



# **Análisis de falla de los cilindros hidráulicos de una canasta auto descargable**

**MARBIN ANDRES RODRIGUEZ MONTAÑO**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Buga, Colombia

2020

# **Análisis de falla de los cilindros hidráulicos de una canasta auto descargable**

**MARBIN ANDRES RODRIGUEZ MONTAÑO**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Ing. Adriana López Vargas.

Línea de Investigación:

Mejoramiento Industrial.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Buga, Colombia

2020

*(Dedicatoria o lema)*

*La vida no es ningún pasillo recto y fácil que recorreremos libres y sin obstáculos, sino un laberinto de pasadizos, en el que tenemos que buscar nuestro camino, perdidos y confusos, detenidos, de vez en cuando, por un callejón sin salida.*

*Pero, si tenemos fe, siempre se abre una puerta ante nosotros; quizá no sea la que imaginamos, pero será, finalmente, la que demuestre ser buena para nosotros.*

*A. J. Cronin*

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres por haberme brinda su apoyo incondicional y ser un pilar en esta meta que me fije. Además, agradezco a los docentes por su entrega y compromiso con nuestro aprendizaje. Agradezco a todos mis compañeros con los cuales pasamos momentos buenos y malos.

## Resumen

Dentro de los sectores económicos del país se destaca el gremio azucarero, el cual dentro de sus actividades incorpora un sin número de equipos para sus procesos de siembra, cosecha y procesamiento. Los vagones auto descargables hacen parte de la cosecha y juegan un rol muy importante, ya que son los encargados de transportar la caña cosechada desde los cultivos hasta los trenes cañeros. En un ingenio azucarero se ha venido presentando fallas constantes en las canastas auto descargables (pandeo en cilindros hidráulicos), reduciendo la capacidad productiva. Al cabo de un año, se cambiaron 70 cilindros con un costo aproximado de 130 millones. Por esta razón, en este trabajo se realizó un análisis de las condiciones de trabajo, en búsqueda de los factores que producen la falla. Para esto se realizó un estudio de condiciones actuales de trabajo que nos permitió calcular el desplazamiento del centro de masa y el cambio de la misma, basado en simulaciones realizadas en SolidWorks según el desplazamiento del cilindro, un cálculo de esfuerzos a las que están sometidos los cilindros hidráulicos en conjunto a la capacidad de carga a ese grado desplazamiento. Esto permitió identificar que el cilindro y el material en que están diseñados son los adecuados para el sistema, pero se están generando condiciones temporales de carga.

Después de los análisis realizados al cilindro se decide realizar un análisis de causa raíz, en búsqueda de evidenciar que condiciones externas están ocasionando la falla. Se obtiene como resultado que existen problemas estructurales que están cambiando las condiciones de operación de los cilindros, por este motivo se toma la decisión de diseñar un plan de mantenimiento predictivo para evidenciar fallas antes de que estas desencadenen en la deformación en los cilindros.

**PALABRAS CLAVE:** Cosecha de caña, pandeo, cilindros hidráulicos, canasta auto descargable

## Abstract

Within the economic sectors of the country, the sugar industry stands out, which within its activities incorporates a number of equipment for its sowing, harvesting and processing processes. Self-unloading wagons are part of the harvest and play a very important role, since they are in charge of transporting the harvested cane from the crops to the sugarcane trains. In a sugar mill there have been constant failures in the self-unloading baskets (buckling in hydraulic cylinders), reducing the productive capacity. Within a year, 70 cylinders were changed at a cost of approximately 130 million. For this reason, in this work an analysis of the working conditions was carried out, in search of the factors that produce the failure. For this, a study of current working conditions was carried out that allowed us to calculate the displacement of the center of mass and its change, based on simulations carried out in SolidWorks according to the displacement of the cylinder, a calculation of the forces to which the elements are subjected. hydraulic cylinders in conjunction to load capacity at that displacement degree. This made it possible to identify that the cylinder and the material in which they are designed are suitable for the system, but temporary loading conditions are being generated.

After the analyzes carried out on the cylinder, it was decided to carry out a root cause analysis, in search of showing what external conditions are causing the failure. The result is that there are structural problems that are changing the operating conditions of the cylinders, for this reason the decision is made to design a predictive maintenance plan to show failures before they trigger the deformation of the cylinders.

**KEYWORDS:** Cane harvest, buckling, hydraulic cylinders, self-unloading basket

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>1</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>3</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Contextualización.....</b>	<b>7</b>
1.1 Transporte de caña de azúcar .....	7
1.1.1 Vagón H.D. (Heavy Duty).....	8
1.1.2 VAGONES AUTODESCARGABLES.....	8
1.2 Descripción del problema .....	9
1.3 Justificación .....	10
1.4 OBJETIVOS .....	11
1.4.1 General.....	11
1.4.2 Específicos.....	11
1.5 Alcances.....	11
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
2.1 Estudio dinámico .....	13
2.1.2 Fuerzas externas e internas.....	13
2.1.3 Principio de transmisividad.....	13
2.1.4 Tipos de apoyo.....	14
2.1.5 Diagrama de cuerpo libre .....	14
2.2 Resistencia de materiales.....	15
2.3 Hidráulica.....	15
2.3.1 Principio de pascal .....	15
2.3.2 Cilindros hidráulicos .....	16
• Cilindros de simple efecto .....	16
• Cilindros de doble efecto.....	17
2.3.3 Sellos hidráulicos .....	18
2.4 Pandeo .....	18
2.4.1 Métodos de estudios de pandeo.....	19
• Método tradicional.....	19
• NORMA ISO 13725.....	21
2.4.2 ESTUDIOS DE PANDEO.....	22
2.5 Métodos de análisis de falla.....	24
2.5.1 Analítico .....	24
2.5.2 Numérico.....	24

2.5.3	Experimental.....	25
2.6	Diseño de cilindros hidráulicos .....	26
2.7	Análisis de causa raíz.....	26
2.7.1	Los 5 porque.....	27
2.7.3	Análisis de tareas .....	27
2.7.4	Árbol de fallas.....	27
2.7.5	Análisis de barreras .....	27
2.7.6	Análisis de modos de falla .....	27
<b>3.</b>	<b>Análisis de sistema.....</b>	<b>29</b>
3.1	Cálculo de capacidad de carga a pandeo de cilindro.....	29
3.2	Capacidad de carga de canasta .....	33
3.3	Análisis estático.....	34
<b>4.</b>	<b>Análisis de causa raíz.....</b>	<b>42</b>
4.1	Adquisición de la información .....	42
4.2	Tratamiento de la información .....	43
<b>5.</b>	<b>Plan de mantenimiento.....</b>	<b>46</b>
5.1	Medidas estructura.....	46
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>49</b>
6.1	Conclusiones.....	49
6.2	Recomendaciones.....	50
<b>A.</b>	<b>Anexo: Tabla resultados análisis estático .....</b>	<b>51</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Plan de mantenimiento .....</b>	<b>55</b>
<b>C.</b>	<b>Informe técnico .....</b>	<b>56</b>
<b>D.</b>	<b>Tipos de apoyos.....</b>	<b>58</b>
<b>E.</b>	<b>Captura de cortes en SolidWorks .....</b>	<b>59</b>
<b>F.</b>	<b>Capturas historiales de fallas .....</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>63</b>

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Tipos de cadeneo.....	7
Figura 1-2: Canasta .....	8
Figura 1-3: Funcionamiento de canasta auto descargable. ....	9
Figura 1-4: Falla de cilindros hidráulicos .....	10
Figura 2-1 Principio de transmisibilidad.....	14
Figura 2-2: Diagrama de cuerpo libre para la situación.....	14
Figura 2-3: Tipos de esfuerzos en un elemento .....	15
Figura 2-4: Ley de Pascal.....	16
Figura 2-5: Cilindros de simple efecto. ....	17
Figura 2-6: Cilindros de doble efecto.....	17
Figura 2-7: Vástago como columna .....	18
Figura 2-8: grafico de datos de ensayos para columnas de acero .....	20
Figura 2-9: Longitudes cilindro para cálculo de carga critica.....	21
Figura 2-10: Esquema propuesto por Bennet .....	23
Figura 2-11: Análisis de elemento finito .....	24
Figura 2-12: Experimento destructivo.....	25
Figura 3-1: Dimensiones cilindro.....	29
Figura 3-2: Gráfico de carga vs carrera del cilindro (sección constante). ....	31
Figura 3-3: Gráfico de carga vs carrera del cilindro (sección escalonada).....	33
Figura 3-4. Apoyos vagón autodescargable.....	34
Figura 3-5. Diagrama de cuerpo libre cilindro.....	35
Figura 3-6. Diagrama de cuerpo libre.....	35

<b>Figura 3-7: Triángulo formado entre los puntos de anclaje cilindro- canasta .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 3-8: Simulación a 0 grados desplazamiento.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 3-9: Simulación a 46 grados desplazamiento.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 3-10 Gráfico comparativo capacidad de carga Euler- Carga en el cilindro. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 3-11: Gráfico comparativo capacidad de carga Euler- carga en el cilindro por dos. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 4-1: Captura de pantalla programa SAP .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 4-2: Captura formato histórico de falla. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4-3: Gráfico de Pareto partes.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 4-4: Gráfico de Pareto síntomas y causas.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 5-1: Medidas carril móvil, cajón y chasis.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5-2: Medidas chasis. ....</b>	<b>47</b>

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Medidas de los cilindros. ....	29
Tabla 3-2: Densidad de carga según el tipo de corte.....	33
Tabla 3-3: resultados de simulación (información parcial). ....	38
Tabla 4-1. Acumulado de tallas por partes. ....	44
Tabla 4-2: Síntoma y causa.....	45

## Introducción

La producción de azúcar se ha mantenido durante mucho tiempo como una de las principales actividades económicas de Colombia y del departamento del valle del cauca, generando desarrollo y más de 290 mil empleos según informes de Asocaña, otros estudios internacionales como el de la LMC (consultoría de negocios líder en el mundo de la agroindustria) consideran a Colombia como uno de los países que más azúcar produce. Esta agroindustria tiene múltiples procesos (labores siembra, cosecha, transporte y transformación de materia prima). Estas actividades requieren de muchos equipos, los cuales están en operación las 24 horas, de ahí la necesidad de que estos se encuentren en óptimas condiciones. En la actividad de cosecha se usan canastas auto descargables, las cuales juegan un rol muy importante en el proceso, ya que tienen la misión de transportar la caña cosechada en los cultivos a los trenes cañeros. Para cumplir con su objetivo, estos equipos cuentan con cuatro cilindros hidráulicos de los cuales dos de ellos tiene la misión de levantar la canasta y los otros dos la descarga.

En un ingenio azucarero de la región se ha venido presentando fallas por pandeo en los vástagos de los cilindros hidráulicos de volteo o descarga de las canastas auto descargables. Esto hace que el cilindro presente daño irreversible y tenga que ser reemplazado, interrumpiendo las operaciones diarias. Por esta condición, estos equipos deben ser llevados al taller agrícola, tarea que toma hasta un día completo dependiendo de la ubicación de la canasta. Al llegar, se debe disponer de maquinaria para desmontar (grúa y diferencial), mano de obra calificada (alrededor de 7 personas) y los repuestos necesarios. El cambio de este cilindro en muchas ocasiones es una operación riesgosa, ya que como primera medida se procede a enganchar la estructura de la canasta con la ayuda de una grúa y luego se bloquea con torres para que los soldadores puedan cortar

el vástago del cilindro deformado. Luego se desbloquea para bajar la canasta hasta quedar apoyada sobre la estructura y se realiza la instalación del nuevo cilindro.

En este proyecto se pretende analizar la situación e identificar culas son los factores que están ocasionando las fallas constantes, que genera pérdidas en la producción (156 Ton/día aprox.) que no llegan al ingenio. Con los resultados del Análisis se podrá realizar planes de choque para impedir que se generen condiciones que faciliten la falla de los cilindros teniendo en cuenta que la reparación frecuente de las canastas auto descargables genera sobre costos (según datos de la empresa, entre los meses de octubre de 2018 y 2019 se realizó el cambio de más de 70 cilindros hidráulicos, lo que representó costos de alrededor de 130 millones de pesos).

La producción diaria del ingenio podría aumentar al tener mayor disponibilidad operativa de las canastas. Esto debido a que son aproximadamente 156 Toneladas que dejan de llegar al ingenio. Por otra parte, ya existe un estudio exploratorio previo del problema con base en las presiones del sistema hidráulico. Las conclusiones han llevado a algunas acciones que se han tomado, pero son generales, especialmente enfocadas hacia el mantenimiento preventivo. No obstante, este trabajo se realiza abordando el problema de manera más profunda. Se realiza un análisis de causa raíz, análisis dinámico del sistema para identificar las cargas actuales y se compara con la capacidad de carga del cilindro, la cual se obtendrá utilizando la ecuación de Euler.

# 1.Contextualización

## 1.1 Transporte de caña de azúcar

El proceso de transformación de la caña de azúcar requiere de múltiples etapas, en las cuales intervine un sinnúmero de equipos industriales y maquinaria pesada.

La recolección (cadeneo) y transporte de la materia prima se realiza de diferentes maneras, y para ello se utiliza diferentes tipos de vagones.

**Figura 1-1: Tipos de cadeneo.**



Fuente: Elaboración propia.

### 1.1.1 Vagón H.D. (Heavy Duty)

Son equipos de transporte que poseen suspensión y diseñados para altas velocidades (entre 25 - 40 km/h) y una capacidad individual (entre 20 – 30 toneladas). El cadeneo con estos equipos ocasiona alta compactación de los suelos.

### 1.1.2 VAGONES AUTODESCARGABLES

Son diseñados para reducir la compactación de los suelos, por ende, son más livianos que los vagones tradicionales. Cuentan con una capacidad de carga limitada (8 - 12 toneladas) y además cuenta con un sistema hidráulico dotado de cuatro cilindros para realizar la descarga. En la operación actual, se ubican al lado de la cosechadora en movimiento para recibir la caña picada. Una vez llena la canasta, se traslada al área de descarga donde los cilindros hidráulicos se accionan para suspender la cesta metálica y depositar la caña en los remolques. Estos serán los encargados de transportar la caña al ingenio. Los cilindros operan a una presión 2.500 Psi. El cilindro de volteo tiene una longitud de carrera de 2.13 m y diámetro de 4", por otro lado, los cilindros de descarga tienen una carrera de 1.63 m y diámetro 3-1/2".

**Figura 1-2: Canasta.**



Fuente: Elaboración propia.

## 1.2 Descripción del problema

En las operaciones diarias de cosecha en los ingenios azucareros se utilizan equipos agrícolas, entre los cuales se destacan las canastas auto descargables. Estos equipos se usan para sacar la caña cosechada de los terrenos y depositarla en los trenes cañeros que aguardan en los callejones principales. Dos cilindros hidráulicos se encargan de levantar la canasta y otros dos realizan la descarga (Figura 1-3).

**Figura 1-3: Funcionamiento de canasta auto descargable.**



Fuente: Pérez (2016).

En los cilindros de volteo de las canastas se han presentado fallas en los vástagos, específicamente, deformación por pandeo (Figura 1-4). Esto hace que el cilindro presente daño irreversible y tenga que ser reemplazado, interrumpiendo las operaciones diarias. De esta condición, estos equipos deben ser llevados al taller agrícola para el cambio del cilindro afectado.

El cambio de este cilindro en muchas ocasiones es una operación riesgosa que requiere de personal y equipos, ya que se tiene que cortar el cilindro deformado mientras la canasta se encuentra suspendida para evitar accidentes esta se bloque con la ayuda

de grúa y torres metálicas. Terminada esta operación se tiene que desbloquear para permitir que el cajón asiente en el chasis, para así poder instalar el nuevo cilindro, el cual se instala con ayudas mecánicas debido a su peso y largo. El cambio de estos cilindros ha implicado sobrecostos en las labores de mantenimiento y reducción en la recolección de materia prima.

**Figura 1-4: Falla de cilindros hidráulicos**



Fuente: Elaboración propia.

### 1.3 Justificación

Con los resultados de los análisis se identifican los factores que generan la falla y así se podrán dar posibles soluciones a la necesidad de reparación frecuente de las canastas auto descargables. Esto con el agravante de que son equipos alquilados, lo que significa que cuenta el tiempo mientras son transportados y reparados. Según datos de la empresa, en el periodo 2018-2019 se realizó el cambio de más de 70 cilindros hidráulicos, lo que representó costos de alrededor de 130 millones de pesos. La producción diaria del ingenio podría aumentar al tener mayor disponibilidad operativa de las canastas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 General**

Analizar la falla en los cilindros hidráulicos de una canasta auto descargable y proponer alternativas de solución.

### **1.4.2 Específicos**

- Analizar el funcionamiento del sistema actual teniendo en cuenta las condiciones de operación.
- Evaluar posibles causas de la falla y determinar la causa probable.
- Realizar análisis de causa raíz, a partir del análisis y evaluaciones hechas.
- Realizar informe técnico y plan de mantenimiento del sistema.

## **1.5 Alcances**

Se realizará un análisis de falla para un sistema de descarga, en el que se presentarán las memorias de cálculo y los criterios ponderados de falla, también se realizara informe ejecutivo de los resultados.

No se realizará análisis metalográfico, ni análisis con galgas de deformación, por cuestiones presupuestales y permisos.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Estudio dinámico**

Un cuerpo rígido es aquel que tiene la capacidad de mantener su forma. La gran mayoría de los cuerpos evaluados en la mecánica de elementos son rígidos; pero las estructuras y maquinas reales tienen partes que sufren deformación ante la presencia de fuerzas externas e internas. Este estudio sirve para calcular las fuerzas y el movimiento de los elementos teniendo en cuenta su centro de gravedad (Beer et al, 2013).

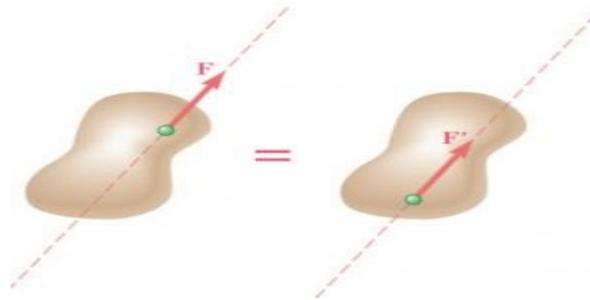
#### **2.1.2 Fuerzas externas e internas**

son la acción que ejercen otros cuerpos sobre el cuerpo rígido. Las fuerzas externas causan que el cuerpo se mueva o que permanezca en reposo y las fuerzas internas, por su parte, son aquellas que mantienen unidas las partículas que conforman al cuerpo rígido.

#### **2.1.3 Principio de transmisividad**

Establece que las condiciones de equilibrio o de movimiento de un cuerpo rígido permanecerán inalteradas. Sí una fuerza que actúa en un punto del cuerpo rígido se sustituye por una fuerza de la misma magnitud y la misma dirección, pero que actúe en un punto diferente, siempre que las dos fuerzas tengan la misma línea de acción. En la figura 2-1 podemos ver la aplicación de este concepto (Beer et al, 2013).

Figura 2-1 Principio de transmisibilidad



Fuente: Beer et al (2013).

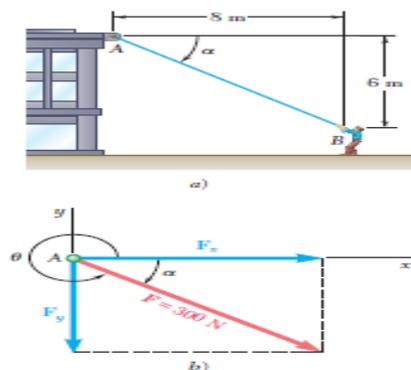
### 2.1.4 Tipos de apoyo

Los apoyos son restricciones al movimiento de un cuerpo, ya sea en uno o más direcciones, lo que genera fuerzas y momentos de reacción. En el anexo D podemos ver los tipos de apoyo, los momentos y fuerzas que estos generan.

### 2.1.5 Diagrama de cuerpo libre

Es una representación gráfica que contiene todas estas fuerzas que actúan sobre un cuerpo determinado bajo estudio. En la figura 2-2 podemos observar una persona ejerciendo una fuerza de tensión con una cuerda en un punto A de la edificación. Con esta representación podemos realizar cálculo de las componentes de la fuerza.

Figura 2-2: Diagrama de cuerpo libre para la situación.

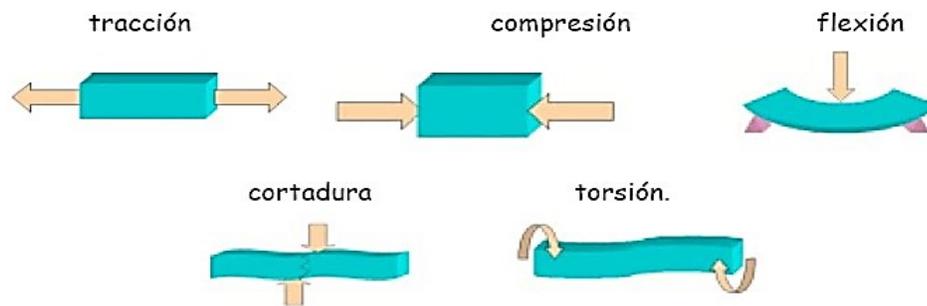


Fuente: Beer et al (2013).

## 2.2 Resistencia de materiales

Provee herramientas para el cálculo de esfuerzos y deformaciones que se producen debido a diferentes estados de carga (fuerzas y momentos). Estos esfuerzos varían según el tipo de carga (Figura 2-3). Existen diversos criterios de falla que el ingeniero debe considerar para que los esfuerzos y deformaciones estén dentro de límites permisibles, evitando fallas. Los esfuerzos producidos por el estado de carga deben ser comparados con la resistencia del material e incluyendo un factor de seguridad. Como parte del estado de carga se incluye el factor de servicio en el cálculo de fuerzas o potencias.

**Figura 2-3: Tipos de esfuerzos en un elemento**



Fuente: Calvo (2016).

## 2.3 Hidráulica

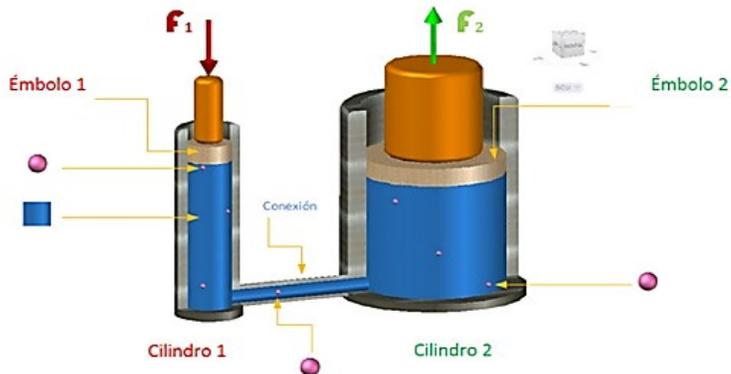
La hidráulica es la aplicación de los principios de la mecánica de fluidos.

### 2.3.1 Principio de pascal

El principio de pascal considera que, si se le aplica una fuerza a un líquido confinado, la presión generada en el líquido se transmite a través de todo el dominio y actúa sobre toda el área del recipiente interna.

Un ejemplo sencillo de este planteamiento es el sistema formado por dos cilindros de diferente dimensión conectados como en la figura 2-4.

**Figura 2-4: Ley de Pascal.**



Fuente: Salto (2011).

### 2.3.2 Cilindros hidráulicos

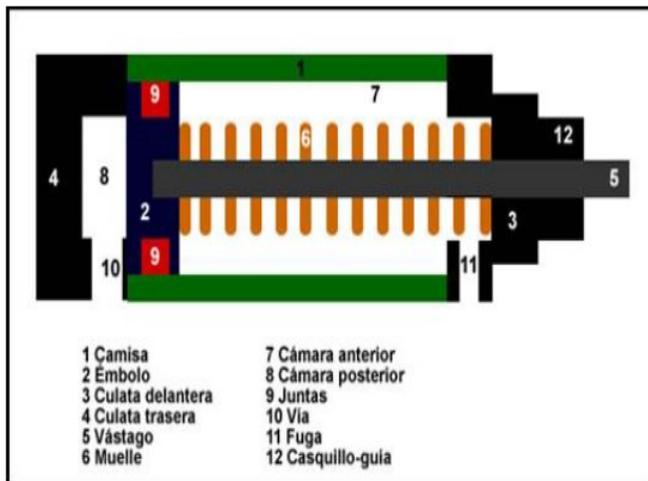
Los cilindros hidráulicos son dispositivos capaces de transformar la energía potencial de un fluido en energía mecánica para mover grandes cargas, estos se dividen en dos clases

- Cilindros de simple efecto
- Cilindros de doble efecto

- **Cilindros de simple efecto**

Utiliza la fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa para contraerse, ya sea el peso de la carga o resortes. Este tipo de cilindro es común encontrarlo en sistema de volteo de volquetas y usualmente se encuentran posicionados de forma vertical en sistemas hidráulicos.

Figura 2-5: Cilindros de simple efecto.

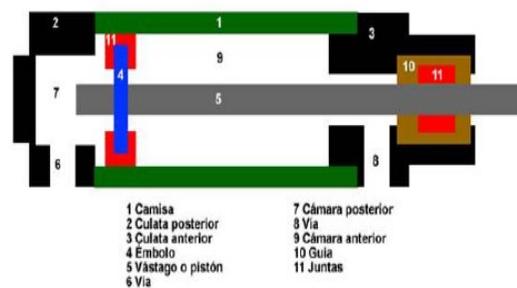


Fuente: Flores (2014).

- **Cilindros de doble efecto**

Utilizan la fuerza hidráulica para realizar las dos operaciones (empujar y contraer) y se puede posicionar el vástago en cualquier posición. Es uno de los dispositivos más utilizados en los sistemas hidráulicos.

Figura 2-6: Cilindros de doble efecto



Fuente: Flores (2014).

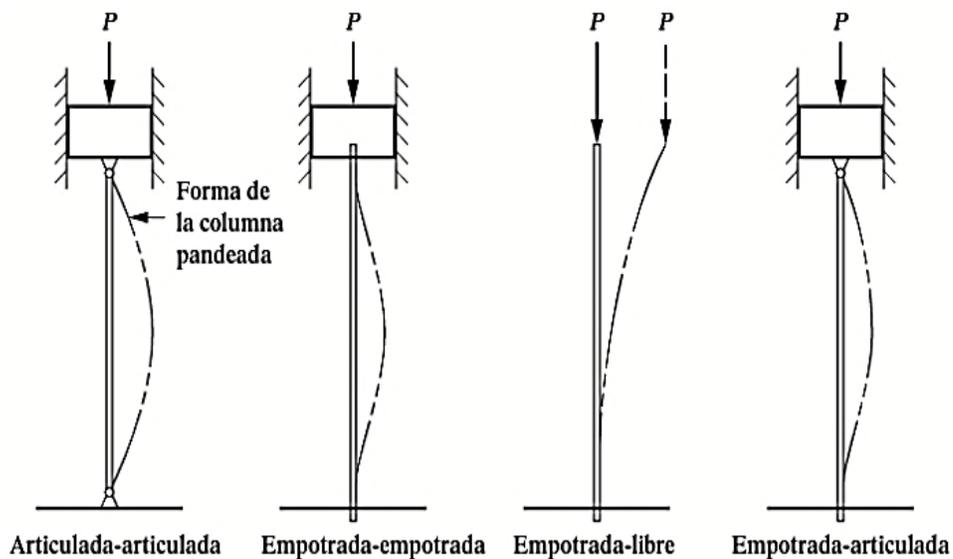
### 2.3.3 Sellos hidráulicos

Los sellos se encargan de mantener la estanqueidad en los cilindros hidráulicos, la cual es necesaria para mantener la presión y evitar la pérdida de fluido. En los cilindros hidráulicos se utilizan dos paquetes de sellos, los cuales están en el pistón y la tapa del cilindro.

## 2.4 Pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica producido en elementos esbeltos sometidos a compresión. Se manifiesta por la generación de desplazamientos considerables en la dirección transversal a la dirección principal de compresión, como se muestra en la Figura 2-7.

Figura 2-7: Vástago como columna.



Fuente: Mott (2006).

## 2.4.1 Métodos de estudios de pandeo

- **Método tradicional**

Los fabricantes de cilindros oleohidráulicos<sup>1</sup> suelen usar la ecuación de Euler para precisar la capacidad de cargar a pandeo de los cilindros, en la cual se considerando todo el actuador como una columna ideal de sección constante, sometida a una carga aplicada concéntricamente. Dependiendo de la relación de esbeltez (geometría) y de la constante de la columna (propiedades del material), se calcula la fuerza crítica que haría pandear el vástago (**P<sub>cr</sub>**) como:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Re^2} \quad (2.1)$$

$$P_{cr} = AS_y \left[ 1 - \frac{S_y Re^2}{4 \pi^2} \right] \quad (2.2)$$

Donde  $E$  es el módulo de elasticidad del material del vástago,  $I$  es la inercia del área transversal,  $Re$  es la relación de esbeltez, y  $S_y$  es el límite de fluencia del material. Aplicando un factor de seguridad, se obtiene la carga máxima admisible.

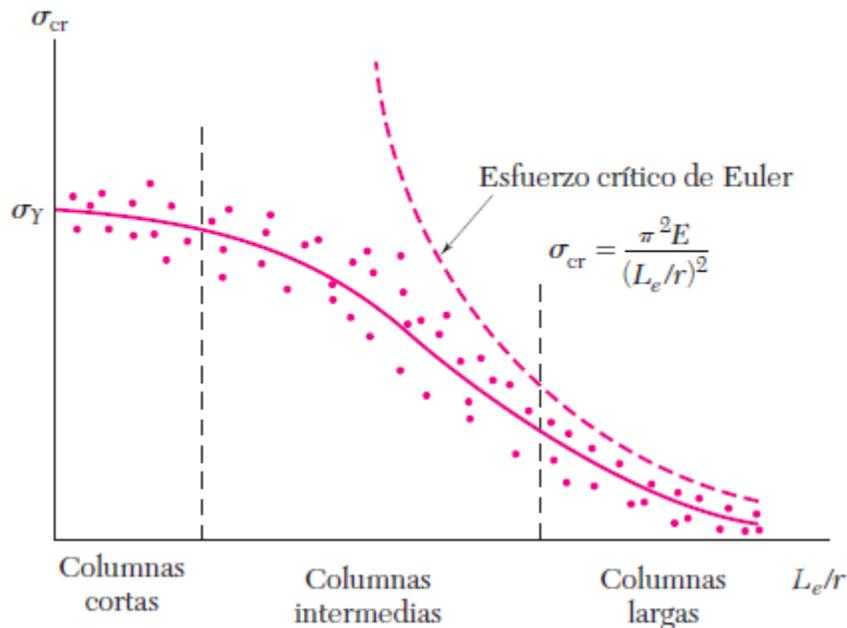
Estudios realizados a columnas de acero aplicándoles cargas axiales céntricas e incrementando esta carga hasta generar la falla, han generado graficas como la figura 2-8, en el que se logra observado que, para columnas largas de coeficiente de esbeltez grande, la falla se puede predecir con exactitud mediante la fórmula de Euler<sup>2</sup>. No obstante, esta fórmula no tiene en cuenta ciertos factores sobre los cilindros, que normalmente aparecen en diferentes aplicaciones.

---

<sup>1</sup> Salazar, E. (2006). Capacidad de carga de Cilindros Oleohidráulicos (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, Terrassa, España

<sup>2</sup> Beer, F. Johnston, E. y DeWolf, J. (2013). Mecánica de materiales. México: McGraw Hill.

Figura 2-8: grafico de datos de ensayos para columnas de acero.

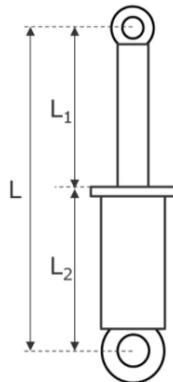


Fuente: Beer et al (2013).

Otros fabricantes consideran el cilindro como una columna escalonada o de sección variable (figura 2.9), cuyas secciones y módulo de elasticidad corresponden a la camisa y vástago.<sup>3</sup>

Para este caso se considera la inercia del cilindro (ecuación 2.3) y se calcula un  $z$  que es el producto de las inercias vástago-camisa (ecuación 2.4).

<sup>3</sup> DNV-GL. (2015). Hydraulic cylinders. Class guideline, Diciembre, 3-17. <https://dnvgl.com>

**Figura 2-9: Longitudes cilindro para cálculo de carga crítica.**

Fuente: DNVGL-CG (2015).

$$I_2 = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{64} \quad (2.3)$$

Donde  $D_o$  y  $D_i$  son los diámetros externos e interno de la camisa.

$$Z = \frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} + \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1}\right) * \frac{L}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{L_1}{L}\right) \quad (2.4)$$

La carga crítica para este caso se calcula con la ecuación 2.5

$$P_E = \frac{E * \pi^2}{L * Z} \quad (2.5)$$

## • NORMA ISO 13725

Fue desarrollada por el comité técnico ISO/TC 131, 'Fluid Power System', subcomité SC3. Consiste en un método para determinar la carga de pandeo de los cilindros hidráulicos, que toma en cuenta la geometría completa del cilindro como una barra equivalente. En otras palabras, esto significa que incluye la excentricidad de la carga aplicada, la fricción en los puntos de apoyo, el peso propio, juegos e imperfecciones en la conexión vástago-cilindro.

Estos efectos deben ser considerados, ya que cualquiera de ellos puede desarrollar momentos que, en combinación con la carga, generan tensiones críticas que superan la capacidad del cilindro.

## 2.4.2 ESTUDIOS DE PANDEO

En 1950 **Hoblit F.** afirma que es incorrecto plantear el estudio de la capacidad de carga de un cilindro bajo la hipótesis de que el fluido no tiene más influencia que la simple aplicación de una fuerza. Por el contrario, demuestra que, si se consideran todas las fuerzas generadas por el fluido sobre la camisa del actuador, ésta es equivalente a una columna que tiene el mismo momento de inercia del tubo-cilindro.

En 1975 **Seshasai, K. L., Dawkins, W.P., Iyengar, S.K.** plantean que la presión del fluido genera cargas adicionales en el actuador y que este trabajaría de forma correcta si las tensiones y deflexiones no superan los límites admisibles. Las tensiones y deflexiones son el resultado de los efectos combinados de cargas axiales y momentos flectores, así como también la presión del fluido.

Estos autores también contemplan una imperfección en la unión vástago-cilindro debido a juegos en la fabricación y montaje. Lo que genera un ángulo y una deflexión inicial, también plantean la ecuación de las tangentes.

$$\frac{\tan(k_1 L_1)}{k_1} + \frac{\tan(k_2 L_2)}{k_2} = 0 \quad (2.6)$$

Donde  $k_i$  es igual  $\sqrt{P/E_i I_i}$

En 1978 **Bennet, M. C., Case, J. I.** considera la camisa del cilindro como un elemento indeformable y el vástago como una barra elástica, además incluyen en los cálculos el peso propio del cilindro y un momento por rozamiento debido a la intersección mecánica en la articulación. En la figura 2-10 se puede observar el modelo propuesto por los autores.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Salazar, E. (2006). Capacidad de carga de Cilindros Oleohidráulicos (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, Terrassa, España



## 2.5 Métodos de análisis de falla

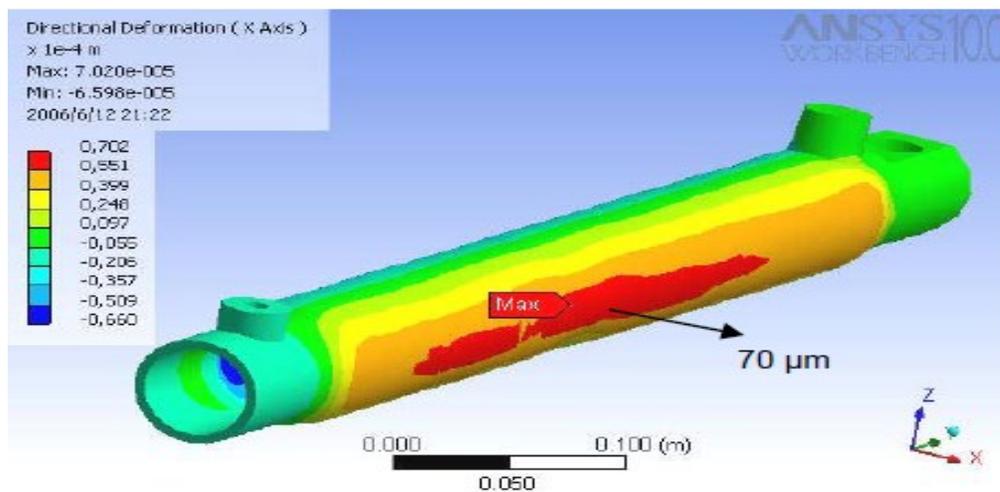
### 2.5.1 Analítico

Hace referencia a la aplicación de los métodos descritos anteriormente, pero utilizando valores reales de geometría, propiedades del material, entre otros.

### 2.5.2 Numérico

El Método de Elementos Finitos (MEF) es un método numérico y matemático surgido en la década de los 60 y consiste en construir un número finito de puntos, los cuales podrán estar unidos después por líneas para formar superficies y de esta manera la geometría a estudiar. Con este método se puede calcular el comportamiento de sólidos al ser sometidos a grandes cargas.<sup>5</sup>

Figura 2-11: Análisis de elemento finito



Fuente: (Salazar, 2006).

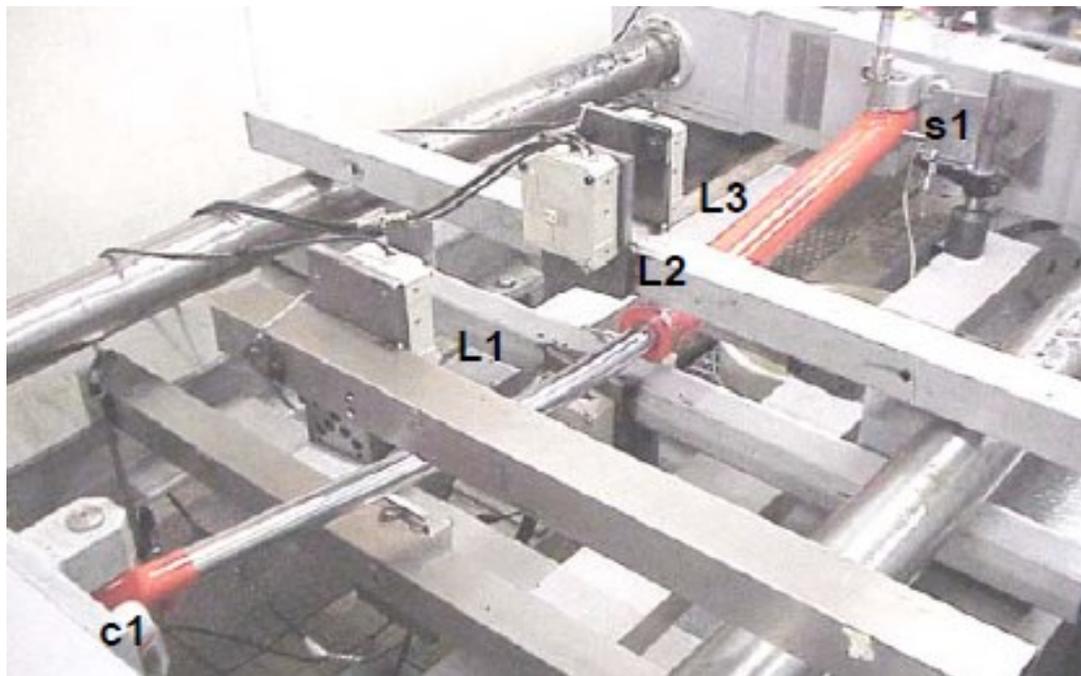
<sup>5</sup> Salazar, E. (2006). Capacidad de carga de Cilindros Oleohidráulicos (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, Terrassa, España

### 2.5.3 Experimental

Se basa en la implementación de experimento destructivos, en los cuales se instalan medidores de deformación como en la figura 2-12 para captar los cambios en la materia.

Los medidores de deformación (strain gauges) son dispositivos eléctricos vasados en el principio piezoresistivo de algunos materiales, que consiste en la capacidad que tiene el material de cambiar su valor resistivo al ser sometidos a un esfuerzo.

**Figura 2-12: Experimento destructivo.**



Fuente: (Salazar, 2006).

## 2.6 Diseño de cilindros hidráulicos

Los cilindros hidráulicos ya tienen medidas de diámetros estandarizados en catálogos; sin embargo, se producen diseños a pedido para aplicaciones especiales. Para la selección de un cilindro hidráulico se debe realizar cálculos para obtener la máxima carga a la que va estar sometido y así poder dimensionar el diámetro del vástago y la camisa.

Con la fuerza requerida y teniendo en cuenta la presión de trabajo del sistema se puede hallar el diámetro del pistón, despejando  $d_p$  en la ecuación 2.10.

$$F = P * A_p = P * \frac{\pi * d_p^2}{4} \quad (2.10)$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}}$$

La carrera del cilindro se define según la aplicación del cilindro en el sistema, si se requiere para efectuar giro se usa la siguiente ecuación 2.11 donde  $r$  es el radio de giro y  $\theta$  es el ángulo.

$$carrera = r * \theta \quad (2.11)$$

## 2.7 Análisis de causa raíz

El análisis de causa raíz (ACR) se trata de un estudio que busca identificar fallas en procesos o maquinas, permite definir el origen de la falla y a si tomar acciones que permitan la corrección del problema. Estas acciones correctivas deben ser apropiadas y evitan la reincidencia periódica del problema. Este análisis se aplica a diario en la industria y se enfoca en las fallas que generan grandes pérdidas en los procesos. Para este estudio se aplican diferentes métodos como análisis de tareas, diagramas causa-efecto, análisis de barreras, análisis de cambios, diagrama de árbol de fallos, diagramas de afinidad, análisis AMFE, los 5 por qué, diagramas de Pareto.

### **2.7.1 Los 5 porque**

consiste en proponer preguntas que nos permitan llegar a la causa raíz.

### **2.7.3 Análisis de tareas**

Consiste en analizar cada una de las tareas y buscar qué factores pueden causar fallos en el proceso.

### **2.7.4 Árbol de fallas**

Representa gráficamente las combinaciones de eventos que pueden dar lugar a una incidencia.

### **2.7.5 Análisis de barreras**

Identifica cuales son las barreras de nuestro proceso que impiden la ocurrencia de fallas y cuando estas suceden busca cuales barreras han fallado.

### **2.7.6 Análisis de modos de falla**

En este método se realiza un diagrama con las posibles causas que generan la falla y posteriormente se procede a verificar cuales de estas han sido las causas reales del problema.

En los casos de problemas mecánicos en la industria se realizan estudios metalográficos, que consisten en toma de muestras para conocer el tipo de material y su tratamiento térmico y así descartar problemas en el material.

### 3. Análisis de sistema

#### 3.1 Cálculo de capacidad de carga a pandeo de cilindro

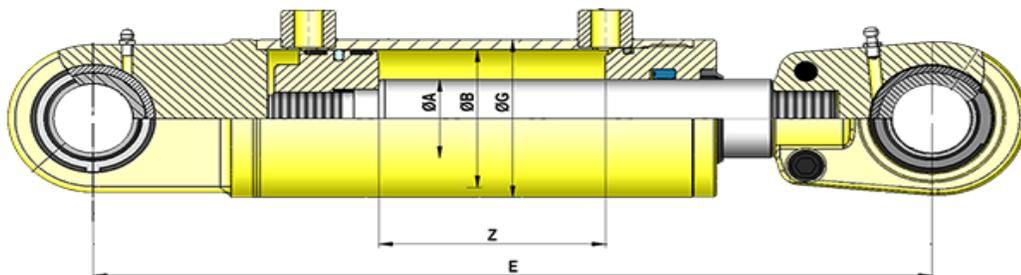
Para realizar el análisis de los cilindros se requiere conocer las condiciones de operación, para ello se tomó medidas (Tabla 3-1). Las cuales corresponde a las cotas de la figura 3.1.

Tabla 3-1: Medidas de los cilindros.

CILINDROS VAGON						
cilindro volteo						
A	B	G	E	F	Z	Presión (PSI)
76.2	101.6	114.3	2579.0	4706.0	2127.0	2500.0
Coeficiente de elasticidad material				Tensión de fluencia material		
200 Gpa				0.34 Gpa		

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1: Dimensiones cilindro



Fuente: Cicrosa hidráulica.

A partir de esta información se realizó el cálculo de la tensión máxima admisible y carga crítica, la cual se calculará bajo dos planteamientos. En el primero se considera el cilindro como una columna rígida ideal, de longitud igual al total de la suma de las longitudes vástago-camisa, de sección transversal constante en toda su longitud y de momento de inercia igual a la sección transversal del vástago (ecuación 3.2), utilizando la fórmula de Euler (ecuación 3.3). Como se mencionó en el capítulo anterior con esta ecuación se puede predecir con exactitud la carga si la columna es larga y su coeficiente de esbeltez es grande. Para determinar si el coeficiente de esbeltez es grande o pequeño se utiliza la ecuación 3.1.

$$\frac{L}{r_g} = 4,71 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} = 114.23 \quad (3.1)$$

$$\frac{L}{r_e} = \frac{4.71m}{0.019m} = 247.89$$

En este caso el coeficiente de esbeltez de nuestro cilindro es mayor 114.23 lo que nos permite decir que el resultado obtenido se aproxima a la carga máxima.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (3.2)$$

$$I = \frac{\pi(0.0762m)^4}{64} = 1.6 \times 10^{-6} m^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (3.3)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200Gpa * 1.6 \times 10^{-6} m^4}{(4.71m)^2} = 147508.04 N = 15 Toneladas$$

El esfuerzo crítico para columnas de coeficientes de esbeltez grandes se calcula reemplazando ecuación (3.4).

$$\sigma_{cr} = 0.877 \left( \frac{\pi^2 E}{(L_e/r_e)^2} \right) = 0.877 \left( \frac{\pi^2 E}{4,71 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}} \right) = 0.39 \sigma_y \quad (3.4)$$

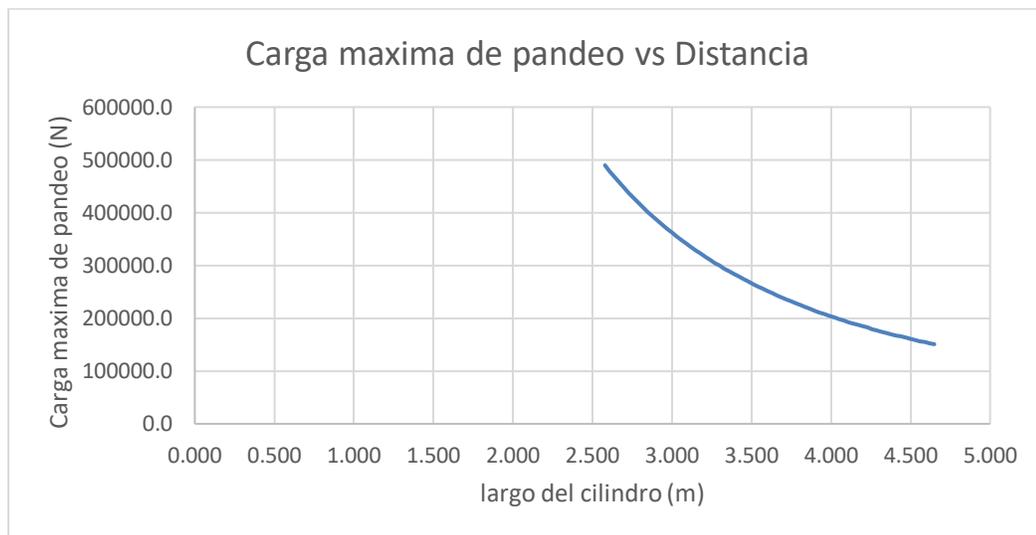
$\sigma_{cr} = 132.6 Mpa$  si se divide por un factor de seguridad de 1,67 nos queda que el esfuerzo es igual  $79.4 Mpa$ . El esfuerzo obtenido con la ecuación de Euler no puede superar esta carga.

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r_e)^2} = 32.12 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr} \geq \sigma_e \rightarrow 79.4 \text{ Mpa} \geq 32.12 \text{ Mpa}$$

Los cilindros de volteo tienen una capacidad para soportar 15 toneladas a carrera máxima sin que se produzcan deformaciones y el esfuerzo crítico no se supera, si se consideran como una columna de sección constante. Se realizó el mismo cálculo a diferentes longitudes. Con la información obtenida se realizó el gráfico de la figura 3.2 donde se puede evidenciar que esta carga decrece al incrementar la carrera del cilindro.

**Figura 3-2: Gráfico de carga vs carrera del cilindro (sección constante).**



Fuente: Elaboración propia

En un segundo planteamiento se considera el cilindro como una columna escalonada o de sección variable cuyo módulo de elasticidad e inercia corresponde al vástago-camisa. En este caso, el material del vástago y camisa es el mismo por lo cual el módulo de elasticidad es igual. La inercia de la camisa se calcula con la ecuación 3.5 y la del vástago es la misma obtenida en la ecuación 3.1.

$$I_2 = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{64} \quad (3.5)$$

$$I_2 = \frac{\pi(114^4 - 101^4)}{64} = 3.18 \times 10^{-6} mm^4$$

Con los resultados de las inercias se aplica la ecuación 3.6, que es el producto de la combinación de las inercias y con este valor se procedió a calcular la carga crítica para este caso.

$$Z = \frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} + \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1}\right) * \frac{L}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{L_1}{L}\right) \quad (3.6)$$

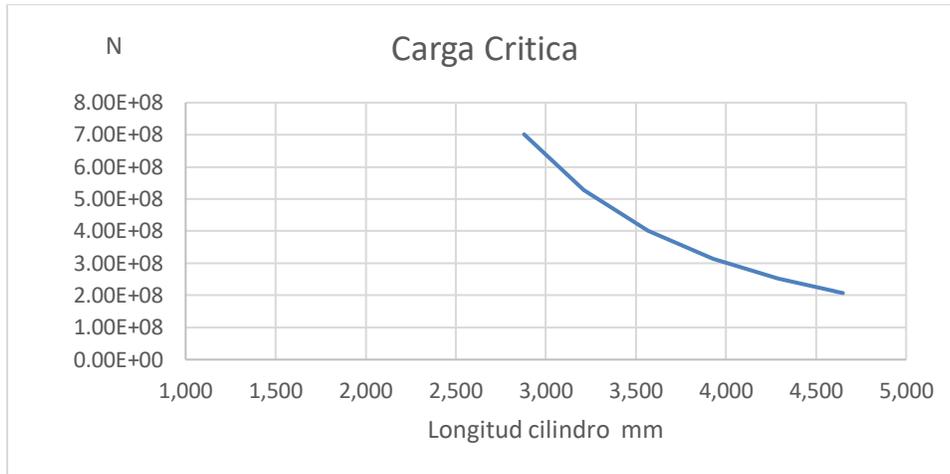
$$Z = \frac{2070}{1.6 \times 10^{-6}} + \frac{2579}{3.18 \times 10^{-6}} + \left(\frac{1}{3.18 \times 10^{-6}} - \frac{1}{1.6 \times 10^{-6}}\right) * \frac{4649}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{2070}{4649}\right) = 2.05 \times 10^{-3} mm^4$$

$$P_E = \frac{E * \pi^2}{1000 * L * Z}$$

$$P_E = \frac{200 Gpa * \pi^2}{1000 * 4649 * 2.05 \times 10^{-3}} = 2.07 \times 10^8 N$$

Con este planteamiento se obtiene que el cilindro tiene una mayor capacidad de resistir carga sin deformarse como en el caso anterior, que se realizaron cálculos a diferentes longitudes del cilindro (figura 3.3). Como conclusión se decide continuar trabajando con los resultados de primer caso ya que este segundo caso es mucho más conservador.

**Figura 3-3: Gráfico de carga vs carrera del cilindro (sección escalonada)**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Capacidad de carga de canasta

Se calcula la capacidad de carga del vagón utilizando la formula

$$m = \rho * v \tag{3.7}$$

Para obtener el volumen, se usa el programa SolidWorks y para la densidad se usa el valor de 413.6 kg/m<sup>3</sup>, el cual se sustrajo de la tabla 3-2.

**Tabla 3-2: Densidad de carga según el tipo de corte.**

Tipo de corte	Variedad	Densidad de carga (kg/m <sup>3</sup> )
Cosecha manual	CC 01-1940	288.7
	CC 85-92	282.3
Cosecha mecánica	CC 01-1940	413.6
	CC 85-92	400.4

Fuente: (Cenicña2018).

A la ecuación 3.7 se le suma el peso del cajón de la canasta, para así obtener el peso de cajón.

$$m = \left( 413.6 \frac{Kg}{m^3} * 27.9m^3 \right) + 1104.5 Kg$$

$$m = 12644 Kg = 12.64 Toneladas$$

### 3.3 Análisis estático

Para este análisis se realizaron diagramas de cuerpo libre al vagón y al cilindro (figuras 3-5 y 3-6). En el cilindro se analizó el tipo de apoyo (figura 3-4).

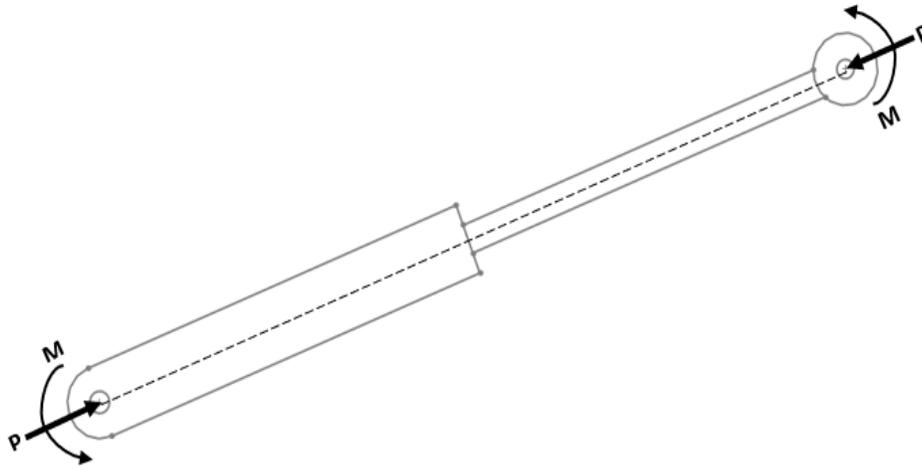
**Figura 3-4. Apoyos vagón autodescargable.**



Fuente: Elaboración propia.

se tiene que el cilindro es sus dos es extremos cuenta con un apoyo articulado por esta razón se genera una fuerza producida por la carga y unos momentos generados por la excentricidad “e” presente en la aplicación de la carga, o por rozamiento debido a rotación relativa entre elementos de contacto en los puntos de apoyo.

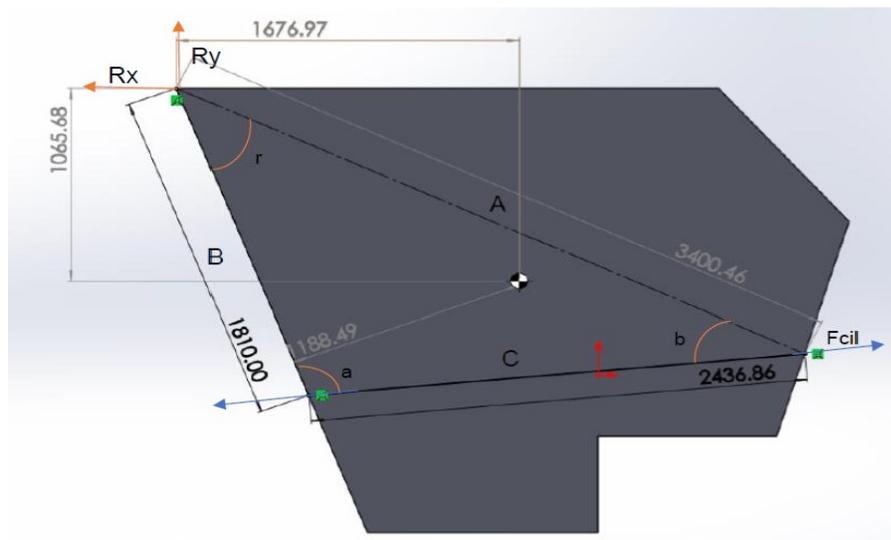
**Figura 3-5. Diagrama de cuerpo libre cilindro.**



Fuente: Elaboración propia.

En el análisis del vagón, se efectuó sumatoria de momentos en el punto de pivote, donde se obtuvo la ecuación 3.8 para calcular la carga a la que está sometido el cilindro.

**Figura 3-6. Diagrama de cuerpo libre**



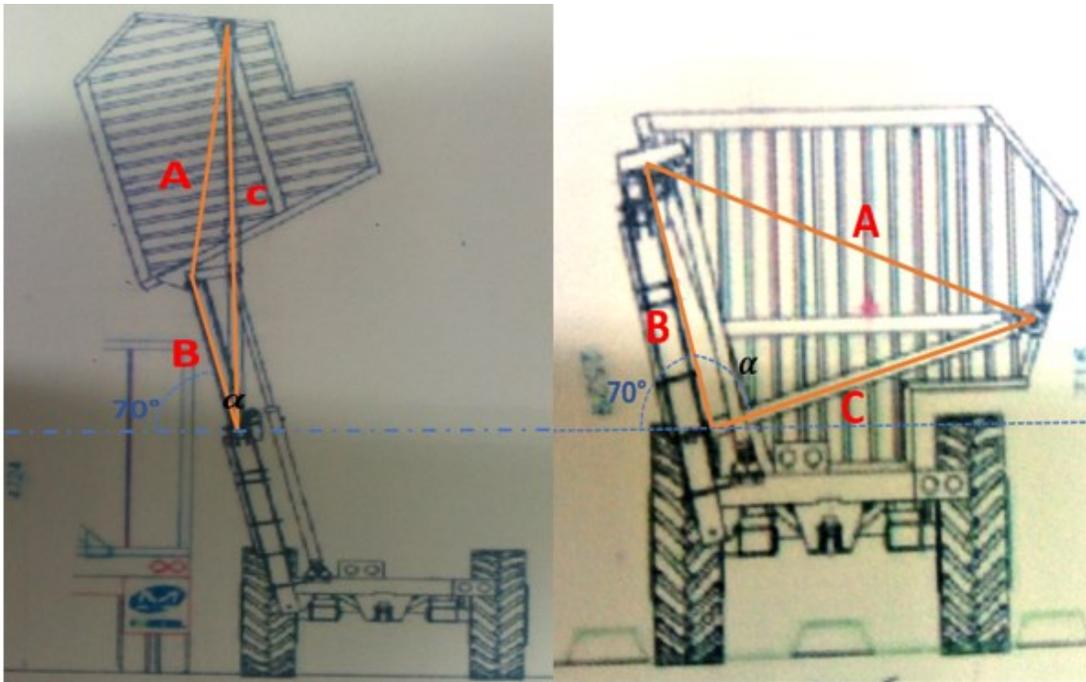
Fuente: Elaboración propia.

$$\sum MR_0 = -(W * X_{C.masa} * \text{sen}(\phi)) - (W * Y_{C.masa} * \text{cos}(\phi)) + (F_{cil} * Y_{cil} * \text{cos}(\alpha)) + (F_{cil} * X_{cil} * \text{sen}(\alpha)) = 0$$

$$F_{cil} = \frac{(W * X_{C.masa} * \text{sen}(\phi)) - (W * Y_{C.masa} * \text{cos}(\phi))}{(Y_{cil} * \text{cos}(\alpha)) + (X_{cil} * \text{sen}(\alpha))} \quad (3.8)$$

Donde  $W$  es el peso contenido en la canasta,  $X_{C.masa}$  y  $Y_{C.masa}$  son la distancia ente el centro de masa y el punto R en los ejes (X, Y), al igual que  $X_{cil}$  y  $Y_{cil}$ . El ángulo de inclinación del cilindro se obtiene gráficamente basado en el triángulo que forman los puntos de anclaje del cilindro y el punto de pivote de la canasta como se muestra en la figura 3-7 La dimensión de las rectas B y A permanecen fijas mientras C, que simboliza al cilindro cambia al desplazarse, produciendo cambios en los ángulos del triángulo.

Figura 3-7: Triángulo formado entre los puntos de anclaje cilindro- canasta



Fuente: modificado de IMECOL.

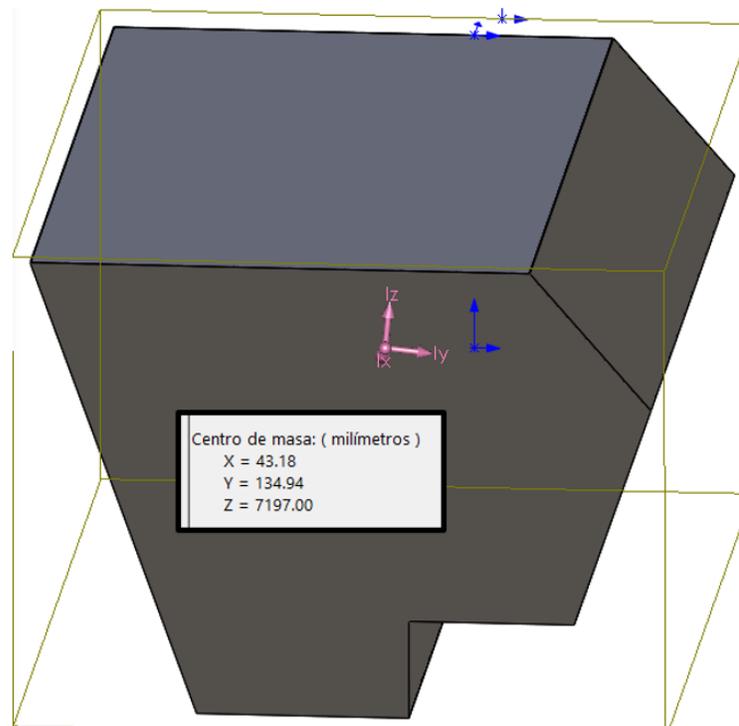
El ángulo inicial del cilindro es 9 grados y el cambio de este se consiguió basado en la ecuación 3.9

$$\theta_{cilindro} = 180 - (70 + \alpha) \quad (3.9)$$

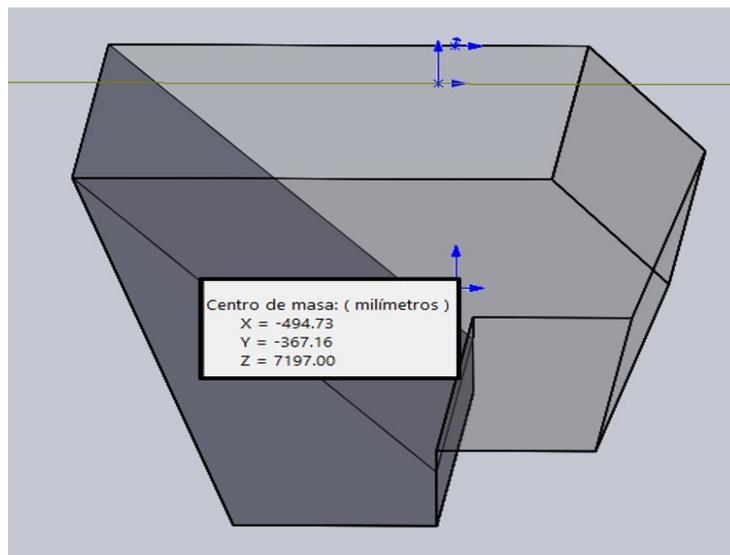
Donde  $70$  es ángulo que forma la reta B con la horizontal y  $\alpha$  es el ángulo que forman las líneas B y C (figura 3-6).

Para poder realizar los cálculos, se identifica que a medida que el vagón realiza la descarga disminuye el contenido y por ende el centro de masa se desplaza. Para ello, se realiza un dibujo en software de diseño al cual se aplican diferentes cortes para así simular el cambio en el centro de masa a diferentes grados de desplazamiento. En las figuras 3-8, y3-9 se puede evidenciar este cambio.

**Figura 3-8: Simulación a 0 grados desplazamiento.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3-9: Simulación a 46 grados desplazamiento.**

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3-3 se puede evidenciar algunos de los resultados obtenidos. La información generada por los diferentes cortes de desplazamiento, se almacena en una hoja de cálculo (anexo A) junto con la carrera del cilindro para ese grado de giro y la carga aplicada.

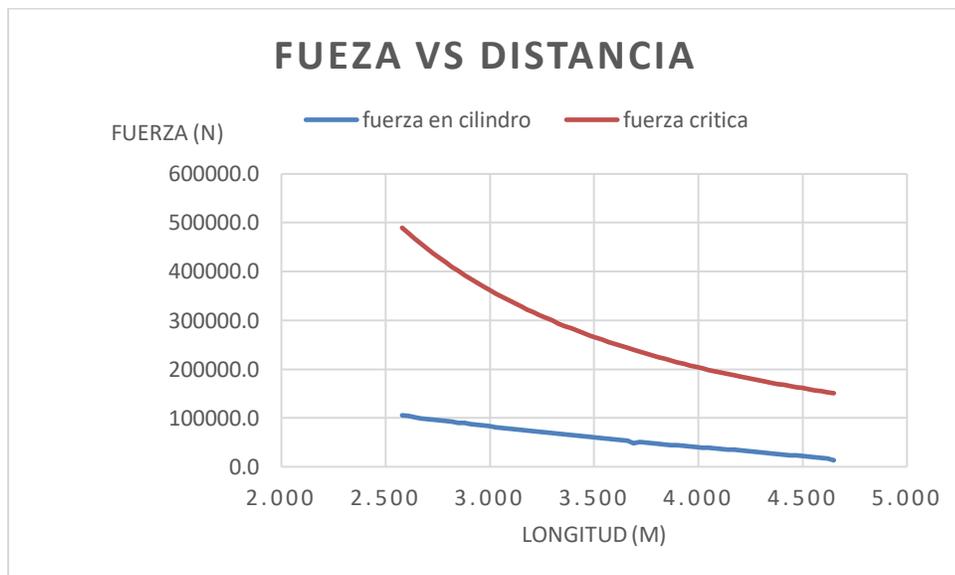
**Tabla 3-3: resultados de simulación (información parcial).**

Longitud Cilindro (mm)	Grados de desplazamiento	Centro masa x(mm)	Centro masa y(mm)	Ángulo cilindro	Volumen Contenido (m <sup>3</sup> )	Masa Contenida KG
2,579	0.0	1065	1676	9.9	27.9	11539.4
2,879	10.1	1098	1780	20.0	24.82	10265.6
3,209	20.1	1218	1940	30.0	19.77	8176.9
3,569	30.2	1378	2050	40.2	14.99	6199.9
3,929	40.3	1558	2130	50.2	10.45	4322.1
4,289	50.7	1648	2190	60.6	6.74	2787.7
4,589	60.3	1708	2160	70.3	3.18	1315.2

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la información obtenida en el anexo A, se grafica la figura 3-10 con la cual podemos ver el comparativo de los valores obtenidos de fuerza en el cilindro con la capacidad de carga del cilindro a diferentes distancias de desplazamiento del cilindro. Podemos evidenciar que la fuerza en el cilindro en ningún momento excede la capacidad de carga a pandeo, además se puede probar que ambos valores decrecen con la longitud.

**Figura 3-10 Gráfico comparativo capacidad de carga Euler- Carga en el cilindro.**



Fuente: Elaboración propia

Estáticamente, el cilindro es el adecuado para esta tarea, por esta razón se decidió realizar análisis de causa raíz para identificar factores que están afectando las condiciones de trabajo generando cargas dinámicas, las cuales pueden ser de una magnitud mucho mayor que las cargas estáticas obtenidas.

Teóricamente, las cargas dinámicas pueden ser el doble de magnitud que las cargas estáticas. Según la ecuación 3.10.

$$w_1 = Q(h + \delta) \tag{3.10}$$

$w_1$  equivale al trabajo realizado por una carga cayendo de una altura  $h$ , donde  $\delta$  es la deformación generada por la carga y  $Q$  la carga. Si la altura de caída es cero como en nuestro sistema entonces la ecuación 3.10 quedaría:

$$w_1 = Q\delta \quad (3.11)$$

En la ecuación 3.12 equivale a la carga generada por una carga estática.

$$w_2 = \frac{1}{2}P\delta \quad (3.12)$$

Si consideramos que las dos cargas generan la misma deformación entonces:

$$w_1 = w_2 \quad (3.13)$$

$$\frac{P\delta}{2} = Q\delta$$

$$P = 2Q$$

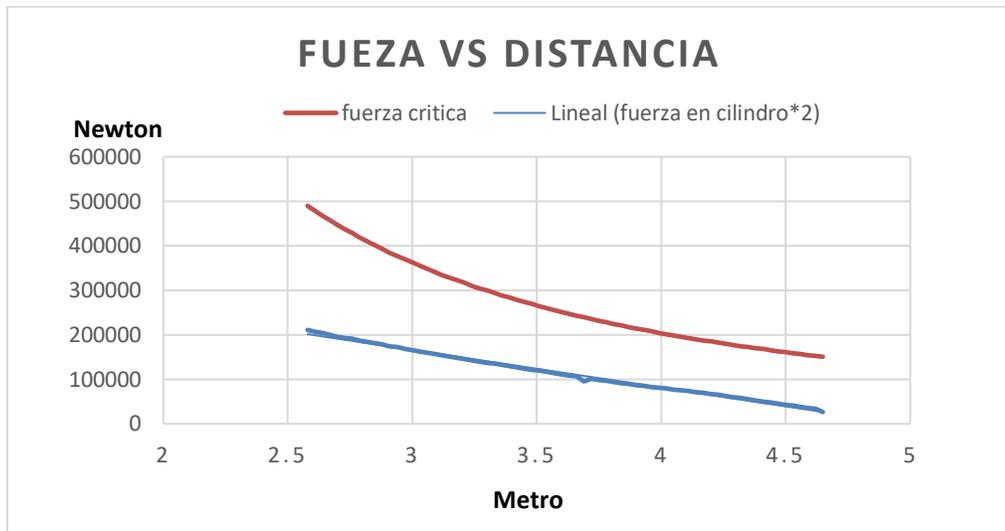
Al final tenemos que para general la misma deformación con una carga estática, esta debe ser el doble que la carga dinámica<sup>6</sup>.

Si se multiplica la carga obtenida en el cilindro por dos, ésta no supera la capacidad de carga de Euler (figura 3-11).

---

<sup>6</sup> "Guía Estabilidad II, Capítulo XI: cargas dinámicas y fatiga. Universidad del nordeste, Argentina".

**Figura 3-11: Gráfico comparativo capacidad de carga Euler- carga en el cilindro por dos.**



Fuente: Elaboración propia.

## 4. Análisis de causa raíz

### 4.1 Adquisición de la información

Para la realización del análisis de causa raíz, se debió contar con base de datos, por lo cual se sustrajo de software de planificación de recursos (SAP) información de los reportes de fallas y trabajos realizados a las canastas autodescargables en el primer semestre del año 2020. Esta información se puede consultar en el anexo F.

Figura 4-1: Captura de pantalla programa SAP

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Orden	Ubicac.técni	Descripción	Cód.parte o	TextoCódPartObj	Código ave	TextoCódProblem	Causas ave	Txt. cód. mot.	Creado el
2	MC-VG-5034	FABRICAR VISAGRAS TUBULARES DE 5/8	5309	Cruceta tubular	S028	Fractura	C029	Desgaste o deterioro esperado	24/05/2020
3	2300011336 MC-VG-5043	VIGA CHASIS EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	07/01/2020
4	2300011336 MC-VG-5043	VIGA CHASIS EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	07/01/2020
5	2200089028 MC-VG-5043	CABLEADO EN GRAL EN MAL ESTADO	4202	Cableado	S003	Corto circuito	C029	Desgaste o deterioro esperado	08/01/2020
6	2200089059 MC-VG-5045	BUJE APILADOR EN MAL ESTADO	5075	Buje	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado	09/01/2020
7	2200089060 MC-VG-5046	BUJE APILADOR EN MAL ESTADO	5075	Buje	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado	09/01/2020
8	2200089051 MC-VG-5048	NO TIENE GATOS DE VOLTEO TRASERO Y DELAN	3327	Cilindro volteo canasta	S068	Falta componente	C068	Otra - Especificar	09/01/2020
9	2200089051 MC-VG-5048	NO TIENE GATOS DE VOLTEO TRASERO Y DELAN	4202	Cableado	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe ambiente	10/01/2020
10	2200089087 MC-VG-5036	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	10/01/2020
11	2200089088 MC-VG-5037	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	10/01/2020
12	2200089089 MC-VG-5042	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	10/01/2020
13	2200089090 MC-VG-5044	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga	10/01/2020
14	2200089148 MC-VG-5033	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	8024	Rodamiento manzana	S018	Daño severo / explosión	C030	Error en la operación	13/01/2020
15	2200089148 MC-VG-5033	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe ambiente	13/01/2020
16	2200089148 MC-VG-5033	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	4200	Sistema de luces	S052	No prende	C007	Circuito abierto	13/01/2020
17	2200089148 MC-VG-5033	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	3000	Sistema hidráulico	S029	Fuga externa	C040	Empaquetadura mala	13/01/2020
18	2200089149 MC-VG-5040	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	8024	Rodamiento manzana	S018	Daño severo / explosión	C030	Error en la operación	13/01/2020
19	2200089149 MC-VG-5040	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe ambiente	13/01/2020
20	2200089149 MC-VG-5040	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	4200	Sistema de luces	S052	No prende	C007	Circuito abierto	13/01/2020
21	2200089149 MC-VG-5040	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	3000	Sistema hidráulico	S029	Fuga externa	C040	Empaquetadura mala	13/01/2020
22	2200089150 MC-VG-5044	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	8024	Rodamiento manzana	S018	Daño severo / explosión	C030	Error en la operación	13/01/2020
23	2200089150 MC-VG-5044	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe ambiente	13/01/2020
24	2200089150 MC-VG-5044	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	4200	Sistema de luces	S052	No prende	C007	Circuito abierto	13/01/2020
25	2200089150 MC-VG-5044	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	3000	Sistema hidráulico	S029	Fuga externa	C040	Empaquetadura mala	13/01/2020
26	2200089163 MC-VG-5045	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	4200	Sistema de luces	S052	No prende	C007	Circuito abierto	13/01/2020
27	2200089163 MC-VG-5045	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe ambiente	13/01/2020
28	2200089163 MC-VG-5045	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	3000	Sistema hidráulico	S029	Fuga externa	C040	Empaquetadura mala	13/01/2020
29	2200089163 MC-VG-5045	REVISION PERIODICA Y CORRECTIVOS EN CAMP	8024	Rodamiento manzana	S018	Daño severo / explosión	C030	Error en la operación	13/01/2020

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4.1 muestra una captura del anexo F donde la columna D corresponde al número de orden de trabajo, la cual puede tener múltiples operaciones (columna C), la columna E corresponde al número interno del equipo Y la columna F a una descripción corta de la falla.

## 4.2 Tratamiento de la información

Se ordena la información sustraída en hojas de cálculo (anexo B), bajo los criterios de: equipo, parte afectada y mes en el que ocurrió la falla (figura 4-2). En el criterio de partes, se toman las que generan afectación en el desempeño de los cilindros. Se omiten las ordenes generadas por revisión periódica en campo, ya que no permite garantizar la trazabilidad de la información.

**Figura 4-2: Captura formato histórico de falla.**

Historico de fallas vagón autodescargable		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Junio	Julio
EQUIPO	PARTE						
5032	Cajón						
	Carril móvil						
	Estructura						
	Cilindro						
5033	Cajón						
	Carril móvil						
	Estructura						
	Cilindro						

Fuente: Elaboración propia.

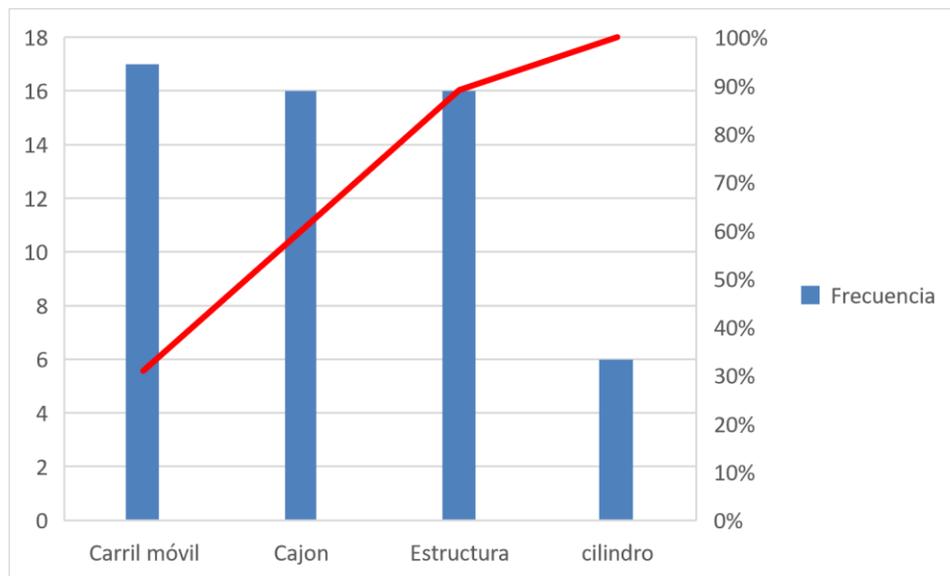
Con la información almacena en la hoja de cálculo, se logra evidenciar que la gran mayoría de las órdenes de trabajo generadas por daño en los cilindros de levante, están acompañadas de reportes de daños en carril móvil, cajón y chasis. Por otro lado, se suman las fallas acumuladas por parte y se genera la tabla 4-1. Con la cual se realizó el diagrama de Pareto (figura 4-3)

Tabla 4-1. Acumulado de tallas por partes.

Parte afectada	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Carril móvil	17	17	31%	31%
Cajón	16	33	29%	60%
Chasis	16	49	29%	89%
cilindro	6	55	11%	100%
Total	55			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-3: Gráfico de Pareto partes



Fuente: Elaboración propia.

Con el gráfico 4-3, se pudo evidenciar que el 90% de las fallas son estructurales y el 10% son fallas en el cilindro. por lo cual se retomó la base de datos inicial, para filtrar la información por los criterios de síntoma y causa (estos criterios son proporcionados por el técnico a la hora de realizar la orden de trabajo en SAP). Se crea tabla con la sumatoria de reportes por causa y síntoma (tabla 4-2).

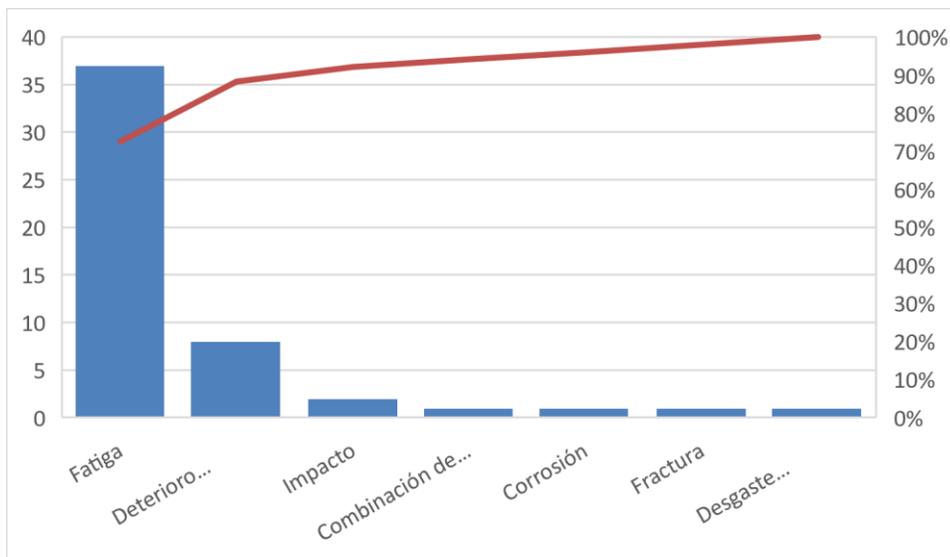
**Tabla 4-2: Síntoma y causa**

Síntoma		Causa	
Corrosión	1	Combinación de causas	1
Desgaste	7	Corrosión	1
Fisura	37	Deterioro esperado	8
Fractura	5	Fatiga	37
Mejora	1	Fractura	1
		Impacto	2
		Desgaste acelerado	1
		TOTAL	51

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta tabla 4-2 se realizó diagrama de Pareto de las causas. En la figura 4-4 se puede evidenciar que el 80% de las fallas son causadas por fatiga del material, según criterio técnico, donde esta fatiga se presenta en cajón, estructura y carril móvil.

**Figura 4-4: Gráfico de Pareto síntomas y causas.**



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Plan de mantenimiento

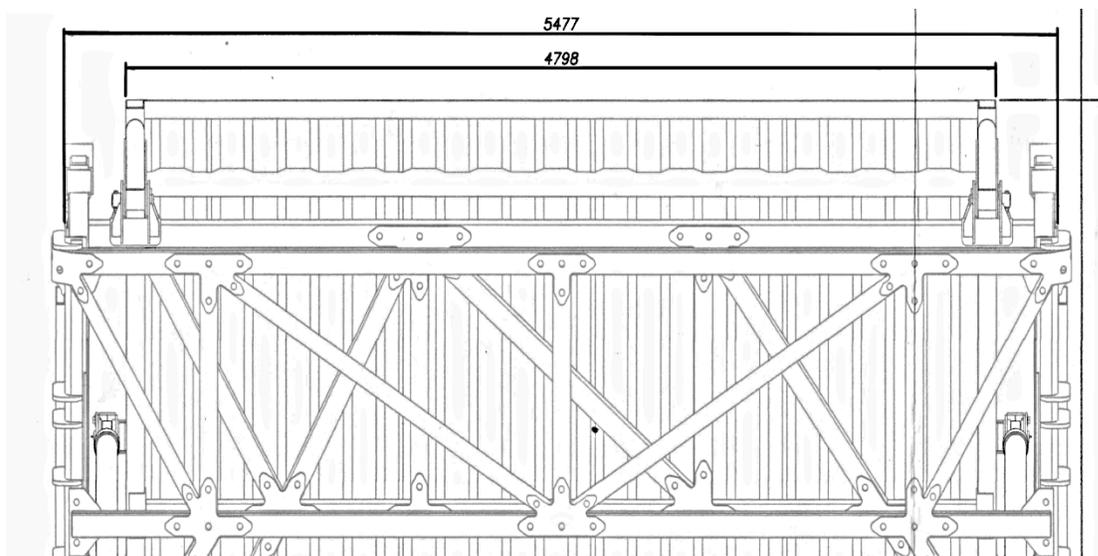
A partir de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se plantea un plan de mantenimiento que consta de actividades que buscan identificar falla y mitigar las condiciones que afectan el desempeño de los cilindros.

En el anexo B, se presenta una tabla con las partes a evaluar, actividad, frecuencia, indicaciones y correcciones. En la celda “tipo de actividad”, se manejan íconos que indican si la actividad es visual, operacional, lubricación, medición o ajuste.

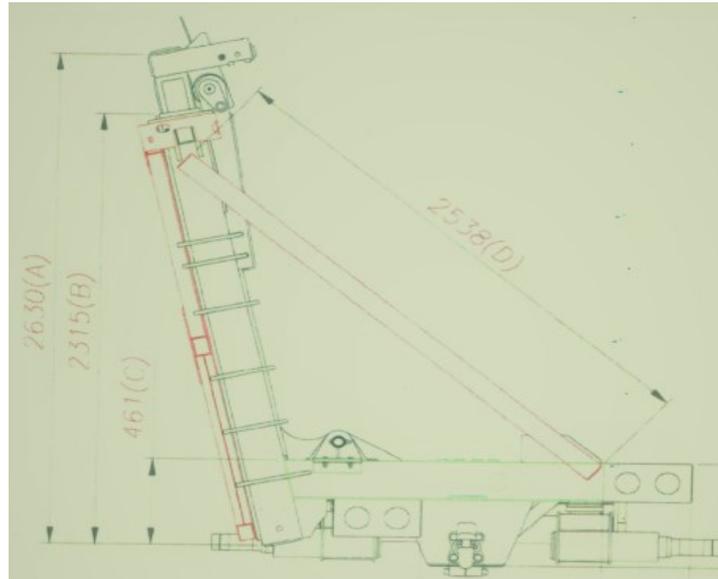
### 5.1 Medidas estructura

Para las activadas del anexo B se requiere tomar las medidas de la estructura como se muestran en las figuras 5-1 y 5-2.

**Figura 5-1: Medidas carril móvil, cajón y chasis.**



Fuente: Fabricante IMECOL.

**Figura 5-2: Medidas chasis.**

Fuente: Fabricante IMECOL.

Si las medidas no coinciden con las del fabricante, se deben realizar las reparaciones correspondientes a la parte afectada.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Tras haber realizado análisis estáticos del sistema, se encuentra que el cilindro no supera el 23% de su capacidad de carga crítica de Euler, con lo que se puede decir que las dimensiones y el material del cilindro es el adecuado para esta función; pero se están presentando condiciones de cargas transitorias que están superando la carga permisible del cilindro. Debido a efectos de compresión y flexión, generados por la excentricidad de la carga aplicada en combinación con otros factores como el ángulo de imperfección entre vástago y camisa inducido por juegos y desgaste en anillos guía, momentos de inercia generados por fricción en los puntos de anclaje y problemas estructurales en la canasta, llevan a que el cilindro experimente una carga más alta que la predicha por la fórmula de Euler

Analizando el historial de órdenes de trabajo se logra evidenciar que 90% de las fallas tiene que ver con problemas estructurales y de estas el 80% son causadas por fatiga del material según criterio técnico, donde esta fatiga se presenta en cajón, estructura y carril móvil, afectando directamente el desempeño de los cilindros de volteo.

Si se logra identificar los problemas estructurales a tiempo y se realizan buenas prácticas de operación de los equipos en campo, se reduciría las fallas por pandeo en los cilindros, ya que los análisis mencionados anteriormente nos direccionan a que son la causa principal de la falla.

A pesar de que la deformación en los cilindros se produce en el vástago, en el análisis se debe considerar el conjunto vástago-camisa como se mencionó el apartado 2.4.1, la norma ISO 13725 y trabajos de doctorado como la de Salazar (2006), los cuales aplican este mismo planteamiento para el cálculo de la capacidad de carga de cilindro.

Aplicar la ecuación de Euler considerando el cilindro como una columna escalonada es mucho más conservador, comparado con el planteamiento de una columna ideal de sección constante, esto se puede constatar en las figuras 3.2 y 3.3.

## **6.2 Recomendaciones**

Se deben generar mejoras en la canasta que permitan reducir los daños en la estructura para así minimizar el riesgo que se generen sobrecargas en los cilindros.

Se debe implementar el plan de mantenimiento para la identificación pronta de fallas.

## A. Anexo: Tabla resultados análisis estático

C (m)	A (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	B (m)	despla°	c.masa x	c.masa y	Angulo cil	c. soliw x (m)	c. soliw y(m)	Vol (m <sup>3</sup> )	KG	W(N)
2.6	3.4	100.1	31.6	48.3	1.8	0.0	1.1	1.7	9.9	0.04	0.13	27.9	11539.4	123910.3
2.6	3.4	99.0	31.7	49.3	1.8	1.1	1.1	1.7	11.0	0.04	0.12	27.6	11415.4	122694.3
2.6	3.4	97.9	31.8	50.2	1.8	2.1	1.1	1.7	12.1	0.04	0.11	27.3	11291.3	121478.4
2.7	3.4	96.9	31.9	51.2	1.8	3.2	1.1	1.7	13.1	0.04	0.10	26.8	11084.5	119451.7
2.7	3.4	95.9	32.0	52.2	1.8	4.2	1.1	1.7	14.1	0.04	0.09	26.5	10960.4	118235.7
2.7	3.4	94.9	32.0	53.1	1.8	5.2	1.1	1.7	15.1	0.03	0.08	26.2	10836.3	117019.7
2.8	3.4	93.9	32.1	54.1	1.8	6.2	1.1	1.8	16.1	0.03	0.06	25.9	10720.5	115884.8
2.8	3.4	92.9	32.1	55.0	1.8	7.2	1.1	1.8	17.1	0.02	0.05	25.6	10571.6	114425.6
2.8	3.4	91.9	32.1	56.0	1.8	8.2	1.1	1.8	18.1	0.02	0.04	25.2	10414.4	112885.4
2.8	3.4	90.9	32.2	56.9	1.8	9.1	1.1	1.8	19.1	0.01	0.03	24.8	10269.7	111466.7
2.9	3.4	90.0	32.2	57.9	1.8	10.1	1.1	1.8	20.0	0.01	0.03	24.8	10265.6	111426.2
2.9	3.4	89.0	32.2	58.8	1.8	11.0	1.1	1.8	21.0	0.00	0.00	24.0	9934.7	108183.6
2.9	3.4	88.1	32.1	59.8	1.8	12.0	1.1	1.8	21.9	-0.01	-0.02	23.6	9748.6	106359.6
3.0	3.4	87.2	32.1	60.7	1.8	12.9	1.1	1.8	22.8	-0.02	-0.03	23.2	9574.8	104657.2
3.0	3.4	86.2	32.1	61.7	1.8	13.8	1.1	1.9	23.8	-0.03	-0.04	22.7	9401.1	102954.9
3.0	3.4	85.3	32.0	62.6	1.8	14.7	1.1	1.9	24.7	-0.04	-0.05	22.3	9223.3	101212.0
3.1	3.4	84.4	32.0	63.6	1.8	15.6	1.2	1.9	25.6	-0.05	-0.07	21.9	9049.6	99509.6
3.1	3.4	83.5	31.9	64.5	1.8	16.5	1.2	1.9	26.5	-0.06	-0.08	21.5	8875.9	97807.2
3.1	3.4	82.7	31.9	65.5	1.8	17.4	1.2	1.9	27.3	-0.08	-0.09	21.0	8702.1	96104.8
3.1	3.4	81.8	31.8	66.4	1.8	18.3	1.2	1.9	28.2	-0.09	-0.10	20.6	8528.4	94402.4
3.2	3.4	80.9	31.7	67.4	1.8	19.2	1.2	1.9	29.1	-0.10	-0.11	20.2	8350.6	92659.5
3.2	3.4	80.0	31.6	68.4	1.8	20.1	1.2	1.9	30.0	-0.11	-0.13	19.8	8176.9	90957.2
3.2	3.4	79.1	31.5	69.3	1.8	20.9	1.2	2.0	30.9	-0.12	-0.14	19.4	8023.8	89457.4
3.3	3.4	78.3	31.4	70.3	1.8	21.8	1.2	2.0	31.7	-0.13	-0.15	19.0	7850.1	87755.1
3.3	3.4	77.4	31.3	71.3	1.8	22.6	1.2	2.0	32.6	-0.14	-0.16	18.6	7693.0	86214.8
3.3	3.4	76.6	31.2	72.2	1.8	23.5	1.3	2.0	33.4	-0.16	-0.17	18.2	7519.2	84512.4
3.4	3.4	75.7	31.1	73.2	1.8	24.4	1.3	2.0	34.3	-0.17	-0.18	17.8	7345.5	82810.1
3.4	3.4	74.9	30.9	74.2	1.8	25.2	1.3	2.0	35.1	-0.18	-0.19	17.4	7188.4	81269.8
3.4	3.4	74.0	30.8	75.2	1.8	26.0	1.3	2.0	36.0	-0.20	-0.20	17.0	7031.2	79729.6
3.4	3.4	73.2	30.6	76.2	1.8	26.9	1.3	2.0	36.8	-0.21	-0.21	16.6	6853.4	77986.7
3.5	3.4	72.3	30.5	77.2	1.8	27.7	1.3	2.0	37.7	-0.22	-0.22	16.2	6696.2	76446.4
3.5	3.4	71.5	30.3	78.2	1.8	28.6	1.3	2.0	38.5	-0.24	-0.23	15.8	6518.3	74703.5
3.5	3.4	70.7	30.2	79.2	1.8	29.4	1.4	2.0	39.3	-0.25	-0.23	15.4	6357.0	73122.7

W(N)	F. CILINDRO	F.CIL X	F CIL Y	EULER	
123910.3	105405.2	103826.7	18173.8	489678.5	NO PANDEO
122694.3	103631.3	101726.4	19778.6	478481.9	NO PANDEO
121478.4	101931.2	99681.4	21297.7	467665.0	NO PANDEO
119451.7	99504.7	96914.2	22556.9	457210.9	NO PANDEO
118235.7	97821.3	94861.8	23879.8	447103.3	NO PANDEO
117019.7	96242.1	92900.3	25141.1	437327.3	NO PANDEO
115884.8	95248.9	91493.3	26482.7	427868.5	NO PANDEO
114425.6	93571.3	89420.0	27561.8	418713.2	NO PANDEO
112885.4	91814.7	87267.9	28534.9	409848.7	NO PANDEO
111466.7	90269.8	85315.0	29495.7	401262.7	NO PANDEO
111426.2	89348.9	83946.6	30597.3	392943.7	NO PANDEO
108183.6	87299.3	81517.0	31243.5	384880.8	NO PANDEO
106359.6	85950.0	79744.3	32066.4	377063.5	NO PANDEO
104657.2	84304.4	77698.7	32712.9	369482.0	NO PANDEO
102954.9	82691.3	75688.1	33304.1	362126.9	NO PANDEO
101212.0	81075.1	73680.7	33828.0	354989.2	NO PANDEO
99509.6	79880.6	72060.9	34469.5	348060.5	NO PANDEO
97807.2	78335.7	70129.9	34903.8	341332.7	NO PANDEO
96104.8	76919.2	68321.5	35337.6	334798.1	NO PANDEO
94402.4	75418.8	66446.5	35677.0	328449.3	NO PANDEO
92659.5	73904.1	64568.8	35953.9	322279.5	NO PANDEO
90957.2	72743.1	63008.3	36352.8	316281.8	NO PANDEO
89457.4	71443.4	61334.8	36636.1	310450.1	NO PANDEO
87755.1	69995.3	59544.1	36794.5	304778.2	NO PANDEO
86214.8	68688.8	57884.9	36979.5	299260.3	NO PANDEO
84512.4	67379.9	56234.4	37117.9	293890.9	NO PANDEO
82810.1	65965.8	54508.2	37153.0	288664.7	NO PANDEO
81269.8	64689.7	52908.6	37221.5	283576.7	NO PANDEO
79729.6	63538.6	51422.2	37321.8	278622.1	NO PANDEO
77986.7	62116.2	49729.0	37221.7	273796.1	NO PANDEO
76446.4	60861.3	48184.2	37180.4	269094.5	NO PANDEO
74703.5	59567.5	46622.3	37076.2	264513.0	NO PANDEO
73122.7	58083.3	44927.9	36812.4	260047.4	NO PANDEO

C (m)	A (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	B (m)	despla°	c.masa x	c.masa y	Angulo cil	c. soliw x (m)	c. soliw y(m)	Vol (m <sup>3</sup> )	KG	W(N)
3.6	3.4	69.8	30.0	80.2	1.8	30.2	1.4	2.1	40.2	-0.27	-0.24	15.0	6199.86	71582.5
3.6	3.4	69.0	29.8	81.2	1.8	31.1	1.4	2.1	41.0	-0.29	-0.25	14.6	6017.88	69799.0
3.6	3.4	68.2	29.6	82.2	1.8	31.9	1.4	2.1	41.8	-0.30	-0.26	14.2	5856.58	68218.3
3.7	3.4	67.3	29.4	83.2	1.8	32.7	1.4	2.1	42.7	-0.32	-0.26	13.8	5691.14	66596.9
3.7	3.4	66.5	29.2	84.3	1.8	33.6	1.4	1.8	43.5	-0.34	-0.03	13.3	5509.15	64813.5
3.7	3.4	65.7	29.0	85.3	1.8	34.4	1.5	2.1	44.3	-0.36	-0.27	12.9	5343.71	63192.2
3.7	3.4	64.8	28.8	86.4	1.8	35.2	1.5	2.1	45.2	-0.37	-0.28	12.6	5190.68	61692.5
3.8	3.4	64.0	28.6	87.4	1.8	36.1	1.5	2.1	46.0	-0.39	-0.29	12.1	5021.10	60030.6
3.8	3.4	63.2	28.4	88.5	1.8	36.9	1.5	2.1	46.8	-0.40	-0.29	11.8	4876.34	58612.0
3.8	3.4	62.3	28.1	89.5	1.8	37.7	1.5	2.1	47.7	-0.42	-0.30	11.5	4739.86	57274.4
3.9	3.4	61.5	27.9	90.6	1.8	38.6	1.5	2.1	48.5	-0.43	-0.31	11.1	4590.96	55815.2
3.9	3.4	60.6	27.6	91.7	1.8	39.4	1.5	2.1	49.4	-0.44	-0.31	10.8	4462.74	54558.7
3.9	3.4	59.8	27.4	92.8	1.8	40.3	1.6	2.1	50.2	-0.45	-0.32	10.5	4322.12	53180.6
4.0	3.4	59.0	27.1	93.9	1.8	41.1	1.6	2.1	51.0	-0.46	-0.33	10.2	4202.18	52005.1
4.0	3.4	58.1	26.9	95.0	1.8	42.0	1.6	2.1	51.9	-0.47	-0.33	9.9	4073.96	50748.6
4.0	3.4	57.3	26.6	96.1	1.8	42.8	1.6	2.2	52.7	-0.47	-0.34	9.6	3962.29	49654.2
4.0	3.4	56.4	26.3	97.3	1.8	43.7	1.6	2.2	53.6	-0.48	-0.35	9.3	3838.21	48438.2
4.1	3.4	55.5	26.0	98.4	1.8	44.5	1.6	2.2	54.5	-0.48	-0.36	9.0	3730.67	47384.4
4.1	3.4	54.7	25.7	99.6	1.8	45.4	1.6	2.2	55.3	-0.49	-0.36	8.7	3606.59	46168.4
4.1	3.4	53.8	25.4	100.7	1.8	46.3	1.6	2.2	56.2	-0.50	-0.37	8.4	3478.38	44911.9
4.2	3.4	52.9	25.1	101.9	1.8	47.1	1.6	2.2	57.1	-0.50	-0.37	8.1	3362.57	43777.0
4.2	3.4	52.1	24.8	103.1	1.8	48.0	1.6	2.2	57.9	-0.51	-0.38	7.8	3226.08	42439.4
4.2	3.4	51.2	24.5	104.3	1.8	48.9	1.6	2.2	58.8	-0.52	-0.38	7.5	3085.46	41061.3
4.3	3.4	50.3	24.2	105.6	1.8	49.8	1.6	2.2	59.7	-0.53	-0.38	7.1	2936.56	39602.1
4.3	3.4	49.4	23.8	106.8	1.8	50.7	1.6	2.2	60.6	-0.54	-0.38	6.7	2787.66	38142.9
4.3	3.4	48.5	23.5	108.1	1.8	51.6	1.7	2.2	61.5	-0.56	-0.38	6.4	2630.50	36602.7
4.3	3.4	47.5	23.1	109.3	1.8	52.5	1.7	2.2	62.5	-0.57	-0.38	6.0	2481.60	35143.5
4.4	3.4	46.6	22.8	110.6	1.8	53.5	1.7	2.2	63.4	-0.58	-0.38	5.6	2320.30	33562.7
4.4	3.4	45.7	22.4	112.0	1.8	54.4	1.7	2.2	64.3	-0.59	-0.38	5.3	2175.54	32144.1
4.4	3.4	44.7	22.0	113.3	1.8	55.4	1.7	2.2	65.3	-0.60	-0.37	4.9	2022.50	30644.3
4.5	3.4	43.7	21.6	114.7	1.8	56.3	1.7	2.2	66.3	-0.60	-0.37	4.6	1886.02	29306.8
4.5	3.4	42.8	21.2	116.0	1.8	57.3	1.7	2.2	67.2	-0.61	-0.37	4.2	1737.12	27847.6
4.5	3.4	41.8	20.8	117.5	1.8	58.3	1.7	2.2	68.2	-0.61	-0.36	3.9	1592.36	26428.9
4.6	3.4	40.8	20.3	118.9	1.8	59.3	1.7	2.2	69.2	-0.61	-0.36	3.5	1451.74	25050.8
4.6	3.4	39.7	19.9	120.4	1.8	60.3	1.7	2.2	70.3	-0.60	-0.35	3.2	1315.25	23713.2
4.6	3.4	38.7	19.4	121.9	1.8	61.4	1.7	2.2	71.3	-0.59	-0.34	2.8	1166.35	22254.1
4.6	3.4	37.6	19.0	123.4	1.8	62.4	1.6	2.1	72.4	-0.53	-0.32	1.8	761.02	18281.8

W(N)	F. CILINDRO	F.CIL X	F CIL Y	EULER
56966.2	43532.7	36743.0	255694.0	NO PANDEO
55657.7	42005.6	36514.6	251449.0	NO PANDEO
54397.1	40530.6	36281.0	247308.9	NO PANDEO
53042.8	39003.0	35948.6	243270.2	NO PANDEO
47608.7	34534.5	32771.3	239329.6	NO PANDEO
50408.9	36057.4	35226.7	235484.0	NO PANDEO
49228.9	34709.1	34910.7	231730.3	NO PANDEO
48029.2	33363.8	34549.4	228065.7	NO PANDEO
46768.3	31994.0	34112.4	224487.3	NO PANDEO
45829.7	30860.4	33882.1	220992.5	NO PANDEO
44684.3	29602.5	33472.1	217578.6	NO PANDEO
43571.7	28383.6	33058.6	214243.3	NO PANDEO
42494.3	27204.5	32644.8	210984.1	NO PANDEO
41577.4	26143.2	32329.8	207798.6	NO PANDEO
40480.5	24984.5	31850.4	204684.8	NO PANDEO
39528.4	23931.6	31460.6	201640.5	NO PANDEO
38580.0	22896.1	31051.4	198663.5	NO PANDEO
37659.7	21892.3	30642.8	195752.0	NO PANDEO
36612.3	20831.3	30108.5	192904.1	NO PANDEO
35631.6	19825.9	29606.5	190117.8	NO PANDEO
34561.8	18789.5	29008.1	187391.5	NO PANDEO
33518.4	17787.2	28409.5	184723.4	NO PANDEO
32361.0	16745.6	27691.5	182111.9	NO PANDEO
31145.8	15698.2	26900.3	179555.4	NO PANDEO
29936.6	14679.2	26090.6	177052.3	NO PANDEO
28754.1	13698.8	25281.2	174601.2	NO PANDEO
27553.7	12735.9	24433.6	172200.7	NO PANDEO
26263.3	11759.5	23483.5	169849.3	NO PANDEO
25104.8	10870.5	22629.2	167545.8	NO PANDEO
23836.4	9962.6	21654.5	165288.8	NO PANDEO
22681.7	9131.6	20762.3	163077.1	NO PANDEO
21511.1	8322.8	19835.8	160909.5	NO PANDEO
20268.8	7517.0	18823.3	158784.8	NO PANDEO
19111.1	6774.1	17870.2	156702.0	NO PANDEO
17897.7	6043.4	16846.5	154659.8	NO PANDEO
16613.8	5323.8	15737.7	152657.4	NO PANDEO
13231.3	4006.2	12610.3	150693.5	NO PANDEO

## B. Anexo: Plan de mantenimiento

Plan de mantenimiento							
Pieza	Actividad	Frecuencia	Indicaciones	Tipo de actividad			Corrección
Cajón	verificar alineación	Semanal	Con los cilindros en inicio de carrera, el cajo debe estar soportado en el chasis tanto la parte delantera como trasera.				1 Revisar largo de los cilindros 2 Revisar alineación vigas principales chasis 3 Si los puntos dos y uno están bien, revisar y cambiar tubulares cajones.
	verificar estado físico	Semanal	No debe presentar fisuras en los puntos de conexión de cilindro y pivote.				Corregir fisuras o reemplazar área afectada
Cilindro hidráulico	toma de presiones	Mensual	La presión a la hora de accionar el cilindro debe permanecer constante, debe ser igual en los dos cilindros y no debe ser lento para subir o bajar				Empaquetar cilindro
	revisión pasadores y rotulas	Trimestral	Los pasadores no deben presentar desgaste excesivo y las rotulas deben permitir ciertos grados de giro.				Cambiar pasador o rotula en mal estado
	revisión vástago cilindro	Semanal	No debe presentar rayones.				Cambiar cilindro
	revisión ajuste de racores	Semanal	No deben presentar fugas.				Si la fuga persiste cambiar racores
Guías y rodillos	Verificar que el vagón tenga todos los rodillos	Semanal	Estos deben tener forma cilíndrica y diámetro interno de una pulgada.				Si es así limpie y lubrique, de lo contrario remplace.
	verificar que los rodillos hagan contacto con la viga guía	Semanal	Con la ayuda del calibrador medir la separación entre rodillo-guía				Si la suma de holguras entre rodillo-guía inferior-delantero e inferior-trasero es mayor a 1/2 pulgada cambie.
	Revisión de levante del vagón	Semanal	Levantar la canasta, esta debe subir nivelada, tome como referencia la parte superior de la cercha que conecta la parte delantera y trasera del chasis, la luz entre ambas referencias debe ser la misma en la parte delantera que la trasera.				1 Revisar largo de los cilindros y presiones. Si se encuentra anomalía cambiar componente de lo contrario continuar con el numeral 2 2 Verificar las medias de la estructura
	Verificación de las medidas de la estructura	Trimestral	Las medidas del ancho de la estructura deben ser igual tanto en la parte superior como inferior, mida las diagonales del rectángulo perimetral, y compare las medidas de ambas diagonales, estas deben ser similares, de lo contrario reporte.				Si las medidas no son iguales reparar estructura

## C. Informe técnico

**Asunto:** Reporte técnico Análisis de falla de los cilindros hidráulicos de una canasta auto descargable sujetos a pandeo

**Autor:** Marbin Andrés Rodríguez

### Exposición de los hechos.

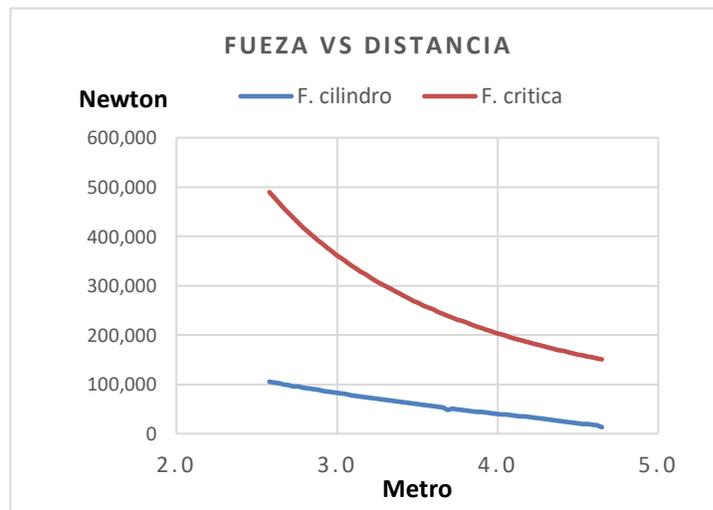
En la actualidad se han venido presentando fallas constantes en los cilindros de volteo de los vagones auto descargable, lo que ha generado sobre costos en el mantenimiento y reducción notable en la producción. En este primer semestre del año 2020 se han generado más de 55 órdenes correctivas, de las cuales en 11 de ellas se han reportado cambio de cilindro. Para un consumo de 19 cilindros hidráulicos que tiene un costo aproximado de 34.200.000 si contar la mano de obra.

### Análisis

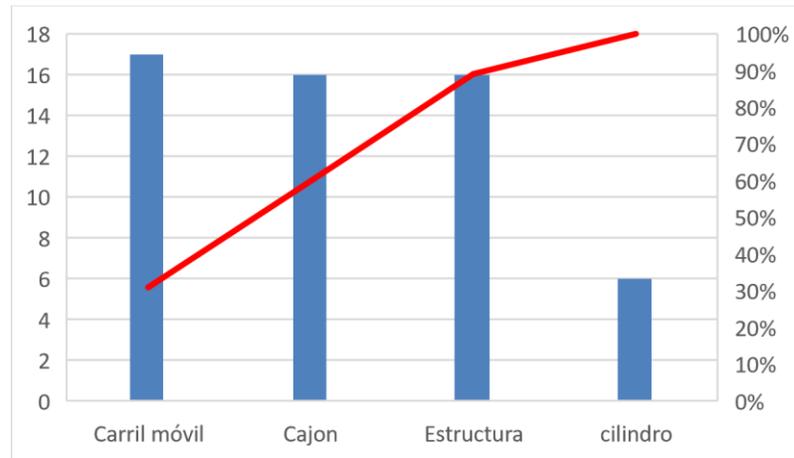
Análisis estático del sistema con las condiciones actuales de trabajo

Análisis de causa raíz basado en historial de fallas

### Resultados obtenidos



Tras haber realizado análisis estático y comparar los resultados con las capacidades de carga, se obtiene que el cilindro opera al 23% de su capacidad de carga, las dimensiones y el material son las adecuadas para esta función, pero se están presentando condiciones de cargas transitorias que están superando la carga permisible del cilindro.



Analizando el historial de órdenes de trabajo correctivas se logra evidenciar que 90% de las fallas tiene que ver con problemas estructurales que afectan directamente el desempeño de los cilindros de volteo.

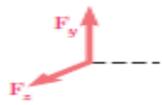
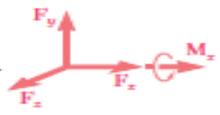
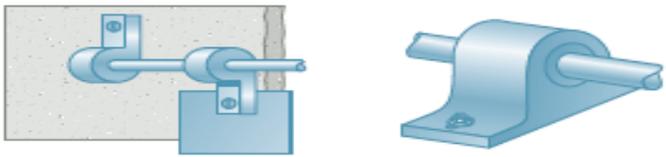
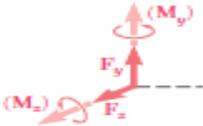
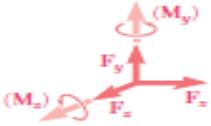
Se propone un plan de mantenimiento que busca identificar y corregir anomalías estructurales, evitando que estas generen condiciones que aumenten el estado de carga en los cilindros y así evitar que estos se sobrecarguen.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Se deben generar mejoras estructurales que permitan reducir los daños en la canasta para así reducir el riesgo que se generen sobrecarga en los cilindros.

Se debe implementar el plan de mantenimiento preventivo para la identificación pronta de fallas

## D. Tipos de apoyos

 <p>Bola</p> <p>Superficie sin fricción</p>	 <p>Cable</p> <p>Fuerza con línea de acción conocida (una incógnita)</p>
 <p>Rodillo sobre superficie rugosa</p> <p>Rueda sobre riel</p>	 <p>Dos componentes de fuerza</p>
 <p>Superficie rugosa</p> <p>Rótula (bola y cuenca)</p>	 <p>Tres componentes de fuerza</p>
 <p>Junta o unión universal</p>	 <p>Tres componentes de fuerza y un par</p>
 <p>Bisagra y cojinete que soportan sólo carga radial</p>	 <p>Dos componentes de fuerza (y dos pares; véase la página 192)</p>
 <p>Pasador y ménsula</p> <p>Bisagra y cojinete que soportan empuje axial y carga radial</p>	 <p>Dos componentes de fuerza (y dos pares; véase la página 192)</p>

# E. Captura de cortes en SolidWorks

Propiedades de masa de Ensamblaje1  
 Configuración: Predeterminado  
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

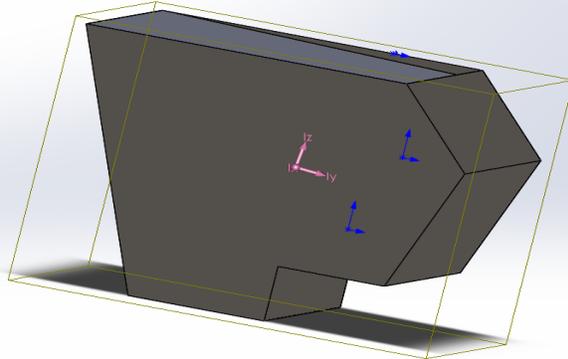
Masa = 28291727.79 gramos  
 Volumen = 27327954906.44 milímetros cúbicos  
 Área de superficie = 152882091.45 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
 X = 40.35  
 Y = 112.76  
 Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
 Medido desde el centro de masa.  
 lx = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 28850830110292.44  
 ly = ( 0.99, -0.10, 0.00) Py = 66734023750245.59  
 lz = ( 0.10, 0.99, 0.00) Pz = 72495985011762.77

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
 Lxx = 66795842814937.74 Lxy = -593708608741.01 Lxz = 0.03  
 Lyx = -593708608741.01 Lyy = 72495985011762.77 Lzy = 0.02  
 Lzx = 0.03 Lzz = 288508301

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
 Ixx = 1532576787501467.00 Ixy = -464983483655.14 Ixz = 8215991064  
 Iyx = -464983483655.14 Iyy = 1537903269425481.75 Iyz = 2295968050  
 Izx = 821599106455.82 Izy = 22959680509980.34 Izz = 2925661745



Propiedades de masa de Ensamblaje1  
 Configuración: Predeterminado  
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

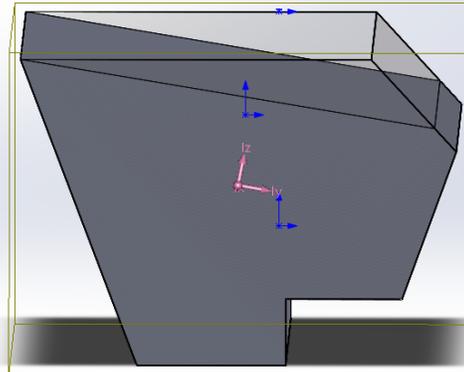
Masa = 25412615.23 gramos  
 Volumen = 24448842338.48 milímetros cúbicos  
 Área de superficie = 150910678.84 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
 X = 6.85  
 Y = 12.90  
 Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
 Medido desde el centro de masa.  
 lx = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 24654474928936.73  
 ly = ( 0.98, -0.18, 0.00) Py = 58520338448664.03  
 lz = ( 0.18, 0.98, 0.00) Pz = 65496163866029.95

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
 Lxx = 58754615387392.64 Lxy = -1256737577938.12 Lxz = 0.03  
 Lyx = -1256737577938.12 Lyy = 65261886927311.45 Lzy = 0.01  
 Lzx = 0.03 Lzz = 246544749

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
 Ixx = 1375051220546398.00 Ixy = -1254492602392.19 Ixz = 125261220  
 Iyx = -1254492602392.19 Iyy = 1381555456027636.50 Iyz = 2359105385  
 Izx = 1252612202367.21 Izy = 2359105389738.42 Izz = 2465989501



Propiedades de masa de Ensamblaje1  
 Configuración: Predeterminado  
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

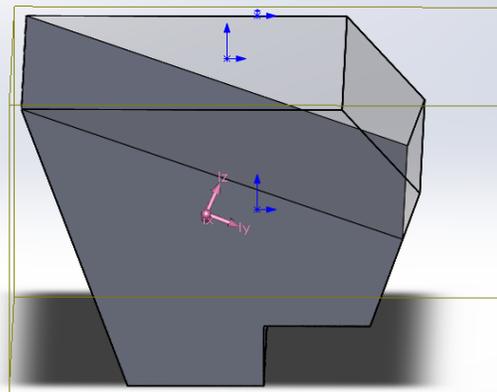
Masa = 20784421.41 gramos  
 Volumen = 19820648522.93 milímetros cúbicos  
 Área de superficie = 146570916.72 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
 X = -109.14  
 Y = -125.18  
 Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
 Medido desde el centro de masa.  
 lx = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 18034615610644.35  
 ly = ( 0.92, -0.38, 0.00) Py = 46481387853053.95  
 lz = ( 0.38, 0.92, 0.00) Pz = 53202182405082.28

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
 Lxx = 47465894916635.52 Lxy = -2376429159707.88 Lxz = 0.03  
 Lyx = -2376429159707.88 Lyy = 52217675341500.81 Lzy = 0.01  
 Lzx = 0.03 Lzz = 180346156

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
 Ixx = 1124358296047753.25 Ixy = -2092480738618.95 Ixz = -163250418  
 Iyx = -2092480738618.95 Iyy = 1129031934046734.50 Iyz = -187251842  
 Izx = -16325041841890.05 Izy = -18725184249369.39 Izz = 1860786342



Propiedades de masa de Ensamblaje1  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 16048330.53 gramos

Volumen = 15084557645.90 milímetros cúbicos

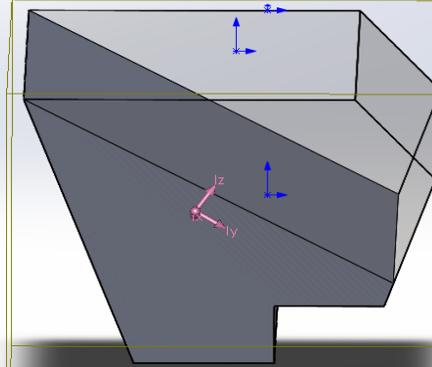
Área de superficie = 142054528.75 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = -264.78  
Y = -239.05  
Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
Medido desde el centro de masa.  
Ix = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 12373703340383.71  
Iy = ( 0.83, -0.55, 0.00) Py = 35230249549204.63  
Iz = ( 0.55, 0.83, 0.00) Pz = 40666390915780.83

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
Lxx = 36895389877356.73 Lxy = -2505842354694.88 Lxz = 0.03  
Lyx = -2505842354694.88 Lyy = 39001250587628.80 Lyz = 0.01  
Lzx = 0.03 Lzy = 0.01 Lzz = 123737033

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
Ixx = 869064753155330.00 Ixy = -1490060735515.42 Ixz = -305822786  
Iyx = -1490060735515.42 Iyy = 871378702683552.88 Iyz = -276098072  
Izx = -30582278649959.01 Izy = -27609807252430.10 Izz = 1441589582



Propiedades de masa de Ensamblaje1  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 11523217.14 gramos

Volumen = 10559444248.61 milímetros cúbicos

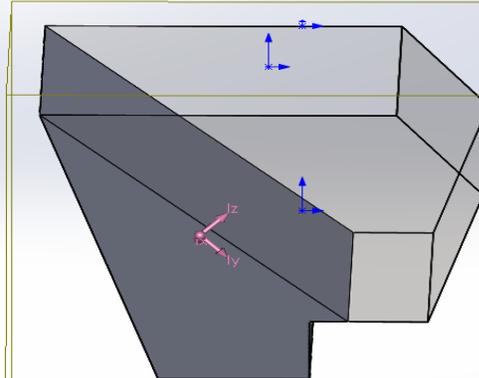
Área de superficie = 134217797.20 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = -445.83  
Y = -317.38  
Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
Medido desde el centro de masa.  
Ix = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 7942389867405.38  
Iy = ( 0.70, -0.71, 0.00) Py = 25244552896175.78  
Iz = ( 0.71, 0.70, 0.00) Pz = 28902211833857.21

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
Lxx = 27093520478965.72 Lxy = -1828718590288.40 Lxz = 0.03  
Lyx = -1828718590288.40 Lyy = 27053244251067.32 Lyz = 0.02  
Lzx = 0.03 Lzy = 0.02 Lzz = 794238986

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
Ixx = 625120148069867.50 Ixy = -198202593375.65 Ixz = -369737926  
Iyx = -198202593375.65 Iyy = 626209520918010.50 Iyz = -263213289  
Izx = -36973792684618.05 Izy = -26321328972842.53 Izz = 1139353992



Propiedades de masa de Ensamblaje1  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 7986795.05 gramos

Volumen = 7023022164.13 milímetros cúbicos

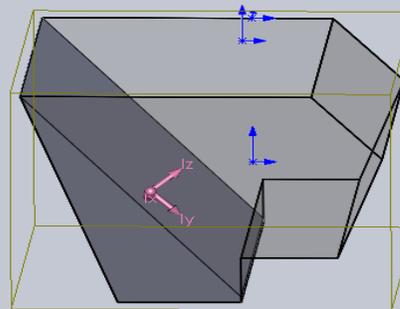
Área de superficie = 129755407.68 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = -534.91  
Y = -384.60  
Z = 7197.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milimet  
Medido desde el centro de masa.  
Ix = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 5901283818470.11  
Iy = ( 0.69, -0.72, 0.00) Py = 18117311619525.27  
Iz = ( 0.72, 0.69, 0.00) Pz = 20453714738010.10

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r  
Lxx = 19330722081290.89 Lxy = -1167326448834.80 Lxz = 0.04  
Lyx = -1167326448834.80 Lyy = 19240304276244.53 Lyz = 0.02  
Lzx = 0.04 Lzy = 0.02 Lzz = 590128381

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.  
Ixx = 434202595320567.94 Ixy = 475750881398.35 Ixz = -307469340  
Iyx = 475750881398.35 Iyy = 435216022498922.75 Iyz = -221070978  
Izx = -30746934064308.26 Izy = -22107097810981.58 Izz = 9367879582



## F. Capturas historiales de fallas

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Aviso	Posic	Status sistema	Orden	Ubicac. técni	Descripción	Cód. parte o	TextoCódPartObj	Código ave	TextoCódProblem	Causas ave	Txt. cód. mot.
2	1700538185	0001	MECE		MC-VG-5034	FABRICAR VISAGRAS TUBULARES DE 5/8	5309	Cruceta tubular	S028	Fractura	C029	Desgaste o deterioro esperado
3	170052498	0002	MECE ORAS	2300011336	MC-VG-5043	VIGA CHASIS EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
4	170052498	0001	MECE ORAS	2300011336	MC-VG-5043	VIGA CHASIS EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
5	170052560	0001	MECE ORAS	2200089028	MC-VG-5043	CABLEADO EN GRAL EN MAL ESTADO	4202	Cableado	S003	Corto circuito	C029	Desgaste o deterioro esperado
6	170052594	0001	MECE ORAS	2200089059	MC-VG-5045	BUJE APILADOR EN MAL ESTADO	5075	Buje	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
7	170052595	0001	MECE ORAS	2200089060	MC-VG-5046	BUJE APILADOR EN MAL ESTADO	5075	Buje	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
8	170052584	0001	MECE MIMP ORAS	2200089051	MC-VG-5048	NO TIENE GATOS DE VOLTEO TRASERO Y DELAN	3327	Cilindro volteo canasta	S068	Falta componente	C068	Otra - Especificar
9	170052584	0002	MECE MIMP ORAS	2200089051	MC-VG-5048	NO TIENE GATOS DE VOLTEO TRASERO Y DELAN	4202	Cableado	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
10	170052620	0001	MECE ORAS	2200089087	MC-VG-5036	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
11	170052621	0001	MECE ORAS	2200089088	MC-VG-5037	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
12	170052622	0001	MECE ORAS	2200089089	MC-VG-5042	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
13	170052623	0001	MECE ORAS	2200089090	MC-VG-5044	ACOND CANASTA	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
30	180000750	0001	MECE ORAS	2200089255	MC-VG-5049	VIGAS DE CHASIS FRACTURADAS	5068	Viga	S028	Fractura	C042	Fatiga
31	180000750	0002	MECE ORAS	2200089255	MC-VG-5049	VIGAS DE CHASIS FRACTURADAS	5314	Letrero	S019	Deformación	C029	Desgaste o deterioro esperado
36	170052821	0001	MECE ORAS	2200089281	MC-VG-5047	DAÑO EN CHASIS PARTE TRASERA	5309	Cruceta tubular	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
37	180000784	0001	MECE ORAS	2200090072	MC-VG-5050	DAÑO EN CHASIS PARTE TRASERA	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
86	170053173	0001	MECE ORAS	2200089627	MC-VG-5038	RIN DELANTERO LADO DERECHO MALO	8023	Rin	S027	Fisura - Rotura	C043	Fractura
91	170053451	0005	MECE ORAS	2300011434	MC-VG-5046	VIGAS DE CHASIS EN MAL ESTADO	4202	Cableado	S002	Circuito abierto	C006	Cable interrumpido
92	170053451	0004	MECE ORAS	2300011434	MC-VG-5046	VIGAS DE CHASIS EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
93	170053451	0003	MECE ORAS	2300011434	MC-VG-5046	VIGAS DE CHASIS EN MAL ESTADO	5309	Cruceta tubular	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
94	170053451	0002	MECE ORAS	2300011434	MC-VG-5046	VIGAS DE CHASIS EN MAL ESTADO	8102	Balancín	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
95	170053451	0001	MECE ORAS	2300011434	MC-VG-5046	VIGAS DE CHASIS EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
128	170053618	0001	MECE ORAS	2200090036	MC-VG-5040	PATA SOSTENIMIENTO EN MAL ESTADO	5320	Pata de sostenimiento	S027	Fisura - Rotura	C065	Combinación de causas
133	170053619	0001	MECE ORAS	2200090037	MC-VG-5041	PATA SOSTENIMIENTO EN MAL ESTADO	5320	Pata de sostenimiento	S027	Fisura - Rotura	C065	Combinación de causas
134	170053620	0001	MECE ORAS	2200090038	MC-VG-5043	PATA SOSTENIMIENTO EN MAL ESTADO	5320	Pata de sostenimiento	S027	Fisura - Rotura	C065	Combinación de causas
163	170053722	0001	MECE ORAS	2200090144	MC-VG-5047	CABLEADO ELECTRICO EN MAL ESTADO	4202	Cableado	S002	Circuito abierto	C007	Circuito abierto
164	170053722	0002	MECE ORAS	2200090144	MC-VG-5047	CABLEADO ELECTRICO EN MAL ESTADO	3327	Cilindro volteo canasta	S047	No abre total/Parcialmente	C019	Error en la instalación
165	170053809	0003	MECE ORAS	2200090217	MC-VG-5035	VIGA CANASTA EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
166	170053809	0004	MECE ORAS	2200090217	MC-VG-5035	VIGA CANASTA EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
167	170053809	0002	MECE ORAS	2200090217	MC-VG-5035	VIGA CANASTA EN MAL ESTADO	5037	Pasador	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
168	170053809	0001	MECE ORAS	2200090217	MC-VG-5035	VIGA CANASTA EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
169	170053798	0001	MECE ORAS	2200090211	MC-VG-5047	CILINDRO DE VOLTEO EN MAL ESTADO	3327	Cilindro volteo canasta	S054	No sube	C061	Pegado
170	160049220	0001	MECE ORAS	2200090439	MC-VG-5047	FISURAS VARIAS EN CANASTA Y CHASIS	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
171	160049220	0002	MECE ORAS	2200090439	MC-VG-5047	FISURAS VARIAS EN CANASTA Y CHASIS	5309	Cruceta tubular	S023	Desgaste	C042	Fatiga
172	160049220	0003	MECE ORAS	2200090439	MC-VG-5047	FISURAS VARIAS EN CANASTA Y CHASIS	5309	Cruceta tubular	S069	Mejoramiento	C065	Combinación de causas
177	170054000	0001	MECE		MC-VG-5037	CANASTA ROTA COSTADO IZQUIERDO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
182	170054030	0001	MECE MIMP ORAS	2200090433	MC-VG-5047	CILINDRO DE VOLTEO TORCIDO	3327	Cilindro volteo canasta	S019	Deformación	C056	Desalineamiento
183	170054030	0002	MECE MIMP ORAS	2200090433	MC-VG-5047	CILINDRO DE VOLTEO TORCIDO	4203	Conector lampara	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
184	170054060	0001	MECE MIMP ORAS	2200090471	MC-VG-5037	CAMBIAR LAMINA DE CANASTA LADO DESCARGUE	5300	Canasta	S023	Desgaste	C037	Desgaste o deterioro acelerado
185	170054060	0002	MECE MIMP ORAS	2200090471	MC-VG-5037	CAMBIAR LAMINA DE CANASTA LADO DESCARGUE	5000	Chasis	S017	Corrosión	C035	Corrosión
186	170054061	0001	MECE ORAS	2200090472	MC-VG-5050	INSTALAR PATA DE APOYO	5320	Pata de sostenimiento	S019	Deformación	C038	Destrucción
187	170054070	0002	MECE MIMP ORAS	2200090481	MC-VG-5050	FALTAN MANGUERAS DEL SIST HIDRAULICO	4202	Cableado	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
188	170054070	0001	MECE MIMP ORAS	2200090481	MC-VG-5050	FALTAN MANGUERAS DEL SIST HIDRAULICO	3400	Manguera hidráulica	S068	Falta componente	C066	Desconocida
189	170054121	0001	MECE ORAS	2200090539	MC-VG-5047	SOLDAR TUBO DE CILINDRO AUTVOLTEO	5322	Punto de volteo	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
190	170054202	0002	MECE ORAS	2200090611	MC-VG-5046	VIGAS DE CANASTA EN MAL ESTADO	5322	Punto de volteo	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
191	170054202	0001	MECE ORAS	2200090611	MC-VG-5046	VIGAS DE CANASTA EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C029	Desgaste o deterioro esperado
192	170054235	0001	MECE MIMP ORAS	2200090672	MC-VG-5037	MANGUERAS DE CILINDRO HIDRAULICO EN MAL	3400	Manguera hidráulica	S019	Deformación	C015	Objeto externo, impacto, influe
245	170054769	0001	METR ORAS	2200091219	MC-VG-5043	LAMINA LATERAL DESGASTADA	5313	Lamina lateral	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
246	170054769	0002	METR ORAS	2200091219	MC-VG-5043	LAMINA LATERAL DESGASTADA	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
247	170054769	0003	METR ORAS	2200091219	MC-VG-5043	LAMINA LATERAL DESGASTADA	8020	Punta de eje	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
248	170054769	0004	METR ORAS	2200091219	MC-VG-5043	LAMINA LATERAL DESGASTADA	5309	Cruceta tubular	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
249	170054786	0004	MECE ORAS	2200091306	MC-VG-5042	CANASTA EN MAL ESTADO	5309	Cruceta tubular	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
250	170054786	0003	MECE ORAS	2200091306	MC-VG-5042	CANASTA EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
251	170054786	0002	MECE ORAS	2200091306	MC-VG-5042	CANASTA EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
252	170054786	0001	MECE ORAS	2200091306	MC-VG-5042	CANASTA EN MAL ESTADO	4207	Lampara trasera	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
265	170054864	0001	MECE ORAS	2200091320	MC-VG-5042	LUCEZ TRASERAS NO FUNCIONAN	4207	Lampara trasera	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
266	170054863	0001	METR ORAS	2300011599	MC-VG-5045	FISURA EN VIGA CHASIS	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
252	170054786	0001	MECE ORAS	2200091306	MC-VG-5042	CANASTA EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
265	170054864	0001	MECE ORAS	2200091320	MC-VG-5042	LUCES TRASERAS NO FUNCIONAN	4207	Lampara trasera	S027	Fisura - Rotura	C015	Objeto externo, impacto, influe
266	170054863	0001	METR ORAS	2300011599	MC-VG-5045	FISURA EN VIGA CHASIS	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
310	170055284	0001	MECE ORAS	2200091682	MC-VG-5046	VIGAS CHASIS EN MAL ESTADO	5068	Viga	S028	Fractura	C042	Fatiga
311	170055302	0002	MECE ORAS	2200091704	MC-VG-5045	CABLEADO EN GRAL SIST ELECT EN MAL ESTAD	4207	Lampara trasera	S052	No prende	C028	Ciclo de vida cumplido
312	170055302	0001	MECE ORAS	2200091704	MC-VG-5045	CABLEADO EN GRAL SIST ELECT EN MAL ESTAD	4202	Cableado	S002	Circuito abierto	C013	Contaminación
313	170055311	0001	MECE ORAS	2200091710	MC-VG-5044	CILINDRO DE VOLTEO CANASTA EN MAL ESTADO	3327	Cilindro volteo canasta	S029	Fuga externa	C059	Fuga interna
342	170055462	0001	MECE ORAS	2200091838	MC-VG-5046	CONSTRUIR PASADOR CENTRAL BALANCIN	5037	Pasador	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
343	170055578	0002	MECE ORAS	2200091935	MC-VG-5040	CANASTA EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
344	170055578	0001	MECE ORAS	2200091935	MC-VG-5040	CANASTA EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
345	170055596	0001	MECE ORAS	2200091945	MC-VG-5046	CABLEADO DE LUCES EN MAL ESTADO	4202	Cableado	S003	Corto circuito	C007	Circuito abierto
346	170055832	0001	MECE MIMP ORAS	2200092130	MC-VG-5041	INSTALAR CILINDRO DE VOLTEO TRAS (NO LO	3327	Cilindro volteo canasta	S068	Falta componente	C066	Desconocida
391	1700556371	0001	METR ORAS	2300011832	MC-VG-5034	SOPORTE DE TANDEM EN MAL ESTADO	8102	Balancin	S019	Deformación	C042	Fatiga
398	170056788	0001	MECE ORAS	2200092996	MC-VG-5045	CRUCETA EN MAL ESTADO	5309	Cruceta tubular	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
399	170056779	0001	METR ORAS	2200092995	MC-VG-5049	PUNTA EJE DELANTERO LADO IZQUIERDO EN MA	8009	Eje delantero	S028	Fractura	C042	Fatiga
400	170056779	0002	METR ORAS	2200092995	MC-VG-5049	PUNTA EJE DELANTERO LADO IZQUIERDO EN MA	5002	Argolla para engancho	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
401	170056779	0003	METR ORAS	2200092995	MC-VG-5049	PUNTA EJE DELANTERO LADO IZQUIERDO EN MA	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
458	170056952	0003	METR ORAS	2300011927	MC-VG-5033	BUJES DE BALANCIN EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
459	170056952	0002	METR ORAS	2300011927	MC-VG-5033	BUJES DE BALANCIN EN MAL ESTADO	5320	Pata de sostenimiento	S054	No sube	C042	Fatiga
460	170056952	0001	METR ORAS	2300011927	MC-VG-5033	BUJES DE BALANCIN EN MAL ESTADO	8102	Balancin	S023	Desgaste	C029	Desgaste o deterioro esperado
461	170056952	0004	METR ORAS	2300011927	MC-VG-5033	BUJES DE BALANCIN EN MAL ESTADO	5300	Canasta	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
462	170056958	0001	MECE ORAS	2200093152	MC-VG-5039	CHASIS EN MAL ESTADO	5000	Chasis	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
463	170056958	0002	MECE ORAS	2200093152	MC-VG-5039	CHASIS EN MAL ESTADO	5309	Cruceta tubular	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
464	170056958	0003	MECE ORAS	2200093152	MC-VG-5039	CHASIS EN MAL ESTADO	5320	Pata de sostenimiento	S068	Falta componente	C065	Combinación de causas
465	180000921	0003	METR ORAS	2200093295	MC-VG-5044	VIGA SUP DELANTERA EN MAL ESTADO	8102	Balancin	S021	Desalineamiento	C042	Fatiga
466	180000921	0001	METR ORAS	2200093295	MC-VG-5044	VIGA SUP DELANTERA EN MAL ESTADO	5068	Viga	S027	Fisura - Rotura	C042	Fatiga
467	180000921	0002	METR ORAS	2200093295	MC-VG-5044	VIGA SUP DELANTERA EN MAL ESTADO	5313	Lamina lateral	S027	Fisura - Rotura	C029	Desgaste o deterioro esperado
472	180000923	0001	MECE ORAS	2200093338	MC-VG-5039	CILINDROS HIDRAULICOS EN MAL ESTADO	3000	Sistema hidráulico	S029	Fuga externa	C058	Fuga externa
473	170057191	0001	METR ORAS	2200093389	MC-VG-5036	REPARACION DE CANASTA Y CRUCETA	5309	Cruceta tubular	S028	Fractura	C043	Fractura

## Bibliografía

Beer, F. Johnston, E. y Cornwell, P. (2013). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica. México: McGraw Hill.

<sup>1</sup> Beer, F. Johnston, E. y DeWolf, J. (2013). Mecánica de materiales. México: McGraw Hill.

Cenicaña. (2018, mayo). características agronómicas y de productividad (serie tecnica N° 40). [https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/serie\\_tecnica/st\\_40/st\\_40.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_40/st_40.pdf)

Cilindros hidráulico estándar de doble efecto [serie 1000] – Cicrosa Hidraulica, s.l. (s. f.). <https://www.cicrosa.com/index.php/productos/cilindros-hidraulicos/cilindros-hidraulicos-estandar/cilindros-hidraulicos-estandar-doble-efecto-1000/>.

Codina, E. Khamashta, M. Salazar, E. (agosto, 2007). Estudio de la capacidad de Carga de Cilindros Oleohidráulicos. Scientia et Technica, No 35, 183-188.

DNV-GL. (2015). Hydraulic cylinders. Class guideline, Diciembre, 3-17. <https://dnvgl.com>

Flores, J., & Cosme, V. (2014). Ingeniero automotriz (Ingeniero). Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Gómez, V. Goytizolo, R. Cabello, J. (2002). Optimización de las dimensiones radiales en el diseño de cilindros oleohidráulicos. Ingeniería Mecánica, 3, 15-17.

IMECOL. (2016, 13 agosto). Planos vagon autovolteo 25m<sup>3</sup> [Planos]. En AUTOVOLTE

ISO. (2001). NORMA ISO/TS 13725: 2001: Hydraulic fluid power – Cylinders Method for determining the buckling load. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/33432.html>

Jimeno, J. (Mayo, 2015). Analisis de causa raiz . 28, Abril, 2020, de PDCPA Home Sitio web: <https://www.pdcapahome.com/7642/analisis-de-causa-raiz-metodologia-para-investigar-y-resolver-incidencias/>

Moll, R. (2006). Diseño De Elementos De Maquinas (4.a ed.). Pearson Educación.

Padilla, R. (2011). Cálculo de ascensores hidráulicos según normativa en 81-2 (Tesis de pregrado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.

Perez, D. (2016). Evaluación agrotécnica del semirremolque autobasculante en el trasbordo de caña de azúcar en condiciones de alta humedad (Tesis de pregrado). Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Cuba.

Salazar, E. (2006). Capacidad de carga de Cilindros Oleohidráulicos (Tesis de doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, España.

Salto, C. (2011). Sistemas oleohidraulicos. Desarrollo industrial, 62-69.

Schnarr, H. (2020). Preparacion metalografica aceros inoxidables de . marzo, 2020, de struers Sitio web: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Materials/Stainless-Steel#main>

Universidad del nordeste. (2010). Cargas dinámica y fatiga. En estabilidad (2.a ed., pp. 1-3). Universidad del nordeste.