



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y Optimización de una Bañera Granelera de $42m^3$
Usando los Programas de ANSYS y SOLIDWORKS”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Jairo Arturo Andrade Wong

GUAYAQUIL-ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios. A mis padres que me brindaron la educación y me ayudaron en cada decisión de mi vida.

A mis hermanos y mi enamorada que me apoyaron siempre y a mi director de proyecto el Ing. Ernesto Martínez quien colaboró para el desarrollo de este proyecto.

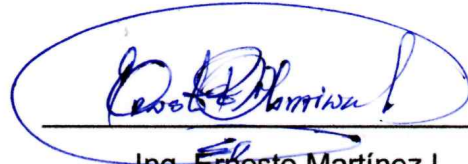
DEDICATORIA

A MI FAMILIA, MI
ENAMORADA Y MIS
AMIGOS QUIENES ME
APOYARON DESDE
EL INICIO DE LA
CARRERA.

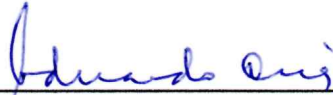
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DEL TFG

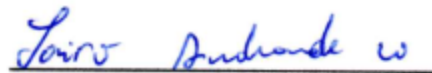


Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Jairo Arturo Andrade Wong

RESUMEN

En este proyecto de graduación se diseñó y se optimizó un semirremolque granelero de 42 m^3 tipo basculante con descarga posterior, cuya función es la de movilizar grandes cantidades de granos, como el cacao, el café, el maíz, etc.

El objetivo principal del diseño es disminuir el peso del remolque en vacío sin afectar la integridad de la estructura, logrando disminuir el consumo de combustible y a su vez el costo del transporte.

Para esto se realizaron varios análisis donde los resultados ayudaron a optimizar el chasis el cual soportaría el peso de la carga a transportar junto con el peso de la estructura del balde y su propio peso.

Para los diseños iniciales del chasis se aplicaron las teorías de fallas convencionales, donde se obtuvo un perfil con el cual se realizó una simulación en el programa SOLIDWORKS® y se corroboró el diseño realizando la simulación en el programa de ANSYS®, donde los resultados fueron analizados y comparados para optimizar el diseño.

También se diseñó el balde o contenedor basculante el cual contendrá el volumen del producto a transportar, el sistema antivuelco que ayudara a evitar un volcamiento del remolque al momento de descargar el producto y el sistema de cierre de compuerta que mantendrá el producto en el balde sin que exista fuga alguna.

Se seleccionaron los elementos y componentes que conforman el semirremolque en base a la disponibilidad que existe en nuestro mercado.

Como el sistema de suspensión completo, el sistema de freno, las barras de apoyo, el King pin, el cilindro hidráulico, etc.

Se realizó un análisis de costos que incluye la mano de obra, materiales y consumibles utilizados en la construcción de este proyecto de graduación.

También se elaboró un cronograma de fabricación y un conjunto de planos de construcción.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN..... | i |
| ÍNDICE GENERAL..... | iii |
| ABREVIATURAS..... | vi |
| SIMBOLOGÍA..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | xii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. GENERALIDADES..... | 3 |
| 1.1 Antecedentes..... | 3 |
| 1.2 Objetivos Generales y específicos..... | 6 |
| 1.3 Alcances | 7 |
| 1.4 Justificación | 7 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 8 |
| 2.1 Definición del problema..... | 8 |
| 2.2 Transporte de cargas pesadas..... | 9 |

| | | |
|-----|---|----|
| 2.3 | Semirremolques graneleros..... | 10 |
| 2.4 | Tipos de semirremolques graneleros..... | 10 |
| 2.5 | Elementos de los semirremolques..... | 12 |
| 2.6 | Definición de cargas..... | 15 |

CAPÍTULO 3

| | | |
|-----|--|----|
| 3. | SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO..... | 17 |
| 3.1 | Requerimientos y especificaciones..... | 17 |
| 3.2 | Restricciones y limitaciones..... | 20 |
| 3.3 | Selección de los elementos y/o sistemas mecánicos..... | 21 |
| 3.4 | Análisis de alternativas seleccionadas..... | 27 |

CAPÍTULO 4

| | | |
|-----|--|----|
| 4. | ANÁLISIS Y DISEÑO MEDIANTE ANSYS Y SOLIDWORKS..... | 30 |
| 4.1 | Diseño y optimización del chasis..... | 30 |
| 4.2 | Diseño del balde..... | 64 |
| 4.3 | Diseño del sistema anti-vuelco..... | 73 |
| 4.4 | Diseño del sistema de cierre de compuerta..... | 75 |
| 4.5 | Diseño y/o selección del sistema de elevación hidráulica..... | 79 |
| 4.6 | Análisis de resultados de los esfuerzos estáticos y dinámicos..... | 82 |
| 4.7 | Comparación de resultados..... | 84 |

CAPITULO 5

| | | |
|-----|--|----|
| 5. | ANÁLISIS DE COSTOS..... | 85 |
| 5.1 | Costos de materiales y accesorios..... | 85 |
| 5.2 | Costos de fabricación..... | 89 |
| 5.3 | Costo total del semirremolque..... | 92 |
| 5.4 | Cronograma de fabricación..... | 92 |

CAPÍTULO 6

| | | |
|----|-------------------------------------|----|
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 94 |
|----|-------------------------------------|----|

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

| | |
|------------------|--|
| AMR | A favor de las manecilla del reloj |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| 3R3 | Camión remolcador de 3 ejes y remolque de 3 ejes |
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| HH | Horas Hombre |
| kg | Kilogramos |
| kN | Kilo Newton |
| kNm | Kilo Newton por metro |
| Mpa | Mega Pascal |
| m | Metros |
| m ² | Metros cuadrados |
| m ³ | Metros cúbicos |
| m/S ² | Metros sobre segundos al cuadrado |
| mm | Milímetros |
| MTOP | Ministerio de Transporte y Obras Publicas |
| Pa | Pascal |
| Ton | Toneladas |
| 3S3 | Tracto camión de 3 Ejes y Semirremolques de 3 Ejes |

SIMBOLOGÍA

| | |
|----------------|---|
| % | Porcentaje |
| ρ | Densidad |
| m | Masa |
| V | Volumen |
| C_{KP} | Carga aplicada en el King pin |
| C_{SM} | Carga aplicada en la suspensión mecánica |
| C_{EJE} | Carga aplicada en el eje |
| " | Pulgadas |
| m_c | Masa aplicada sobre la viga |
| W_c | Peso aplicado sobre la viga |
| g | Gravedad |
| W_0 | Peso distribuido sobre la viga |
| L | Longitud total de la viga |
| R_A | Reacción en punto A |
| R_B | Reacción en punto B |
| $\sum M_B$ | Sumatoria de momentos en punto B |
| V_{max} | Cortante máximo |
| M_{max} | Momento flector máximo |
| τ_{max} | Esfuerzo máximo cortante |
| S_y | Esfuerzo de fluencia del material |
| n_s | Factor de seguridad estático |
| σ_x | Esfuerzo de flexión |
| τ_{xz} | Esfuerzo de torsión |
| I | Momento de inercia de la viga |
| c | Distancia mayor desde el centroide hasta sus extremos |
| W_{X-X} | Módulo de sección |
| σ_a | Componente de la amplitud |
| σ_m | Componente del esfuerzo medio |
| S_e | Límite de resistencia a la fatiga |
| S_{ut} | Resistencia mínima a la tensión |
| n_F | Factor de seguridad dinámico |
| σ_{max} | Esfuerzo máximo |
| σ_{min} | Esfuerzo mínimo |

| | |
|----------------|--|
| K_a | Factor de superficie |
| K_b | Factor de tamaño |
| K_c | Factor de carga |
| K_d | Factor de temperatura |
| K_e | Factor de confiabilidad |
| K_f | Factor de efectos varios |
| S'_e | Límite de resistencia a la fatiga teórico |
| $A_{95\sigma}$ | Área de perfiles estructurales no rotativos |
| m_{CT} | Masa de carga total |
| e_{Ala} | Espesor del ala |
| e_{Alma} | Espesor del alma |
| P_H | Presión hidrostática aplicada sobre la pared |
| ρ_A | Densidad del agua |
| h | Altura de la pared |
| $P_{Diseño}$ | Presión de diseño |
| P_v | Presión del viento |
| ρ_{aire} | Densidad del aire en condiciones normales |
| V_b | Velocidad del viento hasta 10m de altura |
| C_d | Coefficiente aerodinámico |
| $A_{Lateral}$ | Área lateral del balde |
| $F_{Lateral}$ | Fuerza aplicada en las barras |
| F_R | Fuerza ejercida por la masa de agua |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. | |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1 | Producción de cacao en Ecuador. | 4 |
| Figura 2.1 | Semirremolque basculante tipo bañera. | 11 |
| Figura 2.2 | Semirremolque basculante lateral. | 11 |
| Figura 2.3 | Semirremolque con descarga inferior. | 11 |
| Figura 2.4 | Semirremolque plataforma con caja. | 12 |
| Figura 2.5 | Chasis del semirremolque tipo cuello de ganso | 15 |
| Figura 3.1 | King pin. | 23 |
| Figura 3.2 | Suspensión mecánica | 25 |
| Figura 3.3 | Eje recto | 26 |
| Figura 3.4 | Barras de apoyo. | 27 |
| Figura 4.1 | Diagrama de cuerpo libre del remolque (carga distribuida). | 32 |
| Figura 4.2 | Diagrama de cuerpo libre del remolque (carga puntual). | 33 |
| Figura 4.3 | Calculo de reacciones en el semirremolque. | 34 |
| Figura 4.4 | Diagramas de cortante y momento flector máximos. | 35 |
| Figura 4.5 | Comportamientos de esfuerzos fluctuantes. | 39 |
| Figura 4.6 | Áreas de perfiles estructurales no rotativos. | 43 |
| Figura 4.7 | Carga aplicada en puentes de chasis. | 47 |
| Figura 4.8 | Diagrama de cuerpo libre de los puentes. | 48 |
| Figura 4.9 | Fuerzas y reacciones aplicados en los puentes. | 49 |
| Figura 4.10 | Diagramas de cortante y momento flector máximos. | 50 |
| Figura 4.11 | Diseño de forma del chasis en SOLIDWORKS®. | 57 |
| Figura 4.12 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 58 |
| Figura 4.13 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 59 |
| Figura 4.14 | Vista frontal del chasis en SOLIDWORKS®. | 60 |
| Figura 4.15 | Vista superior del chasis en SOLIDWORKS®. | 60 |
| Figura 4.16 | Restricciones del chasis en SOLIDWORKS®. | 61 |
| Figura 4.17 | Concentración de esfuerzos de Von Mises en SOLIDWORKS®. | 61 |
| Figura 4.18 | Concentración de deformaciones en SOLIDWORKS®. | 62 |
| Figura 4.19 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 62 |
| Figura 4.20 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 63 |
| Figura 4.21 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 63 |
| Figura 4.22 | Factor de seguridad estático en ANSYS®. | 64 |
| Figura 4.23 | Factor de seguridad dinámico en ANSYS®. | 64 |
| Figura 4.24 | Vista frontal del balde en SOLIDWORKS®. | 65 |
| Figura 4.25 | Vista 3D del balde en SOLIDWORKS®. | 65 |
| Figura 4.26 | Gradiente de presión en la pared lateral del balde en SOLIDWORKS®. | 67 |
| Figura 4.27 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 68 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 4.28 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 68 |
| Figura 4.29 | Aplicación de masa distribuida sobre el piso del balde en SOLIDWORKS®. | 69 |
| Figura 4.30 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 69 |
| Figura 4.31 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 69 |
| Figura 4.32 | Factor de seguridad estático en ANSYS®. | 70 |
| Figura 4.33 | Factor de seguridad dinámico en ANSYS®. | 70 |
| Figura 4.34 | Gradiente de presión en la pared frontal del balde en SOLIDWORKS®. | 71 |
| Figura 4.35 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 71 |
| Figura 4.36 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 72 |
| Figura 4.37 | Factor de seguridad estático en ANSYS®. | 72 |
| Figura 4.38 | Factor de seguridad dinámico en ANSYS®. | 72 |
| Figura 4.39 | Concentración de esfuerzos de Von Mises en SOLIDWORKS®. | 74 |
| Figura 4.40 | Concentración de deformaciones en SOLIDWORKS®. | 74 |
| Figura 4.41 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 74 |
| Figura 4.42 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 75 |
| Figura 4.43 | Diagrama de cuerpo libre en la compuerta en SOLIDWORKS®. | 76 |
| Figura 4.44 | Concentración de esfuerzos de Von Mises en SOLIDWORKS®. | 77 |
| Figura 4.45 | Concentración de deformaciones en SOLIDWORKS®. | 78 |
| Figura 4.46 | Factor de seguridad estático en SOLIDWORKS®. | 78 |
| Figura 4.47 | Factor de seguridad dinámico en SOLIDWORKS®. | 79 |
| Figura 4.48 | Diagrama de cuerpo libre del balde en SOLIDWORKS®. | 80 |
| Figura 4.49 | Diagramas de cortante y momentos máximos | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Tabla de propiedades del acero acero ASTM A36. | 19 |
| Tabla 2 | Parámetros de selección. | 22 |
| Tabla 3 | Matriz de decisión del King pin. | 22 |
| Tabla 4 | Matriz de decisión del sistema de suspensión. | 24 |
| Tabla 5 | Tabla de calidades superficiales del perfil. | 42 |
| Tabla 6 | Tabla de factores de confiabilidad. | 45 |
| Tabla 7 | Tabla de resultados de ANSYS y SOLIDWORKS. | 84 |
| Tabla 8 | Tabla de materiales y accesorios para construcción | 86 |
| Tabla 9 | Tabla de materiales consumibles. | 88 |
| Tabla 10 | Personal para el proyecto. | 89 |
| Tabla 11 | Tiempo de construcción del semirremolque. | 90 |
| Tabla 12 | Costos promedio por hora | 91 |
| Tabla 13 | Costo total del proyecto. | 92 |
| Tabla 14 | Cronograma de construcción. | 93 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|---------|---|
| PLANO 1 | Medidas Generales. (SRG-00001) |
| PLANO 2 | Planos de Chasis (SRG-00002) |
| PLANO 3 | Planos de balde (SRG-00003) |
| PLANO 4 | Planos del sistema anti-vuelco (SRG-00004) |
| PLANO 5 | Planos de cierre de compuerta (SRG-00005) |
| PLANO 6 | Detalles de soldadura en chasis (SRG-00006) |

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de graduación consiste en el diseño y optimización de un semirremolque granelero, en donde se encontrará lo siguiente.

En el capítulo 1 se encontrarán los objetivos del proyecto los cuales son diseñar un semirremolque granelero que transporte $42 m^3$ de granos, minimizando el peso de la estructura con la finalidad de disminuir el consumo de combustible y resguardar la seguridad e integridad de las carreteras.

En el capítulo 2 se detallará brevemente el crecimiento agropecuario en el país, provocando un aumento de exportaciones, dando paso al transporte de grandes cargas de producto que en este caso es el grano de cacao. Se observarán las diferentes opciones de descarga que pueden tener los remolques graneleros y los elementos principales con los cuales debe contar.

En el capítulo 3 se establecerán los parámetros de diseño basados en las especificaciones y restricciones establecidas por las leyes de transporte de carga pesada del país. También se encontrarán los elementos y sistemas seleccionados para el diseño del semirremolque granelero.

En el capítulo 4 se diseñarán los componentes del semirremolque granelero los cuales serán sometidos a cargas vivas, muertas y de viento. Se

optimizará el diseño del chasis disminuyendo su peso sin afectar la seguridad del mismo. Se corroborarán los cálculos mediante los programas de diseño ANSYS® y SOLIDWORKS®. Posteriormente se compararán los resultados.

En el capítulo 5 se realiza un análisis de costos, que involucran el costo de materiales y la mano de obra. Además del cronograma de construcción del semirremolque granelero.

En el capítulo 6 se encontrarán las conclusiones y recomendaciones proyecto realizado.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

En este capítulo se detallará los objetivos generales, específicos los cuales se desean cumplir junto con el alcance del proyecto de graduación.

1.1. Antecedentes.

El Ecuador es un país en desarrollo tanto industrial como turístico, cuenta con una diversidad de mundos y ambientes como sus majestuosas montañas, sus playas y la amazonia que alberga un sin número de especies. Ver figura 1.1.

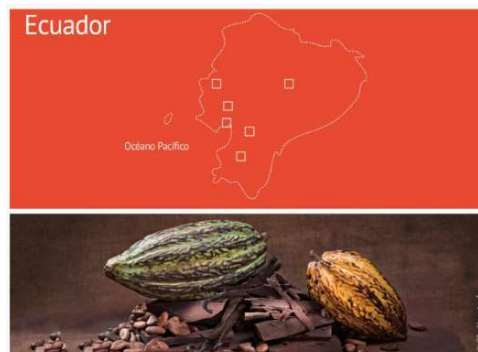


FIGURA 1.1 PRODUCCIÓN DE CACAO EN ECUADOR. [1]

También es uno de los principales productores y exportadores de cacao en el mundo. Muchas industrias a nivel mundial en especial las dedicadas a la fabricación de chocolates demandan este producto debido a que el país produce dos de las más importantes variedades como el “CCN51” un cacao híbrido de alta calidad con un contenido elevado en grasa y el cacao nacional fino mejor conocido como cacao “Arriba” el cual por su olor, su textura, su fragancia y su sabor es indispensable para la elaboración de los más finos chocolates en el mundo.

El cacao fino es producido en 15 países del mundo, pero únicamente el de Ecuador es mundialmente reconocido por sus cualidades. Además de ser una de las principales formas de ingresos en el país. Ecuador produce 240.000 toneladas de cacao

al año, de lo cual el 5% es destinado para el consumo nacional. El 25% del producto pertenece al cacao CCN51 Y el 75% al cacao fino. El 60% de la producción es conformado por los pequeños productores que cuentan con una plantación de 3 a 10 hectáreas, mientras que el 25% son de los grandes productores que cuentan con plantaciones de hasta 20 hectáreas.

Otro hecho que destacado al país es su crecimiento vial, en los últimos años el gobierno ha invertido millones de dólares en la regeneración y construcción de nuevas carreteras mejorando así el transporte. En un estudio realizado en el 2014 por el foro económico mundial menciona que el Ecuador se encuentra en el segundo lugar de Suramérica, después de Chile, y en la posición 50 del ranking mundial de las mejores carreteras del mundo. La subsecretaria de transporte terrestre y ferroviario se encarga de controlar los pesos y dimensiones de los vehículos de cargas pesadas que circulan en la red vial con el fin de conservar y evitar el deterioro de la misma.

De esta manera surge la necesidad de diseñar un semirremolque que sea capaz de transportar grandes cantidades de materia prima cumpliendo con las dimensiones y capacidades permitidas por la ley de caminos y el reglamento técnico andino. Para esto se parte de

un análisis previo utilizando una norma que ayuda a diseñar los elementos de una forma conservadora, evitando sobredimensionar el diseño, y a su vez aumentar la carga útil del producto a transportar, disminuyendo así el consumo de combustible cuando el semirremolque se encuentre con o sin carga.

1.2. Objetivos Generales y Específicos

Objetivos Generales.

- Diseñar un semirremolque granelero capaz de transportar $42 m^3$ de materia prima, utilizando elementos finitos.
- Optimizar el diseño con la finalidad de minimizar el peso de la estructura logrando disminuir el consumo de combustible y los costos de transporte.

Objetivos específicos.

- Diseñar un semirremolque granelero basado en las teorías de fallas aplicadas en diseño, cumpliendo con los pesos y dimensiones permitidas.
- Elaborar los planos de construcción, junto con un análisis de costos total y cronograma de construcción, que sirvan de guía para trabajos similares.

1.3 Alcances.

- Desarrollar un diseño óptimo de un semirremolque granelero para el transporte de granos en el país.
- Comparar resultados de ANSYS® y SOLIDWORKS®, determinando así que no existe un error computacional.
- Tener una guía de construcción de remolques graneleros con un análisis previo.

1.4 Justificación

Este proyecto de graduación tiene como finalidad desarrollar un diseño óptimo para el transporte de granos, realizando un análisis previo de sus componentes y verificando el diseño mediante herramientas de desarrollo ingenieril.

Logrando así obtener un semirremolque sin sobredimensionamiento cumpliendo con la ley de caminos y reglamento técnico andino. Disminuyendo su peso en vacío, conservando el buen estado de la carretera y disminuyendo los costos de transporte y consumo de combustible.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se detallará la definición del problema, el transporte de carga, el tipo de semirremolque granelero a construir junto con los componentes que debe tener y las cargas a las cuales se encontrarán sometido.

2.1 Definición del problema.

Debido al crecimiento industrial en el sector agropecuario, el país ha ido aumentando su producción anual en los últimos años, uno de los mayores productos de exportación que genera el país es el cacao. El Ecuador produce alrededor de 240000 toneladas métricas de las cuales el 95% es exportado al mercado internacional.

De toda la producción en el país el 25% proviene de los grandes productores que poseen plantaciones de hasta 20 hectáreas. Por

este motivo se consideró diseñar un semirremolque granelero que sea capaz de transportar la mayor cantidad de producto posible, cumpliendo con los pesos y dimensiones permitidos por la ley de caminos y el reglamento técnico andino.

2.2. Transporte de cargas pesadas.

El transporte de carga pesada es un servicio el cual consiste en transportar una determinada mercadería, producto o maquinaria de un lugar a otro ya sea vía aérea, marítima o terrestre. Este servicio forma parte importante en el desarrollo industrial del país.

Para el transporte de carga vía terrestre se utilizan vehículos los cuales son capaces de transportar grandes masas o volúmenes como plataformas, portacontenedores, semirremolques basculantes lateral, volquetas tipo bañera, semirremolques tanqueros, etc.

Existen diversos tipos de cargas como las cargas a granel las cuales tienen un volumen, peso y tamaño determinado, y pueden ser gráneles solidos o líquidos. Las cargas peligrosas que son aquellas que por un factor externo pueden producir un daño. Las cargas especiales las cuales por su naturaleza deben ser

transportadas en recipientes cerrados y herméticos. Las cargas extra largas o extra anchas debido a su gran volumen.

2.3. Semirremolques Graneleros.

Los semirremolques graneleros son vehículos los cuales serán acoplados a un tractor camión para poder movilizarse. Este tipo de semirremolques transportan grandes volúmenes de forma suelta, estos pueden ser líquidos o sólidos. El cajón o balde que transporta el grano se encuentra abierto al medio ambiente en la parte superior por lo que se debe cubrir con una lona para proteger la carga. Ver figuras 2.1 y 2.2.

2.4. Tipos de semirremolques graneleros.

Existen varios tipos de semirremolque graneleros los cuales se diferencian por la forma en la que descargan el producto, esta puede ser basculantes o plataformas con la caja cubierta.

Los tipos basculantes pueden realizar la descarga de manera lateral o trasera, mediante un mecanismo que eleve o voltee la caja hacia un costado.



**FIGURA 2.1 SEMIRREMOLQUE BASCULANTE TIPO
BAÑERA. [2]**



**FIGURA 2.2 SEMIRREMOLQUE BASCULANTE
LATERAL. [3]**

Los tipos plataformas con caja pueden ser elevados en plataformas basculantes o pueden tener descargas en la parte inferior del semirremolque.



**FIGURA 2.3 SEMIRREMOLQUE CON DESCARGA
INFERIOR. [4]**



FIGURA 2.4 SEMIRREMOLQUE PLATAFORMA CON CAJA. [5]

2.5 Elementos de los semirremolques.

Los semirremolques son vehículos cuya función es la de transportar carga, estos vehículos son arrastrados por un tracto-camión el cual se encarga de movilizar el semirremolque junto con la carga.

Para cumplir dicha función, el semirremolque debe tener los siguientes elementos los cuales se describirán a continuación:

Chasis.

El semirremolque cuenta con una estructura la cual debe soportar el peso de la carga más su propio peso. Esta estructura es llamada chasis y está formada por las vigas principales y las vigas de amarre.

Suspensión.

El sistema de suspensión la cual es una parte muy importante del semirremolque debido a que soporta el peso de la estructura y de la carga, además absorbe la energía generada por las irregularidades del camino manteniendo la estabilidad del semirremolque. Existen dos tipos de suspensiones.

Suspensiones mecánicas.

Las cuales están formadas por ballestas que son hojas de acero templado unidas por abrazaderas que conectan el chasis con los ejes de transmisión.

Suspensiones neumáticas.

Este tipo de suspensiones se caracteriza por mejorar la conducción y aumentar la carga útil, utilizando aire comprimido en boyas de suspensión ubicadas entre los ejes de transmisión y el chasis las cuales absorben las irregularidades del camino.

Sistemas de frenos.

El sistema de frenos se encarga de producir una fuerza de frenado que disminuya la velocidad además de mantenerlo parado al semirremolque. Los sistemas de frenos absorben la energía

calorífica producida por el contacto entre las zapatas y tambores en caso de frenos de tambor, o discos y pastillas en caso de frenos de disco.

Ejes.

Los ejes son los que soportan las cargas de los remolques, dan el movimiento de rotación a las ruedas y soportan esfuerzos de flexión y torsión.

Llantas y rines.

Son aquellas que permiten el contacto y adherencia adecuado entre el pavimento y el semirremolque. Deben ser lo suficientemente resistentes para soportar las cargas a las cuales será sometido aceleración, frenado, fuerzas laterales.

King Pin.

Este elemento es el que conecta el semirremolque con el tracto camión, es acoplado a la quinta rueda y debe soportar la fuerza de arrastre y frenado.

Barras de apoyo.

Son aquellas que soportarán el peso de la estructura más la carga cuando el semirremolque se encuentre estacionado. Ayudan a nivelar el semirremolque para lograr un acople perfecto entre la quinta rueda y el King pin.

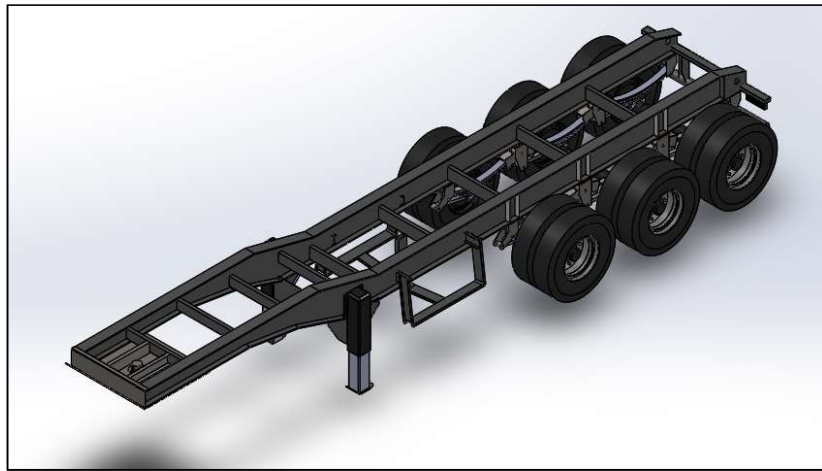


FIGURA 2.5 CHASIS DEL SEMIRREMOLQUE TIPO CUELLO DE GANSO.

2.6 Definición de cargas.

Para el diseño del semirremolque se deben analizar las cargas que actuarán sobre el chasis, con el fin de realizar y escoger la mejor opción de diseño que cumpla con las dimensiones y pesos establecidos por la ley de caminos y el reglamento técnico andino, asegurando la integridad y seguridad vial.

Cargas muertas.

Las cargas muertas son consideradas como aquellas cargas que no cambian su magnitud ni dirección, se debe considerar el peso propio de la estructura como carga muerta. El cual será calculado mediante las dimensiones y el material a utilizar en la estructura, incluyendo todos sus componentes.

Cargas vivas.

Las cargas vivas corresponden a las cargas variables que actuarán sobre la estructura. Una de ellas es el peso del producto a transportar, en este caso granos de cacao, para el diseño de la bañera se considerará el grano con mayor densidad.

Otra carga viva es la carga por viento la cual puede provocar el volcamiento del semirremolque granelero. Las cargas de impacto también forman parte de las cargas vivas ya que no son constantes, éstas son provocadas por las irregularidades de la carretera, las cuales son absorbidas por el sistema de suspensión.

CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.

En este capítulo se detallará los parámetros, especificaciones y restricciones que se considerarán para el diseño del semirremolque granelero, también se encontrará la selección de los sistemas y elementos mecánicos que conforman el semirremolque.

3.1. Requerimientos y especificaciones.

Uno de los requerimientos para el diseño del semirremolque granelero tipo bañera es que transporte un volumen máximo de $42 m^3$ de producto. Además de que el cajón o bañera tenga dos niveles para facilitar la descarga del material.

El diseño del chasis será tipo cuello de ganso. Para lograr este volumen deseado se dimensiona el cajón de manera que cumpla con las dimensiones y pesos permitidos por la ley.

- Largo 9860 mm
- Ancho 2600 mm
- Alto 1955 mm

El semirremolque está diseñado para transportar los granos con mayor densidad, en este caso el grano con mayor densidad es el cacao fresco, cuyo valor es de 900 kg/m^3 . [6]

La masa a transportar será determinada mediante la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

m = masa de la sustancia [kg]

V = Volumen de la sustancia [m^3]

Despejando la ecuación Ec.1 se obtendrá la masa de la carga a transportar.

$$m = \rho * V = (900 \text{ kg/m}^3) * (42\text{m}^3) = 37800\text{kg}$$

Obteniendo así un masa aproximada de 37800kg de carga.

Debido al peso de la carga se diseñará un semirremolque tipo 3S3 el cual es un semirremolque de 3 ejes acoplado a un tractor camión de 3 ejes. [7]

El 60% del peso de la carga es soportado por los ejes posteriores del semirremolque, mientras que el 40% restante soportará el King Pin, basados según la referencia [8].

El material para la construcción del chasis y del cajón o bañera será de acero estructural ASTM A36. Donde sus propiedades se observarán en la siguiente tabla:

TABLA 1

TABLA DE PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A36. [9]

| TABLE 3 Tensile Requirements ^A | |
|---|-----------------------|
| Plates, Shapes, ^B and Bars: | |
| Tensile strength, ksi [MPa] | 58–80 [400–550] |
| Yield point, min, ksi [MPa] | 36 [250] ^C |
| Plates and Bars ^{D,E} : | |
| Elongation in 8 in. [200 mm], min, % | 20 |
| Elongation in 2 in. [50 mm], min, % | 23 |
| Shapes: | |
| Elongation in 8 in. [200 mm], min, % | 20 |
| Elongation in 2 in. [50 mm], min, % | 21 ^F |

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

3.2. Restricción y Limitaciones.

El semirremolque granelero tipo bañera estará diseñado bajo el decreto ejecutivo No. 1137 del 19 de abril del 2012, y al acuerdo ministerial No. 036 de fecha 18 de mayo del 2012 en coordinación con la subsecretaría de transporte terrestre y ferroviario.

El ministerio de transporte y obras públicas (MTO), por medio de la subsecretaría de transporte terrestre y ferroviario mediante su reglamento sobre el control pesos y dimensiones permitidas para los vehículos que transportan carga pesada en la red vial del país establece que para los vehículos tipo 3S3 su las dimensiones máximas permitidas son:

- Largo 20.50 *m*
- Ancho 2.60 *m*
- Alto 4.30 *m*

Con un peso bruto vehicular máximo permitido de 48 *Ton.*

Conforme a lo establecido en el acuerdo ministerial No. 036, se contemplará las siguientes consideraciones especiales:

- El peso máximo permitido es de 48 toneladas, excepto para los vehículos 3S3 y 3R3 para los cuales se considerará una tolerancia de +3 toneladas.
- Los contenedores de alto cubillaje (High Cube): Las dimensiones máximas permitidas para estos vehículos son:

Alto 4.50, Ancho 2.60 y Largo 20.50 metros. El peso máximo está establecido en relación al número de ejes de acuerdo al cuadro demostrativo.

En el Anexo 1 se mostrará la tabla nacional de los pesos y dimensiones establecida por el ministerio de transporte y obras públicas.

3.3. Selección de los elementos y/o sistemas mecánicos.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los semirremolques cuentan con algunos elementos y mecanismos los cuales son parte importante de sí mismo. En esta sección se analizarán varias alternativas considerando ciertos parámetros los cuales tendrán una ponderación con el fin de escoger la mejor opción para el diseño.

Parámetros para diseño.

Debido a la disponibilidad limitada que existe en el mercado se tendrá.

- Costo del equipo o elemento.
- Mantenimiento.
- Seguridad.

Las ponderaciones de cada uno de los parámetros los tendrán en la tabla 2.

TABLA 2
PARÁMETROS DE SELECCIÓN.

| PARÁMETROS | PORCENTAJE |
|----------------------|-------------------|
| Costos | 30% |
| Mantenimiento | 30% |
| Seguridad | 40% |

Selección de King Pin.

El King Pin o perno maestro es el elemento que acopla el semirremolque al camión que lo remolcará. En el mercado cuenta con 2 alternativas las cuales son:

1. King Pin (Unión Soldada)
2. King Pin (Unión empernada)

Se tendrá una matriz de decisión con la cual se elegirá la mejor opción para el diseño.

TABLA 3
Matriz de decisión del King Pin.

| PARÁMETROS | PORCENTAJE | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 |
|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Costos | 30% | 30% | 20% |
| Mantenimiento | 30% | 25% | 30% |
| Seguridad | 40% | 40% | 30% |
| Total | 100% | 95% | 80% |

Se observa que la alternativa 1 es la mejor opción para el diseño, la carga que debe soportar el King Pin es el 40% de la masa total.

$$C_{KP} = 0.40 * (37800kg) = 15120kg$$

Donde la carga que soportará el King Pin es de 15120kg. Se seleccionará el King Pin marca JUST de 2" modelo KZ-T5.

En el Anexo 2 se encontrará el catalogo del King pin seleccionado.



FIGURA 3.1 KING PING. [10]

Selección del sistema de suspensión.

El sistema de suspensión brinda el soporte al semirremolque para transportar la carga distribuida en las carreteras del país. En el medio se tiene 2 alternativas las cuales son:

- Suspensión Mecánica.
- Suspensión Neumática.

Se tendrá una matriz de decisión con la cual se elegirá la mejor opción para el diseño.

TABLA 4
MATRIZ DE DECISIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.

| PARÁMETROS | PORCENTAJE | ALTERNATIVA | |
|----------------------|------------|-------------|-----|
| | | 1 | 2 |
| Costos | 30% | 30% | 20% |
| Mantenimiento | 30% | 30% | 20% |
| Seguridad | 40% | 30% | 40% |
| Total | 100% | 90% | 80% |

Se observa que la alternativa 1 es la mejor opción para el diseño, la carga que debe soportar la suspensión es el 60% de la masa total.

$$C_{SM} = 0.60 * (37800kg) = 22680kg$$

Donde la carga que soportará la suspensión es de 22680kg. Se seleccionará la suspensión mecánica marca SCHULZ IBERICA de 3 ejes modelo EUROPAII de 13 Ton/Eje. Esta suspensión soporta 39000kg en total.

En el Anexo 3 se encontrará el catalogo del sistema de suspensión seleccionado.

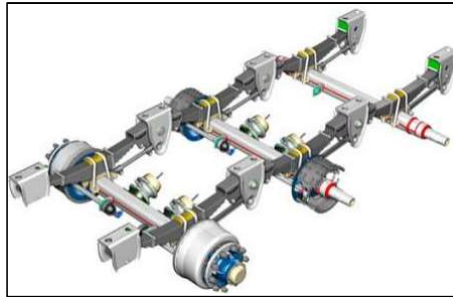


FIGURA 3.2 SUSPENSIÓN MECÁNICA. [11]

Selección de los Ejes.

Después de seleccionar el sistema de suspensión, se elegirá los ejes los cuales soportarán el 20% de la masa a transportar.

$$C_{EJE} = 0.20 * (37800kg) = 7560kg$$

Donde la carga que soportará cada eje es de $7560kg$. Para el diseño del semirremolque se consideró el modelo D22AX502 de marca HENDRICKSON que soportan una carga de $11250kg$, con un espesor de $\frac{1}{2}$ " y un diámetro de 5" el cual se acopla sin problema con la suspensión mecánica ya seleccionada.

En el Anexo 4 se encontrará el catálogo de los ejes HENDRICKSON seleccionados.



FIGURA 3.3 EJE RECTO. [12]

Selección del sistema de frenos.

El sistema de frenos es el componente de mayor importancia en el semirremolque debido a que afecta la seguridad al transportar carga pesada. Para el diseño se escogió el modelo D22FB165WNHA de marca HENDRICKSON el cual se acoplará al eje ya elegido anteriormente. Este modelo son frenos neumáticos tipo tambor.

En el Anexo 5 se encontrará el catálogo del freno HENDRICKSON seleccionado.

Selección de las barras de apoyo.

Debido a las diferentes capacidades de carga que debe soportar las barras de apoyo se elegirá el modelo A400L.T1.19 de marca JOST con una carga de elevación de 27.5 Ton y una carga estática de 80

Ton, con su barra de unión modelo B10066.56.5 y su manivela modelo C10592.1.

En el Anexo 6 se encontrará el catalogo las barras de apoyo seleccionadas.

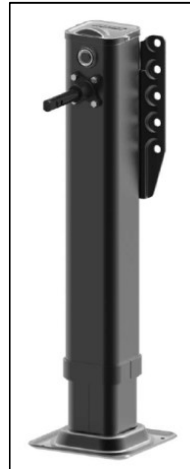


FIGURA 3.8 BARRAS DE APOYO. [13]

3.4. Análisis de alternativas seleccionadas.

En la sección anterior se realizó la selección de las alternativas presentadas. Debido a los parámetros para el diseño se analizará la razón de la opción escogida.

King Pin.

La alternativa número 1 la cual es el King pin de unión soldada fue elegida debido a su bajo costo comparado con el King pin de unión

empernada. Cuando se realiza el mantenimiento del semirremolque uno de las partes importantes es el chequeo del King pin y de la plancha a la cual se encuentra sujeta.

El daño que existe en estos elementos es provocado por las fuerzas de arrastre, las fuerzas de frenado y la reacción ejercida por la quinta rueda, deformando la plancha que sujeta el King pin, por lo que se debe cambiar la plancha y el King pin conjuntamente.

Sistema de suspensión.

Para el sistema de suspensión se eligió la alternativa número 1 debido a su costo y disponibilidad de repuestos, además de que el mantenimiento de este tipo de suspensión es más barato y se lo puede realizar en cualquier taller de mantenimiento, a diferencia de la suspensión neumática debido a su complejidad y dificultad de adquisición de repuestos.

Selección del sistema de frenos.

El sistema de frenos es el componente más importante del semirremolque ya que afecta a la seguridad del mismo, debido que al transportar carga pesada tiene una mayor inercia la cual requiere una mayor distancia para frenar.

Se escogió el sistema neumático debido a que tiene una respuesta más rápida comparada con el sistema hidráulico. Los frenos de tambor son muy comunes en el medio haciendo más fácil la adquisición de repuestos y a su vez el mantenimiento del mismo.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y DISEÑO MEDIANTE ANSYS® Y SOLIDWORKS®.

En este capítulo se analizarán todos los componentes que forman el semirremolque granelero, el cual será sometido a las cargas ya mencionadas anteriormente. Se optimizará el diseño del chasis con el fin de mejorar el peso en vacío del diseño.

Mediante los programas de diseño como ANSYS y SOLIDWORKS se realizarán las verificaciones correspondientes, y se comparará los resultados para corroborar lo calculado anteriormente.

4.1 Diseño y optimización del chasis.

Para el diseño del chasis se realizará un análisis inicial con el cual se partirá de dimensiones ya conocidas de remolques observadas

en campo. Con este primer análisis se mejorará el diseño hasta alcanzar una mejor alternativa del perfil que se va a usar o fabricar.

Para el diseño de las vigas principales se tomarán como apoyos el King pin y la suspensión, el material de las vigas será el acero ASTM A36 el cual es el acero más común y de bajo costo en el medio.

Primero se determinará las reacciones en los apoyos considerando la carga total como la suma de la carga viva y la carga muerta. En base a los semirremolques graneleros observados en campo se obtendrá que la masa de la estructura que corresponde al balde o bañera será 5500 kg aproximadamente y de masa de la carga será 42000 kg debido a que se realizará la prueba con agua.

Se tendrá que la masa total distribuida a lo largo de las vigas principal será de 47500 kg , por lo tanto la masa aplicada sobre una viga será 23750 kg .

$$m_c = 23750\text{ kg}$$

$$W_c = m_c * g \quad \mathbf{Ec.2}$$

Donde:

W_c : Peso aplicado sobre la viga.

m_c : Masa aplicada sobre la viga.

g : Gravedad (9.8 m/s^2).

$$W_c = 23750 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 232.75 \text{ kN}$$

Luego se obtendrá el peso distribuido a lo largo de la viga.

$$W_0 = \frac{W_c}{L} \text{ Ec.3}$$

Donde:

W_0 : Peso distribuido sobre la viga.

L : Longitud total de la viga.

$$W_0 = \frac{W_c}{L} = \frac{232.75 \times 10^3 \text{ N}}{9.8 \text{ m}} = 23750 \text{ N/m}$$

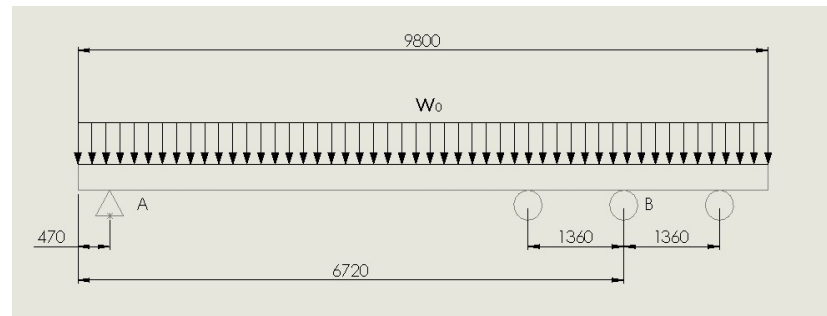
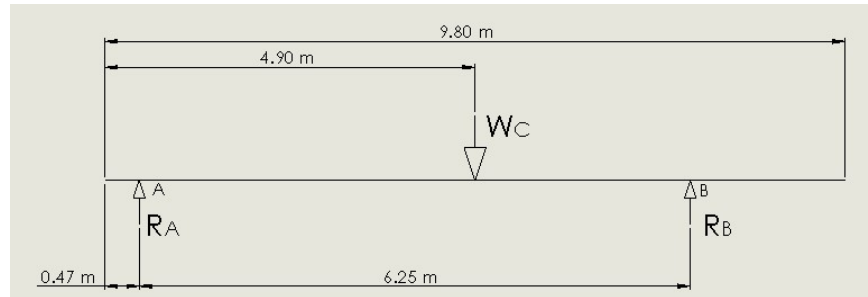


FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL REMOLQUE (CARGA DISTRIBUIDA).

Se tendrá en este diagrama de cuerpo libre donde se encontrarán las reacciones en los puntos A y B.



**FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL
REMOLQUE (CARGA PUNTUAL).**

$$\sum M_A = 0 ; + CMR$$

$$R_B(6.25\text{m}) - W_C(4.90\text{m} - 0.47\text{m}) = 0$$

$$R_B = \frac{W_C(4.90\text{m} - 0.47\text{m})}{(6.25\text{m})} = \frac{232.75 \text{ kN}(4.43\text{m})}{(6.25\text{m})} = 164.97\text{kN}$$

$$\sum M_B = 0 ; + AMR$$

$$R_A(6.25\text{m}) - W_C(6.25\text{m} + 0.47\text{m} - 4.90\text{m}) = 0$$

$$R_A = \frac{W_C(6.25\text{m} + 0.47\text{m} - 4.90\text{m})}{(6.25\text{m})} = \frac{232.75 \text{ kN}(1.82\text{m})}{(6.25\text{m})} = 67.78\text{kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B - W_C = 0$$

$$67.78\text{kN} + 164.97\text{kN} - 232.75 \text{ kN} = 0$$

Mediante la aplicación de AUTODESK FORCEEFFECT se corrobora los cálculos realizados anteriormente.

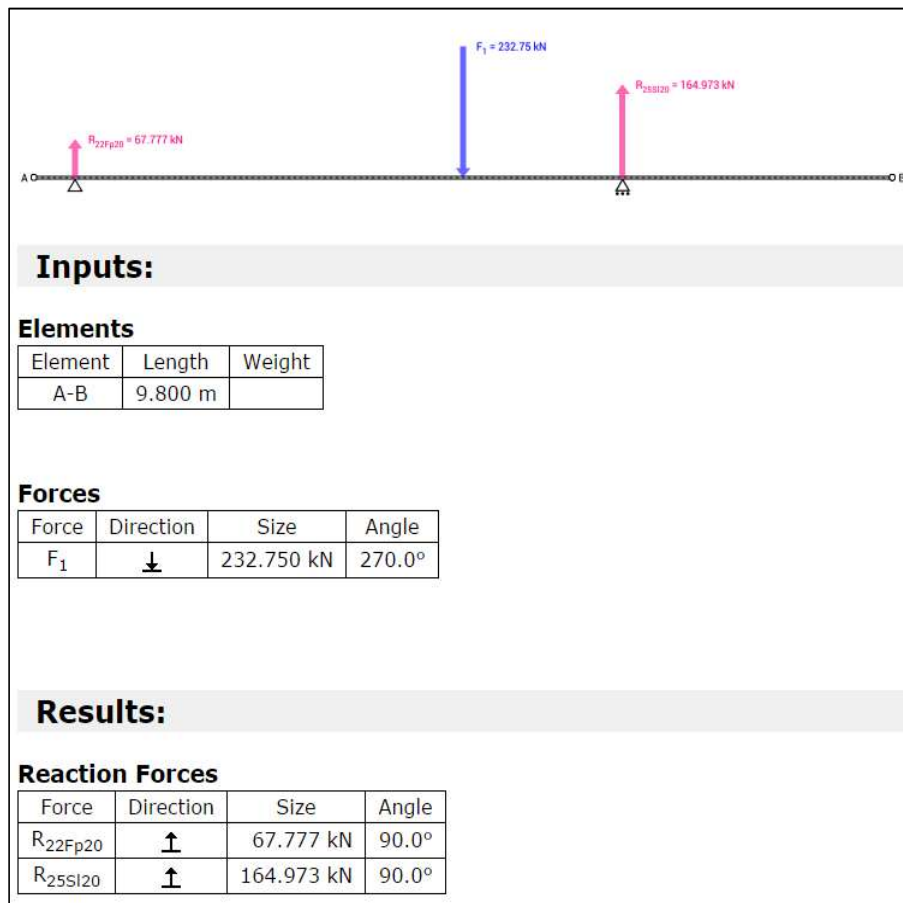
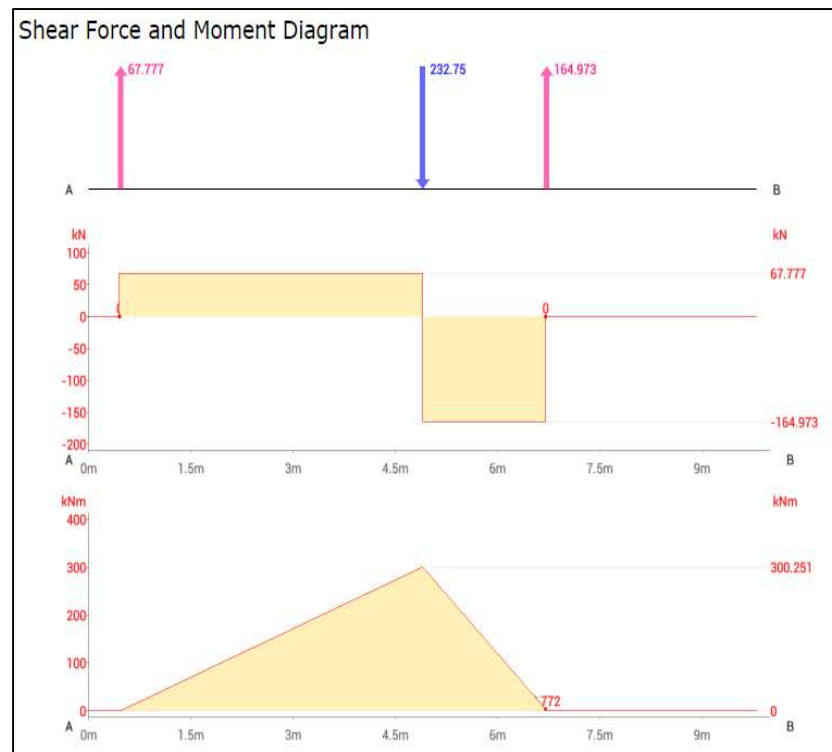


FIGURA 4.3 CÁLCULO DE REACCIONES EN EL SEMIRREMOLQUE.

Con las reacciones en los puntos A y B se determinarán los diagramas de fuerza y momento, donde se obtendrá el momento máximo que soportará la viga.



**FIGURA 4.4 DIAGRAMAS DE CORTANTE Y MOMENTO
FLECTOR MÁXIMOS.**

Mediante los diagramas de fuerza cortante y de momento flector se obtendrá los valores máximos para determinar los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de flexión máximos que deben soportar las vigas principales.

De los diagramas mostrados se obtendrá que el valor de la fuerza cortante máxima es de 164.973 kN , mientras que el momento flector máximo es de 300.251 kNm .

$$V_{max} = 164.973 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 300.251 \text{ kNm}$$

Para el diseño de las vigas principales se aplicará la teoría del esfuerzo cortante máximo o la teoría de Tresca.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n_s} \text{ Ec.4}$$

Donde:

τ_{max} : Esfuerzo máximo cortante.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material (240 MPa)

n_s : Factor de seguridad estático.

El esfuerzo cortante máximo lo calculará aplicando únicamente flexión, debido a que entre las vigas principales se encuentran puentes los cuales contrarrestan la torsión en las vigas.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2\right]} \text{ Ec.5}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo de flexión.

τ_{xz} : Esfuerzo de torsión.

Como no se considerará la torsión para el análisis de las vigas principales, la ecuación Ec.5 se reduce a:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2} = \frac{\sigma_x}{2} = \frac{M_{max}c}{2I} \text{ Ec.6}$$

Arreglando la ecuación EC.6 se obtendrá lo siguiente.

$$\tau_{max} = \frac{M_{max}}{2I/C} = \frac{M_{max}}{2W_{Z-Z}} \text{ Ec.7}$$

Donde:

I : Momento de inercia de la viga.

c : Distancia mayor desde el centroide hasta sus extremos.

W_{X-X} : Módulo de sección.

Reemplazando la ecuación Ec.7 en la ecuación Ec.4 se obtendrá.

$$\frac{M_{max}}{2W_{X-X}} = \frac{S_y}{2n_s} \text{ Ec.8}$$

Donde se obtendrá el factor de seguridad en función del módulo de sección del perfil que se vaya a escoger o fabricar.

$$n_s = \frac{S_y W_{X-X}}{M_{max}} \text{ Ec.9}$$

Reemplazando los valores conocidos se obtendrá lo siguiente.

$$n_s = \frac{(250 * 10^6 \text{ N/m}^2) W_{X-X}}{300251 \text{ Nm}}$$

$$n_s = 832.63 \text{ 1/m}^3 W_{X-X}$$

Se seleccionará un perfil IPN 450 del catálogo de DIPAC.

$$W_{X-X} = 0.00204 \text{ m}^3$$

$$n_s = 832.63 \text{ 1/m}^3 (0.00204\text{m}^3) = 1.69$$

Con el perfil seleccionado se obtiene un factor de seguridad estático de 1.69

Ahora se realiza el análisis por fatiga, aplicando la teoría de fallas debido a que el semirremolque se encontrará afectado por cargas variables al momento de cargar y descargar el producto. Se usará la teoría de Goodman para diseñar las vigas principales.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_F} \text{ Ec.10}$$

Donde:

σ_a : Componente de la amplitud.

σ_m : Componente del esfuerzo medio.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga.

S_{ut} : Resistencia mínima a la tensión.

n_F : Factor de seguridad dinámico.

Las características de los esfuerzos fluctuantes se observarán en la figura 4.5 mostrada a continuación.

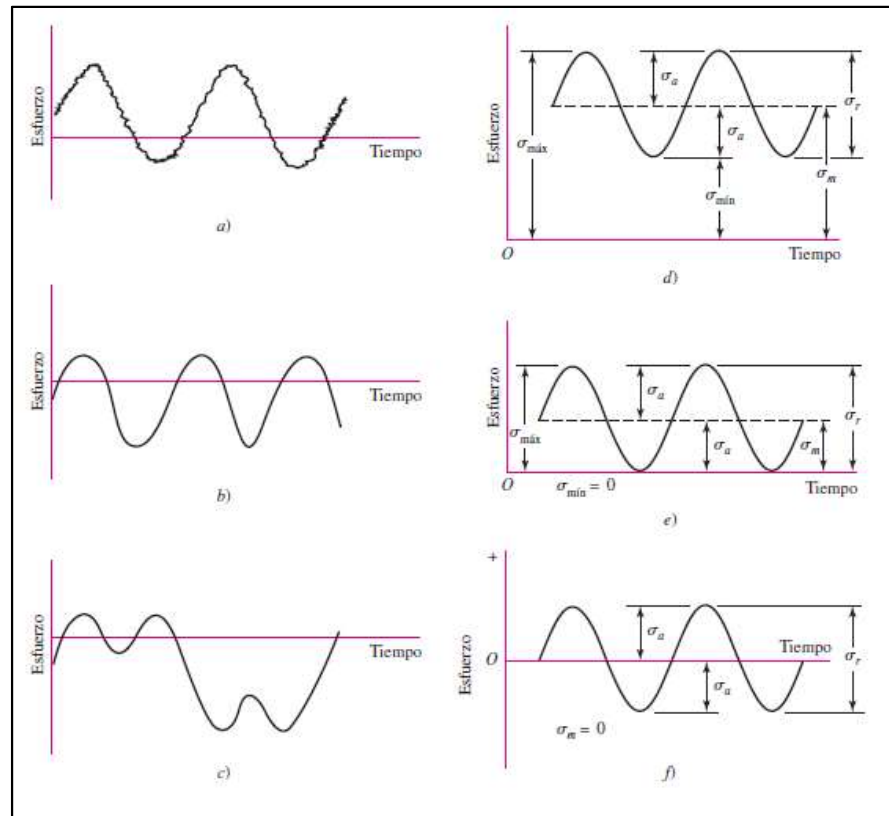


FIGURA 4.5 COMPORTAMIENTO DE ESFUERZOS FLUCTUANTES.

[14]

Este caso es la figura e, donde se tendrá esfuerzos repetitivos, debido a que cuando el remolque se encuentre en movimiento, la carga no varía sino hasta llegar al lugar de descarga.

Como se tiene esfuerzos repetitivos se tiene que el esfuerzo mínimo y el esfuerzo máximo serán:

$$\sigma_{min} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_x = 147.18 \text{ MPa}$$

Se calculará el esfuerzo medio y la amplitud mediante las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec.11}$$

$$\sigma_m = \frac{147.18 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa}}{2} = 73.59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec.12}$$

$$\sigma_a = \frac{147.18 \text{ MPa} - 0 \text{ MPa}}{2} = 73.59 \text{ MPa}$$

Obteniendo como resultado que $\sigma_m = \sigma_a = 73.59 \text{ MPa}$

Ahora se calculará el límite de resistencia a la fatiga mediante la siguiente ecuación.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

K_a : Factor de superficie.

K_b : Factor de tamaño.

K_c : Factor de carga.

K_d : Factor de temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de efectos varios.

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga teórico.

El valor del límite de resistencia a la fatiga teórico se lo determinará a partir de la expresión que se verá a continuación.

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} ; S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} ; S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \text{ Ec.13}$$

La resistencia mínima a la tensión del acero ASTM A36 es de 400 MPa la cual cumple la primera condición, por lo que el límite de resistencia a la fatiga teórico será:

$$S'_e = 0.5S_{ut} \text{ Ec.14}$$

$$S'_e = 0.5(400 \text{ MPa}) = 200 \text{ MPa}$$

Ahora se calculará los factores de K para determinar el límite de resistencia a la fatiga.

Factor de superficie K_a

$$K_a = aS_{ut}^b \text{ Ec.15}$$

Donde los valores de a y b se los determinará de la tabla 5 de las condiciones de superficie.

TABLA 5

TABLA DE CALIDADES SUPERFICIALES DEL PERFIL. [14]

| Acabado superficial | Factor a | | Exponente b |
|------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| | S_{ut} kpsi | S_{ut} MPa | |
| Esmerilado | 1.34 | 1.58 | -0.085 |
| Maquinado o laminado en frío | 2.70 | 4.51 | -0.265 |
| Laminado en caliente | 14.4 | 57.7 | -0.718 |
| Como sale de la forja | 39.9 | 272. | -0.995 |

Los perfiles que se encuentra en el mercado son laminados en caliente obteniendo lo siguiente:

$$K_a = 57.7(400)^{-0.718}$$

$$K_a = 0.78$$

Factor de tamaño K_b .

Este factor afecta a la vida útil de la viga dependiendo de sus dimensiones.

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

Ec.16

De donde obtendrá el valor de “ d ” de la siguiente expresión.

$$d = \sqrt{\frac{A_{95\sigma}}{0.01046}} \quad \text{Ec.17}$$

Donde se obtendrá los valores del área $A_{0.95\sigma}$ de perfiles estructurales no rotativos de la figura 4.6.

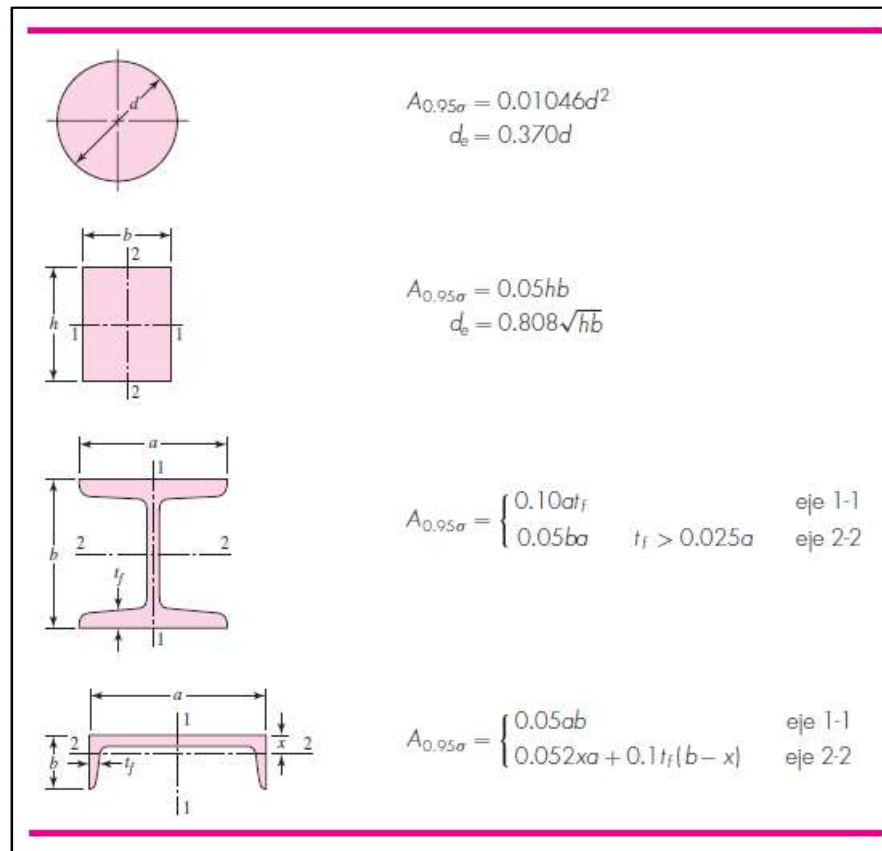


FIGURA 4.6 ÁREAS DE PERFILES ESTRUCTURALES NO ROTATIVOS. [14]

Donde los valores de a , b y t_f de la viga IPN 450 son 170mm, 450mm, 24.30mm respectivamente.

$$24.30 > 0.025(170)$$

$$24.30 > 4.25$$

Al cumplirse la igualdad se obtendrá que el valor del área $A_{95\sigma}$ de perfiles estructurales no rotativos

$$A_{95\sigma} = 0.10(170 \times 24.30) = 413.1 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec.18}$$

Donde el valor de "d" será.

$$d = \sqrt{\frac{413.1 \text{ mm}^2}{0.01046}} = 198.72 \text{ mm}$$

Por lo tanto el factor K_b será:

$$K_b = 1.51d^{-0.157} \quad \text{Ec.19}$$

$$K_b = 1.51(198.72)^{-0.157}$$

$$K_b = 0.65$$

Factor de carga K_c .

El factor de carga dependerá de la carga aplicada en la viga, en este caso solo se considera flexión. [17]

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Por lo tanto el valor del factor de carga será:

$$K_c = 1$$

Factor de temperatura K_d .

Para el factor de temperatura se considera que la variación de temperatura es muy pequeña por lo que se obtiene el valor del factor de temperatura.

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad K_e .

Para el factor de confiabilidad se asignará el porcentaje que se quiere para el diseño.

TABLA 6

TABLA DE FACTORES DE CONFIABILIDAD. [14]

| Confiabilidad, % | Variación de transformación z_u | Factor de confiabilidad k_u |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

Con el 99% de confiabilidad se obtendrá un factor de:

$$K_e = 0.814$$

Factor de efectos varios K_f .

Se tomó en consideración el efecto de la corrosión atmosférica, por lo que el valor del factor de efectos varios es:

$$K_f = 1$$

Se calculará el límite de resistencia a la fatiga aplicando la ecuación Ec.12.

$$S_e = (0.78)(0.65)(1)(1)(0.814)(1)(200MPa)$$

$$S_e = 82.54MPa$$

Se determinará el factor de seguridad dinámico reemplazando los resultados obtenidos en la ecuación Ec.10

$$\frac{73.59 MPa}{82.54MPa} + \frac{73.59 MPa}{400MPa} = \frac{1}{n_F}$$

$$0.8915 + 0.1839 = \frac{1}{n_F}$$

$$1.0754 = \frac{1}{n_F}$$

$$n_F = 0.92$$

El análisis se inició con una carga de $42000kg$ debido a que las bañeras son probadas llenándolas con agua para asegurar que las paredes y la compuerta no se deformarán al cargarse con su volumen máximo, además de asegurar que no exista fuga del producto.

Se obtuvo el momento flector máximo de $M_{max} = 300.251 kNm$ el cual nos dio como resultado un factor de seguridad estático de 1.69 y un factor de seguridad dinámico de 0.92.

Por lo que al realizar el análisis dinámico con la carga máxima de $37800kg$ la cual va transportar, se obtendrá un factor de seguridad dinámico mayor a 1, lo que significa que el perfil IPE 450 que se ha seleccionado soportará las cargas para a las cuales será sometido el chasis.

Análisis de puentes o amarres.

Ahora se realizará el análisis de los puentes o amarres entre las vigas principales, cuya función es mantener juntas las vigas y soportar la carga que será aplicada sobre ellas. Se tendrá que la masa total distribuida a lo largo de las vigas principal será de $47500kg$.

$$m_{CT} = 47500kg$$

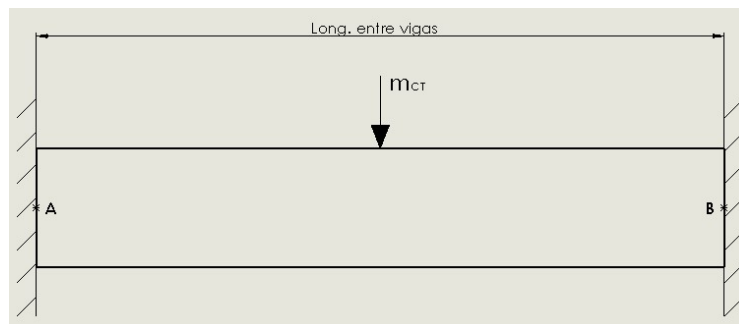


FIGURA 4.7 CARGA APLICADA EN PUENTES DEL CHASIS.

Se Tendrá en este diagrama de cuerpo libre donde encontrará las reacciones en los puntos A y B.

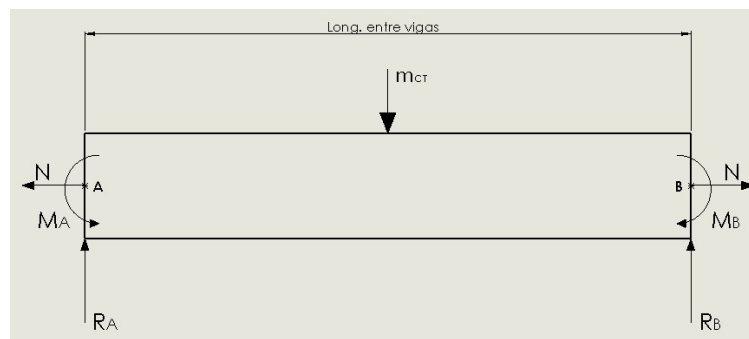


FIGURA 4.8 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LOS PUENTES.

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B = W_{CT} ; R_A = R_B$$

$$2R_A = W_{CT}$$

$$R_A = \frac{47500kg * 9.8 \frac{m}{s^2}}{2} = 232.75 \text{ kN}$$

$$R_A = R_B = 232.75 \text{ kN}$$

La longitud de los amarres será 1013mm.

$$L = 1.013m$$

Mediante la aplicación de AUTODESK FORCEEFFECT se corrobora los cálculos realizados anteriormente.

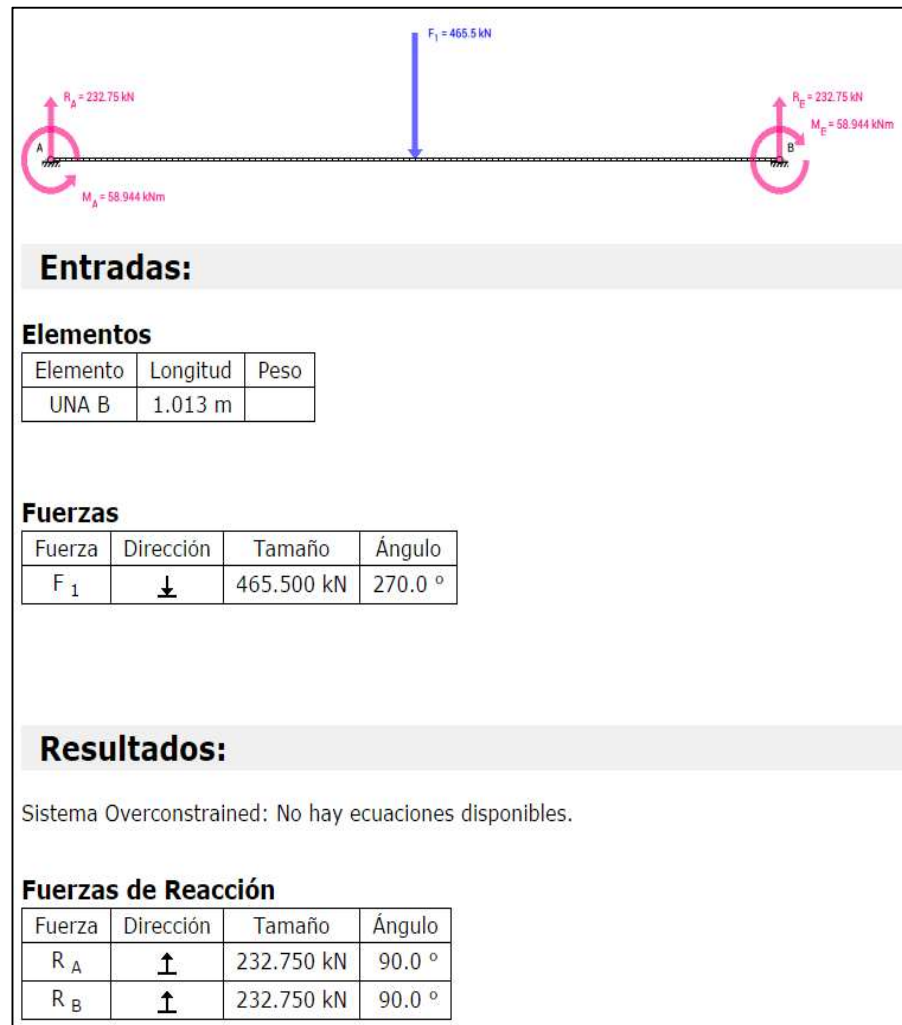


FIGURA 4.9 FUERZAS Y REACCIONES APLICADOS EN LOS Puentes.

Con las reacciones en los puntos A y B se determinarán los diagramas de fuerza y momento, donde se obtendrán el momento máximo que soportará la viga.

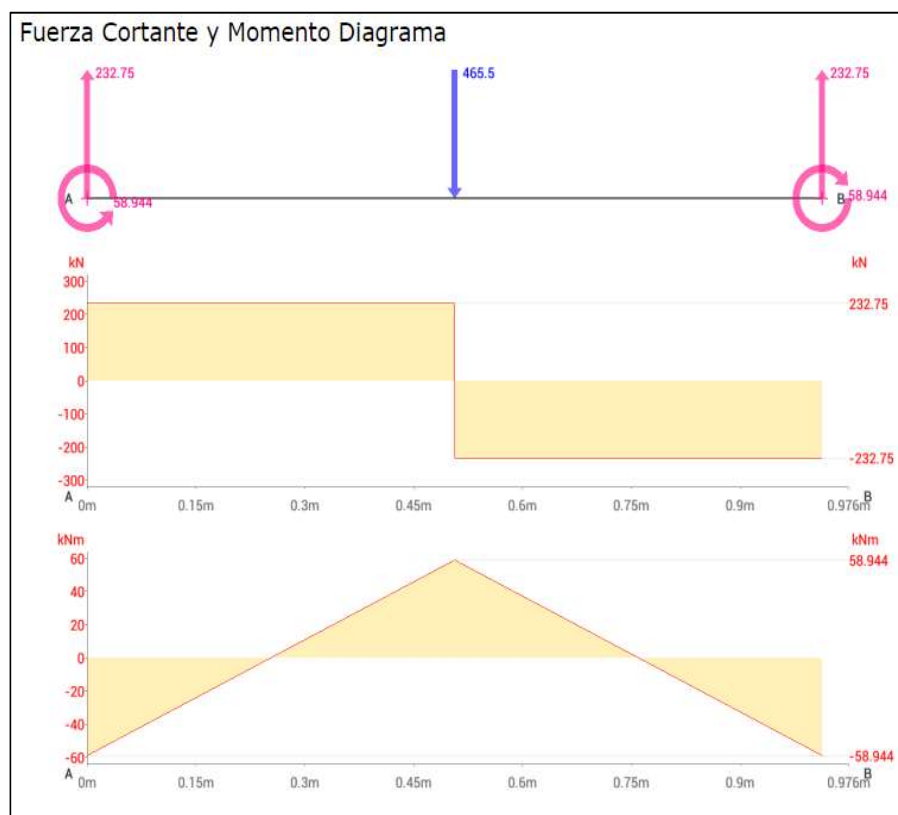


FIGURA 4.10 DIAGRAMAS DE CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR MÁXIMOS.

Similar al análisis realizado con las vigas principales mediante los diagramas de fuerza cortante y de momento flector se obtendrá los valores máximos para determinar los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de flexión máximos.

$$V_{max} = 232.75 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 58.944 \text{ kNm}$$

Para el diseño de las vigas de amarre se aplicará la teoría del esfuerzo cortante máximo o la teoría de Tresca.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n_s}$$

Donde:

τ_{max} : Esfuerzo máximo cortante.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material (240 MPa)

n_s : Factor de seguridad estático.

El esfuerzo cortante máximo se lo calculará aplicando flexión, mediante la ecuación Ec.5

$$\tau_{max} = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2\right]}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo de flexión.

τ_{xz} : Esfuerzo de torsión.

Como no se considerara la torsión para el análisis de las vigas principales, la ecuación Ec.5 se reduce a:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2} = \frac{\sigma_x}{2} = \frac{M_{max}c}{2I}$$

Arreglando la ecuación EC.6 se obtendrá lo siguiente.

$$\tau_{max} = \frac{M_{max}}{2I/c} = \frac{M_{max}}{2W_{z-z}}$$

Donde:

I : Momento de inercia de la viga.

c : Distancia mayor desde el centroide hasta sus extremos.

W_{x-x} : Módulo de sección.

Reemplazando la ecuación Ec.7 en la ecuación Ec.4 se obtendrá.

$$\frac{M_{max}}{2W_{x-x}} = \frac{S_y}{2n_s}$$

Donde se obtendrá el factor de seguridad en función del módulo de sección del perfil que se vaya a escoger o fabricar.

$$n_s = \frac{S_y W_{x-x}}{M_{max}}$$

Reemplazando los valores conocidos se obtendrá lo siguiente:

$$n_s = \frac{(250 * 10^6 \text{ N/m}^2) W_{x-x}}{58944 \text{ Nm}}$$

$$n_s = 4241.3 \text{ 1/m}^3 W_{x-x}$$

Se seleccionará un canal U de 250x120x12mm del catálogo de DIPAC.

$$W_{x-x} = 0.0003958 \text{ m}^3$$

$$n_s = 4241.3 \text{ 1/m}^3 (0.0003958\text{m}^3) = 1.67$$

Con el perfil seleccionado obtendrá un factor de seguridad estático de 1.67

Ahora se realizará el análisis por fatiga, aplicando la teoría de fallas.

Se usará la teoría de Goodman.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_F}$$

Donde:

σ_a : Componente de la amplitud.

σ_m : Componente del esfuerzo medio.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga

S_{ut} : Resistencia mínima a la tensión.

n_F : Factor de seguridad dinámico.

Las características de los esfuerzos fluctuantes se observarán en la figura xxx.

Como se tiene esfuerzos repetitivos se tiene que el esfuerzo mínimo y el esfuerzo máximo serán:

$$\sigma_{min} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_x = 148.92 \text{ MPa}$$

Calculará el esfuerzo medio y la amplitud mediante las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{148.92 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa}}{2} = 74.46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{148.92 \text{ MPa} - 0 \text{ MPa}}{2} = 74.46 \text{ MPa}$$

Obteniendo como resultado que $\sigma_m = \sigma_a = 74.46 \text{ MPa}$

Ahora se calculará el límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación Ec.12.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

Donde:

K_a : Factor de superficie.

K_b : Factor de tamaño.

K_c : Factor de carga.

K_d : Factor de temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de efectos varios.

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga teórico.

El valor del límite de resistencia a la fatiga teórico se lo determina para las vigas principales y es el mismo para las vigas de amarre debido a que es el mismo material.

$$S'_e = 0.5(400 \text{ MPa}) = 200 \text{ MPa}$$

Ahora se calculará los factores de K para determinar el límite de resistencia a la fatiga.

Factor de superficie K_a .

Depende de las condiciones de superficie.

$$K_a = 0.78$$

Factor de tamaño K_b .

Este factor afecta a la vida útil de la viga dependiendo de sus dimensiones.

$$K_b = 0.60$$

Factor de carga K_c .

El factor de carga dependerá de la carga aplicada en la viga, en este caso solo se considera flexión.

$$K_c = 1$$

Factor de temperatura K_d .

Para el factor de temperatura se considerará que la variación de temperatura es muy pequeña por lo que se obtendrá el valor del factor de temperatura.

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad K_e .

Para el factor de confiabilidad se asignará el porcentaje que se quiere para el diseño.

$$K_e = 0.814$$

Factor de efectos varios K_f .

Se tomó en consideración el efecto de la corrosión atmosférica, por lo que el valor del factor de efectos varios es:

$$K_f = 1$$

Se calculará el límite de resistencia a la fatiga aplicando la ecuación Ec.12.

$$S_e = (0.78)(0.60)(1)(1)(0.814)(1)(200MPa)$$

$$S_e = 76.19MPa$$

Se determinará el factor de seguridad dinámico reemplazando los resultados obtenidos en la ecuación Ec.10

$$\frac{73.59 MPa}{76.19MPa} + \frac{73.59 MPa}{400MPa} = \frac{1}{n_F}$$

$$0.9658 + 0.1839 = \frac{1}{n_F}$$

$$1.1497 = \frac{1}{n_F}$$

$$n_F = 0.86$$

Igual que el análisis realizado para las vigas principales se inició con una carga de $42000kg$. Se obtuvo el momento flector máximo de $M_{max} = 58.944 kNm$ el cual dio como resultado un factor de seguridad estático de 1.67 y un factor de seguridad dinámico de 0.86.

Realizando el análisis dinámico con la carga máxima de $37800kg$ la cual va transportar, se obtendrá un factor de seguridad dinámico mayor a 1, lo que significa que el canal U seleccionado soportará las cargas para a las cuales será sometido el chasis.

Con los perfiles obtenidos se realizará un diseño de forma inicial con la ayuda del software SOLIDWORKS®, después se optimizará el diseño con el objetivo de disminuir su peso.

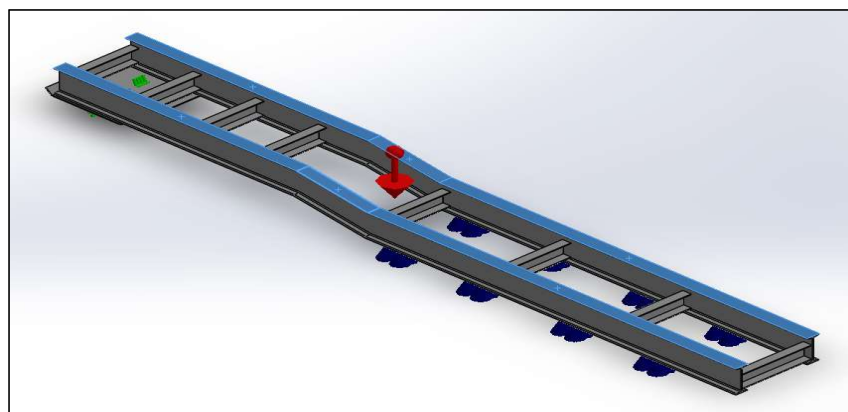


FIGURA 4.11 DISEÑO DE FORMA DEL CHASIS EN SOLIDWORKS®.

Para realizar el diseño de forma del chasis se tomarán ciertas consideraciones con respecto al análisis en SOLIDWORKS®. La sujeción en el King pin es de tipo bisagra debido a que la tornamesa tiene un movimiento angular, mientras que la sujeción en la suspensión es de tipo amortiguada.

La simulación se realiza aplicando la carga 47500 kg donde se obtendrá un factor de seguridad estático de 2.28 y un factor de seguridad dinámico de 1.09 para la estructura del chasis.

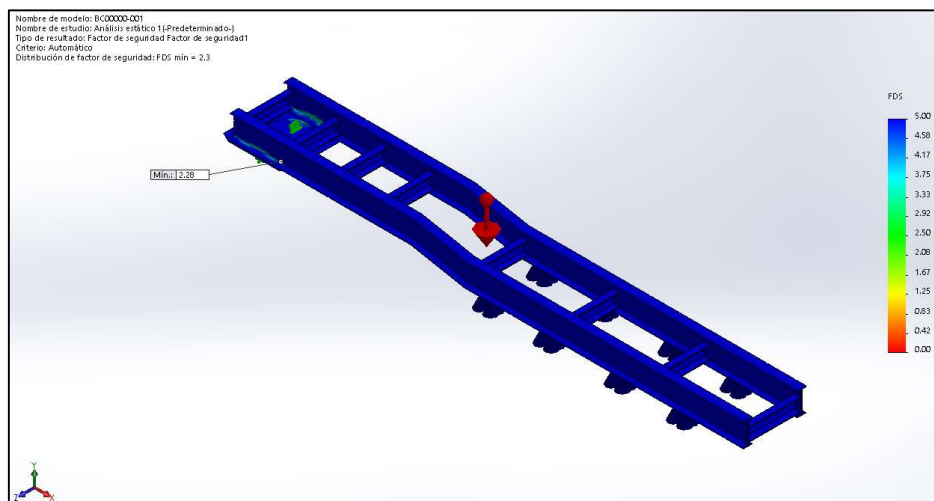


FIGURA 4.12 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

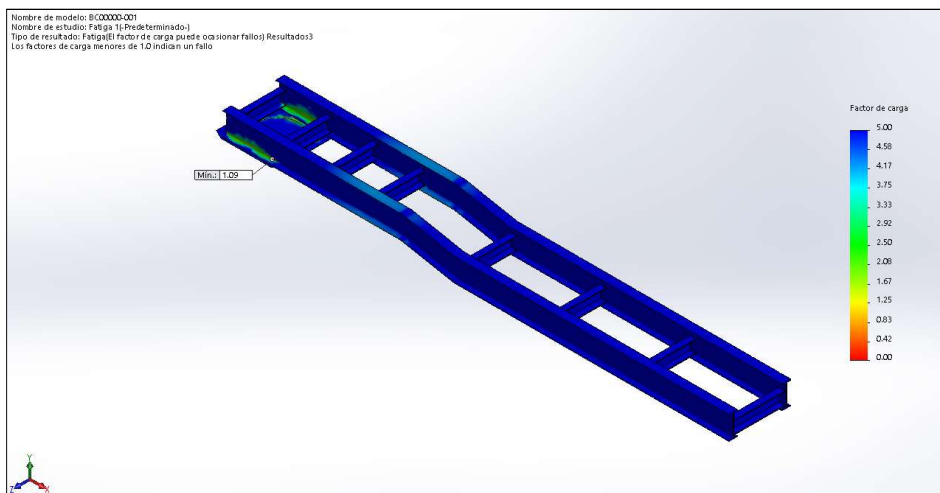


FIGURA 4.13 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

Con este diseño inicial se obtiene un peso de la estructura de 3 toneladas aproximadamente, Lo cual se puede mejorar realizando un segundo diseño de forma cambiando el perfil seleccionado, fabricando un perfil que cumpla con los factores de seguridad necesarios para el diseño sin afectar su integridad.

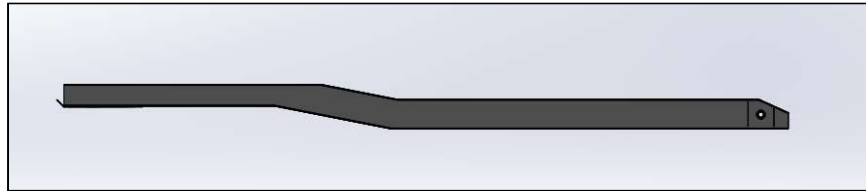
Optimización del chasis.

Después de haber realizado las pruebas con el diseño de forma inicial se cambiaron las dimensiones de la viga que se va a utilizar hasta lograr disminuir el peso de la estructura del chasis. Para esto se realizaron diferentes combinaciones de espesores para el ala y el alma de la viga. Donde se obtuvo lo siguiente:

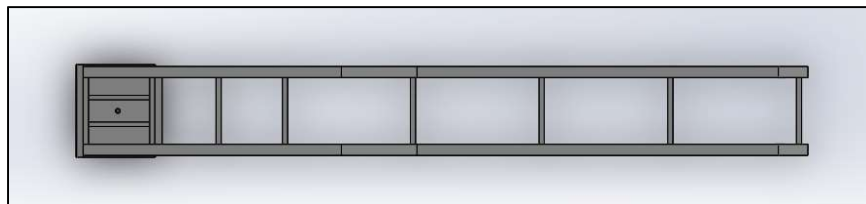
$$e_{Ala} = 10mm$$

$$e_{Alma} = 8mm$$

También se cambió la sección de la viga, con el fin de reducir peso sin afectar la seguridad de la estructura. En la sección del cuello del chasis tiene un alto y un ancho de $290 \times 150mm$ respectivamente, mientras que en la sección posterior tiene un alto y un ancho de $400 \times 150mm$ respectivamente. En la figura 4.13 se puede observar el nuevo diseño de forma para el chasis.



**FIGURA 4.14 VISTA FRONTAL DEL CHASIS EN
SOLIDWORKS®.**



**FIGURA 4.15 VISTA SUPERIOR DEL CHASIS EN
SOLIDWORKS®.**

Como en el caso anterior se aplican las restricciones de sujeción, en el King pin es de tipo bisagra debido a que la tornamesa tiene un movimiento angular y en la suspensión es de tipo amortiguada.

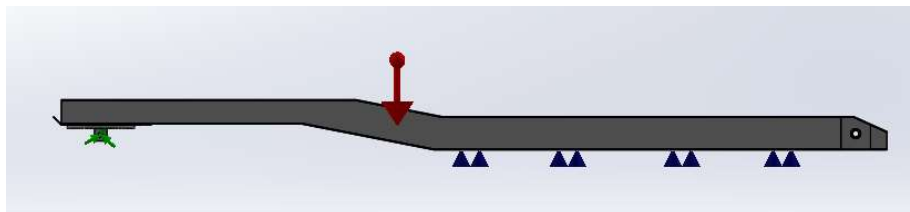


FIGURA 4.16 RESTRICCIONES DEL CHASIS EN SOLIDWORKS®.

Después de colocar las restricciones de la estructura se procederá a realizar la simulación para el análisis estático aplicando la carga de prueba de 47500 *kg*, la cual es la suma de la estructura de la bañera más 42m³ de agua. Esto se debe a que se realizan las pruebas de las volquetas y bañeras llenándolas con agua.

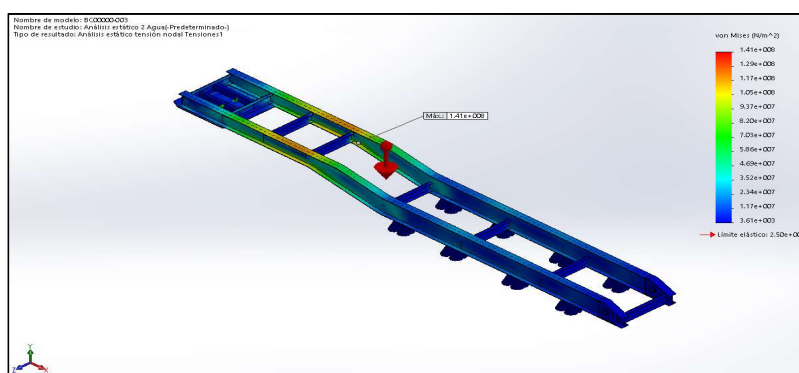


FIGURA 4.17 CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS DE VON MISES EN SOLIDWORKS®.

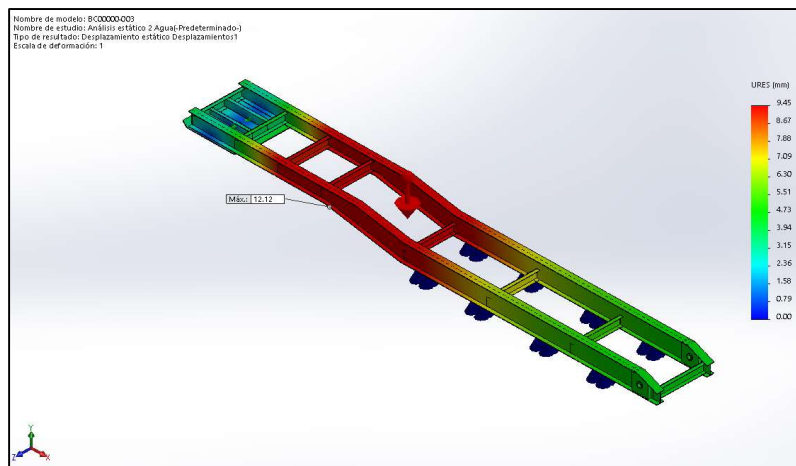


FIGURA 4.18 CONCENTRACIÓN DE DEFORMACIONES EN SOLIDWORKS®.

En las figuras 4.16 y 4.17 se puede observar las concentraciones de esfuerzos y deformaciones respectivamente. Esto ocurre en el cuello donde existe un cambio de sección. La máxima deformación es de 12.12mm lo que se considera aceptable.

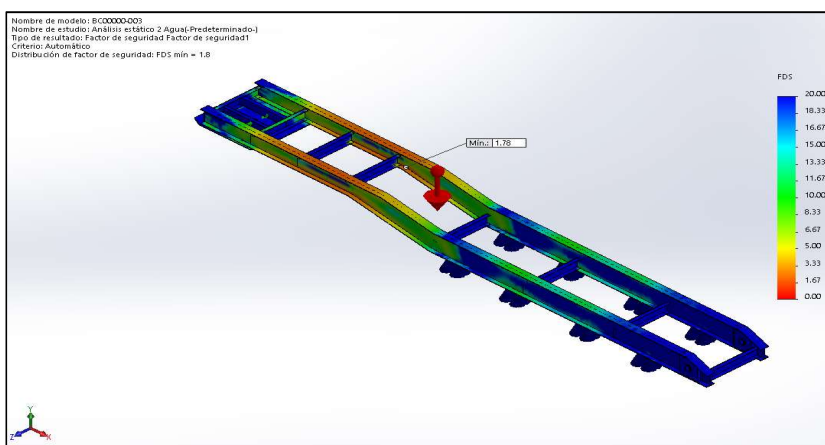


FIGURA 4.19 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

Para el análisis dinámico se aplicará la carga de 43300kg , la cual equivale a la suma de la estructura de la bañera más los 42m^3 de grano de cacao.

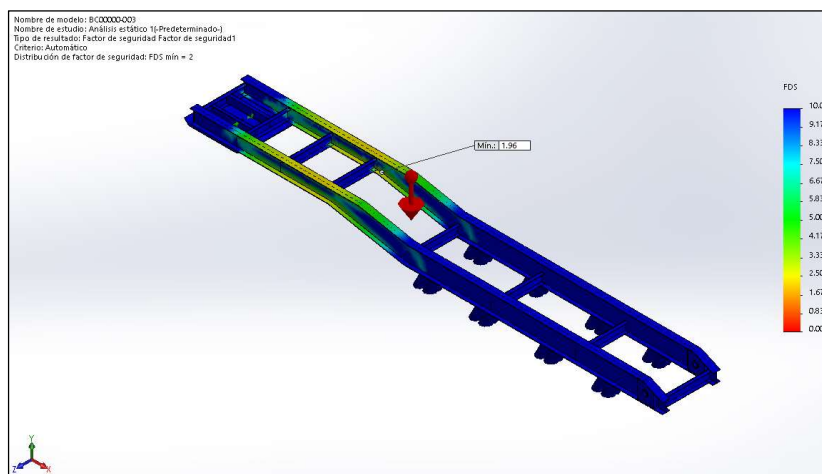


FIGURA 4.20 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

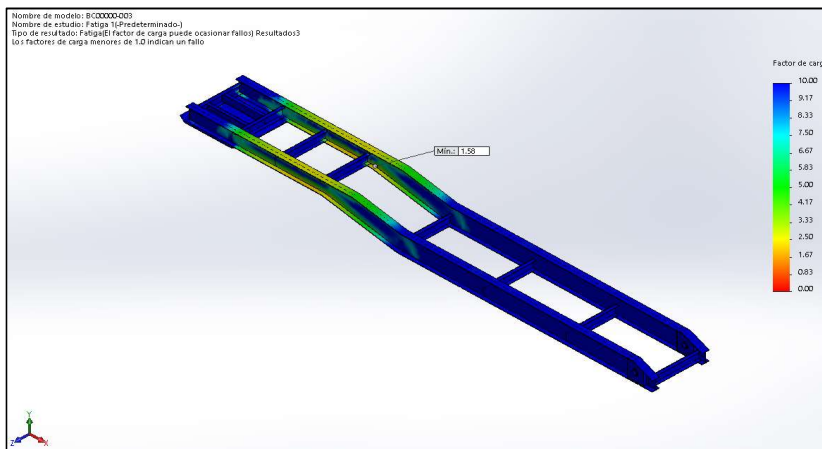


FIGURA 4.21 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

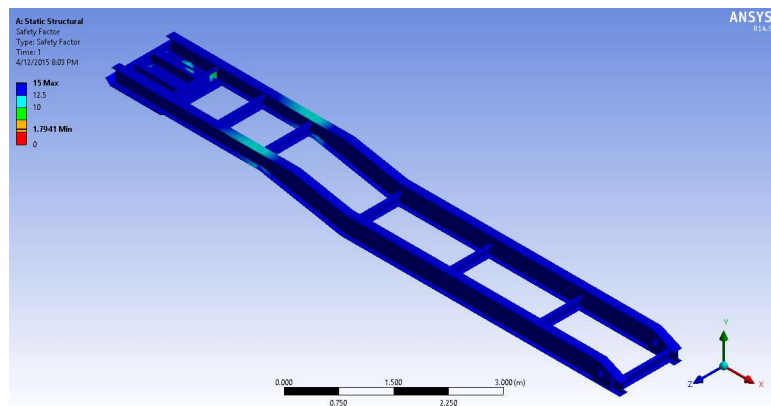


FIGURA 4.22 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN ANSYS®.

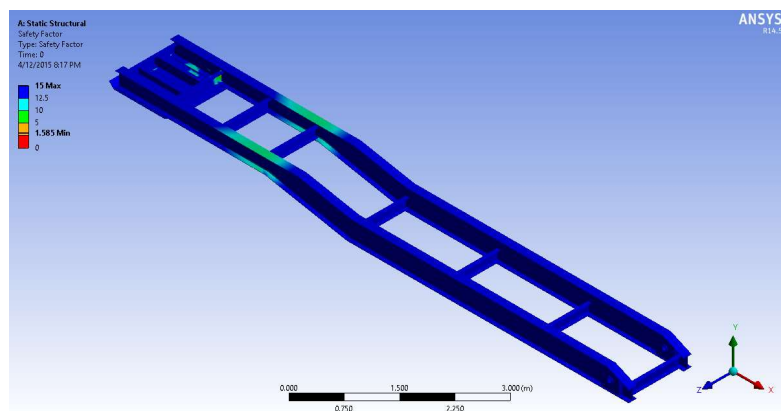


FIGURA 4.23 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN ANSYS®.

4.2 Diseño del balde.

Otro de los elementos importantes del semirremolque granelero es el contenedor que va almacenar el producto a transportar. En las bañeras graneleras es el basculante o balde el cual es un recipiente que se encuentra abierto en la parte superior libre a la atmosfera.

La descarga de la bañera se realiza por la parte posterior. Para el diseño del balde se consideró que estará lleno de agua.

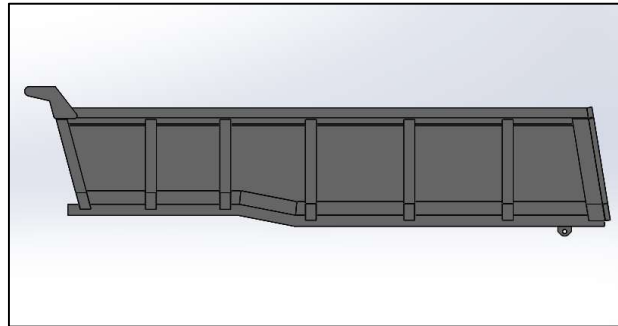


FIGURA 4.24 VISTA FRONTAL DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.

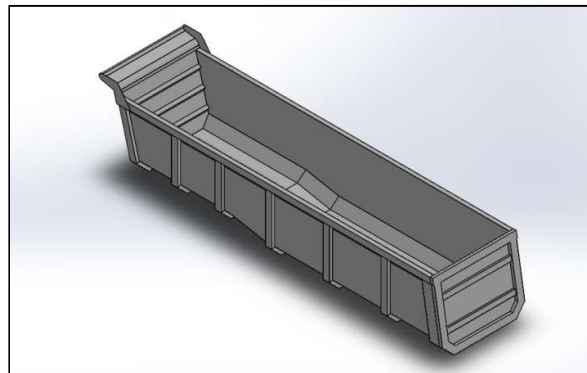


FIGURA 4.25 VISTA 3D DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.

Para el análisis del balde se lo realizará en partes. Primero se analizará la pared lateral del balde, en la cual se ejerce un gradiente de presión debido a la columna de agua.

$$P_H = \rho_A g h \text{ Ec.20}$$

Donde:

P_H : Presión hidrostática aplicada sobre la pared.

ρ_A : Densidad del agua.

h : Altura de la pared.

$$P_H = (1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(1.705 \text{ m})$$

$$P_H = 16709 \text{ Pa}$$

No se considera la presión atmosférica debida a que el recipiente se encuentra abierto y la presión atmosférica actúa en ambas caras de la pared.

El análisis se realizará con una presión de diseño 1.2 veces mayor que la calculada debido a la sobrecarga que suelen realizar al trasportar material, lo cual afecta el balde provocando deformaciones.

$$P_{\text{Diseño}} = 1.2P_H$$

$$P_{\text{Diseño}} = 1.2(16709) = 20050 \text{ Pa}$$

También se considera la presión de viento se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} V_b^2 C_d \quad \mathbf{Ec.21}$$

Donde:

P_v : Presión del viento.

ρ_{aire} : Densidad del aire en condiciones normales. (1.25 kg/m^3).

[19]

V_b : Velocidad del viento hasta 10m de altura (21 m/s^2). [20]

C_d : Coeficiente aerodinámico (1.2). [21]

$$P_v = \frac{1}{2} (1.25 \text{ kg/m}^3) (21 \text{ m/s}^2)^2 (1.2)$$

$$P_v = 303.18 \text{ Pa}$$

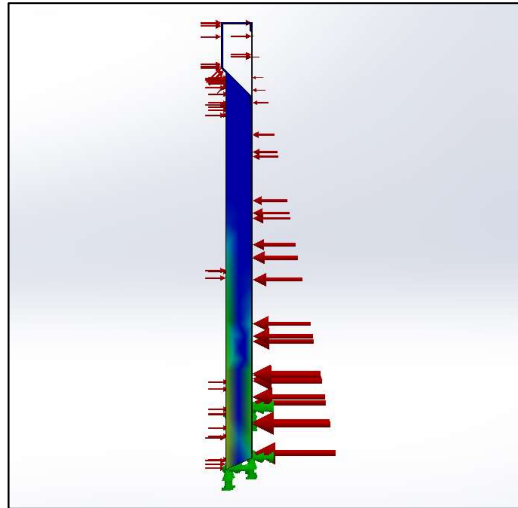
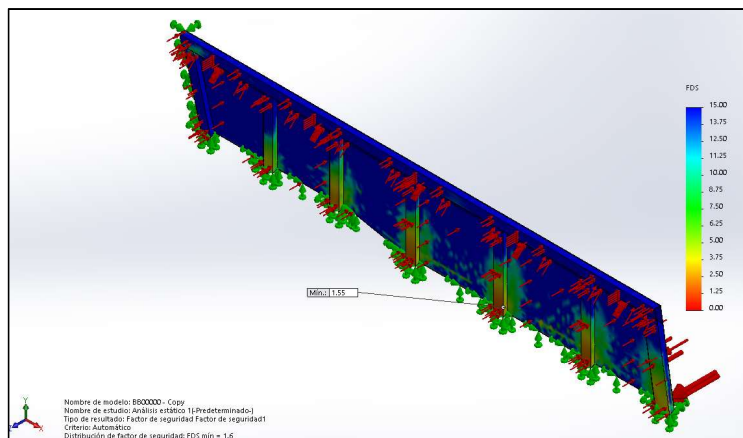


FIGURA 4.26 APLICACIÓN DEL GRADIENTE DE PRESIÓN EN LA PARED LATERAL DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.



4.2.1 FIGURA 4.27 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

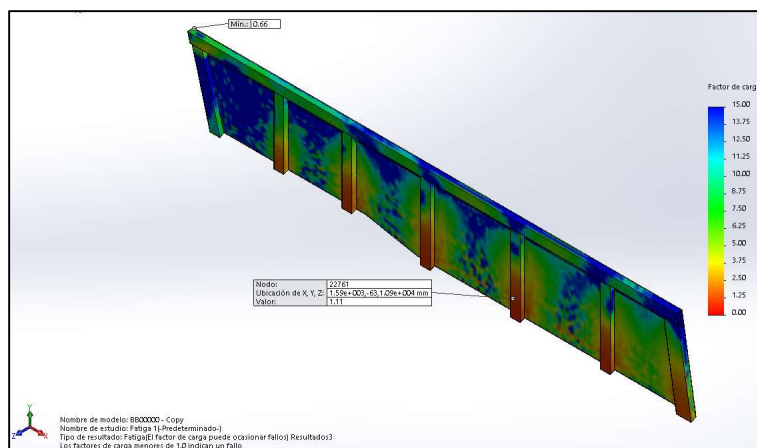


FIGURA 4.28 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

Ahora se realizará el análisis del piso del balde el cual debe soportar la carga distribuida de 42000 kg , ya que tiene que soportar el peso del material que va a transportar.

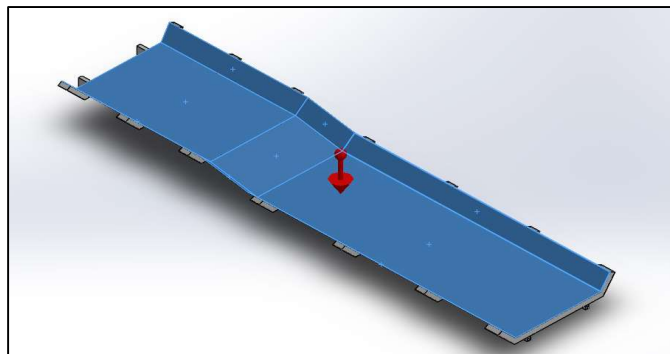


FIGURA 4.29 APLICACIÓN DE MASA DISTRIBUIDA SOBRE EL PISO DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.

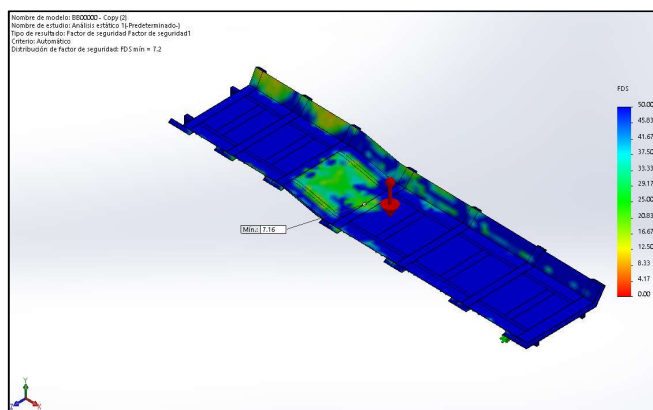


FIGURA 4.30 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

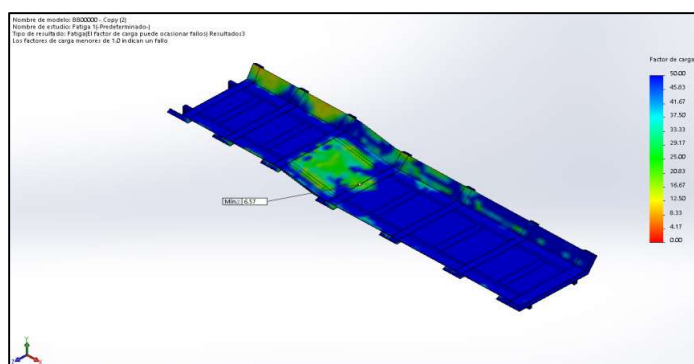


FIGURA 4.31 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

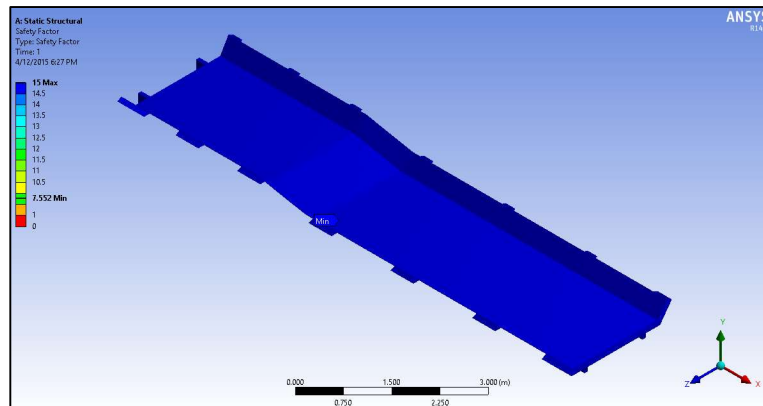


FIGURA 4.32 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN ANSYS®.

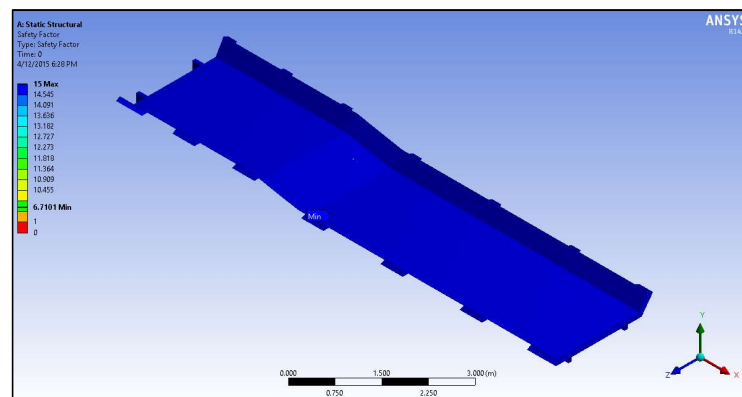


FIGURA 4.33 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN ANSYS®.

Se analizará la parte frontal del balde aplicando la ecuación Ec.20 para calcular la presión que ejerce el agua sobre la pared.

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(1.754 \text{ m})$$

$$P = 17182 \text{ Pa}$$

La presión del viento calculada mediante la Ec.21 a una velocidad relativa de 110 *km/h*.

$$P_v = \frac{1}{2} (1.25 \text{ kg/m}^3)(30 \text{ m/s}^2)^2(1.1)$$

$$P_v = 433.11 \text{ Pa}$$

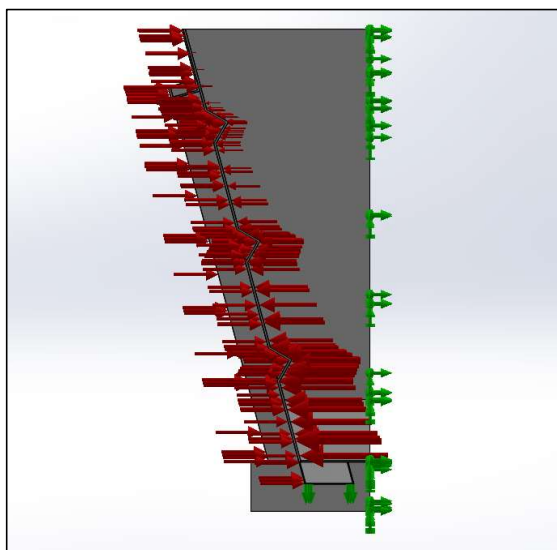


FIGURA 4.34 APLICACIÓN DEL GRADIENTE DE PRESIÓN EN LA PARED FRONTAL DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.

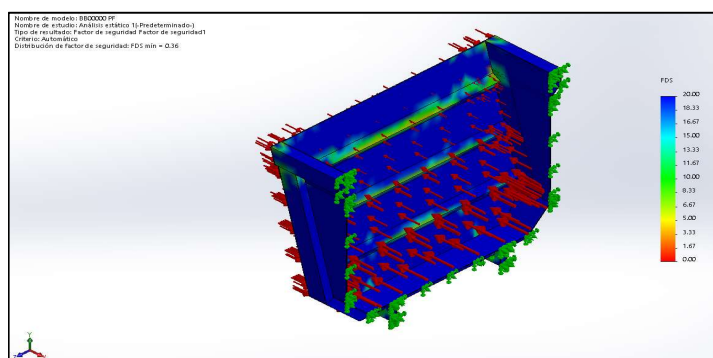


FIGURA 4.35 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

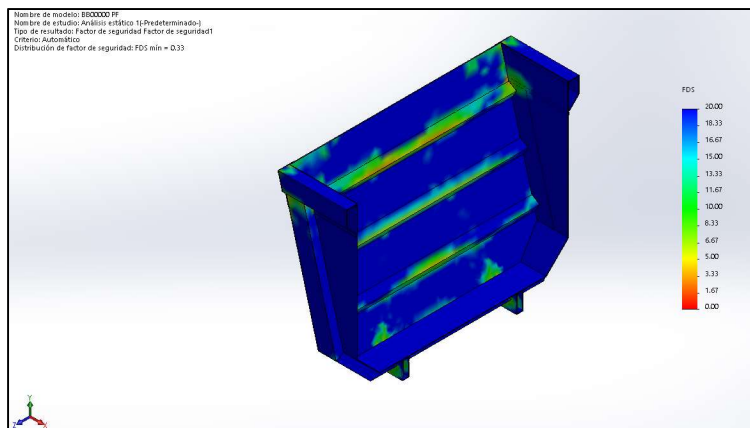


FIGURA 4.36 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

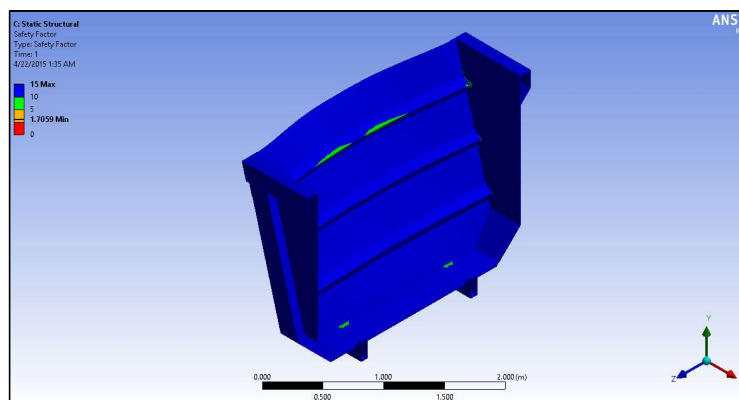


FIGURA 4.37 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN ANSYS®.

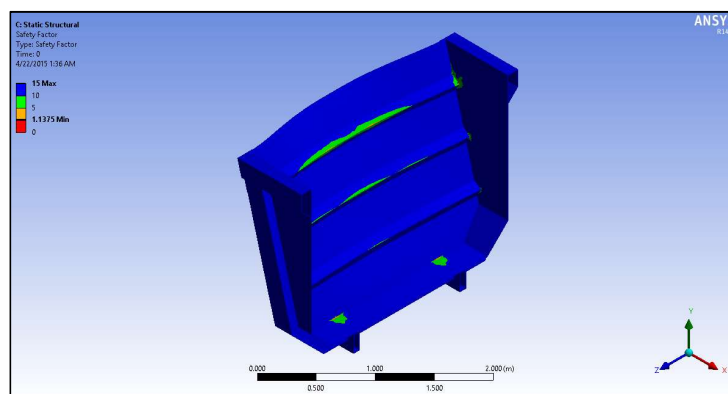


FIGURA 4.38 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN ANSYS®.

4.3 Diseño del sistema anti-vuelco.

El sistema anti vuelco consiste en dos barras que ayudan a soportar el efecto de las cargas de viento aplicadas lateralmente cuando el balde se encuentra elevado, para evitar que el remolque se voltee de lado. Aplicando la ecuación Ec.21 se obtendrá la presión del viento.

$$P_v = \frac{1}{2} (1.25 \text{ kg/m}^3)(21 \text{ m/s}^2)^2(1.2)$$

$$P_v = 303.18 \text{ Pa}$$

El área de la pared lateral del balde es:

$$A_{Lateral} = 21.05 \text{ m}^2$$

Se Calculará la fuerza aplicada en las barras del sistema anti vuelco:

$$P_v = \frac{F_{Lateral}}{A_{Lateral}} \text{ Ec.22}$$

Despejando de la ecuación Ec.22 se obtendrá la fuerza aplicada en las barras.

$$F_{Lateral} = P_v * A_{Lateral} = (303.18 \text{ Pa})(21.05 \text{ m}^2) = 6.5 \text{ kN}$$

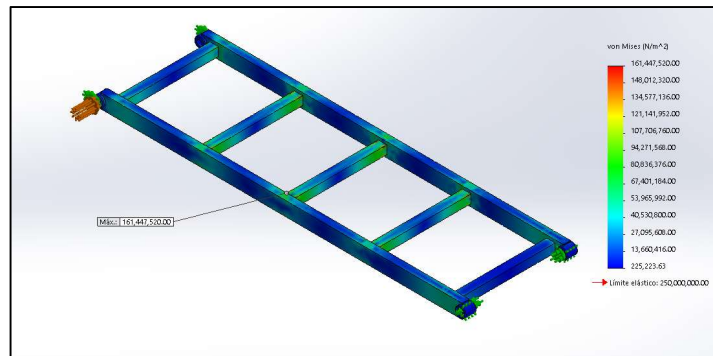


FIGURA 4.39 CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS DE VON MISES EN SOLIDWORKS®.

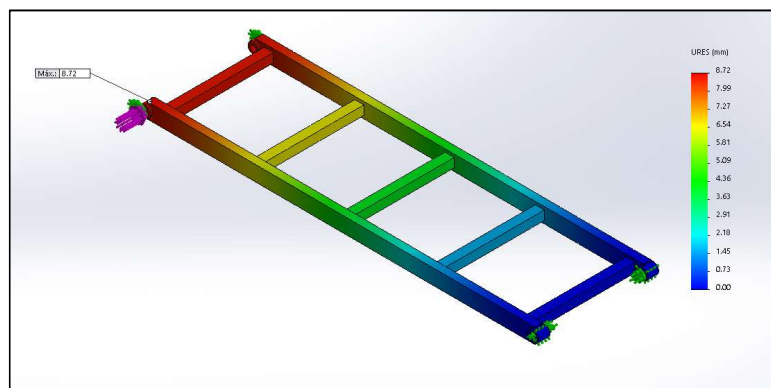


FIGURA 4.40 CONCENTRACIÓN DE DEFORMACIONES EN SOLIDWORKS®.

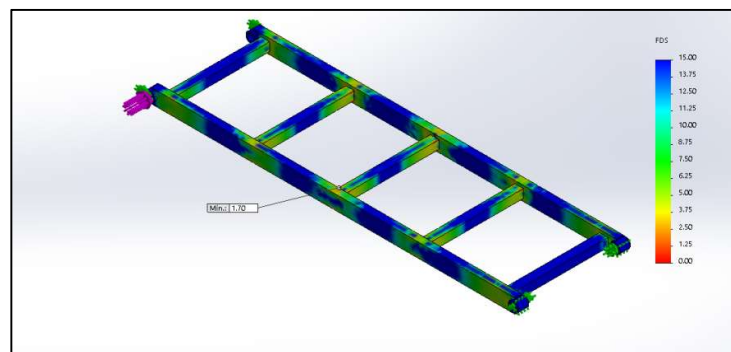


FIGURA 4.41 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

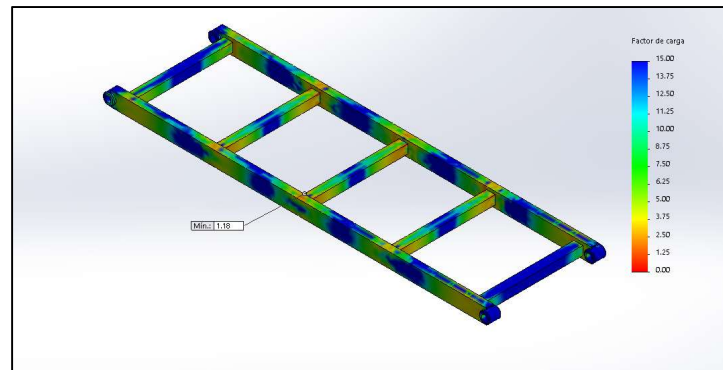


FIGURA 4.42 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

4.4 Diseño del Sistema de Cierre de Compuerta.

El sistema de cierre de compuerta se encarga de mantener la carga dentro del balde sin que ocurra ninguna pérdida de producto. Se utilizará un sistema neumático el cual mediante la acción de un pulmón activará los topes de la compuerta evitando que esta se abra.

A continuación se procede a calcular la fuerza que debe soportar los topes para que la puerta no se abra.

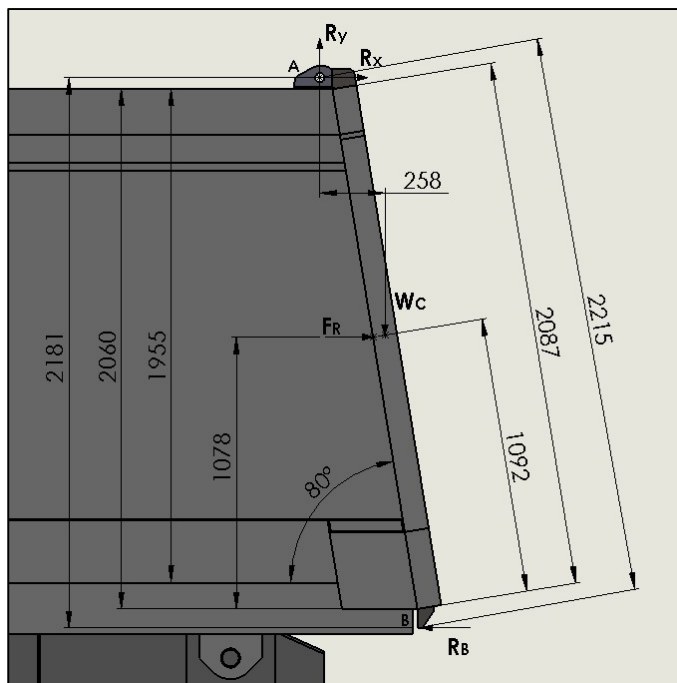


FIGURA 4.43 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN LA COMPUERTA EN SOLIDWORKS®.

Se tendrá en este diagrama de cuerpo libre donde se encontrará las reacciones en los puntos A y B.

Se calcula la fuerza ejercida por la masa de agua sobre la compuerta mediante la ecuación Ec.23.

$$F_R = [\rho g (b/2)] ab \quad \text{Ec.23}$$

$$F_R = \left[\frac{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(1.98\text{m})}{2} \right] (2.352)(1.98)$$

$$F_R = 45.2 \text{ kN}$$

Luego se encuentra la reacción en los topes de la compuerta.

$$\sum M_A = 0 ; + AMR$$

$$R_B(2.181m) + W_C(0.258m) - F_R(2.06m - 1.078m) = 0$$

$$R_B(2.181m) + (400kg)(9.8 m/s^2)(0.258m) - 45.2kN(0.982m) = 0$$

$$R_B(2.181m) + (1.01kNm) - (44.4kNm) = 0$$

$$R_B = \frac{44.4kNm - 1.01kNm}{(2.181m)} = \frac{43.4kNm}{2.181m} = 20kN$$

Donde se obtendrá que $R_B = 20kN$

Se analizará el mecanismo de cierre de compuerta neumático mediante SOLIDWORKS.

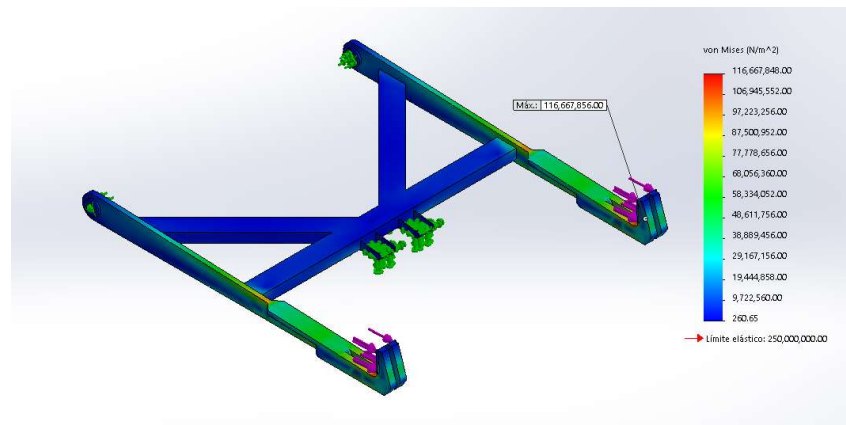


FIGURA 4.44 CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS DE VON MISES EN SOLIDWORKS®.

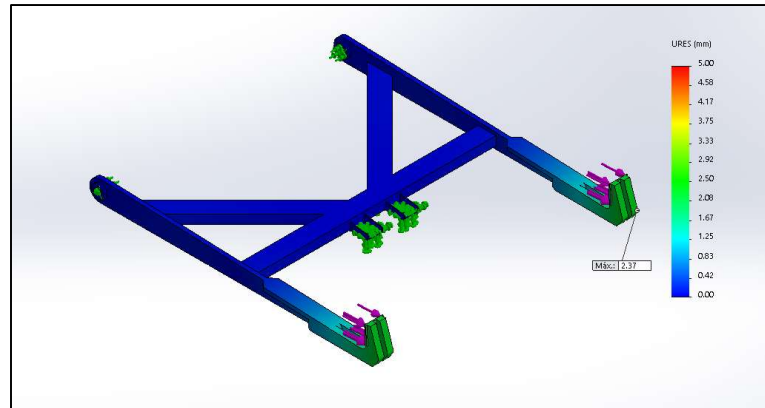


FIGURA 4.45 CONCENTRACIÓN DE DEFORMACIONES EN SOLIDWORKS®.

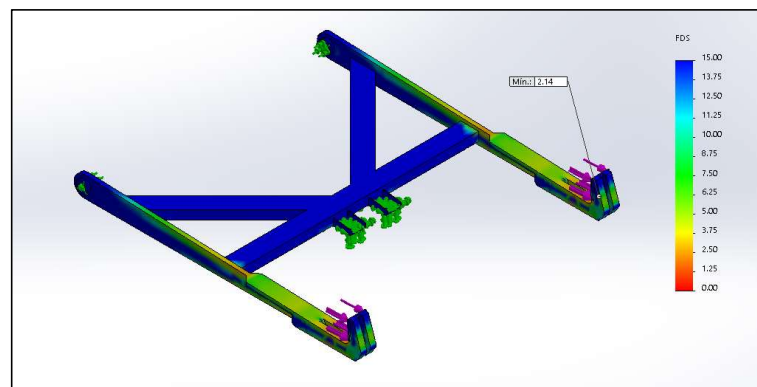


FIGURA 4.46 FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®.

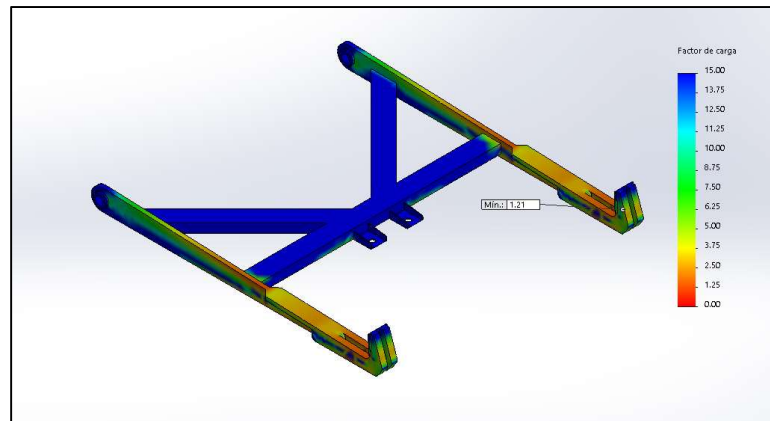


FIGURA 4.47 FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO EN SOLIDWORKS®.

4.5 Diseño y/o Selección del Sistema de Elevación Hidráulica.

Para el sistema de elevación hidráulica se calculará la reacción en la parte delantera del balde, la cual debe soportar el cilindro hidráulico que se va a seleccionar.

Para esto se calculará los valores de las reacciones aplicadas en el pivote del balde y en el punto donde se conecta el cilindro hidráulico.

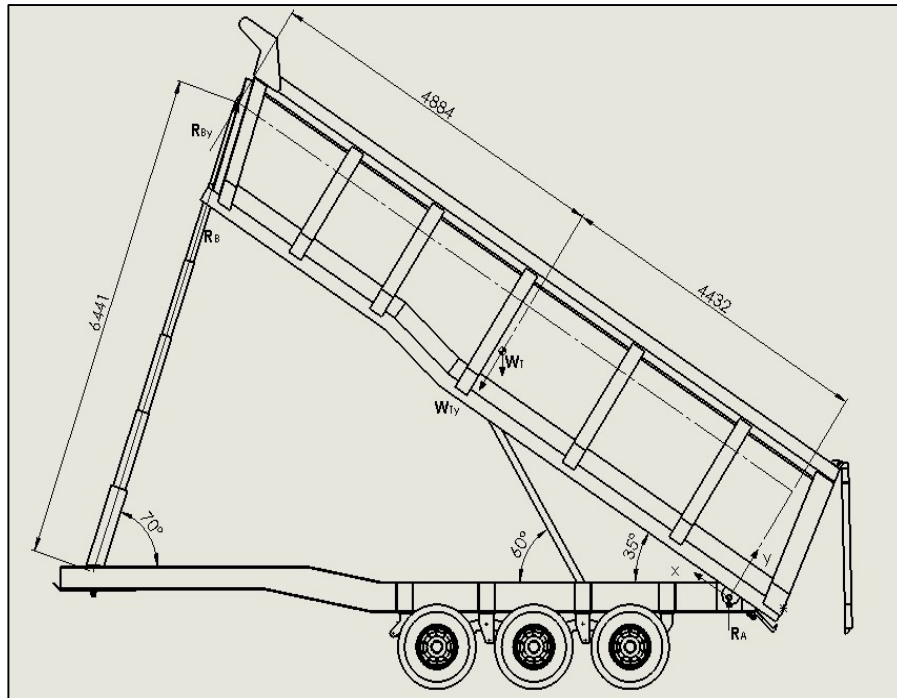


FIGURA 4.48 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL BALDE EN SOLIDWORKS®.

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - W_{Ty} = 0$$

Donde:

$$R_{Ay} = R_A \sin 35^\circ$$

$$R_{By} = R_B \sin 105^\circ$$

$$W_{Ty} = W_T \sin 35^\circ ; W_T = (4330 \text{ kg} + 37800 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

Mediante la aplicación de AUTODESK FORCEEFFECTS se calcula los valores de las reacciones en los puntos A y B

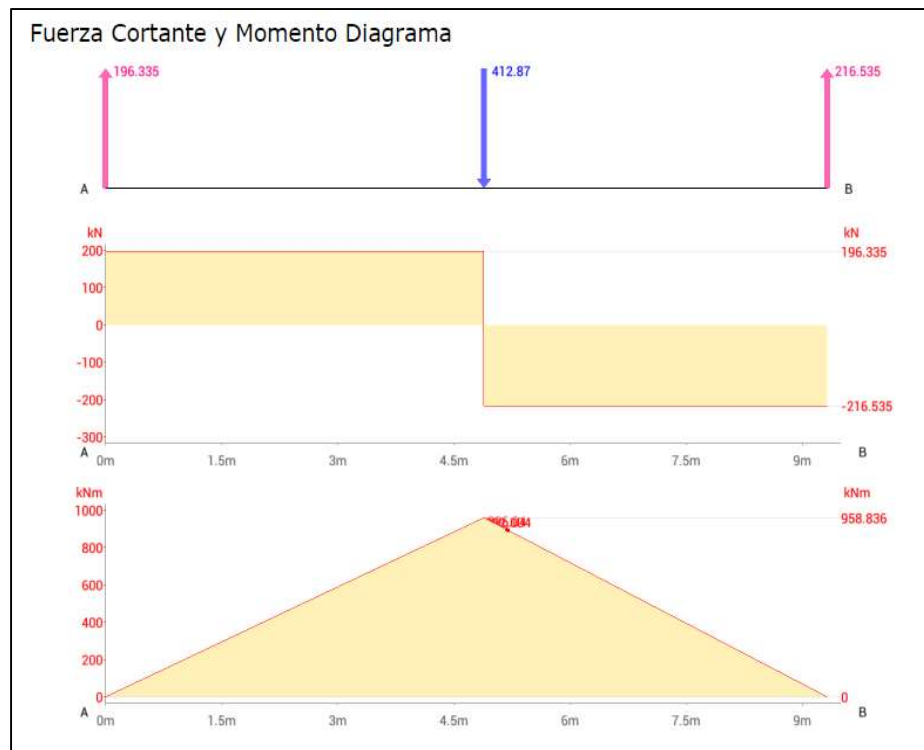


FIGURA 4.49 DIAGRAMAS DE CORTANTE Y MOMENTO MÁXIMOS.

El valor de la reacción en el punto A es de $R_{Ay} = 196.335\text{kN}$ el cual debe soportar el cilindro hidráulico que se seleccionará.

Se escogió el cilindro tipo FEE 214-6-06940-229B-K1560-HC marca HYVA de 6 etapas con una capacidad basculante de 44-74 toneladas.

En el Anexo 7 se encontrará el catalogo del cilindro hidráulico seleccionado.

4.6 Análisis de resultados de los esfuerzos estáticos y dinámicos.

En esta sección se detallará los resultados de los factores de seguridad estáticos y dinámicos de los elementos diseñados.

Análisis de resultados Chasis.

Para el estudio realizado al chasis (Fig. 4.18) se consideró primero el cálculo estático con una carga de 47500 kg , donde se obtuvo un factor de seguridad de 1.78. Esta carga es calculada considerando que la prueba de hermeticidad que se la realiza con agua.

Luego se recalculó aplicando una carga de 43300 kg donde se obtuvo el factor de seguridad estático (Fig. 4.18) de 1.96 y el factor de seguridad dinámico (Fig. 4.19) de 1.60 respectivamente. Esta carga es calculada aplicando la densidad del cacao. Con los factores de seguridad obtenidos se puede aceptar el diseño del chasis.

Análisis de resultados balde.

Para el estudio realizado al balde se analizó en secciones, debido a la complejidad del mallado. Se analizó el piso (Fig. 4.28) considerando una carga de 42000 kg , donde se obtuvo un factor de

seguridad estático (Fig. 4.29) de 7.16 y el factor de seguridad dinámico (Fig. 4.30) de 6.57 respectivamente.

Luego se analizó las paredes laterales (Fig. 4.25) considerando como un recipiente atmosférico, aplicando la presión del agua sobre las paredes del lado interior, y la presión del viento en el exterior. Donde se obtuvo un factor de seguridad estático (Fig. 4.26) de 1.55 y el factor de seguridad dinámico (Fig. 4.27) de 1.11 respectivamente. En el análisis de factor de seguridad dinámico (Fig. 4.27) se observan puntos aberrantes los cuales no afectan el diseño del balde.

Análisis de resultados del sistema anti-vuelco.

Para el sistema anti-vuelco se analizó considerando una carga lateral de 6.5 kN , donde se obtuvo un factor de seguridad estático (Fig. 4.40) de 1.70 y el factor de seguridad dinámico (Fig. 4.41) de 1.39 respectivamente, demostrando que el diseño de las barras del sistema son aceptables.

Análisis de resultados del sistema de cierre de compuerta.

Para el sistema de cierre de compuerta se analizó considerando una carga lateral de 20 kN , donde se obtuvo un factor de seguridad

estático (Fig. 4.45) de 2.14 y el factor de seguridad dinámico (Fig. 4.46) de 1.21 respectivamente.

4.7 Comparación de resultados.

Para verificar los resultados obtenidos anteriormente se comparará los valores de los factores de seguridad calculados mediante ANSYS® y SOLIDWORKS®. En la tabla 7 se encontrará el error obtenido comparando las simulaciones.

TABLA 7
RESULTADOS DE ANSYS® y SOLIDWORKS®.

| Parte analizada | Estudio Realizado | Solidworks® | ANSYS® | % ERROR |
|-----------------|-------------------|-------------|--------|---------|
| Chasis | FS | 1.96 | 1.89 | 8.6% |
| | FD | 1.60 | 1.58 | 1.25% |
| Balde | FS piso | 7.16 | 7.55 | 5.16 |
| | FD piso | 6.57 | 6.71 | 2.0% |
| | FS Fondo | 1.63 | 1.70 | 4.11% |
| | FD Fondo | 1.06 | 1.13 | 6.19% |

En la tabla 7 se observa que el mayor porcentaje de errores es de 6.2% esto se debe al diferente tipos de mayados y sus características.

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se detallará los costos de la construcción de la bañera granelera que involucra los materiales que se van a utilizar y la mano de obra, junto con el cronograma de fabricación.

5.1 Costos de Materiales Y Accesorios.

A continuación se presentará la tabla 8 donde se detallarán los materiales y accesorios que corresponden al diseño del remolque granelero de $42m^3$

TABLA 8
TABLA DE MATERIALES Y ACCESORIOS PARA
CONSTRUCCIÓN.

| DESCRIPCION | PRECIO/u | CNT. | SUB-TOTAL | TOTAL |
|---|-------------|-------|-------------|--------------|
| Aros disco 10H. europeo 11" diam. int. x 13" ojo-ojo | \$ 97.50 | 12.00 | \$ 1,170.00 | \$ 1,170.00 |
| Canal U 150x60x5mm (6.00mt) | \$ 119.45 | 0.75 | \$ 89.59 | \$ 1,259.59 |
| Canal U 150x60x8mm (6.00mt) | \$ 168.48 | 0.30 | \$ 50.54 | \$ 1,310.13 |
| Canal U 200x100x6mm (6.00mt) | \$ 199.39 | 7.50 | \$ 1,495.43 | \$ 2,805.56 |
| Eje redondo 5" transmisión | \$ 1,162.50 | 3.00 | \$ 3,487.50 | \$ 6,293.06 |
| Gata telescópica Hyva 6tramos | \$ 2,522.26 | 1.00 | \$ 2,522.26 | \$ 8,815.32 |
| King-pin plato 2" | \$ 85.00 | 1.00 | \$ 85.00 | \$ 8,900.32 |
| Llantas 22.5R | \$ 480.00 | 12.00 | \$ 5,760.00 | \$ 14,660.32 |
| Material 1" (kl) | \$ 1.80 | 12.00 | \$ 21.60 | \$ 14,681.92 |
| Material 2" (kl) | \$ 1.80 | 5.00 | \$ 9.00 | \$ 14,690.92 |
| Patas apoyo JOST (par) | \$ 375.00 | 1.00 | \$ 375.00 | \$ 15,065.92 |
| Perfil G 60x30x10x3mm | \$ 30.90 | 0.35 | \$ 10.82 | \$ 15,076.73 |
| Plancha 2440x1220x1/2" | \$ 540.12 | 0.50 | \$ 270.06 | \$ 15,346.79 |
| Plancha 2440x1220x4mm | \$ 170.11 | 6.00 | \$ 1,020.66 | \$ 16,367.45 |
| Plancha 2440x1220x6mm | \$ 255.17 | 7.00 | \$ 1,786.19 | \$ 18,153.64 |
| Plancha 2440x1220x8mm | \$ 340.23 | 2.00 | \$ 680.46 | \$ 18,834.10 |
| Plancha 2440x1500x4mm | \$ 209.16 | 4.75 | \$ 993.51 | \$ 19,827.61 |
| Plancha 2440x1500x6mm | \$ 313.74 | 2.50 | \$ 784.35 | \$ 20,611.96 |
| Plancha 2440x1500x8mm | \$ 418.32 | 0.25 | \$ 104.58 | \$ 20,716.54 |

| | | | | |
|-----------------------------|-------------|------|-------------|--------------|
| Planchón 6000x1220x6mm | \$ 627.48 | 2.00 | \$ 1,254.96 | \$ 21,971.50 |
| Planchón 6000x1220x8mm | \$ 836.64 | 2.00 | \$ 1,673.28 | \$ 23,644.78 |
| Planchón 6000x1500x6mm | \$ 771.49 | 1.00 | \$ 771.49 | \$ 24,416.27 |
| Planchón 6000x1800x6mm | \$ 925.79 | 1.00 | \$ 925.79 | \$ 25,342.06 |
| Platina 150x10mm (6.00mt) | \$ 128.58 | 7.00 | \$ 900.06 | \$ 26,242.12 |
| Pulmón simple T-30 | \$ 40.00 | 1.00 | \$ 40.00 | \$ 26,282.12 |
| Suspensión mecánica 3 ejes | \$ 1,200.00 | 1.00 | \$ 1,200.00 | \$ 27,482.12 |
| Tubo cuadrado 60x4mm | \$ 76.80 | 0.60 | \$ 46.08 | \$ 27,528.20 |
| Tubo rectangular 100x50x6mm | \$ 132.18 | 1.00 | \$ 132.18 | \$ 27,660.38 |
| Varilla H. lisa 2" x 6.00 | \$ 27.74 | 0.10 | \$ 2.77 | \$ 27,663.16 |
| Varilla H. lisa 3" x 6.00 | \$ 64.81 | 0.25 | \$ 16.20 | \$ 27,679.36 |
| Viga UPN 120 (6.00mt) | \$ 146.32 | 0.75 | \$ 109.74 | \$ 27,789.10 |
| Viga UPN 200 (6.00mt) | \$ 276.27 | 3.50 | \$ 966.95 | \$ 28,756.04 |
| Total (+IVA) | \$ 2,619.13 | 1.00 | \$ 2,619.13 | \$ 24,445.17 |

TABLA 9
TABLA DE MATERIALES CONSUMIBLES.

| DESCRIPCION | PRECIO/u | CNT. | SUB-TOTAL | TOTAL |
|-------------------------------|-----------|--------|-----------|-------------|
| Anticorr. blanco (gl) | \$ 16.34 | 10.00 | \$ 163.40 | \$ 163.40 |
| Anticorrosivo negro mate (gl) | \$ 13.90 | 4.00 | \$ 55.60 | \$ 219.00 |
| Co2 | \$ 24.20 | 12.00 | \$ 290.40 | \$ 509.40 |
| Diluyente laca (gl) | \$ 3.44 | 36.00 | \$ 123.84 | \$ 633.24 |
| Disco pulir | \$ 1.35 | 15.00 | \$ 20.25 | \$ 653.49 |
| Esmalte blanco (gl) | \$ 15.50 | 2.00 | \$ 31.00 | \$ 684.49 |
| Gas propano | \$ 16.50 | 3.00 | \$ 49.50 | \$ 733.99 |
| Lija # 80 | \$ 0.45 | 8.00 | \$ 3.60 | \$ 737.59 |
| Lija agua # 150 | \$ 0.29 | 6.00 | \$ 1.74 | \$ 739.33 |
| Lija agua # 240 | \$ 0.27 | 6.00 | \$ 1.62 | \$ 740.95 |
| Lija fierro # 36 | \$ 0.50 | 5.00 | \$ 2.50 | \$ 743.45 |
| Loctite 567 | \$ 16.69 | 2.00 | \$ 33.38 | \$ 776.83 |
| Oxígeno | \$ 24.50 | 7.00 | \$ 171.50 | \$ 948.33 |
| Soldadura 60-11 (1/8) kg | \$ 2.63 | 30.00 | \$ 78.9 | \$ 1,027.23 |
| Soldadura rollo | \$ 29.85 | 100.00 | \$ 2,985 | \$ 1,030.21 |
| Total (+IVA) | \$ 123.62 | 1.00 | \$ 123.62 | \$ 1,153.83 |

5.2 Costos de fabricación.

En esta parte se detallará la mano de obra en base a la complejidad de construcción del semirremolque granelero. Para esto se consideran 10 personas que se detallarán en la tabla 10.

TABLA 10
PERSONAL PARA EL PROYECTO.

| Personal | Cantidad |
|----------------|-----------|
| Ing. Diseñador | 1 |
| Soldador | 2 |
| Ayudante | 2 |
| Pintor | 1 |
| Armador | 2 |
| Plegador | 2 |
| Total | 10 |

Mediante la ecuación Ec.24 se estimará la cantidad de días que tomará la construcción del proyecto. Considerando que el rendimiento del proyecto es de 246 HH/Ton

$$Personal \times 8 \left[\frac{H}{D} \right] \times Dia = HH \quad \text{Ec.24}$$

TABLA 11
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN DEL SEMIRREMOLQUE.

| | | |
|-----------------------------|---------|--------|
| Peso total del diseño (kg) | 6500 | kg |
| Peso total del diseño (Ton) | 6.50 | Ton |
| Rendimiento | 210 | HH/Ton |
| Horas Hombre | 1365.00 | HH |
| Personal | 9 | Hombre |
| Horas de trabajo/Día | 8 | H/D |
| Tiempo de obra | 19.0 | Días |
| | 151.67 | Horas |

Para determinar la mano de obra se calcula el costo promedio por hora, el cual involucra los sueldos del personal administrativo, la alimentación del personal, los EPP utilizados para la construcción del remolque, etc.

TABLA 12
COSTOS PROMEDIO POR HORA.

| Costos | |
|-------------------------|----------|
| Costo promedio Hora | \$ 13.99 |
| Costo Electricidad | \$0.25 |
| Costo Herramientas | \$ 1.78 |
| Costo Maquinas | \$ 3.00 |
| Herramientas | |
| Total | \$ 18.77 |
| Utilidad 20% | \$ 3.75 |
| Imprevistos 5% | \$ 0.94 |
| Costo promedio hr Total | \$ 23.46 |

Donde se obtendrá un costo de mano de obra de \$23.103 aproximadamente.

5.3 Costo total del semirremolque.

TABLA 13
COSTO TOTAL DEL PROYECTO

| Costos | |
|---------------------------|-------------|
| Costo mano de obra | \$23,103 |
| Costo consumibles | \$1,153.83 |
| Costo Herramientas | \$24,445.17 |
| Costo total | \$ 48,702 |

5.4 Cronograma de fabricación.

Se presentará el cronograma de la fabricación del semirremolque granelero.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Aplicando las teorías de fallas se realizó un diseño inicial de un semirremolque granelero con capacidad de $42m^3$, mediante las herramientas computacionales ANSYS® y SOLIDWORKS® se optimizo el diseño inicial de los elementos principales como el chasis y el balde, disminuyendo el peso de la estructura del semirremolque sin afectar la seguridad e integridad del equipo.
- Se diseñó un sistema anti-vuelco el cual soportara las cargas axiales provocadas por el viento que chocan contra las paredes del balde cuando este se encuentra descargando el producto.
- También se diseñó un sistema de cierre de compuerta neumático, el cual es accionado por un pulmón simple, cuya función es

mantener cerrada la compuerta soportando de las cargas aplicadas sobre ella.

- Las vigas principales del chasis fueron simuladas en los programas de ANSYS® y SOLIDWORKS® mostrando un factor de seguridad de fatiga de 1.6 y un factor de seguridad estático de 1.9, con un error de 1.25% y 8.6% respectivamente, el cual es provocado por la calidad del mallado de cada programa.
- El factor de seguridad de fatiga de 1.6 significa que el diseño soportara un 60% de carga adicional provocada por las irregularidades del camino donde circulara el semirremolque, estas cargas en su mayoría son absorbidas por la suspensión.

Recomendaciones

- Para este tipo de semirremolques es recomendable que el tren de la rodaje tenga instalada una barra estabilizadora, que servirá como ayuda para mantener nivelado el semirremolque cuando se encuentre en movimiento o cuando se encuentre descargando producto sobre una superficie irregular.
- Se recomienda instalar una boya de eje flotante en el primer eje, debido a que el semirremolque está diseñado para transportar todo tipo de granos, puede ocurrir el caso de que la carga a

transportar sea menor a la carga de diseño, por lo que se puede transportar usando únicamente el 2do y 3er eje. Logrando así disminuir desgaste de llantas del primer eje.

- Es importante realizar los mantenimientos correspondientes a los sistemas de frenos, suspensión y ejes. De esta manera se prolonga la vida útil de los componentes que conforman dichos sistemas.
- Debido a las leyes de transporte de carga, todo remolque debe llevar su carga cubierta, por lo que se recomienda instalar un sistema de tolda, la cual puede ser mediante un mecanismo o amarrada al balde.

APÉNDICES

TABLA NACIONAL DE PESOS Y DIMENSIONES

| TIPO | DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE | DESCRIPCIÓN | PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
|------|--------------------------------------|-------------|------------------------------|--|-------|------|
| | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2 D | | | 7 | 5,00 | 2,60 | 3,00 |
| 2DA | | | 10 | 7,50 | 2,60 | 3,50 |
| 2DB | | | 18 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 3-A | | | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 4-C | | | 31 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 4-0 | | | 32 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| V3DB | | | 18 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| V3A | | | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| VZS | | | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| T2 | | | 18 | 8,50 | 2,60 | 4,10 |
| T3 | | | 27 | 8,50 | 2,60 | 4,10 |
| S3 | | | 24 | 13,00 | 2,60 | 4,10 |
| S2 | | | 20 | 13,00 | 2,60 | 4,10 |
| S1 | | | 11 | 13,00 | 2,60 | 4,10 |
| R2 | | | 22 | 10,00 | 2,60 | 4,10 |
| R3 | | | 31 | 10,00 | 2,60 | 4,10 |
| B1 | | | 11 | 10,00 | 2,60 | 4,10 |
| B2 | | | 20 | 10,00 | 2,60 | 4,10 |
| B3 | | | 24 | 10,00 | 2,60 | 4,10 |

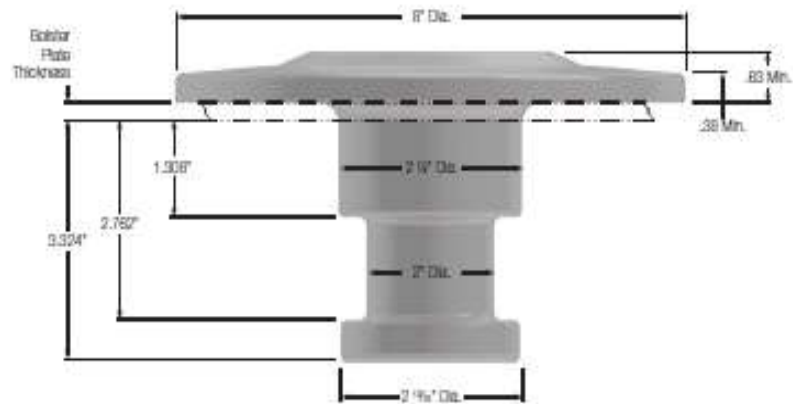
Para las unidades de carga (Remolques, semiremolques y remolques balanceados) en la combinación se restará el largo del tractor.

TABLA NACIONAL DE PESOS Y DIMENSIONES: POSIBLES COMBINACIONES

| TIPO | DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE | DESCRIPCIÓN | PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
|------|--------------------------------------|-------------|---|--|-------|------|
| | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2S1 | | | 29 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2S2 | | | 38 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2S3 | | | 42 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3S1 | | | 38 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3S2 | | | 47 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3S3 | | | 48 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2R2 | | | 40 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2R3 | | | 48 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3R2 | | | 48 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3R3 | | | 48 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2B1 | | | 29 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2B2 | | | 38 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 2B3 | | | 42 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3B1 | | | 38 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3B2 | | | 47 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |
| 3B3 | | | 48 | 20,50 | 2,60 | 4,30 |

APÉNDICE 1: TABLA NACIONAL DE LOS PESOS Y DIMENSIONES.

Mushroom Style - 8630H Steel Forging



| Part Number | Bolster Plate Thickness | Weight |
|-------------|-------------------------|---------|
| KZ T2 | 1/4" | 14 lbs. |
| KZ T3 | 5/16" | 14 lbs. |
| KZ T4 | 3/8" | 14 lbs. |
| KZ T5 | 1/2" | 14 lbs. |
| KZ T6 | 5/8" | 14 lbs. |

APÉNDICE 2: CATÁLOGO DE KING PIN MARCA JOST.

SUSPENSIONES MECANICAS



SUSPENSIONES MECANICAS 3 EJES MODELO EUROPA II (13 TN.)
 UNDERSLUNG H250

PAG 03/117

FIG. 1

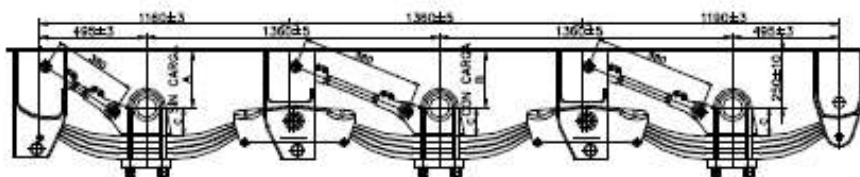
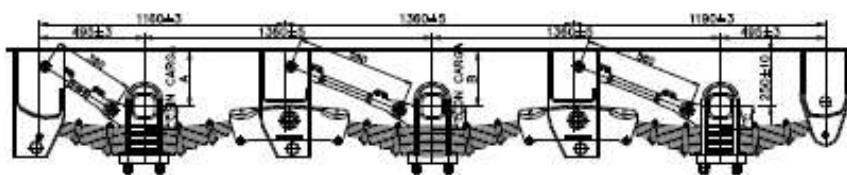


FIG. 2



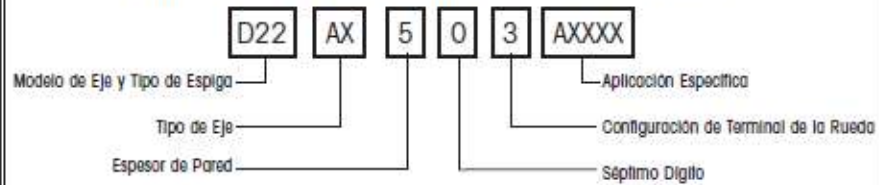
| REFER. CODE | DENOMINACION DESCRIPTION | CARGA (TN.) | FIG. | BALLESTA SPRING | | EJE AXLE (mm.) | A B (mm.) | C (mm.) |
|-------------|------------------------------------|-------------|------|-----------------|--------------|----------------|------------|---------|
| | | | | Nº HOJAS | SECC (A X e) | | | |
| 118.138.262 | SUSP. MOD. EUROPA II E148P4-90H250 | 3x13 | 1 | 4 | 90x25 | □146 | 250 225 | 135 |
| 118.138.264 | SUSP. MOD. EUROPA E120P4-90H250 | | | | | □120 | 250 225 | |
| 118.138.266 | SUSP. MOD. EUROPA E127P4-90H250 | | | | | ○127 | 250 225 | |
| 118.138.263 | SUSP. MOD. EUROPA E148M10-90H250 | 3x13 | 2 | 10 | 90x13 | □146 | 250 220 | 105 |
| 118.138.265 | SUSP. MOD. EUROPA E120M10-90H250 | | | | | □120 | 250 220 | |
| 118.138.900 | SUSP. MOD. EUROPA E127M10-90H250 | | | | | ○127 | 250 220 | |

APÉNDICE 3: CATÁLOGO DE SUSPENSIÓN MECÁNICA MARCA
 SCHULZ IBERICA.



GUÍA DE APLICACIÓN — EJES HENDRICKSON PARA REMOLQUE

INTERPRETANDO NÚMEROS DE PARTE DE EJES PARA REMOLQUES (DAP)



MODELO DE EJE Y TIPO DE ESPIGA

- A45 - Espiga cónica, barra sólida
- A65 - Espiga cónica, barra sólida
- D10 - Espiga cónica / Eje direccionable
- D22 (HN) - Espiga cónica
- K22 - Espiga cónica, a presión
- S22 - Espiga cónica, barra sólida
- K30 - Espiga cónica, a presión
- S30 - Espiga cónica, barra sólida
- P22 (HP) - Espiga Estilo Pro-Par
- T24 - Espiga Eje motriz / Camión

TIPO DE EJE

- AX - Eje recto
- AU - Eje con tubo doblado (centro con calda)
- AD - Eje recto, frenos de disco

ESPESOR DE PARED

- 1 - Eje partido derecho (eje cortado a la mitad)
- 2 - Eje partido izquierdo (eje cortado a la mitad)
- 3 - Eje partido universal (eje cortado a la mitad)
- 5 - Espesor de pared nominal de $\frac{1}{2}$ "^{5.00"} DE
- 6 - Espesor de pared nominal de $\frac{5}{8}$ "^{5.00"} DE
- 6 - Espesor de pared nominal de $\frac{5}{8}$ "^{5.00"} y $\frac{5}{8}$ "^{5.75"} DE
- 7 - Espesor de pared nominal de $\frac{3}{4}$ "^{5.00"} DE
- 8 - Barra sólida

SÉPTIMO DÍGITO

- 0 - Eje estándar para remolque
- 1 - Eje para suspensión IPAC, ya no se utiliza
- 2 - Eje para suspensión AdVANTage
- 5 - Pared nominal de mangueta de $\frac{1}{2}$ "^{5.00"} OD
- 6 - Pared nominal de mangueta de $\frac{5}{8}$ "^{5.00"} OD
- 6 - Pared de mangueta de $\frac{5}{8}$ "^{5.00"} y $\frac{5}{8}$ "^{5.75"} OD
- 7 - Pared de mangueta de $\frac{3}{4}$ "^{5.00"} OD
- 8 - Mangueta maquinada de barra sólida
- H - Pared HD de $\frac{5}{8}$ "^{5.00"} OD

CONFIGURACIÓN DE TERMINAL DE LA RUEDA

- 0 - Con araña / bridas, sin frenos, mazas o tambores
- 1 - Con frenos, mazas y tambores
- 2 - Con arañas / bridas, mazas y tambores, sin zapata de frenos
- 3 - Con frenos, sin mazas o tambores
- 4 - Con mazas, sin arañas / bridas o frenos
- 5 - Sin arañas / bridas, frenos, mazas o tambores

NOVENO DÍGITO

- A - Opciones de Ensamble son seleccionadas al momento de colocar la orden del eje. Las opciones incluyen pasta de zapata de frenos, instalación de sensor ABS y selección de marca. Opciones de ensamble son solamente para ejes con doble pemo de anclaje (DAP).

DÉCIMO DÍGITO

- Eje específico - Los números son secuenciales y son usados para registrar el listado de materiales para cada eje

APÉNDICE 4: CATÁLOGO DE EJES MARCA HENDRICKSON.



MODELO DE EJE Y TIPO DE ESPIGA

- A45 - Espiga cónica, barra sólida, eje recto
- A65 - Espiga cónica, barra sólida, eje recto
- D10 - Espiga cónica, eje recto
- DD10 - Espiga cónica, eje con centro con caída
- D22 (HN) - Espiga cónica, eje recto
- DD22 - Espiga cónica, eje con centro con caída
- K22 - Espiga cónica, a presión, eje recto
- S22 - Espiga cónica, barra sólida, eje recto
- K30 - Espiga cónica, a presión, eje recto
- S30 - Espiga cónica, barra sólida, eje recto
- P22 (HP) - Espiga tipo Pro-Par, eje recto
- PD22 - Espiga tipo Pro-Par, eje con centro con caída
- T24 - Espiga Eje matriz / Camión, eje recto
- TD24 - Espiga Eje matriz / Camión, eje con centro con caída

TIPO DE ZAPATA DE FRENOS

- CS - Zapata colada
- FB - Fabricada, Pasta atomillada
- FC - Fabricada de Cambio Rápido
- FCX - Vida Extendida de Cambio Rápido
- FCXX - Vida Extendida de Cambio Rápido II
- FT - Fabricada, Cónica (estilo de perno)
- N - Sin frenos, Arañas ni bridas
- NBW - Sin frenos, Con arañas
- NB - Sin frenos, Con bridas
- ADB - Frenos de disco

TAMAÑO DE FRENO

- 123 - 12¹/₄" X 3" — no disponible
- 1235 - 12¹/₄" X 3¹/₂" — no disponible
- 1250 - 12¹/₄" X 5" — no disponible
- 1255 - 12¹/₄" X 5¹/₂"
- 1275 - 12¹/₄" X 7¹/₂"
- 153 - 15" X 3" — no disponible
- 154 - 15" X 4" — no disponible
- 155 - 15" X 5" — no disponible
- 157 - 15" X 7" — no disponible
- 1586 - 15" X 8⁵/₈"
- 165 - 16¹/₂" X 5"
- 166 - 16¹/₂" X 6" — no disponible
- 167 - 16¹/₂" X 7"
- 1680 - 16¹/₂" X 8" — no disponible
- 1686 - 16¹/₂" X 8⁵/₈"
- 1610 - 16¹/₂" X 10" — no disponible
- 187 - 18" X 7"
- 208 - 20" X 8"

TIPO DE ARAÑA

- B - Atomillable
- F - Bridas solamente (para "retrofit" de araña atomillable)
- W - Soldable

TIPO DE TERMINAL DE LA RUEDA

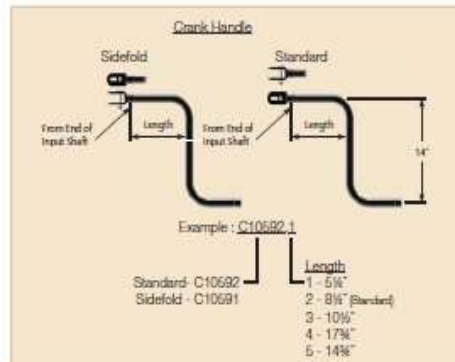
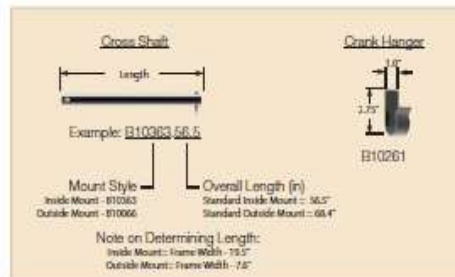
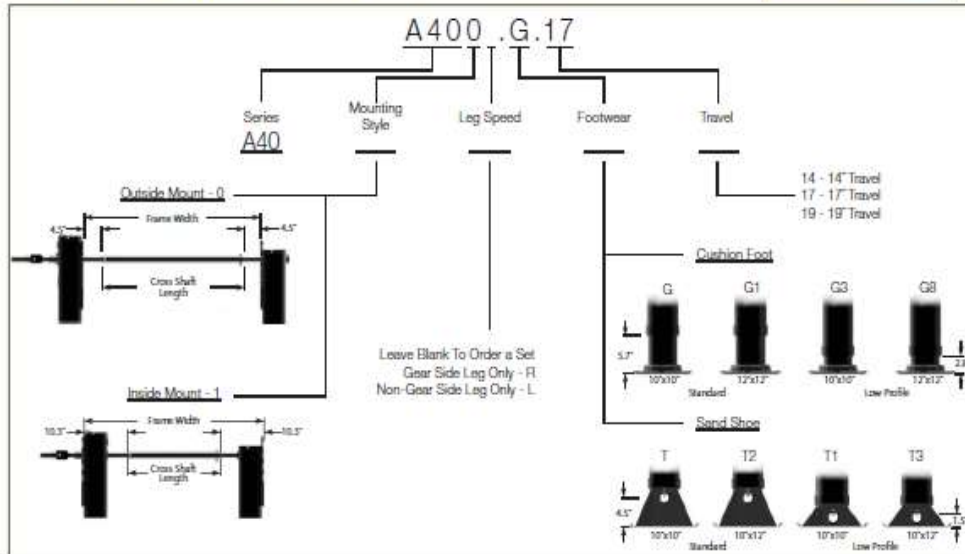
- NH - Sin maza ni rines
- W - Rines de artillería
- WD - Rines y tambor tipo de artillería
- B6 - Maza de 6 birlos con 8³/₄ BC
- B8 - Maza de 8 birlos con 6¹/₂ BC
- B10 - Maza de 10 birlos con 11¹/₄ BC
- B13 - Maza de 10 birlos con 13³/₈ BC
- B18 - Maza de 10 birlos con 8³/₄ BC
- SW6 - Maza de 6 birlos con 8³/₄ BC
- SW8 - Maza de 8 birlos con 6¹/₂ BC
- SW10 - Maza de 10 birlos con 11¹/₄ BC

CÁMARA DE FRENOS

- A - Cámaras de frenos montadas en el eje

APÉNDICE 5: CATÁLOGO DE FRENOS SEGÚN EL EJE MARCA HENDRICKSON.

Product Information



Travel Dimensions

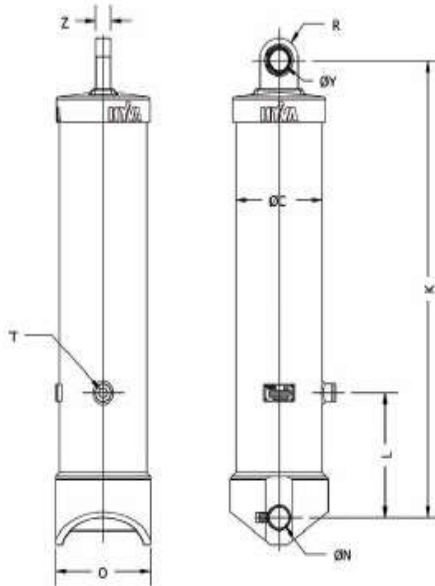
9"
7.5"
2.25" Hgt.
7/12" Dia.

C Upper Housing
A Retracted
B Extended
D Travel

| D Travel | Shoe Style | | | | | | C Upper Hgt. |
|----------|--------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--------------|
| | T, T2, G, G1 | | T1, T3 | | G3, G8 | | |
| | Extended | Retracted | Extended | Retracted | Extended | Retracted | |
| 14 | 42 1/4" | 28 1/4" | 40 1/4" | 26 1/4" | 38 1/4" | 25 1/4" | 21 1/4" |
| 17 | 48 1/4" | 31 1/4" | 46 1/4" | 29 1/4" | 45 1/4" | 28 1/4" | 24 1/4" |
| 19 | 52 1/4" | 33 1/4" | 50 1/4" | 31 1/4" | 49 1/4" | 30 1/4" | 26 1/4" |

APÉNDICE 6: CATÁLOGO DE BARRAS DE APOYO MARCA JOST.

• Cilindros FEE



| CÓDIGOS | Ø Primeiro Estágio (mm) | Nº de Estágios | Curso (mm) | Pressão de Trabalho (bar) | Capacidade de Basculamento (ton) | Massa (Kg) | Volume Total (litros) | Volume de Trabalho (litros) |
|-----------|-------------------------|----------------|------------|---------------------------|----------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| 71564186B | 129 | 3 | 3460 | 190 | 33 - 61 | 129 | 37 | 34 |
| 71565203B | 149 | 4 | 3680 | 190 | 34 - 65 | 144 | 47 | 43 |
| 71565211B | 149 | 4 | 3680 | 190 | 34 - 65 | 143 | 47 | 43 |
| 71565303B | 149 | 4 | 4020 | 190 | 35 - 70 | 170 | 59 | 54 |
| 71566297B | 169 | 5 | 4605 | 190 | 36 - 76 | 190 | 69 | 64 |
| 71566411B | 169 | 4 | 5180 | 190 | 50 - 83 | 227 | 88 | 81 |
| 71567413B | 191 | 5 | 5355 | 190 | 51 - 86 | 253 | 105 | 98 |
| 71567901B | 191 | 5 | 5780 | 190 | 50 - 88 | 267 | 114 | 106 |
| 71568481B | 214 | 6 | 6180 | 190 | 49 - 84 | 281 | 122 | 113 |
| 71568571B | 214 | 6 | 6940 | 170 | 46 - 83 | 306 | 136 | 127 |
| 71569301B | 169 | 5 | 4420 | 190 | 37 - 84 | 190 | 66 | 61 |
| 71565215B | 149 | 4 | 3680 | 190 | 34 - 65 | 143 | 47 | 43 |
| 71564166 | 129 | 3 | 3205 | 190 | 34 - 36 | 122 | 34 | 32 |
| 71566266 | 169 | 4 | 4280 | 190 | 51 - 84 | 195 | 73 | 67 |
| 71567418 | 191 | 5 | 5355 | 190 | 51 - 86 | 253 | 105 | 98 |
| 71565208 | 149 | 4 | 3880 | 190 | 34 - 65 | 144 | 47 | 43 |
| 71565269 | 149 | 4 | 4280 | 190 | 34 - 71 | 161 | 55 | 50 |

| CÓDIGOS | DESCRIÇÃO | T | ØC (mm) | K (mm) | L (mm) | ØN (mm) | O (mm) | R (mm) | ØY (mm) | Z (mm) | Kit Reparo |
|-----------|--|----------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------------|
| 71564186B | FEE 129-3-03460-231A-K1567-HC | 1" NPT | 149 | 1567 | 330 | 52.5 | 194 | 53 | 50 | 42 | 71901430K |
| 71565203B | FEE 149-4-03680-229A-K1385-HC | 1" NPT | 169 | 1385 | 330 | 52.5 | 240 | 53 | 50 | 42 | 71901540K |
| 71565211B | FEE 149-4-03680-489A-K1401-HC | 1" NPT | 169 | 1401 | 165 | 50 | 196 | 53 | 50 | 42 | 71901540K |
| 71565303B | FEE 149-4-04620-229A-K1567-HC | 1" NPT | 169 | 1567 | 280 | 52.5 | 240 | 53 | 50 | 42 | 71901540K |
| 71566297B | FEE 169-5-04605-229A-K1380-HC | 3/4" NPT | 191 | 1380 | 280 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901650K |
| 71566411B | FEE 169-4-05180-229A-K1707-HC | 1" NPT | 191 | 1707 | 280 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901640K |
| 71567413B | FEE 191-5-05355-229A-K1470-HC | 3/4" NPT | 214 | 1470 | 290 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901750K |
| 71567465B | FEE 191-5-05780-229A-K1560-HC | 3/4" NPT | 214 | 1560 | 290 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901750K |
| 71567501B | FEE 191-5-06180-229A-K1650-HC | 3/4" NPT | 214 | 1650 | 290 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901750K |
| 71568481B | FEE 214-6-05980-229B-K1445-HC | 3/4" NPT | 238 | 1445 | 305 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901860K |
| 71568571B | FEE 214-6-06940-229B-K1560-HC | 3/4" NPT | 238 | 1560 | 305 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901860K |
| 71586301B | FEE 169-5-04420-229A-K1410-HD5-HC | 5/8" BSP | 191 | 1410 | 150 | 52.5 | 260 | 53 | 50 | 42 | 71901650K |
| 71565215B | FEE 149-4-03680-419A-K1401-HC | 1" NPT | 169 | 1401 | 330 | 50 | 196 | 53 | 50 | 42 | 71901540K/MR |
| 71564166 | FEE 129-3-03205-231A-K1454 | 1" NPT | 149 | 1454 | 330 | 52.5 | 194 | 53 | 50.8 | 42 | 71901430K |
| 71566266 | FEE 169-4-04280-241A-K1454 / FEE 8-4-169 | 1" NPT | 191 | 1454 | 170 | 52.5 | 240 | 53 | 50.8 | 42 | 71901640K |
| 71567418 | FEE 191-5-05355-241A-K1462 / FEE 8-5-211 | 1" NPT | 214 | 1462 | 170 | 52.5 | 240 | 53 | 50.8 | 42 | 71901750K |
| 71565208 | FEE 149-4-03680-231A-K1304 / FEE 7-4-145 | 1" NPT | 169 | 1304 | 330 | 52.5 | 219 | 53 | 50.8 | 42 | 71901540K |
| 71565269 | FEE 149-4-04280-231A-K1454-HC | 1" NPT | 169 | 1454 | 330 | 52.5 | 219 | 53 | 50.8 | 42 | 71901540K |

APÉNDICE 7: CATÁLOGO DE CILINDROS HIDRÁULICOS MARCA HYVA.

BIBLIOGRAFÍA

1. <http://www.anecacao.com/es/el-cacao-orgullo-ecuadoriano/>
2. http://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http://www.co.all.biz/img/co/catalog/12244.jpeg&imgrefurl=http://www.co.all.biz/plataformas-basculantes-g12244&h=350&w=467&tbnid=9v5gmo0-KVMzCM:&zoom=1&docid=uHn4wQBA_mG_mM&ei=2bYQVdXwK8OhgWSGyIFI&tbnid=isch&ved=0CDgQMygWMBY
3. <http://www.froilanvi.com/?p=156>
4. <http://spanish.alibaba.com/product-free/beiben-100t-side-tipper-truck-134070497.html>
5. <http://www.tahnos.com.ar/home/productos.php>
6. [http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041S09.htm#Anexo 2 - Características físicas de los productos](http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041S09.htm#Anexo%20-%20Características%20físicas%20de%20los%20productos)
7. Tabla nacional de pesos y dimensiones de MTOP
8. Motor Truck Engineering Handbook de James William Fitch, Fourth Edition.
9. ASTM A36 Standard Specification for Carbon Structural Steel
10. Catálogo de Trailer Products JOST.
11. <http://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http://www.ar.all.biz/img/ar/catalog/53715.jpeg&imgrefurl=http://santafe-ar.all.biz/semirremolques-vulcano-sa->

e9215&h=298&w=624&tbnid=Bs9gpG_dTiZGkM:&zoom=1&docid=Yp
ycfboXrmbkM&ei=w7sQVbE1ypo2mvmAeA&tbn=isch&ved=0CCMQ
MygbMBs4rAl.

12. <http://www.hendrickson-intl.com/Trailer/Trailer-Axles>.
13. Catálogo de Trailer Products JOST.
14. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Octava Edición.