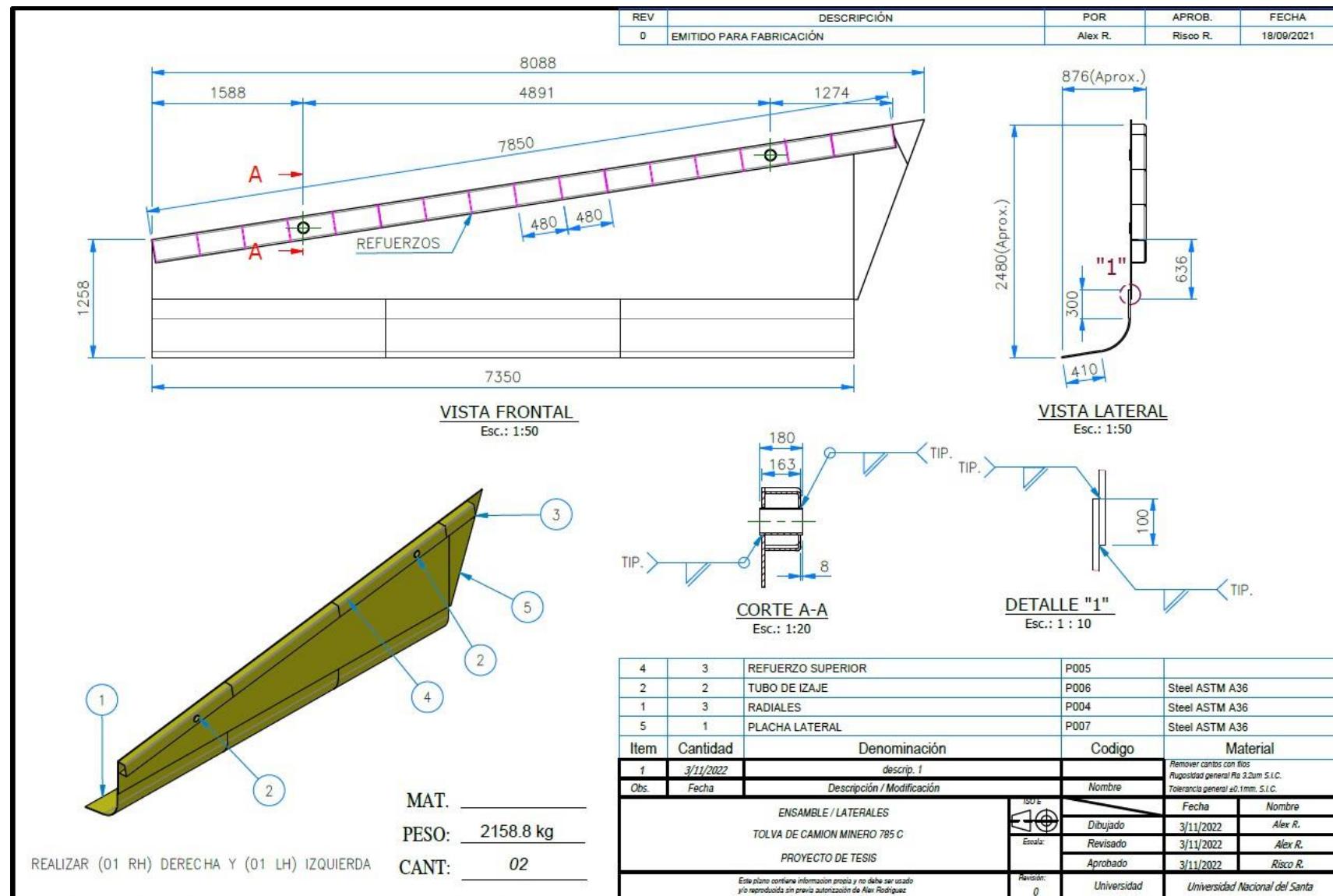
Anexo 4. Presentación tolva de camión minero 785C con aligeramiento

| REV   | DESCRIPCIÓN              |                            | POR  | APROB.                | FECHA                          |
|---|--------------------------|----------------------------|--|-----------------------|--------------------------------|
| 0   | EMITIDO PARA FABRICACIÓN |                            | Alex R.  | Risco R.              | 18/09/2021                     |
|    |                          |                            |  |                       |                                |
| 1   | 3/11/2022                | descrip. 1                 |  |                       |                                |
| Obs.  | Fecha                    | Descripción / Modificación | Nombre   |                       |                                |
| <b>PRESENTACION</b><br><b>TOLVA DE CAMION MINERO 785 C</b><br><b>PROYECTO TESIS</b>   |                          |                            | ISO E<br> | Fecha                 | Nombre                         |
| <small>Este plano contiene información propia y no debe ser usado y/o reproducida sin previa autorización de Alex Rodriguez</small> |                          |                            |  | Dibujado<br>3/11/2022 | Alex R.                        |
|   |                          |                            |  | Revisado<br>3/11/2022 | Alex R.                        |
|   |                          |                            |  | Aprobado<br>3/11/2022 | Risco R.                       |
|   |                          |                            | Revisión:<br>0   | Universidad           | Universidad Nacional del Santa |
| <i>Remover cantos con rulos<br/>Rugosidad general Ra 3.2um S.I.C.<br/>Tolerancia general ±0.1mm. S.I.C.</i>                         |                          |                            |  |                       |                                |

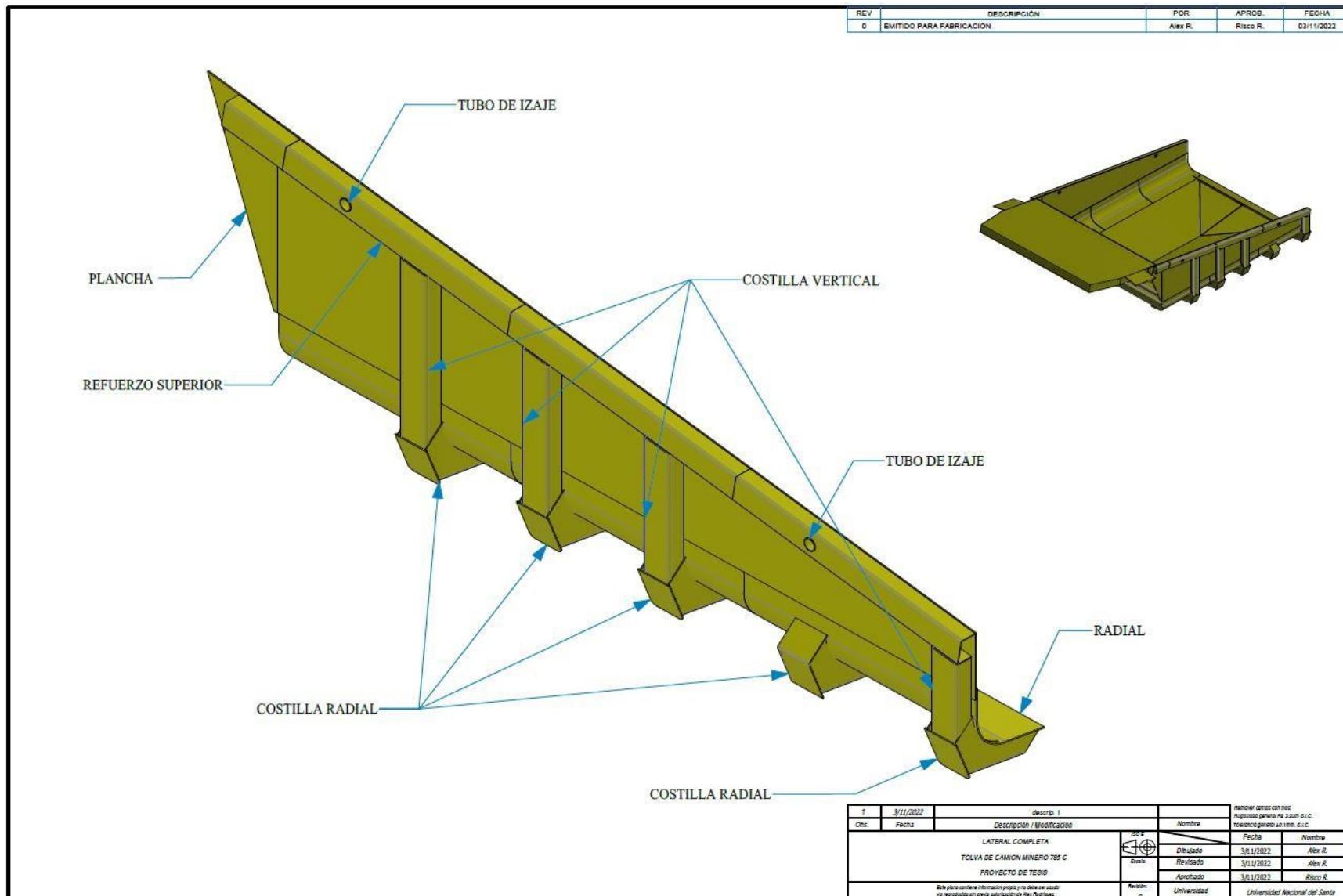
Anexo 5. Laterales de la tolva 785C con el aligeramiento

| REV   | DESCRIPCIÓN              | POR                        | APROB.    | FECHA  |
|---|--------------------------|----------------------------|-----------|--|
| 0   | EMITIDO PARA FABRICACIÓN | Alex R.                    | Risco R.  | 18/09/2021   |
|   |                          |                            |           |  |
| 1   | 18/09/2021               | descrip. 1                 |           |  |
| Obs.  | Fecha                    | Descripción / Modificación | Nombre    |  |
| LATERALES RH / LH<br>CAMION MINERO 785C<br>PROYECTO DE TESIS  |                          |                            | ISO E     | Remover cantos con filer<br>Rugosidad general Ra 3.2um S.I.C.<br>Tolerancia general ±0.1mm. S.I.C. |
|   |                          |                            | Dibujado  | Fecha<br>Alex R.   |
|   |                          |                            | Revisado  | Fecha<br>Alex R.   |
|   |                          |                            | Aprobado  | Fecha<br>Risco R.  |
| Este plano contiene información propia y no debe ser usado<br>y/o reproducido sin previa autorización de Alex Rodríguez |                          |                            | Revisión: | Universidad<br>Universidad Nacional del Santa  |

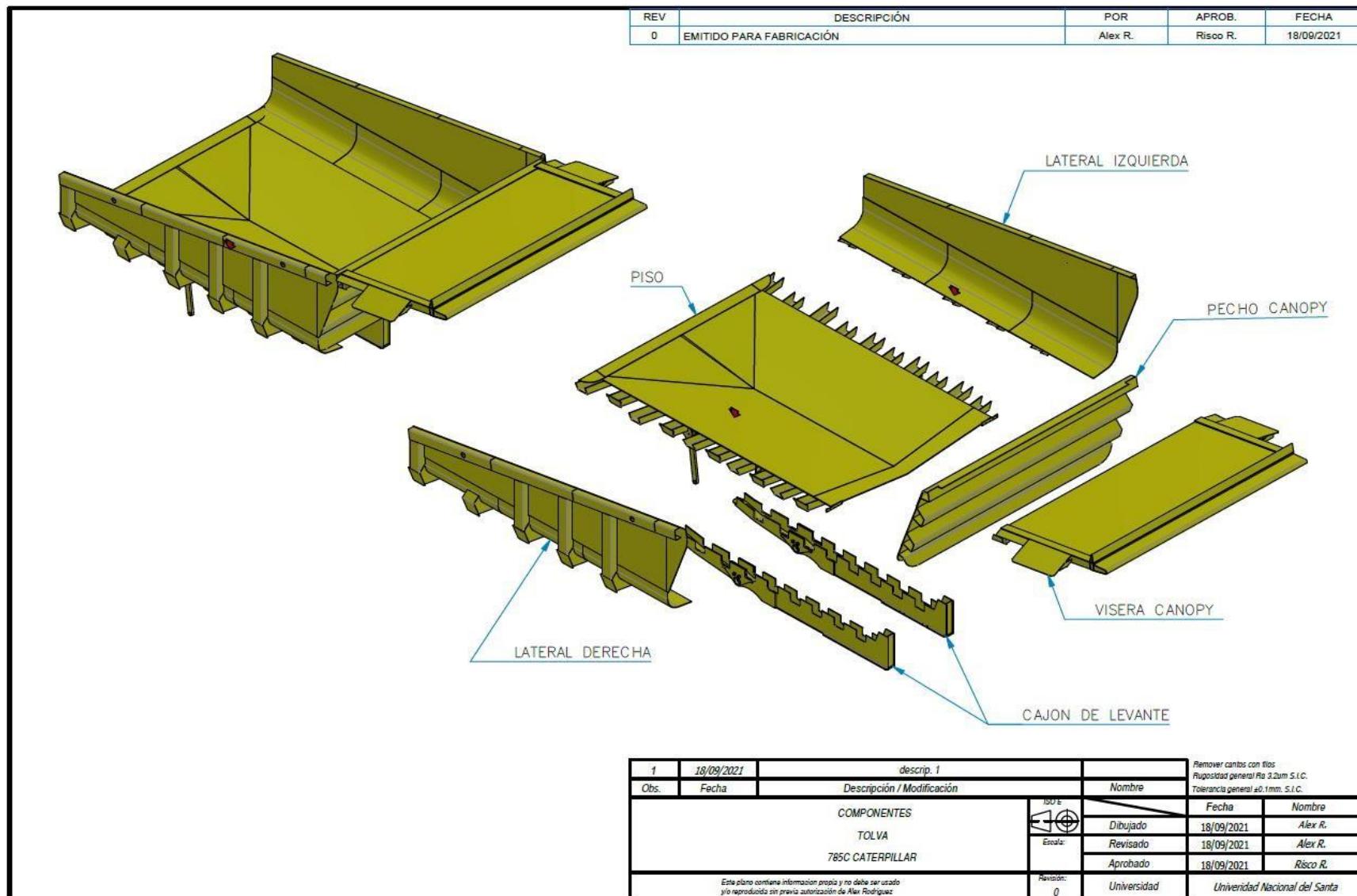
Anexo 6. Ensamble de laterales de la tolva del camión 785C



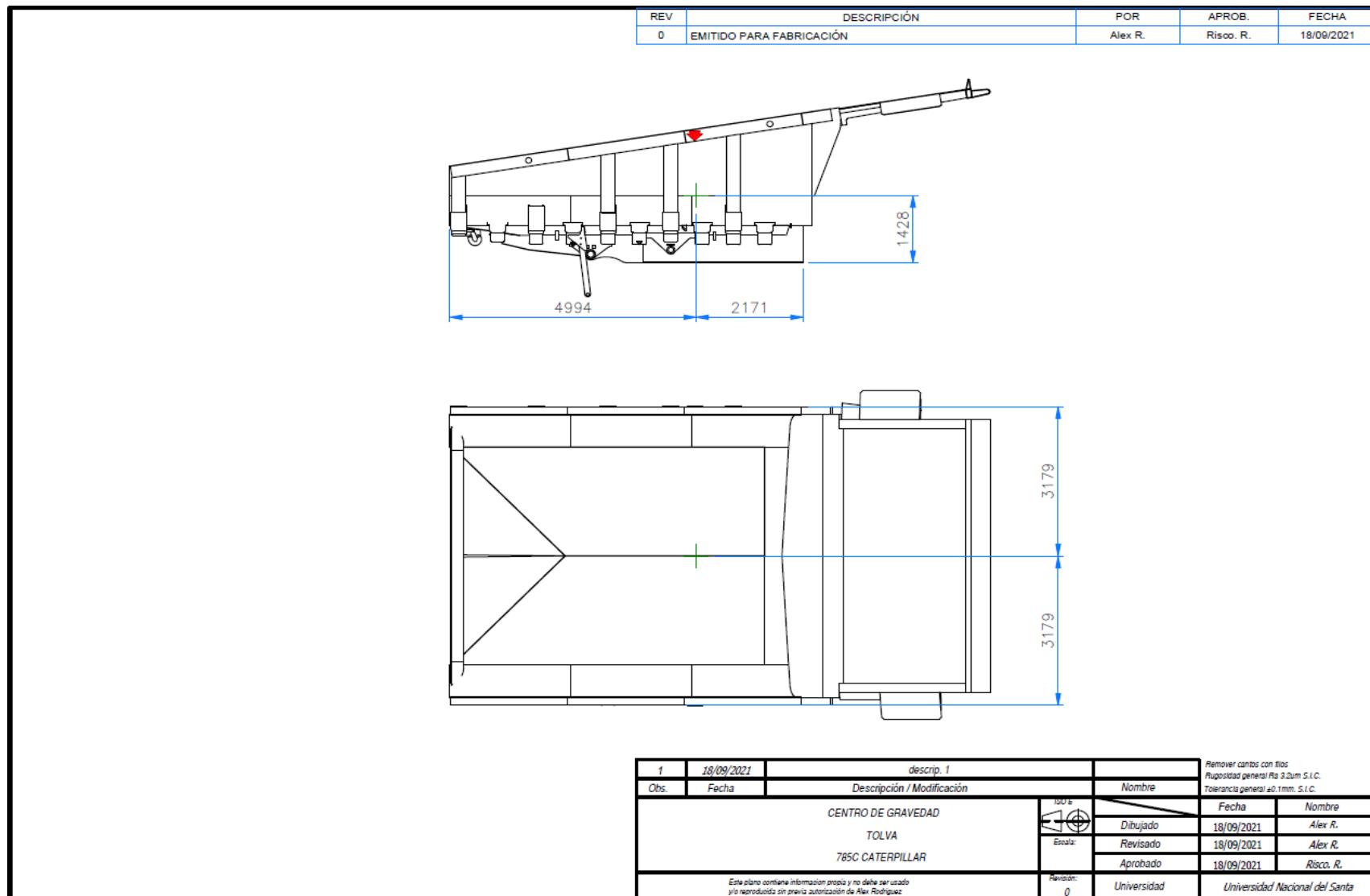
Anexo 7. Lateral completa de la tolva camión 785C



Anexo 8. Componentes de la tolva 785C



Anexo 9. Centro de gravedad de la tolva 785C con el aligeramiento



## Anexo 10. Acero A36 Propiedades

| Propiedades                      | Valor Aproximado   | Datos  |
|----------------------------------|--|--|
| <b>Dureza (Brinell)</b>          | 119–159 HBW  | Esto significa que el acero es un material relativamente suave.  |
| <b>Módulo de Elasticidad</b>     | 200 GPa  | Mide la rigidez y la capacidad para recuperar su forma original después de aplicar una carga.              |
| <b>Densidad</b>                  | 7.85 g/cm <sup>3</sup>   | Afecta su peso y su capacidad para resistir la carga.  |
| <b>Peso</b>                      | 37.39 kg/m <sup>2</sup> , hasta llegar a un total de 1196.34 kg/m <sup>2</sup> | Estimación de peso en una placa de acero A36.  |
| <b>Resistencia a la Tracción</b> | 400–550 MPa  | Es la fuerza máxima que puede soportar un material antes de que se rompa.                                  |
| <b>Límite Elástico</b>           | 250 MPa  | Este es el punto de tensión máximo que el metal puede soportar sin experimentar deformación permanente.    |
| <b>Elongación</b>                | 50 mm (2"): 23 %   | Capacidad de un material que puede deformarse antes de romperse.   |
| <b>Conductividad Térmica</b>     | 45 W/mK  | Esto significa que el acero A36 puede conducir el calor a una velocidad de 45 vatios por metro por kelvin. |
| <b>Límite de fluencia</b>        | 250 MPa, que se traduce a 36 KSI   | Permite que el material tenga utilidad para la formación de barras, planchas, perfiles estructurales, etc. |

Fuente: <https://maxacero.mx/blog/que-es-el-acero-a36-usos-y-propiedades/>

## Anexo 11. HARDOX450/500 Propiedades

| PROPIEDADES MECÁNICAS | COMPOSICIÓN QUÍMICA                                   |         |           |
|-----------------------|---|---------|-----------|
|                       | Espesor<br>(mm)                                       |         |           |
|                       | Dureza <sup>1)</sup><br>(HBW)                         |         |           |
|                       | Límite de elasticidad típico (MPa),<br>no garantizado |         |           |
| HARDOX 450            | 2.50-8.00   | 425-75  | 1100-1300 |
| HARDOX 500            | 3.00-6.50   | 470-530 | 1400      |

|            | C <sup>4)</sup><br>(max %) | Si <sup>4)</sup><br>(max %) | Mn <sup>4)</sup><br>(max %) | P<br>(max %) | S<br>(max %) | Cr <sup>4)</sup><br>(max %) | Ni <sup>4)</sup><br>(max %) | Mo <sup>4)</sup><br>(max %) | B <sup>4)</sup><br>(max %) |
|------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| HARDOX 450 | 0.23                       | 0.50                        | 1.60                        | 0.025        | 0.010        | 1.20                        | 0.25                        | 0.25                        | 0.005                      |
| HARDOX 500 | 0.27                       | 0.50                        | 1.60                        | 0.025        | 0.010        | 1.20                        | 0.25                        | 0.25                        | 0.005                      |

Fuente: [https://perumetalescorporacion.com/hardox\\_450\\_500.php](https://perumetalescorporacion.com/hardox_450_500.php)

## Anexo 12. Tabla de cuadros de espesores de la tolva

### Principales componentes de tolva

#### 1. Costillas verticales



**Comentarios:** Plancha 1/2" con doblez en C, soldada en la parte lateral de la tolva para evitar el ensanchamiento de esta. Tiene longitudes de 900 (2), 1300 (2), 1500 (2) y 1800 (2)

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 8        | ASTM A36 | 300 Kg     |

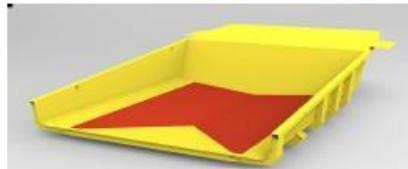
#### 3. Plancha radial



**Comentarios:** Plancha rolada de 1/2" soldada con la plancha lateral y el piso. C

| Datos | Cantidad | Material   | Peso total |
|-------|----------|------------|------------|
|       | 6        | hardox 450 | 1800 Kg    |

#### 5. Piso



**Comentarios:** Plancha sacrificio de 5/8", lugar en donde se acumulará la mayor parte del material

#### 2. Costillas radiales



**Comentarios:** Plancha 3/8" especial con doblez soldada en la parte inferior de piso con la plancha radial para dar rigidez a la union

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 10       | ASTM A36 | 490 Kg     |

#### 4. Plancha lateral



**Comentarios:** Plancha de 1/2" colocada en los laterales para la recepcion del material

| Datos | Cantidad | Material   | Peso total |
|-------|----------|------------|------------|
|       | 2        | hardox 450 | 1925 Kg    |

#### 6. Triangulo de descarga

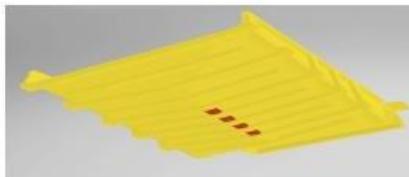


**Comentarios:** Plancha de 5/8", soldada con el piso apoya en la descarga del material

**7. Refuerzo superior**

**Comentarios:** Plancha 3/8" con doblez en C, soldada en la parte lateral de la tolva, sirviendo tambien de apoyo en el izaje, long. Aprox 7850mm

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 2        | ASTM A36 | 303 Kg     |

**9. Ducto de gases**

**Comentarios:** Plancha 1/4" con doblez en C, soldada al piso permite el paso de gases a lo largo del piso

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 7        | ASTM A36 | 68 Kg      |

**11. Refuerzo intermedio**

**Comentarios:** Plancha 3/8" con doblez en C, soldada al pecho canopy, sirve de refuerzo en la parte delantera de la tolva

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 2        | ASTM A36 | 45 Kg      |

**8. Viga cola de pato**

**Comentarios:** Plancha 5/8" soldada en la parte baja del triangulo de descarga con su respectiva viga

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 1        | ASTM A36 | 381 Kg     |

**10. Refuerzo inferior**

**Comentarios:** Plancha 3/8" con doblez en C, soldada al pecho canopy, sirve de refuerzo en la parte delantera de la tolva

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 1        | ASTM A36 | 45 Kg      |

**12. Refuerzo superior**

**Comentarios:** Plancha 3/8" con doblez en L, soldada al pecho canopy, sirve de refuerzo en la parte delantera de la tolva

| Datos | Cantidad | Material | Peso total |
|-------|----------|----------|------------|
|       | 1        | ASTM A36 | 25 Kg      |

Anexo 13. Factor de Seguridad real

**Figura 41**

Resultados de la tolva aligerada en inventor

| Name                 | Minimum                     | Maximum          |
|----------------------|-----------------------------|------------------|
| Volume               | 2.68127E+09 mm <sup>3</sup> |                  |
| Mass                 | 21047.9 kg                  |                  |
| Von Mises Stress     | 0 MPa                       | 152.729 MPa      |
| 1st Principal Stress | -11.9556 MPa                | 154.719 MPa      |
| 3rd Principal Stress | -140.045 MPa                | 30.6122 MPa      |
| Displacement         | 0 mm                        | 48.4278 mm       |
| Safety Factor        | 1.62526 ul                  | 15 ul            |
| Stress XX            | -112.926 MPa                | 128.412 MPa      |
| Stress XY            | -21.1973 MPa                | 85.072 MPa       |
| Stress XZ            | -50.5876 MPa                | 50.3769 MPa      |
| Stress YY            | -41.2828 MPa                | 90.6092 MPa      |
| Stress YZ            | -9.16778 MPa                | 9.35017 MPa      |
| Stress ZZ            | -45.0922 MPa                | 52.7043 MPa      |
| X Displacement       | -7.79983 mm                 | 1.55595 mm       |
| Y Displacement       | -47.8475 mm                 | 0.265817 mm      |
| Z Displacement       | -0.597566 mm                | 0.595817 mm      |
| Equivalent Strain    | 0 ul                        | 0.000666383 ul   |
| 1st Principal Strain | -0.00000688028 ul           | 0.000651432 ul   |
| 3rd Principal Strain | -0.000616542 ul             | 0.00000853593 ul |
| Strain XX            | -0.000440232 ul             | 0.000477829 ul   |
| Strain XY            | -0.000137811 ul             | 0.000553081 ul   |
| Strain XZ            | -0.000328887 ul             | 0.000327517 ul   |
| Strain YY            | -0.000163854 ul             | 0.000335331 ul   |
| Strain YZ            | -0.0000596028 ul            | 0.0000607886 ul  |
| Strain ZZ            | -0.000151516 ul             | 0.000150819 ul   |
| Contact Pressure     | 0 MPa                       | 206.377 MPa      |
| Contact Pressure X   | -149.51 MPa                 | 190.216 MPa      |
| Contact Pressure Y   | -80.0734 MPa                | 145.685 MPa      |
| Contact Pressure Z   | -77.9745 MPa                | 99.0272 MPa      |

*Nota.* Tolva aligerada. *Obtenido* de Inventor

Basandome en los resultados de la simulación en inventor y las propiedades del material

$$FS = \frac{S_Y}{\sigma_{max}}$$

Donde:

$S_Y$  = límite elástico.

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo de vom mises.

$$FS = \frac{290 \text{ MPa}}{152.729 \text{ MPa}}$$

$$FS = 1.898$$

Difiere con la simulación porque es de 1.63 como mínimo y como maximo de 15. Los resultados obtenidos en la simulación se deben fundamentalmente a que el análisis por elementos finitos identifica concentraciones de esfuerzo locales en zonas críticas de la geometría que el cálculo manual simplificado no puede detectar. El software detecta puntos específicos, como esquinas, soldaduras y cambios bruscos de sección, donde se generan picos de tensión muy superiores al esfuerzo promedio. Además, tiene en cuenta las condiciones reales de restricción y carga, que crean distribuciones complejas de tensiones. Esto hace que el factor de seguridad de la simulación sea más conservador y represente de manera más fiel el comportamiento real de la estructura bajo carga, por lo que es el valor más fiable para garantizar un diseño seguro.

Anexo 14. Resumen de los resultados teóricos

| Categoría              | Parámetro            | Resultado        |
|------------------------|----------------------|------------------|
| Cálculos estructurales | Carga Muerta (M)     | 2447.3988 kN     |
|                        | Masa Material        | 150.54 tn        |
|                        | Carga Viva (V)       | 1476.79 kN       |
| Análisis von mises     | Esfuerzo Normal X    | 152.66 Mpa       |
|                        | Esfuerzo Von Mises   | 152.66 Mpa       |
| Factor seguridad       | FS Tracción          | 128.88 Mpa       |
|                        | FS Compresión        | 118.85 Mpa       |
|                        | FS Real              | 1.898            |
| Tensiones planos       | XY - Máxima          | 9.25 Mpa         |
|                        | XY - Mínima          | 1.625 Mpa        |
|                        | XZ - Máxima          | 50.3 Mpa         |
|                        | XZ - Mínima          | 50.5 Mpa         |
|                        | YY - Máxima          | 85.3 Mpa         |
|                        | YY - Mínima          | 11.0 Mpa         |
|                        | YZ - Máxima          | 93.5 Mpa         |
|                        | YZ - Mínima          | 8.75 Mpa         |
|                        | ZZ - Máxima          | 52.5 Mpa         |
|                        | ZZ - Mínima          | 13.5 Mpa         |
| Presiones contacto     | Pressure - Máx       | 95.32 Mpa        |
|                        | Pressure X - Máx     | 189.75 Mpa       |
|                        | Pressure Y - Máx     | 395.25 Mpa       |
|                        | Pressure Y - Mín     | 95.23 Mpa        |
|                        | Pressure Z - Máx     | 99.00 Mpa        |
| Cálculos operativos    | Carga Útil Adicional | 15.26 tn         |
|                        | Tn Adicionales/Mes   | 27,697 tn/mes    |
|                        | Tn Adicionales/Año   | 6,647,256 tn/año |

Nota. Elaboracion propia