

**REDISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SEMIREMOLQUE PARA
TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO**

ERICK FABIÁN CAICEDO TORRES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2014**

**REDISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SEMIREMOLQUE PARA
TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO**

ERICK FABIÁN CAICEDO TORRES

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director(es)

**EMERSON ESCOBAR
Doctor en Ingeniería Mecánica**

**HERNANDO MONTAGUT
Ingeniero Mecánico, Gerente General DITE S.A**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2014**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.

EDIGUER ENRIQUE FRANCO

Jurado

FABER CORREA BALLESTEROS

Jurado

Santiago de Cali, Noviembre 20 del 2014

El presente trabajo de grado es dedicado con mucho cariño a mi familia, por el gran apoyo que me han brindado en este arduo camino que hoy termina con una gran satisfacción.

Hago mención especial a mis padres quienes estuvieron presentes durante mi desarrollo personal y profesional, quienes inculcaron en mí, los valores y principios necesarios para afrontar la vida con responsabilidad y madurez, pero sobre todo por enseñarme a ser una persona con visión, sueños y metas, dispuesto a trazar un camino recto para conseguirlas.

A todos mis amigos y amistades laborales y universitarias que hicieron posible este sueño con cada granito de arena que aportaron para la construcción de este castillo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primera instancia por brindarme la sabiduría, la esperanza y la luz que permitió prepararme para cumplir con esta meta que hoy termina con éxito.

A la persona que me lleno de fortaleza, quien supo comprenderme, apoyarme y con paciencia ayudo a realizar esta meta realidad, quien con sus palabras de aliento me ayudo no solo a ser una mejor persona sino también a superarme cada día más. Gracias por estar ahí, María N. Molano.

Agradezco al Ing. Hernando Montagut y a su empresa Dite S.A Freeway Remolques por el apoyo recibido durante mi formación académica y profesional.

Agradezco al Ph.D. Emerson Escobar por sus enseñanzas, tiempo y por su generosa colaboración en la estrategia metodológica pertinente para la recolección y manejo de la información durante la dirección de este proyecto.

Agradezco a mis compañeros de clases, que entre estudio y risas hicieron de mi estadía en la universidad momentos agradables de mucho aprendizaje.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Occidente por su receptividad, apoyo y el compromiso ético, moral y social que nos permite una verdadera formación integral con capacidad para formular propuestas innovadoras en arte de la ingeniería.

A todos los recordare como parte de mi segundo hogar.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
2. GENERALIDADES DEL TRANSPORTE DE CARGA	21
2.1 TIPOS DE CARGA	21
2.2 CONFIGURACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA	22
2.3 DIMENSIONES ADMISIBLES	22
2.4 PESO BRUTO VEHICULAR (PBV)	23
2.5 PESO POR EJE	23
3. CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL DE UN SEMI-REMOLQUE PARA TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO	25
3.1 CARACTERÍSTICAS de FABRICACIÓN	25
3.2 ESTADO DE CARGAS	28
3.2.1 Cargas aplicadas	29
3.2.2 Distribución de las cargas	30
3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	31

4. NUEVO DISEÑO DEL SEMI-REMOLQUE PARA TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO	32
4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CEMENTO	32
4.1.1 Densidad Aparente del cemento	32
4.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	32
4.2.1 Determinación del volumen	33
4.2.2 Determinación geométrica	34
4.2.3 Diseño preliminar	35
4.2.3.1 Característica alternativa No.1.	35
4.2.3.2 Característica alternativa No.2.	36
4.2.3.3 Evaluación de las alternativas de diseño	37
4.2.4 Selección de la mejor alternativa de diseño.	39
4.3 ESTADO DE CARGAS SRG-36M³-3	40
4.3.1 Cargas aplicadas	41
4.3.2 Distribución de las cargas en el SRG-36m ³ -3	42
4.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SRG-36m³-3	43
4.4.1 Análisis Estructural bajo carga estática (W_s)	44
4.4.2 Análisis estructural bajo la acción de frenado (W_{kf})	47
4.4.3 Análisis estructural de la junta articulada	51
4.4.4 Análisis modal del SRG-55m ³ -3	53
4.5 ANÁLISIS SISTEMA DE DESCARGA	55
4.5.1 Diseño del sistema de descarga	56
4.5.2 Procedimiento de descarga del SRG-36m ³ -3	58

4.6 CARACTERÍSTICAS DEL SRG-36m³-3	59
4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO	63
5. MEDICIONES EXPERIMENTALES	64
5.1 UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES	64
5.2 PRUEBA ESTÁTICA	65
5.3 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS PRUEBA ESTÁTICA	71
6. CONCLUSIONES	76
7. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Cuadro 1. Configuración del vehículo de transporte de carga	22
Cuadro 2. Dimensiones admisibles para vehículos de transporte de carga	23
Cuadro 3. PBV máximos para vehículos de transporte de carga	23
Cuadro 4. Peso por eje para vehículos de transporte de carga	24
Cuadro 5. Distribución de cargas y pesos para el semi-remolque	30
Cuadro 6. Volumen útil de cemento cargado por No. de Manholes.	37
Cuadro 9. Distribución de materiales tanque	38
Cuadro 8. QFD para alternativas No.1 y No.2	39
Cuadro 9. Distribución de cargas y pesos para el SRG-36m³-3	42
Cuadro 10. Propiedades de los elementos, analisis general	44
Cuadro 11. Propiedades de los elementos, analisis de la junta articulada	52
Cuadro 12. Análisis Modal para el SRG-36m³-3	54
Cuadro 13. Medidas de tendencia central de la deformación experimental, en intervalos de tiempo de 5 min	68
Cuadro 14. Maximos, minimos y media aritmetica ± 1 D.E de la deformación experimental, entre el inicio y el final de la prueba en un tiempo de 2 min., por cada canal de monitoreo, frecuencia de muestreo 1 Hz.	69
Cuadro 15. Esfuerzo de trabajo de elementos monitoreados	70
Cuadro 16. Tensor de esfuerzos sobre punto de ubicación del canal No.2	74
Cuadro 17. Comparación resultados teóricos y experimentales	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Semi-remolque para transporte de cemento en polvo DITE	18
Figura 2. Fallas en las juntas de uniones soldadas	19
Figura 3. Estructura del semi-remolque para transporte de cemento	26
Figura 4. Soportes tubulares delanteros y traseros	26
Figura 5. Tipos de suspensiones	27
Figura 6. Manhole DITE	27
Figura 7. Descarga del semi-remolque para transporte de cemento	27
Figura 8. Seguridad del semi-remolque para transporte de cemento	28
Figura 9. Esquema básico del semi-remolque	28
Figura 10. DCL para el semi-remolque para transporte de cemento	29
Figura 11. DCL para determinar la carga máxima del semi-remolque	30
Figura 12. Esquema del cálculo del talud natural	35
Figura 13. Detalle de diseño, alternativa No.1	36
Figura 14. Detalle de diseño, alternativa No.2	36
Figura 15. Detalle del desperdicio de lámina, según distribución	38
Figura 16. Esquema básico del SRG-36m ³ -3	40
Figura 17. DCL para el SRG-36m ³ -3	41
Figura 18. DCL para determinar la carga máxima del SRG-36m ³ -3	42
Figura 19. Modelo esquemático SRG-36m ³ -3	44
Figura 20. Diagrama de desplazamientos SRG-36m ³ -3, W _s	45
Figura 21. Diagrama de esfuerzos combinados (von-Mises) SRG-36m ³ -3, W _s	46

Figura 22. DCL del SRG-36m³-3, W_{kf}	47
Figura 23. Modelo esquemático SRG-36m³-3, W_{kf}	49
Figura 24. Diagrama de desplazamientos SRG-36m³-3, W_{kf}	49
Figura 25. Diagrama esfuerzos combinados (von Mises) SRG-36m³-3, W_{kf}	50
Figura 26. Modelo esquemático de la junta articulada del SRG-36m³-3	51
Figura 27. Diagrama de esfuerzos combinados (Von Mises) de la junta articulada del SRG-36m³-3	52
Figura 28. Análisis modal, primer modo de vibración del SRG-36m³-3	54
Figura 29. Análisis modal, modo de vibración No.18 del SRG-36m³-3	55
Figura 30. Sistema de descarga del SRG-36m³-3	58
Figura 31. Diseño final del SRG-36m³-3	59
Figura 32. Estructura del SRG-36m³-3	61
Figura 33. Soportes tubulares delanteros y traseros delSRG-36m³-3	61
Figura 34. Suspensión delSRG-36m³-3	62
Figura 35. Sistema de descarga del SRG-36m³-3	62
Figura 36. Seguridad del semi-remolque para transporte de cemento	63
Figura 37. Comparativo costos de producción antes y despues del analisis	63
Figura 38. Ubicación de la galgas extensiometricas	65
Figura 39. Ubicación de la galgas extensiometricas	65
Figura 40. Resultado de la medición experimental	67
Figura 41. Resultado de la medición experimental modificado	67
Figura 42. Media aritmética de la deformación experimental, en intervalos de tiempo de 5 min. a una desviación estándar	68

Figura 43. Maximos y minimos de la deformación experimental, por cada canal de monitoreo, frecuencia de 1 Hz y una D.S en un tiempo de 2 min.	69
Figura 44. Modelo esquemático SRG-36m³-3, prueba estática	71
Figura 45. Diagrama de desplazamientosSRG-36m³-3, prueba estática	72
Figura 46. Diagrama de esfuerzos de tension (σ_{yy}) SRG-36m³-3, prueba estática	73
Figura 47. Instalación inadecuada del medidor sobre la viga	75
Figura 48. Instrumentacion para galgas extensiométricas	93

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ficha técnica del semi-remolque para transporte de cemento	83
Anexo B. Coeficientes de fricción	84
Anexo C. Análisis Modal	85
Anexo D. Dispositivos del sistema de descarga	86
Anexo E. Placa vibradora	87
Anexo F. Ficha técnica del SRG-36m³-3	89
Anexo G. Normatividad Nacional e internacional	91
Anexo H. Protocolo para mediciones experimentales	92

RESUMEN

El presente proyecto comprende el rediseño y fabricación de un semi-remolque para transporte de cemento en polvo que cumpla con los requerimientos básicos estipulados en la reglamentación nacional para el transporte de carga pesada a través de las redes viales del país.

El punto de partida se encuentra en el mercado nacional e internacional con modelos existentes que son diseñados y fabricados bajo normas de seguridad, control y transporte, con el fin de entregar a los clientes un producto de alta calidad y eficiencia utilizando componentes de gran desarrollo.

El desarrollo de este proyecto cuenta con estudios previos que buscan mejorar la relación costo beneficio tanto para el fabricante como para el cliente. Utilizando software y tecnología de análisis por elementos finitos (FEA por sus siglas en ingles), se busca optimizar los costos de producción y la capacidad de carga del equipo. Además, durante el desarrollo de este proyecto se seleccionaron elementos y accesorios de alto desempeño que buscan mejorar la velocidad de cargue y descargue del producto a transportar.

Palabras claves: Semi-remolque, tolva, modelos, seguridad, calidad, tecnología, elementos finitos (FEA), optimizar, presión, velocidad de carga y de descarga, esfuerzos, deformaciones, mediciones, Strain gauges.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo económico del país ha ocasionado que las grandes compañías aumenten el consumo de materia prima, insumos y mercancías esenciales para su desarrollo, buscando siempre el máximo aprovechamiento de los recursos para obtener una buena relación de costo-beneficio. Debido a este incremento en el consumo interno, se hace necesario adquirir equipos de Ingeniería de alta eficiencia, desempeño y tecnología que ayuden a transportar la materia prima y/o los insumos en grandes volúmenes y cantidades, lo cual se lleva a cabo a través de vehículos de carga pesada (Remolques* y/o Semi-Remolques**). Estos vehículos deben cumplir con altos estándares que permitan de forma confiable el cargue y descargue de insumos y/o mercancía.

En Colombia actualmente existen aproximadamente 20 empresas legalmente constituidas dedicadas a la fabricación de remolques y semi-remolques de diversos tipos, todas destinadas al transporte de carga pesada. Sin embargo, estas empresas en su gran mayoría fueron constituidas recientemente, por lo que solo 3 de ellas poseen una larga trayectoria y un desarrollo tecnológico y de Ingeniería de alta calidad.

Una de estas empresas es Dite S.A Freeway Remolques, que con 44 años de historia ha liderado el mercado nacional en muchas ocasiones y en diversos tipos de desarrollo de equipos (Remolques y Semi-remolques). Sin embargo, cuando se habla de semi-remolques para transporte de cemento en polvo (Ver figura 1), se hace muy difícil para la empresa competir en el mercado nacional, ya que no cuenta con un diseño eficiente, fácil de producir, y principalmente que cumpla con los requerimientos de los clientes potenciales¹. A esto se suman las múltiples fallas que se presentan en el semi-remolque a nivel estructural, como lo son las fallas en las juntas de uniones soldadas (Ver figura 2) y la ineficiencia operativa a la hora de cargar y/o descargar el producto que se transporta, lo que produce un tiempo de cargue y/o descargue muy lento, este último es uno de los factores más importantes para el cliente, ya que el tener el semi-remoque durante más tiempo cargando y/o descargando implica a largo plazo el incremento en sus costos de operación, ya que este tiempo podría ser aprovechado para dirigirse a otro sitio de abastecimiento, lo que al final repercute en pérdidas para el cliente e insatisfacción con el producto ofrecido por la empresa.

¹ Base de datos y registros, Dite S.A Freeway Remolques. Santiago de Cali, 2008, 1 carpeta* Remolque, vehículo para transporte de carga pesada que no transmite carga al automotor.

** Semi-remolque, vehículo para transporte de carga pesada que transmite carga al automotor.

Los servicios de transporte por carretera se caracterizan por ser bastante competitivos y, por lo general, operan en condiciones de libre competencia, flexibilidad en el sistema tarifario, desconcentración administrativa y diferentes niveles de organización empresarial². Es por ello que los transportadores encuentran una serie de problemas que inciden sobre sus costos, especialmente el mal estado de la red vial y demoras en los sitios de cargue y descargue.

Los sistemas logísticos de transporte intentan optimizar su operación, pretendiendo aumentar el peso de la mercancía en cada recorrido. Atendiendo a esta necesidad del transportador, debe analizarse el peso desplazado en cada trayecto. El peso desplazado incluye el del vehículo junto con la carga transportada y se le da el nombre de Peso Bruto Vehicular (PBV). El PBV está limitado por disposiciones legales*, mientras que el peso en vacío (Tara**) está dado por los elementos utilizados en la construcción del vehículo. Debido a que el peso propio influye directamente sobre la capacidad de carga, una manera de aumentarla consiste en reducir el peso de la estructura, buscando lograr una solución de compromiso con su resistencia mecánica y de la misma manera optimizar la manufactura y costos de producción de los remolques y semi-remolques. Los beneficios para los transportadores por un menor peso en el equipo se ven reflejados en la reducción de los costos de operación y la amortización del equipo la cual se logra en un período de tiempo menor, cuando se consigue llevar más carga por recorrido.

El grado de conocimiento del transportador común, referente a los aspectos técnicos de los equipos, es bajo, pues se conoce que la operación de estos semi-remolques se hace en condiciones drásticas y a menudo inapropiadas. A pesar de que al comprador de un semi-remolque le es entregado un manual de operación y mantenimiento preventivo al momento de adquirirlo, el transportador en ocasiones hace caso omiso de éste y da uso al vehículo según su conveniencia y/o experiencia.

Basándose en los requerimientos anteriores, la empresa Dite S.A Freeway Remolques ha dispuesto de su calidad humana, de sus recursos, y su Ingeniería

² Manual de procedimientos de inspección física simultanea de mercancías,2010 [en línea], Bogotá: ministerio de comercio industria y turismo[Consultado 08 de septiembre de 2014] Disponible en internet: www.mincit.gov.co/descargar.php?id=66668

* En Colombia es reglamentada el Ministerio de transporte en la resolución 4100 del 2004.

**Tara, peso del remolque o semi-remolque sin carga

para satisfacer las necesidades de los clientes, y de paso ganarse un puesto en el mercado de los Semi-Remolques para transporte de Cemento en Polvo. Esta empresa se caracteriza por brindar seguridad, garantía, y por establecer parámetros que incrementen la eficiencia operativa y productividad del autotransporte de carga sin violar la reglamentación exigida por el ministerio de transporte en cuanto a los requisitos mínimos como dimensiones y PBV de tal manera que no se genere un impacto negativo en la infraestructura vial.

Con la activación del Tratado de Libre Comercio (TLC), empresas extranjeras (chinas, mexicanas, brasileras), han empezado a desarrollar operaciones en Colombia, exhibiendo equipos de mayor o menor calidad y costo, ofreciendo tiempos de entregas menores a las empresas nacionales. La empresa Dite S.A Freeway Remolques, ha perdido la competitividad en sector de transporte de materia prima pulverizada por varios factores, siendo uno de los más relevantes la ineficiencia en los tiempos de producción y fabricación del semi-remolque, hecho que resulta muy costoso para la empresa y por ende incrementa el precio de venta del mismo, lo que mantiene a la empresa al límite de la competencia y prácticamente fuera del mercado. Es por eso que para Dite S.A Freeway Remolques es primordial obtener una cuota mayor de participación en el mercado, ya que en un clima de globalización, la competitividad juega un papel de vital importancia.

Una alternativa de solución a este problema es el rediseño del vehículo, pues para el transporte de cemento en polvo o cualquier otro material pulverizado o granulado es muy importante la forma del elemento que lo va a contener, la cual debe tener paredes inclinadas que faciliten el descargue del producto, razón por la cual uno de los diseños preferidos es que las paredes que contienen el material tengan geometría cónica, la cual facilita la producción y la operación de descargue³.

Otro factor muy importante es el volumen o el tamaño requerido para el recipiente que va a transportar el producto, dado que el cargue se efectúa por gravedad. Es normal y está dado que el material cuando se vierte en el semi-remolque tenga un talud*, natural propio de todos los materiales no líquidos cuando se almacenan,

³ RODRÍGUEZ HERRERA, Alex Eduardo. Diseño de un semi-remolque de dos niveles para la transportación de pallets, Trabajo de grado, Profesional en ingeniería mecánica, Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería, 2010. 142 p.

*Talud, forma cónica que toman los materiales granulados o pulverizados al vertirse en un recipiente.

como por ejemplo la arena. Esto obliga a que la tolva se fabrique con un exceso en la capacidad volumétrica para garantizar que el cliente transporte el máximo volumen y peso permitido por el Ministerio de Transporte⁴.

Otro de los factores más importantes y que se debe optimizar es el descargue del producto, el cual por ser un material pulverizado y de alta compactación es imposible de descargar por gravedad, esto obliga a que el descargue se realice neumáticamente, aumentando la presión interna del tanque de almacenamiento y la circulación del aire por toda la tubería de descarga, de tal manera que la presión interna del tanque empuje el producto hacia las tuberías que son barridas por aire con velocidades y presiones elevadas, formando una emulsión* con el cemento y dirigiéndolo por la tubería hasta el lugar de almacenamiento.

Figura 1. **Semi-remolque para transporte de cemento en polvo Dite**



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2007.

⁴ CARDONA OSORIO, Álvaro Andrés. DELGADO LOAIZA, Juan Camilo. Diseño del sistema de pesaje de azúcar a maquinas empacadoras y mejoramiento del sistema de sellado, pasantía para ingeniero mecatrónico, Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, facultad de ingeniería, 2008. 114 p.

* Emulsión, Combinación o mezcla de cemento y aire.

Figura 2. Fallas en las juntas de uniones soldadas



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2012.

De esta manera, la empresa busca atender principalmente a los requerimientos de disminución de peso propio, aumento de la capacidad de carga, velocidad de cargue y descargue, flexibilidad, y disminución de los costos de la producción para hacer de Dite S.A Freeway Remolques una empresa más competitiva en el sector del transporte de cemento en polvo a granel, brindando una alternativa rentable a los clientes que permita transportar mayor carga a costa de la disminución de peso del equipo y el tiempo entre un recorrido y otro.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente proyecto es rediseñar un semi-remolque para el transporte de cemento en polvo que brinde seguridad estructural, y confiabilidad en sus uniones soldadas sin importar el escenario o la situación de carga. El equipo debe permitir el transporte de carga pesada de tal forma que se optimicen los tiempos de producción, tanto para los clientes en el cargue y descargue como para el fabricante en la construcción del equipo.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar y mejorar el comportamiento estructural de un semi-remolque para transporte de cemento en polvo.
- Definir los puntos de falla y reducir la concentración de esfuerzos en las uniones soldadas.
- Analizar la eficiencia del cargue y descargue del semi-remolque para mejorar los tiempos del mismo.
- Reducir los tiempos y costos de fabricación del semi-remolque.
- Realizar pruebas que permitan validar y comparar los resultados teórico-computacionales con los resultados obtenidos mediante pruebas experimentales.
- Establecer un procedimiento adecuado y óptimo para el cargue y descargue del semi-remolque

El alcance de los objetivos trazados en el presente proyecto serán plasmados en este documento presentando la evaluación y caracterización del nuevo diseño y su validación a través de pruebas experimentales con galgas extensiométricas. [23]

El contenido publicado en este documento se encuentra previamente autorizado por Dite S.A Freeway Remolques y está sujeto a las restricciones de producción y a la reglamentación exigida por el Ministerio Nacional de Transporte.

2. GENERALIDADES DEL TRANSPORTE DE CARGA

El transporte es una actividad de carácter estratégico en cualquier lugar del mundo ya que logra conectar ciudades, regiones, y países convirtiéndose en un factor determinante en la economía. El transporte de carga constituye un elemento de vital importancia para la conquista de mercados y que influye sobre los precios finales de los productos que llegan a los consumidores.

A continuación se presentan los aspectos más importantes exigidos por el ministerio de transporte adoptados durante el desarrollo del presente proyecto.

2.1 TIPOS DE CARGA

Los tipos de carga en el sector de transporte pueden clasificarse en:

- Masiva en general: Cuando la carga ocupa la máxima capacidad del vehículo.
- Líquidos: Fluidos de cualquier tipo, desde agua potable hasta combustible.
- Contenedores: Son estructuras metálicas en forma de cajón de diferentes dimensiones que se usan para transporte de mercancías.
- Automóviles: Son transportados en estructuras denominadas “niñeras” y son asegurados a través de correas y cadenas.
- Refrigerados: Alimentos perecederos (frutas, carnes) y elementos químicos.
- Transporte de paqueteo: Se conoce como paquete a los artículos o mercancías de peso reducido manejados regularmente como volumen, tales como el usado por las empresas transportadoras de encomiendas. Por lo regular se agrupan para ocupar toda la capacidad del vehículo y requiere procesos de coordinación logística para reducir al máximo los tiempos de entrega.
- Otros: Carga tipo extra pesada, equipos especializados, cementos, ladrillos, alimentos perecederos, gráneles, insumos, y productos de los sectores siderúrgico, minero, ganadero, pecuario, forestal, etc.

2.2 CONFIGURACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA

El artículo 4° de la Resolución 4100 del 2004 del Ministerio de Transporte “La designación para los vehículos de transporte de carga en el territorio nacional de acuerdo con la configuración de sus ejes”⁵, se muestra en el cuadro 1.

La disposición de los ejes en los vehículos de carga determina su designación de la siguiente forma:

- Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión.
- La letra S significa semi-remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

Cuadro 1. Configuración del vehículo de transporte de carga

CONFIGURACIÓN	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
C3S3		Tractocamión de tres ejes, con semi-remolque de tres ejes.

2.3 DIMENSIONES ADMISIBLES

El artículo 7° de la Resolución 4100 del 2004 estipula que los vehículos de transporte de carga que circulen por el territorio nacional deben cumplir con las dimensiones establecidas (ver Cuadro 2).

⁵ REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución 4100 de 28 de Diciembre 2004. [en línea]. “Por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional”. Bogotá, 2004. p. 9 [consultado 12 de septiembre de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/Documentos.htm>

Cuadro 2. Dimensiones admisibles para vehículos de transporte de carga

DESIGNACIÓN	DIMENSIONES		
	ANCHO MÁXIMO (m)	ALTURA MÁXIMA (m)	LONGITUD MÁXIMA (m)
C3S3	2.60	4.40	18.50

2.4 PESO BRUTO VEHICULAR (PBV)

El artículo 8° de la Resolución 4100 del 2004 estipula que el PBV para los vehículos de transporte de carga que circulen por el territorio nacional debe ser establecido según lo estipulado en el cuadro 3. [16]

Cuadro 3. PBV máximos para vehículos de transporte de carga

VEHÍCULOS	DESIGNACIÓN	PBV MÁX (kg)	TOLERANCIA POSITIVA (kg)
TRACTOCAMION CON SEMI-REMOLQUE	C3S3	52000	1300

2.5 PESO POR EJE

Antes de indicar alguna reglamentación, debe comprenderse que el eje de un vehículo es un “sistema que transmite el peso, conformado por un conjunto de llantas que giran alrededor de una línea de rotación” según NTC 4788 en su numeral 2.13 [10].

Existen varios tipos de ejes a saber:

- Eje Simple o Sencillo: Ensamble de dos o cuatro llantas unidas entre sí por una línea de rotación.

- Eje Tándem: También llamado eje doble. Está conformado por dos líneas de rotación con una suspensión que permite la compensación de cargas.
- Eje Trídem: También llamado eje triple. Está conformado por tres líneas de rotación con una suspensión que permite la compensación de cargas.

El artículo 9° de la Resolución 4100 del 2004 estipula que el máximo peso por eje para los vehículos de transporte de carga que circulen por el territorio nacional debe ser establecido de acuerdo a el cuadro 4⁶.

Cuadro 4. Peso por eje para vehículos de transporte de carga

TIPO DE EJE		PESO MÁXIMO POR EJE (kgf)
EJE SENCILLO	Dos llantas	6000
	Cuatro Llantas	11000
EJE TÁNDEM	Cuatro Llantas	11000
	Seis Llantas	17000
	Ocho Llantas	22000
EJE TRÍDEM	Seis Llantas	16500
	Ocho Llantas	19000
	Diez Llantas	21500
	Doce Llantas	24000

⁶ ibíd., p. 22

3. CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL DE UN SEMI-REMOLQUE PARA TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO

El semi-remolque para transporte de cemento en polvo mostrado en la figura 1, fue diseñado por Dite S.A Freeway Remolques a finales de la década de los 90's cuando el transporte de carga terrestre a nivel nacional empezaba a tomar fuerza y más aún, cuando el transporte de cemento a granel a nivel nacional se incrementó sustancialmente con la inauguración de las plantas cementeras del Grupo Argos en Tolúviejo, Cartagena, y Rioclaro.

Desde entonces Dite S.A Freeway Remolques ha conservado el diseño del semi-remolque para transporte de cemento en polvo el cual cuenta con las características presentadas a continuación. (Anexo A)

3.1 CARACTERÍSTICAS DE FABRICACIÓN

- Dimensiones: ancho 2500 mm, alto 3500 mm, largo 12600 mm
- Estructura: Cuerpo del tanque con sección transversal cónica reforzada fabricada en lamina ASTM A36 4.5 mm, chasis fabricado en sus extremos con vigas en "I" compuesta de lámina ASTM A36 6 mm y alas iguales en platina ARBA40 5"x5/8", sector central del chasis fabricado en lámina ASTM 36 6 mm, sin ala superior debido a que se une al cuerpo en las secciones cónicas y ala inferior fabricada en ángulo SAE 1020 3"x3/8".(Figura No.3)
- Soportes: Tubulares Fabricados en "C" en lámina ASTM A36 6 mm. La unión entre el cuerpo y el chasis se realiza a través de soldaduras a tapón y de filete.(Figura No.4)
- Suspensión: Mecánica, neumática o mixta de 3 ejes. El primer eje se ajusta bajo el último cono de descarga por lo que sus refuerzos llegan directamente al cuerpo del tanque a través de uniones soldadas.(Figura No.5)
- Manhole*: Fabricado en acero ASTM A36 6 mm con 4 seguros y un pivote.(Figura No.6)

* Manhole, boca de inspección.

- Descarga: Neumática en tubería de Ø4" al lado conductor, con entrada de aire en tubería de Ø3" al lado contrario conductor, válvulas cheque de 1" para evitar el contraflujo de aire en las mangueras que entran a las lonas de descarga, estas últimas a su vez, mueven el producto para agilizar la descarga y presuriza el tanque en su interior.(Figura No.7)
- Seguridad: válvula de seguridad calibrada a 15 PSI instalada en la parte anterior del semi-remolque, válvula 2" para despresurizar el tanque de manera rápida, guardabarros delanteros y traseros en acero, pasarela antideslizante con línea de vida y cintas reflectivas.(Figura No.8)

Figura 3. Estructura del semi-remolque para transporte de cemento en polvo



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2007.

Figura 4. Soportes tubulares delanteros y traseros



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2007.

Figura 5. Tipos de suspensiones



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2009.

Figura 6. Manhole DITE



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2009.

Figura 7. Descarga del semi-remolque para transporte de cemento en polvo



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2007.

Figura 8. Seguridad del semi-remolque para transporte de cemento en polvo



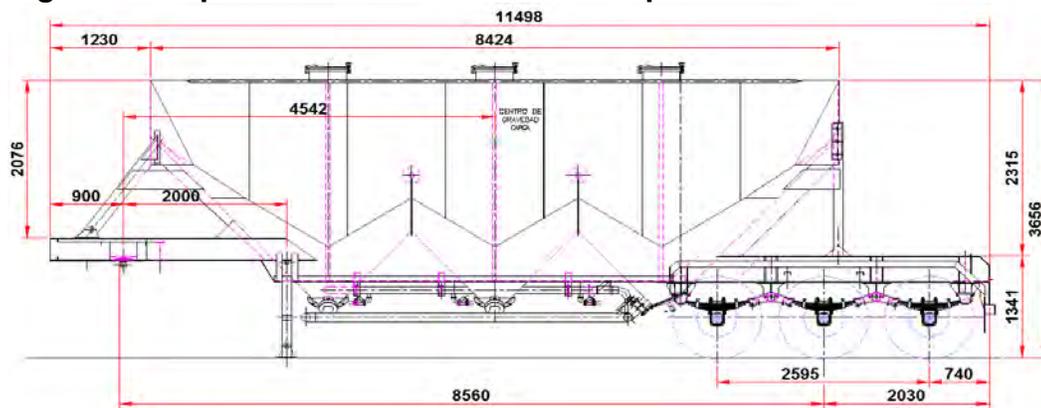
Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2005.

Cabe anotar, que debido al poco desarrollo tecnológico de la época y la inexperiencia ingenieril en el campo de transporte de carga pesada, el diseño inicial del semi-remolque para transporte de cemento en polvo fue fusilado de empresas extranjeras que empezaban a incursionar en el país.

3.2 ESTADO DE CARGAS

Para realizar el estudio de cargas sobre el semi-remolque para transporte de cemento en polvo (Figura 9), es necesario realizar el DCL* (figura 10), con el fin establecer un sistema que se encuentre en equilibrio para luego aplicar la tercera ley newton** en el semi-remolque teniendo en cuenta las restricciones de PBV estipuladas en la reglamentación exigida por el Ministerio de Transporte.

Figura 9. Esquema básico del semi-remolque



Fuente: Documentos de Ingeniería, Dite S.A Freeway Remolques

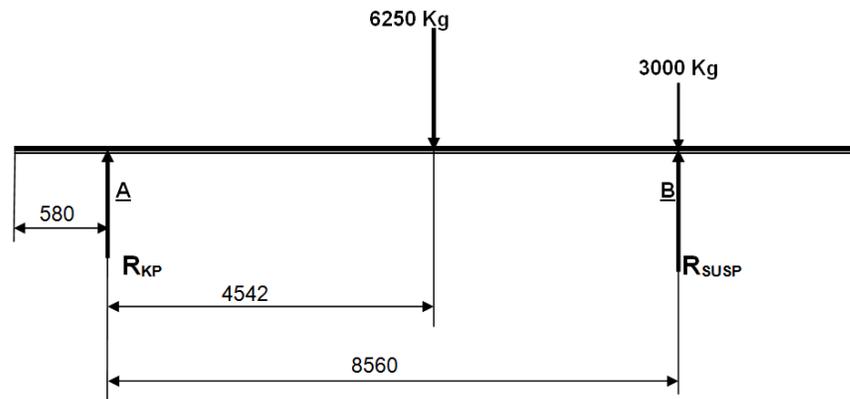
* DCL, diagrama de cuerpo libre

** Tercera ley de Newton, principio de acción y reacción.

3.2.1 Cargas aplicadas

- Peso del producto a transportar, W^*
- Peso propio del semi-remolque(Tara), 9250kg
- Peso bruto vehicular(PBV), 52000kg
- Reacción máxima permisible en la suspensión **, 24000kg
- Se estima un tractocamión con Peso 8500kg

Figura 10. DCL para el semi-remolque para transporte de cemento en polvo



Se obtiene las reacciones por peso de la estructura y de la suspensión

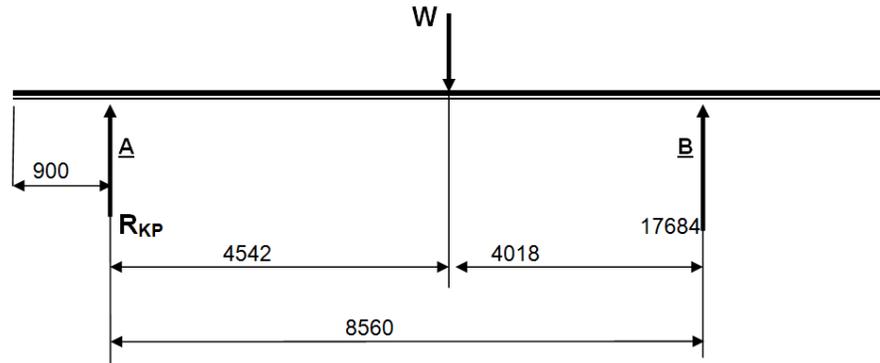
$$\Rightarrow R_{SUSP}=6316\text{kg} \quad ; \quad R_{KP}= 2934 \text{ kg}$$

La figura 11 muestra el DCL sobre el cual se realizará el cálculo que determina la carga máxima permisible por el semi-remolque de acuerdo a las exigencias establecidas por el ministerio de transporte.

* W , variable de carga a transportar pendiente por definir.

** Referencia obtenida de acuerdo a la reglamentación exigida por el Ministerio de Transporte.

Figura 11.DCL para determinar la carga máxima del semi-remolque



Ahora, la máxima reacción en la suspensión trasera según norma es de 24000 kg, entonces la carga máxima por carga en eje trasero es,

$$24000 - 3316 - 3000 = 17684 \text{ kg}$$

Por lo tanto el peso de producto máximo a transportar es de 33328kg.

Y la reacción en el King Pin* es de 15644kg.

3.2.2 Distribución de las cargas. La distribución de cargas para el semi-remolque para transporte de cemento en polvo se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.Distribución de cargas y pesos para el semi-remolque

Sección	Adelante(kg)	Atrás(kg)	TOTAL(kg)
ESTRUCTURA	2934	3316	6250
SUSPENSIÓN TRASERA	0	3000	3000
CARGA	15644	17684	33328
TOTAL	18578	24000	42578
TOTAL PERMITIDO	22000	24000	52000

* King Pin, punto de acople entre el tractocamión y el semi-remolque

3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo de producción es el precio del conjunto de recursos utilizados, para obtener un producto terminado⁷, para Dite S.A Freeway Remolques es indispensable realizar el estudio de costos ya que estos podrían:

- Proporcionar información para medir la utilidad y evaluar el inventario.
- Ofrecer información para el control administrativo de las operaciones y actividades de la empresa.
- Proporcionar información a la administración para fundamentar la planeación y la toma de decisiones⁸.

Los costos asociados a la producción de un semi-remolque están representados en este estudio y no serán mostrados por ser información confidencial para la empresa.

- **Costo de mano de obra:** Representado por el valor de la hora-hombre que incluye los costos directos asociados al personal (salario), prestaciones de ley, operación y depreciación de la maquinaria, entre otros.
- **Costo de materia prima:** Es el costo asociado a los materiales utilizados en el semi-remolque. (Acero, partes neumáticas y eléctricas, pintura, etc.)
- **Costos indirectos:** Después de costear los requerimientos (materia prima) y esfuerzos se aplica un factor multiplicador que tiene en cuenta los costos indirectos y administrativos con el cual se determina a priori el costo total de fabricación del equipo.

⁷ IVNISKY, Marina. Introducción a la Teoría de Costos [en línea], septiembre 2008. . [Consultado 15 de octubre de 2014], Disponible en internet: <http://www.gerencie.com/costos-abc.html>

⁸ SALAS VARELA, Rubén Andrés. Rediseño y construcción de un semi-remolque plataforma para la empresa ROMARCO S.A., proyecto de grado, Universidad del Valle 2009.

4. NUEVO DISEÑO DEL SEMI-REMOLQUE PARA TRANSPORTE DE CEMENTO EN POLVO

Una vez realizado el análisis del diseño original del semi-remolque para transporte de cemento en polvo, y conocida la necesidad de mejorar el diseño desde el punto de vista estructural, funcional, productivo y financiero se procede a realizar el estudio ingenieril necesario para suplir las necesidades de los clientes y de la empresa misma con el fin fabricar un equipo más competitivo y rentable en el mercado nacional.

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CEMENTO

El cemento es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice, alúmina, y óxido de hierro, formado por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecerse tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas, y los yesos.

4.1.1 Densidad Aparente del cemento. La densidad aparente del cemento es comúnmente utilizada para determinar la cantidad cemento que se puede almacenar en un recipiente y depende de la compactación que presente al momento del cargue o llenado del recipiente que lo contendrá⁹.

- Densidad aparente del cemento suelto: $1100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
- Densidad aparente del cemento compacto: $1200\text{-}1500 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

4.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Las alternativas de diseño planteadas representan una mejora del producto analizado en el numeral 2 del presente proyecto y combinan la recopilación de información, las recomendaciones y sugerencias de los clientes, así como también la observación de los diferentes productos similares que se encuentran en el

⁹ Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad para las obras. Datos tecnológicos del hormigón normal. Año 1985. 176p.

mercado nacional e internacional y que cumplen con los estándares más altos de calidad y producción.

Las marcas analizadas para el desarrollo de este producto fueron:

- Heil, tráiler international
- Polar Tank Tráiler
- Mac Tráiler Manufacturing
- Randon
- Concrete Tanks
- Romarco S.A
- Trail King Industries
- Stephens Tank
- Inca Fruehauf

En las marcas internacionales se observó la fuerte tendencia al desarrollo de productos construidos en aluminio de alta resistencia, lo cual presenta grandes ventajas a nivel nacional en cuanto a transporte de carga para productos con densidades superiores a la del agua ($1000^{kg/m^3}$), debido a que el diseño podría aumentar su capacidad volumétrica, siempre y cuando no exceda los límites dimensionales establecidos por el Ministerio de Transporte, sin sacrificar el peso propio del equipo y por ende el de la carga a transportar. Sin embargo, Colombia aún no tiene la tecnología necesaria ni el recurso humano idóneo para el desarrollo de Semi-remolques fabricados en aluminio.

4.2.1 Determinación del volumen. Para el cálculo del volumen necesario que debe tener el semi-remolque se utiliza la densidad aparente del cemento suelto, ya que al momento del cargue el producto llevado al taque a través de redes de aire comprimido.

Carga útil mínima de cemento¹⁰, 35000kg.

Entonces,

$$V = \frac{W}{\rho_{ap.}} = \frac{35000kg}{1100 \frac{kg}{m^3}} = 31.81m^3$$

Dado que el cemento ingresa al semi-remolque a través de redes de aire comprimido y su distribución al interior no corresponde a la del talud natural del cemento, el volumen ideal para lograr un cargue eficiente por un solo manhole, es decir sin tener que detener el cargue para posicionar el equipo en la siguiente boca de llenado que es de 36 m³ por solicitud de las plantas cementeras.

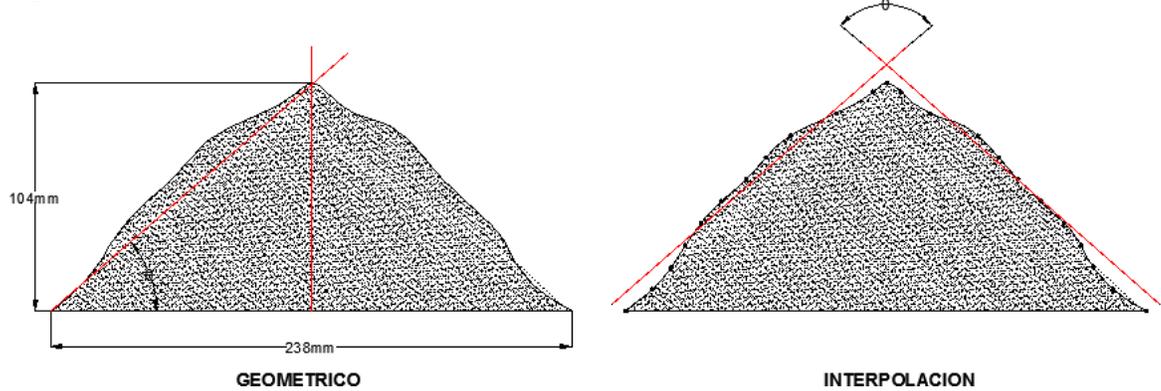
4.2.2 Determinación geométrica. Determinado el volumen se procede a realizar el cálculo experimental del talud natural del cemento en polvo, dado que la pendiente de los conos de descarga debe ser ligeramente mayor al ángulo de reposo del cemento para garantizar la fluidez del producto en el descargue.

El cálculo se realiza experimentalmente de dos maneras:

- Geométrico: Tomando referencias de diámetro y altura calculando el ángulo mediante trigonometría.
- Interpolación: Tomando referencias puntuales en papel, sobre el perímetro de la montaña de cemento para realizar un cruce entre líneas que cubran la mayor cantidad de puntos marcados.(Ver figura 12)

¹⁰ Carga útil mínima de cemento, establecida por las necesidades del cliente y la mejora del producto

Figura 12. Esquema del cálculo del talud natural



- Calculo geométrico:

$$\tan^{-1}\left(\frac{104}{119}\right) = \beta = 41.152^\circ \text{ por lo tanto, } \theta = 48.848^\circ$$

- Calculo por interpolación

$$\theta = 48.50^\circ$$

Por lo cual se presenta un error relativo de 0.71%

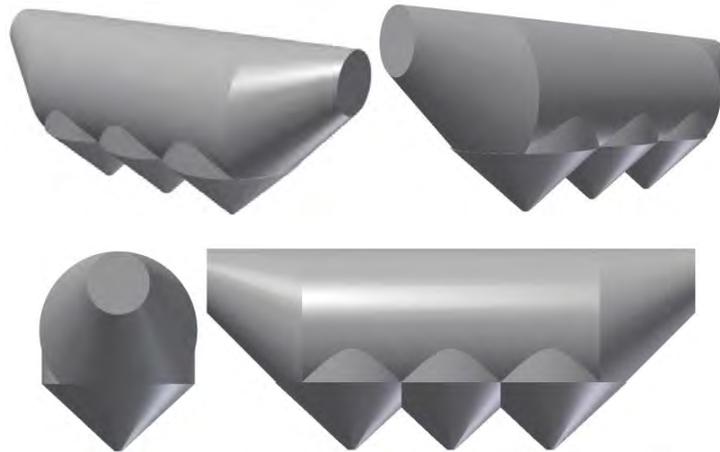
4.2.3 Diseño preliminar. Aprovechando los recursos de la compañía Dite S.A Freeway Remolques, se presentan dos alternativas para el diseño del tanque* en el software paramétrico de Autodesk Inventor Professional 2014 cumpliendo con los requerimientos planteados anteriormente.

4.2.3.1 Característica alternativa No.1. Tanque con sección transversal semi-cilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior, realizando la transición entre cilindro-cono a través de anillos circulares, con extremos de geometría cónica excéntrica y tapas completamente circulares abombadas para

* Tanque, recipiente cerrado diseñado especialmente para contener y transportar el cemento en polvo

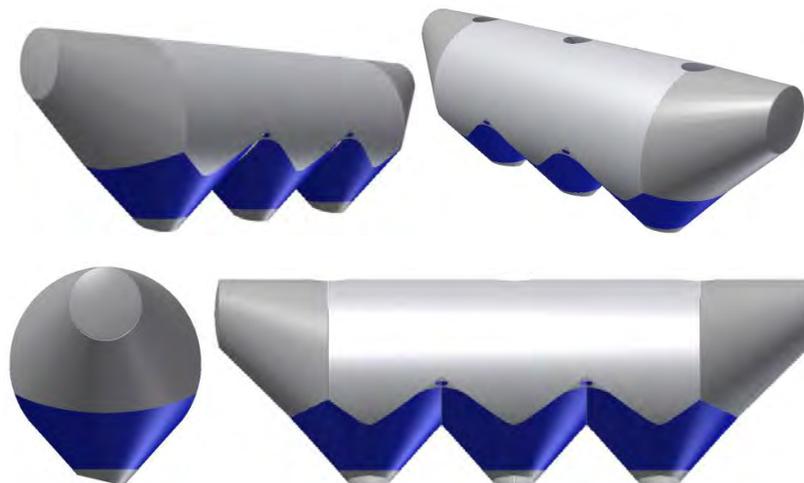
disminuir la concentración de esfuerzos por la presurización del tanque al momento de la descarga. (Ver figura 13).

Figura 13. Detalle de diseño, alternativa No.1



4.2.3.2 **Característica alternativa No.2.** Tanque con sección transversal semi-cilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior, realizando la transición entre cilindro-cono de manera directa, con extremos de geometría cónica excéntrica y tapas completamente circulares abombadas para disminuir la concentración de esfuerzos por la presurización del tanque al momento de la descarga. (Ver figura 14).

Figura 14. Detalle de diseño, alternativa No.2



4.2.3.3 Evaluación de las alternativas de diseño. Una vez presentadas las alternativas de diseño del semi-remolque para transporte de cemento en polvo, éstas serán evaluadas bajo los parámetros presentados a continuación, con el fin de realizar una selección idónea a los requerimientos de diseño y las exigencias del mercado.

- Volumen útil
- Capacidad de carga
- Concentradores de esfuerzos
- Tipos de uniones
- Materiales
- Dimensiones
- Producción
- Seguridad
- Durabilidad
- Estabilidad
- Estética

El cuadro No.6 muestra el volumen útil y el peso de producto, asumiendo que el producto ingresa al semi-remolque utilizando todos los manholes instalados.

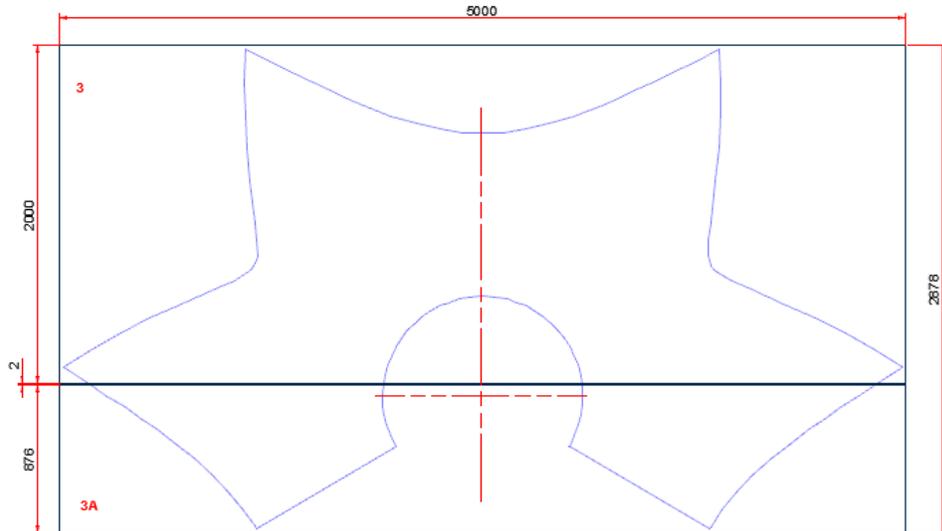
Cuadro 6.Volumen útil de cemento cargado por No. de Manholes.

No. DE MANHOLES	ALTERNATIVA No.1		ALTERNATIVA No.2	
	VOLUMEN ÚTIL(m ³)	PESO (kg)	VOLUMEN ÚTIL (m ³)	PESO (kg)
3	23.891	35838	22.000	33000
4	25.311	37966	24.100	36150
5	26.273	39410	26.227	39340

Con el fin de reducir los costos de fabricación del semi-remolque, se estima la cantidad de lámina necesaria para el ensamble del tanque bajo una distribución

óptima que minimice el desperdicio de materia prima, dado que las secciones cónicas de los elementos que componen el equipo, generan un elevado desperdicio. (Ver figura No.15).

Figura 15. Detalle del desperdicio de lámina, según distribución



El cuadro No.7 muestra la cantidad de lámina necesaria para el armado de cada una de las alternativas.

Cuadro 7. Distribución de materiales tanque

ELEMENTO	ALTERNATIVA No.1	ALTERNATIVA No.2
CUERPO	3 Lamina (1524x6000)	4 Lamina (1524x6000)
ANILLO DE TRANSICIÓN	1 Lamina (762x6000)	N/A
CONO CENTRAL	6 Lamina (1524x3000)	3 Lamina (1524x6700)
CONO EXCÉNTRICO	6 Lamina (1524x3000)	6 Lamina (1524x3000)
TAPA	1 Lamina (762x3000)	1 Lamina (762x3000)
TOTAL	12 Laminas (1524x3000)	8 Laminas (1524x6000)
	4 Laminas (1524x6000)	3 Lamina (1524x6700)

Para terminar la etapa de evaluación de alternativas se desarrolló la matriz de calidad del diseño funcional (QFD* por sus siglas en inglés) la cual busca reducir los tiempos y costos de producción, y hacer que el producto se desarrolle de manera eficaz y eficiente a partir de identificación de las necesidades y la focalización de los recursos¹¹. (Ver cuadro 8).

Cuadro 8.QFD para alternativas No.1 y No.2

Clas.	Necesidades del cliente	Pon.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
			①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
	Parametros de Diseño		Capacidad de carga		Deformaciones		Concentrador de esfuerzos		Tipos de union		Materiales		Desperdicio de lamina		Dimensionamiento Global		Tiempos de produccion		Proceso de produccion		Costos de produccion	
1	Agradable Esteticamente	4							5						5					5	3	
2	Semi-remolque liviano	5	5		5	3	5	3	5		5		3	1	5		5	3	5	3	5	3
3	Carga Util	5	5		5	3	5	3	5		5				5							
4	Relacion Costo-Beneficio	5	5		5	3	5	3	5		5		3	1			5	3	5	3	5	3
5	Seguridad	5	5		3										5							
6	Estabilidad del equipo	5	3												3							
7	Durabilidad del equipo	4	3		3		3		5		5											
8	Mejoramiento estructural	3			5	3	5	3	5	3	5		5	3	5		5		5		5	
Puntuacion			26	26	26	18	23	15	30	28	25	25	11	5	28	28	15	11	20	14	15	11
Calificacion total			127	127	117	81	102	66	130	124	110	110	45	19	110	110	65	45	85	57	65	45
Calificacion maxima			145		135		110		130		110		65		135		65		85		65	

Relacion:

- ① Alternativa No.1
- ② Alternativa No.2
- 5 Alto
- 3 Medio
- 1 Bajo

4.2.4 Selección de la mejor alternativa de diseño. Una vez evaluadas las alternativas de diseño se realiza un comité, al cual asistieron el Gerente General, el Gerente comercial y el Director de ingeniería con la finalidad de sustentar los resultados obtenidos al evaluar las alternativas de diseño y de esta manera seleccionar la alternativa adecuada, que daría solución a las necesidades tanto de la compañía como de los clientes.

Teniendo en cuenta que el semi-remolque se diseñó con una capacidad volumétrica de 36m³ debido a que el cargue se realizaría por solo una de las

* QFD, Quality Function Deployment

¹¹ Ruiz-Falco Rojas Arturo, Despliegue de la función calidad (QFD), Modulo No.8 [en línea], universidad Pontificia Comillas, Madrid2008. [Consultado 16 de noviembre de 2013]. Disponible en Internet: <http://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>

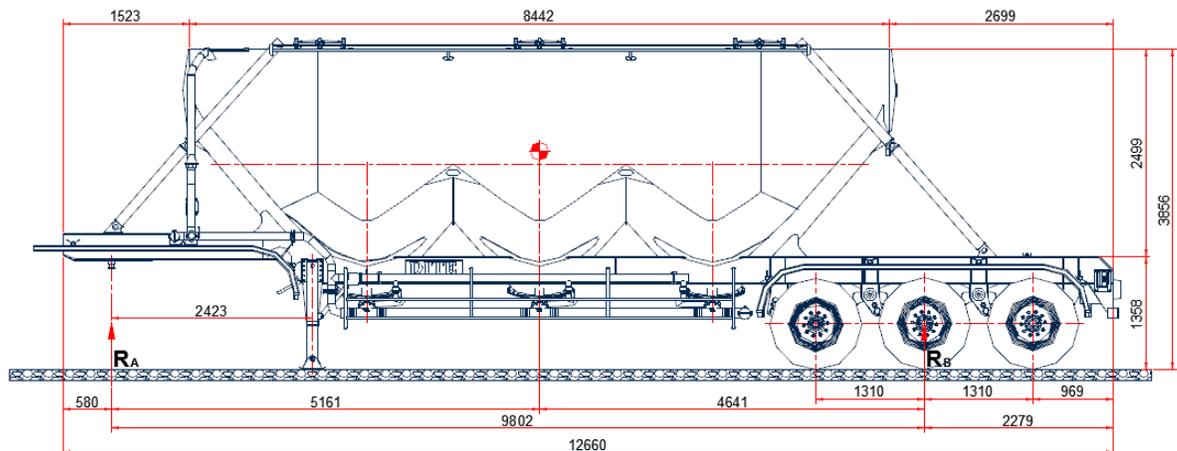
bocas de llenado (manhole), el desperdicio de lámina y la concentración de esfuerzos se reducen considerablemente, las deformaciones, los tipos de uniones, la estabilidad, el mejoramiento estructural y la estética representan puntos a favor. Por tanto se selecciona la alternativa de diseño No.2., denominada SRG-36-3*.

Por otro lado, y con el fin de reducir los concentradores de esfuerzos que se generan en las juntas soldadas entre el cuerpo del tanque y los diagonales de la estructura (Figura 2), producto de la combinación de esfuerzos de flexión y compresión, se decide realizar una junta articulada entre el cuerpo y los diagonales.

4.3 ESTADO DE CARGAS SRG-36M³-3

Para realizar el estudio de cargas sobre SRG-36m³-3 (Ver figura 16), es necesario realizar el DCL con el fin establecer un sistema que se encuentre en equilibrio para luego aplicar la tercera ley newton en el semi-remolque teniendo en cuenta las restricciones de PBV estipuladas en la reglamentación del Ministerio de Transporte, sin embargo esta vez se busca una distribución idónea de las reacciones en la suspensión con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de carga. (Ver figura 17)

Figura 16. Esquema básico del SRG-36m³-3

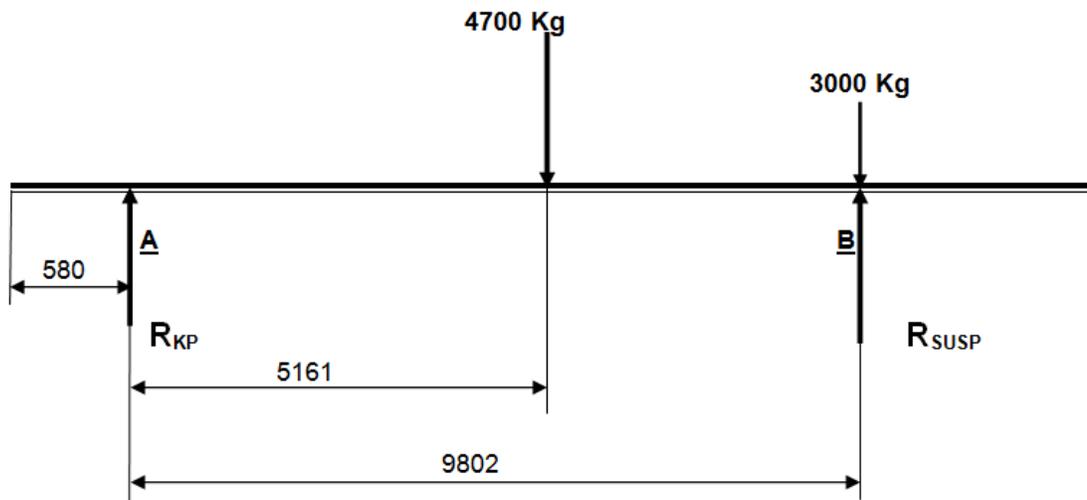


* SRG-36-3, semi-remolque Granelero de 36m³ con 3 ejes

4.3.1 Cargas aplicadas

- Peso del producto a transportar, $W=35000$ kg.f(mínimo estimado)
- Peso propio del semi-remolque(Tara), 7700 kg.f
- Peso bruto vehicular(PBV), 52000 kg.f
- Reacción máxima permisible en la suspensión, 24000 kg.f
- Se estima un tractocamión con peso de 8500 kg.f

Figura 17.DCL para el SRG-36m³-3

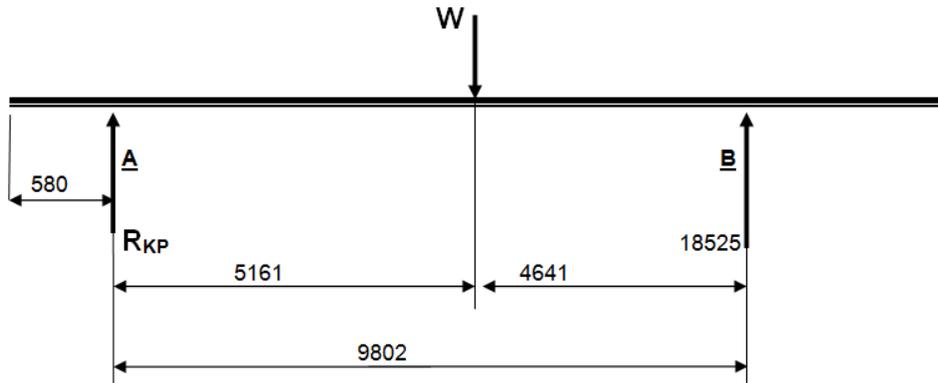


Se obtiene las reacciones por peso de la estructura y de la suspensión

$$\Rightarrow R_{SUSP} = 5475 \text{ kg} \quad ; \quad R_{KP} = 2225 \text{ kg}$$

La figura 18 muestra el DCL sobre el cual se realizará el cálculo que determina la carga máxima admisible por el semi-remolque de acuerdo a las exigencias establecidas por el ministerio de transporte.

Figura 18.DCL para determinar la carga máxima del SRG-36m³-3



Ahora, la máxima reacción en la suspensión trasera según norma es de 24000 kg, entonces la carga máxima por carga en eje trasero es,

$$24000 - 2475 - 3000 = 18525 \text{ kg}$$

Por lo tanto el peso de producto máximo a transportar es de 35185kg.

Y la reacción en el King Pin es de 16660kg.

4.3.2 Distribución de las cargas en el SRG-36m³-3. La distribución de cargas para el SRG-36m³-3 se refleja en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Distribución de cargas y pesos para el SRG-36m³-3

Sección	Adelante(kg)	Atrás(kg)	TOTAL(kg)
ESTRUCTURA	2225	2475	4700
SUSPENSIÓN TRASERA	0	3000	3000
CARGA	16660	18525	35185
TOTAL	18885	24000	42885
TOTAL PERMITIDO	22000	24000	52000

4.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SRG-36M³-3

Se realizó un estudio estructural mediante software de análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) Autodesk Simulations Mechanical 2013 con el cual cuenta la empresa Dite S.A Freeway Remolques, con el fin de estimar el comportamiento mecánico del equipo, frente a los múltiples escenarios de carga a los que se encuentra sometido cotidianamente y de esta manera verificar la factibilidad del diseño en cuanto a la geometría y a la selección de los materiales, ya que estos son parámetros importantes para determinar la magnitud de los concentradores* de esfuerzo y la reducción de peso obtenida con el rediseño.

Para el diseño seleccionado se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis estructural bajo carga estática
- Análisis estructural bajo la acción de frenado
- Análisis modal

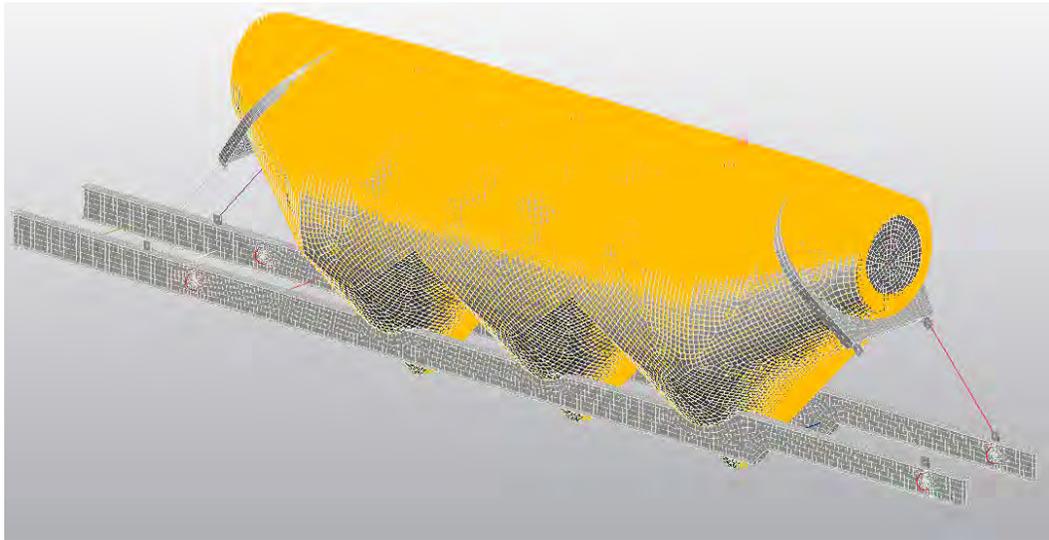
La figura No.19 muestra el diseño del SRG-36m³-3 de manera esquemática, el cual fue modelado controlando el tamaño de la malla manualmente de tal manera que está presente el tamaño adecuado para cada uno de los elementos del modelo (sin refinamientos). Con el fin de reducir el tiempo de máquina durante el análisis sin sacrificar el estudio estructural, puesto que el modelo presenta la forma geométrica exacta a la real y en él, se incluyen elementos generales que constituyen un 70% de la masa del vehículo, como los son las vigas principales, el cuerpo del tanque y los elementos de unión entre ellos, y el 30% restante lo componen elementos de unión entre el chasis y el cuerpo del tanque como los son las vigas transversales del chasis y los diagonales delanteros y traseros, los cuales serán analizados detalladamente una vez determinado el comportamiento mecánico general del semi-remolque.

La distribución de cargas definida en el análisis general, incluye las restricciones aplicadas a la suspensión y el enganche (King Pin). En la figura No.20 se pueden observar la combinación de elementos tipo Shell (para el cuerpo y el chasis), y tipo

* Concentrador de esfuerzo, punto o sección crítica de esfuerzo elevado que indica posible inicio de falla.

truss (para los soportes diagonales y las vigas transversales) ya que estos son elementos de los cuales se estima un comportamiento de tensión y compresión.

Figura 19. Modelo esquemático SRG-36m³-3



Las características principales de los elementos utilizados en el análisis por elementos finitos se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Propiedades de los elementos, análisis general

Id.	Cant.	Descripción	Elemento tipo	Material	Sección transversal
1	1	Cuerpo-Cilindro Cono:1	Plate	Steel (ASTM - A572)	espesor (mm): 3.5
2	2	Viga Ppal Chasis:1	Plate	Steel (ASTM - A572)	espesor (mm): 8
3	2	Ref_ Cono Excentrico:1	Plate	Steel (ASTM - A572)	espesor (mm): 6
4	4	Diagonal	Truss	Steel (ASTM - A572)	Área (mm ²): 867
5	3	Canal transversal	Truss	Steel (ASTM - A572)	Área (mm ²): 1150
6	4	Viga transversal	Truss	Steel (ASTM - A572)	Área (mm ²): 3680

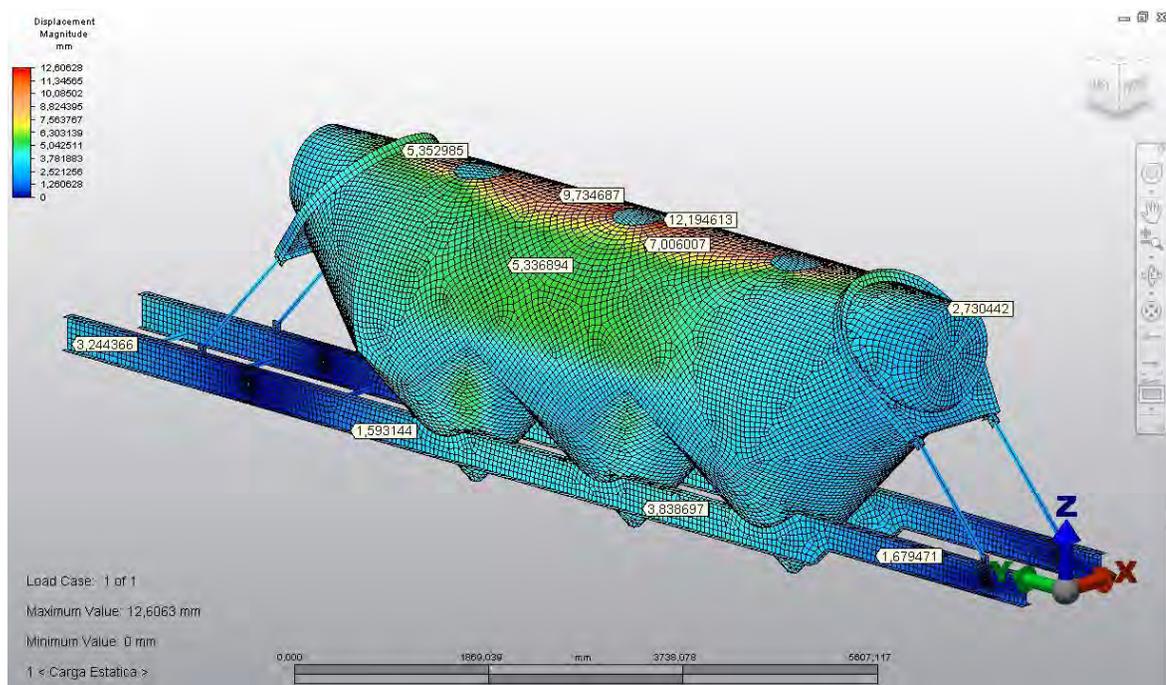
4.4.1 Análisis Estructural bajo carga estática (W_s^*). A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis con carga estática, en el cual se

* W_s , análisis bajo carga estática

utilizó una presión hidrostática equivalente al peso específico del producto mencionado en el numeral 4.1.1 (1.1×10^{-05} N/mm³ para cemento en polvo suelto), aplicada sobre la superficie del tanque.

La figura No.20 muestra la magnitud de los desplazamientos en diferentes puntos del semi-remolque, en él se puede observar claramente que el desplazamiento máximo es equivalente a 12mm y se encuentra ubicado alrededor del manhole central por lo cual se puede concluir que este fenómeno es producto de la deformación del cuerpo cuando este se encuentra a flexión.

Figura 20. Diagrama de desplazamientos SRG-36m³-3, W_s



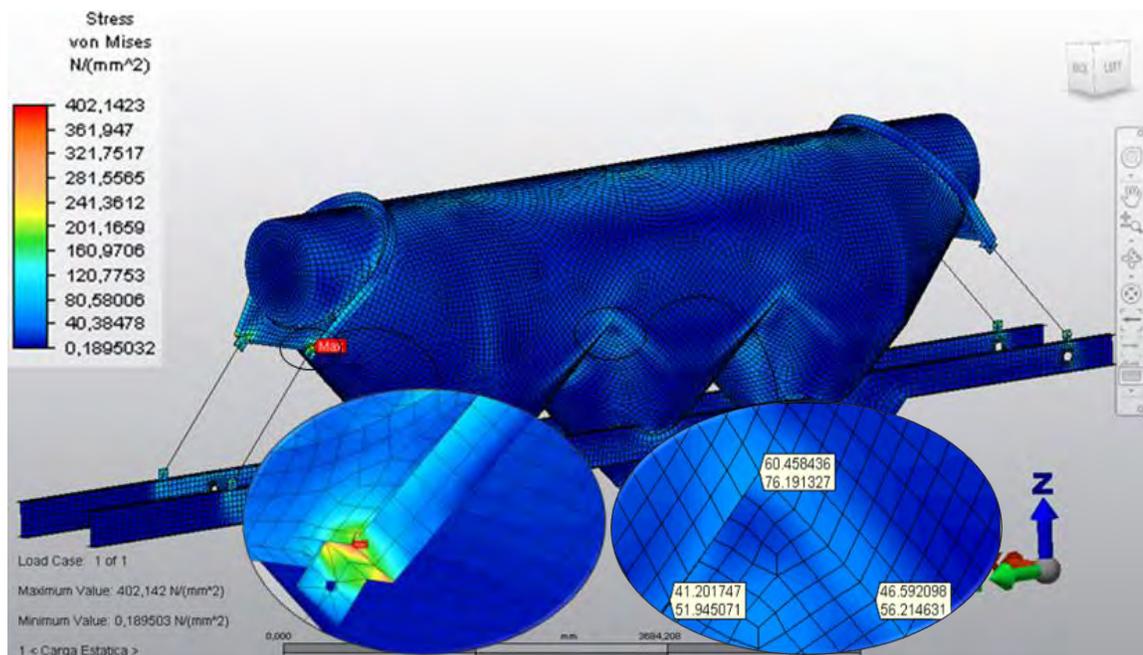
La figura No.21 refleja el comportamiento estructural del equipo en cuanto a su resistencia, en esta figura se puede observar que una gran proporción de la masa del semi-remolque presenta valores de esfuerzo del orden de 15 MPa, también se puede observar que las juntas de la transición del cuerpo presenta valores del orden de 40-80MPa los cuales son valores admisibles si tenemos en cuenta que

material sobre el cual se fabricara el SRG-36m³-3 es un acero ASTM A572 Gr50 y presenta un σ_y^* equivalente a 350MPa.

Por otro lado la figura No.21 muestra el esfuerzo máximo que se presenta en el SRG-36m³-3, el cual se encuentra ubicado sobre la junta articulada entre el soporte diagonal y el cuerpo del tanque y refleja una magnitud del orden de los 402MPa, lo cual es un valor de esfuerzo extremadamente alto considerando el σ_y del material, sin embargo, el estado de esfuerzos sobre los elementos tipo barra que corresponden a los soportes diagonales presentan esfuerzos de compresión del orden de 82-95 MPa, los cuales representan un valor muy bajo si se compara con el esfuerzo que produce la fuerza de este elemento sobre el cuerpo del tanque.

El resultado del estado de esfuerzos sobre barras y vigas obliga a realizar un análisis posterior detallado de la junta articulada, lo cual permitirá realizar una adecuada selección de la geometría, la junta y los materiales a utilizar.

Figura 21. Diagrama de esfuerzos combinados (von-Mises) SRG-36m³-3, W_s

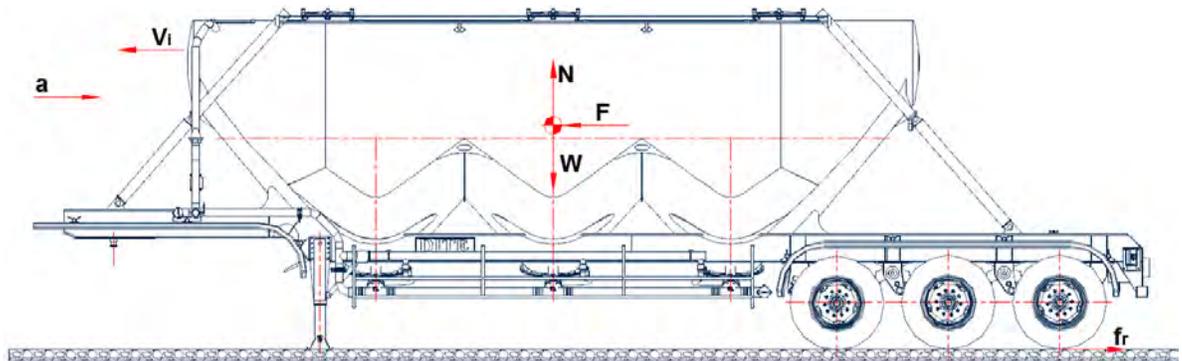


* σ_y , límite de esfuerzo a la fluencia

4.4.2 Análisis estructural bajo la acción de frenado (W_{kf}^*). A continuación se presenta los resultados obtenidos del análisis que simula el efecto del frenado del SRG-36m³-3. Para ello, antes de realizar el análisis es necesario calcular la fuerza que ejerce el cemento sobre la superficie del tanque durante este fenómeno.

En la figura 22 se muestra el DCL utilizado, cabe mencionar que para el cálculo es necesario asumir un escenario de carga crítica, por lo que se estimó que el SRG-36m³-3 puede reducir su velocidad de 22 m/s a 0 m/s, si se realiza un frenado en seco sobre el concreto, es decir sin que se presente rodadura de las llantas con el piso.

Figura 22. DCL del SRG-36m³-3, W_{kf}



Estimaciones:

- Velocidad inicial, $V_i=22\text{m/s}$.
- Tiempo de frenado, $t=8\text{s}$.
- Masa, $m=35000\text{kg}$
- Fuerza de fricción, f_r ; asumiendo frenado en seco

$$\sum F = m \cdot a$$

* W_{kf} , análisis bajo la acción de frenado.

$$+\uparrow \sum F_y = 0 = N - W$$

Aceleración:

$$+\uparrow \sum F_y \rightarrow N = W = m \cdot g = 350 \text{ kN} \quad ; \quad -a = \frac{v_i}{t} = 2.75 \text{ m/s}^2$$

$$f_r = \mu_k \cdot N \quad ;$$

Donde μ_k es el coeficiente de fricción entre caucho y el concreto (Ver Anexo B) y es equivalente a 0.8.¹²

$$f_r = 280 \text{ kN}$$

$$\overset{\rightarrow}{\sum} F_x = m \cdot (-a) = f_r - F$$

$$\overset{\rightarrow}{\sum} F_x \rightarrow F = f_r - m \cdot (-a) = 183.75 \text{ kN}$$

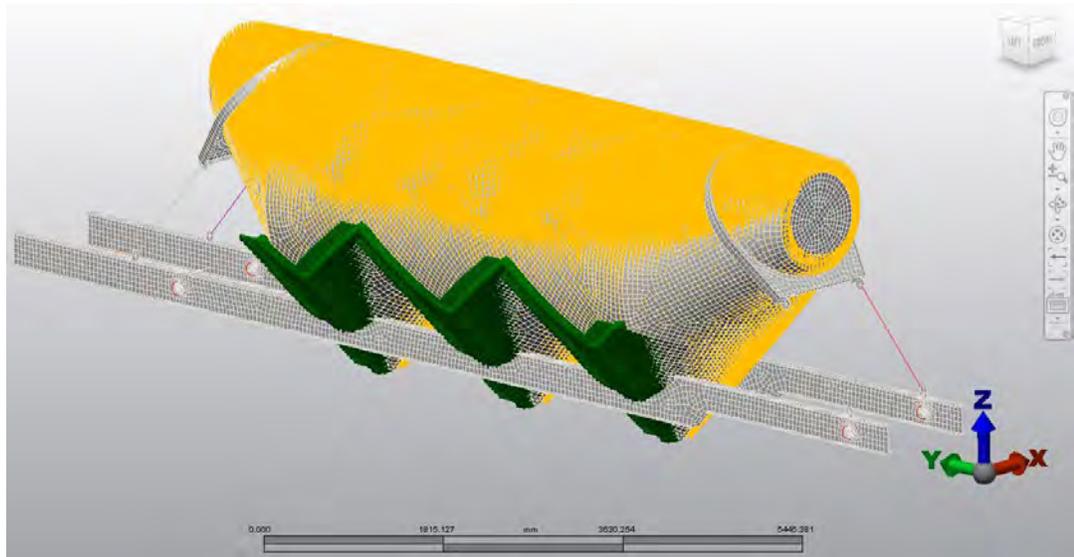
La carga que se debe aplicar en sentido del movimiento uniformemente acelerado es equivalente a **183.75 kN**

La figura 23 muestra el esquema del SRG-36m³-3 con características de malla y elementos iguales a los reportados en la figura 19 y la tabla 10 respectivamente. En este análisis se utilizó una presión hidrostática equivalente al peso específico del producto mencionado en el numeral 4.1.1 ($1.1 \times 10^{-05} \text{ N/mm}^3$ para cemento en polvo suelto) y la fuerza de 183.75 kN que ejerce el producto sobre la superficie del tanque (superficie que reacciona a la fuerza), debido a la ley de la inercia* que se produce durante el fenómeno de frenado y la cual lleva la dirección del movimiento acelerado, es decir en la dirección "Y" negativa.

¹² SERWAY, R., & JEWETT. Física para ciencias e ingeniería. 7 ed. Madrid: McGraw-Hill, 2005. Vol.2. 535 p

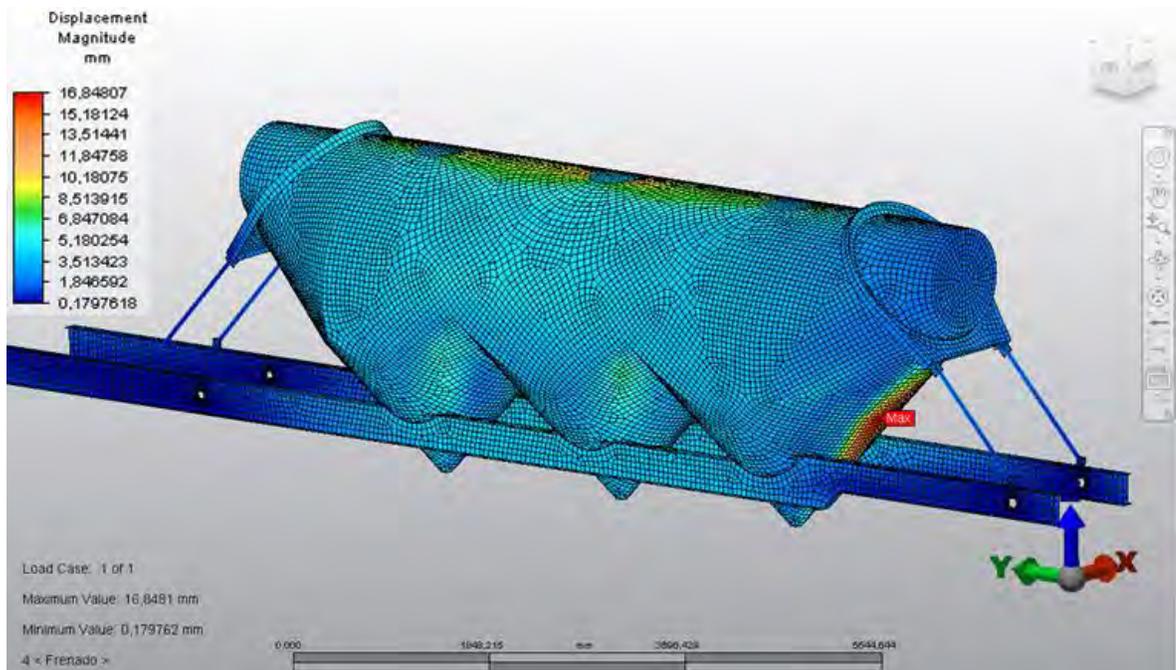
* Ley de la inercia, primera ley del movimiento de Newton

Figura 23. Modelo esquemático SRG-36m³-3, W_{kf}



La figura No.24 muestra la magnitud del desplazamiento máximo, con un valor de 16mm ubicado en uno de los conos de descarga. Este fenómeno es producto de la deformación del cuerpo cuando este se encuentra bajo la acción del frenado.

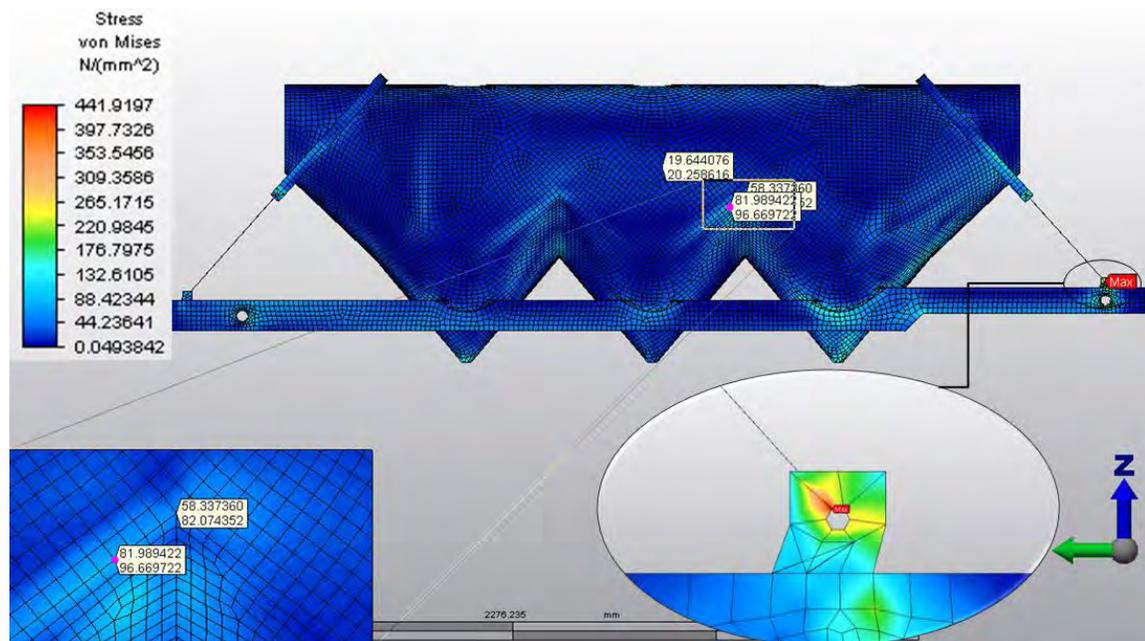
Figura 24. Diagrama de desplazamientos SRG-36m³-3, W_{kf}



La figura No.25 muestra el análisis de resistencia, en la cual se puede observar que una gran proporción de la masa del semi-remolque presenta valores de esfuerzo del orden de 20 MPa, también se puede observar que las juntas de la transición del cuerpo presenta valores del orden de 50-100 MPa los cuales son valores admisibles si se tiene en cuenta el σ_y mencionado en la sección 4.4.1.

Por otro lado, la figura No.25 muestra el esfuerzo máximo que se presenta en el SRG-36m³-3, el cual se encuentra ubicado sobre la junta articulada entre el soporte diagonal y el chasis del tanque y refleja una magnitud del orden de los 442 MPa, lo cual es un valor de esfuerzo extremadamente alto considerando el σ_y del material, sin embargo el estado de esfuerzos sobre los elementos tipo barra que corresponden a los soportes diagonales del SRG-36m³-3 presentan esfuerzos de compresión del orden de 140 MPa, los cuales representan un valor muy bajo si se compara con el esfuerzo que produce la fuerza de este elemento sobre el cuerpo del tanque.

Figura 25. Diagrama de esfuerzos combinados (von Mises) SRG-36m³-3, W_{kf}



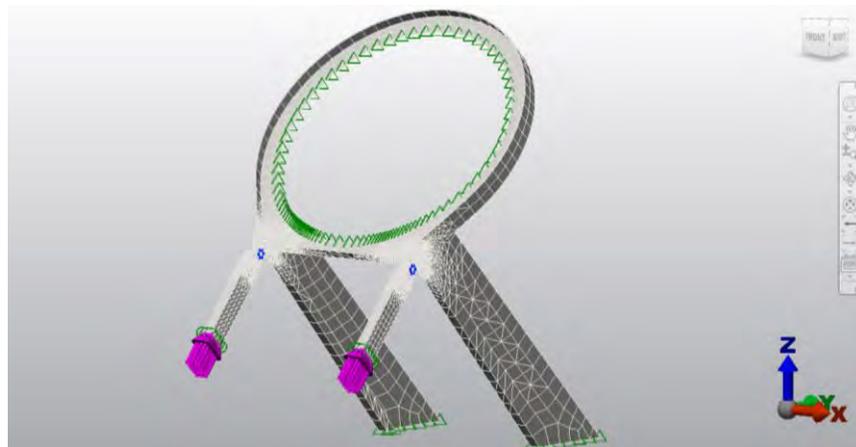
Dado que los resultados obtenidos en el análisis bajo la acción del frenado muestran que el esfuerzo de compresión de las barras diagonales es mayor al obtenido en el análisis bajo carga estática se utilizarán como referencia para realizar el análisis detallado de la junta articulada.

4.4.3 Análisis estructural de la junta articulada. Utilizando el esfuerzo de compresión de la barra diagonal de 140 MPa obtenido en la sección 4.4.2, se calcula una fuerza de 121.89 kN actuando sobre dicha barra.

Una vez calculada la fuerza de compresión se procede a realizar el análisis de la junta articulada, para ello se elaboró el modelo detallado de la junta articulada, con geometrías, espesores y materiales reales, utilizando elementos tipo ladrillo (brick, ver cuadro 11) y controlando el tamaño de la malla manualmente de tal manera que está presente un tamaño adecuado para cada uno de los elementos del modelo, se aplicaron refinamientos de malla sobre la junta articulada con el fin de aproximar los resultados al punto de convergencia y de esta manera precisar los mismos. Por otro lado se aplicó la fuerza de 121.89 kN calculada anteriormente, sobre la superficie seccionada de la barra diagonal en dirección axial a la barra. Las restricciones aplicadas al sistema se ubicaron sobre la unión al cuerpo y el chasis del tanque debido a que estos no son objeto de estudio. Adicionalmente, se aplican restricciones de desplazamiento a la barra diagonal con el fin de evitar que esta se desplace en una dirección diferente al desplazamiento axial estimado. Por último se aplicaron condiciones de contacto deslizante en la junta articulada con el fin de evitar concentraciones de esfuerzo por empotramiento. (Ver figura 26).

Los resultados obtenidos del análisis se presentan a continuación.

Figura 26. Modelo esquemático de la junta articulada del SRG-36m³-3



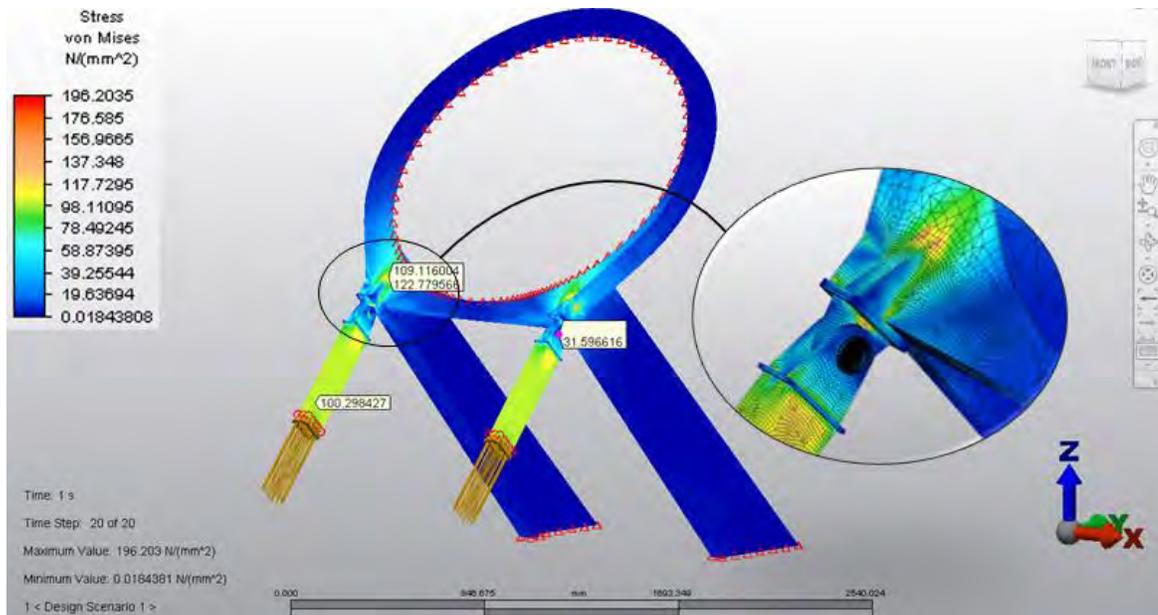
Las características principales de los elementos utilizados en el análisis por elementos finitos se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 11. Propiedades de los elementos, análisis de la junta articulada

Id.	Cant.	Descripción	Elemento tipo	Material
1	2	Diagonal Ant-Int:1	Brick	Steel (ASTM - A572)
2	1	Refuerzo Frontal:1	Brick	Steel (ASTM - A572)
3	2	Diagonal-2:1	Brick	Steel (ASTM - A572)
4	2	Soporte Diagonal-2:1	Brick	Steel (ASTM - A572)
5	4	Pie de Amigo Sop. Ant.	Brick	Steel (ASTM - A572)
6	4	Pasador	Beam	AISI 1020 Steel, cold rolled

La figura No.27 muestra el análisis de resistencia de la junta articulada del SRG-36m³-3, nótese que el esfuerzo de compresión sobre la barra diagonal disminuye levemente en comparación con el esfuerzo de compresión con el cual se realizó el cálculo. El comportamiento de la junta articulada, en detalle, es diferente al mostrado en la figura No.25 y por tanto, el estado de esfuerzos de la junta cambia considerablemente, ya que el resultado obtenido es del orden de 196 MPa. Esto indica una reducción del 55% del esfuerzo combinado (von-Mises) con respecto al obtenido en el análisis general, y es un esfuerzo que se encuentra dentro de los valores admisibles del material.

Figura 27. Diagrama de esfuerzos combinados (Von Mises) de la junta articulada del SRG-36m³-3



4.4.4 Análisis modal del SRG-36m³-3. Para complementar el estudio del comportamiento estructural del SRG-36m³-3 es necesario realizar un análisis modal, el cual es una técnica utilizada para determinar las características vibratorias de una estructura. Se sabe que los modos de vibración son uno de los factores más importante del análisis dinámico, y deben determinarse antes de cualquier otro tipo de análisis.¹³

Este análisis busca las frecuencias naturales y modos de desplazamiento de la masa con la que vibra el sistema calculando los primeros 50 modos de vibración, obteniendo aproximadamente el 99% de participación de la masa modal. (Ver anexo C)

El cuadro No.12 muestra el resultado de los primeros 20 modos de vibración, en ella se puede observar:

- El porcentaje de desplazamiento de la masa en la dirección X con una magnitud equivalente al 72.49%, ocurre en el primer modo de vibración con un porcentaje de utilización de la masa acumulado equivalente al 72.49% a una frecuencia de 1.2 Hz.(ver figura No.28)
- El porcentaje de desplazamiento de la masa en la dirección Y es despreciable.
- El porcentaje de desplazamiento de la masa en la dirección Z con una magnitud equivalente al 39.67%, el cual ocurre en modo de vibración No.18 con un porcentaje de utilización de la masa acumulado equivalente al 68.22% a una frecuencia de 29 Hz.(ver figura No.29)

¹³ Laniado-Jacome Edwin, Characterizing the diverter switch of a load tap changer in a transformer using wavelet and modal analysis, Engineering Structures, Department of Mechanical Engineering, Universidad Carlos III de Madrid, Spain 2010.

Cuadro 12. Análisis Modal para el SRG-36m³-3

Mode	Participación de masa efectiva en la dirección X						Participación de masa efectiva en la dirección Y						Participación de masa efectiva en la dirección Z					
	Frequency (HZ)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor	Frequency (HZ)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor	Frequency (HZ)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor
1	1.20E+00	2.19E+04	72.49	2.19E+04	72.49	-1.49E+00	1.20E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.20E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
2	6.64E+00	6.16E+02	2.04	2.25E+04	74.53	-2.50E-01	6.64E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	6.64E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
3	7.04E+00	4.62E+03	15.3	2.71E+04	89.83	-6.86E-01	7.04E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	7.04E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
4	9.40E+00	0.00E+00	0	2.71E+04	89.83	0.00E+00	9.40E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	9.40E+00	3.33E-01	0	3.33E-01	0	-5.82E-03
5	1.15E+01	1.18E+01	0.04	2.71E+04	89.87	3.46E-02	1.15E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00	0	3.33E-01	0	0.00E+00
6	1.18E+01	0.00E+00	0	2.71E+04	89.87	0.00E+00	1.18E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.18E+01	2.46E+00	0.01	2.80E+00	0.01	1.58E-02
7	1.26E+01	2.95E+02	0.98	2.74E+04	90.85	1.74E-01	1.26E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.26E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
8	1.43E+01	1.49E+02	0.49	2.76E+04	91.34	-1.23E-01	1.43E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
9	1.83E+01	3.43E+00	0.01	2.76E+04	91.35	-1.87E-02	1.83E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.83E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
10	1.88E+01	0.00E+00	0	2.76E+04	91.35	0.00E+00	1.88E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.88E+01	2.94E+02	0.97	2.97E+02	0.98	1.73E-01
11	2.06E+01	2.90E+02	0.96	2.79E+04	92.31	-1.72E-01	2.06E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.06E+01	0.00E+00	0	2.97E+02	0.98	0.00E+00
12	2.30E+01	4.56E+02	1.51	2.83E+04	93.82	-2.16E-01	2.30E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.30E+01	0.00E+00	0	2.97E+02	0.98	0.00E+00
13	2.40E+01	1.10E+00	0	2.83E+04	93.83	-1.06E-02	2.40E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.40E+01	2.95E-01	0	2.97E+02	0.98	5.49E-03
14	2.52E+01	0.00E+00	0	2.83E+04	93.83	0.00E+00	2.52E+01	1.37E+01	0.05	1.37E+01	0.05	-3.74E-02	2.52E+01	2.21E+03	7.33	2.51E+03	8.31	4.75E-01
15	2.61E+01	1.08E+02	0.36	2.84E+04	94.18	1.05E-01	2.61E+01	4.88E+01	0	1.42E+01	0.05	-7.05E-03	2.61E+01	4.24E+00	0.01	2.51E+03	8.33	2.08E-02
16	2.78E+01	5.10E+01	0.17	2.85E+04	94.35	-7.21E-02	2.78E+01	5.42E+00	0.02	1.96E+01	0.06	-2.35E-02	2.78E+01	1.25E+02	0.41	2.64E+03	8.74	1.13E-01
17	2.79E+01	2.74E-01	0	2.85E+04	94.35	5.29E-03	2.79E+01	2.31E+02	0.76	2.50E+02	0.83	-1.53E-01	2.79E+01	5.98E+03	19.81	8.62E+03	28.55	7.81E-01
18	2.90E+01	5.71E-01	0	2.85E+04	94.35	-7.63E-03	2.90E+01	2.74E+02	0.91	5.24E+02	1.74	-1.67E-01	2.90E+01	1.20E+04	39.67	2.06E+04	68.22	1.10E+00
19	2.98E+01	4.53E+02	1.5	2.89E+04	95.86	2.15E-01	2.98E+01	6.29E-01	0	5.25E+02	1.74	-8.01E-03	2.98E+01	3.41E+01	0.11	2.06E+04	68.33	5.90E-02
20	3.12E+01	7.15E+00	0.02	2.90E+04	95.88	-2.70E-02	3.12E+01	7.88E-01	0	5.25E+02	1.74	8.96E-03	3.12E+01	5.28E+01	0.17	2.07E+04	68.51	7.34E-02

Figura 28. Análisis modal, primer modo de vibración del SRG-36m³-3

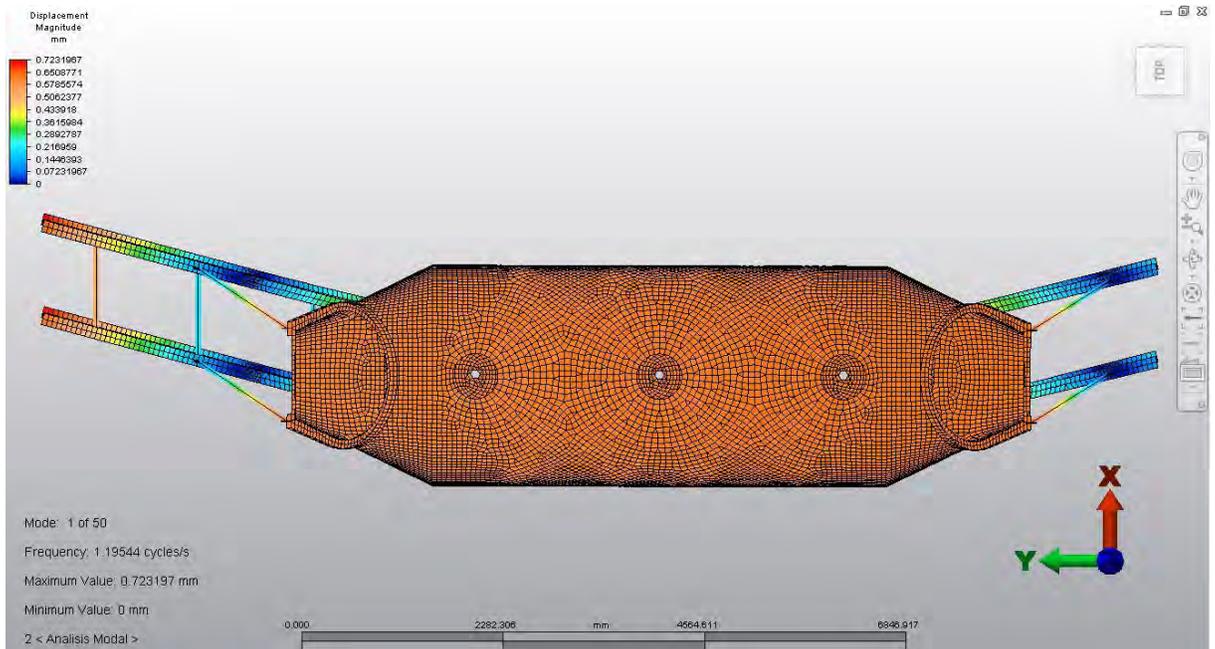
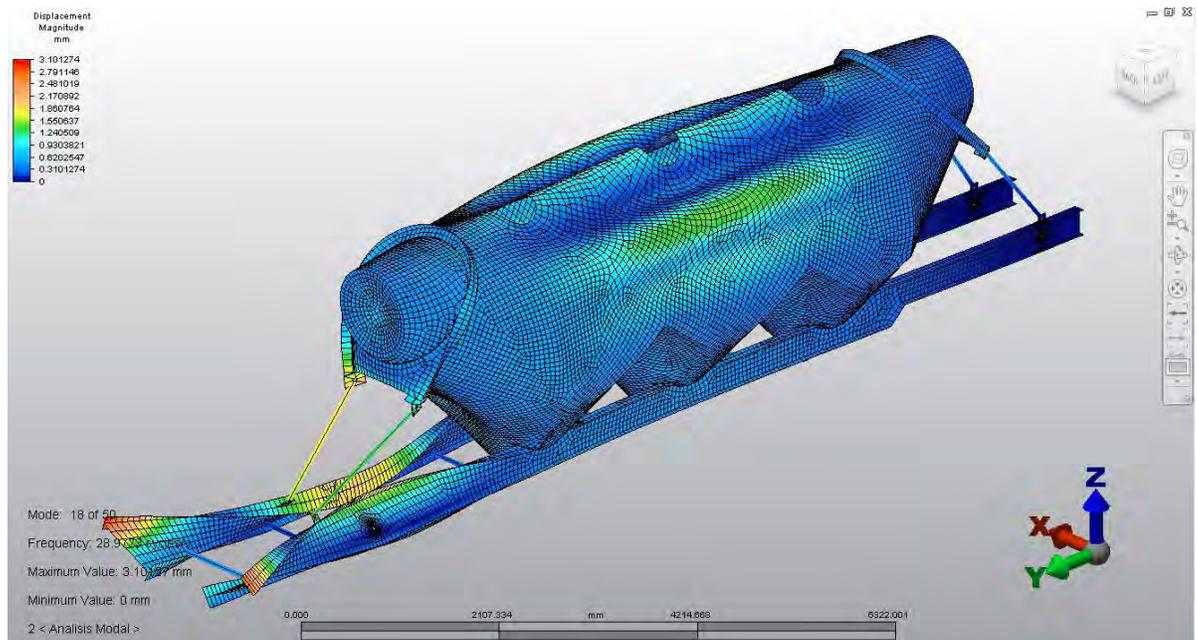


Figura 29. Análisis modal, modo de vibración No.18 del SRG-36m³-3



4.5 ANÁLISIS SISTEMA DE DESCARGA

El Sistema de descarga del SRG-36m³-3 es uno de los principales desafíos de este proyecto, pues el cliente siempre desea cargar más y descargar rápidamente. En este trabajo se realizó una visita a la planta cementera de Cemex ubicada en Ibagué, Tolima, con el fin de recopilar la información necesaria para optimizar el sistema de cargue y descargue, de la cual se concluye:

- El cargue debe ser rápido y eficiente.
- Los diámetros de tubería no pueden ser modificados, dado que las plantas de concreto en las que se descarga el cemento a granel* cuentan con los accesorios de tubería normalizados necesarios para llevar el producto desde el semi-remolque hasta el silo**.

* Cemento a granel, producto transportado en grandes cantidades sin empaquetar ni embalar.

** Silo, construcción diseñada para almacenar producto a granel

- Las plantas de concreto cuentan con el compresor necesario para llevar el producto desde el semi-remolque hasta el silo. La potencia del compresor varía dependiendo de la altura del silo.
- No todas las plantas de concreto presentan la misma distribución logística en sus silos, por lo que se recomienda que la posibilidad para descargar por los dos lados del semi-remolque.
- La velocidad del proceso de descargue es muy variable, dependiendo del ángulo de salida del cemento sobre el semi-remolque, la presión del aire que ayuda a fluidizar el producto a través de la tubería de descarga, el estado de las lonas de descarga^{***} y el sistema de aireación^{****}, la altura a la que requiere ser transportado el producto e incluso la experiencia del operario que manipula las válvulas de descarga.

4.5.1 Diseño del sistema de descarga. Teniendo en cuenta la información recopilada, el nuevo sistema de descarga debe ser eficiente, moderno, y flexible a la distribución logística de las plantas de concreto, razón por la cual se diseñó un sistema de descarga que presenta las siguientes características:

El aire ingresa por la tubería de Ø3” y se dirige al cuerpo del tanque que contiene el producto para presurizarlo en su interior, por la parte superior del tanque, para que esa presión empuje el producto por la tubería de salida de Ø4”, el tanque dispone de una válvula de seguridad calibrada a 18 psi para proteger la integridad del personal y del semi-remolque, y de una válvula cheque para conservar la presión al interior del tanque, al conservar la presión al interior del tanque se logra ampliar el tiempo de salida del producto sin esperar a que el tanque cargue nuevamente. Luego de presurizar el tanque se procede cargar la línea de aireación, la cual también cuenta con una válvula de cheque para conservar la presión de la misma, y por último se permite el paso de producto a través de la tubería de Ø4” para transportar hasta el silo. El ingreso del aire se realizará por la zona delantera al lado del conductor y la salida del producto se realizará por la zona trasera del semi-remolque y de esta manera se reducen las perdidas por longitud y accesorios, los acoples rápidos permiten que la salida de producto se realice por cualquiera de los dos lados.

*** Lona de descarga, tejido de tela permeable que ayuda en la fluidización del cemento.

**** Sistema de aireación, red de aire que produce movimiento en las lonas para fluidizar el cemento

Cabe mencionar que en el diseño anterior, el ingreso de aire se realiza al lado contrario del conductor, en la zona delantera, y la salida del producto se realiza por el lado conductor, en la zona delantera, por lo que el aire debe realizar un recorrido más largo, además, el cuerpo del tanque se presurizaba a través de la lonas de descarga, al mismo tiempo que se evacuaba producto, es decir el producto ingresaba a la tubería de salida por su peso propio y por el movimiento de las lonas mientras se presuriza el tanque, el cual no cuenta con válvulas de cheque que impidan el retorno de aire a la tubería de salida lo cual hace inestable la presurización del tanque, y lento el proceso de descarga.

Los accesorios dispuestos para optimizar el sistema de descarga se describen a continuación: (Ver anexo D)

- Manhole de accionamiento rápido (Solamente un seguro) para agilizar el cargue.
- Entrada de aire en tubería SCH40 $\varnothing 3$ " con acople rápido ubicado al LC.*
- Entrada de aire para presurizar el interior del tanque y de esta manera hacer presión sobre el producto para ayudar en su fluidización.
- Válvulas de control de flujo de aire y de descarga, para controlar la velocidad del descargue.
- Válvulas de retención y de seguridad, para conservar el flujo de aire de manera adecuada sin exponer la seguridad del personal y la integridad del semi-remolque.
- Acoples rápidos instalados en la tubería de descarga para facilitar el mantenimiento de la misma.
- Salida de descarga en tubería de aluminio de $\varnothing 4$ " flexible para descargar por el lado conductor o por el lado contrario conductor.
- Placas vibradoras, es un sistema moderno de aireación que agiliza el descargue, es de bajo mantenimiento en una proporción de 3 a 1 comparado con las lonas, de bajo consumo de aire y libre de fugas. (Ver anexo E).

Una vez identificados los accesorios a utilizar para optimizar el sistema de descarga del SRG-36m³-3 se procede a realizar el acoplamiento de los mismos en el diseño final (Figura 30), y se realiza un procedimiento que facilite y agilice la descarga.

* LC, lado conductor

Figura 30. Sistema de descarga del SRG-36m³-3



4.5.2 Procedimiento de descarga del SRG-36m³-3

- Las bocas de llenado (Manhole) deben estar debidamente cerradas
- Identifique todas las válvulas y su ubicación, revise la limpieza de la tubería
- Cierre la válvula de despresurización y la válvula de control de presión
- Encienda el soplador, el tanque comenzará a presurizarse
- Cuando el indicador de presión del tanque se encuentre entre 15-18 psi abra la válvula de control de presión a la mitad.
- cuando el indicador de presión de la línea de fluidización alcance 15 psi abra la válvula de regulación de flujo aproximadamente 1/8 de vuelta para evitar el exceso de aire en la tubería de salida, el exceso de aire en la tubería de descarga reduce la cantidad de producto a descargar. (Ver anexo E)
- abra la válvula de descarga, seguida de la válvula de fluidización correspondiente a la tolva* que desea descargar.
- Verifique la presión al interior del tanque y en la línea de fluidización, estas deben conservarse durante el proceso de descarga de producto. De no ser así

* Tolva, cono ubicado al inferior del tanque que permite la caída del producto.

gradúe nuevamente las válvulas de control de presión y fluidización para alcanzar la presión de descargue adecuada.

- Cuando indicador de presión del tanque alcance una presión de 0 psi cierre las válvulas de descarga, de fluidización y de control de presión y de regulación de flujo, en el orden mencionado, con el fin de presurizar nuevamente el tanque para iniciar un nuevo proceso de descarga con la siguiente tolva.
- Repita es procedimiento a partir del numeral 5.
- Cuando el producto haya sido descargado en su totalidad, inicie la limpieza de la tubería abriendo todas las válvulas y permitiendo el flujo de aire a través de ella.
- Después de realizar la limpieza de las tuberías detenga el soplador y abra la válvula de despresurización del tanque.
- Cuando los indicadores de presión se encuentren en 0 PSI, proceda a cerrar todas las válvulas, desconecte las mangueras y ubique los tapones de la tubería en su lugar.

4.6 CARACTERÍSTICAS DEL SRG-36M³-3

Una vez realizado los cálculos, análisis estructurales correspondientes y el procedimiento que optimice la descarga se procede a realizar el diseño final del SRG-36m³-3 el cual se presenta a continuación.

Figura 31. Diseño final del SRG-36m³-3



- Dimensiones: ancho 2600mm, alto 3800mm, largo 12660mm

- Estructura: Cuerpo del tanque con sección transversal cónica reforzada fabricada en lamina ASTM A572 3.5mm, chasis fabricado con vigas en “I” compuesta de lámina ASTM A572 6mm y alas iguales en platina ARBA40 4”x1/2”, en el sector central del chasis el ala superior se une al cuerpo en las secciones cónicas a través de ruanas*.(Figura No.32)
- Soportes: Tubulares estructurales fabricados bajo la norma ASTM A572 Gr50 de 120x60x2.5. La unión entre el cuerpo y el chasis se realiza a través de juntas articuladas que buscan reducir la transmisión de esfuerzos al tanque.(Figura No.33)
- Suspensión: Mecánica, neumática o mixta de 3 ejes. Totalmente libre del cuerpo del tanque para evitar la transmisión de carga directa al tanque del semi-remolque y mejorar la distribución de cargas entre la suspensión y el King pin.(Figura No.34)
- Manhole: Importado de accionamiento rápido.
- Descarga: Neumática en tubería de Ø4” a lado conductor con posibilidad de descarga al lado contrario conductor, con entrada de aire en tubería de Ø3” al lado conductor, válvulas cheque de 3” para evitar el contraflujo de aire en el tanque y en la línea de aireación, válvula de seguridad para evitar la sobrepresión del tanque, válvula de desfogue para una rápida despresurización del tanque.(Figura No.35)
- Dispositivos de Seguridad: válvula de seguridad calibrada a 18 psi instalada junta a la tubería de presurización del tanque del semi-remolque, válvula 3” para despresurizar el tanque de manera rápida, guardabarros delanteros y traseros en fibra de vidrio, ciclistero de dos barras, tarugo para-choques, pasarela antideslizante con línea de vida y cintas reflectivas.(Figura No.36)

(Ver anexo F)

* Ruana, elemento de acero comúnmente utilizado para proteger las estructuras.

Figura 32. Estructura del SRG-36m³-3



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

Figura 33. Soportes tubulares delanteros y traseros del SRG-36m³-3



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

Figura 34. Suspensión del SRG-36m³-3



Fuente: Documentos de ingeniería, Dite S.A Freeway Remolques

Figura 35. Sistema de descarga del SRG-36m³-3



Fuente: Documentos de Ingeniería, Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

Figura 36. Seguridad del semi-remolque para transporte de cemento en polvo



Fuente: Registro fotográfico Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Al evaluar el costo total de producción, se evidencia que existe una reducción equivalente al 1% del costo total obtenido en el año 2012, pese al aumento en los costos de materia prima, se produjo una reducción importante en los costos de mano de obra y los gastos independientes, de acuerdo a los resultados que se muestran en la figura 37. Es importante tener en cuenta que aunque la reducción del costo de producción total es pequeña, se desarrolló un producto más moderno, novedoso y eficiente, que cumple con estándares de calidad y diseño (Ver anexo G) que busca mejorar la relación costo-beneficio de los clientes, de la empresa y posicionar este producto en el mercado nacional como uno de los mejores.

Figura 37. Comparativo costos de producción antes y después del análisis



5. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Luego de construir el nuevo diseño del SRG-36m³-3, se realizaron mediciones experimentales usando galgas extensiométricas (Strain gauge), que permitan validar las idealizaciones y suposiciones consideradas durante el análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), además esta sería una manera de corregir y perfeccionar el diseño del SRG-36m³-3 y posteriores procesos de diseño.

Dado que el SRG-36m³-3 es un producto que no se ha comercializado y no se encuentra registrado ante el Ministerio de Transporte, es imposible realizar una medición experimental de cargas dinámicas con cemento en polvo, además tampoco se podrá validar la eficiencia del cargue y el descargue. Sin embargo, se realizarán mediciones experimentales con carga estática utilizando agua como producto para generar la carga W , a fin de establecer criterios de comparación entre los resultados obtenidos teóricamente y los resultados obtenidos experimentalmente.

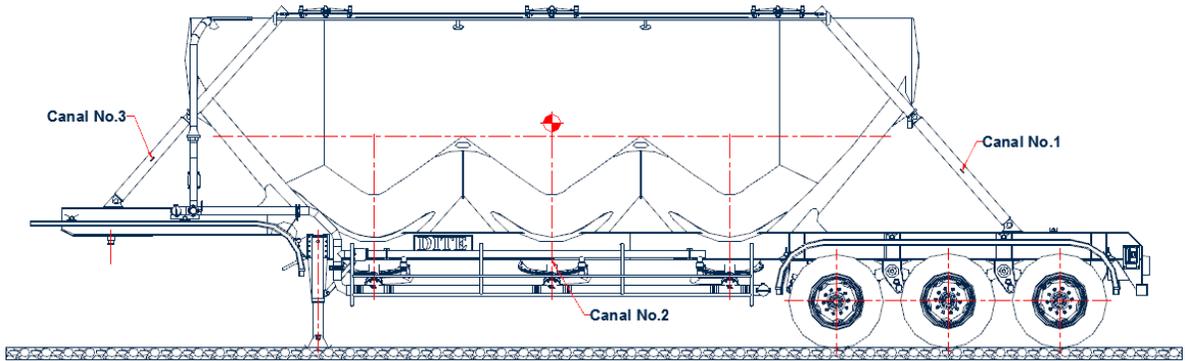
5.1 UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES

De acuerdo a los objetivos trazados anteriormente, se definen los sitios sobre los cuales se desea obtener las deformaciones de manera experimental, partiendo de la suposición de que las cargas de operación originan esfuerzos principales de tensión, compresión, y flexión. Los puntos seleccionados son (Ver figura 38):

- Canal No.1, barra diagonal posterior LCC*, ubicando la galga extensiométrica sobre sus ejes principales, siguiendo la línea de acción de la carga, de tal manera que permita establecer un parámetro de medición estable y confiable.
- Canal No.2, ala inferior de la Viga LCC, ubicando la galga extensiométrica sobre sus ejes principales, coincidiendo con el centro de gravedad del SRG-36m³-3, de tal manera que permita establecer el máximo esfuerzo de tensión de la viga.
- Canal No.3, barra diagonal anterior LCC, ubicando la galga extensiométrica sobre sus ejes principales, siguiendo la línea de acción de la carga, de tal manera que permita establecer un parámetro de medición estable y confiable.

* LCC, lado contrario conductor

Figura 38. Ubicación de la galgas extensiométricas



Para llevar a cabo las mediciones experimentales es necesario seguir un protocolo de pruebas, el cual permitirá preparar y realizar de manera eficiente y organizada los experimentos según la metodología propuesta. (Anexo G)

5.2 PRUEBA ESTÁTICA

La figura No. 39 muestra la instalación de las galgas extensiométricas de acuerdo al protocolo para mediciones experimentales mencionado en el anexo G y en los puntos seleccionados de acuerdo al numeral 5.1 y la figura No.38.

Figura 39. Ubicación de la galgas extensiométricas



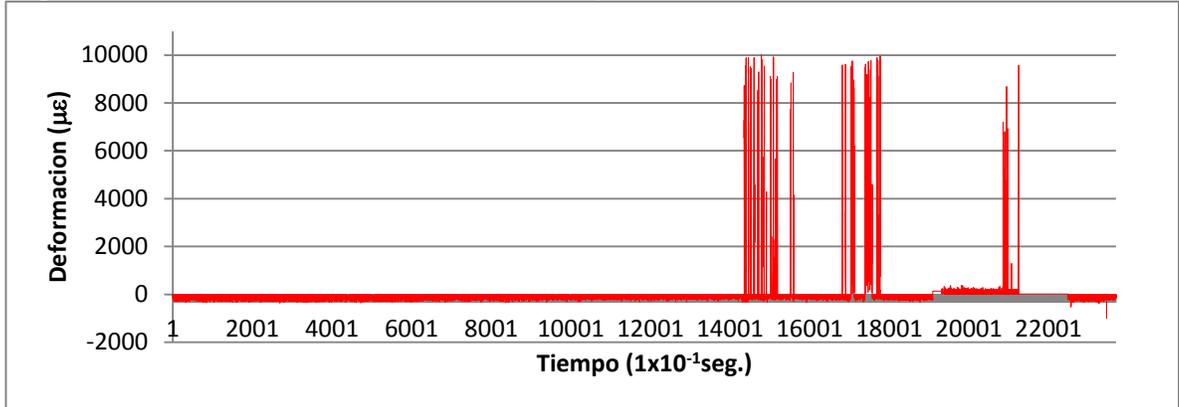
Fuente: Documentos de ingeniería, Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

Luego de realizar la instalación de las galgas extensiométricas, se procede a realizar la calibración de los equipos de medición con el fin de garantizar resultados confiables durante el proceso experimental.

Una vez calibrados los equipos de medición se inicia el monitoreo de las galgas extensiométricas, con el SRG-36m³-3 sin carga. Es necesario mencionar que por limitaciones del equipo de medición solo es posible realizar el monitoreo de una galga, en este trabajo, la galga monitoreada es la asociada al canal No.1, la cual registra los datos a una frecuencia de muestreo 0.1 Hz. Por otro lado se procede a encender la bomba que dará inicio al llenado del SRG-36m³-3 con agua a través del manhole central, durante un tiempo aproximado de 30 minutos. Mientras se realizó el llenado se observó que por la forma geométrica del tanque, este se llenó de la siguiente forma: En primer lugar se llenó el cono central, luego se llenó el cono de atrás (el que se encuentra cerca al canal No.1), y por último llenó el cono delantero (el que se encuentra cerca al canal No.3), también se observó que se presentaron cambios repentinos elevados en la medición, y esto ocurrió, cada que se activaron las máquinas de soldar que se encontraban laborando en los alrededores de la prueba, ya que se encontraban conectadas a la misma fuente de energía que el equipo de medición. Luego de completar el tiempo de llenado se apaga la bomba sin detener el monitoreo de las galgas, esto con el fin de lograr estabilidad en las mediciones finales, posteriormente se procede a cambiar el canal de monitoreo con el fin de registrar lo sucedido en los otros canales (Canales No.2 y 3) al finalizar la prueba. El tiempo total de la medición es de 40 minutos.

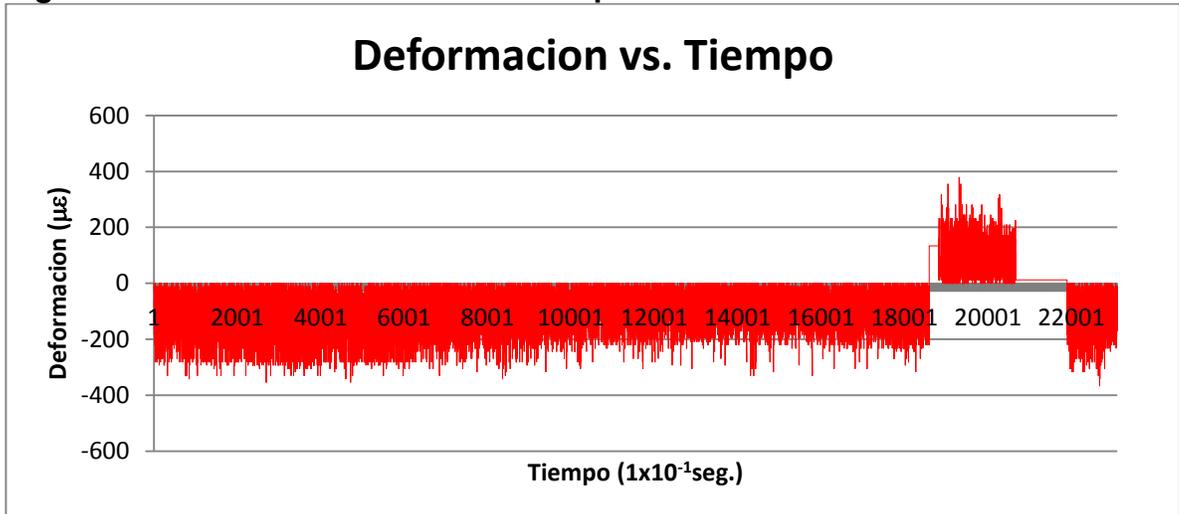
Una vez termina la prueba estática del SRG-36m³-3 se chequean los resultados obtenidos y se genera el documento en el software Microsoft Excel, con fin de generar las gráficas que permitan visualizar el comportamiento estructural del semi-remolque y realizar los análisis correspondientes. La figura No.40 muestra el resultado de la deformación obtenida durante los 40 minutos de duración de la prueba, en esta figura se pueden observar los picos que se generan al activar las máquinas de soldadura.

Figura 40. Resultado de la medición experimental



La figura No.41 muestra la modificación de la gráfica 40, en la cual se suprimieron los picos generados por las máquinas de soldadura, ya que estos interfieren en el análisis de los resultados. En esta grafica se puede observar que los datos son muy aleatorios y no se logra la estabilidad deseada, sin embargo, se evidencia el estado de compresión para los canales No. 1 y 3 y el estado de tensión para el canal No.2, así como también se puede evidenciar la continuidad que se presenta en los datos cuando se cambia el canal de medición.

Figura 41. Resultado de la medición experimental modificado



El cuadro 13 muestra los valores promedios de deformación y desviación estándar alcanzados durante la medición a una frecuencia de muestreo de 1 Hz (obtenida a

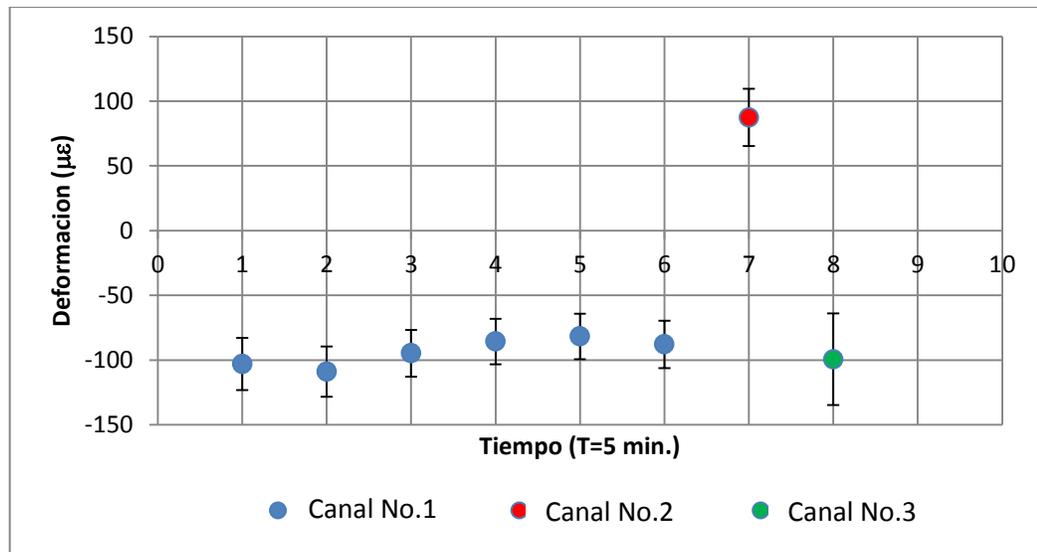
través de un remuestreo de datos en MatLab), en intervalos de tiempo de 5 minutos, de la cual se puede concluir que los datos presentan una dispersión elevada con respecto a la media aritmética, sin embargo, se evidencia una tendencia homogénea en la desviación estándar para el canal No 1, el cual está representado por los periodos de tiempo comprendidos entre 1 y 6.

Cuadro 13. Medidas de tendencia central de la deformación experimental, en intervalos de tiempo de 5 min

INTERVALO	VALOR MINIMO($\mu\epsilon$)	VALOR MAXIMO($\mu\epsilon$)	MEDIA ARITMETICA \pm 1 D.E ($\mu\epsilon$)
1	-160	0	-103 \pm 20.16
2	-167	-54	-109 \pm 19.37
3	-144	-53	-95 \pm 18.15
4	-145	-40	-86 \pm 17.68
5	-143	-33	-82 \pm 17.57
6	-151	-42	-88 \pm 18.33
7	6	147	88 \pm 22.16
8	-175	21	-99 \pm 35.37

La figura 42, representa la media aritmética y la desviación estándar de los valores obtenidos en la tabla 13, nótese que entre los intervalos de tiempo 4 y 6 el sistema muestra una tendencia a estabilizar sus promedios.

Figura 42. Media aritmética de la deformación experimental, en intervalos de tiempo de 5 min. a una desviación estándar

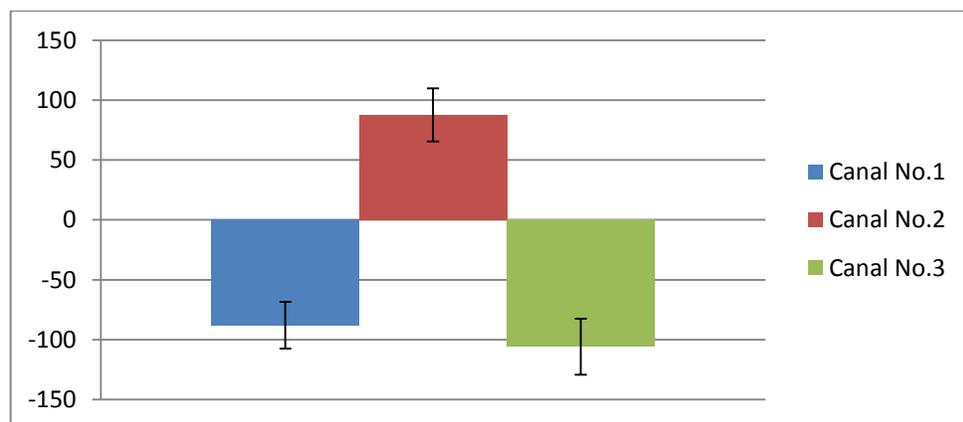


El cuadro 14 y la figura 43 muestra las medidas de tendencia central registrados por cada canal de monitoreo en un intervalo de tiempo de 2 minutos, a una frecuencia de 1 Hz, luego de finalizar el llenado del tanque, con el cual se buscaba obtener una estabilidad en las mediciones finales, los valores mínimos hacen referencia a la calibración de las galgas antes de iniciar la prueba, los valores máximos y la media aritmética con respectiva desviación estándar, se referencian a los últimos 2 min. de muestreo en cada canal, esto se hizo con el fin de observar la variación entre el inicio y el final de la medición.

Cuadro 14. Máximos, mínimos y media aritmética \pm 1 D.E de la deformación experimental, entre el inicio y el final de la prueba en un tiempo de 2 min., por cada canal de monitoreo, frecuencia de muestreo 1 Hz.

CANAL No.	VALOR MINIMO ($\mu\epsilon$)	VALOR MAXIMO ($\mu\epsilon$)	MEDIA ARITMETICA \pm 1 D.E ($\mu\epsilon$)
1	0	-138	-88 \pm 19.50
2	0	147	88 \pm 22.16
3	0	-175	-106 \pm 23.33

Figura 43. Máximos y mínimos de la deformación experimental, por cada canal de monitoreo, frecuencia de 1 Hz y una desviación estándar en un tiempo de 2 min.



A continuación se procede a realizar el cálculo del esfuerzo de trabajo al cual se encuentran operando los elementos utilizados en la medición experimental. Para ellos se utiliza la Ley de Hooke del módulo de elasticidad*, la cual establece que el

* Módulo de elasticidad, parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico.

esfuerzo unitario en un material es proporcional a la deformación unitaria que le acompaña siempre que dicho esfuerzo no exceda el esfuerzo de fluencia del material¹⁴.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ donde}$$

σ , Es el esfuerzo normal promedio

E , es el módulo de elasticidad o Young del material

ε , es la deformación unitaria

El cuadro 15 muestra la magnitud del esfuerzo de trabajo de los elementos monitoreados, el cual se calculó utilizando los valores máximos de deformación (luego de finalizar el llenado del tanque) mostrados en la tabla 14. Cabe mencionar que el esfuerzo calculado sobre el canal No. 2 corresponde al esfuerzo de tensión (σ_{yy}) al cual se somete el ala inferior de la viga principal.

Cuadro 15. Esfuerzo de trabajo de elementos monitoreados

	Canal No.1	Canal No.2	Canal No.3
Deformación unitaria ($\mu\epsilon$)	-88	88	-106
Esfuerzo de trabajo σ (MPa)	-17.610	17.501	-21.173

Al terminar el proceso de llenado se procede a realizar el aforo* teórico del SRG-36m³-3, para ello es necesario medir el nivel alcanzado por el agua a través de las bocas de llenado y posteriormente realizar el cálculo del volumen ocupado, utilizando el software de Autodesk Inventor 2014 y de esta manera obtener la carga W con la cual se realizó la medición experimental.

Los resultados del cálculo se presentan a continuación:

- Distancia entre el Manhole y el nivel de agua = 1620mm

¹⁴ Seely Fred B., Resistencia de materiales: Esfuerzo y deformación, México: Unión tipográfica hispano americana, 1954. 589p

* Aforo teórico, cálculo de la capacidad de volumen almacenado en un recipiente.

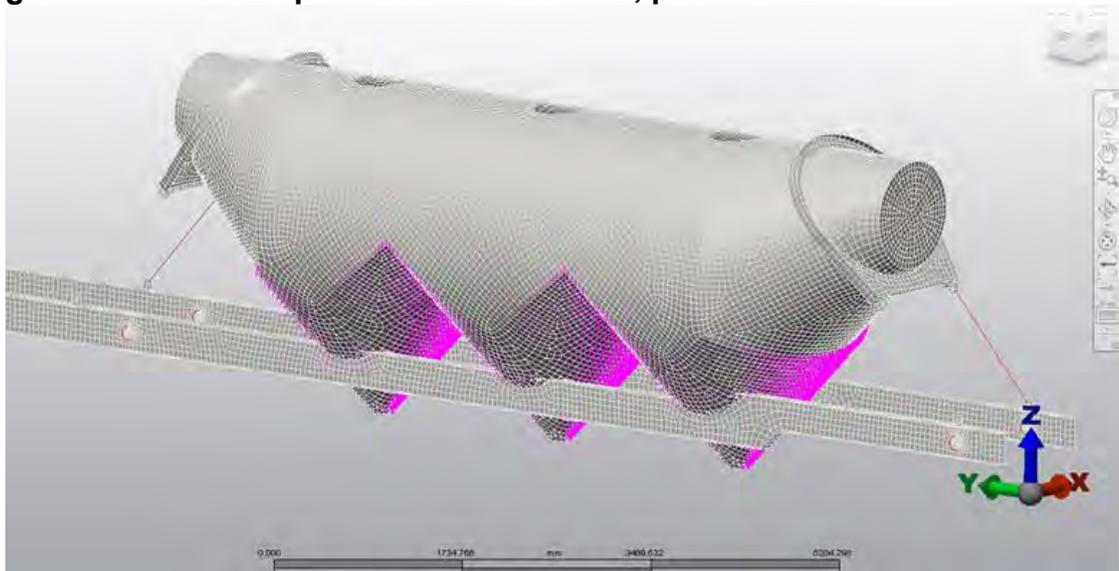
- Volumen de agua ocupado = 10.133m³
- Peso del volumen de agua ocupado = 99.404 kN

5.3 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS PRUEBA ESTÁTICA

Una vez se determina la carga W con la cual se realizaron las mediciones experimentales, se procede a realizar un análisis usando el método de elementos finitos con el fin de obtener los parámetros necesarios para realizar una comparación con los resultados obtenidos experimentalmente.

La distribución de cargas definida en el análisis general, incluye las restricciones aplicadas a la suspensión y el enganche (King Pin). En la figura 44 se pueden observar la combinación de elementos tipo Shell (para el cuerpo y el chasis), y tipo truss (para los soportes diagonales y las vigas transversales) ya que estos son elementos de los cuales se estima un comportamiento de tensión y compresión, tal y como se hizo en el numeral 4.4. Para la aplicación de la carga se utilizó una presión hidrostática equivalente al peso específico del producto (1.0×10^{-5} N/mm³ para el agua), aplicada sobre la superficie inferior del tanque, en el cual el nivel de la presión hidrostática aplicada es equivalente al nivel ocupado por el agua en la medición experimental.

Figura 44. Modelo esquemático SRG-36m³-3, prueba estática



Las características principales de los elementos utilizados en el análisis por elementos finitos para la medición experimental, se describen en la tabla 10 de la sección 4.4.

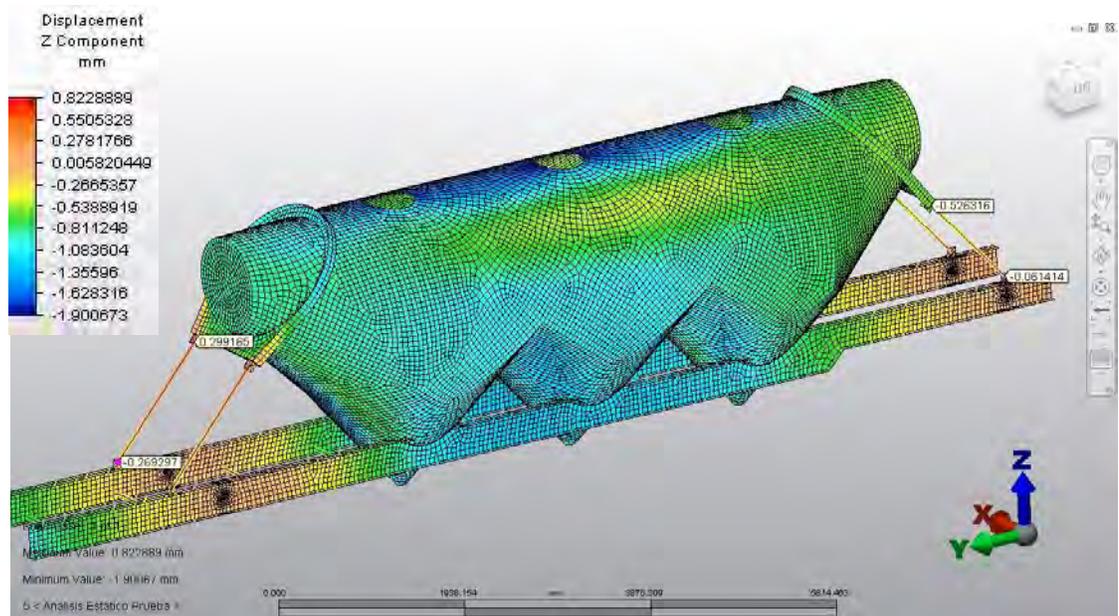
La figura No.45 muestra la magnitud de los desplazamientos sobre la dirección Z en las barras diagonales del semi-remolque, dado que ocurren desplazamientos en los dos extremos de la barra, la deformación real de la barra se puede obtener como:



$$L = \sqrt{(980 - 0.03)^2 + (855)^2} = L = 1300.525mm$$

Por lo cual se puede decir que sobre la barra diagonal posterior existe una deformación total equivalente a 0.025mm

Figura 45. Diagrama de desplazamientos SRG-36m³-3, prueba estática

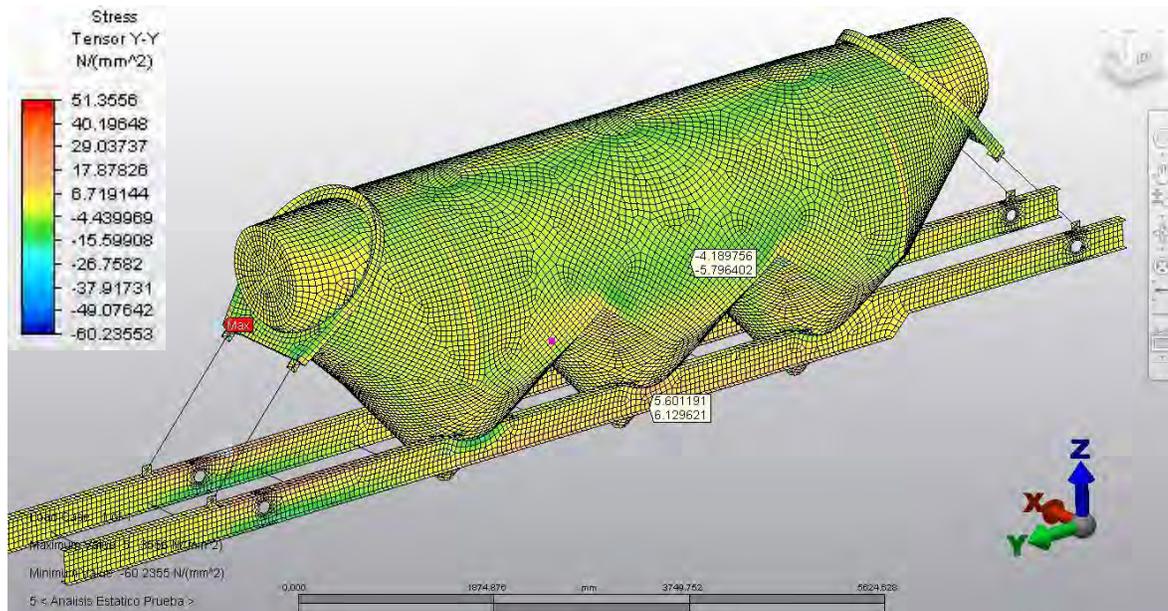


La figura No.46 muestra el comportamiento estructural del equipo en cuanto a su resistencia en la dirección Y-Y, en esta figura se puede observar que una gran proporción de la masa del semi-remolque presenta valores de esfuerzo del orden de 5 MPa a compresión, también se puede observar el esfuerzo de tensión sobre el ala inferior de la viga en el punto donde se ubicó el canal No.2, con una magnitud de 6.12 MPa.

Para la discusión de los resultados de la figura 46, se hace necesario mencionar que sobre la viga se presentan esfuerzos combinados de flexión y torsión, sin embargo la tabla 16 muestra que los valores de esfuerzos cortantes (τ_{xy} , τ_{yz} y τ_{zx}) son despreciables, mientras que la magnitud de los esfuerzos sobre el tensor Y-Y son dominantes, por lo que se concluye que los esfuerzos de flexión predominan sobre los esfuerzos de torsión y por esta razón se hace necesario utilizar el esfuerzo sobre el tensor Y-Y.

Por otro lado, los esfuerzos de compresión de las barras diagonales de los canales No.1 y 3 presentan magnitudes de 22.93 MPa y 26.81 MPa respectivamente.

Figura 46. Diagrama de esfuerzos de tensión (σ_{yy}) SRG-36m³-3, prueba estática



El cuadro No.16 muestra la comparación entre los valores obtenidos en el tensor de esfuerzos para el punto en el cual se ubicó el canal No.2

Cuadro 16. Tensor de esfuerzos sobre punto de ubicación del canal No.2

Tensor	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	σ_{zz} (MPa)	τ_{xy} (MPa)	τ_{yz} (MPa)	τ_{zx} (MPa)	σ_1 (MPa)
Esfuerzo	0.086	6.129	0.371	0.077	0.073	6.18×10^{-18}	6.135

El cuadro No.17 muestra la comparación entre los esfuerzos obtenidos teóricamente y los esfuerzos obtenidos experimentalmente.

Cuadro 17. Comparación resultados teóricos y experimentales

	(σ) Canal No.1	(σ) Canal No.2	(σ) Canal No.3
Esfuerzo normal Experimental (MPa)	-17.610	17.501	-21.173
Esfuerzo teórico, FEA (MPa)	-22.93	6.12	-26.81

De la tabla anterior, puede observarse la semejanza que existe en los resultados obtenidos teóricamente y los resultados obtenidos experimentalmente, pese a no haber alcanzado la estabilidad deseada durante la medición. Cabe destacar la diferencia en la medición del canal No.2 con respecto al cálculo teórico, se puede observar que la magnitud del valor obtenido en la medición experimental supera al valor obtenido teóricamente, mientras que en los canales No.1 y No.3 no sucede. Esta incoherencia puede presentarse por una irregularidad en la instalación del medidor la cual puede corresponder a la posición del mismo (Ver figura 47), dado que el medidor es una herramienta dispuesta a medir solo deformaciones axiales y cualquier alteración en el sentido de acción de la carga puede conducir a resultados inexactos.

Figura 47. Instalación inadecuada del medidor sobre la viga



Fuente: Documentos de ingeniería, Dite S.A Freeway Remolques. Yumbo, 2014.

6. CONCLUSIONES

El nuevo diseño del semi-remolque para transporte de cemento en polvo cumplió con los objetivos trazados de la siguiente manera:

- El registro fotográfico y la evaluación del diseño anterior condujo a la plena identificación del problema con el fin de plantear soluciones factibles desde el punto de vista técnico y económico.
- Los análisis estructurales se realizaron de manera adecuada, partiendo de supuestos a nivel general en el semi-remolque que permitieran detallar estado de esfuerzos y deformaciones en las juntas soldadas y/o articuladas, y los puntos críticos de concentraciones de esfuerzos, reduciendo de esta manera, tiempos de diseño sin sacrificar el análisis estructural.
- El aumento de la capacidad de carga en aproximadamente 5.2%, realizando el cargue a través de solamente una de las bocas de llenado, se constituyen en una de las principales características que agregan valor al producto en el mercado.
- La adquisición de dispositivos y accesorios de alta eficiencia, posicionados en el mercado internacional, acompañados de un diseño que busca mejorar los tiempos de descargue y de operación del semi-remolque, hacen un producto atractivo para suplir las necesidades del cliente, aun cuando este no ha salido al mercado.
- La creación de un procedimiento de descarga que permita mejorar los tiempos de descarga, transportando a través de las tuberías más producto y menos aire.
- El aumento de la competitividad debido a la disminución de la mano de obra directa, la cual repercute directamente sobre el tiempo de manufactura, y por ende una reducción del 1% en el costo total de producción, en comparación con el diseño anterior, aun cuando este presenta un diseño moderno.

- La validación de los supuestos de diseño planteados al inicio del proyecto mediante pruebas experimentales, cuyos resultados brindan la experiencia necesaria para enriquecer próximos procesos de diseño de la compañía.

- La alternativa seleccionada cumple satisfactoriamente con los requerimientos de diseño y se ha obtenido un producto que se rige a las normas y estándares nacionales e internacionales de construcción manejo y seguridad en el transporte de carga pesada.

7. RECOMENDACIONES

Para el proceso de fabricación del semi-remolque para transporte de cemento en polvo SRG-36m³ es necesario:

- Contar con mano de obra calificada (armadores y soldadores), ya que este es un vehículo para transporte de carga pesada que puede ser presurizado.
- Se debe seguir las normas de seguridad industrial para realizar los diferentes trabajos que requiere la fabricación del semi-remolque.
- Se recomienda realizar prueba hidrostática y de estanqueidad al semi-remolque para transporte de cemento en polvo una vez se termine la fabricación de la estructura.
- La suspensión debe ser instalada y alineada correctamente antes de poner el equipo en funcionamiento.
- Se debe garantizar una correcta instalación del manhole y su hermeticidad.
- Al realizar mediciones experimentales es necesario alcanzar estabilidad en el sistema para obtener un resultado preciso y completamente exitoso.

Durante la operación del semi-remolque se debe tener en cuenta:

- Antes de poner en marcha el semi-remolque se debe verificar que la suspensión y el enganche (King Pin) se encuentran torquados correctamente.
- Revise el toque de las ruedas, luego de realizar el primer desplazamiento con el semi-remolque cargado.

- Siga adecuadamente las instrucciones de operación y descarga del semi-remolque. De no hacerlo podría ocasionar un descargue lento.
- Por ningún motivo realice la apertura del manhole cuando el equipo se encuentre descargando, este evento podría ocasionarle la muerte.
- Evite el contacto de la piel con la tubería de descarga durante el proceso de descargue, ya que esta podría estar a una elevada temperatura.
- Realice periódicamente mantenimiento a las válvulas de seguridad y demás accesorios acoplados a la descarga.
- Realice periódicamente mantenimiento general al semi-remolque.

BIBLIOGRAFÍA

Base de datos y registros, Dite S.A Freeway Remolques, Santiago de Cali, 2008, 1 carpeta

CALDAS OCHOA, María Fernanda. Diseño de un transportador por banda sobre rodillos para apilamiento de caliza y arcilla, anteproyecto de grado ingeniero mecánico, Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, facultad de ingeniería, 2011. 118 p.

CARDONA OSORIO, Álvaro Andrés. DELGADO LOAIZA, Juan Camilo. Diseño del sistema de pesaje de azúcar a maquinas empacadoras y mejoramiento del sistema de sellado, pasantía para ingeniero mecatrónico, Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, facultad de ingeniería, 2008. 114 p.

CLAVIJO RODRÍGUEZ, Carlos Andrés. Estudio de factibilidad que contempla los aspectos operacionales, de mercado, legales y financieros que necesita un operador individual de carga, para convertirse en empresa transportadora. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Industrial. Área de Formación Empresarial y Logística. Bogotá D. C. Año 2004. 113 p.

Boletín de Cemento gris julio de 2014 [en línea]. Bogotá: Departamento Nacional de Estadística. DANE, 2014. [Consultado 13 de septiembre de 2014]. Disponible en Internet:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_jul_14.pdf

INSTITUTO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, COMITÉ DE CEMENTOS. Ingeniería civil y arquitectura. Cemento. Definiciones. NTC 31(Tercera actualización) 2012. 5 p.

-----, Documentación. Presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486(Sexta actualización). Octubre 2008. 30p.

INSTITUTO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, MINISTERIO DE TRANSPORTE. Tipología para vehículos de Transporte de Carga Terrestre. NTC 4788. Año 2000. 11 Págs.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL INTI, Centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad para las obras. Datos tecnológicos del hormigón normal. Año 1985.176p.

IVNISKY, Marina. Introducción a la Teoría de Costos [en línea], septiembre 2008. . [Consultado 15 de octubre de 2014], Disponible en internet: <http://www.gerencie.com/costos-abc.html>

LANIADO-JACOME, Edwin, Characterizing the diverter switch of a load tap changer in a transformer using wavelet and modal analysis, Engineering Structures, Department of Mechanical Engineering, Universidad Carlos III de Madrid, Spain 2010. 7p.

LATORRE CAÑÓN. La industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda (1996-2005). Trabajo de grado, Profesional en economía, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Ciencias económicas y administrativas. Agosto 2008. 53p.

Manual de procedimientos de inspección física simultanea de mercancías,2010 [en línea], Bogotá: ministerio de comercio industria y turismo, [Consultado 08 de septiembre de 2014] Disponible en internet: www.mincit.gov.co/descargar.php?id=66668

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE TRANSPORTE. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Departamento nacional de planeación. Estructura de Costos de operación vehicular. Disponible en internet: <http://www.mincomercio.gov.co/vbecontent/Documentos/intervenciones/2006/TallerSantaMarta9.ppt>

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución 4100 de 28 de Diciembre 2004. [en línea]. “Por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional”. Bogotá, 2004. p. 9 [consultado 12 de septiembre de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/Documentos.htm>

RODRÍGUEZ CASARRUBIAS, Hugo. Norma oficial mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Instituto Politécnico Nacional de México, Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 137p.

RODRÍGUEZ HERRERA, Alex Eduardo. Diseño de un semi-remolque de dos niveles para la transportación de pallets, Trabajo de grado ingeniero mecánico, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería, 2010. 142 p.

Ruiz-Falco Rojas Arturo, Despliegue de la función calidad (QFD), Modulo No.8, [en línea], universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2008. [Consultado 16 de noviembre de 2013]. Disponible en Internet: <http://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>

SALAS VARELA, Rubén Andrés. Rediseño y construcción de un semi-remolque plataforma para la empresa ROMARCO S.A., proyecto de grado ingeniero mecánico, Santiago de Cali: Universidad del Valle 2009. 135 p.

SEELY FRED B., Resistencia de materiales: Esfuerzo y deformación, México: Unión tipográfica hispano americana, 1954. 589 p.

SERWAY, R., & JEWETT. Física para ciencias e ingeniería.7 ed. Madrid: McGraw-Hill, 2005. Vol. 2. 535 p.

SOSA, Javier. Strain Gauges 1 [en línea], Fundación Universidad de Atacama, Escuela Técnico Profesional, Unidad Técnico pedagógica, 2007, [Consultado 18 de agosto de 2014]. Disponible en Internet: http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gages_1.pdf

ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del semi-remolque para transporte de cemento en polvo

CARACTERÍSTICAS	
SEMI-REMOLQUES TOLVA PARA TRANSPORTE DE CEMENTO	
Material	Acero al carbón (4.5 mm), ASTM A 36
Capacidad volumétrica	33 metros ³ 28 metros ³
Manholes	Tres (3), de cierre hermético, de 20"Ø.
Sistema de descargue	Tubería de 4"Ø con tres (3) válvulas, (una por tolva), de mariposa de 4"Ø.
Sistema de desfogue	Tubo de desfogue con válvula de mariposa de 2"Ø, para regular la presión manualmente y válvula de seguridad para controlar que la presión interior de la tolva sea superior a 14.5 psi.
Presión de prueba	Treinta (30) psi.
Válvulas de cheque	Dos (2), de Ø1/2" para entrada del aire y de Ø1" para el múltiple de descarga.
Manómetros	Dos (2), incorporados al tanque, para medir la presión de entrada del aire y la interna de la tolva.
Pasarela	Superior, de acceso a los manholes, con malla antideslizante.
Ejes	De 5"Ø, de 25.000 libras de capacidad, trocha ancha, rodamientos de 6", importados de EE.UU., marca DANA-SPICER
Rines	De disco 8.25 x 22.5" montados en bocines de 10 pernos.
Frenos	Neumáticos, con zapatas de 16 ½ x 7". Cámara doble "maxibrake" para el eje trasero.
Tren de apoyo	Marca HOLLAND, de 200.000 lbs. de capacidad, dos velocidades.
King pin	JOST, de 2", de plato atomillable.
Suspensión	DITE, con resortes de ballesta de 9 hojas 4 x ½" tratamiento de SHOT PEENING para mayor resistencia y flexibilidad, soportados en zapatas de caucho.
Sistema eléctrico	De 12 voltios, con conector hembra de 7 polos y cableado protegido.
Escalera	En la parte delantera, en tubo de 1" Ø SCH 40.
Luces	De parada, de marcha y direccionales con portalámparas de protección.
Sistema de aire	Líneas de frenado y emergencia con manguera tubing de 3/8", conectores rápidos, doble tanque de aire y válvulas SEALCO.
Guardabarros	En lámina de acero calibre 12 y guardapolvos con el emblema de la compañía.
Porta-repuestos	Uno (1), sobre el chasis en la parte posterior
Caja de herramientas	Colocada entre las vigas del bastidor.
Defensa trasera	Tubular con soporte triangular, (tubo cuadrado), con cauchos parachoques.
Pintura	Anticorrosivo y esmalte del color elegido por el cliente.
Llantas	Cotizadas separadamente.

Anexo B. Coeficientes de fricción

Materiales	Coef. de Fricción Estática μ_s	Coef. de Fricción Cinética μ_k
Acero - Acero	0.74	0.57
Aluminio - Acero	0.61	0.47
Cobre - Acero	0.53	0.36
Latón - Acero	0.51	0.44
Cinc - Hierro colado	0.85	0.21
Caucho - Concreto	1.0	0.8
Madera - Madera	0.25-0.5	0.2
Vidrio - Vidrio	0.94	0.4
Cobre - Vidrio	0.68	0.53
Hielo - Hielo	0.1	0.03
Teflón - Teflón	0.04	0.04
Teflón - Acero	0.04	0.04

Fuentes:

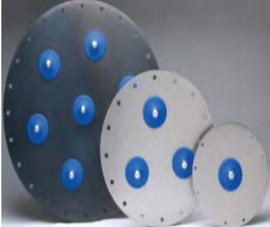
Serway. Physics for Scientists and Engineers

Sears, Z & Y. Física Universitaria

Anexo C. Análisis Modal

Mode	Participacion de masa efectiva en la direccion X						Participacion de masa efectiva en la direccion Y						Participacion de masa efectiva en la direccion Z					
	Frequency (Hz)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor	Frequency (Hz)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor	Frequency (Hz)	Modal eff. (weight)	mass (%)	Cumulative (weight)	mass (%)	Participat. Factor
1	1.20E+00	2.19E+04	72.49	2.19E+04	72.49	-1.49E+00	1.20E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.20E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
2	6.64E+00	6.16E+02	2.04	2.25E+04	74.53	-2.50E-01	6.64E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	6.64E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
3	7.04E+00	4.62E+03	15.3	2.71E+04	89.83	-6.86E-01	7.04E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	7.04E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00
4	9.40E+00	0.00E+00	0	2.71E+04	89.83	0.00E+00	9.40E+00	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	9.40E+00	3.33E-01	0	3.33E-01	0	-5.82E-03
5	1.15E+01	1.18E+01	0.04	2.71E+04	89.87	3.46E-02	1.15E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00	0	3.33E-01	0	0.00E+00
6	1.18E+01	0.00E+00	0	2.71E+04	89.87	0.00E+00	1.18E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.18E+01	2.46E+00	0.01	2.80E+00	0.01	1.58E-02
7	1.26E+01	2.95E+02	0.98	2.74E+04	90.85	1.74E-01	1.26E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.26E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
8	1.43E+01	1.49E+02	0.49	2.76E+04	91.34	-1.23E-01	1.43E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
9	1.83E+01	3.43E+00	0.01	2.76E+04	91.35	-1.87E-02	1.83E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.83E+01	0.00E+00	0	2.80E+00	0.01	0.00E+00
10	1.88E+01	0.00E+00	0	2.76E+04	91.35	0.00E+00	1.88E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	1.88E+01	2.94E+02	0.97	2.97E+02	0.98	1.73E-01
11	2.06E+01	2.90E+02	0.96	2.79E+04	92.31	-1.72E-01	2.06E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.06E+01	0.00E+00	0	2.97E+02	0.98	0.00E+00
12	2.30E+01	4.56E+02	1.51	2.83E+04	93.82	-2.16E-01	2.30E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.30E+01	0.00E+00	0	2.97E+02	0.98	0.00E+00
13	2.40E+01	1.10E+00	0	2.83E+04	93.83	-1.06E-02	2.40E+01	0.00E+00	0	0.00E+00	0	0.00E+00	2.40E+01	2.95E-01	0	2.97E+02	0.98	5.49E-03
14	2.52E+01	0.00E+00	0	2.83E+04	93.83	0.00E+00	2.52E+01	1.37E+01	0.05	1.37E+01	0.05	-3.74E-02	2.52E+01	2.21E+03	7.33	2.51E+03	8.31	4.75E-01
15	2.61E+01	1.08E+02	0.36	2.84E+04	94.18	1.05E-01	2.61E+01	4.88E-01	0	1.42E+01	0.05	-7.05E-03	2.61E+01	4.24E+00	0.01	2.51E+03	8.33	2.08E-02
16	2.78E+01	5.10E+01	0.17	2.85E+04	94.35	-7.21E-02	2.78E+01	5.42E+00	0.02	1.96E+01	0.06	-2.35E-02	2.78E+01	1.25E+02	0.41	2.64E+03	8.74	1.13E-01
17	2.79E+01	2.74E+01	0	2.85E+04	94.35	5.29E-03	2.79E+01	2.31E+02	0.76	2.50E+02	0.83	-1.53E-01	2.79E+01	5.90E+03	19.81	8.62E+03	28.55	7.81E-01
18	2.90E+01	5.71E+01	0	2.85E+04	94.35	-7.63E-03	2.90E+01	2.74E+02	0.91	5.24E+02	1.74	-1.67E-01	2.90E+01	1.20E+04	39.67	2.06E+04	68.22	1.10E+00
19	2.98E+01	4.53E+02	1.5	2.89E+04	95.86	2.15E-01	2.98E+01	6.29E-01	0	5.25E+02	1.74	-8.01E-02	2.98E+01	3.41E+01	0.11	2.06E+04	68.33	5.90E-02
20	3.12E+01	7.15E+00	0.02	2.90E+04	95.88	-2.70E-02	3.12E+01	7.88E-01	0	5.25E+02	1.74	8.96E-03	3.12E+01	5.20E+01	0.17	2.07E+04	68.51	7.34E-02
21	3.15E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.88	0.00E+00	3.15E+01	1.49E+00	0	5.27E+02	1.74	-1.23E-02	3.15E+01	5.21E+01	0.17	2.07E+04	68.68	7.28E-02
22	3.15E+01	4.75E-01	0	2.90E+04	95.88	6.96E-03	3.15E+01	6.91E+01	0.23	5.96E+02	1.97	8.39E-02	3.15E+01	2.36E+02	0.78	2.10E+04	69.46	-1.55E-01
23	3.23E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.88	0.00E+00	3.23E+01	4.36E+02	1.44	1.03E+03	3.42	-2.11E-01	3.23E+01	3.02E+02	1	2.13E+04	70.46	-1.75E-01
24	3.25E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.88	0.00E+00	3.25E+01	2.67E+00	0.01	1.03E+03	3.43	1.65E-02	3.25E+01	5.96E+00	0.02	2.13E+04	70.48	2.46E-02
25	3.31E+01	5.27E-01	0	2.90E+04	95.88	7.33E-03	3.31E+01	0.00E+00	0	1.03E+03	3.43	0.00E+00	3.31E+01	2.07E-01	0	2.13E+04	70.48	4.60E-03
26	3.34E+01	4.86E-01	0	2.90E+04	95.88	-7.04E-03	3.34E+01	2.75E+02	0.91	1.31E+03	4.34	1.67E-01	3.34E+01	2.07E+03	6.84	2.33E+04	77.32	4.59E-01
27	3.34E+01	2.55E+00	0.01	2.90E+04	95.89	-1.61E-02	3.34E+01	4.78E+01	0.16	1.36E+03	4.5	-6.90E-02	3.34E+01	5.26E+02	1.74	2.39E+04	79.07	-2.32E-01
28	3.35E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.89	0.00E+00	3.35E+01	5.92E+01	0.2	1.42E+03	4.69	-7.76E-02	3.35E+01	4.32E+02	1.43	2.43E+04	80.5	2.10E-01
29	3.51E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.89	0.00E+00	3.51E+01	1.53E+01	0.05	1.43E+03	4.74	3.95E-02	3.51E+01	1.25E+02	0.41	2.44E+04	80.91	-1.13E-01
30	3.60E+01	2.21E+00	0.01	2.90E+04	95.9	1.50E-02	3.60E+01	0.00E+00	0	1.43E+03	4.74	0.00E+00	3.60E+01	0.00E+00	0	2.44E+04	80.91	0.00E+00
31	3.64E+01	0.00E+00	0	2.90E+04	95.9	0.00E+00	3.64E+01	2.27E+01	0.08	1.45E+03	4.82	-4.81E-02	3.64E+01	8.66E+00	0.03	2.44E+04	80.94	-2.97E-02
32	3.88E+01	5.53E+02	1.83	2.95E+04	97.73	-2.37E-01	3.88E+01	0.00E+00	0	1.45E+03	4.82	0.00E+00	3.88E+01	0.00E+00	0	2.44E+04	80.94	0.00E+00
33	3.97E+01	3.70E+01	0.12	2.95E+04	97.85	6.14E-02	3.97E+01	0.00E+00	0	1.45E+03	4.82	0.00E+00	3.97E+01	0.00E+00	0	2.44E+04	80.94	0.00E+00
34	4.15E+01	0.00E+00	0	2.95E+04	97.85	0.00E+00	4.15E+01	7.34E+02	2.43	2.19E+03	7.25	-2.73E-01	4.15E+01	3.74E+02	1.24	2.48E+04	82.18	-1.95E-01
35	4.18E+01	0.00E+00	0	2.95E+04	97.85	0.00E+00	4.18E+01	9.21E+02	3.05	3.11E+03	10.3	-3.06E-01	4.18E+01	5.76E+00	0.02	2.48E+04	82.2	-2.42E-02
36	4.22E+01	2.78E+00	0.01	2.96E+04	97.86	-1.68E-02	4.22E+01	2.70E-01	0	3.11E+03	10.3	5.24E-03	4.22E+01	0.00E+00	0	2.48E+04	82.2	0.00E+00
37	4.36E+01	0.00E+00	0	2.96E+04	97.86	0.00E+00	4.36E+01	2.39E+02	0.79	3.35E+03	11.09	1.56E-01	4.36E+01	4.73E+00	0.02	2.48E+04	82.21	-2.20E-02
38	4.40E+01	7.59E+00	0.03	2.96E+04	97.89	2.78E-02	4.40E+01	0.00E+00	0	3.35E+03	11.09	0.00E+00	4.40E+01	0.00E+00	0	2.48E+04	82.21	0.00E+00
39	4.50E+01	1.58E+02	0.52	2.97E+04	98.41	-1.27E-01	4.50E+01	0.00E+00	0	3.35E+03	11.09	0.00E+00	4.50E+01	0.00E+00	0	2.48E+04	82.21	0.00E+00
40	4.57E+01	0.00E+00	0	2.97E+04	98.41	0.00E+00	4.57E+01	8.87E+00	0.03	3.36E+03	11.12	3.01E-02	4.57E+01	8.96E-01	0	2.48E+04	82.22	9.55E-03
41	4.74E+01	0.00E+00	0	2.97E+04	98.41	0.00E+00	4.74E+01	2.02E+02	0.67	3.56E+03	11.79	-1.43E-01	4.74E+01	6.05E+02	2	2.54E+04	84.22	-2.48E-01
42	4.80E+01	3.40E+01	0.11	2.97E+04	98.52	-5.89E-02	4.80E+01	0.00E+00	0	3.56E+03	11.79	0.00E+00	4.80E+01	0.00E+00	0	2.54E+04	84.22	0.00E+00
43	4.85E+01	3.23E+02	1.07	3.01E+04	99.59	-1.82E-01	4.85E+01	0.00E+00	0	3.56E+03	11.79	0.00E+00	4.85E+01	0.00E+00	0	2.54E+04	84.22	0.00E+00
44	4.94E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	4.94E+01	2.02E+00	0.01	3.56E+03	11.79	1.44E-02	4.94E+01	2.86E+02	0.95	2.57E+04	85.17	1.71E-01
45	4.98E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	4.98E+01	3.73E+01	0.12	3.60E+03	11.92	6.16E-02	4.98E+01	2.63E+02	0.87	2.60E+04	86.04	1.64E-01
46	5.15E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	5.15E+01	0.00E+00	0	3.60E+03	11.92	0.00E+00	5.15E+01	4.29E-01	0	2.60E+04	86.04	6.61E-03
47	5.26E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	5.26E+01	0.00E+00	0	3.60E+03	11.92	0.00E+00	5.26E+01	0.00E+00	0	2.60E+04	86.04	0.00E+00
48	5.31E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	5.31E+01	3.31E-01	0	3.60E+03	11.92	-5.81E-03	5.31E+01	2.12E+00	0.01	2.60E+04	86.05	-1.47E-02
49	5.44E+01	0.00E+00	0	3.01E+04	99.59	0.00E+00	5.44E+01	0.00E+00	0	3.60E+03	11.92	0.00E+00	5.44E+01	0.00E+00	0	2.60E+04	86.05	0.00E+00
50	5.78E+01	3.46E-01	0	3.01E+04	99.59	-5.94E-03	5.78E+01	0.00E+00	0	3.60E+03	11.92	0.00E+00	5.78E+01	0.00E+00	0	2.60E+04	86.05	0.00E+00

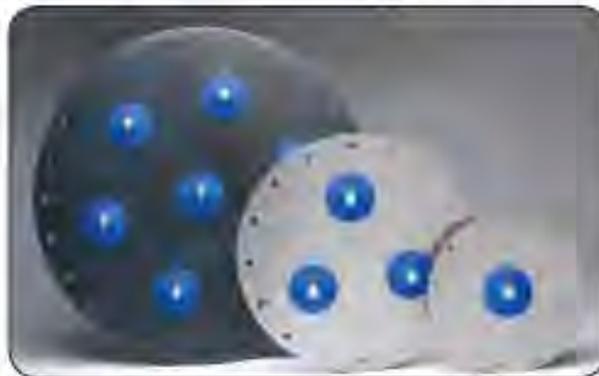
Anexo D. Dispositivos del sistema de descarga

Id.	Dispositivos del sistema de descarga	
1	MANHOLE	
2	VALVULA MARIPOSA	
3	VALVULA DE RETENCION	
4	VALVULA DE SEGURIDAD	
5	ACOPLE RAPIDO	
6	PLACA VIBRADORA	



**DESCARGA MÁS RÁPIDA
MÁS DURADERAS
MEJOR VACIADO
PREVIENEN ATASCAMIENTOS**

A diferencia de las almohadillas textiles que se obstruyen o desgastan y que se tienen que reponer con regularidad, la placa vibradora Solimar, con vibrador patentado Solimar, no se rompe, ni se obstruye, ni absorbe la humedad que puede dar lugar a enmohecimiento. Los vibradores Solimar duran por lo menos 3 veces más que las almohadillas textiles.



El aire, al entrar a presión por debajo de los discos de silicona patentados e instalados sobre la placa, proporciona aireación y agitación moderada que mantiene en movimiento los materiales secos a granel. Independientemente de la clase de material que esté manejando, bien sea cemento o harina, su remolque para producto a granel funcionará mejor con los vibradores Solimar. Solimar Fluidizers.

Sustituye a las almohadillas textiles

Las placas vibradoras sustituyen a las almohadillas textiles a y las placas aireadores utilizadas en los remolques Fruehauf y otros remolques para productos a granel. La placa se instala en la cámara plenum de la tolvas del remolque y facilita un mayor rendimiento operativo de la descarga, especialmente notable si se compara con las almohadillas textiles –la descarga es más rápida y mejor, sin residuos– y todo esto con menos operaciones de mantenimiento.



**Exija discos Solimar genuinos
con el diseño de marca comercial
Radial Ridge Design.**

**SOLIMAR***Since 1985*

Por qué usar el sistema de aireación Solimar?

1. Los vibradores Solimar cuentan con propiedades herméticas de alto nivel en el borde exterior del aireador de caucho, a través de una membrana que se amolda a la configuración de cualquier tolva, sin importar si ésta es plana o curva. También sellan herméticamente al contorno de la tolva o placa de desgaste para evitar el contraflujo del producto hacia la tubería de aireación - incluso cuando se esté cargando a raudales.
2. Los vibradores Solimar también están diseñados para suministrar un volumen de aire óptimo, y así aprovechar eficazmente la descarga neumática de los remolques con productos a granel. No se deje engañar con promesas de descargas más rápidas debido a una proporción más elevada del flujo de aire. Cuando se inyecta demasiado aire, se descarga más aire y menos producto.
3. Los vibradores de Solimar están concebidos con un diseño robusto y carecen de patas débiles de retención que pudieran quebrarse súbitamente, o discos endebles que pudieran agrietarse y desgastarse prematuramente.
4. La placa de desgaste en acero inoxidable contiene una abertura de 38 mm (1 ½") que cumple con las normas de la industria de los remolques en la que se establecen orificios de 38 mm (1 ½") en la tolva. Solimar recomienda el uso de las placas de desgaste donde la erosión de la pared de la tolva sea un tema preocupante, especialmente cuando se manejan materiales abrasivos como arena o cemento.
5. Los vibradores de Solimar ofrecen cabezales con carcasas externas que están disponibles con 1, 2, o 3 puertos. El material de fabricación puede ser tanto plástico transparente como nilón gris ultra reforzado. Todos los elementos que componen el vibrador se fabrican con materiales aprobados por la F.D.A., y poseen resistencia suficiente para temperaturas operativas de hasta 176 °C [350 °F].
6. Los componentes del vibrador de Solimar podrán utilizarse como repuestos directos de los aireadores de las marcas Sure Seal, Fruehauf, Heil, o Polar.
7. El acreditado historial de los vibradores de Solimar hace posible ofrecer una garantía más duradera que otros competidores en la industria de los camiones cisterna. Contando con miles de componentes y repuestos permanentemente en stock, le aseguramos la entrega puntual de sus pedidos.



Exija discos Solimar genuinos con el diseño de marca comercial Radial Ridge Design

Solimar Pneumatics | Minneapolis, MN 55432 USA | 1.800.233.7109 | P: 763.574.1820

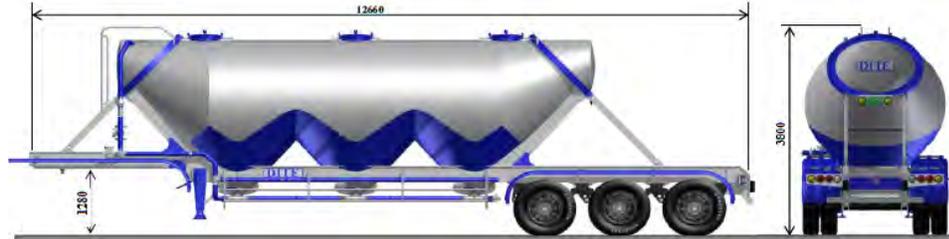
F: 763.574.1822 | email: solimar@solimarpne.com | www.solimarpneumatics.com

Solimar, Solimar-USA y el diseño Radial Ridge Design son marcas comerciales de Solimar Pneumatics. © 2014 Solimar Pneumatics. Se reservan todos los derechos.

Anexo F.Ficha técnica del SRG-36m³-3

	FICHA TECNICA SEMI-REMOLQUE TOLVA CEMENTERA	Fecha De vigencia: 12/04/2013
		Version: 1
		Pagina: 1 de 2

MODELO: SRG 36m³ - 3E

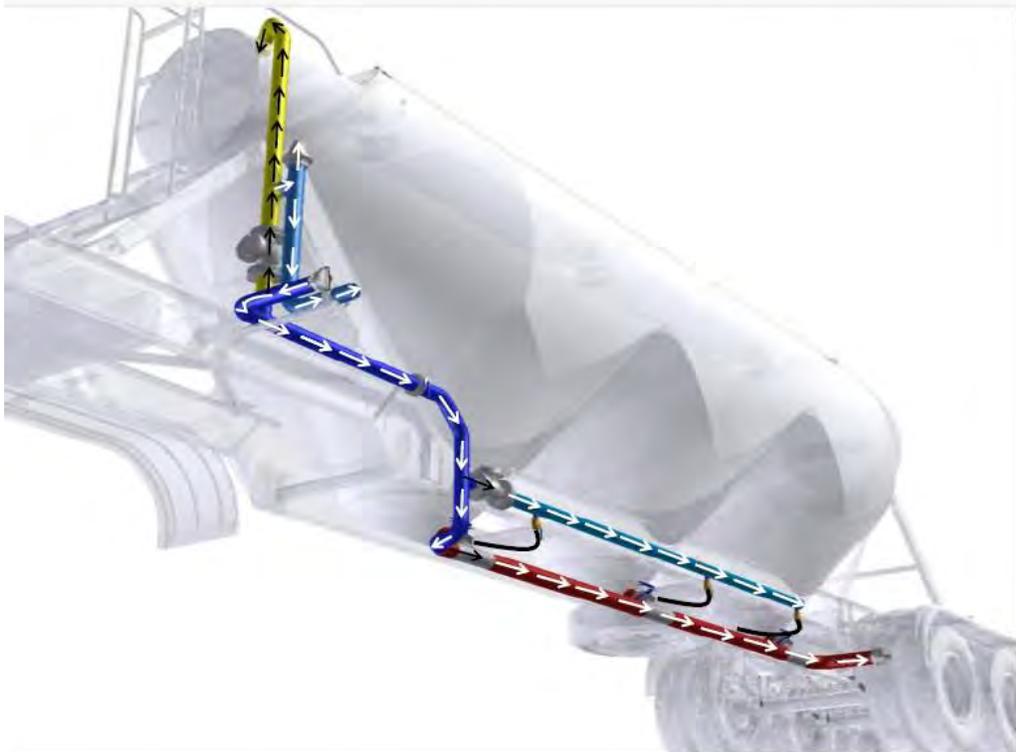
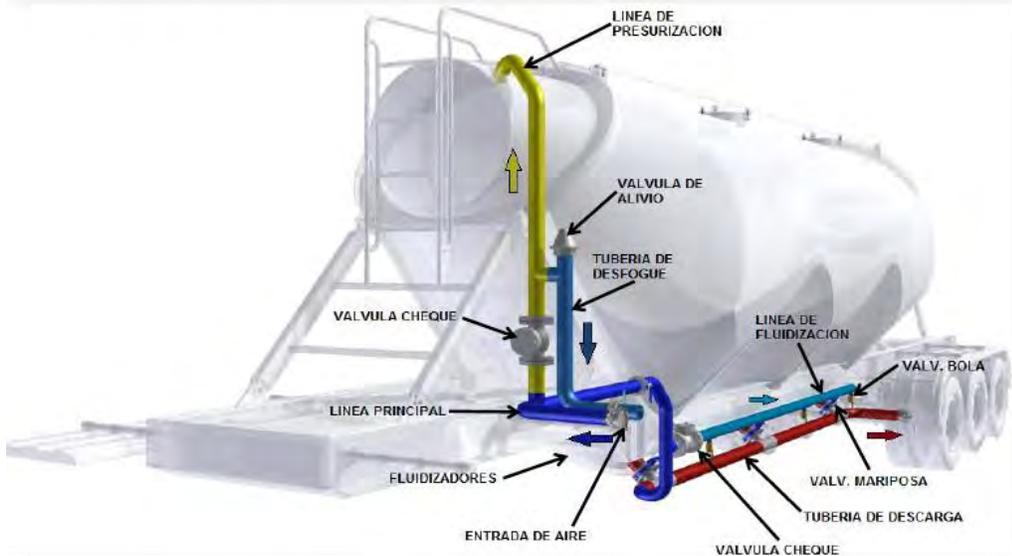


CAPACIDAD VOLUMETRICA Volumen total: (36m ³) Treinta y seis metros cubicos. Volumen util: Depende de la densidad de producto y su respectivo angulo de reposo.	DIMENSIONES Longitud: 12.66 mts. Ancho: 2.60 mts. Altura: 3.80 mts.
PRESION DE TRABAJO Y DE PRUEBA 18 PSI de trabajo - 25 PSI de prueba	PESO APROXIMADO 7.500 Kgs +/- 2%
ESTRUCTURA DEL TANQUE Seccion conica reforzada, fabricado en lamina de acero al carbono con limite de fluencia de 50KSI laminado en caliente.	KING PIN Marca JOST Ø2" con plato atomillable.
TREN DE APOYO Importado, 160.000 Lb de capacidad de carga, dos velocidades con capacidades de carga estática: 67 Ton., elevación 23 Ton. en la velocidad lenta y de carga lateral 14.5 Ton.	EJES Redondos de Ø5", trocha ancha de 77.5" con 30.000Lbs de capacidad, ratches mecanicos de ajuste manual, con bocines y campanas sistema Hub pilot de 10 Pernos.
SUSPENSION Mecanica Importada marca Fuwa, de tensores, bases estampadas, muelles de ballesta de diez(10) hojas fabricados en acero de media aleacion bonificado y granallado. Capacidad de carga de 33 Ton. OPCIONAL. Neumaticas con o sin levates, marca SAF HOLLAND (NEWAY)	SISTEMA DE FRENOS Neumaticos con zapatas de freno de 16½" x 7" con camara doble T-30-30 en dos(2) ejes y freno de seguridad, regulado por la norma internacional 121.
RINES Trece (13), de disco 8.25"x22.5" ,en acero al carbon, 10 agujeros para entrada de aire a la campana, para llantas sellomatic.	ESCALERA Delantera, en tuberia Ø1" con peldaños antideslizantes y pasamanos.
LINEA DE SUMINISTRO DE AIRE Y PRESURIZACION En tuberia en acero al carbono SCH 40 de Ø3", con acople y tapón OPW a la entrada, con ramificaciones: 1. Para presurizar la tolva por la parte superior y equipada con válvulas de cheque, alivio y mariposa ; 2. Para presurizar la línea de fluidización equipada con válvula cheque de Ø3" y válvulas de bola de Ø1" , para regular el flujo de aire hacia los fluidizadores 3. Para abastecer la línea de descarga y equipada con válvula mariposa de Ø3" .	EQUIPOS DE MEDICION DE PRESION Y SEGURIDAD Dos (2) Manómetros, de 0 -30 PSI, en baño de glicerina, uno para controlar la presión interna en la tolva, y otro para verificar la presión de entrada de aire o alimentación. Una (1) Válvula de seguridad calibrada a 18 PSI especial para productos pulverizados, posicionada en la línea de presurización de la tolva.
LINEA DE DESCARGA DE PRODUCTO En tuberia en acero al carbono SCH 40 de Ø4", con acople y tapón OPW a la salida(lado conductor), equipada con válvulas mariposa de Ø4" y acoples rapidos en aluminio para desmontar facilmente la tuberia entre las tolvas de descarga en caso extremo de atascamiento de producto o mantenimiento. OPCIONAL ADICIONAL Descarga por los dos lados	FLUIDIZADORES Placa fluidizadora de 30" en acero semi-duro con siete discos vibradores que optimizan el tiempo de descarga. OPCIONAL Tres(3) discos vibradores instalados directamente sobre cada cono de descarga.
SISTEMA ELECTRICO De 12 voltios con conector hembra de 7 polos y cableado protegido	LUCES LED, de marcha, de parada, direccionales y lateral con portalamparas de proteccion
GUARDABARROS Delanteros y traseros en fibra de vidrio con refuerzos internos. Guardapolvos con logo de la compañía.	MANHOLES Importados, marca Solimar o similar de apertura rapida. Presion de trabajo 30 PSI.
ACABADO EXTERIOR DEL TANQUE Anticorrosivo epoxico y acabado final con pintura Dupont.	PASARELA Libre de recoleccion de aguas lluvias, líneas de vida y malla antideslizante a lo largo del tanque.
DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Biciclero de 2 barras fabricado en tubo Ø1", con porta-conos y defensa trasera triangular con tubular para choques fabricado en acero al carbono.	ACCESORIOS Uno(1) Portarepuesto tipo winche, placa caracteristica, caja de herramientas, llave para ejes, escalera frontal antideslizante, calcomanias en general.

Elaborado por: E.F. CAICEDO	MOTIVO CAMBIO DE VERSION	VERSION
Aprobado por: J.A. ARZAYUS		1
Fecha: 18-FEBRERO-2014		

DITE S.A. FREYWAY REMOLQUES SE RESERVA EL DERECHO A MODIFICAR ESTA FICHA SIN PREVIO AVISO

MODELO: SRG 36m³ - 3E



Elaborado por: E.F. CAICEDO	MOTIVO CAMBIO DE VERSION	VERSION
Aprobado por: J.A. ARZAYUS		1
Fecha: 18-FEBRERO-2014		

DITE S.A. FREEMWAY REMOLQUES SE RESERVA EL DERECHO A MODIFICAR ESTA FICHA SIN PREVIO AVISO

Anexo G. Normatividad Nacional e internacional

ESTANDAR	DESCRIPCION	CARACTERISITCAS
ISO 9001-2008	SISTEMAS DE GERENCIA DE LA CALIDAD	Se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.
NTC 4788	NORMA TECNICA COLOMBIANA (TIPOLOGIA PARA VEHICULOS DE TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE)	Especifica la tipología para vehículos automotores de carga para transporte terrestre, así como lo relacionado a las dimensiones y pesos admisibles.
AWS D1.1	AMERICAN WELDING SOCIETY (CODIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL)	Regula los requerimientos para cualquier tipo de estructura soldada realizada con acero al carbono y de baja aleación para construcción, con espesores superiores a 3mm.
DOT 407	DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CARGO TANK)	Regula el transporte a granel de líquidos inflamables, corrosivos y químicos suaves, tanques a presiones de trabajo superiores a 18 PSI e inferiores a 40 PSI.
FMVSS	FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARS	Regula los requisitos para los sistemas de frenado de los vehículos equipados con sistemas de frenos de aire, incluyendo los sistemas de frenos de aire sobre-hidráulico, para garantizar un rendimiento de frenado seguro en condiciones normales y de emergencia.
SAE J 1402	MANGUERAS PARA FRENOS DE AIRE	Regula los requisitos mínimos para conjuntos de mangueras de frenos de aire fabricados con tubo de elastómero reforzado y accesorios adecuados para su uso en los sistemas de frenos de aire en equipos para transporte de carga pesada.
SAE J 560	SISTEMA ELECTRICO PARA VEHICULOS PESADOS	Regula los requisitos dimensionales y funcionales para acopladores eléctricos y luces en equipos para transporte de carga pesada.

Anexo H. Protocolo para mediciones experimentales

Materiales a utilizar

- Semi-remolque para transporte de cemento en polvo.
- Tractocamión.
- Tanque de almacenamiento de agua.
- Bomba centrífuga, mangueras, y accesorios
- Strain Gauges.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Computador portátil.
- Unidad de equilibrio
- Puente de tensión.
- Caja de conexiones.
- Resistencia de calibración.
- Bornes.
- Medidor de voltaje y corriente (Multímetro).
- Cautín, soldadura de estaño y crema para soldar.
- 13m de cable ribbon.
- Cinta transparente.
- 1 Pliegos de Lija N° 280.
- 1 Pliegos de Lija N° 400.
- Solvente rosin.
- Desengrasante para lámina.
- Neutralizador.
- Panel de vidrio.
- 1 Paquete de algodón.

- Pinza.
- 1 Súper Bonder Sealco S130
- Tijeras y bisturí.
- Flexómetro
- Papel y Lápiz

Ver figura No.47

Figura 48. Instrumentacion para galgas extensiométricas



Fuente: Documentos de ingeniería, DITE S.A. FREEWAY REMOLQUES

Instalación de las galgas extensiométricas.

- Lijar la superficie con lija No.280 y No.400 de tal manera que remueva todos los contaminantes como pintura y oxido hasta conseguir una superficie lisa y suave.
- Limpie la superficie con un papel saturado en solvente rosín. (Asegúrese de que la superficie se encuentre seca).
- Utilice un tramo de lija No.400 empañada con desengrasante para lámina para lijar suavemente la superficie. Remueva los residuos de lijado con papel limpio.
- Marque la posición del medidor con lápiz, en el sitio donde este será instalado.
- Aplique desengrasante para lámina con algodón en el punto donde será instalado el medidor. (Repita hasta que no haya cambio de color en el algodón).

- f. Aplique neutralizador sobre la superficie donde será instalado el medidor. (Limpie inmediatamente, no permita que el neutralizador se seque por si solo).
- g. Tome el panel de vidrio y límpielo con neutralizador.
- h. Saque el medidor de su empaque con una pinza y coloque la superficie de pega, hacia abajo sobre el vidrio.
- i. Tape el medidor con cinta transparente aplicando presión suavemente de tal manera que la cinta se pegue al vidrio y al medidor.
- j. Retire la cinta junto con el medidor y ubíquela sobre el panel de vidrio de tal manera que la zona de pegue del medidor quede expuesta
- k. Aplique una capa de adhesivo sobre el medidor.
- l. Ubique el medidor en el sitio y la posición señalada. Aplique presión sobre el medidor y la superficie durante 1 o 2 minutos.
- m. Luego del tiempo de secado del adhesivo retire la cinta transparente del medidor.
- n. Fije los alambres del medidor con cinta transparente para evitar romperlos.
- o. Estañe los terminales del medidor y el cable ribbon, aplique calor hasta conseguir una buena soldadura. (evite que la soldadura haga contacto con el medidor.)
- p. Asegure que los terminales no se encuentren en contacto con el elemento que se desea medir.
- q. Revise con un multímetro que los valores reales de la resistencia correspondan a los mencionados en las características técnicas del medidor.
- r. Conecte los equipos de medición a una fuente de voltaje de 110V
- s. calibre el cero del puente de tensión y la unidad de equilibrio utilizando la resistencia de calibración.
- t. Realice las conexiones del medidor en la caja de conexiones.
- u. Realice la calibración de los medidores. Estos deben quedar en cero
- v. Realice la conexión entre el portátil, la tarjeta de adquisición de datos la unidad de equilibrio para recibir las señales de medición.
- w. Proceda a realizar la prueba estática.