

## Diseño y análisis del cuello de ganso de cama baja para un camión 777D caterpillar de MYSRL

### Design and analysis of gooseneck low bed truck caterpillar 777D MYSRL

Luis Lara Romero<sup>1</sup> | Luis Julca Verástegui<sup>2</sup> | Jams Cueva Robles<sup>3</sup>

#### RESUMEN

En el trabajo de investigación se ha determinado la conexión entre una cama baja de 80 TN y un camión gigante Caterpillar 777D para Minera Yanacocha SRL, dicha conexión llamada Cuello de Ganso, ha tenido una quinta rueda para conectar un King Pin a una mesa previamente colocada (empernada) al chasis del camión 777D y una estructura tipo mandíbula movida por pistones llamada muela que fue la encargada de mover la cama baja solidaria al cuello de ganso y al camión. Para las simulaciones se ha utilizado un software de análisis de elementos finitos (FEA). Se ha logrado verificar que utilizando el Método de los Elementos Finitos (MEF) incorporado en el Software de análisis Solidworks, la estructura del cuello de ganso, el Pin Horizontal de la quinta rueda y el King Pin están diseñados correctamente para los trabajos de la operación en campo.

**Palabras Clave:** Método de los Elementos Finitos (MEF), Software de análisis de diseño de ingeniería, Camión 777D, Caterpillar de MYSRL, Cuello de ganso.

#### ABSTRACT

The research work has determined the connection between low bed 80 TN and a giant truck Caterpillar 777D for Minera Yanacocha SRL, said connection call Gooseneck has had a fifth wheel King Pin to connect a previously placed a table (bolted) to the 777D truck chassis and a jaw-like structure called piston-driven wheel that was responsible for the move of solidarity and gooseneck low bed truck. For the simulations, we used a software of finite element analysis (FEA). Has been made to verify that using the Method of Finite Element (FEM) incorporated in the analysis software Solidworks, structure gooseneck, Pin Horizontal Fifth Wheel and King Pin are properly designed for the work of the operation field.

**Key words:** Finite Element Method (FEM), Analysis software engineering design, Caterpillar 777D, Truck MYSRL, Gooseneck.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño del cuello de ganso fue enfocado principalmente en el cálculo por elementos finitos de los esfuerzos sobre el King Pin, el Pin Horizontal de la quinta rueda (previo a un análisis para hallar las fuerzas dinámicas sobre este) y la estructura del cuello de ganso. El cuello de ganso es un componente fabricado principalmente de plancha estructural A-514, soldado por procesos de soldadura tubular (FCAW semiautomático) el cual tiene como función principal conectar una Cama Baja de 80 TN con un camión Caterpillar 777D como se muestra en la Figura 1. En la Figura 2 se muestra imágenes del diseño del Cuello de Ganso armado junto al camión 777D con la cama baja.

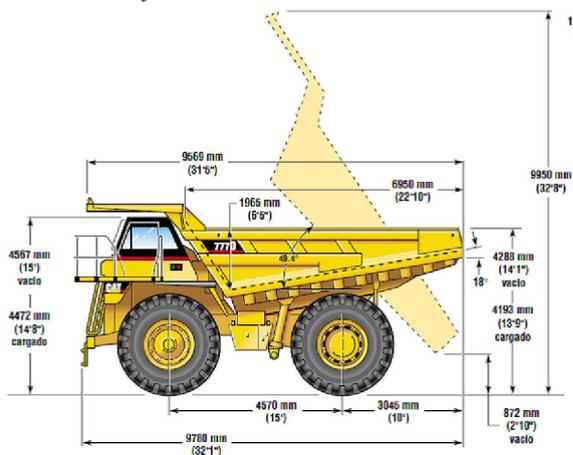


Figura 1. Camión 777D Caterpillar.  
Fuente: Vía Rural (2010)



Figura 2. Cuello de ganso armado con el camión 777D.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 1.1. Importancia y Justificación

La Minera Yanacocha MYSRL (Departamento de Cajamarca a 800 kilómetros al Noreste de la Ciudad de Lima, Perú) por un tema de operatividad y costos tiene la necesidad de transportar equipos gigantes como tractores de oruga, tractores de rueda, perforadoras, grúas, y otros de un lugar a otro para mantenimiento correctivo o predictivo o para realizar trabajos en áreas distintas por lo que el uso de una Cama Baja se hace

indispensable para este requerimiento, los Cama Bajas con que cuenta MYSRL utilizan camiones volvo para este traslado teniendo una gran dificultad de traslado en las pendientes y en las carreteras enfangadas por las constantes lluvias, es por ello que se vio la importancia de utilizar para este traslado los camiones gigantes 777D para lo cual se procedió a diseñar el enganche entre este camión y la Cama Baja.

### 1.2. Objetivos del proyecto

Bajo condiciones de máximo esfuerzo – frenado o choque se tiene:

- Calcular los esfuerzos producidos en la estructura del cuello de ganso.
- Determinar el factor de seguridad en la estructura del cuello de ganso.
- Determinar el factor de seguridad del Pin Horizontal de la quinta rueda y en el King Pin.
- Calcular la fuerza de inercia en el centro de masas y las fuerzas que soportan la zona de la quinta rueda y King Pin.

### 1.3 Procedimiento de modelamiento y simulación

Para conocer el Cuello de Ganso se realizó una visita técnica a la Compañía Minera Antamina S.A. ubicado en la Sierra Oriental de Áncash, distrito de San Marcos, en la Región Ancash, en el Perú, aproximadamente a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4.300 metros sobre el nivel del mar, Figura 3.

Los equipos e instrumentos utilizados para realizar las mediciones del Cuello de Ganso fueron una cinta métrica de 5 metros, cámara fotográfica, reglas de aluminio de 3 metros, escuadras, tira línea, otros.



Figura 3. Cuello de Ganso, Minera Antamina.  
Fuente: Elaboración Propia.

Se consiguió las medidas generales (longitudes de chasis al piso, largos, anchos, otros.) del chasis del camión 777D de la firma Caterpillar donde se pudo simular el ensamble del Cuello de Ganso.

Se utilizó un software de ingeniería de simulación de elementos finitos para simular y diseñar todo el conjunto

del Cuello de Ganso. Se contó con los planos generales de la cama baja existente, donde figuran las longitudes además de la masa: 30 TN y la carga que soporta: 80 TN.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales elegidos para la fabricación de la estructura del cuello son en su totalidad de acero estructural A-514, por ser un acero que tiene mucha más resistencia que el A-36.

El bloque donde se aloja la bocina del King Pin es de material AISI 1045 que va soldado a la estructura del cuello de ganso. El material utilizado para hacer el King Pin, los ejes horizontales de la quinta rueda, de la muela, los pines, la bocina del King Pin son hechos de Acero 4140 VCL.

El proceso de soldadura utilizado es el FCAW (soldadura tubular semiautomática) con un material para la soldadura de alambre tubular Exatub 71.

### 2.1 Descripción de la fabricación de las piezas, según intenciones de diseño y/o funcionamiento

El Cuello de Ganso consta de dos vigas curvas reforzadas principales LH y RH, las cuales han sido armadas usando acero estructural A-514, se ha considerado forma curva debido a que su forma de trabajo es jalar una cama baja. El corte se realizó por el proceso del oxicorte automático y las vigas armadas se soldaron por el proceso de semiautomático FCAW.



(a)



(b)

Figura 4. Cuello de Ganso en proceso de soldadura.  
Fuente: Elaboración Propia.

En el otro extremo del cuello de ganso se ha colocado un tubo SCH 80 de diámetro 6" donde se alojara un eje para que permita conectar y pivotear a la muela con respecto al cuello de ganso, este eje es de material AISI 4140 Acero VCL, Figura 5.



Figura 5. Extremo del Cuello de Ganso colocado en un tubo SCH 80.

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2 Muela de cuello de ganso

Fue fabricada de acero estructural A-514, en un extremo tiene 04 orejas para que mediante pines se puedan amarrar a los cilindros del cuello de ganso. En el otro extremo tiene también (04) orejas para que mediante un pin o eje largo se pueda amarrar al cuello de ganso y allí pivotear. Además tiene una base perpendicular reforzada que servirá para apoyar a compresión la cama baja y poder trasladarla de un lugar a otro, Figura 6.



(a)



(b)

Figura 6. Muela de cuello de ganso.  
Fuente: Elaboración Propia.

La quinta rueda fue fabricada de Acero estructural A-514 soldada por proceso FCAW y además torneada y fresada, tiene un disco hembra donde gira el disco macho que pertenece al cuello de ganso, tiene un agujero central por donde se instalara el King Pin para amarrar el cuello de ganso con la quinta rueda y por ultimo tiene 2 orejas por donde mediante un pin horizontal se amarra a la mesa instalada sobre el chasis del camión, Figura 7.



Figura 7. Quinta rueda A-514.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.4. King Pin

El King Pin esta hecho de Acero VCL (AISI 4140) tiene una base o disco para soldarse a la base de la quinta rueda y en el otro extremo tiene una rosca trapezoidal de 4" con tuerca, arandela y seguro para asegurar el conjunto.



(a)



(b)

Figura 8. King Pin Acero VCL.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.5 Mesa de quinta rueda

La mesa de la quinta rueda se ha fabricado de acero estructural A-514 y consta de 04 orejas superiores para que mediante un pin horizontal se amarre a la quinta rueda, además su base inferior fabricado de acero estructural A-514 y consta de 4 orejas superiores para que mediante un pin horizontal se amarre a la quinta rueda, además su base inferior tiene la inclinación del chasis del camión y tiene agujeros con tuercas soldadas por dentro para unir esta mesa a las aletas previamente soldadas al chasis del camión, Figura 9.



Figura 9. Mesa de quinta rueda A-514.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.6. Descripción del montaje y sujeción de los componentes del sistema mecánico

En la Figura 10 se puede apreciar todos los componentes que se instalaran sobre el camión 777D antes de colocar el cuello de ganso. Se puede observar que: (1) mesa de quinta rueda, (2) pernos de sujeción, (3) eje pivot de brazo de levante, (4) eje pivot horizontal de quinta rueda, (5) aletas de chasis.

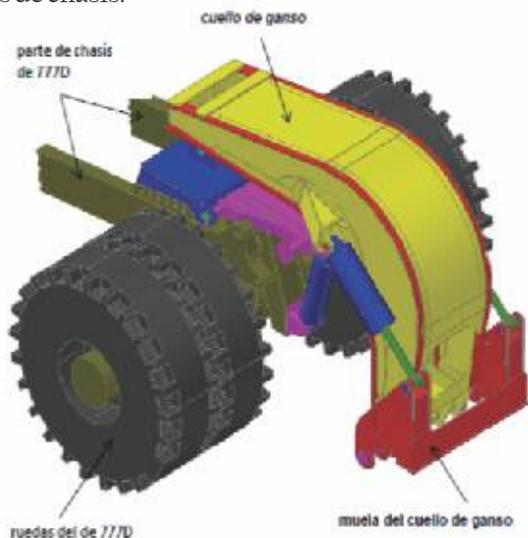


Figura 10. Partes del Sistema mecánico del Cuello de Ganso  
Fuente:Elaboración Propia.

En la Figuras 11, se muestra las partes del cuello de ganso:

- 1: Cuello de ganso
- 2: Bloque 1045
- 3: Plancha inferior con disco macho de cuello de ganso.
- 4: Base soporte de cilindro de muela.
- 5: Pin superior de cilindro de muela.
- 6: cilindro pivot de muela.
- 7: Pin inferior de cilindro de muela.

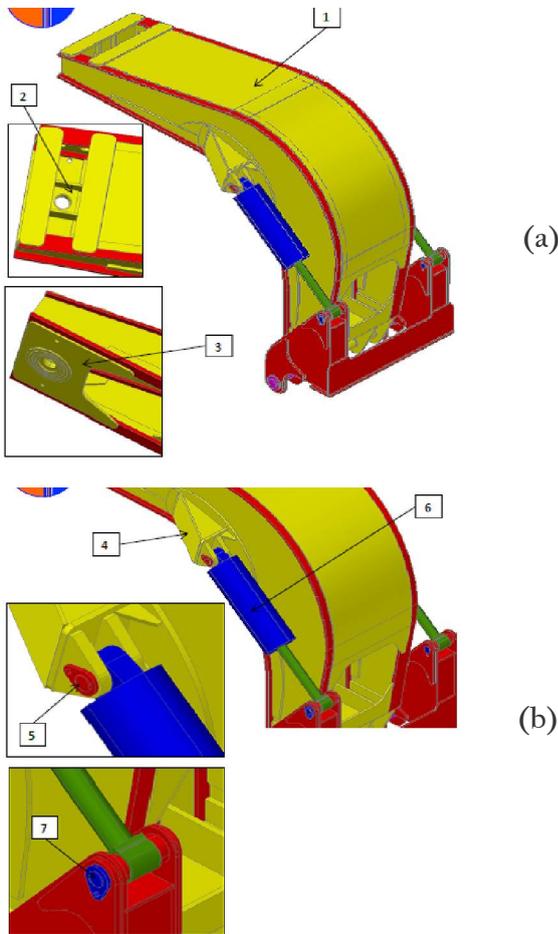


Figura 11. Partes del Cuello de Ganso.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 12 se tiene al camión tractor 777D con el cuello de ganso y la cama baja a nivel del suelo, se observa que se retrocede lentamente hasta que los ganchos (puños) se acoplan a la cama baja. Se muestra el eje de la muela de ganso se engancha a los ganchos de acople de la cama baja.

### 2.7. Descripción del proceso de simulación del análisis por resistencia.

Se procedió en primer lugar a calcular las fuerzas vertical y horizontal que actúan durante el caso extremo en la zona de la unión de la quinta rueda, el King Pin y el cuello de ganso. Si hizo un análisis estático de la estructura del cuello de ganso suponiendo un caso extremo, es decir, en un momento de frenado brusco o choque del camión donde la velocidad final fue cero después de una distancia corta.



Figura 12. Ensamblaje del Cuello de Ganso a la cama baja. Fuente: Elaboración Propia.

Por especificación y diseño de la cama baja esta debe ir a una velocidad máxima de 10 Km/h. Se asumió una distancia de frenado de 5 metros, esto es debido a la experiencia recogida de los operadores.

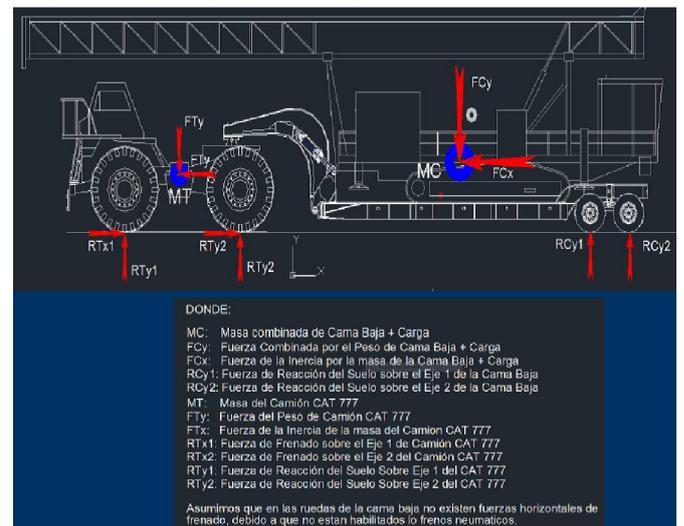


Figura 13. Fuerzas en la zona de la quinta rueda.

Fuente: Elaboración Propia.

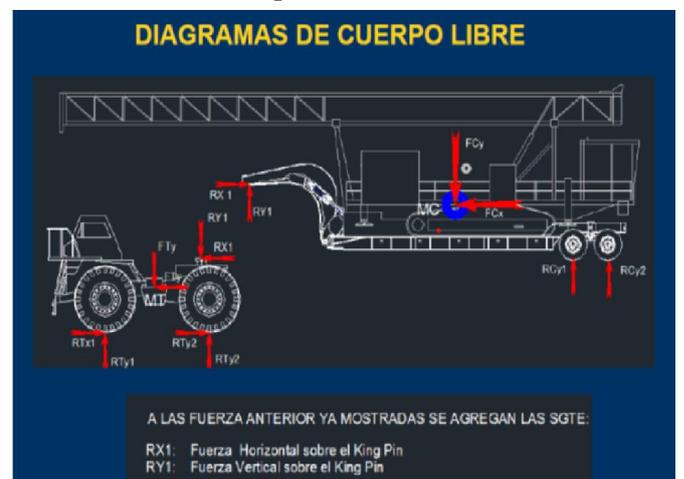


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre para la quinta rueda. Fuente: Elaboración Propia.

### 2.8. Determinación de las fuerzas actuantes en la zona de quinta rueda

La masa de la cama baja es de: 30 TN y se tiene que la carga máxima encima o sobre la cama baja es de 80 TN, por lo tanto su masa combinada es:

$$M_c = 110000 \text{ Kg}$$

Las fuerzas de inercia están en función de la masa multiplicada por la aceleración, entonces se tiene:

$$F_{C_x} = M_c \cdot a$$

Donde, “a” es la aceleración de frenado (-0.77 m/s<sup>2</sup>)

$$F_{C_x} = 84877 \text{ N}$$

Fuerza inercial horizontal en el centro de masa.

$$F_{C_y} = M_c \cdot g$$

Donde, “g” es la aceleración de la gravedad g= 9.81 m/s<sup>2</sup>

$$F_{C_y} = 1079100 \text{ N}$$

Fuerza inercial vertical en el centro de masa.

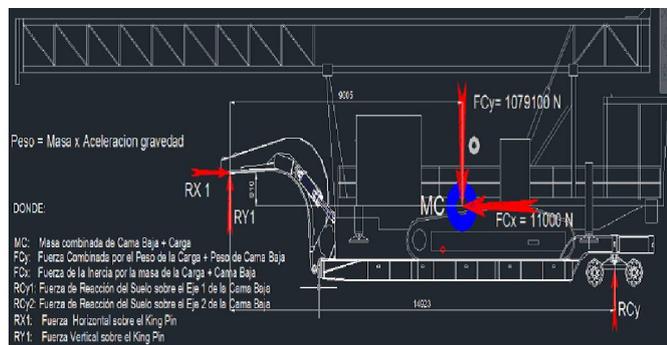


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para la quinta rueda. Fuente: Elaboración Propia.

Obtenemos:

$$R_{C_y} = 655769 \text{ N}$$

Como  $R_{Y1} = 1079100 - 655769 = R_{Y1} = 423331 \text{ N}$ .

Entonces resumiendo los resultados:

$$R_{X1} = 84877 \text{ N}$$

$$R_{Y1} = 423331 \text{ N}$$

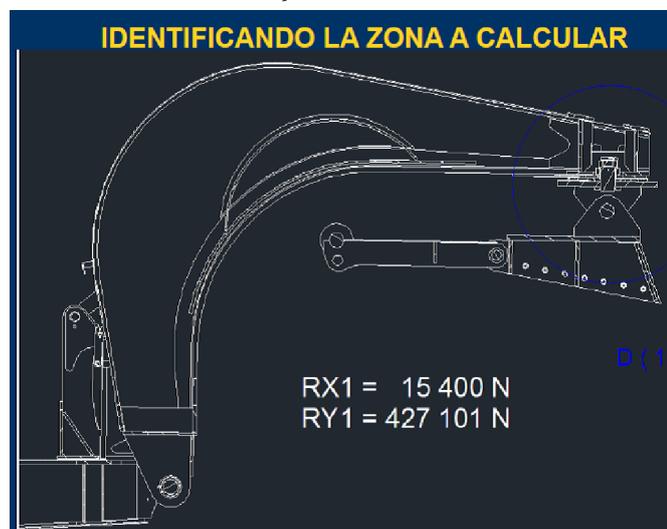


Figura 16. Zonas para el cálculo de RX1 y Ryl Fuente:Elaboración Propia.

Por lo tanto la fuerza RY1 es la que actúa en la zona de la base inferior del cuello de ganso, con esto podemos calcular los esfuerzos en la estructura del cuello de ganso, además también con estas fuerzas se podrán calcular la resistencia del King Pin y del Pin Horizontal de la quinta rueda.

Utilizando el software de análisis de elementos finitos se calcularon los esfuerzos en la estructura del cuello de ganso. Utilizando un enmallado basado en curvatura. Colocando la fuerza FY1 empujando al cuello de ganso hacia arriba y fijándolo en la zona de amarre con la muela, Figura 17.

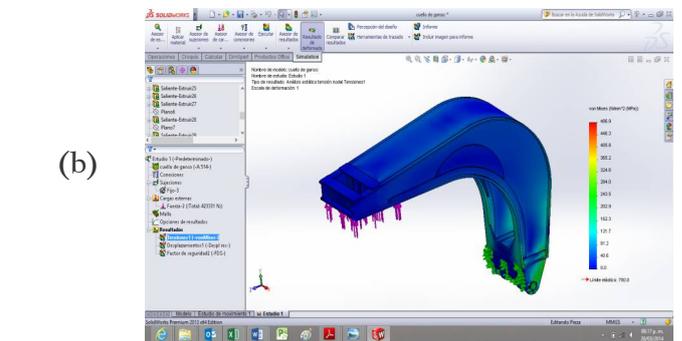
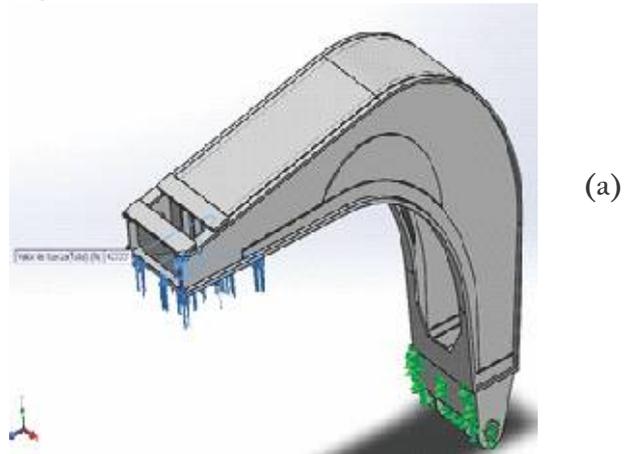


Figura 17. Cálculo de esfuerzos en la estructura del cuello. Fuente: Elaboración Propia.

Fuente: Elaboración Propia.

Para este estudio por fatiga se ejecutó a través de una “interacción aleatoria” suponiendo que la amplitud del nivel del esfuerzo no es constante para que el software aplique las diferentes amplitudes y coja la más crítica. Las tensiones alternas que se tomaron son las “tensiones equivalentes de Von mises” porque la estructura está sometida principalmente a flexión y corte.

Como corrección de la tensión mediase se usó la “tensión de Gerber” debido a que el material es dúctil y los ciclos de operación son bajos. El factor de reducción de resistencia a la fatiga (Kf), ejecutando primero el trazado de comprobación de fatiga. El tipo de carga fue de cero a carga máxima:

$$K_f = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e$$

$K_a=0.93$  factor de mecanizado,  $K_b=0.577$  factor de carga,  $K_c=0.75$  factor de forma,  $K_d=1$  factor de temperatura,  $K_e=0.7$  factor de confiabilidad al 100%,  $K_f=0.2817$ .  
Se ha considerado como vida infinita: 1000000 ciclos debido a que los ciclos para este componente es muy bajo.

### 3. DISCUSION DE RESULTADOS

En la Figura 18 - 21 se muestra los planos del cuello de gancho generadas con el software de elementos finitos.

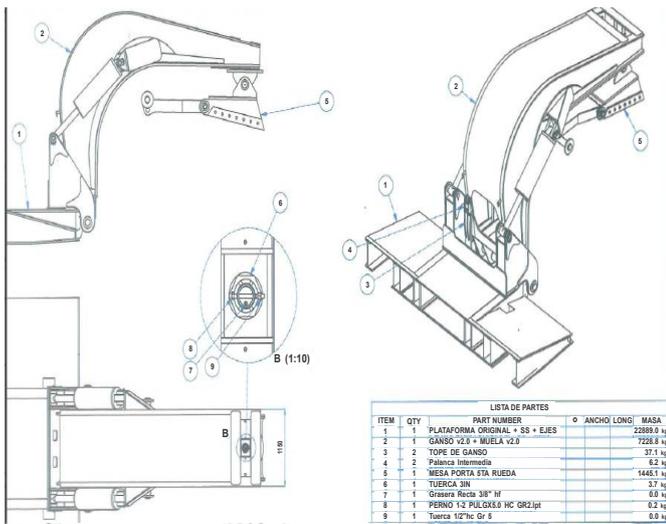


Figura 18. Planos 1 generadas del cuello de gancho.  
Fuente: Elaboración Propia.

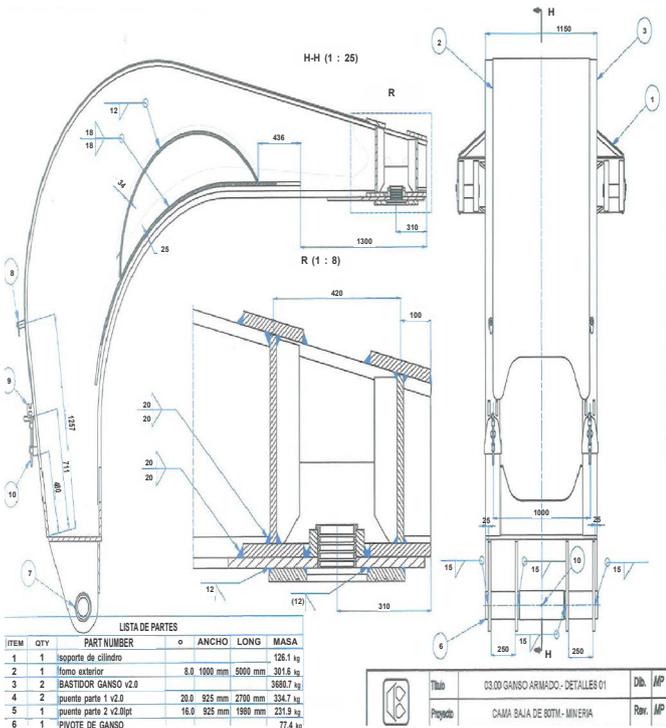


Figura 19. Planos 4 generadas del cuello de gancho.  
Fuente: Elaboración Propia.

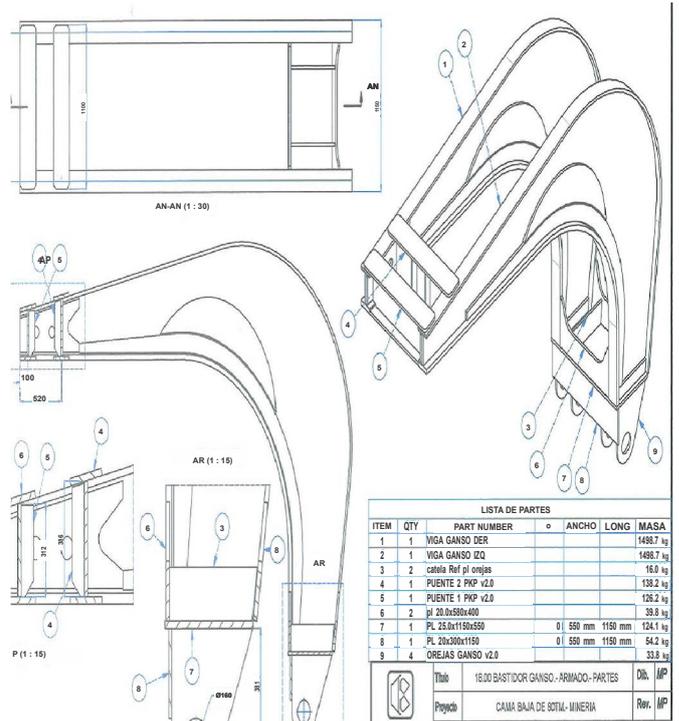


Figura 20. Planos 4 generadas del cuello de gancho.  
Fuente: Elaboración Propia.

Las fuerzas de reacción en la zona de la quinta rueda RX1 y RY1 nos permite calcular los esfuerzos cortantes sobre el King Pin y los esfuerzos cortantes en el pin horizontal, Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de esfuerzos cortantes

CÁLCULOS DE ESFUERZOS CORTANTES	
<b>DATOS</b>	
Material	B. A. VCL
Diámetro	110 mm
Resistencia a la Rotura por Tra	830 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la Rotura por Cor	415 N/mm <sup>2</sup>
Área de la Sección	9503.32 mm <sup>2</sup>
Masa de Cama Baja	30000 Kg
Masa de carga	80000 Kg
Masa combinado Cama Baja +	110000 Kg
Peso combinado Cama Baja +	1079100 N
<b>CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN DE FRENADO</b>	
Velocidad Inicial (V1)	10 Km/hora
Velocidad Final (V2)	0 Km/hora
Distancia de Frenado	5 m/s <sup>2</sup>
Aceleración	-0.7716 m/s <sup>2</sup>
<b>CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FUERZA CORTANTE RX1 SOBRE KING PIN</b>	
Esfuerzo cortante en king pin	8.93
Factor de Seguridad	46.47
<b>CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FUERZA CORTANTE RY1 BARRA PIVOTANTE</b>	
Esfuerzo cortante en king pin	45.52
Factor de Seguridad	9.12

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla I se indica que el King Pin y el Pin Horizontal no fallaran. Los resultados obtenidos por el cálculo estático de los esfuerzos sobre la estructura del cuello de ganso nos arroja un valor aceptable, esto quiere decir que cuando se tenga en la operación una frenada brusca el King Pin, el Pin Horizontal y la estructura del cuello de ganso no fallaran. Los resultados obtenidos por el cálculo de fatiga basado en el cálculo previo estático indicaron que durante 160 ciclos sometidos a una frenada brusca el cuello de ganso no fallaría, pasado esta cantidad de ciclos las fisuras aparecerían en la estructura del cuello de ganso.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se garantiza que el cuello de ganso estructuralmente no fallara siempre y cuando al momento de la frenada brusca el camión este como máximo a una velocidad de 10 Km/h y la distancia de frenado sea de 5 metros. Se garantiza además que el King Pin y el Pin Horizontal tampoco fallaran bajo las condiciones de operación.

Se garantiza que en 160 ciclos de sometimiento bajo estas condiciones la estructura no fallara por fatiga.

Todo lo mencionado se cumplirá siempre y cuando se mantenga un adecuado acabado superficial (no corrosión), una temperatura no mayor de 25°C, no se modifique la estructura y se mantengan las condiciones de carga.

Se recomienda ejecutar el análisis estático y de fatiga de los demás componentes de este conjunto de cuello de ganso: diámetro y cantidad de pernos de la mesa de la quinta rueda, esfuerzos y factores en la muela, en la quinta rueda, y otros elementos.

Se recomienda hacer un análisis de elementos finitos para hallar las fuerzas de contacto de la muela con la cama baja y así poder hallar la fuerza hidráulica de los pistones, y otros.

Se recomienda hacer una inspección cada tres meses durante un año y luego cada 6 meses para ver la correcta lubricación de los pines, King pin ejes, y otros elementos.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Lara, L. 2008. Calculo de las Cargas Hidráulicas en un acuífero confinado semipermeable. Tesis de Doctorado. EP-UNT.
- [2] Marks, M (2005). Manual del Ingeniero Mecánico (4ta edición) Estados Unidos: Mac Graw Hill interamericana.
- [3] Shigley, J (1995). Diseño en Ingeniería Mecánica (5ta edición) México: Mac Graw Hill interamericana.

- [4] Reglamento de seguridad y salud ocupacional de empresas mineras (2010) Decreto supremo D.S. 055 - 2010 E.M. Videoclases de diplomado de diseño - "escuela de post grado UNT"